

П.П.Берг

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

П. П. БЕРГ
д-р техн. наук проф.

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1963

В книге обобщены большой опыт и теоретические исследования свойств формовочных материалов. На их основе приведены общие закономерности, которые могут быть использованы для подбора исходных материалов, а также готовых смесей и красок.

Книга может быть использована инженерами производственниками и работниками научно-исследовательских институтов, а также студентами старших курсов литейной специальности.

Рецензент д-р техн. наук проф. А. М. Лясс

Редактор инж. О. В. ЧЕРНЯК

Редакция литературы по горячей обработке металлов

И. о. зав. редакцией Л. А. ОСИПОВА

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ПЕСКИ И ГЛИНЫ

Глава I. Зерновое строение	3
1. Классификация песков и глин	3
2. Расчет скорости падения шара в вязкой среде	3
3. Методы определения количества глинистых составляющих	5
Стандартный метод	5
Понятие о нестандартных методах	6
4. Области применения методов осаждения для определения зернового строения песков и глин	8
5. Основы определения коллоидной составляющей	10
6. Аналитическая связь между поверхностью и диаметром зерен	11
7. Основы определения величины поверхности мелкодисперсных зерен	12
Определение по изменению интенсивности окрашивания раствора	13
Определение по количеству адсорбированных паров воды	14
8. Определение теплоты смачивания	16
9. Степень коллоидальности	16
10. Сопоставление и выбор методов анализа глинистых составляющих	17
11. Стандартная методика анализа зерновой составляющей	17
Стандартные сита	18
12. Методы выражения результатов зернового анализа	19
Метод автора	23
Метод определения модуля мелкости	24
13. Связь между происхождением песков и их зерновым строением	26
14. Закономерности распределения зерен естественных песков	29
Графическое выражение	29
Аналитическое выражение	30
15. Оценка формы зерен	32
Глава II. Минералогический состав	33
1. Классификация минералов	33
2. Общие закономерности	40
3. Примеры минералов	40
4. Месторождение и сопоставление свойств минералов каолининовой группы	49
5. Дробленые огнеупорные материалы	51
Глава III. Химический состав	51
1. Общие закономерности распределения окислов кварцево-глинистых песков среди зерен разной величины	52
2. Примеры рационального применения химического анализа	53
3. Оценка песков и глин по химическому составу	53
4. Обменивающиеся ионы	55
5. Концентрация водородных ионов	57

Глава IV. Физико-химические методы определения первичных свойств	58
1. Рассмотрение в лучах разной длины	58
2. Дилатометрический анализ	60
3. Термический анализ	62
4. Определение твердости и удельных весов	62

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. УПРОЧНЯЮЩИЕ ДОБАВКИ

Глава I. Общие закономерности	64
1. Классификация упрочняющих добавок	64
2. Свойства упрочняющих добавок	67
Высыхающие	67
Затвердевающие	69
Химические	70
Органические и неорганические	71
Глава II. Примеры упрочняющих добавок	72
1. Примеры высыхающих добавок	72
Крахмал. Декстрин	72
Патока. Пектиновый клей	73
Барда сульфитного щелока. Производные лигнина. Таловое масло	75
2. Сопоставление водорастворимых упрочняющих добавок	76
3. Примеры затвердевающих добавок	77
Древесный, каменноугольный и торфяной пеки	78
Битумы	79
4. Примеры химических добавок	80
Масла естественные и искусственные	80
Синтетические смолы	82
Конденсационные смолы	85
Карбамидноформальдегидные и полимеризационные смолы	87
5. Исходные материалы для изготовления синтетических смол	88
6. Общие закономерности применения кремнеземистых материалов	89
7. Примеры неорганических добавок	90
8. Примеры комбинированных добавок	101
Классификация комбинированных добавок	101
Эмульсии	102
Растворы	105

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ФАКТОРЫ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЕРВИЧНЫЕ СВОЙСТВА

Глава I. Уплотнение	108
1. Связь между уплотнением и плотностью	109
2. Методы уплотнения	111
Стандартное уплотнение	111
Метод автора и Б. П. Селиванова	112
Метод уплотнения при постоянной плотности образца	114
3. Наблюдаемые на практике величины уплотнения и плотности	115
Глава II. Влажность	117
1. Состояния воды	118
2. Методы определения влажности	123
Стандартный метод	123
Прямые ускоренные методы	124
Косвенные методы	125
3. Высушиваемость, обсыхаемость и намокаемость смесей	126
4. Повышение содержания водорода в отливках при повышении содержания воды в смесях	130
5. Замена воды другими жидкостями	132
6. Наблюдаемые на практике влажности смесей	133

Глава III. Температура	134
1. Теплоемкость	135
2. Теплопередача	138
3. Температуропроводность	143
4. Аккумулирующая способность	144
5. Теплофизические величины	145

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Глава I. Пористость	148
1. Пористость системы шаров	148
Шары одинакового диаметра	148
Шары неодинакового диаметра	150
2. Пористость смеси	150
Смесь из угловатых зерен	150
Смесь из влажных зерен	151
3. Наблюдаемые на практике величины пористости	152
Глава II. Газопроницаемость	152
1. Стандартная формула газопроницаемости	152
Анализ стандартной формулы газопроницаемости	153
2. Расчетная газопроницаемость смеси однородных шаров	154
3. Газопроницаемость смеси зерен	157
4. Газопроницаемость смеси из влажных зерен	159
5. Влияние глинистых составляющих на газопроницаемость	160
6. Влияние уплотнения на газопроницаемость	162
7. Газопроницаемость смеси для нагретых газов и газов разной вязкости	163
8. Понятие о методах определения газопроницаемости	166
9. Анализ стандартного метода определения газопроницаемости	170
10. Наблюдаемые на практике величины газопроницаемости	171
Глава III. Газотворность	171
1. Состав газов	172
2. Газы, выделяющиеся из навески	175
Количество газов	175
Относительная скорость выделения газов	177
3. Понятие о методах определения газотворности навески и формы	178
4. Газотворность формы	179
Влияние количества добавок	182
Влияние температуры заливки	183
Влияние толщины стенок отливки	184
5. Связь между газопроницаемостью и газотворностью	186

Глава IV. Газовый режим литейной формы	188
1. Механизм образования объемных газовых раковин	188
2. Переход газов в жидкий металл	189
3. Перемещение газов в жидком металле и выделение их из металла	193
4. Поверхностные газовые раковины	195

ЧАСТЬ ПЯТАЯ. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ

Глава I. Общие положения и закономерности	197
1. Классификация свойств	197
2. Принимаемые обозначения	199
3. Основная закономерность изменения прочностных свойств формовочных смесей	199
4. Схема методов прочностных испытаний	203

Глава II. Механические свойства смесей в сыром состоянии	204
1. Общие положения	204
2. Жидкость как упрочняющая добавка	205
3. Влияние вязкости и поверхностного натяжения на прочность в сыром состоянии	206
4. Влияние уплотнения на прочность смесей в сыром состоянии	209
5. Влияние количества глинистых составляющих на прочность смесей в сыром состоянии	211
6. Влияние качества глинистых составляющих на прочность смесей в сыром состоянии	213
7. Связь между прочностями на сжатие, срез и разрыв смесей в сыром состоянии	216
8. Деформация смесей в сыром состоянии при сохранении неизменного объема	218
9. Условный предел упругости	219
10. Предел текучести и пластичность	221
11. Деформация с изменением объема	223
12. Модуль упругости	224
13. Связь между твердостью и прочностью смесей в сыром состоянии	225
14. Применяемые на практике величины прочности в сыром состоянии	225
Глава III. Механические свойства смесей в обработанном состоянии	226
1. Общие положения	226
2. Влияние температуры на прочность смесей в высушенном состоянии	227
3. Влияние величины зерна на прочность смесей в обработанном состоянии	229
4. Влияние влажности на прочность высушенных смесей	230
5. Особенности упрочнения глинистых смесей	231
6. Особенности упрочнения высыхающих связующих добавок	233
7. Особенности упрочнения пленкообразующих добавок	233
8. Особенности упрочнения жидкостекольных смесей при продувании углекислым газом	235
9. Деформация смесей при высушивании	239
10. Деформация высушенных смесей	240
11. Наблюдаемые на практике величины прочности высушенных смесей	242
Глава IV. Механические свойства смесей в прокаленном состоянии	242
1. Особенности механических свойств смесей в прокаленном состоянии	242
2. Влияние уменьшения содержания спекающихся добавок на прочность смесей в прокаленном состоянии	243
3. Влияние температуры спекания на прочность смесей в прокаленном состоянии	244
4. Влияние уменьшения давления на прочность смесей в прокаленном состоянии	246
5. Влияние сокращения продолжительности процесса спекания на прочность смеси в прокаленном состоянии	248
6. Создание прослоек между спекающимися зернами	248
7. Наблюдаемые на практике величины прочности смесей в прокаленном состоянии	248
Глава V. Механические свойства смесей в нагретом состоянии	249
1. Особенности механических свойств смесей в нагретом состоянии	249
2. Общие закономерности изменения прочности смесей в нагретом состоянии	249
3. Общие закономерности деформации нагретых смесей	253
4. Влияние формовочных материалов на образование горячих трещин в отливках	258
5. Влияние материала формы на точность размеров отливки	259
6. Влияние формовочных материалов на объем усадочной раковины	260
7. Ужимины и плены	261
8. Засоры	266

ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Глава I. Пригораемость	268
1. Определение понятий	268
2. Окисление поверхности металла	270
3. Припылы	270
4. Добавки, вводимые в смесь	271
5. Вывод и анализ общей формулы проникновения пригарного слоя	273
6. Влияние величины зерен на глубину проникновения пригарного слоя в форму	277
7. Влияние уплотнения на глубину проникновения пригарного слоя в форму	281
8. Влияние давления на глубину проникновения пригарного слоя в форму	282
9. Влияние вязкости металла на глубину проникновения пригарного слоя	284
10. Влияние температуры на пригар	284
11. Влияние состава металла на пригар	289
12. Влияние огнеупорности на пригар	290
13. Влияние капиллярного давления на глубину проникновения пригарного слоя	291
14. Влияние химического состава смеси на пригар	295
15. Влияние теплопроводности смеси на пригар	296
16. Образование соединений между окислами формы и металла	296
17. Строение пригарного слоя	300
Глава II. Поверхностное легирование	301
1. Определение понятий	301
2. Поверхностное легирование навариванием	302
3. Поверхностное легирование диффузионное	303
4. Изменение содержания углерода в поверхностном слое отливки	303
5. Обогащение поверхности отливки серой	306
6. Обогащение поверхности отливки теллуром	307
Глава III. Чистота поверхности	308
1. Общие положения	308
2. Характеристика чистоты поверхности отливки	309
3. Понятие о методах определения чистоты поверхности	311
4. Понятие о подготовке литой поверхности к определению ее чистоты	313
5. Общие закономерности изменения качества поверхности	313
6. Влияние величины зерна на качество поверхности	314
7. Влияние уплотнения на чистоту поверхности	315
8. Влияние температуры на чистоту поверхности отливки	318
9. Влияние газотворности на чистоту поверхности отливки	319
10. Влияние чистоты поверхности формы на трение затвердевающего металла	320
11. Влияние чистоты поверхности формы на величину зерна отливки	320
12. Влияние чистоты поверхности формы на сопротивление протеканию жидкого металла	321
Глава IV. Долговечность	322
1. Общие положения	322
2. Потеря конституционной и кристаллизационной воды	322
3. Изменение зернового строения смесей при повторных заливках	323
4. Изменение концентрации водородных ионов после многократных заливок	326
5. Изменение прочности после многократных заливок	327
6. Оценка накопления пыли в формовочных смесях	330
Глава V. Текучесть	332
1. Определение понятий	332
2. Основы методов определения текучести	333
3. Основные закономерности изменения текучести	334

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ. СМЕСИ И КРАСКИ

Глава I. Составление смесей и красок	336
1. Общие положения	336
2. Основы выбора исходных материалов	336
3. Главнейшие составные части смесей и красок	337
4. Выбор свойств	338
5. Основы процессов приготовления смесей	339
6. Подготовка исходных материалов	339
7. Основы приготовления смесей	344
8. Основы обработки и хранения исходных материалов и смесей	347
Глава II. Формовочные и стержневые смеси	348
1. Классификация смесей	348
2. Нормальные песчано-глинистые смеси	351
3. Поверхностно подсушиваемые песчано-глинистые смеси	356
4. Песчано-глинистые эмульсионные смеси	357
5. Смеси на синтетических смолах	358
6. Жидкостекольные смеси	361
7. Цементные смеси	366
8. Смеси для высушивания токами высокой частоты	366
9. Смеси для неразъемных форм	366
10. Смеси для пескоудувного процесса	369
11. Гипсовые смеси	370
12. Смеси для прессованных форм	371
13. Смеси для полупостоянных форм	372
14. Смеси пониженной химической активности	374
15. Смеси повышенной пластичности	374
16. Смеси пониженной теплопроводности	375
17. Смеси повышенной теплопроводности	375
18. Экзотермические смеси	376
19. Незамерзающие смеси	377
20. Выбываемые смеси (стержневые)	378
Глава III. Краски	380
1. Определение и классификация	380
2. Общая закономерность подбора состава красок	381
3. Зерновая составляющая	381
4. Связующие добавки	383
5. Специальные добавки	384
6. Количество добавляемой жидкости	384
7. Примеры красок	386
Л и т е р а т у р а	391

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПЕСКИ И ГЛИНЫ

Глава I

ЗЕРНОВОЕ СТРОЕНИЕ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕСКОВ И ГЛИН

Формовочные пески отличаются от формовочных глин зерновым строением, характеризующимся наличием зерен разных размеров. Пески отличаются от глин количеством мелких зерен, называемых глинистыми составляющими. Условно глинистыми составляющими называются зерна с расчетным диаметром менее $0,022 \text{ мм} = 22 \text{ мк}$ [1], [2].

Произведенная по этому принципу стандартная классификация формовочных песков приведена в табл. 1.

Из таблицы следует, что формовочный песок характеризуется содержанием глинистых составляющих до 50%, а формовочная глина — содержанием глинистых составляющих свыше 50%.

Абсолютная граничная величина 22 мк является следствием принятой стандартной методики определения количества глинистых составляющих.

Таблица 1

Стандартная классификация песков по содержанию глинистых составляющих

Содержание глинистых составляющих в %	Наименование песка	Маркировка
До 2	Кварцевый	К
2—10	Тощий	Т
10—20	Полужирный	П
20—30	Жирный	Ж
30—50	Очень жирный	ОЖ

2. РАСЧЕТ СКОРОСТИ ПАДЕНИЯ ШАРА В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

[3], [4]

Отделение глинистых составляющих основано на разной скорости падения зерен в вязкой среде.

Расчет скорости падения шара в вязкой среде основан на приравнивании между собой сил, направленных в противоположные стороны: силы тяжести R_1 , направленной вниз, и силы сопротивления R_2 , ей противоположной.

Сила тяжести определяется по общеизвестной формуле

$$R_1 = \frac{\pi \cdot d^3}{6} (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g,$$

где d — диаметр шара;
 γ_1 и γ_2 — удельный вес шара и окружающей его среды;
 g — сила тяжести.

Этой силе противодействует сопротивление, которое в общем виде может быть выражено формулой

$$R_2 = d^n \cdot \eta^{2-n} \cdot v^n \cdot f(Re),$$

где η — коэффициент внутреннего трения среды или динамическая вязкость;
 v — скорость опускания шара;
 $f(Re)$ — функция числа Рейнольдса. Число Рейнольдса является безразмерным критерием, выражающимся уравнением

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

где ν — кинематическая вязкость; $\nu = \frac{\eta}{\gamma}$.

Абсолютная величина этого критерия характеризует степень ламинарности или турбулентности движения.

При $Re = 0$ поток считается ламинарным, и в этом случае принимается

$$f(Re) = 3\pi$$

и

$$n = 1.$$

При $Re = \infty$ поток считается турбулентным и в этом случае принимается

$$f(Re) = \frac{\pi}{12};$$

$$n = 2.$$

Если принять

$$R_1 = R_2,$$

$$\frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g = d^n \cdot \eta^{2-n} \cdot v^n \cdot f(Re)$$

и решить относительно скорости v , то

$$v^n = \frac{\pi \cdot d^{3-n} (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g}{6 \cdot \eta^{2-n} \cdot f(Re)}.$$

Отсюда вывод, что скорость падения шара (зерна) в вязкой среде подчиняется разным закономерностям в зависимости от того, происходит ли опускание зерен в условиях ламинарного или турбулентного режимов.

Уместно остановиться на условности понятия шар применительно к реальным зернам: они никогда не имеют форму шара, а только могут к этой форме в разной степени приближаться. Поэтому при пользовании расчетными формулами можно считать равными по величине условному шару те зерна, которые перемещаются в вязкой среде с равной скоростью. Такие зерна называются равнопадающими.

Для случая ламинарного режима выведенная общая формула приобретает вид

$$v = \frac{\pi \cdot d^{3-1} \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g}{6 \cdot \eta^{2-1} \cdot 3\pi}$$

или после сокращения

$$v = \frac{d^2 (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g}{18\eta}.$$

В таком виде обычно выражается формула Стокса.

Для случая турбулентного режима выведенная общая формула приобретает вид

$$v^2 = \frac{\pi \cdot d^{3-2} \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g}{6 \cdot \eta^{2-2} \cdot \pi/12}$$

или после сокращения

$$v = \sqrt{2d(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot g}.$$

В таком виде обычно выражается формула Риттингера.

3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ГЛИНИСТЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Стандартный метод

Подставляя в формулу Стокса частные значения (в системе СГС)

η — вязкость воды $0,01 \text{ г} \cdot \text{сек}^{-1} \text{ см}^{-1}$ при 20°C ;

$g = 981 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-2}$;

$\gamma_1 = 2,62 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ (среднее из 2,60 и 2,65);

$\gamma_2 = 1,00$ (для воды).

Можно получить связь между условным диаметром зерна и скоростью его движения в воде или погружения в воду при температуре 20°C :

$$v = \frac{d^2 (2,62 - 1,00) \cdot 981}{18 \cdot 0,01} \approx 9000d^2.$$

По стандартной методике уровень воды до дна банки должен составить 150 мм, а расстояние от дна банки до нижнего отверстия трубки 25 мм. Продолжительность отстаивания предусматривается по стандарту равной 5 мин. Поэтому скорость погружения

$$v = \frac{15,0 - 2,5}{5 \cdot 60} = 0,0415 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}.$$

Отсюда искомый диаметр

$$d = \sqrt{\frac{0,04}{9000}} \approx 0,0022 \text{ см} = 0,022 \text{ мм, или } 22 \text{ мк.}$$

Температура воды должна быть в пределах 15—20° С. При невозможности применять воду в указанных температурных границах необходимо делать пересчеты согласно табл. 2.

Таблица 2

Влияние температуры на изменение условий отмучивания

Характеристика	Температура в °С					
	0	10	20	30	40	50
Вязкость в <i>мпз</i>	0,017	0,015	0,010	0,008	0,006	0,005
Время отстаивания в <i>сек</i>	500	400	300	240	180	150
Глубина осаждения в <i>мм</i>	75	95	125	155	210	250

Вода должна быть средней жесткости. При проведении анализов в разных районах из-за разной жесткости воды были получены разные результаты [5].

Влияние жесткости воды и концентрации едкого натра связано с изменением полноты отмывания. Примерное влияние концентрации NaOH на количество отмываемых глинистых составляющих приведено в табл. 3 (по опытам автора).

Таблица 3

Влияние концентрации NaOH на количество отмываемых глинистых составляющих в %

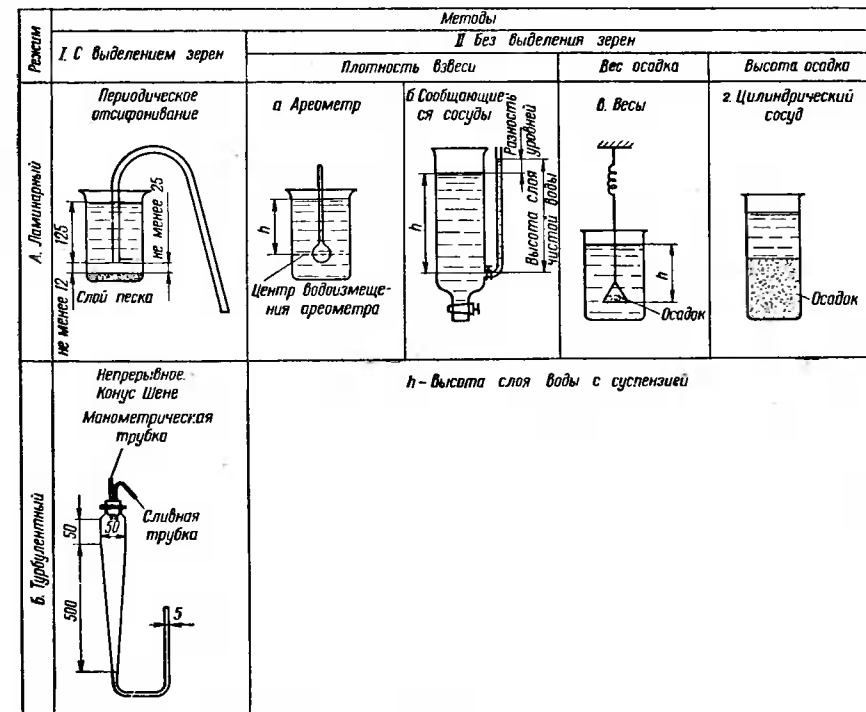
Характеристика	Количество NaOH				
	0	0,1	0,2	0,4	1,0
Количество глинистых составляющих	24,77	25,10	25,60	25,99	25,77
Относительное увеличение количества глинистых составляющих	0,0	1,35	3,35	5,10	4,05

Понятие о нестандартных методах

Кроме стандартного, существует ряд других методов, которые могут быть использованы для определения количества дисперсных зерен. Эти методы могут быть разделены на две группы (фиг. 1).

К первой группе (I-A) относятся методы, при которых происходит выделение (отмучивание) дисперсных зерен. Эти методы характеризуются периодичностью проведения анализов.

Так, например, проф. Аулих предложил вместо взбалтывания кипячение. Профессором А. М. Сабаниным для определения количества мелких фракций был подробно разработан метод, широко применявшийся при анализе грунтов и керамических изделий.



Фиг. 1. Схема методов определения количества дисперсных зерен.

В американской литературе часто упоминался п и п е т о ч н ы й метод, основанный на отмучивании не с помощью трубки, а с помощью пипетки. Этот метод позволяет получать более точные результаты, но он более громоздок.

Русским профессором Шене был предложен метод, схема прибора которого приведена на фиг. 1 (I-Б). Действие прибора основано на подводе воды к нижней части конуса с тем, чтобы через сливную трубку выливалась вода вместе со взвешенными мелкими зернами, вымываемыми при данной скорости. Вторая трубка, расположенная в верхней части прибора, является манометрической и указывает на давление жидкости в приборе. По предварительно проделанной градуировке можно по показаниям уровня

воды в манометрической трубке судить о скорости протекания воды в верхней цилиндрической части прибора.

Идея, положенная в основу работы этого прибора, широко используется на практике в виде разного рода конусов. Иногда эти конусы соединяются последовательно с тем, чтобы постепенно отделять зерна разной хрупкости.

Ко второй группе *II-A* относятся методы, при которых дисперсные зерна не выводятся из сосуда. Определение их количества производится непрерывно и основано на изменении плотности взвеси или высоты образующегося осадка. Схемы этих методов приведены на фиг. 1, *а* и *б*.

$$\frac{G_{жс}}{Q_{жс}} + \frac{G_z}{Q_z} = \frac{G_{жс} + G_z}{Q_v}$$

Объем Объем Объем
жидкости зерен взвеси

где $G_{жс}$ и G_z — веса жидкости и зерен;
 $Q_{жс}$, Q_z , Q_v — плотности жидкости, зерен и взвеси.

Решая уравнение относительно веса зерен

$$G_z = \frac{G_{жс} \cdot Q_z (Q_v - 1)}{Q_z - Q_v}$$

и принимая по-прежнему $Q = 2,6$, получим вес зерен равным

$$G_z = G_{жс} \frac{2,6 (Q_v - 1)}{2,6 - Q_v}.$$

Плотность взвеси определяют ареометром или пьезометром (фиг. 1, *а*). В первом случае в сосуд со взвесью опускается ареометр. Во втором случае используется принцип сообщающихся сосудов по схеме, приведенной на фиг. 1, *б*.

Схема определения веса осадка приведена на фиг. 1 (*A-II, в*). Подобные установки несколько сложны, поэтому на практике часто используется метод определения высоты осадка (фиг. 1, *A-II, г*). Этот метод отличается крайней простотой. Высота осадка может определяться в простейших пробирках. К недостаткам метода относится получение осадка разной высоты при наличии в песках глин разного происхождения. Поэтому метод может быть рекомендован только при сопоставлении смесей и песков одного неизменного месторождения.

4. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОСАЖДЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВОГО СТРОЕНИЯ ПЕСКОВ И ГЛИН

Количество глинистых составляющих недостаточно определяет качество формовочных песков и глин. Поэтому возникает вопрос об областях целесообразного использования методов, основанных на осаждении зерен в вязкой среде. Предварительно необходимо сопоставить рассмотренные методы.

Из-за практической трудности поддерживать постоянно турбулентного режима, осуществляемого в конусах, более точное определение зернового строения может быть достигнуто при использовании методов, подобных стандартному и связанных с ламинарным перемещением зерен. Вязкой средой, в которой перемещаются зерна, может быть только вода.

Поэтому поднятый вопрос может быть конкретизирован: надо знать границы применения методов определения зернового строения с осаждением зерен в воде при ламинарном режиме.

По опытам автора возможность использования формулы Стокса для определения зернового строения сохраняется до $Re \leq 1$. Следовательно,

$$\frac{v \cdot d}{\nu} < 1.$$

Но известно, что кинематическая вязкость ν может быть принята равной $0,01 \text{ см}^2/\text{сек}$.

Отсюда условие применимости формулы Стокса:

$$v \cdot d < 0,01.$$

Если допустить, что продолжительность падения зерен на глубину 10 см не может быть меньше порядка 100 сек , то наивысшая скорость составит величину порядка

$$v = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1},$$

и, следовательно, наибольший диаметр должен быть порядка

$$d < \frac{0,01}{v}; \quad d < \frac{0,01}{0,1} \text{ см}$$

и $d = 0,1 \text{ см} = 1000 \text{ мк}$.

Наименьший диаметр может быть оценен по максимальной продолжительности процесса осаждения. Если принять такую максимальную продолжительность порядка 10 суток и максимальную глубину осаждения порядка 100 см , то скорость осаждения составит величину порядка

$$v = \frac{100}{10 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 10^{-4} \text{ см/сек}^{-1}$$

и, следовательно, наименьший диаметр составит величину порядка

$$d = \sqrt{\frac{10^{-4}}{9000}};$$

$$d = 10^{-4} \text{ см или } 10^{-3} \text{ мм} = 1 \text{ мк}.$$

При таком малом диаметре зерен начинает сказываться влияние воды, адсорбированной на их поверхности и искажающей скорость их осаждения.

Отсюда можно сделать выводы:

1. Методами осаждения в воде можно определять зерна диаметром от 1 до 1000 мк.

2. Для определения зерен диаметром меньше 1 и больше 1000 мк следует заведомо применять другие методы.

Проведенный анализ методов осаждения зерен позволяет сделать вывод о целесообразности выделения из группы «глинистых составляющих» группы наиболее мелких зерен с условной границей менее 1 мк; они могут быть названы коллоидной составляющей.

Такое выделение можно принять вполне обоснованным, так как с ним связаны свойства формовочных смесей.

В частности зерновая составляющая определяет главным образом свойства газопроницаемости, а коллоидная составляющая свойства механические.

Подробнее эти вопросы будут разобраны в частях четвертой и пятой, посвященных разбору этих свойств.

5. ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛЛОИДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

[6]—[12]

Условность определения коллоидной составляющей выражается в двух направлениях.

С одной стороны, условность самого понятия связана с неопределенностью того, что под коллоидной составляющей понимается. Вначале (XIX в.) предполагалось, что все тела делятся на кристаллические и коллоидные. При этом допускалось, что коллоидальность связана со свойствами самого тела. В дальнейшем было доказано, что коллоидальность не свойство, а состояние материи. Уместно отметить, что это слово происходит от греческого корня кол — склеивать. Но если коллоидальность — свойство, присущее всем телам и зависящее в значительной мере от степени их дисперсности, то условной является та абсолютная граница степени дисперсности, при которой свойства коллоидальности начинают проявляться. В данном случае граница в 1 мк принята по указанным методическим соображениям.

С другой стороны, условность определения коллоидной составляющей связана с неопределенностью ее формы, в подавляющем большинстве случаев коллоидная составляющая не представляет собой шара. Поэтому величина 1 мк характеризует только размер, равноценный диаметру, но отнюдь ему не равный.

При выборе методики определения количества зерен с условным диаметром менее 1 мк необходимо считаться с требованием простоты ее осуществления в лабораторных условиях средней оснащенности. Удовлетворяют этим требованиям методы, основанные на определении: а) поверхности зерен, б) теплоты смачивания, в) степени коллоидальности.

Все три упомянутых метода не определяют количество коллоидной составляющей, а дают возможность только приблизиться

к оценке общего количества мелкодисперсных зерен, в том числе и коллоидной составляющей. Отсюда невозможно получить прямую связь между первичными и вторичными свойствами, если не знать некоторых особенностей методов анализа мелкодисперсных составляющих.

6. АНАЛИТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЬЮ И ДИАМЕТРОМ ЗЕРЕН

Принимая по-прежнему изучаемые зерна круглыми, можно установить связь между диаметром зерна и его поверхностью на основании следующих выводов.

Вес G' одного зерна равен

$$G' = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho,$$

где d — диаметр в см;

ρ — плотность зерен в г/см³.

Вес G всех зерен

$$G = N \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} z,$$

где N — количество всех зерен.

Отсюда

$$N = \frac{6 \cdot G}{\pi d^3 \cdot \rho}.$$

Поверхность этих же зерен равна

$$F = N \cdot \pi \cdot d^2 \text{ см}^2.$$

Подставляя в формулу поверхности величину N , получим

$$F = \frac{6 \cdot G \cdot \pi \cdot d^2}{\pi \cdot d^3 \cdot \rho} \text{ см}^2$$

или после сокращения

$$F = \frac{6 \cdot G}{d \cdot \rho} \text{ см}^2.$$

Если принять по-прежнему

$$\rho = 2,60 \div 2,65,$$

то

$$F \approx \frac{2,25 \cdot G}{d} \text{ см}^2.$$

Если относить поверхность зерен к 1 г, то

$$f = \frac{2,25}{d} \text{ см}^2 \cdot \text{г}^{-1}.$$

Если выражать d не в см, а в мм, то

$$f = \frac{22,5}{d} \text{ см}^2 \cdot \text{г}^{-1}.$$

Отсюда существенный вывод: поверхность зерен обратно пропорциональна диаметру, а не квадрату диаметра, как это иногда допускается.

Расчетное определение поверхности на основе сведений о величине зерен практически осуществимо только применительно к более крупным зернам (зерновой составляющей).

Определить поверхность зерновой составляющей возможно и другим методом, основанным на ряде допущений с применением результирующей полуэмпирической формулы:

$$\text{Относительная поверхность} = \frac{\text{постоянный коэффициент}}{\text{объемный вес}} \times \frac{\text{пористость}}{\text{газопроницаемость}}.$$

Для определения поверхности более мелких зерен необходимо использовать другие методы [13]—[15].

7. ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОВЕРХНОСТИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЗЕРЕН [6], [16], [17]

Определение поверхности мелкодисперсных зерен основано на использовании явления адсорбции.

Адсорбция — процесс повышения концентрации элементов на фазовой поверхности раздела. Такой поверхностью является поверхность зерен (адсорбента) по отношению к окружающей газовой и жидкой среде.

Количество газа или жидкости Q , адсорбированные единицей поверхности адсорбента, при давлении p выражается формулой Лангмюра, выведенной в предположении, что адсорбируется мономолекулярный слой на плоской поверхности,

$$Q = a \cdot \frac{p}{B + p}.$$

При малых давлениях можно пренебречь слагаемым p в знаменателе и тогда

$$Q = \frac{a}{B} \cdot p = k \cdot p,$$

где a , B и k — коэффициенты, зависящие от температуры.

Из приведенных теоретических предпосылок могут быть сделаны следующие выводы.

1. Из непосредственного опыта можно определить только количество Q адсорбированного вещества. Допустив постоянным a — количество вещества, адсорбируемого единицей поверхности адсорбента, и определив количество адсорбированного вещества, можно найти поверхность адсорбента. Если выражать количество адсорбента величиной его поверхности F , то можно принять

$$Q = a \cdot F,$$

и, следовательно, из § 1 гл. I

$$d = \frac{22,5}{F};$$

$$d = 22,5 \frac{a}{Q},$$

где Q — весовое количество адсорбированного вещества;

a — постоянная величина.

2. Постоянная a должна быть определена непосредственно из опыта. Она зависит от температуры, которая должна поддерживаться наиболее постоянной.

3. Пропорциональность количества адсорбируемого вещества поверхности сохраняется только при его достаточно малой концентрации (давлении). Поэтому определение коллоидной составляющей должно производиться при малых концентрациях адсорбируемого вещества в газе или растворе, окружающем адсорбент.

4. При выводе формулы предполагалась мономолекулярная толщина адсорбируемого слоя, что не всегда имеет место в действительности и увеличивает степень условности определяемой величины.

5. При выводе формулы поверхность адсорбента предполагалась плоской, что никогда не имеет места при определении коллоидной составляющей зерен. Искажения результатов из-за несоблюдения этой теоретической предпосылки сказываются особенно резко при наличии в смеси пористых и химически активных материалов, как например, угля, опилок, связующих добавок и тому подобное. Поэтому определение коллоидной составляющей может быть осуществлено с большей достоверностью только у смеси зерен с водой.

Практически определение поверхности зерен методом адсорбции осуществляется путем определения изменения интенсивности окрашивания раствора или изменением веса смеси зерен в водяных парах.

Вплотную к методам определения поверхности по величине адсорбции примыкают методы определения величины поверхности по скорости растворения, например кварцевых зерен в плавиковой кислоте.

Определение по изменению интенсивности окрашивания раствора

Идея метода основана на изменении интенсивности окрашивания раствора, налитого на смесь зерен за счет адсорбции красителя поверхностью зерен. Этот метод был предложен в первых стандартах АФА (до 4-го издания включительно).

Пересчеты опытов по определению коллоидной составляющей методом изменения окраски дают возможность сделать следующие выводы.

1. Отмытый песок, не содержащий глинистых составляющих, поглощает около 40 мг красителя кристалл-виолета на 100 г песка.

2. Не обнаруживается существенного различия в количестве поглощенного кристалл-виолета при изменении зернового строения песка, не содержащего глинистых составляющих.

3. Глинистая составляющая песка поглощает от $Q = 3000$ до $Q = 6000$ мг этого красителя на 100 г зерен.

4. Если принять средний диаметр зерна 0,25 мм, то поверхность песка составит

$$F = \frac{22,5}{0,25} = 100 \text{ см}^2/\text{г},$$

а относительное количество поглощенного кристалл-виолета составит

$$a = \frac{40}{100 \cdot 100 \cdot 1000} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$$

или на 1 г красителя приходится поверхность порядка 10^6 см^2 .

5. Принимая количество кристалл-виолета, поглощаемого поверхностью зерен, не зависящим от их размера, поверхность глинистых составляющих F можно определить по формуле

$$F = \frac{Q}{1000 \cdot 100 \cdot a};$$

$$F = \frac{3000 + 6000}{1000 \cdot 100} \cdot \frac{1}{4} \cdot 10^6$$

или порядка $10^4 \text{ см}^2 = 1 \text{ м}^2$.

6. Средний диаметр глинистых составляющих может быть оценен равным

$$d = \frac{22,5}{10^4} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ мм},$$

т. е. порядка микрон.

7. При среднем диаметре порядка одного или нескольких микрон можно ожидать разное количество более мелких зерен, которые и придают смесям свойство повышенной прочности. Поэтому не приходится удивляться отсутствию прямой связи между количеством адсорбированной краски и свойствами смесей.

Определение по количеству адсорбированных паров воды [18]

Относительная сложность методики определения поверхности зерен методом измерения интенсивности их окрашивания привела к мысли об определении этой поверхности методом измерения количества водяных паров, адсорбируемых исследуемой поверхностью зерен. Результаты опытов приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Толщина адсорбированного слоя воды				
Размер ячеек сита d_i в мм	Расчетный диаметр зерна $d_i + d_i + 1 = d_{cp}$ в мм	Расчетная поверхность зерен $F = \frac{22,5}{d_{cp}}$ в $\text{см}^2 \cdot \text{г}^{-1}$	Количество воды, адсорбированной из 100 г зерен (опытные данные) Q в %	Расчетная толщина слоя воды $\frac{Q}{F}$ в мм
0,21	0,315	72,7	0,0332	46
0,105	0,180	127,2	0,0488	36
0,105	0,126	166,7	0,0648	40
0,074	0,089	256,0	0,0832	33
Средняя толщина слоя воды				40

Таблица 5

Степень дисперсности глинистых составляющих						
Образец песка	Количество образцов	Среднее содержание глинистых составляющих в %	Количество адсорбированной воды на 100 г смеси в %	Количество адсорбированной воды на 100% глинистых составляющих в %	Расчетная поверхность 1 г глинистых составляющих в см^2	Расчетный диаметр глинистых составляющих в мк
Естественный: дивенский	13	$7,5 \pm 2,5$	$0,8 \pm 0,2$	$10,5 \pm 0,8$	26 000	0,9
»	2	$10,5 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	$9,5 \pm 0,1$	24 000	0,9
»	3	$13,5 \pm 0,2$	$1,35 \pm 0,5$	$10,0 \pm 0,4$	25 000	0,9
»	4	$17,2 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,3$	$10,0 \pm 0,2$	25 000	0,9
»	1	26,1	2,5	9,6	24 000	0,9
Волгоградский . . .	3	$12,6 \pm 0,1$	$3,2 \pm 1,0$	$25,0 \pm 0,4$	62 000	0,4
Синтетический на бентоните	3	$15,0 \pm 0$	$3,1 \pm 0,5$	$20,5 \pm 0,3$	52 000	0,4

Пересчеты опытов автора дали возможность сделать следующие выводы:

1. Если принять удельный вес воды равным единице, то расчетная условная толщина слоя воды на поверхности зерен составит 40 ммк, что соответствует 0,4 мг на 100 см^2 поверхности песка.

2. Средний условный диаметр мелкодисперсных составляющих получился порядка 1 мк, т. е. такой же, как и при определении степени дисперсности методом измерения интенсивности окрашивания, что соответствует поверхности около $2 \text{ м}^2/\text{г}$. Другие авторы получали резко отличающиеся результаты [10].

3. Наиболее дисперсные зерна характеризуются средним условным диаметром 0,4 мк.

4. И. Е. Руссо¹ получила при своих опытах, проведенных по той же методике, величину степени дисперсности порядка 10 мк. Вместе с тем, исследованные ею глины относились к числу наиболее качественных. Отсюда можно сделать вывод, что разобранная методика также не дает возможности ожидать прямой связи между степенью дисперсности глинистых составляющих и свойствами смесей.

При определении поверхности зерен методом адсорбции паров можно применять и другие жидкости. Желательно, чтобы они обладали следующими свойствами:

- 1) повышенной температурой испарения;
- 2) способностью смачивания всей поверхности зерен;
- 3) минимальным поверхностным натяжением;
- 4) минимальной вязкостью.

Этими свойствами в частности обладает этилен-гликоль [19].

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СМАЧИВАНИЯ

Теплота смачивания связана также с процессами адсорбции. Количество тепла, выделяющееся на 1 моль адсорбированного водяного пара, составляет от 2,1 до 2,3 кал.

Если согласно приведенным в § 7 опытам принять, что на 100 см² зерен адсорбируется 0,4 мг водяных паров, то можно предполагать, что при адсорбции этой поверхностью водяных паров выделяется

$$0,0004 \cdot \frac{2,2 \cdot 1000}{18} = 0,05 \text{ кал.}$$

Если принимать среднюю поверхность 1 г мелкодисперсных зерен порядка 1 м² = 10⁴ см², то на 1 м² поверхности или 1 г глинистых составляющих можно принять среднюю теплоту смачивания порядка

$$0,05 \cdot 10^4 = 5 \text{ кал.}$$

Непосредственными опытами обнаружена [20], [21] теплота смачивания от 5 до 20 кал. На 1 г бентонитов установлена теплота смачивания: кальциевые бентониты — 22,1, натриевые бентониты 12,1, калиевые бентониты 9,1 кал. Это подтверждает правильность принятых допущений и дает дополнительные возможности для оценки степени дисперсности глинистых составляющих.

9. СТЕПЕНЬ КОЛЛОИДАЛЬНОСТИ

Под этим по существу неточным названием понимается метод определения количества геля при подливании к испытуемому образцу электролитов с последующим наблюдением за образо-

¹ Личное сообщение.

вавшимся осадком. По предложению А. Л. Туманского в качестве электролита может быть применена окись магния, прибавляемая в количестве 1 г на 10—15 г испытуемой глины и 100—150 см³ воды. В случае высококачественных глин (бентонитов) рекомендуется понижение количества глины и повышение количества воды. О качестве глин можно судить по величине образовавшегося осадка. В высококачественных глинах (бентонитах) количество образовавшегося геля доходит до 95 %.

Опыты можно проводить в полевых условиях, используя обычные лабораторные пробирки. В этих случаях осадок в указанном количестве, 96 %, получается не выливающимся из пробирки.

10. СОПОСТАВЛЕНИЕ И ВЫБОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА ГЛИНИСТЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Из приведенного разбора методов анализа глинистых составляющих можно сделать следующие выводы:

1. Качество глинистых составляющих определяется в значительной степени их зерновым строением. В частности имеет значение количество зерен с условным диаметром менее 1 мк.

2. Определение количества зерен глинистых составляющих разных фракций может быть осуществлено только при условии, что их условный диаметр превышает величину 1 мк.

3. Зерна с величиной условного диаметра порядка 1 мк могут быть охарактеризованы только величиной среднего условного диаметра. К числу методов для такого определения относятся адсорбционные методы. Из них метод калориметрический дает значительно более быстрый ответ, но несколько сложнее, чем метод, основанный на адсорбции водяных паров.

4. Метод определения степени коллоидальности имеет преимущество — возможность осуществления в полевых условиях.

5. Нельзя ожидать точной корреляции между результатами определения среднего диаметра и технологическими свойствами. Такая корреляция может быть осуществлена только при сочетании методов отмучивания фракции 1 мк с последующим определением среднего диаметра оставшейся взвеси. Однако такое сочетание требует разработки трудоемкой методики.

11. СТАНДАРТНАЯ МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЗЕРНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Зерновая составляющая, получающаяся как остаток после отмучивания глинистой составляющей, может быть определена по стандартной методике путем рассева на ситах.

При этой методике навеску, оставшуюся после отмучивания, помещают на набор сит, установленных на специальном стандартном приборе для просеивания.

После окончания рассева остатки на ситах взвешивают с точностью до 0,01 г. Результаты пересчитываются на проценты.

Главный интерес представляет вопрос о стандартном наборе сит. Практика просеивания на ситах показывает, что расхождение между остатками на ситах при параллельных анализах явно превосходит 5%. При просеивании через сита результаты в очень большой степени зависят от конструкции прибора. Поэтому необходимо применять приборы стандартной конструкции.

Стандартные сита

Стандартные наборы сит приведены в табл. 6 и 7, составленных по ГОСТам: более старому 2189-52 и по новому 2189-62.

Таблица 6

Таблица 7

Стандартный набор сит по ГОСТу 2189-52							Стандартный набор сит по ГОСТу 2189-62						
Данные по ГОСТу 3584-50			Пересчет				Данные по ГОСТу 3584-53			Пересчет			
№ сита	№ сетки	Номиналь- ный размер ячейки в свету	Отношения номинальных размеров			Условный номер n	№ сита	Размеры сто- роны ячейки в мм	Отноше- ния номи- нальных размеров		Условный номер n		
6	3,3	3,3	1,94	1,94	1,94	12	2,5	2,5				17	
12	1,7	1,7	2,00	2,00	2,00	10	1,6	1,60	1,56			15	
20	085	0,85	1,42			8	1	1,00	1,60			13	
30	06	0,6		2,00		7	063	0,63	1,58			11	
40	042	0,42	1,43		2,00	6	04	0,400	1,57			9	
50	030	0,30	1,40			5	0315	0,315	1,27			8	
70	021	0,21	1,43	2,00	2,00	4	027	0,200	1,57			6	
100	015	0,15	1,40			3	016	0,160	1,25			4,5	
140	0105	0,105	1,43	2,00	2,00	2	01	0,100	1,60			3	
200	0075	0,075	1,40			1	0063	0,063	1,58			1	
270	0053	0,053	1,41	2,00		0	005	0,050	1,26			0	

При рассмотрении обоих ГОСТов можно заметить, что наборы сит подчиняются общей закономерности, а именно: соседние сита отличаются друг от друга на постоянное отношение. Наличие и познание этой закономерности облегчает пересчеты результатов зерновых анализов.

Это отношение по ГОСТу 2189-52 и ГОСТу 2189-62 составляет в среднем 2,00 и 1,415. Легко обнаружить, что

$$2,00 = 1,415^2.$$

Отсюда можно сделать вывод, что все сита за исключением наиболее грубых, т. е. № 6 и 12, отличаются друг от друга на величину $2^{0,5} = 1,415$, а сита наиболее грубые отличаются друг от друга на величину $1,415^2 = 2,00$.

Отношение номинальных размеров сит, расположенных через одно, составляет также $1,415^2 = 2,00$.

Обращаясь к ГОСТам 2189-62 и 3584-53, можно заметить, что отношение сит составляет 1,58 для большинства размеров. Исключением являются только два средних размера, для которых отношение составляет 1,26. Легко обнаружить, что

$$2,5 = 1,58^2 = 1,26^4.$$

Если принять наиболее мелкое сито за единицу, а все последующие обозначать условными номерами, численно равными показателям степеней, то размер ячейки d каждого сита может быть определен расчетом по формулам:

для набора сит по ГОСТу 2189-52

$$d = 0,053 \cdot 2^{0,5n},$$

например, сито № 40 имеет номинальный размер в свету

$$d = 0,053 \cdot 2^{0,5 \cdot 6} = 0,42;$$

для набора сит по ГОСТу 2138-56

$$d = 0,050 \cdot 2^{0,25n};$$

например, сито № 1 имеет по расчету номинальный размер

$$d = 0,050 \cdot 2^{0,25 \cdot 1} = 0,98$$

вместо 1,00 по таблицам.

12. МЕТОДЫ ВЫРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗЕРНОВОГО АНАЛИЗА

Результаты зернового анализа могут быть выражены графически и в виде таблиц.

По способам выражения результатов анализа можно различать:

1) прямые методы с выражением результатов без каких-либо пересчетов;

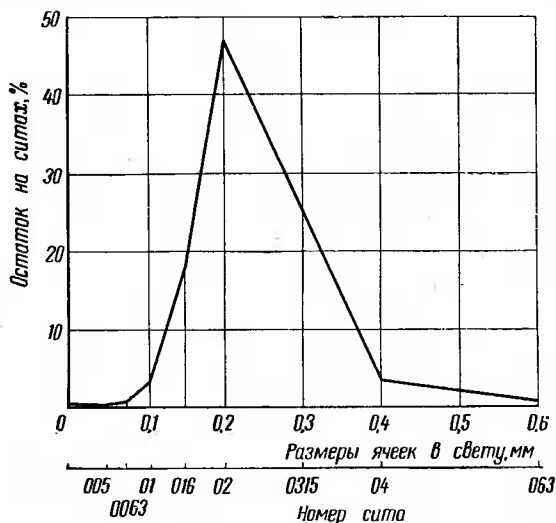
2) суммирующие или кумулятивные методы с выражением результатов нарастающей суммой;

3) более сложные методы пересчета результатов анализов (чем простое сложение). В результате таких пересчетов может определяться средний диаметр или степень однородности песка.

Пример табличного выражения результатов зернового анализа приведен в табл. 8. В первой строке приведены остатки на каждом сите (прямой метод). На второй и третьей строках приведены результаты суммирования: на второй — суммарное количество зерен, остающихся на всех более мелких ситах, а на третьей строке — суммарное количество зерен, прошедших через более крупное сито.

[illegible]

При графическом выражении результатов зернового анализа следует обратить внимание на выбор масштаба по оси абсцисс. Учитывая рассмотренную закономерность построения сит, целесообразно откладывать по оси абсцисс величины, пропорциональные размерам ячеек сит, в этом случае в области более мелких размеров сосредоточивается большое количество линий (фиг. 2). Целесообразно использовать закономерность построения сит, согласно которой сохраняется постоянство отношений размеров. Поэтому удобно ось абсцисс строить в логарифмическом масштабе.



Фиг. 2. Результат зернового анализа при масштабе, пропорциональном размеру в свету.

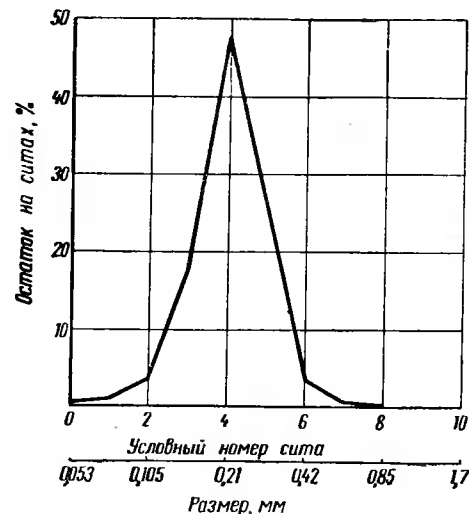
Если отношение $\frac{d_{n-1}}{d_n}$ постоянно и равно 1,415 или соответственно 1,26, то также постоянной величине будет равна разность логарифмов:

$$\lg \frac{d_{n-1}}{d_n} = \text{const};$$

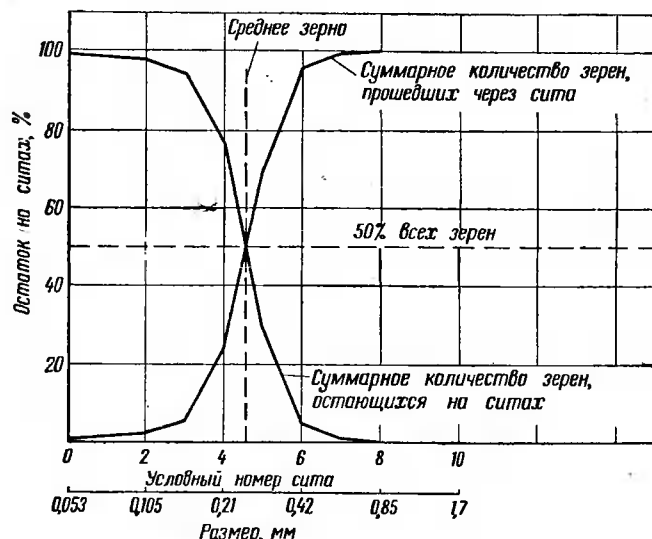
$$\lg d_{n-1} - \lg d_n = \text{const}.$$

Эта разность пропорциональна условному номеру сита, приведенному в табл. 6 и 7, как это изображено на фиг. 3 применительно к зерновому анализу, приведенному в табл. 8.

При построении суммирующих кривых можно использовать их свойство: пересечение суммирующих кривых, построенных в одном случае для суммарных остатков, прошедших через более крупное сито, а в другом случае для суммарных остатков, не прошедших через более мелкие сита, соответствует половине всей суммы, как это показано в виде примера на фиг. 4.



Фиг. 3. Результат зернового анализа при логарифмическом масштабе (прямой метод).



Фиг. 4. Суммарный результат зернового анализа при логарифмическом масштабе (суммарный метод).

Это свойство может быть использовано для графического определения среднего диаметра и для проверки правильности построения кумулятивных кривых.

Результаты большого количества зерновых анализов, выраженные в виде развернутых табличных или графических данных, представляют собой громоздкий материал. Поэтому возникает необходимость выражать результаты зернового анализа в виде кратких формул, характеризующих результаты зернового анализа. В дальнейшем будет приведено несколько примеров таких пересчетов.

Метод автора [1]

В СССР нашел широкое распространение метод, предложенный автором и сводящийся к упоминанию трех сит, на которых сосредоточен наибольший суммарный остаток зерен. Количество этих зерен может быть также упомянуто. По новому ГОСТу 2189-62 идея метода сохраняется, но указываются не три крайние сита, а среднее сито.

При обозначении результатов зернового анализа тремя ситами можно использовать тот факт, что практически никогда зерна не распределяются равномерно на обоих крайних ситах. Всегда на одном из крайних сит остаток наблюдается больший, чем на другом крайнем сите. Поэтому можно условиться первым упоминать то сито из трех, на котором наблюдается больший остаток. Таким образом обозначение песка в виде Т 70/140-65 указывает на содержание глинистых составляющих от 2 до 10% (см. табл. 1). Наибольшее количество зерен сосредоточено на ситах 70, 100 и 140. При этом на сите 70 зерен осталось больше, чем на сите 140. Общий остаток на всех трех ситах равен 65%.

По новому ГОСТу 2189-62 к номеру среднего сита приписываются буквы А или Б. Буквой А обозначается тот песок, у которого остаток на сите с более крупными ячейками больше, чем на сите с более мелкими ячейками. Буквой Б обозначается песок, у которого наблюдается обратная картина: на сите с более мелкими ячейками остаток выше, чем на сите с более крупными ячейками. Таким образом, тот же песок (Т 70/140-65) по новому ГОСТу будет обозначаться Т 015А. Сосредоточенность зерен песка на трех ситах по новому ГОСТу цифрами не обозначается.

Пески с рассредоточенной структурой по этому ГОСТу разделяются:

- 1) на крупные с суммой остатков на ситах 04, 0315 и 025 не менее 60%. Такие пески обозначаются КРК;
- 2) на средние с суммой остатков на ситах 0315, 025 и 016 не менее 60%. Такие пески обозначаются КРС;
- 3) на пески с суммой остатков на ситах 025, 016 и 01 не менее 60%. Такие пески обозначаются КРМ;
- 4) на пески с общей рассредоточенностью, т. е. с суммой остатков на трех любых смежных ситах — менее 60%. Такие пески обозначаются КРО.

Вместо разобранного метода, при котором непосредственно упоминаются те сита, на которых сосредоточен наибольший остаток, имеется ряд опубликованных методов, при которых средний диаметр получается расчетом.

Примером такого пересчета является метод, предложенный АФА для определения модуля мелкости, который принимается как характеристика средней величины зерна. Эта характеристика в виде модуля мелкости часто встречается на страницах технической печати.

Математически метод определения модуля мелкости может быть обоснован следующими соображениями: при принятом среднем диаметре d_{cp} суммарная поверхность смеси зерен может быть выражена в виде

$$F_{\Sigma} = \frac{22,5 \cdot \Sigma g_i}{d_{cp}}.$$

Но эта суммарная поверхность F_{Σ} равна сумме поверхностей ΣF_i зерен, оставшихся на каждом сите с условным диаметром d_i . Поэтому

$$\Sigma F_i = 22,5 \cdot \Sigma \frac{g_i}{d_i},$$

где g_i — остаток на каждом сите с условным диаметром d_i .

Следовательно, принимается

$$F_{\Sigma} = \Sigma F_i$$

или после подстановки выведенных значений и сокращений на 22,5

$$\frac{\Sigma g_i}{d_{cp}} = \Sigma \frac{g_i}{d_i}.$$

Значения d_i и d_{cp} можно выражать соответственно через a_1 и a_{cp} .

Тогда

$$a_{cp} \cdot \Sigma g_i = \Sigma a_i \cdot g_i$$

и модуль мелкости может быть определен

$$a_{cp} = \frac{\Sigma a_i \cdot g_i}{\Sigma g_i}.$$

В табл. 9 приведены расчетные поверхности зерен по формуле, приведенной в § 7 разбираемой главы, и расчетные множители, предложенные АФА. При рассмотрении таблицы можно заметить, что расчетные множители по АФА отличаются от величины расчетной поверхности почти на неизменную величину, равную $1,7 + 0,2$. Эта величина получается в том случае, если вместо числителя 22,5 принять дюймовую меру: $\frac{22,5}{25,4/2} = 1,75$.

Множители АФА для расчета поверхности зерен

№ сита	Диаметр в свету	Средний расчетный диаметр d_{cp} в мм	Расчетная поверхность $\frac{22,5}{d_{cp}}$ в $см^2/г$	Множитель по АФА	Расчетная поверхность, деленная на множитель АФА
6	3,360	—	—	3	—
12	1,680	2,52	9	5	1,8
20	0,840	1,26	18	10	1,8
30	0,590	0,72	31	20	1,5
40	0,420	0,50	45	30	1,5
50	0,297	0,36	63	40	1,6
70	0,210	0,26	87	50	1,7
100	0,149	0,18	125	70	1,8
140	0,105	0,12	187	100	1,9
200	0,074	0,18	250	140	1,8
270	0,053	0,07	320	200	1,6
(270)	0,022	0,04	560	300	1,9

В табл. 10 приведены расчетные поверхности применительно к новым стандартным ситам. Если применить к этим ситам множители, аналогичные множителям АФА, расчетные результаты надо разделить на 1,75. Такие условные округленные множители приведены в последней вертикальной графе таблицы.

В табл. 11 приведен пример определения модуля мелкости.

Таблица 10

Расчетные множители для расчета поверхности зерен

№ сита	Диаметр в свету в мм	Средний расчетный диаметр в мм	Расчетная поверхность $\frac{22,5}{d_{cp}}$ в $см^2$	Условный множитель, аналогичный множителю АФА $\frac{22,5}{d_{cp} \cdot 1,75}$
2,5	2,50	—	—	—
1,6	1,60	2,05	11	5
1	1,00	1,30	17	10
0,63	0,63	0,81	28	15
0,4	0,40	0,52	44	25
0,315	0,315	0,36	63	35
0,25	0,25	0,28	81	45
0,16	0,160	0,20	110	60
0,1	0,100	0,13	173	100
0,063	0,063	0,08	280	160
0,05	0,050	0,06	380	200

Таблица 11

Расчет модуля мелкости

№ сита	Остаток на сите в %	Множитель	Произведение
30	0,8	20	16
40	3,5	30	105
50	25,0	40	1000
70	47,0	50	2350
100	18,0	70	1260
140	3,3	100	330
200	0,7	140	98
270	0,4	200	80
—270	0,5	300	150
Всего	99,2	—	5389

$$\text{Модуль мелкости } a_{cp} = \frac{5389}{99,2} = 54.$$

13. СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОИСХОЖДЕНИЕМ ПЕСКОВ И ИХ ЗЕРНОВЫМ СТРОЕНИЕМ

Общая закономерность: зерна естественных песков получают тем более окатанными, однородными и состоящими из более стойких минералов, чем более длительное время они переносились и разрушались [24].

Символически сказанное можно выразить в виде:

$$\text{качество песка} = f\left(\frac{\tau(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot l}{H_m}\right),$$

где τ — продолжительность процесса переноса и разрушения;

$\gamma_1 - \gamma_2$ — разность объемных весов зерна и окружающей среды;

l — путь переноса;

H_m — твердость зерен.

Из этой общей закономерности могут быть сделаны выводы:

1. Пески современных отложений — четвертичного периода — характеризуются наличием наибольшего количества менее стойких минералов, например полевых шпатов, наименьшей обкатанностью (при одинаковой твердости минералов) и наименьшей однородностью. К числу четвертичных относятся многие речные пески.

2. Наилучшие пески могут быть обнаружены среди месторождений третичного периода. Пески этого периода расположены в европейской части нашего Союза в широтном направлении: через Донбасс (Гусаровка) к Волгограду, через Миллерово к Челябинску (Кичигинское месторождение). К востоку от Урала полоса третичных формовочных песков пока точно не установлена. Эта закономерность обнаружения наиболее качественных песков среди третичных месторождений подтверждается практикой Западной Европы и Северной Америки [30]—[32]. Геологический возраст некоторых месторождений формовочных песков и глин приведен в табл. 12 [21]—[28].

Таблица 12

Геологический возраст месторождений

Эра	Характеристика	Период	Месторождения	
			песков	глин
I. Первобытная (Азойская)	Полное отсутствие организмов	—	Не имеется	Не имеется
II. Первичная (Палеозойская)	Появление первых организмов, развивающихся до насекомых, рыб, пресмыкающихся	Кембрийский	Берега рек Поповки, Славянки, район Пулкова Ленинградской обл., север Эстонской ССР	Район Пулкова

Продолжение табл. 12

Эра	Характеристика	Период	Месторождения	
			песков	глин
II. Первичная (Палеозойская)	Появление первых организмов, развивающихся до насекомых, рыб, пресмыкающихся	Силурийский	Берег Ладозского озера, Иркутская обл.	—
		Девонский	Дивенское, Сиверское Ленинградской обл., западные склоны Урала, юг Эстонской ССР	Боровичи, Любятино, Тихвин
		Каменноугольный	Ленинградская, Московская, Орловская, Смоленская области; Белорусская ССР, западные склоны Урала	—
		Пермский	Западные склоны Урала	—
III. Вторичная (Мезозойская)	Появление первых млекопитающих и птиц	Триасс	Горьковская и Орловская обл., Щелковское и Абазовское месторождения (Донбасс)	—
		Юрский	Люберцы Московской обл.	—
		Меловой	Алапаевский и Синарский (Урал)	Воронежско-Литинское
IV. Третичная (Неозойская)	Появление первых четвероруких. В четвертичном периоде появление первого человека	Третичный	От Донбасса до южного Урала, Дальневосточный край и Амурская обл.	Часов Яр
		Четвертичный	Современные отложения на берегах рек и озер Луховицы Московской обл., Малукса Ленинградской обл.	

3. Из-за разности удельных весов при неизменной скорости перемещающей среды водой могут переноситься более крупные зерна и воздухом — менее крупные. Поэтому пески золотого происхождения, т. е. перенесенные ветрами, как правило значительно более мелкие, чем пески, переносившиеся водой.

Ориентировочно связь между величиной перемещаемых зерен (d см) и скоростью перемещающей среды (v м/сек) может быть выражена формулой

$$d = A \cdot v^n,$$

где A — коэффициент, равный для случая воздуха около 0,003, а для случая воды около 1,5;

n — показатель степени, изменяющийся в границах

$$1,5 < n < 2,0.$$

Для отрыва лежащих зерен требуется значительно бо́льшая скорость.

4. Можно полагать, что в низовьях реки течение, как правило, менее быстрое; поэтому обоснованно ожидание встретить там более мелкие пески, чем у истоков. Это теоретическое положение подкрепляется результатами ситовых анализов, приведенных в табл. 13 [33].

Таблица 13

Изменение величины зерна при переносе песков водой (Пересчет данных А. А. Горшкова)					
Приблизительное дополнительное расстояние переноса в км	0	200	500	800	900
Район взятия пробы	Киев	Черкассy	Днепропетровск	Н. Каховка	Херсон
Марка песка по ГОСТу 2138-56	1К0315Б	1К025А	1К025Б	1К016А	16016Б
Условный средний диаметр зерна в мм	0,30	0,25	0,20	0,18	0,15

5. Зерна окатываются при перемещении со взаимным соприкосновением. При перемещении без такого взаимного соприкосновения окатывания не происходит. Поэтому более крупные зерна,

перемещающиеся по дну русла, получатся более окатанными, чем мелкие зерна.

По той же причине мелкозернистые пески золотого происхождения, труднее поднимающиеся на воздух, получаютс я более окатанными.

14. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕРЕН ЕСТЕСТВЕННЫХ ПЕСКОВ

На современном этапе знаний не представляется возможным установить количественную связь между средним зерном и геологическим процессом [34]. Но можно оценить распределение зерен, если известны средний диаметр и общая характеристика геологического режима. Возможно и обратное решение вопроса: зная средний диаметр и характер распределения зерен, представляется возможным дать общую характеристику геологического режима.

Графическое выражение

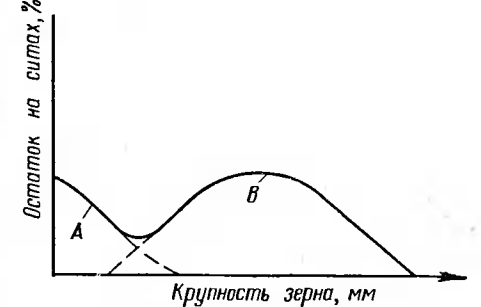
На фиг. 5 схематически приведено возможное распределение зерен глинистого песка. Можно отчетливо обнаружить два максимума, свидетельствующие о наличии двух закономерностей распределения зерен: A — для глинистых составляющих и B — для зерновых составляющих.

Поэтому прежде всего при аналитических пересчетах надлежит выделять те группы зерен, распределение которых приводит к созданию максимумов, как это было приведено на фиг. 5.

Распределение зерен глинистой части может быть в первом приближении решено при допущении, что все зерна, остающиеся на сите № 270 (005), и половина зерен, остающихся на сите № 200 (0063), образовались вместе с глинистыми составляющими.

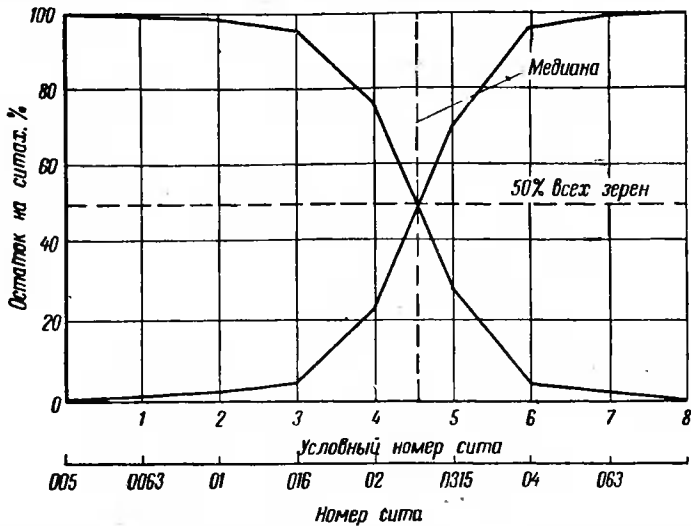
В первой строке табл. 8 был приведен пример зернового строения лоберецкого песка. В четвертой строке приведен и с п р а в л е н н ы й анализ, полученный исключением зерен, считающихся образовавшимися по закономерности оседания глинистых составляющих.

Если графически изобразить (фиг. 6) исправленные кривые с нарастающим итогом весового количества зерен, прошедших



Фиг. 5. Схема распределения зерен глинистого песка.

через сита и остающихся на ситах (две предпоследние строки табл. 8), то можно заметить вполне симметричное расположение остатков на ситах по отношению к среднему диаметру.



Фиг. 6. Пересчитанные суммарные результаты анализа зерновой составляющей.

Аналитическое выражение

Высказанные соображения позволяют выразить количественно закономерности распределения зерен естественных песков, используя общие законы статистического распределения.

В основу расчета автора положено допущение, что распределение зерен по ситам происходит по закону нормального распределения [35].

В этом случае представляется возможным выразить распределение зерен частотной кривой Гаусса (фиг. 7)

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot l^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где Y — количество зерен;
 x — отклонение от среднего размера зерна;
 σ — среднее квадратическое отклонение.

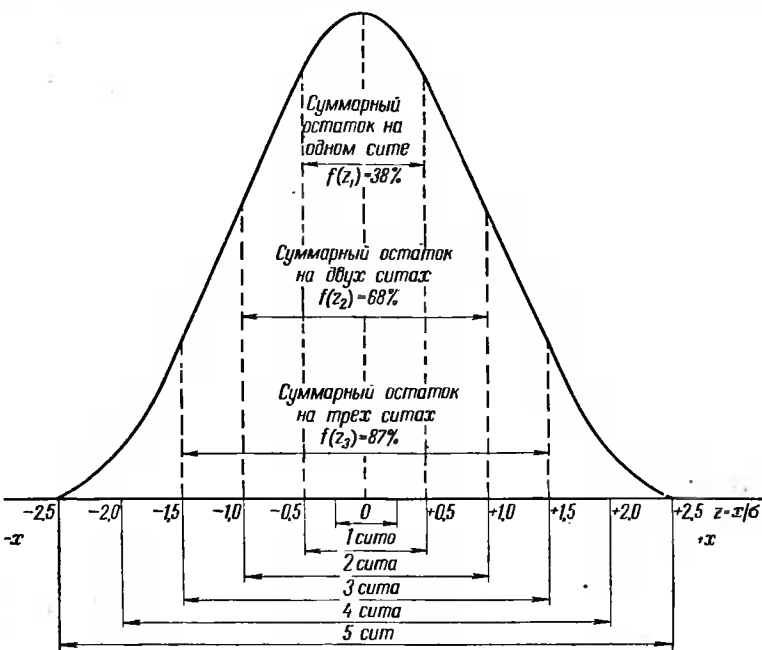
В большинстве случаев практический интерес представляет количественный остаток зерен на отдельных ситах. Это количество можно определить как интеграл

$$\int_{-x}^{+x} Y dx = 2 \int_0^{+x} Y dx = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi} \sigma} \cdot \int_0^x l^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \cdot dx.$$

Количество зерен можно выразить в долях среднего квадратического отклонения

$$Z = \frac{x}{\sigma}.$$

Такое преобразование приводит к характеристике концентрации зерен на ситах; чем больше зерен сосредоточено на одном сите,



Фиг. 7. Распределение зерен по частотной кривой Гаусса.

тем меньше разность в размерах, выраженная в долях квадратического отклонения.

В этом допущении интеграл упрощается и приобретает вид:

$$2 \int_0^{+x} Y \cdot dx = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi} \sigma} \cdot \int_0^z l^{-\frac{Z^2}{2}} \cdot \sigma \cdot dZ = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \int_0^z l^{-\frac{Z^2}{2}} \cdot dZ.$$

Значения этого интеграла приводятся в математических справочниках и могут быть использованы для ряда пересчетов с целью установления связи между суммарным остатком на ситах

$$2 \int Y \cdot dx = f(Z)$$

и условным диаметром

$$Z = \frac{x}{\sigma}.$$

В частности, используя выведенную закономерность, можно установить связь между остатком на одном и на нескольких ситах в зависимости от наличия остатка на первом центральном сите.

В табл. 14 приведены расчетные остатки на разных ситах $f(Z_i)$ в зависимости от концентрации зерен на одном сите $f(Z_1)$.

Теоретическое распределение зерен на ситах

Условный размер одного сита	Остатки на ситах				Условный размер одного сита	Остатки на ситах			
	одном	двух	трех	четы- рех		одном	двух	трех	четы- рех
0,1	0,08	0,16	0,24	0,38	0,6	0,45	0,77	0,93	1,00
0,2	0,16	0,31	0,45	0,68	0,7	0,51	0,84	0,96	1,00
0,3	0,24	0,45	0,63	0,87	0,8	0,57	0,89	0,98	1,00
0,4	0,31	0,57	0,77	0,95	0,9	0,63	0,94	0,99	1,00
0,5	0,38	0,68	0,87	0,99	1,0	0,68	0,95	1,00	1,00

Если для примера остаток на первом сите $f(Z_1) = 57\%$, то на двух ситах можно ожидать остаток $f(Z_2) = 89\%$, а на трех ситах $f(Z_3) = 96\%$.

Анализ результатов пересчетов действительных анализов позволяет сделать выводы.

1. Подтверждается закономерность распределения зерен по нормальному закону.

2. По остатку на одном сите можно оценить остатки на остальных ситах.

3. Распределение действительных остатков зерен на ситах может служить признаком однородности месторождения.

4. Сопоставление действительных и расчетных остатков на ситах может служить признаком качества эксплуатации месторождения.

15. ОЦЕНКА ФОРМЫ ЗЕРЕН

Расчетное выражение очертания зерен основано на сопоставлении между собой отношений поверхности и объема зерен, как например,

$$C_1 = \frac{\text{поверхность теоретическая}}{\text{поверхность измерения}}.$$

При этом теоретическая поверхность рассчитывается в предположении, что все зерна имеют форму шара

$$C_2 = \frac{\text{поверхность зерен}}{\text{объем зерен}}.$$

В большинстве случаев эти расчеты не приводят к положительным результатам [36] главным образом по двум причинам.

Отношение поверхности к объему шара с диаметром d и куба с той же длиной ребра приводит к одинаковому результату, а именно:

$$C_{\text{шара}} = \frac{\pi \cdot d^2}{\pi \cdot \frac{d^3}{6}} = \frac{6}{d};$$

$$C_{\text{шара}} = \frac{6 \cdot d^2}{d^3} = \frac{6}{d}.$$

Между тем очевидно, что и степень угловатости шара не может быть отождествлена со степенью угловатости куба.

Второй причиной является то, что при расчетах не учитывается качество поверхности зерен. Между тем оно оказывает очень большое влияние на поведение смесей в форме.

По мнению автора, форма зерен может быть охарактеризована прежде всего сопоставлением с эталонами, наподобие имеющихся в ГОСТе, но значительно дополненных, в частности, характеристикой поверхности зерен.

Кроме того, форма зерен может быть охарактеризована величиной газопроницаемости, что будет подробно освещено в пятой части книги.

Глава II

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Очень многие свойства формовочных песков и глин в значительной степени предрешаются их минералогическим составом. Можно уверенно предполагать, что именно углубленные минералогические исследования, приведенные на физико-химической (а не только на химической) и кристаллографической основе, прольют новый свет на свойства формовочных материалов и, что наиболее важно, на их поведение при высоких температурах.

Всего минералов насчитывается несколько десятков. Их рассмотрение не представляется возможным [37]—[39]. Поэтому необходимо ограничиться установлением общих закономерностей, связанных с минералогическим составом формовочных песков и глин. Эти общие закономерности, как и в других аналогичных случаях, удобнее устанавливать применительно к принимаемой классификации.

С этой точки зрения удобно все минералы разделить на водные и безводные, которые, в свою очередь, могут быть разделены на окислы и соли.

Минералы, наиболее часто встречающиеся среди формовочных материалов, приведены в табл. 15. В ней минералы расположены применительно к простейшей классификации (Д. Дана).

Сводная таблица минералов

№ по пор	Класс	Группа	Подгруппа	Кислородная характеристика	Объединенное название	Название минерала	Химический состав	Удельный вес	Температура плавления в °С	Твердость по шкале Мооса	Примечание
1	II. Сульфиды	—	—	—	—	Пирит	FeS_2	4,95—5,10	Разложение 325—344	6,0—6,5	Серный колчедан
2	IV. Галлоиды	—	—	—	—	Каменная соль	NaCl	2,1—2,1	—	2,5	—
3	—	Окись кремния	—	—	—	Кварц	SiO_2	2,65	1710	5,5—7,0	—
4	V. Окислы	Окислы металлов	Безводные	R_2O_3	—	Корунд	Al_2O_3	3,5—4,0	1750—1800	9	—
5					—	Гематит	Fe_2O_3	4,9—5,3	1350	5,5—6,5	Красный железняк
6				$\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}_3 = \text{R}_3\text{O}_4$	—	Магнетит	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	4,9—5,2	1100	5,5—6,5	Магнитный железняк
7					—	Хромит	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	4,3—4,5	—	5,5	Хромистый железняк
8					—	Шпинель	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	3,5—4,1	1240—1300	8	—
9				RO_2	—	Рутил	TiO_2	4,2—4,3	1560—1570	6,0—6,3	—

10			Водные	RO_2	—	Ильменит	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	4,5—5,0	—	5—6	—
11				$\text{R}_2\text{O}_3 + n(\text{H}_2\text{O})$	—	Лимонит	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	4—5	Удаление влаги 300	5	Бурый железняк
12					—	Диаспор	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,3—3,5	Удаление влаги 510—555	6,5—7,0	—
13					—	Боксит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2—3	Удаление влаги 200—300	1—3	—
14					—	Гетит	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4,0—4,4	Удаление влаги 230	5,0—5,5	Бурый железняк
15	VI. Соли кислородных кислот	Карбонаты	Безводные	$\text{RO} \cdot \text{CO}_2$	—	Кальцит	CaCO_3	2,7	Разложение 880—900	3	—
16				$\text{RO} \cdot \text{CO}_2$	—	Доломит	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	2,8—2,9	Разложение 500—580	3,5	—
17				$\text{RO} \cdot \text{CO}_2$	—	Сидерит	FeCO_3	3,7—3,9	Разложение 400—510	3,4	Шпатовый железняк
18				$\text{RO} \cdot \text{CO}_2$	—	Магнезит	MgCO_3	3,1—3,3	Разложение 470—600	3,5	—

№ по пор.	Класс	Группа	Подгруппа	Кислородная характеристика	Объединенное название	Название минерала	Химический состав	Удельный вес	Температура плавления в °С	Твердость по шкале Мооса	Примечание
19	VI. Соли кислородных кислот	Силикаты	Безводные	Полисиликаты $RO(SiO_2)_2$ (1:4) $2RO \cdot (SiO_2)_3$ (1:3)	Полевые шпаты	Калиевый полевшпат	$K_2O \cdot Al_2O_3 \times 6SiO_2$	2,56—2,57	1140—1240	6	Микроклин
20						Альбит (аб)	$Na_2O \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$	2,61—2,64	1100—1160	6,0—6,5	Натриевый
21						Анортит (ап)	$CaO \cdot Al_2O_3 \times 2SiO_2$	2,73—2,76	1160—1250	6,0—6,5	Кальциевый
22					—	Плаггиоклазы	$CaO \cdot Al_2O_3 \times 2SiO_2$ $m ab n an $	2,65—2,72	1135—1170	6,0—6,5	—
23				Бисиликаты $RO \cdot SiO_2$ (1:2)	—	Диопсид	$CaO \cdot MgO \times 2SiO_2$	3,11—3,35	1200—1300	6	—
24						Авгит	$CaO(MgFe) \times 2SiO_2$	3,19—3,5	1085—1210	5,0—6,5	—
25						Энстатит	$MgOSiO_2 + \text{до } 5\% FeO$	3,1—3,6	1075—1380	5—6	—

26						Гиперстен	$(Fe, Mg)O \times SiO_2$ с содерж. до 15—20% FeO	3,1—3,6	1180—1270	5—6	—
27						Бронзит	$(Mg, Fe)O \times SiO_2$ с содерж. до 5—15% FeO	3,1—3,6	1360—1400	5—6	—
28						Роговая обманка	$(CaO)_2 \times (Mg, Fe) \times 4SiO_2 + Na_2O \times Al_2O_3 \times 4SiO_2$	3,05—3,47	1050—1100	5—6	—
29					—	Тремолит	—	2,9—3,1	1090—1270	5—8	Актинолит
30					—	Дистен	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	3,16	1850	7	—
31					—	Гранит	$(Ca, Mg, Fe, Mn)O \cdot (Al, Fe, Cr)_2O_3 \times SiO_2$	3,3—4,3	1010	6,5—7,5	—
32					—	Циркон	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	4,5—4,7	2000	7,5	—
33					—	Андалузит	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	3,6	1330—1390	5,7	Силиманит Цианит

№ по пор.	Класс	Группа	Подгруппа	Кислородная характеристика	Объединенное название	Название минерала	Химический состав	Удельный вес	Температура плавления в °С	Твердость по шкале Мооса	Примечание
34	VII. Соли кислородных кислот	Силикаты	Безводные	Моносилкаты 2ROSiO_2	—	Эпидот	$m\text{Ca}_2 \times \times (\text{AlOH}) \times \times (\text{Al} \cdot \text{Fe})_2 \times \times (\text{SiO}_4)_3$	3,3—3,6	954—1095	6,5	—
35					—	Турмалин	—	2,98—3,2	1012—1020	7,5	—
36					—	Оливин	—	3,3—3,4	1310—1445	6,5—7,0	—
37					Слюды	Мусковит	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \times \times 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	1260	2,5—3,0	Серицит
38						Биотит	$(\text{H}_2\text{K}_2) \text{O} \times \times 2 (\text{Mg}, \times \text{Fe}) \text{O} \times \times (\text{Al}_2\text{Fe}_2) \times \times \text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	—	1150—1240	2,5—3,0	—
39						Глауковит	$\text{KMg} (\text{Fe}, \text{Al})_3 \text{O}_6 \times \times \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	2,2—2,8	—	2	—

40	Водные			Хлорит	Хлорит	$5(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \times \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \times 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2,6—3,0	—	2—3	—
41				Серпентин и тальк	Змеевик	$2\text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{MgO} \times \times 2\text{SiO}_2$	2,5—2,6	1480	2,5—4,0	Серпентин
42				—	Асбест	$3\text{Mg}_2\text{O} \times \times 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,5—2,6	1275	2,5—4,0	—
43					Тальк		2,7—2,8	—	1	
44				Каолиниты	Каолин	$\text{Al}_2\text{O}_3 \times \times 2\text{SiO}_2 \times \times 2\text{H}_2\text{O}$	2,6	1750—1787	2,0—2,5	—
45					Монтмориллонит	$n(\text{CaMg}) \times \times \text{OAl}_2\text{O}_3 (4+5)\text{SiO}_2 + + n\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	—
46					—	Гидрослюда	$(\text{H}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 (2-3)\text{SiO}_2 + \times n\text{H}_2\text{O}$	—	—	—
47	Фосфаты	—	—	—	Апатит	$(\text{CaF}) \text{Ca}_4 \times \times (\text{PO}_4)_3 (\text{CaCl}) \text{Ca}_4 \times \times (\text{PO}_4)_3$	3,2	1220—1550	4,5—5,0	—
48	Сульфаты	—	—	—	Гипс	CaSO_4	—	—	—	—

2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Применительно к указанной классификации можно установить следующие общие закономерности.

1. Безводные минералы, как правило, менее дисперсны, чем водные.

2. Водные минералы могут быть уподоблены состоянию, приближающемуся к раствору: чем более они гидратизированы, тем они, как правило, более дисперсны.

3. Безводные минералы, как менее дисперсные, встречаются главным образом среди зерновой составляющей, а водные минералы встречаются главным образом среди глинистых составляющих.

4. Чистые окислы обладают, как правило, большой огнеупорностью. Чем соли химически менее однородны, тем менее минералы огнеупорны.

5. После потери воды водные минералы превращаются в безводные окислы или безводные соли, становясь при этом менее дисперсными.

В дальнейшем более подробно будут рассмотрены минералы, представляющие повышенный интерес.

3. ПРИМЕРЫ МИНЕРАЛОВ

Окислы

В соответствии с указанной общей закономерностью безводные окислы встречаются главным образом среди зерновой части песков, а водные окислы среди глинистых составляющих.

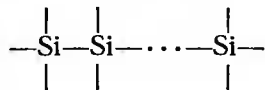
Минералы этой группы могут быть разделены на окислы кремния и на окислы металлов. Водные окислы встречаются только среди окислов металлов.

Кварц [40]—[42]

Кварц является в настоящее время наиболее распространенным минералом среди формовочных материалов.

По современным представлениям кварц состоит не из молекул SiO_2 , как это раньше предполагалось, а из отрицательно заряженных комплексных ионов $(\text{SiO}_4)^{-4}$. Пространственно этот анион считается состоящим из тетраэдров, в центре которых расположены катионы кремния Si^{+4} , а по углам тетраэдра анионы кислорода O^{-2} (фиг. 8). Возможная схема циклической структуры кварца приведена на фиг. 9.

Не исключено расположение атомов Si в виде цепочки, которая может быть изображена в виде простейшей схемы:



Из сказанного могут быть сделаны выводы.

1. Кристалл кварца представляет собой плотно упакованный и прочный полимер, а не сочетание отдельных молекул.

2. Не все атомы кислорода равноценны. Кроме атомов кислорода с насыщенными валентностями (неактивными), имеются внешне активные атомы кислорода, несущие по одному отрицательному заряду. Этот заряд может быть использован для присоединения катионов.

3. Можно ожидать разные свойства кварцевых полимеров в зависимости от состояния и формы активных внешних атомов кислорода. Эти вопросы совершенно не изучены, хотя представляют очень большой практический интерес. Предварительные опыты показывают возможность значительного увеличения прочности смесей при обработке кварцевых зерен натриевыми солями.

Кварц встречается в нескольких модификациях, различающихся разным взаимным расположением комплексных ионов

в кристаллических решетках. Схема возможных модификационных изменений по Феннеру приведена на фиг. 10. Из рассмотрения этой схемы могут быть сделаны следующие выводы.

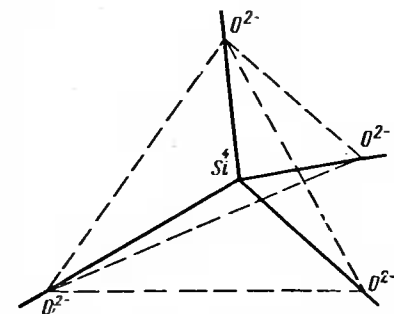
1. При обычной температуре подвергавшийся тепловому воздействию кварц находится в виде модификации α .

2. При нагреве до температуры 575°C α -кварц переходит в β -кварц.

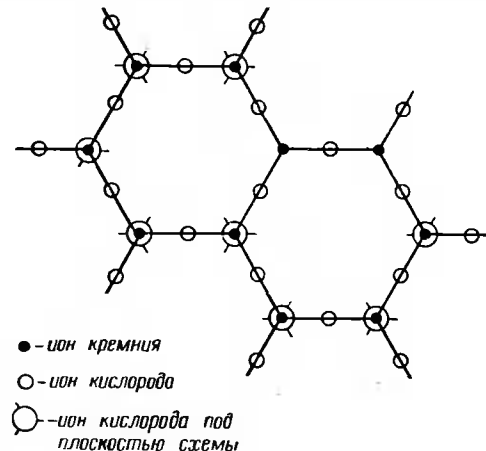
3. При дальнейшем нагреве кварц переходит в тридимит и кристобаллит.

4. После расплавления и последующего охлаждения получается аморфное кварцевое стекло.

Эти модификационные изменения имеют очень большое практическое значение. На их основе можно установить следующие закономерности.



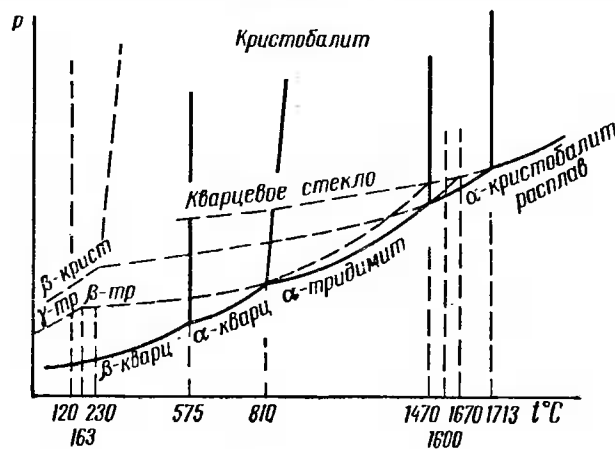
Фиг. 8. Возможная схема комплексного иона $(\text{SiO}_4)^{-4}$.



Фиг. 9. Возможная схема структуры кварца.

1. Переход кварца из низкотемпературной модификации α в высокотемпературную модификацию β сопровождается резким изменением объема.

Такое увеличение объема происходит очень быстро и в очень узком промежутке температур. Оно вызывает, с одной стороны, искажение размеров отливки, а, с другой стороны, появление в кварцевых зернах напряжений, могущих привести к их растрескиванию. Это растрескивание обнаруживается после обра-



Фиг. 10. Диаграмма состояний кварца.

ботки кварцевых зерен под бегунами, что приводит в некоторых случаях к ошибочным выводам исследователей, изучающих процесс растрескивания кварцевых зерен непосредственно после нагрева.

Кремний получился или в результате разрушения изверженных горных пород, или путем выпадения из водных растворов. В последнем случае кварцевые зерна встречаются в наиболее дисперсном виде. Они называются кварцевой мукой, кварцевой пудрой или менее рационально — маршаллитом. В естественном виде кварцевая мука встречается в Коктубаевском и Болотовском месторождениях (Урал), на Алтае и в Новосибирской области. Она может быть получена и путем искусственного размола чистых кварцевых зерен. Как правило, такая искусственно размолотая мука получается чище, чем естественная.

Искусственно размолотый валунный кварцит применяется в районе Магадана в качестве песчаной основы смесей.

2. Наименьшим коэффициентом теплового расширения обладает плавленый кварц, а именно около 0,02% на 1000° (см. фиг. 10).

3. Тридимит обладает также значительно меньшим коэффициентом теплового расширения, чем кварц. Однако переход кварца в тридимит происходит очень медленно. Поэтому он встречается в отработанных формовочных смесях, подвергшихся многократной заливке металлом, плавящимся при повышенных температурах (чугун и сталь) и то только в небольших количествах.

В естественных песках тридимит практически не встречается.

Хромит [43]—[45]

Теоретический состав хромита $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, что соответствует 25% Fe, 46,5% Cr, 28,5% O или 68% Cr_2O_3 и 32% FeO. Однако из-за засорения примесями содержание хрома значительно ниже и в лучших образцах хромита содержание окиси хрома не превышает 60%. В большинстве случаев оно укладывается в границы 35—45%. По техническим условиям большинства заводов содержание окиси хрома 35% принимается нижней допустимой границей. Содержание кремнезема допускается не выше 8%.

Особенно вредной считается примесь CaO , как указатель наличия в хромите карбоната CaCO_3 , который распадается при нагреве с выделением CO_2 , могущего вызвать образование газовых раковин. По техническим условиям многих заводов содержание CaO допускается не выше 1%. По данным К. М. Зверева (УЗТМ) удаление CO_2 из хромита может быть достигнуто его прокаливанием при температурах 900—1000° C, желательно выше 1050° C.

Основное преимущество хромита — его пониженная химическая активность, поэтому он применяется как облицовочный состав при крупном стальном литье. Температура его плавления доходит до 1900° C, но в большинстве случаев не превышает 1800° при содержании Cr_2O_3 — около 40%.

Недостатком хромистого железняка является его расширение при переходе закиси железа FeO в окись Fe_2O_3 .

С этими указаниями перекликается сообщение П. И. Шпортенко, который на основании опыта НКМЗ считает основным показателем качества хромистого железняка высокое отношение окиси хрома к закиси железа. Он считает это отношение в границах 2,5—3,0 для саранского и 4—5 для кимперсайского месторождения. Теплопроводность хромита значительно выше, чем теплопроводность кварцевого песка.

Объемный вес хромистого железняка кимперсайского месторождения 2,9—4,0 г/см³. Хромистый железняк обладает повышенной рН, поэтому необходима осторожность при его использовании в сочетании с золем кремнезема.

Хромит или хромистый железняк встречается или в виде отдельных валунов (валунчатый хромистый железняк), или в виде пластов (рядовой хромистый железняк или хромистая руда).

Валунчатый хромистый железняк и хромистая руда встречаются на Урале и в Казахстане.

Добыча хромистой руды лучше механизирована, поэтому она обходится несколько дешевле.

Боксит

В качестве формовочного материала применяется боксит, переработанный на окись алюминия в виде глинозема. Перед использованием он должен быть обожжен для уменьшения водопоглощения.

После плавления и дробления глинозем получается в виде корунда, устойчивого против многих агрессивных сред и инертного по отношению ко многим жаропрочным сплавам [46].

Соли безводные

Среди формовочных материалов встречаются минералы в виде солей: силикаты, сульфиды и карбонаты.

Из числа сульфидов встречается только пирит. Он относится к числу вредных примесей, так как при нагревании из него выделяется сера, могущая перейти в металл.

Очень перспективными являются карбонаты.

Силикаты разделяются по признаку отношения содержания атомов кислорода кремния к содержанию атомов кислорода в других окислах:

а) поли сили к а т ы с отношением 3 и более. К числу полисиликатов относятся минералы типа $RO (SiO_2)_2$ или $2RO (SiO_2)_3$, что соответствует кислотам типа H_2SiO_5 или $H_4Si_3O_8$. К числу полисиликатов относятся большая группа минералов, называемых полевыми шпатами;

б) би сили к а т ы с отношением кислорода, равным 2. Бисиликатом является минерал с формулой $RO \cdot SiO_2$, что соответствует кислоте типа H_2SiO_4 ;

в) моно сили к а т ы с отношением кислорода, равным единице. Моносиликатом является минерал с формулой $2RO \cdot SiO_2$, что соответствует кислоте H_4SiO_4 . К числу моносиликатов относятся минералы циркон и оливин.

Полевые шпаты

Полевые шпаты (или полешпаты) относятся наряду с кварцем к числу минералов, наиболее распространенных среди формовочных материалов. Они в соответствии с приведенной общей закономерностью обладают меньшей огнеупорностью, чем чистый кварц, поэтому применяются главным образом в смесях, к которым не предъявляется высоких требований в отношении огнеупорности. К их числу относятся смеси для цветного и мелкого чугуна литья.

Полевые шпаты рассматриваются как нестойкие минералы, из которых образовались другие, более стойкие минералы, например каолины и кварц.

Циркон [47], [48]

Теоретический состав циркона при схематическом пересчете приведенной формулы: 67% ZrO_2 , 33% SiO_2 .

В природных условиях встречается в смеси с другими минералами: рутал, дистен, ильменит, кварц, окислы железа.

При этих условиях циркона содержится до 10%, что соответствует содержанию циркония до 5%. В концентрате содержание циркона превышает 90%.

Ориентировочные технические условия на цирконовый концентрат: ZrO_2 не менее 65%, TiO_2 не более 0,5%, Fe_2O_3 не более 0,1%, Al_2O_3 не более 0,1%, R_2O_3 не более 0,5%, P_2O_5 не более 0,15%.

Следует иметь в виду, что циркон, полученный обогащением флотацией, может содержать на поверхности слой масла, снижающий прочность смесей. По опытам НИИЛИТМАШ успешные результаты получаются при использовании обезжелезненного или дополнительно очищенного цирконового концентрата.

Применение циркона как формовочного материала объясняется его свойствами.

1. Повышенной огнеупорностью. Чистый циркон плавится при температуре, превышающей $2000^\circ C$. Однако из-за наличия в нем примесей его температура плавления снижается до $1600^\circ C$. Более низкая температура плавления не допускается по большинству технических условий.

2. Малым коэффициентом теплового расширения. По сравнению с кварцем он вдвое меньше при температурах ниже 500° и втрое ниже при температурах $500-1000^\circ C$. Еще ниже этот коэффициент у плавленного циркона. Но его стоимость приблизительно в 10 раз выше, чем стоимость неплавленного циркониевого песка.

3. Теплопроводностью, которая вдвое выше теплопроводности кварца. С учетом его более высокого удельного веса его тепловая аккумулирующая способность также очень велика и достигает до $50 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$.

4. При оценке количественного состава цирконовых смесей необходимо учитывать его более высокий удельный вес, достигающий до 4,7.

Встречается циркон на Урале в Челябинской области и в Мариупольском районе.

Оливин [49]—[51]

Формуле $MgO \cdot FeO \cdot SiO_2$ соответствует содержание 23% MgO , 42% FeO и 35% SiO_2 .

Значительное расхождение между расчетными по стехиометрической формуле и реальными анализами указывает на явный избыток окисла MoO по сравнению с содержанием закиси железа.

Большая величина потерь при прокаливании указывает на то, что оливины были обогащены флотацией. Применение таких оливинов в необоженном виде нежелательно.

При полном отсутствии FeO минерал получает название форстерит ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), а при полном отсутствии MgO минерал получает название фаялит ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$). Таким образом, оливин может рассматриваться как твердый раствор форстерита и фаялита.

Пересчет реального анализа на молекулярный состав приводит к выводу, что оливин соответствует приблизительная формула



Приведенная формула оливина может быть изображена в виде $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_4$. Эта формула указывает на насыщение свободных валентностей кислорода катионами магния и железа, что, в свою очередь, указывает на пониженную химическую активность Оливина по сравнению с кварцем. Этим обстоятельством могут быть частично объяснены положительные результаты, полученные при замене кварца оливином.

Температура плавления форстерита около 1900° , а фаялита — около 1200°C .

Из этого сопоставления можно усмотреть значительную зависимость температуры плавления оливина от соотношения содержания в оливине окислов магния и железа. Снижение температуры плавления наблюдается и при сплавлении оливина с кварцем. Поэтому не рекомендуется смешивание оливинового песка с обычным кварцевым.

К преимуществам оливиновых песков относится также то, что они не вызывают заболеваний силикозом.

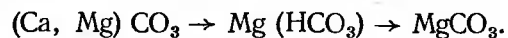
Оливин встречается среди ультраосновных горных пород Урала (район Нижнего Тагила — месторождения Тагильское, Исовское, Уктусское) и на Кольском полуострове (Хаб-озеро), месторождение лунита обнаружено у озера Севан.

Нежелательными примесями к оливинам являются серпентины. Горные породы, содержащие оливина свыше 80%, называются оливинитами, а горные породы, содержащие оливина 60—80%, — дунитами.

Магнезит

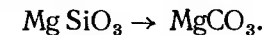
Под магнезитом понимается минерал и огнеупорный материал. Минерал с химическим составом MgCO_3 встречается двух видов.

1. Осадок из водных растворов типа



Он характеризуется хорошо образованными кристаллами и наличием примесей CaO.

2. Продукт разрушения первичных горных пород, содержащих силикаты магния, например



Он характеризуется очень мелкозернистой структурой и наличием примесей SiO_2 . При рассмотрении невооруженным глазом он представляется аморфным.

Примерный состав магнезита: 45% MgO, 1—2% CaO, 0,5—2% SiO_2 , 0,5—2,0% Fe_2O_3 . Потери при прокаливании 50—52%.

Магнезит применяется только в обожженном виде. Различается: 1) каустический магнезит, обожженный при $800\text{—}1000^\circ\text{C}$; 2) магнезитовый порошок, обожженный при $1500\text{—}1800^\circ\text{C}$; 3) плавильный магнезит.

Соли водные

Среди водных солей практическое значение имеют минералы, относящиеся к слюдам, серпентинам, тальку, гипсу [52]—[54] и каолинам, т. е. к числу водных алюмосиликатов.

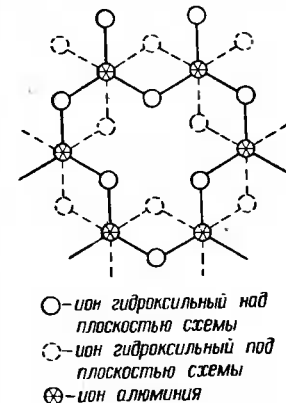
Предположение, что кварц может рассматриваться как сочетание комплексных ионов, позволяет построить пространственные модели кристаллов, кристаллов каолиновой группы. Эти кристаллы содержат гидроксильные ионы OH, которые входят в состав плотно гексагонально упакованных комплексных ионов алюминия. Такая структура иногда называется гиббсит. Возможная схема такой упаковки приведена на фиг. 11 [60].

Структура водных алюмосиликатов может при этих допущениях рассматриваться как сочетание комплексных ионов кремния и алюминия, располагающихся перемежающимися слоями в нескольких сочетаниях.

Возможная схема расположения таких комплексных ионов приведена на фиг. 12. На ее основе могут быть сделаны следующие выводы.

1. Особенность минералов каолиновой группы выражается расположением комплексных ионов в виде перемежающихся слоев. Это расположение предопределяет склонность этих минералов к расслаиванию и к образованию пластинчатых плоских кристаллов. Поэтому глинистые и слюдяные минералы характеризуются чешуйчатым строением.

2. Периферийная часть ионов менее прочно связана с основной решеткой и может быть заменена другими ионами без нарушения ее целостности. Такие ионы могут быть названы о б м е н и в а ю щ и м и с я.

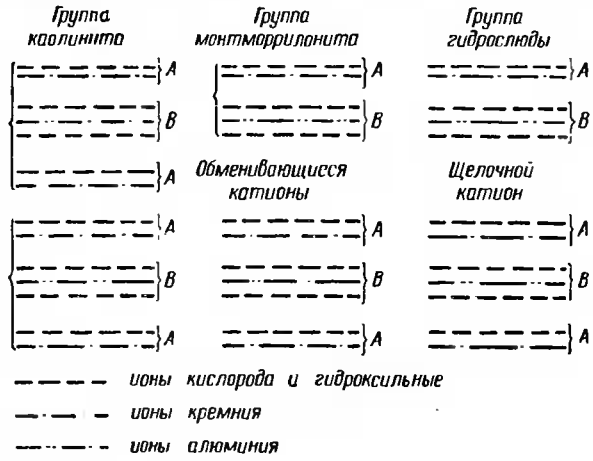


Фиг. 11. Возможная схема комплексного иона алюминия.

3. Минералы этой группы характеризуются разным сочетанием комплексных ионов кремния и алюминия. Они могут быть разделены на 3 группы, а именно:

А. Каолины. Б. Монтморрилониты. В. Гидрослюда. Минералы последней группы называются также иногда и вторичными слюдами.

4. Минералы этой группы характеризуются наличием перемежающихся слоев комплексных ионов кремния и алюминия, так что кремний и алюминий могут заменяться другими элементами, поэтому глины характеризуются разным химическим составом.



Фиг. 12. Схема возможных структур минералов каолиновой группы.

5. Отличие минералов монтморрилонитовой подгруппы состоит в наличии большого количества трехвалентных ионов алюминия, замещенных двухвалентными ионами магния. Поэтому в монтморрилоните имеется повышенное количество избыточных положительных ионов, которые уравниваются частично обменивающимися ионами кальция, натрия и калия. С молекулами воды эти комплексные ионы могут быть ассоциированы так, что расстояния между ними могут изменяться. В среднем можно считать, что в высушенном монтморрилоните (содержание воды около 6%) параметр решетки в направлении набухания составляет около 10 Å, а при наибольшем содержании воды (около 30%) около 20 Å.

Минералы с повышенным содержанием монтморрилонита называются часто бентонитами. В зависимости от преобладающего содержания Na и Ca бентониты называются натриевыми или кальциевыми.

Если принять набухание каолинов за 100, то набухание Са-бентонитов может быть принято 250—300, а Na-бентонитов 600—700.

6. Отличие минералов группы гидрослюд (иллит) состоит в замене части четырехвалентных ионов кремния трехвалентным ионом алюминия, что также создает избыток отрицательных ионов. Они нейтрализуются положительными ионами Na, K, Ca, Mg, расположенными между прослойками комплексных ионов кремния. Эти прослойки значительно прочнее присоединены к прослойкам комплексных ионов алюминия, поэтому эти катионы не могут ассоциироваться с молекулами воды и расстояния между комплексными ионами кремния не могут изменяться наподобие изменений в монтморрилоните.

К гидрослюдам примыкают слюды; они различаются внешне меньшей степенью дисперсности, а по происхождению они могут рассматриваться как звенья, промежуточные между полевыми шпатами и гидрослюдами.

4. МЕСТОРОЖДЕНИЕ И СОПОСТАВЛЕНИЕ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ КАОЛИНИТОВОЙ ГРУППЫ [22]—[26], [70]

Из сопоставления отличий минералов каолинитового ряда можно сделать следующие выводы [55]—[61].

1. Главнейшее отличие монтморрилонита от других минералов каолинитового ряда заключается в возможности изменения расстояния между комплексными ионами алюминия при намокании. Внешне это свойство выражается в возможности значительного набухания монтморрилонитовой глины при ее увлажнении.

2. Монтморрилониты характеризуются повышенным количеством обменивающихся ионов. Количественное сопоставление этих свойств приведено в табл. 16.

Таблица 16

Сопоставление свойств минералов каолинитовой группы

Глина	Каолинитовая	Гидрослюда	Бентониты
Типовой минерал . . .	Каолинит		Монтморрилонит
Кристаллическая решетка	Жесткая	Жесткая	Расширяющаяся
Размеры пластинок в мкм:			
толщина	Больше 20	Больше 100	Больше 1
длина и ширина	Больше 100		Больше 100
Ионно-обменивающийся комплекс миллиэквивалент на 100 г	3—20	10—50	40—160
Образование геля с водой (отношение глины к воде)	1 : 1 до 1 : 2		Кальциевый бентонит 1 : 3. Натриевый бентонит 1 : 10 до 1 : 20

3. Наиболее активно присоединение молекул воды происходит при наличии натриевых обменивающихся ионов. Поэтому натриевые монтморрилониты относятся к более высокому классу.

Обмен на натриевые анионы может происходить и искусственно путем обработки глин натриевыми солями. Подробнее этот вопрос будет освещен в § 4 гл. III части первой.

4. Способность монтморрилонитов при увлажнении к набуханию приводит к свойству усадки при высыхании. Поэтому можно считать монтморрилонитовые глины более пригодными для изготовления форм, не высушиваемых при заливке, а каолиновые глины более пригодными для изготовления форм, высушиваемых перед заливкой.

5. При оценке качества глин необходимо учитывать не только придаваемую ими смесям прочность, но и способность сохранять эту прочность при многократных заливках. По этой причине иногда на практике отдается предпочтение кальциевым бентонитам, которые придают смесям меньшую прочность, но сохраняют ее в течение более длительного времени, чем натриевые, так что итоговый их расход уменьшается.

6. Преимуществом бентонитов по сравнению с глинами является значительно большая развиваемая ими прочность при добавлении в смесь в меньшем количестве. Их недостатком является значительно более быстрая потеря ими прочности при многократных заливках. Кроме того, доставка бентонитов производится для многих районов издалека, что значительно увеличивает их стоимость.

7. Применение огнеупорной глины обосновано в случаях заливки очень крупных деталей; при заливке мелких деталей предпочтение во многих случаях может быть отдано менее огнеупорным полиминеральным глинам, находящимся часто в непосредственной близости от потребителя — литейной. Часто эти глины применяются заводами, изготавливающими красный строительный кирпич. В этом случае особое внимание должно быть обращено на получение глины неизменного качества.

Горные породы, содержащие минералы каолиновой группы, называются в общем виде глинами, а горные породы, содержащие монтморрилонитовые минералы, называются в общем виде бентонитами. В отдельных частных случаях эти горные породы получают разные другие названия.

К числу месторождений с преобладанием каолиновых глин можно отнести:

Белкинское, Богдановичское, Латнинское, Нижне-Увельское, Пятихатское (УССР), Трой-Байновское.

К числу месторождений с преобладанием гидрослюдистых глин можно отнести: Суворовское, Часов-Ярское, Бускульское, Нижне-Увельское.

К числу месторождений, содержащих монтморрилонит, можно отнести месторождения [71]: В Туркменской ССР Огланлинское

(к востоку от Красноводска), ст. Джебел [62]. В Узбекской ССР АЗ-камарское. В Украинской ССР: Черкасское (около 150 км к югу от Киева), Пыжевское, Камышбурунское (Керченское) — кил, Лопушинское, Карцевское [63], [64], [69].

Грузинская ССР: Аскангель, Гумбрин. Татарская АССР: Бикляньское и Нурлатское [65]. Азербайджанская ССР: Гекмалинское, Хурдаланское [66]. Казахская ССР: Келесское [67]. Магаданская обл. [68]. Краснодарский край: район Тамани и Майкопа ¹.

5. ДРОБЛЕННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В самостоятельную группу должны быть выделены дробленые огнеупорные материалы. Их применение экономично почти исключительно в тех литейных, где применяются соответствующие огнеупорные материалы. К их числу относятся хромомгнезит, его примерный состав: 10—15% окиси хрома, 65—42% магнезита, 7—9% кремнезема; 5—7% глинозема, 8—10% окиси железа, 30—50% хромита, 50—70% магнезита [44], [45], [72].

Дробленые материалы применяются обычно просеянными через сито около № 04.

Автору удавалось получать качественные чугунные отливки при использовании дробленого ваграночного шлака. Известны также успешные опыты применения дробленого доменного шлака. При этом желателен шлак гранулированный с небольшими размерами зерен. Более крупные зерна при охлаждении растрескиваются.

П. В. Черногоров сообщил [73] об успешном применении шлака, получаемого при производстве феррохрома на Челябинском заводе ферросплавов.

Глава III

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Один химический анализ не может достаточно полно охарактеризовать свойства формовочных материалов, так как в большинстве случаев важно не абсолютное количество элементов, содержащихся в формовочных смесях, а состояние, в котором они находятся.

Кроме того, оценка смесей по химическому составу должна быть связана с условиями службы литейной формы. Например, в подавляющем большинстве технических условий граница допустимого содержания элементов рассматривается с точки зрения обеспечения достаточной огнеупорности. Между тем во многих случаях высокая огнеупорность не только не нужна, но и вредна.

Особое место занимает характеристика обменивающихся ионов и концентрация водородных ионов.

¹ Личное сообщение Ю. В. Анфимова.

1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКИСЛОВ КВАРЦЕВО-ГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ СРЕДИ ЗЕРЕН РАЗНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

1. Кремний является наиболее распространенным элементом. Он может встречаться в составе безводных и водных минералов. Кремний в составе безводных минералов встречается среди более крупных зерен (зерновая составляющая), а кремний в составе водных минералов встречается среди более мелких зерен (глинистая составляющая).

2. Кремний в составе кварца может рассматриваться в большинстве случаев как желательная примесь в кварцевых песках, так как свидетельствует об их повышенной огнеупорности.

3. Кремний в составе безводных солей может рассматриваться как нежелательная примесь, так как такие соли снижают огнеупорность смесей (например, полевые шпаты).

4. Кремний в составе водных алюмосиликатов может рассматриваться как признак наличия в смеси глинистых составляющих.

5. Алюминий встречается главным образом в составе безводных и водных алюмосиликатов. Алюминий в составе безводных алюмосиликатов встречается среди более крупных зерен (зерновая составляющая), а алюминий в составе водных алюмосиликатов встречается среди более мелких зерен (глинистых составляющих).

6. Алюминий в составе безводных алюмосиликатов может рассматриваться в большинстве случаев как нежелательная примесь, так как такие силикаты снижают огнеупорность смеси (например, полевые шпаты).

7. Алюминий в составе водных алюмосиликатов может рассматриваться как признак наличия в смеси глинистых составляющих.

Примерное распределение типовых окислов среди зерен разной величины приведено в табл. 17.

Распределение окислов кварцево-глинистого песка среди зерен разной величины [74]

Таблица 17

Окислы	Содержание в средней пробе в %	Величина зерна в мм				
		0,25 до 0,50	0,10 до 0,25	0,05 до 0,10	0,01 до 0,05	Менее 0,01
SiO ₂	86,9	94,4	89,1	85,3	69,1	58,2
Al ₂ O ₃	6,4	2,8	5,3	6,9	14,1	19,6
Fe ₂ O ₃ + FeO	1,2	0,5	0,9	1,5	3,2	6,0
MgO + CaO	0,6	0,3	0,5	0,8	2,3	3,1
Na ₂ O + K ₂ O	3,6	1,7	3,3	3,8	6,0	6,1
TiO ₂	0,3	0,1	0,2	0,4	1,0	0,7
П. П. П.	1,0	0,5	0,7	1,4	4,3	6,3
Всего . . .	100,0	100,3	100,0	100,1	100,1	100,0

2. ПРИМЕРЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Из сказанного не следует делать вывода о нецелесообразности проведения во всех случаях химического анализа. Он может быть рекомендован или в сочетании с другими методами анализа, или как наипростейший метод, который может быть использован в полевых условиях.

В качестве примера можно привести следующие случаи.

1. **Повышенное содержание кремнезема в отмытых песках** с большой долей достоверности указывает на повышенную их огнеупорность в связи с повышенным содержанием минерала кварца.

2. **Определение отношения кремнезема к глинозему** в глинистой части песков и глин может дать представление о качестве глинистых составляющих. При избытке кремнезема можно опасаться наличия среди глинистых составляющих мелкодисперсного кварца, а не минералов типа каолинита.

3. **Определение CO₂** в полевых условиях может помочь отбраковке менее качественных участков песков, засоренных карбонатами. Это определение осуществляется при энергичном взбалтывании в пробирке со смесью испытываемого песка воды и подлитых нескольких капель кислоты.

3. ОЦЕНКА ПЕСКОВ И ГЛИН ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ [75]—[79]

Наиболее осторожные рекомендации, долженствующие обеспечить достаточную огнеупорность, были приведены в ГОСТе 2138-56. Допустимое содержание примесей по этому стандарту приведено в табл. 18. Химический состав по этому стандарту относится только к кварцевым пескам, т. е. содержащим не более 2% глинистых составляющих.

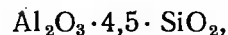
Таблица 18

Стандартные требования химического состава на кварцевые пески (содержание глинистой составляющей не более 2%)

Класс песка	Химический состав в %			
	Кремнезем	Сера сульфидная	Окислы щелочно-земельных и щелочных металлов	Окись железа
	не более			
1К	57	Не допускается	K ₂ O + Na ₂ O 0,5 CaO + MgO 1,0	0,75
2К	96	0,025	1,5	1,0
3К	94	0,025	2,0	1,5
4К	90	—	—	—
КП	Не более 90	—	—	—

По изложенным соображениям, оценка по химическому составу глин еще более условна, чем оценка по химическому составу песков [24]—[26].

К числу показателей, характеризующих качество глин, принято по нашим стандартам отношение кремнезема к глинозему. Если принять в водных алюмосиликатах наибольшее отношение содержания атомов кислорода в кремнеземе к количеству атомов кислорода в других окислах равным трем, что соответствует общей формуле



то максимальное отношение кремнезема к глинозему составит

$$\frac{4,5 \cdot 60}{102} = 2,65,$$

где 60 и 102 соответственно молекулярные веса кремнезема и глинозема.

Поэтому считается, что при соотношении содержания кремнезема к глинозему свыше 2,65 в глинах кремнезем имеется в свободном виде, а не в виде водного алюмосиликата. Такая глина называется *отощенной* и должна обладать меньшей степенью дисперсности, чем глина, состоящая только из водных алюмосиликатов. Меньшая степень дисперсности связана с ее меньшей прочностью во влажном состоянии, поэтому для изготовления форм, заливаемых во влажном состоянии, предпочтение отдается глинам с соотношением кремнезема к глинозему не свыше 2,65.

Необходимо подчеркнуть условность такого критерия качества глины. Этот критерий по своей абсолютной величине выдерживается как приблизительная средняя величина, но на практике могут наблюдаться значительные отклонения от этой средней величины. Вместе с тем этот критерий может быть использован для ориентировочной оценки качества отдельных участков данного месторождения, минералогический состав глин которого установлен. Для такого разведанного месторождения отношение количества кремнезема к глинозему может служить критерием наличия среди водных минералов свободного кремнезема. Отощающее влияние кремнезема может оказаться только при проведении «валового» анализа, т. е. среднего состава всех зерен.

В мелких фракциях порядка 0,001 мм не может обнаружиться свободный кремнезем. В этом случае молекулярное соотношение $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ определяется только минералогическим составом мелкодисперсной фазы. Ориентировочно можно считать характерным это соотношение для глин:

монтморрилонитовых	≥4
гидрослюдистых	3—4
каолинитовых	<3

В табл. 19 приведены стандартные границы содержания отдельных окислов в глинах.

Таблица 19

Стандартное предельное содержание примесей в глинах

Сорт глины	Примеси		
	Сера сульфидная	CaO + MgO	Na ₂ O + K ₂ O
С высокой термохимической устойчивостью (огнеупорность не менее 1580° С)	0,2	2	3
Со средней термохимической устойчивостью (огнеупорность не менее 1350° С)	0,3	3	Не нормируется
С низкой термохимической устойчивостью	0,3	Не нормируется	

4. ОБМЕНИВАЮЩИЕСЯ ИОНЫ

Часть элементов входит в кристаллическую решетку минерала и не может быть из нее удалена без разрушения решетки. Часть элементов расположена по граням кристаллической решетки в виде ионов, которые могут быть заменены другими, им равноценными. Схема такого расположения ионов была приведена на фиг. 11. К числу таких обменивающихся ионов относятся К, Na, Mg и Са. Наличие таких обменивающихся ионов характерно для минералов каолинитового ряда. Способность глин к такому обмену выражается миллиэквивалентами на 100 г глины. Она выражается для глин величиной от 10 до 40, а для монтморрилонитов порядка 100 миллиэквивалентов на 100 г. При этом установлено, что свойства монтморрилонита заметно разнятся в зависимости от того, какой ион входит в состав кристаллической решетки. Подробности будут рассмотрены в шестой и седьмой частях книги.

Замена кальциевых ионов на натриевые может быть произведена искусственно путем обработки кальциевых глин содой. Поэтому во многих случаях на практике применяются монтморрилониты (бентониты) искусственные, т. е. обработанные натриевыми солями, главным образом содой. Такие *искусственные бентониты* поставляются западноевропейскими фирмами, но многие европейские литейщики, имевшие возможность сопоставлять у себя на производстве естественные натриевые и обработанные содой кальциевые бентониты, утверждают о значительных преимуществах естественных бентонитов. Характеристика обменного комплекса глин приведена в табл. 20.

Из рассмотрения табл. 20 можно сделать следующие дополнительные выводы:

1. Количество обменивающихся ионов обнаруживается тем большее, чем более дисперсны лепестки глины, так как обменивающиеся ионы расположены на периферийных слоях плоскостей спайности.

2. По этой же причине количество обменивающихся ионов увеличивается по мере увеличения продолжительности размола. Можно ожидать обнаружения разного количества обменивающихся катионов при разных условиях приготовления проб.

3. Представляются широкие возможности перевода кальциевых и магниевых бентонитов в натриевые и калиевые [80], [81]. Имеются сведения, что магниевые бентониты обладают пониженной способностью к ионному обмену. В Чехословакии с той же целью добавляют в смесь соду в количестве 0,3% [82], что в пересчете составляет около 5% от веса бентонита. Иногда с той же целью добавляется 0,05% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (натрий тетрапирофосфат) [83].

5. КОНЦЕНТРАЦИЯ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ

Для характеристики многих свойств песков и глины необходимо знать и концентрацию в них диссоциированных на ионы веществ. Эта величина выражается в виде концентрации водородных ионов. Растворы, в которых концентрация водородных и гидроксильных ионов одинакова, называются нейтральными. Во всех случаях суммарная концентрация водородных и гидроксильных ионов остается постоянной и равной 10^{-14} моль на 1 л. Для удобства пользования этой величиной концентрация выражается ее логарифмом, взятым с обратным знаком, и обозначается в виде pH. Таким образом, в нейтральном растворе концентрация водородных ионов принимается равной 10^{-7} или pH=7. В кислой среде pH меньше 7, а в щелочной среде pH больше 7.

В качестве примера приведены определенные автором и О. В. Колачевой величины pH для нескольких типовых песков:

Материал	pH
Глинистый репинский песок	7,2
Глинистый тамбовский песок	7,1
Глинистый люберецкий песок	5,6
Люберецкий песок + 2,5—5,0% бентонита	8,6
Молотый шамот + 2,5—5,0% бентонита	9,1
Люберецкий песок + 10—15% боровической глины	7,6
Суспензия бентонитов [63], [64], [71]	8 ± 1

Из рассмотрения этой таблицы можно заметить:

а) глинистые пески, репинский и тамбовский, характеризуются почти нейтральной реакцией (pH = 7,1 и 7,2);

б) глинистый люберецкий песок характеризуется кислой реакцией;

Месторождение	Общая емкость обменного комплекса <i>мг экв</i> (100 г глины)	Состав обменных катионов в %	
		Na, K	Ca, Mg
Бентониты			
Хурдалан (Азербайджан) ¹	76	8	92
Ханлар »	48	6	94
Гекмалы »	61	69	31
Бентонит Уоминг (США) [63], [64]	90—110	80	20
Огланлинское [63], [55], [71]	80—130	40—80	20—60
Аз Камарское [71]	145	85	15
Асканское [71]	110	50	50
Хурдаланское [71]	62	60	40
Бикляньское [71]	68	20	80
Черкасское [63], [55], [69], [71] . .	90—100	14	86
Пальгорское	36—46	15—23	20—22
Горбское [63], [55], [69], [71]	33—58	5—60	40—95
Камыш Бурун [55], [71]	40—55	15—25	75—85
Пыжевское [63], [64], [55]	137	8	92
Каолинитовые			
Латнинское [71]	7—27	6—10	90—94
Пятихатское [63], [64]	30—15	80—20	20—80
Каолинит естественный после раз- мола в течение:			
двух суток	57	—	—
четырёх суток	70	—	—
пяти суток	100	—	—
Гидрослюдистые			
Часов-Ярское [71]	14—26	11—28	72—89
[63], [64]	30	70	30
Суворовское [71]	5—14	5—7	93—95
Распределение по фракциям в мк:			
— 250+50	—	—	7
— 50+10	—	2	9
— 10+5	—	26	39
— 5+1	—	12	9
— 1	—	60	36
Всего		100	100

¹ Личное сообщение И. В. Руссо,

в) при прибавлении к люберецкому песку бентонита смесь становится основной ($pH = 8,6$), что указывает на щелочной характер бентонитов;

г) молотый шамот + то же количество бентонита показывает еще более основную реакцию ($pH = 9,1$), что указывает на щелочной характер шамота;

д) люберецкий песок + 10—15% боровической глины показывают $pH = 7,6$, т. е. средний между pH для этого же песка + бентонит и + боровическая глина.

Опыты других авторов подтвердили явно основной характер бентонитов.

а) Исследованные материалы в порядке снижающейся основности можно располагать в такой последовательности:

- 1) молотый шамот — наиболее основной материал;
- 2) бентонит;
- 3) боровическая глина;
- 4) пески репинский и тамбовский (нейтральные);
- 5) люберецкий песок (кислый).

ж) Естественно, что часть проведенных анализов отражает случайность взятия проб и не может рассматриваться как характерная для всего месторождения. Но определение концентрации водородных ионов должно занять должное место в ряду характеристики свойств исходных материалов.

Оценка смесей по величине pH будет произведена ниже.

Глава IV

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СВОЙСТВ [84], [75]

Физико-химические методы определения первичных свойств песков и глин применяются главным образом для уточнения свойств минералов.

К числу чаще применяемых методов можно отнести:

- 1) рассмотрение в лучах разной длины; сюда относятся рассмотрение в лучах видимого спектра, рентгеноструктурный и люминесцентный анализ;
- 2) dilatометрический;
- 3) термический;
- 4) определение твердости;
- 5) определение удельного веса.

1. РАССМОТРЕНИЕ В ЛУЧАХ РАЗНОЙ ДЛИНЫ

Рассмотрение поверхности зерен в лучах видимого спектра относится к числу наиболее распространенных и простейших методов определения первичных свойств песков и глин.

Однако рассмотрение невооруженным глазом оказывается в подавляющем большинстве случаев недостаточным, поэтому применяются разные оптические увеличивающие системы. К их числу относятся простые лупы. Необходимая во многих случаях рельефность изображения достигается применением бинокулярных луп. При выборе кратности увеличения луп надо считаться с потерей глубины фокуса по мере увеличения кратности. Поэтому лупы для рассмотрения поверхности зерен песков применяются со степенью увеличения не выше 100-кратного, но в большинстве случаев не рекомендуется переходить 40-кратное увеличение.

Для рассмотрения подробностей строения отдельных зерен мелкодисперсных глинистых составляющих такое увеличение оказывается совершенно недостаточным. Возможность микроскопа обнаружить наиболее мелкие подробности характеризуется его разрешающей способностью. Она зависит от строения нашего глаза и от длины используемых лучей. Невооруженным глазом можно обнаружить подробности величиной 0,4 мм, или 400 мк. Следовательно, невооруженным глазом можно рассматривать и зерна порядка указанной величины. Возможность использования оптических увеличивающих систем ограничивается возможностью рассматривать подробности, не меньшие по величине $\frac{1}{3}$ световой волны. Если принять среднюю длину волны видимого спектра равной около 0,6 мк, то при использовании лучей видимого спектра можно различать подробности порядка $0,6/3 = 0,2$ мк. Отсюда, в частности, следует, что при использовании оптических микроскопов нецелесообразно применять увеличение свыше

$$\frac{400}{0,2} = 2000.$$

При увеличении свыше этой величины все же из-за достижения предельной разрешающей способности не представляется возможным рассмотреть детали меньше чем 0,2 мк.

Между тем, среди глинистых составляющих встречаются зерна более мелкие чем 0,2 мк. Их рассмотрение и изучение не представляется возможным в лучах видимого спектра.

Некоторое увеличение разрешающей способности можно достигнуть при использовании ультрафиолетовых лучей, примыкающих к видимому спектру с его «короткой» стороны.

Более коренное решение достигается при замене лучей световых электромагнитными с длиной волны до 3 ммк. В этом случае наибольшее возможное увеличение составит

$$\frac{400}{0,001} = 400\,000.$$

Микроскопы с использованием электромагнитных волн называются электронными. Они в настоящее время изготавливаются с увеличениями до указанного порядка. Но в этих случаях они

получаются очень сложными. Более распространены электронные микроскопы с увеличениями на один порядок ниже, т. е. 20 000—40 000.

С помощью электронных микроскопов удалось установить, что лепестки монтморрилонита имеют толщину порядка миллимикрон, а площадь этих пластин превышает толщину в сотни раз.

Еще более короткие волны приобретают способность проникать в толщу облучаемого тела. Такие лучи называются рентгеновскими и гамма-лучами.

С помощью рентгеновских лучей представляется возможным обнаружить кристаллизационную структуру минералов. Этим методом было в частности обнаружено, что решетка минерала монтморрилонит меняется при намокании.

Особое место занимает люминесцентный анализ, который может быть с наибольшим успехом использован при анализе органических связующих добавок.

2. ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Дилатометрический анализ основан на измерении деформаций тел при их расширении. Этот метод представляет очень большой теоретический и практический интерес, так как позволяет не только вскрыть более подробно природу применяемых минералов, но и установить причины некоторых видов брака отливок. В табл. 21 приведены результаты дилатометрических измерений типовых песков и глин по опытам автора, А. М. Лясс и И. А. Виленской, а также других авторов, а приблизительные коэффициенты линейного теплового расширения типовых минералов приведены ниже:

Материал	Средний коэффициент теплового расширения в % на 1000° С	Материал	Средний коэффициент теплового расширения в % на 1000° С
Плавленый кварц	0,02	Шамот	0,7
Карборунд	0,4	Динас	0,9
Циркон	0,5	Магнезит	1,4
Каолин	0,5	Известь	1,4

Из рассмотрения этих данных можно сделать следующие выводы.

1. Пески при нагреве расширяются, а глины сжимаются.

2. Наибольшим расширением обладает кварц. Значительно меньше расширяются циркон и хромомagneзит.

3. Резкое расширение кварца происходит при температуре 575° С, что соответствует температуре перехода кварца из модификации альфа в модификацию бета.

4. После вторичного нагрева кварцевый песок расширяется несколько меньше, чем необожженный песок, но многократный нагрев на расширении не сказывается.

Дилатометрические измерения

Материал	Температура нагрева в °С*											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Г л и н а:												
Часов-Ярская	0,05	0,10	0,10	0,15	0,30	0,40	0,55	0,45	—0,85	—4,05	—8,10	—10,0
Кудиновская	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,65	0,75	+0,75	+0,20	—0,80	—3,65	—5,2
Бентонит	0,05	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	—1,9	—5,9	—9,65	—10,9	—12,55
Репинская	—	0,25	0,40	0,65	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	—0,05	—8,5
Люберецкий кварцевый песок (только расширение)	—	0,3	0,8	1,3	1,9	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7
То же после 5-кратного нагрева	—	0,2	0,6	0,9	1,2	2,5	3,0	3,1	3,15	3,15	3,09	3,04
То же после 10-кратного нагрева	—	0,3	0,6	0,3	1,5	2,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,1
Тот же песок фракции:												
+0,3 мм	—	0,5	0,9	1,5	2,5	4,0	4,0	4,1	4,9	4,3	4,2	4,2
+0,15 мм	—	0,4	0,8	1,4	2,4	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,3	3,3
—0,21 +0,105 мм	—	0,3	0,8	1,5	2,8	3,4	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,2
—0,05 +0,022 мм	—	0,1	0,4	0,6	0,6	1,4	1,7	1,7	1,5	1,4	1,4	1,2

* Минус показывает усадку.

Шкала твердости

Условный номер твердости	Минерал по шкале Мооса	Практические признаки твердости
1	Тальк	Скоблится ногтем
2	Гипс	Царапается ногтем
3	Кальцит	Скоблится ножом
4	Флюорит	Легко царапается ножом
5	Апатит	Трудно царапается ножом
6	Ортоклаз	Трудно царапается стеклом
7	Кварц	Царапается напильником
8	Топаз	—
9	Корунд	—
10	Алмаз	—

или пикнометра можно определить удельный вес отдельных минералов путем погружения смеси в жидкости с известными удельными весами.

В табл. 24 приведены удельные веса некоторых применяемых для этой цели жидкостей. Удельные веса типовых минералов были приведены в табл. 15.

Таблица 24

Удельные веса тяжелых жидкостей

Название жидкостей	Состав жидкостей	Наибольший удельный вес	Жидкость для снижения удельного веса
Туле	$KJ + HgJ_2$	3,2	Вода
Робах-Сушин . .	$BJ_2 + HgJ_2$	3,5	Слабый раствор той же соли
Иодистый метилен	CH_2J_2 , насыщенный иодоформом и иодом	4,6	Бензол
Клейна	$2CdO \cdot B_2O_3 \cdot 9WO_3 \cdot 2H_2O$	3,6	
Клеричи	$CH_4 (COO)_2 Ti_2 + HCOOTl$	4,3	Вода

5. У более мелкого песка замечается меньшее расширение, что может быть связано с увеличением точек соприкосновения.

6. Абсолютная величина расширения и сжатия зависит от конструкции прибора: при увеличении сопротивления деформации абсолютная величина деформации уменьшается. Поэтому при многих испытаниях наблюдаются явления сжатия, которые связаны с нагрузкой со стороны головки дилатометра, вызывающего уменьшение высоты исследуемого образца. По этой же причине не всегда можно сопоставлять результаты измерений, произведенные разными авторами.

3. ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ [88]

Использование термического анализа основано на обнаружении при нагреве модифицированных изменений или экзотермических и эндотермических реакций. К числу модификационных изменений относятся превращения кварца. К числу эндотермических процессов относятся выделения воды из водных минералов и углекислого газа из карбонатов.

В табл. 22 приведены примерные температурные остановки для типовых минералов.

Таблица 22

Примерные остановки при термическом анализе

Минерал	Остановки при температуре в °C			
	I	II	III	IV
Монтморрилонит	50—180	600—650	750—850	
Каолинит	100	350—580	900—1050 *	1200—1280*
Магнезит	402—756			
Кальцит	800—1030			
Доломит	730	900		

* Экзотермический процесс.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И УДЕЛЬНЫХ ВЕСОВ

Относительная твердость минералов определяется путем сопоставления с твердостью минералов, твердость которых известна. В табл. 23 приведены эталонные минералы, твердость которых выражается в условных единицах по шкале Мооса. В той же таблице приведены условные твердости по субъективным внешним признакам. Твердости типовых минералов были приведены в табл. 15.

Определение удельных весов отдельных минералов путем непосредственного взвешивания в большинстве случаев затруднительно. Непосредственным взвешиванием возможно определение среднего удельного веса смеси зерен. С использованием весов Вестфала

Глава I

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК [89]—[92]

В подавляющем большинстве случаев смеси содержат добавки для увеличения прочности. По этой причине их целесообразно называть упрочняющими или связующими. Уместно отметить, что в прежние времена вместо прочности применялось выражение крепость. По этой причине упрочняющие добавки часто называются крепителями. Правильнее их называть упрочнителями.

В настоящее время упрочняющих или связующих добавок предложено и применяется очень большое количество. Рассмотрение всех добавок не представляется возможным потому, что их количество непрерывно увеличивается. Гораздо большее практическое значение приобретает возможность выявления общих закономерностей, изменения их свойств, а следовательно и возможностей их использования.

Более подробное изучение этих закономерностей приводит к необходимости разделения упрочняющих добавок на ряд групп, характеризующихся общими свойствами. В основу классификации могут быть положены разные свойства и показатели. Автору представляется, что решающим является свойство прочности, поэтому в основу классификации должен быть положен преобладающий механизм образования прочности.

Можно различать три механизма образования прочности:

- 1) удаление растворителя (высыхающие добавки);
- 2) затвердевание после расплавления (затвердевающие добавки);
- 3) химические процессы (химические добавки).

У некоторых, главным образом комбинированных связующих добавок может наряду с преобладающим наблюдаться и другой механизм упрочнения. Необходимо также подчеркнуть, что одна и та же связующая добавка может упрочняться по-разному в зависимости от используемого механизма: при высушивании, нагрее до расплавления и химической обработке.

Вторым классификационным признаком может явиться величина прочности, развиваемая связующей добавкой. Для облегчения возможностей сопоставления удобно выражать прочность в относительных величинах, а именно: прочность смеси, отнесенная к 1% добавленного упрочнителя. Этот прием был применен автором [1] в 1933 г. при анализе прочности канифольно-масляных смесей и развит д-ром техн. наук проф. Ляссом А. М. Составленная им классификация приведена в табл. 25. К классу А отнесены неводные органические материалы, к классу Б — водные органические, а к классу В — водные неорганические материалы.

Таблица 25

Классификация связующих материалов (по А. М. Ляссу)

Относительная прочность в кг/см ²	Класс А		Класс Б		Класс В	
	Характер затвердевания	Добавка 1% связующего материала	Характер затвердевания	Добавка 1% связующего материала	Характер затвердевания	Добавка 1% связующего материала
Более 5	Необратимый	А-1 Льняное масло Олифа натуральная Рематол Окисленный петролатум Олифа оксольная Масло С 4ГУ (в)	Необратимый	Б-1 Искусственные термо-реактивные смолы	Необратимый	В-1
3—5	Промежуточный	А-2 4ГУ (п) Бифталь	Промежуточный	Б-2 Кислые воды Декстрин Пектиновый клей		В-2
Менее 3	Обратимый	А-3 Пек торфяной Пек древесный Добавка КТ, КД, КБ, 4ГВ Лак литейный Канифоль	Обратимый	Б-3 Патока кормовая Сульфитно-спиртовая барда	Обратимый	В-3 Цемент Глина Формовочная

Компактность этой классификации достигнута за счет:

а) исключения материалов неводных неорганических и х, которые могут быть применены в спекающихся формах, и материалов промежуточных между органическими и неорганическими, например этилсиликат;

б) неопределенности положения связующей добавки, упрочнение которой происходит за счет потери растворителя, отличного от воды. Такие добавки не попадают ни в один из упомянутых классов;

в) гипотезы, что большую относительную прочность можно получить при добавках, затвердевающих необратимо, и малую при добавках, затвердевающих обратимо.

Классификация связующих добавок
(по П. П. Бергу)

Относительная прочность в $KГ/см^2$	Добавки								
	органические			неорганические			промежуточные		
	высыхающие	затвердевающие	химические	высыхающие	затвердевающие	химические	высыхающие	затвердевающие	химические
Более 5	—	—	Естественные и комбинированные масла Синтетические смолы	Жидкое стекло (нагрев)		Золь кремнезема	—	—	Технический этилсиликат ¹ Металлоорганические соединения
От 3 до 5	Декстрин Пектиновый клей Кислая вода	Эмульсии	Комбинированные масла		Глина Соли	Жидкое стекло (обработка CO_2)	—	—	—
Менее 3	Патока Барда сульфитного щелока	Пеки (торфяной, древесный, каменноугольный)	—	Глина Соли	—	Цемент	Технический этилсиликат ²	—	—

¹ При отнесении прочности к золю кремнезема.

² При отнесении прочности к гидролизованному золю.

Можно опасаться появления упрочняющих добавок, которые не будут укладываться полностью в рамки приведенной классификации.

Поэтому автору представляется более правильной классификация, приведенная в табл. 26. Последующее рассмотрение связующих добавок будет произведено применительно к этой классификации. В основу этой классификации положены предложенные автором еще в 1933 г. разные механизмы упрочнения и принцип оценки по относительной прочности. Границы величин прочностей совпадающих добавок взяты из классификации проф. Лясса А. М.

Абсолютные величины относительно прочностей несомненно подлежат уточнению. В частности подлежит уточнению — к чему отнести определенную непосредственным опытом прочность: ко всей связующей добавке или только к ее активной части. Оба метода обладают определенными преимуществами: при отнесении прочности ко всей добавке достигается классификация, более удобная для повседневного использования, а при отнесении к активной части связующей добавки выявляются более полно пути ее более полного использования.

В качестве примера можно привести добавки, упрочняющие за счет образования геля кремнезема.

1. Можно отнести прочность к полностью изготовленной добавке, т. е. вводя в ее состав воду и химические добавки и растворители.

2. Можно отнести прочность к покупной добавке.

3. Можно ее отнести к активной части добавки, т. е. к количеству содержащегося в ней кремнезема или силиката.

В первом случае получается наименьшая, а в третьем случае наибольшая прочность.

Опытных данных недостаточно для оценки относительной прочности по третьему методу. Но такой метод представляет несомненно большое практическое значение.

Относительная прочность может также зависеть от метода упрочнения.

2. СВОЙСТВА УПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК

Высыхающие

Не всякий раствор может при высыхании создать прочность между зернами. Можно полагать, что образование прочности связано в большинстве случаев с образованием геля. Можно полагать, что при полной ионизации раствора прочности при его высыхании не наблюдается. Например раствор поваренной соли при высыхании в обычных условиях не создает нужной связи между зернами. Но причиной отсутствия такой связи не является состав поваренной соли. Можно полагать, что коллоидальность и способность образовывать молекулярные растворы не является свойством материи, а при соответствующей, пока не всегда известной обработке

можно любое вещество получить в виде молекулярного раствора или коллоидальной системы.

Необходимо признать за коллоидами и своеобразные свойства, сказывающиеся во взаимоотношениях между коллоидными частицами (дисперсной фазой) и окружающей их средой (дисперсной средой). Уместно отметить, что уже Ф. Энгельс обратил внимание на отличие не только количественное (размеры), но и качественное молекулы от той массы, к которой она принадлежит.

Коллоиды могут получаться в результате процессов диспергирования или конденсации. В первом случае коллоиды получаются в результате раздробления до нужной степени дисперсности. Однако путем простого раздробления коллоиды почти никогда не получаются, так как они после раздробления снова коагулируются. Коллоидные растворы могут быть получены методом диспергации только при условии применения стабилизаторов, препятствующих коагуляции диспергированных частиц. Метод диспергирования с введением стабилизаторов используется на практике для получения эмульсий, которые будут рассмотрены несколько дальше. Уместно отметить, что по этой причине коллоидные системы, полученные методом диспергирования, являются не двухкомпонентными, а трехкомпонентными системами, причем третьим компонентом является стабилизатор.

При удалении растворителя может произойти процесс конденсации за счет увеличения концентрации добавок.

При неблагоприятных условиях дисперсность части системы может снова увеличиться ниже критической, и в этом случае связующие свойства добавки могут заметно уменьшиться. Таким процессом может быть объяснено падение прочности смесей с добавкой барды сульфитного щелока, если он при растворении подвергался длительному кипячению. По этой причине не допускается при растворении сульфитного щелока в воде доведение раствора до кипячения.

Из факта возможности увеличения прочности за счет увеличения концентрации при удалении растворителя с образованием геля может быть сделан ряд выводов.

I. Упрочнение смеси может происходить при потере смесью воды, а этот процесс происходит и при нормальной температуре цеха. Поэтому высыхающие добавки могут быть применены в смесях, которые должны упрочняться без подогрева форм или стержней. Сюда относятся и случай применения «вяленых» стержней.

II. Высыхающие добавки не могут быть применены в смесях, поступающих к месту формовки в нагретом состоянии, так как в этом случае они быстро теряют формуемость из-за ускоренного высыхания.

III. Процесс упрочнения за счет удаления растворителя без химических превращений является в большинстве обратимым. Поэтому при обратном намочении смеси происходит процесс

обратной потери прочности. По этой причине наблюдается потеря прочности стержнями, установленными во влажную форму.

IV. Процесс упрочнения высыхающих добавок начинается при потере первых порций воды. Поэтому высокие стержни меньше оседают при наличии в смесях этих добавок. При их отсутствии и при малой прочности во влажном состоянии стержни оседают, потому что прочность затвердевающих и некоторых химических добавок нарастает значительно медленнее, чем прочность высыхающих добавок.

Образование геля и студней является характерным свойством зольей.

Переход в гель и студень не может происходить внезапно, а происходит постепенно с непрерывно увеличивающейся вязкостью. Из этой закономерности вытекает пятый вывод.

V. Условия образования гелей и студней, а следовательно и условия развития прочности высыхающими добавками в очень значительной степени зависят от жидкости, являющейся дисперсионной средой. В частности и водорастворимые высыхающие добавки могут значительно изменять свои свойства при изменении состава воды и при наличии в смеси разных не учитываемых примесей.

VI. Увеличение вязкости связующих добавок может способствовать повышению прочности во влажном состоянии, поэтому смеси на водорастворимых связующих добавках обладают часто повышенной прочностью во влажном состоянии.

Затвердевающие

Эти добавки характеризуются следующими свойствами.

I. При отсутствии нагрева не происходит упрочнения при любой выдержке.

II. Процессы чистого расплавления и затвердевания являются обратимыми, поэтому смеси с затвердевающими добавками могут быть многократно использованы. Отсюда большие возможности использования боя стержней, изготовленных из затвердевающих добавок, при условии, что нагрев происходил ниже температур начала выделения летучих.

III. При нагреве выше температуры структурных превращений наблюдается необратимая потеря прочности.

IV. Стержни негигроскопичны. Наблюдаемая на практике гигроскопичность стержней с затвердевающими добавками связана с наличием в этих смесях водорастворимых или гигроскопичных добавок (например глины).

V. Потери прочности за счет расплавления происходят со скоростью прогрева смесей до температуры расплавления. Поэтому потеря прочности затвердевающими добавками происходит достаточно быстро и затвердевающие связующие добавки часто применяются в смесях для тех стержней, которые должны быстро

терять свою прочность при заливке формы жидким металлом. Исключение составляют затвердевающие добавки, коксующиеся при нагреве до высоких температур.

VI. Затвердевающие добавки теряют свою прочность только при нагреве до температур, приближающихся к температуре плавления. Поэтому прочность стержней, изготовленных на затвердевающих добавках, сохраняется в течение длительного времени.

VII. После полного охлаждения отливки затвердевающие коксующиеся связующие добавки могут образовать очень трудно удаляющийся стержень.

Химические

Под химическими можно понимать добавки, состав которых изменяется в процессе упрочнения. Эти добавки характеризуются следующими свойствами:

I. Процессы химического упрочнения во многих, но не во всех случаях, необратимы.

II. Химические процессы могут быть значительно ускорены при использовании катализаторов. Поэтому развитие наибольшей прочности может быть ускорено при добавке катализаторов.

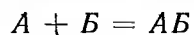
III. Процессы упрочнения за счет химических процессов связаны с процессами диффузии. Поэтому они могут быть значительно ускорены ускорением процессов диффузии, как например, при продувании химически активным газом, увеличением давления и температуры. Наибольшее ускорение химических процессов наблюдается в тех случаях, когда отсутствует необходимость подведения реагента извне.

IV. Наличие химической активности приводит к широким возможностям сочетания разных добавок.

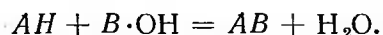
V. Представляется возможным наличие таких добавок, которые вызывают увеличение прочности, увеличивая связь зерен песка со связующей добавкой.

Во всех случаях в результате химических процессов, связанных с упрочнением, происходит увеличение молекулы. Это увеличение может происходить по одной из типовых схем.

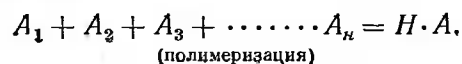
I. Упрочнение происходит в результате процессов конденсаций. В самом общем виде этот процесс может быть описан реакцией



или



II. Упрочнение происходит в результате процессов полимеризации, когда не изменяется состав молекул, а изменяется только ее молекулярный вес



Реакции происходят при повышении температуры, но не исключена возможность протекания этих реакций под воздействием давления или каких-либо других импульсов, например электрических.

Из сопоставления этих двух типовых схем реакций упрочнения могут быть сделаны выводы, касающиеся путей увеличения скоростей упрочнения.

1. Упрочнение, связанное с подводом реагента извне, может быть ускорено при увеличении скорости проникновения этого реагента во внутренние полости стержня.

В качестве примера можно привести резкое увеличение скорости упрочнения при продувании формы двуокисью углерода.

2. Скорость упрочнения может быть значительно повышена при полном исключении воздействия внешних химических реагентов.

В качестве примера можно привести процессы упрочнения за счет только повышения температуры.

3. Скорость упрочнения может быть увеличена при сокращении пути диффузии или глубины прогрева. Такой путь применяется при изготовлении оболочковых форм.

4. Широкие возможности открываются при использовании катализаторов.

Органические и неорганические

Принципиальной особенностью органических добавок является возможность их почти полного выгорания после нагрева до достаточно высоких температур в присутствии кислорода. Поэтому можно ожидать, что стержни с органическими связующими добавками будут обладать лучшей выбиваемостью, чем стержни с неорганическими связующими добавками.

Также принципиальной особенностью органических добавок является выделение газов при соприкосновении стержней с жидким металлом. Эти газы ухудшают атмосферу цеха и явно нежелательны. Наиболее принципиальной мерой борьбы с засорением атмосферы цеха продуктами горения является замена органических добавок неорганическими. Но при этом следует иметь в виду необходимость принятия специальных мер для улучшения выбиваемости стержней. При обеспечении этого условия можно предполагать применение неорганических связующих добавок наиболее перспективным.

Новые горизонты открываются при использовании промежуточных добавок, сочетающих преимущества органических и неорганических образований.

ПРИМЕРЫ УПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК

1. ПРИМЕРЫ ВЫСЫХАЮЩИХ ДОБАВОК

К числу наиболее распространенных высыхающих добавок можно отнести: декстрин, патоку, пектиновый клей, барду сульфитного щелока.

На практике используется также и ряд других упрочняющих высыхающих добавок. Не исключено появление большого количества новых добавок этой группы, но их рассмотрение не представляется возможным и целесообразным главным образом потому, что для практических целей важно установить общую закономерность их применения.

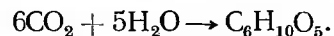
Перечисленные упрочняющие добавки имеют между собой много общего, так как состоят в значительной степени из углеводов, называемых «сахарами» и содержащих характерную группу



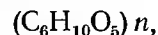
В высыхающих упрочняющих добавках встречаются только расщепляющиеся при гидролизе сахара, называемые «полиозами». К их числу относятся крахмал, целлюлоза, сахароза.

Крахмал. Декстрин

Крахмал образуется в растениях, преобразующих углекислый газ по схематической формуле



На самом деле крахмал представляет собой очень большую молекулу с общей формулой



где n — очень большое число.

Крахмал находится в разных частях растений в виде микроскопических зернышек, не растворяющихся в холодной воде и набухающих в горячей воде, образуя клейстер.

Отсюда могут быть сделаны выводы:

1. В химически не обработанных частях растений, как например в муке, содержится крахмал в виде очень больших не растворимых в воде молекул.

Недостатком муки является наличие в ней до 20% примесей, большинство которых не способствует увеличению прочности. Они являются вредными, так как они при сгорании выделяют газы.

2. Клейстер является не истинным раствором, а коллоидом. Приближение к истинным растворам наблюдается, как правило, при уменьшении величины молекул.

3. Клейстер образуется при температуре ниже температуры кипения. Эта температура называется «температурой клейстеризации». Она находится в ориентировочных границах 60—80°. При очень длительном кипячении клейстер может перейти в раствор с соответствующим падением связующей способности.

Улучшение растворимости может быть достигнуто уменьшением величины молекулы. Оно может быть осуществлено несколькими путями: нагревом, обработкой кислотами, длительным кипячением. Такой растворимый крахмал называется д е к с т р и н.

При очень длительной обработке крахмала-декстрина происходит полное распадение его молекулы с приближением к единице коэффициента полимеризации n . В этом случае связующая способность может снизиться. В продажных сортах декстринов величина молекулы удерживается в нужных границах.

Из сказанного можно установить требования, которым должен удовлетворить декстрин:

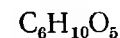
1. Наибольшая растворимость декстрина* в воде. Декстрины, обработанные при более высоких температурах, имеют желтый и палевый цвет. Эти сорта декстрина растворяются не менее, чем на 95%, считая на вес сухого остатка. Цвет декстрина, применяемого в качестве связующей добавки, не имеет никакого значения, но для некоторых отраслей промышленности, как например для бумажной и текстильной, необходим декстрин белого цвета. Его растворимость по стандарту должна быть не менее 60%, считая по-прежнему на вес сухого остатка при температуре 17,5°С.

Желтый декстрин из картофельного крахмала называется л е й о г о м.

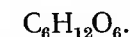
2. Во избежание засорения смесей несгорающим остатком желательно минимальное содержание золы. Приводимое в стандартах предельное допустимое содержание золы в 1% можно признать желательным, но несколько слишком жестким и не вызывающим необходимости в тех случаях, когда декстрин используется в качестве упрочняющей добавки. В других отраслях промышленности, например в текстильной, бумагоделательной, ограничение содержания золы может оказаться вполне обоснованным.

Патока. Пектиновый клей

Сахароза описывается формулами, сходными с формулой крахмала, а именно:



или



Общим для этих формул является двойное превышение количества атомов водорода над количеством атомов кислорода. Такое соотношение имеется и в молекулах воды. Поэтому подобные соединения называются иногда у г л е в о д а м и.

Молекула сахарозы, как правило, значительно меньше молекулы крахмала, поэтому легко растворяется в воде. Сахароза добывается из нескольких естественных продуктов, чаще всего из свеклы. Значительная часть свеклы перерабатывается на сахар путем выщелачивания с последующей кристаллизацией образующихся маточных растворов. В последних порциях маточного раствора содержится недостаточное количество сахарозы для переработки раствора на сахар. Эти последние порции маточного раствора называются патока или меласса. Эти продукты частично перерабатываются на спирт.

Патока или меласса поставляется литейным цехам в виде жидкости с удельным весом около 1,3, что соответствует наличию сухого остатка около 50 %. Это количество сухого остатка можно проще всего оценивать по ареометру. Ориентировочная связь между удельным весом и содержанием сухого остатка приводится ниже в предположении, что удельный вес сухого остатка равен 1,55.

Удельный вес	. . .	1,05	1,11	1,17	1,22	1,28	1,33	1,39	1,44
Содержание сухого остатка в %	. . .	10	20	30	40	50	60	70	80

Золы по большинству технических условий допускается до 10 %, что значительно превосходит предельное допустимое содержание золы в декстрине.

Применяемую в литейном производстве патоку не следует смешивать с кондитерской патокой, получаемой переработкой крахмала.

Наряду с сахарозой в свекле содержится значительное количество — около 2—3 % пектиновых веществ, которые почти полностью переходят в жом — отход свекло-сахарного производства. Поэтому содержание пектиновых веществ в жоме повышается до 50 %.

Пектиновые вещества добываются не только из свеклы, но и при переработке плодов и ягод, например яблок. Пектин содержится в этих продуктах не в чистом виде, а в соединении с целлюлозой в виде протопектина. При кипячении протопектин распадается с выпадением из раствора целлюлозы и с переходом в раствор пектина в виде гидратопектина.

Для увеличения выхода гидратопектина жом подвергается кипячению в присутствии кислот. После фильтрации, нейтрализации и выпаривания получается смесь гидратопектина и пектиновых кислот в виде пектинового клея, обладающего повышенной связующей способностью. Ввиду темного цвета он находит ограниченное применение во многих отраслях промышленности, но заслуживает повышенного внимания со стороны литейной промышленности. Пектиновый клей может поставляться потребителям в виде раствора и в виде порошка, который вполне может заменить декстрин.

Барда сульфитного щелока. Производные лигнина. Таловое масло [93], [94]

К числу углеводов относится и целлюлоза с ориентировочной формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$. Она входит в состав древесины в количестве около 40 % наряду с лигнином (около 30 %) и гемицеллюлозой (около 25 %).

Для производства бумаги используется целлюлоза. В древесине целлюлоза встречается с вкрапленным лигнином, который перед производством бумаги должен быть из древесины удален. Это удаление основано на нерастворимости в кислотах и основаниях целлюлозы и на растворимости в них лигнина.

Нейтрализованный до $pH = 5 \div 7$ раствор лигнина в слабой серной кислоте называется сульфитным щелоком. В обработанном таким образом сульфитном щелоке содержится некоторое количество сахаров, которые могут быть выделены и использованы путем сбраживания их на спирт. Обработанный таким образом щелок называется бардой сульфитного щелока, а выпаренный сульфитный щелок называется концентратом сульфитной барды или концентратом сульфитно-спиртовой барды.

По мере выпаривания должен увеличиться удельный вес раствора, поэтому о содержании сухого остатка в растворе можно судить по его удельному весу. Пересчеты показывают возможность принять удельный вес сухого остатка равным около 1,55.

При растворении в воде сульфитного щелока или его барды надо остерегаться доведения раствора до кипения, так как в этом случае может произойти уменьшение размеров молекулы с результирующим падением связующей способности добавки. Это падение прочности особенно опасно, так как может обнаружиться только при вспышке брака, связанной с малой прочностью стержней.

Нашей промышленностью выпускаются концентраты сульфитно-спиртовой барды двух сортов, различающихся степенью концентрации сухого остатка. Концентрат марки БЖ, что соответствует сокращенно названию б а р д а ж и д к а я, содержит сухого остатка около 50 %, уд. в. порядка 1,28. Концентрат марки БТ, что соответствует названию б а р д а т в е р д а я, содержит сухого остатка не менее 76 %, уд. в. 1,4.

Преимуществом твердой барды является возможность не загружать транспорт перевозкой воды. Но в смесь рекомендуется вводить барду в жидком виде. Поэтому ее приходится растворять в воде. Это осуществляется в баках, нагреваемых до температур порядка 90°, с тем чтобы не допустить раствор до кипения. По изложенным ранее соображениям, применение раствора, доведенного до кипения, может привести к падению прочности смесей.

По мере нейтрализации изменяется величина pH. Однако в большинстве случаев эта нейтрализация не доходит до конца и pH составляет величину порядка 5—7.

Возможности улучшения свойств еще далеко не исчерпаны. Не исключена возможность приближения барды сульфитного щелока по относительной прочности к числу наилучших упрочняющих добавок.

Древесина для удаления лигнина может быть обработана не только серной кислотой, но и другими реагентами. В частности из древесины получается связующая добавка, применяющаяся под маркой а л ь к ю л и н.

Кроме того, лигнин в сочетании с некоторыми веществами образует пластические продукты, которые могут найти широкое применение в качестве связующих добавок.

Побочным продуктом при получении сульфат-целлюлозы является т а л л о в о е м а с л о, представляющее собой жидкость темно-коричневого цвета с влажностью 0,6%, вязкостью по Энглеру $E_{50} = 18$, удельным весом 0,97, числом омыления 206 и температурой плавления 470° [95].

1. К числу наилучших добавок можно отнести декстрин. Его широкому использованию препятствует то, что он получается из продуктов, которые могут быть использованы для питания.

2. Не уступающим декстрину по прочности является пектиновый клей, который, однако, в настоящее время не изготавливается для литейной промышленности в достаточном количестве.

3. Незначительно уступающими декстрину и пектиновому клею являются кормовая патока и барда сульфитного щелока, которые с государственных позиций и должны быть в первую очередь использованы литейной промышленностью.

4. Температура высушивания при технологических пробах составляет $160-180^{\circ}\text{C}$, однако упрочнение может начаться при значительно более низких температурах. Повышение температуры имеет целью ускорение процесса упрочнения. Превышение температуры 180° не рекомендуется, так как приводит к частичной потере прочности за счет распада добавки.

5. При подсчете относительной прочности смесей с добавкой глины вся прочность отнесена за счет органических упрочняющих добавок. При отнесении части прочности за счет добавленной глины величина относительной прочности, приведенная в табл. 27, должна значительно уменьшиться.

6. К числу затвердевающих добавок может быть отнесено и жидкое стекло. Во избежание двукратного рассмотрения оно будет рассмотрено ниже.

2. СОПОСТАВЛЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК

Сопоставление механических свойств, выраженных в виде технологических проб на водорастворимые упрочняющие добавки, приведено в табл. 27. Из рассмотрения этой таблицы и из ранее приведенного рассмотрения водорастворимых добавок можно сделать следующие выводы:

Таблица 27

Технологические пробы на упрочняющие водорастворимые высыхающие добавки (По опубликованным данным НИИЛИТМАШ и ЦНИИТМАШ)

Упрочняющая добавка	Состав в %				Прочность σ_{θ} на разрыв в кг/см ²	Температура высушивания в течение 1 ч в $^{\circ}\text{C}$	σ_{θ} 1%
	Кварцевый песок	Связующая добавка (сухой остаток)	Глина молотая, просеянная через сито 025	Вода			
Декстрин белый	100	1,25	—	2,50	3,7	160—180	2,5
Декстрин желтый или пале- вый	100	1,25	—	2,50	5,0	160—180	4,0
Патока (меласса)	100	1,0	6	5,0	3	160—180	<3,0
Сульфитная барда СБТ и БЖ	100	2,8	—	3,8	1,5	160—180	0,5
	100	2,8	3	3,8	5,0	160—180	<1,8
Пектиновый клей	100	2,5	—	4,0	10	160—180	4

3. ПРИМЕРЫ ЗАТВЕРДЕВАЮЩИХ ДОБАВОК [96]

К числу затвердевающих добавок относятся главным образом разные смолы, пеки, битумы, жидкие при нормальных температурах и получающиеся твердыми после отгонки из них легких погоннов — летучих.

Эти добавки разделяются главным образом по признаку своего происхождения. Древесный, каменноугольный и торфяной пек соответственно из дерева, каменного угля и торфа. В прежние времена часто применявшаяся канифоль в настоящее время очень редко применяется в качестве упрочняющей добавки. Из сказанного могут быть сделаны выводы:

I. Практически применяемые затвердевающие добавки состоят, как правило, из смеси материалов, характеризующихся разными температурами плавления, но в пределах тех границ, которые применялись при данном процессе их изготовления.

II. После нагрева смесей с практически применяемыми затвердевающими добавками происходит изменение их свойств из-за частичного выделения части летучих. Поэтому повторно нагревающие смеси обладают другими свойствами, чем исходные смеси.

III. Практически применяющиеся затвердевающие добавки содержат не только плавящиеся, но растворяющиеся и химически активные вещества.

Древесный, каменноугольный и торфяной пеки [97], [94]

Древесный пек может быть получен как побочный продукт при производстве древесного угля или при производстве газа. Практически в качестве затвердевающей добавки применяется только древесный пек, получаемый при разгонке смолы древесноугольных генераторов. Температура плавления зависит от глубины отгонки смолы. Обычно она находится в границах 80—130° С, но в большинстве случаев укладывается в границы 90—110° С. Поэтому древесный пек может применяться в виде порошка, что представляет некоторые технологические преимущества.

В составе древесного пека имеются химически активные вещества. Так в свежем пеке было обнаружено 12,6% фенола, но по прошествии 75 дней это содержание снизилось до 0,6%. Отсюда следует рекомендация: применять по возможности более свежий пек.

В пеке содержатся также водорастворимые добавки, содействующие повышению прочности смесей на древесном пеке. Поэтому в древесном пеке можно обнаружить в небольшой степени свойства, характерные для водорастворимых добавок, в частности можно обнаружить явление миграции.

Влияние этих химически активных добавок удастся обнаружить тем полнее, чем больше поверхность соприкосновения зерен пека с окружающей средой. Поэтому можно ожидать повышения прочности при добавке в смесь более тонкоизмельченного пека. Однако очень тонкое измельчение пека не представляется возможным. Практически возможен размо́л зерен до приблизительно 0,4 мм. Процесс обратного слеживания увеличивается при повышении степени дисперсности порошка, при повышении температуры и даже во времени. Поэтому не рекомендуется заготовка в прок порошка пека на срок, значительно превышающий одни сутки.

Каменноугольный пек получается разгонкой каменноугольной смолы. Его использование в литейных цехах должно совершаться с большой осторожностью из-за подозрения, что он может явиться причиной раковых заболеваний. Поэтому перед применением этого пека в цехе необходимо проверить его на канцерогенность. Подозрение на канцерогенность увеличивается при увеличении температуры его разгонки.

Торфяной пек может быть использован в виде порошка, но используется главным образом в виде эмульсий. Более подробно они будут рассмотрены ниже. Так же как и в древесном пеке, в торфяном пеке содержится значительное количество химически активных веществ.

Торфяной пек является продуктом перегонки первичной торфяной смолы верхового торфа, полученной в результате полукоксования при температуре не ниже 500° С:

Примерные свойства и состав торфяного пека

Температура размягчения по методу «кольцо и шар» в °С	45 *—50 **
Содержание в%:	
Продуктов, не растворимых в бензоле	0,5—0,8
Продуктов, не растворимых в петролейном эфире	2,0
Кислых продуктов:	
фенолов	1,5—1,8
карбоновых кислот	1,0—0,25
щелочных продуктов	До 1,0
Силикагелевых смол	15—17,3
Нейтральных веществ	35
Карбоидов	3,7
Асфальтенов	27,7
Продуктов из бензинового раствора при 20° С	20,0

В табл. 28 приведены результаты опытов К. С. Липовской по выявлению компонентов, являющихся причиной прочности торфяного пека. Из этой таблицы можно заметить, что путем соответствующей обработки представляется возможным значительно повысить развиваемую пеком прочность.

Таблица 28

Влияние компонентов торфяного пека на развиваемую им прочность
(по К. С. Липовской)

Компоненты	Прочность образцов на разрыв в кг/см ²	
	без барды сульфитного щелока	с 1% барды сульфитного щелока
Необработанный торфяной пек	3,6	8,0
Пек без асфальтов	7,0	11,8
Пек без асфальтов, битумов и силикагелевых смол	2,2	4,2
Парафинистые масла	0,0	0,0
Фенолы из пека	0,0	0,0
Карбоновые кислоты	0,0	0,0
Асфальтены окисленные	0,0	2,0
Восковой гач	2,2	4,8
Силикагелевые смолы	4,0	9,0
Пек с пониженным содержанием непредельных углеводородов	0,0	4,8

Битумы

Битумы являются продуктами переработки нефти. Они различаются главным образом температурой размягчения. Чем выше марка, тем выше эта температура.

Однако реальные битумы различаются и более глубокими физическими свойствами. В частности встречаются битумы, содержащие непредельные соединения, поэтому могущие упрочняться при нагревании. Однако развиваемая ими прочность настолько

* По В. А. Соколовой.

** По К. С. Липовской.

незначительна, что самостоятельно в виде связующей добавки они не применяются. Они входят как составная часть во многие комбинированные связующие добавки.

4. ПРИМЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Рассмотрение примеров химических добавок представляет наибольшие трудности, так как их количество непрерывно увеличивается.

Поэтому представляется целесообразным предварительно установить их классификацию в дополнение к приведенной в табл. 26.

К первой группе можно отнести масла естественные, главным образом растительные. Эти масла до недавнего времени были главными представителями химических добавок. В настоящее время они почти не применяются не только потому, что могут быть использованы как продукты питания, но и потому, что синтетические смолы обладают значительными преимуществами по сравнению с естественными маслами.

К той же первой группе можно отнести масла искусственные, получаемые из насыщенных углеводородов, главным образом из нефтяных продуктов.

Ко второй группе можно отнести синтетические смолы, которые, в свою очередь, могут быть подразделены на подгруппы в соответствии с основами органической химии.

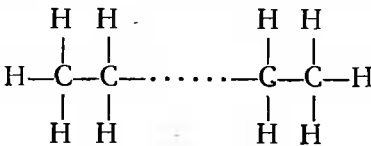
К третьей группе можно отнести химические добавки, упрочняющиеся за счет образования геля кремнезема.

Такая классификация с разделением на три группы является явно несовершенной, так как не подлежит сомнению, что в ближайшее время появятся химические упрочняющие добавки, которые не уложатся, по всей вероятности, в любую узкую технологическую классификацию.

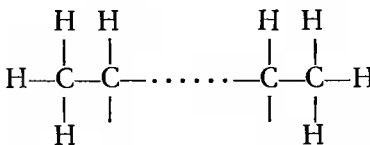
Масла естественные и искусственные [98]—[101]

Масла являются органическими химическими добавками, упрочняющее действие которых основано на укрупнении молекулы в результате окисления и полимеризации. Эти реакции возможны только при наличии в маслах свободных валентностей.

Естественные масла относятся к углеводородам, у которых атомы углерода связаны между собой в виде цепи. Считая углерод четырехвалентным, причем две связи расходуются на взаимное соединение между собой атомов углерода, а две оставшиеся связи расходуются на присоединение атомов водорода, можно структуру насыщенного углеводорода представить в виде схемы



При такой схеме связи все валентности углерода оказываются насыщенными. Поэтому такие углеводороды называются насыщенными или предельными. Встречаются, однако, и углеводороды, у которых не все валентности насыщены. Такие углеводороды называются ненасыщенными или непредельными. Структуру такого углеводорода можно представить в виде схемы



В общем виде формула насыщенного углеводорода может быть выражена формулой

$$\text{C}_m\text{H}_{2m+2}$$

Формула ненасыщенного углеводорода может быть выражена аналогичной формулой

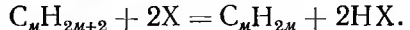
$$\text{C}_m\text{H}_{2m}$$

или в случае еще большей ненасыщенности

$$\text{C}_m\text{H}_{2m+2}$$

Такие непредельные углеводороды встречаются в природном виде среди растительных масел. Поэтому они в прежние времена непланового хозяйства широко использовались в литейном производстве в качестве упрочняющих добавок. Однако эти масла являются продуктами питания, поэтому целесообразно их заменить искусственными продуктами, не могущими быть использованными для питания.

Искусственные масла могут быть получены из насыщенных углеводородов путем отбора у них атомов водорода. Этот отбор может быть описан схематической реакцией



В этой реакции могут быть использованы разные реагенты. В настоящее время используются хлор и кислород.

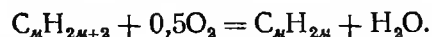
Рематол является представителем искусственного масла, получаемого путем хлорирования компрессорного масла и автола в грозненском уайт-спирите. Название рематол получил по имени изобретателей этого продукта тт. Резника и Максорова.

Процесс получения рематола может быть описан схематической реакцией



Это масло обладало вполне удовлетворительными свойствами; оно было прекращено выпуском из-за недоработанности технологического процесса производства.

Окисленный петролятум является представителем искусственного масла, получаемого путем окисления петролятума по ориентировочной схеме



При окислении петролятума резко увеличивается его вязкость. Поэтому окисленный петролятум поставляется литейным цехам в виде раствора с уайт-спиритом. По стандартным техническим условиям эта добавка под маркой П должна обладать условной вязкостью 3—4,6° при температуре 50° С, удельным весом $\gamma_4^{20} = 0,82 \div 0,88$, числом омыления не ниже 57 (лучшие результаты получались при числе омыления 130—140 мг КОН), кислотным числом 30—45 и температурой плавления 62—70° С.

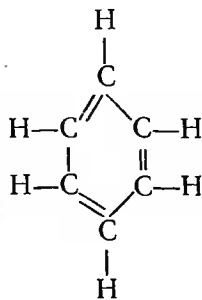
Синтетические смолы [102]—[106]

Синтетические смолы относятся к числу наиболее перспективных органических химических упрочняющих добавок. К их принципиальным преимуществам можно отнести:

- 1) большую скорость упрочнения, происходящую без подвода химических реагентов извне и только за счет нагрева;
- 2) широкую возможность изменения свойств в нужных направлениях из-за возможности большого выбора исходных продуктов для последующего их синтеза.

Можно ожидать появления все новых синтетических смол в дополнение к большому количеству уже существующих представителей этой группы упрочняющих добавок. Поэтому целесообразно ограничиться рассмотрением типовых смол и их наиболее важных свойств.

Для изготовления синтетических смол используются главным образом углеводороды в виде колец, являющихся производными бензола со структурной формулой

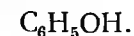


и с элементарной формулой

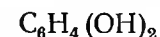


Бензол, у которого один атом водорода заменен гидроксильной группой, называется ф е н о л о м. Он обладает резким запахом, характерным для бензолов. Поэтому такие углеводороды называются а р о м а т и ч е с к и м и. Водный раствор фенола называется также карболовой кислотой и применяется иногда для дезинфекции. Он обладает слабо кислотной реакцией.

Элементарная формула фенола



К числу двухатомных фенолов с элементарной формулой

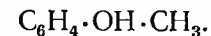


относятся применяемые в фотографии проявители гидрохинон и резорцин.

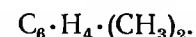
К производным бензола, применяемым при изготовлении синтетических смол, относятся также крезол и ксилол.

Крезол представляет собой бензол, у которого один атом водорода заменен гидроксильной группой (как у фенола), а второй атом водорода заменен метиловым радикалом CH_3 .

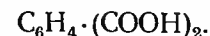
Поэтому элементарная формула крезола



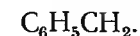
Ксилол представляет собой бензол, у которого два атома водорода заменены метильными радикалами CH_3 . Поэтому элементарная формула ксилола



К числу производных бензола относится также фталевая кислота, характеризующаяся заменой двух атомов водорода бензольного ядра на две карбоксильные группы $COOH$. Элементарная формула фталевых кислот.



К числу производных бензола может быть отнесен и стирол, представляющий собой бензол, у которого один атом водорода заменен непредельным углеводородом CH_2 . Этот углеводород с двумя ненасыщенными связями называется э т и л е н. Стирол при нагреве полимеризуется, образуя п о л и с т и р о л. Стирол применяется для изготовления выжигаемых и выплавляемых моделей. Элементарная формула стирола

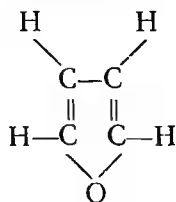


Также к числу производных бензола относится большая группа ароматических аминосоединений, содержащих остатки аммиака в виде NH_2 , NH и даже азота N .

К числу таких аминосоединений относится и анилин, широко используемый в качестве исходного продукта для производства красящих веществ и фармацевтических препаратов.

В зависимости от места присоединения к бензольному ядру гидроксильных и аминных метильных групп соединения получают разные названия. В частности смеси ксилолов, различающиеся разным положением метильных групп по отношению к бензольному ядру, называются техническими ксиленолами.

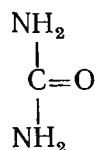
Кольца в виде бензола, состоящие только из углеродных атомов, называются **карбoциклическими**. Возможны и другие циклические соединения, включающие, кроме углеродных атомов, другие элементы. Такие кольцевые соединения называются **гетероциклическими**. К их числу относится **фуран** со структурной формулой



и с элементарной формулой $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$.

К производным фурана относится **фурфурол**. Упрочнение добавок этого типа происходит в кислой среде.

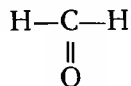
Часть углеводов, входящих в состав некоторых синтетических смол, может рассматриваться как производная угольной кислоты $\text{O} = \text{C} = \text{O}$, как например



Эта составляющая называется **карбамидом** или **мочевойной**.

Большинство синтетических смол образуется сочетанием фенолов и их производных или карбамида с формальдегидом.

Формальдегид может рассматриваться как производная одной из простейших кислот, а именно муравьиной. Муравей по латыни называется **формиум**. Поэтому производная этой кислоты называется **формальдегид**. Структурная формула этого соединения



Раствор формальдегида (40%) в воде называется **формалином**.

В качестве катализатора в синтетические смолы часто добавляется сложное химическое соединение под названием **гексаметилентетрамин**, часто называемый для сокращения **гекса**.

В общежитии это соединение называется **уротропин**; оно применяется как лекарство. При нагреве уротропин распадается с образованием формальдегида и выделением аммиака.

Конденсационные смолы

Синтетические смолы могут упрочняться в результате процессов конденсации и полимеризации. Соответственно синтетические смолы делятся на конденсационные и полимеризационные.

Конденсационные смолы делятся, в свою очередь, на термоактивные и термопластичные. Первые характеризуются необратимостью процесса отвердевания: после отвердевания они теряют способность плавиться при повышении температуры и растворяться в большинстве растворителей. Вторые сохраняют это свойство даже после многократных нагревов с последующим охлаждением. Это различие иногда обнаруживается в слабой степени. В частности это различие обнаруживается по-разному при разных температурах нагрева.

К конденсационным реактивным относятся синтетические смолы на основе производных бензола с формальдегидом.

Различаются три стадии образования этих смол.

В начальной стадии (стадия А) смола растворяется во многих растворителях.

При нагреве смола переходит во вторую стадию (стадию В), которая по мере протекания процессов конденсации теряет свойства плавкости и растворимости. В последней стадии (стадии С) смола становится неплавкой и нерастворяющейся в большинстве растворителей.

Термоактивные смолы получают при избытке формальдегида и при проведении процесса конденсации в щелочной среде. При избытке фенола и при проведении процесса конденсации в кислой среде получают термопластические смолы. Они часто называются **новолачными**. Новолачные смолы могут быть переведены в термоактивные при добавке катализаторов, в частности уротропина, который при нагреве распадается с выделением аммиака и формальдегида.

К числу конденсационных термоактивных относятся также смолы на основе других производных бензола с формальдегидом. К числу таких производных бензола относятся **крезолы**, **ксиленолы** и **анидины**. Ксиленолы выпускаются нескольких марок, различающихся разной активностью. Ксиленолы марки А более активны, чем ксиленолы марки Б.

Типичными представителями фенольно-формальдегидных смол являются смолы **бакелитовые** и **карболитовые**. Бакелитовая смола в стадии А называется **резол**, в стадии Б называется **резитол**, а в стадии С — **резит**.

Бакелит поставляется в литейные цехи в виде порошка под названием **пульвербакелит** и в виде жидкости под названием **бакелитовый лак**. Первый содержит значительно меньше

фенолов (до 5,5%), чем второй (10—20% фенолов). Поэтому второй отверждается несколько быстрее, но зато является несколько более токсичным.

Сопоставление свойств фенольноформальдегидных, крезольноформальдегидных и ксиленольноформальдегидных смол существующих в настоящее время марок приведено в табл. 29.

Таблица 29

Сопоставление свойств конденсационных термореактивных смол [107]

Свойства	Смолы формальдегидные			
	Фенол	Анилин	Крезол	Ксиленол
Содержание летучих	45—60	52	68	34
Выход кокса	40—55	48	32	35
Длительность формирования оболочки при температуре 250° в сек				
Толщина оболочки в мм:				
4	6—9	8	10	8
6	13—15	13	21	13
8	22—27	22	44	22
Длительность процесса спекания оболочки при температуре 350° С в сек				
Толщина оболочки в мм:				
4	20	20	80	60
6	40	40	160	100
8	70	70	200	160
Прочность в кг/см ² :				
на разрыв	40—44	43	39	33
на изгиб	111—115	107	100	81
на сжатие	80—90	81	70	53
Сопротивление царапанию на приборе 073 со стальным резцом	97—98	98	96	88
Газопроницаемость	250—300	240	340	330
Гигроскопичность	0,2	0,2	0,2	0,3
Газотворность	30—40	30	50	45

Ее рассмотрение позволяет сделать следующие обобщающие выводы:

1. Длительность формирования и спекания оболочек у фенольноформальдегидных смол и у анилиноформальдегидных смол значительно меньше, чем у крезольноформальдегидных и ксиленольноформальдегидных смол.

2. При увеличении содержания летучих наблюдается повышение газотворности смол.

3. Увеличение выхода кокса у фенольноформальдегидных и анилиноформальдегидных смол может быть связано с повышенной прочностью этих смол после прокаливания при 900° С.

4. При оценке результатов, приведенных в табл. 29, следует учитывать возможность появления новых марок смол, обладаю-

щих улучшенными свойствами по сравнению с приведенными. В частности можно полагать, что крезольно и ксиленольноформальдегидные смолы могут при соответствующей обработке показать свойства значительно более высокие.

Для оценки качества смол некоторыми авторами рекомендуется следующий прием: на железную пластинку, нагретую до 150 ± 10°, помещают 0,1 г испытуемой смолы и после расплавления ее тщательно распределяют по кругу диаметром около 3 см. Отсчитывается время, прошедшее с момента полного расплавления до момента внезапного увеличения вязкости и образования коротких обрывающихся нитей при вытягивании смолы шпателем. Хорошими считаются те смолы, для которых указанное время не превышает 100 сек. Если время превышает 200 сек, то смола признается неудовлетворительной, так как изготовленные на ее основе формы отваливаются от модели [108].

Для уменьшения вредного влияния формальдегида и фенола к этим смолам добавляется немного муцистых добавок [109].

Смолы жидкие могут сохраняться в течение 6 месяцев, твердые в течение 8 месяцев. Срок хранения увеличивается при понижении температуры хранения. Показатель потери прочности жидкой смолы — четкое выделение из нее воды.

Карбамидноформальдегидные и полимеризационные смолы

Типичными представителями синтетической смолы на основе карбамида и формальдегида являются смолы под марками М, МФ-17 и МФФ [94], [111].

Карбамидная смола в стадии А растворима в воде в отличие от резитела. В карбамидных смолах в кислой среде на холоду, т. е. без нагрева и увеличения давления, наблюдается образование аморфных, неплавких и нерастворимых соединений. Вместе с тем снижение рН приводит к ускорению процесса упрочнения и к повышению прочности.

Особенностью карбамидноформальдегидных смол является также их свойство быстрее терять прочность при нагреве до температур, превышающих критические. Поэтому эти смолы более пригодны при изготовлении отливок из сплавов, плавящихся при более низких температурах, как например, алюминиевых и магниевых.

Техническая мочеви́на может сочетаться не только с формальдегидом, но и другими реагентами. Например, одна часть мочевины сочетается с пятью частями барды сульфитного щелока, известного под названием консулин и СМ-1.

Полимеризационные смолы получают из многих продуктов, в частности из стирола [110].

Многие другие полимеризационные смолы могут рассматриваться как производные этилена.

К их числу можно отнести:

а) ненасыщенные углеводороды, содержащие гидроксильную группу OH и, например, виниловый спирт с формулой



б) ненасыщенные углеводороды, содержащие карбоксильную группу COOH, и, например, акриловая кислота с формулой



Производной этой кислоты является нитрил-акриловая кислота $(\text{CH}_2 = \text{CH} \cdot \text{CN})_n$;

побочным продуктом при производстве этой кислоты, содержащим 50—60 % воды, является связующая добавка под тем же названием и сокращенно называемая НАК, ее удельный вес около 1,2. Однако из-за наличия в этой добавке цианистого водорода требуется при его применении хорошая вентиляция литейного цеха.

5. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМОЛ [107], [113]—[115]

Уменьшение расхода фенола осуществляется тремя путями:

1. Уменьшение содержания фенола.

2. Применение вместо чистого фенола исходных материалов, содержащих фенол.

3. Замена фенола другими смолами.

Минимальное содержание фенола в фенольных смолах принимается равным 6 %. В табл. 30 приведены предельные содержания фенола в связующих добавках в зависимости от предъявляемых к ним требований.

Таблица 30

Классификация смол по химическому составу и назначению
(по данным К. М. Ткаченко и А. И. Богданова)

Наименование показателя	Величина показателя		
	I класс	II класс	III класс
Температура каплепадения по Уббелде	95—115	80—130	Не ниже 75
Содержание свободного фенола в % не ниже	6	12	—
Содержание кокса в % не менее	35	25	15
Содержание летучих в % не более	60	80	85
Скорость полимеризации в сек не более	90	120	240
Материал отливки	Сталь и чугун	Сталь и чугун	Сплавы с более низкой температурой плавления
Вес отливки в кг	Более 5 кг	Менее 5 кг	—
Примеры смол	Фенольные	Крезольно-ксиленольные Пеко-фенольные	Карбамидно-формальдегидные

При следовании по второму пути применяются разные материалы, как например, сланцевая смола, древесный пек. В качестве примера можно привести сочетание: 40—58 % древесного пека; 30—46 % смолы № 18; и 12—15 % уротропина.

Вопросы, связанные с заменой фенола другими смолами, были рассмотрены раньше.

6. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Упрочнение кремнеземистых добавок основано на образовании геля и студня, с наличием которых было связано упрочнение также и глины.

Принятие допущения, что гель кремнеземистых упрочняющих добавок приближается по своему составу к гелю кремнезема, позволяет допустить наличие ряда общих закономерностей, известных из физической химии и имеющих значения для практики применения этих добавок.

I. Закономерность о равновесии системы. В отличие от истинных растворов, могущих сохраняться бесконечно долго, скорость перехода золя в гель никогда не становится равной нулю и увеличивается с повышением концентрации кремнезема в системе.

Из этой общей закономерности могут быть сделаны выводы:

а) При содержании золя кремнезема в воде свыше 12 % система становится неустойчивой. Поэтому не представляется возможным на практике использовать чистые золи кремнезема с концентрацией свыше 12 %.

б) Процессы, связанные с образованием студня и геля, протекают во времени. Поэтому можно прийти к неправильным выводам, если сравнивать системы через одинаковые промежутки времени, а не приведенные к одинаковым стадиям завершения процессов и к одинаковой степени приближения системы к равновесному состоянию.

в) Система может быть выведена из равновесия не только изменением концентрации элементов, но и изменением концентрации водородных ионов. Поэтому система может быть выведена из равновесия путем подливания электролитов. При дальнейшем подливании электролита в системе может произойти перезарядка, и система снова приблизится к равновесию.

г) Непосредственные опыты показали, что порог концентрации тем ниже, чем выше валентность коагулирующего иона. Поэтому соли одновалентных щелочей, например натриевые соли, могут быть добавлены к золю в большем количестве, чем соли более валентных щелочей.

д) Падение прочности может произойти и вследствие перекристаллизации уже выпавшего геля, если он выделится не в чистом виде (в виде кремнезема). Перекристаллизация может

явиться следствием многих причин. В частности она может явиться также следствием прибавления избытка электролита.

II. Закономерность о времени распада золя. Прочность смеси создается при переходе золя в гель.

Отсюда выводы:

а) Прибавление в смесь образовавшегося геля не приводит к созданию прочности.

б) Необходимо заканчивать изготовление литейной формы до начала значительного выделения геля из золя. Гель, выделившийся из золя до начала изготовления формы, не может способствовать повышению ее прочности.

в) Чем больше времени продолжается изготовление формы, тем более устойчива должна быть система.

III. Закономерность, связанная со свойствами геля кремнезема. Непосредственные опыты показывают, что гель кремнезема заряжен специально. Поэтому:

а) суждение о степени дисперсности кремнегеля, определяемое методом адсорбции красок, может получиться совершенно разное в зависимости от применяемой краски: он сравнительно слабо адсорбирует кислые краски и весьма энергично основные краски. Более правильные результаты можно получить при использовании нейтральной краски и водяных паров.

Кроме того, результаты определения степени дисперсности зависят от величины адсорбируемой молекулы: в поры геля кремнезема могут проникнуть только достаточно малые молекулы.

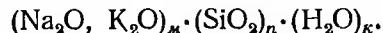
б) золь кремнезема также из-за своего кислотного характера всегда направляется к катоду. Поэтому представляется возможным увеличить концентрацию кремнезема в геле путем диализа с увеличением его концентрации в области катода.

Из кремнеземистых добавок особого внимания заслуживают жидкое стекло, цемент, технический этилсиликат.

7. ПРИМЕРЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Жидкое стекло [116]—[118]

Растворимое стекло представляет собой силикаты натрия и калия, поэтому жидкое стекло может быть выражено в самом общем виде формулой



На практике применяются натриевые жидкие стекла, поэтому формула жидкого стекла приводится обычно в виде



Оно может быть получено сплавлением кварцевого песка с содой Na_2CO_3 или с сульфатом Na_2SO_4 . Растворимое стекло, получаемое по первому способу, называется содовым, а получае-

мое по второму способу — сульфатным. В качестве связующей добавки используется почти исключительно содовое жидкое стекло.

Жидкое стекло неоднократно и с давних пор применяется в качестве связующей добавки; принципиальным и непреодоленным затруднением, препятствовавшим использованию этого материала в качестве связующей добавки, являлось быстрое упрочнение смеси, происходившее до окончания изготовления формы.

Широкое использование жидкого стекла в качестве связующей добавки началось лишь после освоения возможности управлять скоростью процесса упрочнения. Оно достигается главным образом изменением соотношения молекул SiO_2 к Na_2O . Отношение молекулярного веса этих окислов называется «модулем жидкого стекла». Зная молекулярный вес кремнезема — $28 + 2 \cdot 16 = 60$ и молекулярный вес едкого натра — $2,23 + 16 = 62$, можно определить их отношение $\frac{62}{60} = 1,03$. Зная весовое соотношение количества кремнезема SiO_2 и окиси натрия Na_2O , можно определить модуль $M = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} \cdot 1,03$. Стекло, поступающее в продажу, характеризуется модулем от 2 до 3. Изменение модуля достигается добавлением к жидкому стеклу 10—40 % раствора едкого натра.

Наряду с модулем жидкое стекло характеризуется также его плотностью, выражаемой или в виде удельного веса, или в градусах Бо́ме (Be). Пересчет градусов Бо́ме (Be) на объемный вес в г/см^3 производится по формуле

$$\text{Be} = 144 \cdot \frac{\rho - 1}{\rho},$$

а пересчет удельного веса на градусы Бо́ме производится по аналогичной формуле

$$\rho = \frac{144}{144 - \text{Be}}.$$

В продаже встречаются жидкие стекла с объемным весом 1,3—1,5. Это соответствует 37 по 50° Be. Объемный вес или соответственно градусы по Бо́ме определяются у жидкого стекла погружением в него ареометра.

Плотность жидкого стекла зависит от концентрации и его модуля. Пересчет опубликованных опытных данных позволил установить связь между плотностью ρ и модулем M при концентрации 100 %

$$\rho = \frac{1 - 0,025 \cdot M}{0,38}$$

или

$$0,025M + 0,38 = 1,0.$$

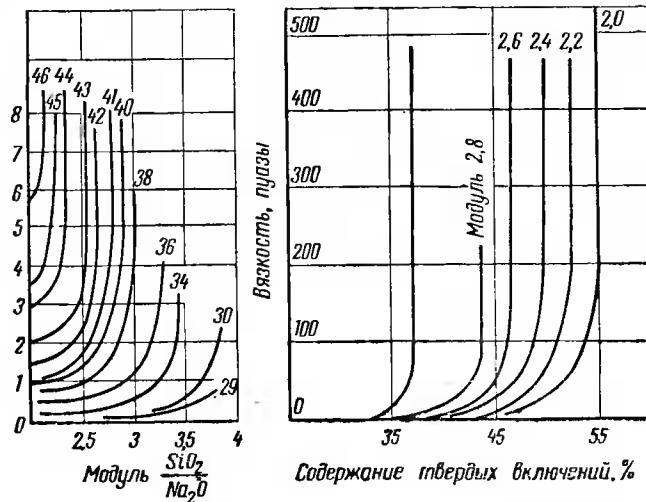
В табл. 31 приведена связь между плотностью, концентрацией и модулем жидкого стекла.

Таблица 31

Объемный вес жидких стекол разного модуля

Силикат в %	Модуль					
	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
	Объемный вес при содержании силиката					
100	2,400	2,435	2,457	2,495	2,530	2,560
80	2,12	2,15	2,16	2,19	2,22	2,24
60	1,84	1,86	1,87	1,89	1,91	1,93
45	1,63	1,64	1,66	1,67	1,69	1,70
40	1,56	1,57	1,58	1,60	1,61	1,62
35	1,49	1,50	1,51	1,52	1,53	1,54
30	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,47

Вязкость жидкого стекла зависит от его модуля и концентрации. Связь между этими величинами приведена на фиг. 13.



Фиг. 13. Связь между вязкостью, модулем и концентрацией жидкого стекла.

Желательна вязкость не выше 1000 сантипуаз во избежание затруднений при смешивании жидкого стекла с зернами песка.

Вязкость растворов жидкого стекла
в зависимости от объемного веса

(по Б. А. Ржаницину для жидкого стекла с модулем 2,63):

Объемный вес	1,038	1,070	1,100	1,160	1,210	1,265	1,325	1,385	1,452	1,511
Вязкость в сантипуазах	2,7	3,0	3,1	3,7	5,0	7,7	16,0	46,0	194	1074

Процессы упрочнения цемента еще более сложны, чем процессы упрочнения жидкого стекла. Можно принять, что при процессе упрочнения происходит вначале гидролиз с образованием золя. В дальнейшем происходит распадение золя с образованием геля.

Поэтому, во-первых, процесс упрочнения происходит только во влажной среде и, с одной стороны, сухой цемент может длительное время сохраняться без начала образования в нем реакций упрочнения, а, с другой стороны, во влажном цементе реакции начинаются немедленно после начала увлажнения.

Во-вторых, процесс упрочнения протекает достаточно медленно, так как связан со сложными диффузионными процессами, происходящими в вязкой среде.

Пересчеты опытов с определением прочности цементных смесей через разные отрезки времени показывают, что весь процесс нарастания прочности может быть разделен на два этапа:

I. Скорость образования золя из смеси воды с цементом меньше скорости образования геля. В течение этого этапа прочность удерживается на приблизительно постоянном низком уровне.

II. Скорость образования геля больше скорости образования золя. В течение этого этапа наблюдается ускоренное нарастание прочности.

Первый этап характеризует степень живучести цемента. Он должен быть достаточно длительным, чтобы обеспечить возможность изготовления формы. Второй этап должен быть по возможности сокращен, чтобы увеличить скорость изготовления форм.

Увеличению живучести смеси способствуют:

1. Увеличение вязкости смеси воды с цементом. Это достигается уменьшением содержания воды. Но это мероприятие практически трудно осуществимо, так как нижняя граница влажности связана с ухудшением формуемости готовой формовочной смеси. Поэтому цементные смеси рекомендуется применять на нижней границе, определяющей достаточной формуемостью.

2. Снижение температуры, связанное с понижением вязкости водно-цементной смеси и с замедлением реакций образования геля. Этот прием имеет также ограниченное применение из-за трудностей, связанных с работой при низких температурах.

Сокращению продолжительности второго этапа способствуют:

1) повышение температуры, но после окончания процесса гидролиза и образования золя. Однако на практике подсушивание для ускорения процесса упрочнения цементных смесей, как правило, не применяется, так как весь смысл и преимущества применения цементных смесей заключаются именно в возможности избежать операции высушивания. Подсушивание цементных смесей целесообразно только для ускорения удаления воды, содержащейся в краске, наносимой на готовую форму;

2) обработка поверхности готовой смеси химическими реагентами, аналогичными применяемым при обработке смесей на жидком стекле. К числу таких реагентов относится в первую очередь углекислый газ.

Стандартные марки цемента различаются по прочности на сжатие в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ после выдержки в течение 28 суток. По этому признаку различаются цементы марок 300, 400, 500 и 600. В качестве связующей добавки используется цемент марки 400. Однако выдержка в течение 28 суток для проверки качества цемента не может в большинстве случаев удовлетворить литейщиков. Поэтому в судостроительной промышленности считается, что смесь, содержащая 15% испытуемого цемента и 6% влажности, должна показать прочность на сжатие не менее 5 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ после выдержки в течение 24 ч при температуре 20° С.

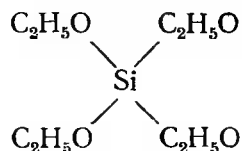
Этилсиликат [118]—[122]

Особенностью жидкого стекла и цемента как связующих добавок является наличие значительного количества примесей к кремнезему. В большинстве случаев эта особенность является недостатком упомянутых связующих добавок, поэтому наблюдается стремление применять в качестве связующих добавок золь кремнезема по возможности в чистом виде. Эта задача решается в настоящее время двумя методами:

1. Применением кремнезема в виде химического соединения с органическими образованиями; золь и гель кремнезема образуются при нагревании этих соединений.

2. Применением золя кремнезема, выделенного из других систем. Этот метод будет рассмотрен ниже.

Первый метод нашел в настоящее время значительное распространение при изготовлении отливок методом выплавляемых моделей. При изготовлении отливок по этому методу гель кремнезема получается из эфиров кремневой кислоты; одним из наиболее простых является эфир ортокремневой кислоты.



Из приведенной формулы видно, что все четыре валентности атома кремния связаны с радикалами этилового спирта, называемыми этоксилами.

Элементарный расчет показывает, что молекулярный вес этого эфира равен

$$28 + 8 \cdot 12 + 20 \cdot 1 + 4 \cdot 16 = 208.$$

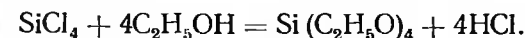
Содержание в нем кремния

$$\frac{28}{208} \cdot 100 = 13,5\%.$$

а содержание кремнезема

$$\frac{28 + 2 \cdot 16}{208} \cdot 100 = 28,8\%.$$

Еще в 1858 г. Д. И. Менделеев показал, что эфир кремневой кислоты может быть получен путем взаимодействия четыреххлористого кремния SiCl_4 с безводным этиловым спиртом $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ согласно реакции



На самом деле реакция протекает на практике гораздо сложнее. В частности реакция не идет до конца и наряду с эфиром ортокремневой кислоты в конечном продукте обнаруживается соляная кислота. Ее содержание по разным техническим условиям ограничивается 0,15—0,5%.

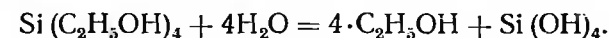
Кроме того, в конечном продукте обнаруживаются эфиры с более высоким содержанием кремнезема, чем это соответствует элементарным стехиометрическим пересчетам. Поэтому содержание кремнезема в продукте, поставляемом литейным цехам, значительно превышает 28,8% и доходит до 50%. По разным техническим условиям содержание кремнезема допускается в границах от 28 до 42%.

Чем уже границы, тем более постоянными свойствами обладает поставляемый продукт.

Поставляемый литейным цехам неочищенный эфир ортокремневой кислоты называется упрощенно «технический этилсиликат» и представляет собой прозрачную жидкость светло-коричневого тона без осадка и со слабым запахом эфира. При 20° С его удельный вес около 1.

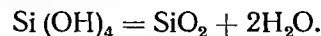
В состоянии поставки технический этилсиликат не может быть использован. Перед использованием он должен быть обработан. Происходящие при этом превращения могут быть в крайнем упрощенном виде описаны следующими реакциями:

I. Полученный технический этилсиликат подвергается гидролизу. В результате гидролиза эфира образуется спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) и ортокремневая кислота ($\text{Si}(\text{OH})_4$)

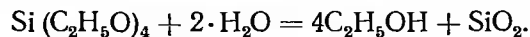


Полученная ортокремневая кислота обладает очень малой стойкостью, поэтому гидролиз производится непосредственно у потребителя незадолго до использования гидролизованного технического этилсиликата для изготовления формы.

II. При нагреве гидролизного технического этилсиликата из него улетучивается спирт, а из ортокремневой кислоты выделяется золь, а затем гель кремнезема с уменьшающимся при нагреве содержанием молекул воды



Объединяя обе реакции, получим



III. Выделившийся гель кремнезема образует с кварцевой основой формы пористую массу с температурой плавления, близкой к температуре плавления чистого кварца.

На самом деле описанные процессы протекают значительно сложнее.

Процесс гидролиза является одним из самых ответственных этапов при изготовлении форм на этилсиликате. Сложность задачи приготовления гидролизного этилсиликата заключается в наличии двух взаимно-исключающих требований: с одной стороны, процесс гидролиза не должен затягиваться во избежание снижения производительности всего процесса, а, с другой стороны, при излишней скорости гидролиза возникает опасность преждевременного распада золя и образования геля кремнезема.

Наличие этих противоречивых и взаимно-исключающих требований привело к появлению в литературе значительного количества рецептов, давших хорошие результаты в частном случае, но не могущих иметь универсального значения.

Для расчета процесса гидролиза можно исходить из следующих положений:

1. Из приведенной объединенной упрощенной стехиометрической формулы следует, что на одну молекулу кремнезема (60 г) приходится две молекулы воды (2·18 г). Поэтому на 100 г кремнезема приходится

$$\frac{100}{60} \cdot 2 \cdot 18 = 60 \text{ г воды,}$$

а на 100 г эфира

$$\frac{2 \cdot 18}{208} \cdot 100 = 17,3 \text{ г воды.}$$

Для увеличения стойкости золя вводится вместо двух молей только 1,0 до 1,5 молей воды. Такой золь не распадается, распадается только при воздействии катализаторов, как например аммиака, и не распадается при нагревании в течение реально применяемых сроков выдержки. При более высоком содержании воды происходит более полный гидролиз и система становится менее устойчивой. Более гидролизованная система содержит больше свободного кремнезема, а менее гидролизованная система содержит наряду со свободным кремнеземом высокомолекулярные кремний-органические соединения.

2. Вода и этилсиликат взаимно нерастворимы. Поэтому для создания однофазного раствора необходимо применять жидкость, в которой может растворяться как вода, так и этилсиликат. Такими жидкостями являются спирт и ацетон. Недостатком ацетона является его легкая воспламеняемость. Недостатком спирта является небольшое замедление в скорости гидролиза.

Количество растворителя определяется из расчета, что содержание кремнезема в готовом растворе не должно превышать 22%. Уместно отметить, что согласно гл. II части второй содержание кремнезема в стойком золе не должно превышать 12%. Однако при этом снижается прочность смеси. Поэтому чаще применяется золь, содержащий 16—18% кремнезема.

Влияние содержания кремнезема в золе на его стойкость по результатам опытов Я. И. Шкленника:

Содержание кремнезема в золе в %	Стойкость золя (в сутках)
12	Более 210
17	195
24	20

Особое место занимает очень высоко концентрированный золь кремнезема, разработанный в Одессе И. Н. Кривенко под названием пексан, содержащий до 50% кремнезема. Он может перед употреблением разбавляться многими органическими растворителями.

3. Для увеличения скорости гидролиза применяются катализаторы процесса главным образом в виде разных кислот, чаще всего соляной или уксусной. Содержание соляной кислоты в готовом растворе поддерживают, как правило, 0,3%. Можно полагать, что при избытке кислоты происходит перезарядка и ускорение распада золя.

Из сделанного анализа можно сделать выводы:

1. Стойкость золя кремнезема увеличивается при уменьшении добавки воды, при увеличении добавки растворителя и при отклонении содержания кислот от оптимума.

2. Скорость гидролиза увеличивается при замене спирта ацетоном, при улучшении смешивания с водой, при увеличении содержания спирта или ацетона, при увеличении содержания кислоты.

3. Большинство факторов, увеличивающих скорость гидролиза, могут уменьшить стойкость золя. Поэтому в каждом отдельном случае необходимо рассчитать наиболее удачное сочетание компонентов.

4. При уменьшении содержания кремнезема уменьшается прочность смеси.

Стремление к получению более стойкого золя привело к развитию двухступенчатых процессов гидролиза. На первой ступени получается более стойкий золь, который в дальнейшем доводится до состояния меньшей стойкости.

Если, с одной стороны, желательно замедлить процесс гидролиза для обеспечения возможности сохранения гидролизованного раствора в течение более длительного времени в пригодном для использования состоянии, до изготовления формы, то, с другой стороны, желательно ускорить завершение процесса упрочнения после изготовления формы.

Процесс распада золя и выделения геля может быть по ранее высказанным соображениям ускорен.

1. Повышением температуры. При этом следует иметь в виду, что при повышении температуры ускоряются процессы обезвоживания золя и геля, а также процессы образования геля. Обезвоживание золя приводит, в свою очередь, также к ускорению образования геля. Обезвоживание геля приводит к значительному уменьшению его объема, что может явиться причиной образования трещин. Для уменьшения этой опасности может оказаться целесообразным ускорить процесс с тем, чтобы ко времени усиленного образования геля он содержал меньшее количество влаги. При этом он меньше сокращается в объеме, оставаясь менее хрупким. Можно полагать, что течение такого процесса облегчается при ускорении процесса высушивания.

2. Преимуществом применения ацетона, скорее испаряющегося, чем спирт, является ускорение процесса высушивания; более обезвоженный гель менее склонен к образованию трещин при полной потере влаги.

3. Химическая обработка золя с целью ускорения его распада. Этот процесс может быть ускорен при его перезарядке, что осуществляется прибавлением к системе оснований. Желательно вводить это основание в виде газа. Таким газом является аммиак. По изложенным соображениям желательно осуществлять выделение менее влажного геля. Поэтому целесообразно производить обработку аммиаком спустя некоторое время после начала процесса высушивания или давать пластифицирующие добавки, например глицерин.

Золь кремнезема

Как уже указывалось, в качестве связующей добавки желательно применять чистый золь кремнезема. Это достигается в настоящее время двумя путями: А — гидролизом и Б — обработкой ионно-обменными смолами. Оба процесса были разработаны О. В. Колачевой.

А. Золь кремниевой кислоты получается электролизом жидкого стекла. Этот процесс осуществляется в растворе, состав которого рассчитывается на основе следующих соображений:

а) Количество жидкого стекла определяется из расчета содержания 7,5% золя кремнезема в готовом растворе. Это содержание приближается к предельному, так как при большем содер-

жании кремнезема в условиях электролиза становится очень неустойчивым. Для получения заданного количества золя жидкое стекло разбавляется дистиллированной водой.

б) В целях увеличения стойкости золя к раствору надлежит прибавить соляной кислоты. Ее количество рассчитывается не только для нейтрализации едкого натра из расчета

$$\frac{2 \cdot 36,5}{62} = 1,18 \text{ г HCl на } 1 \text{ г NaOH,}$$

где 36,5 и 62 — соответственно молекулярные веса соляной кислоты и едкого натра.

Необходимо добавить небольшой избыток соляной кислоты из расчета 0,2 моля или 7,5 г на 1 л раствора.

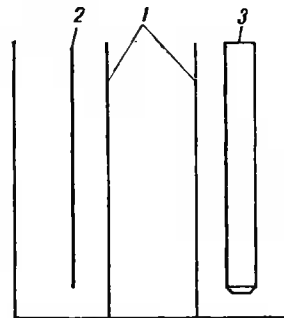
При приготовлении раствора для электролиза надлежит подливать при непрерывном перемешивании жидкое стекло в подкисленную дистиллированную воду; в противном случае, т. е. при подливании подкисленного раствора дистиллированной воды в жидкое стекло, может произойти преждевременное выпадение геля кремнезема из-за чрезмерной концентрации HCl в растворе.

Электролиз проводится на установке, схематически изображенной на фиг. 14 и состоящей из трех отсеков размерами 350 × 210 и с шириной — средней 100, а крайние по 75 мм. Средний рабочий объем отделяется от крайних полунепроницаемой перегородкой 1 из листов целлофана толщиной 0,1—0,2 мм. При необходимости можно применять вдвоенные листы целлофана. В крайнем объеме опущены электроды — анод 2 в виде жестяной пластинки размерами около 110—120 мм и катод 3 в виде графитного или угольного стержня диаметром 15—25 мм и длиной 250—300 мм. К ним подводится постоянный ток напряжением около 20 в и силой тока около 20 а. При диализе происходит перемещение ионов натрия из центрального объема и обогащение этого объема золем кремнезема.

Скорость диализа ускоряется с повышением температуры, но одновременно увеличивается опасность выпадения геля. Поэтому не рекомендуется повышение температуры выше 40°. Охлаждение ванны достигается частичным подливанием холодной воды в боковые объемы.

Окончание процесса диализа определяется достижением удельного веса 1,7 жидкостью в среднем объеме.

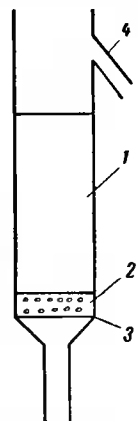
Полученный золь кремнезема после полного охлаждения разбавляют этиловым спиртом из расчета 150—300 мм на 1 л полученного золя. Стойкость полученного золя 3—5 дней.



Фиг. 14. Схема диализа жидкого стекла (по Колачевой О. В.).

Полученный таким образом золь часто называется связующей добавкой ДС.

Б. Золь, обработанный катионитовой смолой, получается также из жидкого стекла. Его нейтрализация и разведение происходит в соответствии с соображениями, изложенными при разборе процесса получения золя, электродиализом жидкого стекла. Обработка состоит в пропускании подкисленного и разбавленного раствора жидкого стекла через слой катионита согласно схеме, приведенной на фиг. 15. Через 1,5 кг катионитовой смолы КУ-1 пропускается 7—8 раз 4—5 л жидкого стекла со скоростью 150—200 мл/мин. Уровень жидкого стекла должен удерживаться на 20—30 мм выше уровня слоя смолы. При такой обработке катиониты натрия удерживаются смолой, а фильтрат содержит золь кремнезема. Для его стабилизации к нему может быть подлит, как и в предыдущем случае, этиловый спирт.



Фиг. 15. Схема обработки жидкого стекла ионно-обменными смолами:

1 — катионит;
2 — гравий; 3 —
сетка; 4 — сток
жидкости.

По окончании операции катионит промывается водопроводной водой в направлении снизу вверх для удаления остатков кислого раствора. Окончание промывки проверяется получением нейтрального раствора, вытекающего из фильтра. Для регенерации катионит покрывается 5%-ным раствором серной кислоты в течение 2—3 ч. Во время этой регенерации катионит отдает серной кислоте адсорбированный катион натрия. Регенерированный катионит подвергается вторичной промывке, но дистиллированной водой, так как водопроводная вода содержит катионы, которые поглощаются катионитом. Срок повторного использования катионита не ограничен. Расход дистиллированной воды достигает 20 л на 1 л золя кремнекислоты.

Полученный таким процессом золь называется связующей добавкой КС.

Гипс [123]

Среди неорганических связующих материалов особое положение занимает гипс. Непригодными по опытам В. Г. Бараданьянц являются обычный штукатурный и медицинский бета-гипс малой прочности. Пригодным признается только высокопрочный альфа-гипс, характеризующийся замедленным периодом охватывания: после 7-дневного охватывания он должен обладать прочностью 300—400 кг/см² на сжатие и 50—55 кг/см² на разрыв. В условиях литейной формы продолжительность охватывания явно не достигает 7 дней (начинается охватывание через 5—10 мин), но не требуется и такая высокая прочность.

По гигиеническим соображениям необходимо обратить особое внимание на возможность использования в качестве связующих добавок неорганических солей. Реального использования на практике эти соли, кроме ранее разобранных, не получили. Успешные предварительные результаты были получены при использовании магнезиальных солей в виде каустического магнезита (техническая окись магния MgO), астраханита (Na₂SO₄·MgSO₄·4H₂O) и эпсомита (MgSO₄·7H₂O) с дополнительным введением хлористых солей или минералов.

8. ПРИМЕРЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ДОБАВОК

Классификация комбинированных добавок

В подавляющем большинстве составов реальных формовочных и стержневых смесей не используется какая-либо только одна связующая добавка. Комбинированные связующие добавки могут рассматриваться как 1) механическая смесь; 2) эмульсия; 3) раствор.

Механически приготовленные комбинированные добавки здесь не разбираются, так как они получаются непосредственно при изготовлении формовочных или стержневых смесей. Однако уместно подчеркнуть, что организация централизованных поставок некоторых готовых механических смесей представляет несомненные преимущества.

Применение комбинированных связующих добавок в виде эмульсий и растворов вызывается часто необходимостью, а не только технологическими удобствами. Например, в виде механической смеси не могут быть использованы те твердые связующие добавки, которые не могут быть раздроблены в порошок, как например мягкие пеки. Эти добавки могут быть использованы только в виде эмульсий и растворов.

К технологическим преимуществам, связанным с использованием комбинированных связующих добавок в виде эмульсий и растворов, можно отнести:

1. Централизованную поставку готовых комбинированных связующих добавок, которая представляет несомненные преимущества не только потому, что освобождает литейные цехи от части работ по изготовлению исходных материалов, но и потому, что при централизованной поставке специализированными предприятиями готовых комбинированных добавок можно ожидать некоторого повышения их качества.

2. Получение по разным причинам при сочетании связующих добавок суммарной прочности выше, чем сумма прочностей, развиваемых каждой отдельной добавкой.

Так, например, 1% барды сульфитного щелока придает смеси прочность максимум 2 кг/см², 1% торфяного пека — максимум

4 кг/см². Смесь же 1% торфяного пека с 1% барды сульфитного щелока придает смеси прочность 8 кг/см² вместо суммы 2 + 4 = 6 кг/см².

3. Использование тщательно приготовленной комбинированной добавки способствует более равномерному распределению отдельных не составных частей и готовой формовочной и стержневой смеси.

4. Сочетание некоторых добавок приводит к их взаимной полимеризации, что ускоряет процесс упрочнения (работы В. А. Соколовой).

Эмульсии [93]

Под эмульсией понимается стойкая дисперсная система из жидких составных частей. Механическая смесь твердых и жидких составляющих, расслаивающаяся в соответствии с разностью удельных весов, называется суспензией.

Окружающую внешнюю среду эмульсий принято называть дисперсной средой, а вещество, распределенное в этой среде, «дисперсной фазой» системы.

Эмульсии делятся на два класса в зависимости от того, является ли вода дисперсионной средой или дисперсной фазой. В первом случае эмульсия называется **масло в воде** или м/в, а во втором случае эмульсией **вода в масле** или в/м.

В качестве связующих добавок предпочтение должно быть отдано эмульсиям типа «масло в воде» по следующим причинам:

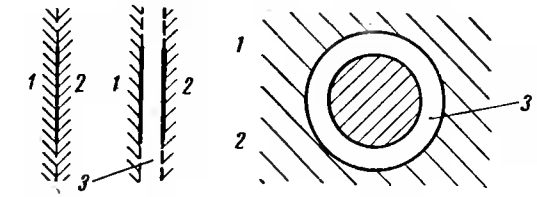
- 1. Эмульсия может быть получена при очень малом содержании в ней воды.
- 2. К такой эмульсии может быть добавлена вода для снижения вязкости эмульсии. При этом стойкость эмульсии не уменьшается, а может увеличиваться.
- 3. Зерна песка лучше смачиваются водой, чем маслом. Поэтому эмульсия **масло в воде** лучше распределяется по поверхности зерен.

К эмульсии предъявляется требование стойкости в течение всего времени ее хранения и приготовления. Стойкость эмульсий достигается введением в них специальных добавок, называемых **эмульгаторами**. Они разделяются на три рода в зависимости от механизма действия.

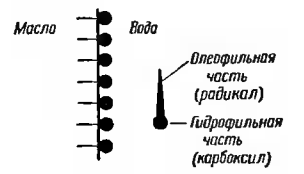
1. Снижение поверхностного натяжения по схеме, приведенной на фиг. 16. При добавлении эмульгатора, снижающего поверхностное натяжение жидкости 1, эмульсия получается в виде капель жидкости 2 в дисперсионной среде. В случае эмульсии **масло в воде** эмульгатор 3 должен снижать поверхностное натяжение воды. К числу таких эмульгаторов относятся мыла, едкое кали, едкий натр, жидкое стекло, глина.

2. Укрепление поверхностного слоя дисперсной фазы по схеме, приведенной на фиг. 17. В этом случае не изменяется

поверхностное натяжение, но на поверхности дисперсной фазы сосредоточиваются и располагаются молекулы эмульгатора таким образом, что его гидрофильная часть направлена в сторону воды, а гидрофобная (олеофильная) часть направлена в сторону масла. Гидрофильной является полярная часть соединений (карбоксил), а алейфильной — углеводородная часть (радикал). Образующийся «молекулярный частокол» препятствует коагуляции (укрупнению) дисперсной фазы и придает этим стойкость эмульсии.



Фиг. 16. Схема действия эмульгаторов, снижающих поверхностное натяжение.



Фиг. 17. Схема действий эмульгаторов, укрепляющих поверхностный слой капель эмульсии.

Уместно подчеркнуть, что эмульгаторы первого рода облегчают образование эмульсии и увеличивают ее стойкость, а эмульгаторы второго типа главным образом увеличивают стойкость эмульсии, но незначительно облегчают условия ее образования.

К числу эмульгаторов можно отнести жирные и нефтеновые кислоты.

3. Образование «брони» на поверхности дисперсной фазы механическим путем оседания на поверхности образовавшихся капель по схеме, приведенной на фиг. 18.

К числу эмульгаторов этого рода относится мелко измельченная глина.

К числу дополнительных факторов, влияющих на стойкость как эмульсий, так и суспензий, можно на основании формулы Стокса отнести.

1) Увеличение степени дисперсности дисперсной фазы. Этот прием может быть всемерно рекомендован не только потому, что он способствует увеличению стойкости суспензии, но и потому, что он способствует более равномерному распределению компонентов. Ориентировочно величина дисперсной фазы не должна превышать 10 мк.

2) Увеличение вязкости системы. Поэтому вполне целесообразно приготовление эмульсий в виде паст, разводимых до нужной концентрации непосредственно у потребителя. Дополнительным преимуществом применения эмульсий в виде паст, сказывающимся при транспортировке, является уменьшение их объема



Фиг. 18. Схема действий эмульгаторов, прилипающих к поверхности капель эмульсии.

из-за уменьшения содержания в них воды. Преимущества эмульсий в виде паст могут быть наиболее полно использованы в эмульсиях типа масло в воде. В этом случае эмульсии могут быть получены любой концентрации путем простого подмешивания воды до вязкости порядка $E_{50} = 5 + 10$.

В табл. 32 приведены примеры эмульсий, применявшиеся и применяющиеся на практике.

Таблица 32

Составные части эмульсии в %	Эмульсии			
	I. Сульфитно-глинно-пековая КТ, КБ, КД, КСБ, КП-1, КП-4	II. Водно-пековая	III. Сульфитно-масляные СП, СБ	IV. Сульфитно-масляная с эмульгатором
Барда сульфитного щелока или сульфитный щелок	30	—	80—97	68—75
Пек	50—55	60—70	—	10—12
Масла	—	—	3—20	—
Глина	15—20	—	—	—
Вода	—	30—40	—	—
Эмульгатор	—	0,4—0,5	—	15—20

Приведенные в табл. 32 эмульсии могут быть разделены на четыре группы:

I группа — сульфатно-глинисто-пековые эмульсии были разработаны коллективом сотрудников НИИЛИТМАШа под руководством канд. техн. наук Соколовой В. А. Они характеризуются наличием барды сульфитного щелока и глины в качестве стабилизатора эмульсий. Связующими добавками здесь применяются пеки, по названиям которых и обозначаются эмульсии: КТ — торфяной пек, КБ — битум нефтяной + торфяной пек или ка-нифоль, КД — древесный пек. КСБ — сланцевый битум (битум эстонских сланцев), КП — каменноугольный пек полукоксования.

Технология изготовления этих эмульсий сводится к следующим операциям:

1. Дисперсионная среда состоит из сульфитной барды с добавкой глины, предварительно размолотой и просеянной через сито № 30 по старому или 063 по новому стандарту. Оба компонента тщательно между собой смешиваются при одновременном подогреве массы до 40—50°. Барда является также и эмульгатором.

2. Дисперсная фаза в виде пеков подогревается с перегревом на 30—40° выше точки размягчения.

3. Подогретая дисперсная фаза вводится в подогретую дисперсионную среду небольшими частями и при непрерывном пере-

мешивании. Каждую последующую порцию дисперсной фазы вводят только после равномерного распределения предыдущей порции. Эмульсия КТ поставляется в виде кусков, подобных твердому монолитному телу. Эти куски могут быть добавлены непосредственно в бегуны, но могут быть и предварительно смешаны с заданным количеством воды.

II группа — водно-пековая эмульсия отличается значительно более простой методикой изготовления. Достаточная стойкость этой более простой эмульсии получается при применении пека с температурой размягчения не выше 65°. Для облегчения перемешивания с остальными составляющими формовочной смеси эту эмульсию можно подогревать до 30—40°. Из-за своей пониженной стойкости пек-водные эмульсии могут готовиться только непосредственно на заводе — потребителе эмульсии.

III группа — сульфитно-масляные эмульсии отличаются тем, что дисперсной фазой здесь являются не затвердевающие, а химические добавки — в эмульсии СП — окисленный петролатум, а в эмульсии СБ — смола ГТФ или сланцевый битум.

Приготовление этих эмульсий так же, как и в случае эмульсий I группы, заключается в подогреве барды сульфитного щелока до 80—85° С. При интенсивном перемешивании к ней подливаются эмульгируемые связующие добавки — в случае СП — 3—5% окисленного петролатума, а в случае СБ — 20% смолы ГТФ.

IV группа представлена более сложной эмульсией, отличающейся от эмульсий III группы наличием эмульгатора. В данном случае лак-этинола.

К технологическим особенностям эмульсий III и IV групп относятся: 1) пониженная прочность во влажном состоянии из-за отсутствия в них глины; 2) повышенная прочность в высушенном состоянии из-за повышения суммарной прочности.

Растворы

В растворах можно различать: 1) активную составную часть, представляющую собой связующую добавку, и 2) растворитель.

В качестве активной части могут быть использованы как твердые, так и жидкие затвердевающие и химические органические связующие добавки. Водорастворимые связующие добавки присаживаются непосредственно в смеситель без сочетания с другими добавками.

В качестве растворителя редко используется вода, так как в ней не растворяется большинство органических связующих добавок. Чаще всего в качестве растворителя применяются производные нефти.

К числу наиболее распространенных относится уайт-спирит. Это продукт перегонки нефти с температурой испарения не ниже 140 и не выше 200° С. Его удельный вес не ниже 0,77. Содержание фенолов не должно превышать 13%.

В некоторых случаях уайт-спирит заменяется керосином, имеющим более высокую температуру испарения, а именно свыше 200°. При применении керосина следует проверить — не остается ли после высушивания стержней неиспарившегося остатка. Он может явиться источником образования газовых раковин.

Из-за повышенной взрывоопасности не применяется в качестве растворителя бензин, характеризующийся температурой испарения значительно ниже 140° С.

Не применяются также производные бензола из-за их возможной вредности для здоровья. Вместе с тем они во многих случаях являются лучшими растворителями.

Уместно подчеркнуть, что во многих случаях растворитель используется в качестве «разбавителя», т. е. с целью только снижения вязкости раствора. Проведение грани между «растворителем» и «разбавителем» в большинстве случаев очень затруднительно.

В табл. 33 приведены примеры комбинированных растворов как применявшихся, так и применяющихся в промышленности. Эти растворы могут быть условно разделены на три группы:

Таблица 33

Примеры комбинированных связующих растворов

Составные части раствора	Растворы						
	Группы						
	4ГУ	П	ПС	ЗИЛ-3	ЗИЛ-4	ПТ	ПК
Химические добавки:							
масла растительные или рыбы жиры	25	—	—	—	—	—	—
окисленный петролатум	—	40—50	60	—	—	67—70	45
сланцевая смола	—	—	40	55	50	—	—
масло талловое	—	—	—	—	—	20—30	—
Затвердевающие добавки:							
канифоль	25	—	—	—	10	—	10
битум	—	—	—	25	20	—	—
Растворитель:							
уайт-спирит	50	50—60	—	20	20	11—15	45

I группа представляет собой растворы, имеющие главным образом историческое значение, так как они имели своей основной целью создать заменители растительных масел, которые нецелесообразно использовать в качестве связующих добавок. В настоящее время они применяются сравнительно редко. Типичным представителем этой группы является раствор 4ГУ, разработанный инж. Гордоном. Обладая примерно такими же свойствами, что и чистое растительное масло, он содержит масла в количестве только 25%.

II группа представляет собой двойные растворы: основная идея, положенная в основу этих масел, заключается в получении суммарной прочности, превышающей сумму прочностей. При сочетании окисленного петролатума с активными растворителями удастся получить суммарную прочность добавки выше суммы прочностей, развиваемых каждой добавкой в отдельности.

К числу таких растворов относятся ПТ и ПС: петролатум + талловое масло, петролатум, лак этиноль.

Обращается внимание на неуточненность понятий — под II понимается как окисленный петролатум, так и связующая добавка, состоящая из окисленного петролатума и разбавителя в виде уайт-спирита.

В III группу входят более сложные растворы, состоящие из трех и более составных частей. К их числу относятся добавка ЗИЛ, предложенная Е. И. Колотилиным, и серия комбинированных добавок на основе окисленного петролатума ПС и ПТ.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ **ФАКТОРЫ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ** **НА ПЕРВИЧНЫЕ СВОЙСТВА**

Под факторами внешнего воздействия можно понимать все те изменения среды, которые воздействуя на первичные свойства определяют вторичные свойства. Иначе говоря, свойства смесей зависят от первичных свойств исходных материалов и от факторов внешнего воздействия. В дальнейшем будет рассмотрено влияние изменения уплотнения, температуры и содержания воды. Однако не исключена возможность воздействия других факторов, пока совершенно не изученных, как например, влияние изменения электрических или магнитных полей. Также к числу внешних факторов можно отнести изменение химического состава среды, окружающей форму. Практически сюда можно было бы отнести влияние изменения содержания углекислого газа или аммиака. Эти факторы были разобраны во второй главе части второй и будут дополнительно разобраны в части седьмой.

Необходимо также отметить, что в профиль книги не входит рассмотрение влияния факторов внешнего воздействия на технологию.

Глава I

УПЛОТНЕНИЕ [125]—[130]

Под уплотнением понимают процесс, увеличивающий плотность смеси. Поэтому плотность смеси может рассматриваться как характеристика степени уплотнения и может выражаться величиной объемного веса в $г/см^3$.

Работа A , затраченная на придание плотности q , может быть выражена произведением силы на путь. Отношение работы A к уплотненному объему V выражается

$$\left[\frac{A}{V} \right] = \left[\frac{Г \cdot см}{см^3} \right] = \left[\frac{Г}{см^2} \right],$$

т. е. имеет размерность давления p и может рассматриваться как удельная или относительная работа.

Отношение давления p к плотности q выражается

$$\left[\frac{p}{q} \right] = \left[\frac{Г \cdot см^3}{см^2 \cdot Г} \right] = [см],$$

т. е. имеет размерность деформации.

Деформация смесей под воздействием уплотнения будет рассмотрена в шестой части, посвященной механическим свойствам смесей.

1. СВЯЗЬ МЕЖДУ УПЛОТНЕНИЕМ И ПЛОТНОСТЬЮ

Для определения связи между уплотнением и плотностью предложено несколько формул. Наиболее простой и обеспечивающей достаточно точные результаты является формула, предложенная проф. Н. П. Аксеновым [131],

$$q - 1 = Cp^{0,25},$$

где C — постоянный коэффициент;

p — давление в $г/см^2$;

q — плотность в $г/см^3$.

В приведенном виде формула не удовлетворяет требованиям размерности и краевым условиям. Поэтому ей можно придать вид

$$\frac{q_2 - q_1}{q_1} = C \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^a,$$

где q_1 — плотность при давлении p_1 ; q_2 — плотность при давлении p_2 ; p — давление, оно может рассматриваться как относительная работа; a — показатель степени уплотняемости.

В приведенном виде формула удовлетворяет требованиям размерности и краевым условиям:

$$\text{при } p_1 = 0$$

$$q_1 = q_2 = q_0,$$

где q_0 — плотность смеси при давлении (или относительной работе) $p = 0$.

Коэффициент C характеризует прирост плотности при увеличении давления с $p = p_1$ до $p = p_2$. Этот коэффициент может быть назван коэффициентом уплотняемости.

Некоторая неопределенность создается неуточненностью понятия $p = 0$.

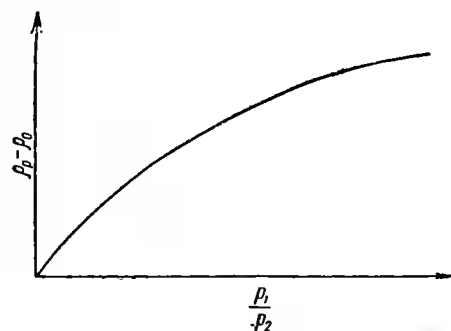
Для решения практических задач можно под $p = 0$ понимать давление смеси заданной высоты под влиянием собственного веса. Если принять ориентировочно $q_0 = 1 \text{ г/см}^3$, то слой смеси высотой 10 см создает давление 10 $г/см^2$, что соответствует

$$p_0 = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ кг/см}^2.$$

Таким давлением можно уверенно пренебречь при ориентировочных расчетах. Следовательно, под q_0 можно понимать плотность смеси под воздействием собственного веса при высоте слоя порядка 10 см.

Краевое условие $p = \infty$ не может быть использовано, так как при этом произойдет разрушение зерен.

Графически выведенная зависимость приведена на фиг. 19. Неудобная для многих практических пересчетов кривая линия, связывающая уплотнение с плотностью, становится прямой, если ее изображать в логарифмическом масштабе в соответствии с формулой



Фиг. 19. Влияние уплотнения на плотность.

с увеличением плотности увеличивается прочность и уменьшается газопроницаемость K , как это изображено схематически на фиг. 21.

При рассмотрении приведенных формул и диаграмм можно прийти к следующим выводам:

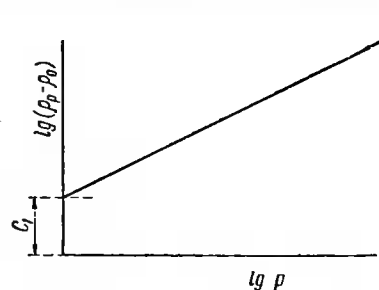
$$\lg(e_2 - e_1) = \lg C + a \lg p_1 - a \lg p_2.$$

Приняв $\lg C = C_1$ и $p_2 = 1$, следовательно, $\lg p_2 = 0$. Формула приобретает вид

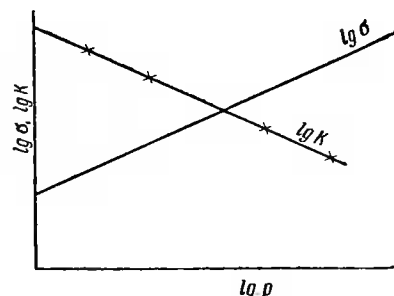
$$\lg(e_2 - e_1) = C_1 + a \lg p_1,$$

как это изображено на фиг. 20.

Большинство вторичных свойств изменяется подобно изменению плотности. В частности, можно считать, что



Фиг. 20. Влияние уплотнения на плотность (логарифмический масштаб).



Фиг. 21. Влияние уплотнения на прочность и газопроницаемость.

1. Плотность изменяется пропорционально не разности степеней уплотнения, а отношению степеней уплотнения.

2. Отсюда следует, что увеличение степени уплотнения на одинаковую величину при малых степенях уплотнения вызывает увеличение плотности на более заметную величину, чем при больших степенях уплотнения.

3. Поэтому сохранение постоянства плотности, а следовательно и других вторичных свойств при малых степенях уплотнения требует больше внимания, чем сохранение постоянства плотности при больших степенях уплотнения.

4. Увеличение степени уплотнения нежелательно, так как оно повышает расход энергии и снижает производительность.

5. Перспективными представляются процессы, при которых эти противоречия исключаются: форма создается при малых степенях уплотнения и упрочняется последующей химической обработкой. К числу таких процессов относится процесс химического упрочнения, например, углекислым газом.

В реальных формах выведенная зависимость между плотностью и уплотнением искажается трением формовочной смеси о стенки опоки, поэтому распределение плотности по сечению формы получается неравномерным: у стенок за счет трения смеси о стенки опоки плотность более низкая.

Также изменяется плотность по высоте формы при неизменном уплотнении на поверхности формы. Такое изменение вызвано сжимаемостью формовочной смеси и неравномерным распределением давления по объему опоки.

Кроме того, необходимо при больших уплотнениях учитывать упругую деформацию формовочной смеси.

Особый интерес представляет пересчет уплотнения, получаемого в стандартных условиях, на уплотнение, имеющееся в реальной форме. Этот пересчет может быть осуществлен по приведенным формулам, а также непосредственным опытом. В последнем случае изготавливается образец с той степенью уплотнения, которая имеет место в реальной форме.

2. МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ

Необходимо отличать уплотнение имеющегося объема от уплотнения получающегося объема. Условно и для краткости выражения первый вид уплотнения можно назвать «статическим», а второй вид уплотнения «динамическим».

«Статическое уплотнение» наблюдается при изготовлении форм на обычных формовочных машинах, а также при изготовлении образцов в лабораторных условиях на стандартном копре.

«Динамическое уплотнение» наблюдается при изготовлении стержней и форм на пескоструйных, пескодувных и пескострельных машинах.

Выведенная формула так же, как и все последующие данные об уплотнении, относится к статическому уплотнению, и не может считаться доказанным, что закономерности статического уплотнения относительно применимы к динамическому уплотнению.

Стандартное уплотнение

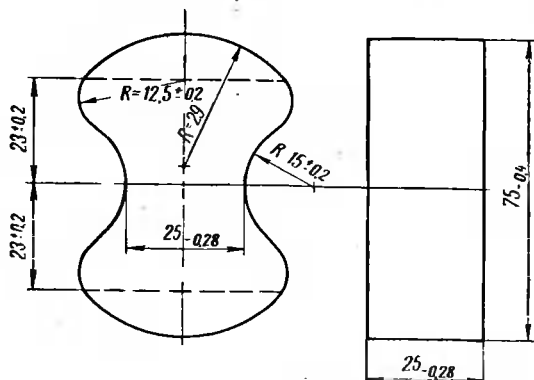
Ввиду зависимости всех вторичных свойств от степени уплотнения их определение должно производиться при стандартном уплотнении. Оно производится на копре, вес бабы которого должен быть 6,35 кг. Копер должен быть установлен на фундаменте

весом не менее 25 кг. Падение бабы должно происходить с высоты 50 мм = 0,05 м. Уплотнение производится в цилиндре диаметром 50 ± 0,2 мм. Вес всех падающих частей копра должен составлять 8000 ± 25 г. Смесь уплотняется трехкратным падением бабы. Изготовленный образец должен иметь высоту 50 ± 0,8 мм.

Стандартная работа уплотнения составляет $A = 6,35 \cdot 3,005 = 0,952$ кгм, или округленно 1 кгм.

Объем образца

$$V = \frac{\pi \cdot 5,0^2 \cdot 5,0}{4} = 98,5 \text{ см}^3, \text{ или округленно } V = 100 \text{ см}^3.$$



Фиг. 22. Образец для испытаний на разрыв в высушенном состоянии.

Следовательно, относительная работа

$$\frac{A}{V} = \frac{0,95 \cdot 2}{98,5} 100 = 0,94 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2},$$

или округленно $\frac{A}{V} = 1 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}.$

Такие цилиндрические образцы применяются для определения прочности на сжатие и срез в сыром и сухом состояниях.

Для испытаний на разрыв применяются образцы в виде восьмерок, подобных приведенным на фиг. 22. При определении прочности смесей, применяемых для изготовления оболочек, используются образцы, равные по толщине стандартным образцам.

Метод автора и Б. П. Селиванова [132]

Этот метод отличается от стандартного тем, что сохраняется постоянство не объема образца V , а его веса G . Для приведения к стандартной высоте необходим пересчет по правилам линейного пропорционирования

$$H = H_1 \frac{G}{G_1},$$

где H_1 и G_1 — высота и вес образца при данной методике переменные величины,

Эталонный вес образца рекомендуется принимать равным 170 г. Поэтому приведенная формула приобретает вид

$$H = H_1 \frac{170}{G_1}.$$

Предлагаемый метод может дать более точные результаты, так как исключает влияние колебаний по высоте образца. Возможная ошибка из-за пренебрежения высотой образца составляет при стандартной методике $\frac{2 \cdot 0,8}{50} \cdot 100 = 3\%$. Однако этот метод несколько сложнее и поэтому не может быть рекомендован для повседневной практики. Он может оказаться полезным при более точных лабораторных испытаниях.

В табл. 34 приведены результаты опытов по определению влияния уплотнения на плотность смесей в зависимости от их влажности. Смесь изготовлялась из зерен диаметром 0,1 и 0,2 мм.

Таблица 34

Влияние воды на плотность образцов

№ по пор.	Параметры	Содержание в образце воды W в %					
		1	2	3	4	6	8
Опытные данные							
1	Высота образца в мм:						
2	H_2 (из зерен 0,2 мм)	52	51	51	51	50	50
	H_1 (из зерен 0,1 мм)	57	56	56	54	52	51
Объем образца в см ³ :							
3	$V_2 = 19,6 \cdot H_2$ (из зерен 0,2 мм)	102	100	100	100	98	98
4	$V_1 = 19,6 \cdot H_1$ (из зерен 0,1 мм) . .	112	110	110	106	102	102
Пересчет опытных данных							
5	Вес образца из сухих зерен . . .	168	166	165	163	160	156
	$G_c = \frac{170^{**}(1 - W)}{100} \text{ г}$						
Объемный вес образца из влажных зерен в г/см ³							
6	$V'_2 = \frac{170^{**}}{V_2}$ (из зерен 0,2 мм) . .	1,67	1,70	1,70	1,70	1,73	1,73
7	$V'_1 = \frac{170}{V_1}$ (из зерен 0,1 мм) . . .	1,52	1,55	1,55	1,60	1,67	1,67
Условный объемный вес образца из сухих зерен в г/см ³							
8	$V''_2 = \frac{G_c}{V_2}$ (из зерен 0,2 мм) . . .	1,64	1,66	1,65	1,63	1,63	1,60
	$V''_1 = \frac{G_c}{V_1}$ (из зерен 0,1 мм) . . .	1,60	1,51	1,50	1,54	1,57	1,53

* 19,6 см² — площадь образца диаметром 5 см.

** 170 г — эталонный вес образца.

Из табл. 34 можно сделать выводы:

1. При увеличении влажности образцов наблюдается непрерывное уменьшение их высоты, объема и расчетного веса сухих зерен, а также соответствующее увеличение объемного веса влажных зерен (номера 1—7).

2. Условный объемный вес сухих зерен (номера 8 и 9) претерпевают максимум: образцы с зернами 0,2 мм при 2% влажности и образцы с зернами 0,1 мм при 6% влажности.

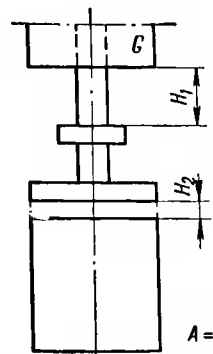
3. Наличие максимумов плотности указывает на влияние влажности на уплотнение в нескольких направлениях. К числу факторов, увеличивающих плотность, можно отнести уменьшение трения поверхности зерен. К числу факторов, ухудшающих уплотняемость, можно отнести увеличение сил поверхностного натяжения.

4. Зерна более мелкие являются вместе с тем и более угловатыми (см. первую часть). Поэтому можно предполагать, что зерна более мелкие и более угловатые уплотняются при более низком содержании воды, чем зерна более крупные и более круглые.

5. Для достижения той же плотности надо угловатые зерна уплотнить сильнее, чем зерна круглые.

Метод уплотнения при постоянной плотности образца

Принципиальным недостатком обоих рассмотренных методов является искажение результатов уплотнения из-за разных коэффициентов уплотняемости, как это видно из схемы, приведенной на фиг. 23: при уплотнении смеси высота падения бабы определяется не расстоянием H_1 между упорами на копре, а суммой высот H_1 и уплотняемого слоя смеси H_2 . Между тем высота H_2 тем больше, чем больше уплотняемость смеси. Поэтому некоторыми авторами, главным образом английскими, рекомендуется сравнивать свойства не при постоянной работе уплотнения, а при постоянной плотности образца.



Фиг. 23. Схема влияния уплотняемости на работу уплотнения.

Испытание при постоянной плотности может привести к выводам, резко отличающимся от выводов, полученных при испытаниях с постоянной работой уплотнения.

Так, например, смеси с меньшим содержанием глинистых составляющих могут обладать ухудшенной уплотняемостью. Поэтому при их уплотнении до заданной плотности может потребоваться значительно большая работа по сравнению с работой по уплотнению смесей с меньшим содержанием глинистых. При доведении обеих смесей до одинаковой плотности может получиться

парадоксальный вывод, что менее глинистые смеси обладают большей прочностью, чем более глинистые.

Ввиду зависимости плотности смеси от объемного веса зерен рекомендуется выражать уплотнение отношением плотности смеси ρ_w к объемному весу зерен ρ_s . Английскими авторами указатель уплотнения обозначается IR (индекс рамминг) и рассчитывается по формуле

$$IR = \frac{\rho_{w=0}}{\rho_s} 100 - 42.$$

При этом $\rho_{w=0}$ — плотность образца, пересчитанная на безводное состояние, т. е. из веса образца вычитается вес воды с сохранением неизменного объема смеси.

Рассмотрение этой формулы приводит к следующим выводам: 1. При $IR = 0$

$$\frac{\rho_{w=0}}{\rho_s} = 0,42.$$

Если принять по-прежнему $\rho_s = 2,62$, то

$$\rho_{w=0} = 2,62 \cdot 0,42 = 1,1,$$

что приблизительно соответствует принятой минимальной плотности.

2. Наибольшее и практически недостижимое значение для IR получается при $\rho_{w=0} = \rho_s$. В этом случае

$$IR = 1 \cdot 100 - 42 = 58.$$

3. Близкое к практически наибольшему уплотнению значение

$$\rho_{w=0} = 2$$

приводит к

$$IR = \frac{2,00}{2,62} 100 - 42 = 33.$$

Подробности методики не представляют интереса. Практическое значение представляет сама идея определения вторичных свойств при постоянном уплотнении. В этом случае могут вскрыться новые и важные закономерности. Уплотнение удобнее производить с образцами постоянного веса.

3. НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЕЛИЧИНЫ УПЛОТНЕНИЯ И ПЛОТНОСТИ

Стандартное уплотнение, равное относительной работе или давлению около $1 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$, соответствует приблизительно средним уплотнениям сырой песчано-глинистой формы для мелких шинных отливок.

При изготовлении стержней из масляных текучих смесей применяется уплотнение, не превышающее $0,3 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$.

При изготовлении песчано-глинистых форм для стального литья применяется уплотнение более $3 \text{ кг} \cdot \text{см}^2$. Значительно более высокое уплотнение наблюдается в формах, изготавливаемых под высоким давлением.

Наименьшая плотность обычной песчано-глинистой смеси в хорошо разрыхленном состоянии составляет около $0,9 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Даже под влиянием собственного веса плотность такой смеси на глубине 1 м повышается до $1,5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Нормальным можно признать уплотнение $1,7 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, что соответствует весу 170 г стандартного образца объемом около 100 см^3 , получающемуся в стандартных условиях. Плотность смесей, изготовленных на практике, составляет обычно от $1,5$ до $1,9 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$.

При сопоставлении величин плотностей смесей необходимо учитывать их удельный вес. Насыпной вес некоторых формовочных материалов приведен в табл. 35.

Таблица 35

Ориентировочный насыпной объемный вес
типовых формовочных материалов

Материал	Объемный вес в $\text{г} \cdot \text{см}^3$ (или $\text{т} \cdot \text{м}^3$)	Материал	Объемный вес в $\text{г} \cdot \text{см}^3$ (или $\text{т} \cdot \text{м}^3$)
Формовочная смесь . . .	0,9—1,1	Растительные масла . . .	0,85—0,95
Уплотненная смесь . . .	1,5—1,9	Древесная пыль	0,5—0,6
Каменноугольная пыль . .	1,2—1,3	Мука	0,4—0,6
Молотый кокс	1,0—1,1	Декстрин	0,4—0,5
Смола кусками	0,9—1,1	Смола молотая	0,4—0,5

Сопоставляя плотности образца $2,62$ и удельный вес скелета $1,7$ смеси, можно подойти к оценке пористости смеси, она получается как отношение

$$П = \frac{(2,62 - 1,7) 100}{2,62} = 35 \%$$

Из табл. 15 видно, что удельный вес всех приведенных в ней минералов изменяется в границах от 2 до $5,3$, а наиболее часто встречающихся изменяется в границах от 2 до 3 . Средний расчетный объемный вес минералов может быть принят около $2,6$, повышаясь до 4 для циркона и хромита.

Объемные веса водорастворимых добавок, жидкого стекла, типовых формовочных материалов и смесей были приведены ранее.

Объемный вес ρ смеси может быть определен расчетным путем, если известны объемные веса ρ_i отдельных составляющих и их процентное содержание

$$\rho_{см} = \frac{\rho_1 g_1 + \rho_2 g_2 + \dots + \rho_n g_n}{100}$$

Эта формула может быть признана справедливой только в том случае, если отдельные составляющие образуют между собой не химическое соединение, а механическую смесь.

При пользовании этой формулой следует остерегаться ошибки, возникающей при сопоставлении между собой смесей с разной степенью уплотнения. Эта ошибка может произойти потому, что некоторые добавки изменяют уплотняемость смеси (табл. 34).

Из сказанного могут быть сделаны следующие выводы.

1. Под воздействием уплотнения объемный вес смеси может увеличиться почти вдвое, но практически не более чем в $1,5$ раза. Если учитывать реальные уплотнения, встречающиеся на данном производстве, то изменение объемного веса можно считать укладываемым в границы $\pm 10\%$.

2. При применении исходных материалов объемный вес смеси может изменяться в $1,5$ раза.

Глава II

ВЛАЖНОСТЬ

Изменение содержания воды в смесях, как и всякой другой жидкости, оказывает влияние как на изменение свойств смесей, так и на изменение свойств металла отливки.

Изменение вторичных свойств смесей при прибавлении к ним воды проходит часто через максимум.

Поэтому то содержание воды, при котором свойства становятся наибольшими, называется оптимальным. Таким образом, следует, например, говорить об оптимальной влажности по прочности или об оптимальной влажности по газопроницаемости.

Во многих случаях действительное содержание по разным причинам отличается от оптимального. В таких случаях содержание влажности называется рабочим.

Содержание воды в смесях выражается в процентах. Причем возможны два случая:

1. За 100% принимается сухой остаток и количество воды выражается сверх 100% . Такой способ представляется более правильным, так как изменение содержания воды должно рассматриваться как фактор внешнего воздействия, который может и должен изменяться в зависимости от ряда местных условий. Например, содержание воды летом часто должно быть выше, чем содержание воды в той же смеси зимой. Таким образом, состав смеси остается неизменным, а содержание воды меняется.

2. За 100% принимается сухая часть смеси плюс вода. Такой способ представляется менее правильным, так как при необходимости изменить содержание воды в смеси меняется ее процентный состав. Преимущество второго способа обнаруживается только

при проведении текущих анализов малоквалифицированными лаборантами, так как при этом способе облегчаются арифметические пересчеты.

1. СОСТОЯНИЯ ВОДЫ [133]

Вода в смесях характеризуется количественно и качественно. Качественно она характеризуется ее состоянием и распределением по объему формы. Разными авторами предложено несколько классификаций.

Можно различать в смесях несколько состояний воды с нечетко различающимися границами. Применительно к формовочным материалам состояние воды может быть разделено по признаку их отношения к минералам на две группы:

I. Вода, входящая в состав минералов;

II. Вода, не входящая в состав минералов.

Группа I может быть подразделена на три условные подгруппы: вода конструкционная, кристаллизационная и цеолитная.

Группа II также может быть подразделена на три подгруппы: вода адсорбированная, капиллярная и свободная.

Конституционная

Вода конституционная входит непосредственно в состав минералов, например, водных окислов и силикатов.

Конституционная вода характеризуется следующими отличительными признаками:

1. Она выделяется при вполне определенной температуре. Ориентировочно можно считать, что в большинстве случаев при температуре 300°С начинается потеря конституционной воды, а при 700° конституционная вода полностью удаляется.

2. После выделения конституционной воды свойства минералов резко изменяются. В подавляющем большинстве случаев формовочные свойства ухудшаются, в частности, зерна становятся менее дисперсными.

3. Процесс удаления конституционной воды необратим, т. е. удаленная при нагреве конституционная вода не возвращается в состав минералов даже при очень длительном намокании.

Из рассмотрения этих признаков следует:

1. Во избежание ухудшения качества песков и глин нельзя при их высушивании превышать температуру начала потери конституционной воды.

2. Неизбежная потеря конституционной воды и ухудшение качества глин происходит в слоях формы, прилегающих к отливке.

3. Глина, потерявшая конституционную воду, переходит в грубодисперсное пылевидное состояние и является балластом, который должен быть удален из отработанной смеси.

Кристаллизационная вода имеет с конституционной водой очень много общего: она удаляется при определенных температурах и ее удаление связано с ухудшением качества глин. Однако кристаллизационная вода в отличие от конституционной возвращается в состав минералов при повторном длительном намокании. Примером минерала, содержащего кристаллизационную воду, является гипс.

В табл. 36 приведены в качестве примера результаты опытов автора по определению потери воды после нагрева в течение 2 ч при температурах 300 и 700°С образцов, предварительно высушенных до постоянного веса при температуре 105—110°С. После нагрева, охлаждения и взвешивания образцы подвергались повторному намоканию в воде в течение суток.

Таблица 36

Повторное намокание предварительно высушенных образцов
формовочных песков, нагретых до 300 и 700°С

Содержание	Песок		
	Дивенский	Сиверский	Волгоградский
Количество образцов	4	3	5
Содержание глинистых составляющих в %	16,5±3,5	23,0±4,0	13,8±3,0
Потеря воды в %:			
после нагрева до 300°С	0,37±0,15	0,55±0,12	0,52±0,2
то же на 1% глинистых составляющих	2,2	2,4	3,8
Повторение намокания в %:			
образцов	0,10±0,02	0,16±0,02	0,20±0,05
то же на 1% глинистых составляющих	0,6	0,7	1,5
Необратимая потеря воды в %:			
образцами	0,27	0,39	0,32
то же на 1% глинистых составляющих	1,6	1,7	2,3
Потеря воды в %:			
после нагрева до 700°С	1,1±0,3	1,6±0,2	2,10±0,80
то же на 1% глинистых составляющих в %	6,7	7,0	15,2
Повторное намокание в %:			
образцов	0,08±0,01	0,19±0,02	0,30±0,10
то же на 1% глинистых составляющих	0,5	0,8	2,2
Необратимая потеря в %:			
образцами	1,02	1,46	1,80
то же на 1% глинистых составляющих	6,2	6,2	13,0

Из табл. 36 следует:

1. Если считать, что глинистые составляющие состоят из чистого каолинита с формулой $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, то содержание в них конституционной воды составило бы

$$W = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{(2 \cdot 27 + 3 \cdot 16) + (2 \cdot 28,1 + 4 \cdot 16) + (2 \cdot 18)} = 14\%.$$

На самом деле потеря воды после нагрева до $700^\circ C$ составила в случае глинистых песков Дивенского и Сиверского месторождений только 6,7 и 7,0%. Это указывает на засорение глинистых составляющих этих песков безводными минералами типа кварца и полевого шпата. В случае песков Волгоградского месторождения содержание конституционной воды глинистых составляющих, полученное опытным путем, приближается к полученному расчетным путем.

2. Образцы Дивенского и Сиверского месторождений ведут себя совершенно одинаково в пределах точности проведенных исследований, что подтверждается их одинаковым геологическим происхождением — отложения девонского периода.

3. Величины повторного намокания образцов, предварительно нагретых до 700 или $30^\circ C$, мало отличаются друг от друга. Разность этих величин составляет $\pm 0,1\%$ на 1% глинистых составляющих для песков девонского периода. Этот вывод позволяет утверждать, что кристаллизационная вода выделяется главным образом при более низких температурах. При более высоких температурах увеличивается доля необратимо удаляющейся конституционной воды.

4. Процессы повторного намокания должны рассматриваться как очень длительные. Поэтому их величина может увеличиваться, если процесс намокания продолжить более длительное время.

Цеолитная

Это название было предложено академиком В. И. Вернадским. Цеолитная вода входит внутрь минерала, но не входит в его химический состав. Этот вид воды имеет то общее с водами кристаллизационной и конституционной, что после ее выделения свойства минерала резко изменяются. Но она отличается от конституционной и кристаллизационной воды менее резко выраженной температурой начала выделения и полной обратимостью процесса. Цеолитная вода может быть уподоблена воде, растворенной в минерале.

Примером минерала, содержащего цеолитную воду, является монтморрилонит, являющийся характерной составной частью бентонитовых глин. Содержание цеолитной воды в минералах доходит до 30% .

Под адсорбированной можно условно понимать воду, поглощенную смесью из окружающего воздуха. Некоторыми авторами вводится различие между несколькими видами адсорбированной воды. Но различие это применительно к таким сложным системам, как формовочные материалы, характеризуется столь нечетко выраженными границами, что практически на имеющемся уровне знаний можно рассматривать адсорбированную воду без дальнейшего ее подразделения. Нужно, однако, указать на значительное увеличение трудности отделения последних молекул воды, удерживающихся на поверхности зерен.

Из табл. 4 видно, что в зависимости от величины зерна, а следовательно, и от величины поверхности зерен, количество адсорбированной воды изменяется, но всегда составляет менее $0,1\%$ от веса кварцевых зерен. Из табл. 5 видно, что на 100 глинистых составляющих адсорбируется в зависимости от их качества до 25% воды. Поэтому можно считать, что глинистый песок с содержанием около 10% глинистых составляющих средней дисперсности может адсорбировать около $2,5\%$ воды. Такое содержание воды в смесях обнаруживается при длительной их выдержке в атмосфере цеха.

В табл. 37 приведены результаты исследований в ЦНИИТ-МАШе автора и Л. Д. Снуловой по определению сорбционной способности нескольких типовых формовочных смесей, а в табл. 38 — пересчитанная на 1% добавки сорбционная влажность некоторых типовых связующих добавок.

Таблица 37

Количество адсорбированной воды типовыми формовочными смесями
(Основа — кварцевый песок К02А)

Добавка	Количество в %	Адсорбировано воды в % при относительной влажности воздуха			
		100%	95%	80%	60%
		Содержание серной кислоты в воде в %			
		0	10	25	40
Огнеупорная глина	10	2,0	0,8	0,3	0,1
Жидкое стекло	6	15	9	2	0,3
Сульфитная барда	5,5	7	2	1	0,2
СП	5,6	6,4	1,9	0,8	0,2
СБ	5,6	6,0	1,2	0,6	0,1
КТ	6	2,6	0,6	0,2	0,1
МФ-17	2,5	3,0	0,7	0,4	0,1

Таблица 38

**Сорбционная влагоемкость типовых связующих добавок
(при относительной влажности воздуха 60%)**

Добавка	Сорбционная влажность на 1% связующей добавки в %
Грубодисперсная глина (огнеупорная)	0,01
Мелкодисперсная глина (бентониты)	0,02
Эмульсия глинисто-сульфитная торфяного пека (КТ)	0,1
Эмульсия сульфитно-битумная (СБ)	0,2
Эмульсия сульфитно-петролятуменная (СП)	0,3
Карбидноформальдегидная (СМФ-17)	0,3
Барда сульфитного щелока (сухой остаток)	0,7
Жидкое стекло	1,5

Из рассмотрения этих таблиц могут быть сделаны следующие выводы:

1. Смеси глинистые с добавками КТ и МФ-17 незначительно различаются по величине сорбционной влагоемкости.

2. Среднее положение занимают смеси с добавками СБ, СП и с бардой сульфитного щелока. Это незначительное различие может быть объяснено тем, что добавки СП и СБ являются сульфитно-щелочными эмульсиями.

3. Наиболее высокая влагоемкость жидкого стекла должна рассматриваться как условная, так как опыты производились со смесями на необработанном жидком стекле.

4. При пересчете на 1% связующей добавки сорбционная влагоемкость глинистых составляющих значительно меньше влагоемкости других связующих добавок (табл. 38).

5. Количество адсорбированной воды увеличивается при увеличении содержания влаги в воздухе.

Представляет интерес вопрос о количестве слоев молекул воды в адсорбированном слое. Для решения этого вопроса можно исходить из допущения, что расчетный диаметр молекулы воды составляет величину порядка $5 \text{ \AA} = 0,5 \text{ мкм}$. Если принять согласно табл. 4 толщину слоя воды равной 40 мкм , то в адсорбированном слое можно ожидать количество молекул порядка $\frac{40}{0,5} = 80$.

При оценке абсолютных значений, приведенных в табл. 37 и 38, необходимо иметь в виду зависимость сорбционной влагоемкости от температуры и уплотненности смеси. Опыты проводились при температуре около 20°C . Смесь применялась в раздробленном виде.

Капиллярная вода

Проведение четкой границы между адсорбированной, пленочной и капиллярно-связанной водой не представляется возможным в большинстве случаев таких сложных систем, какими являются формовочные смеси.

Условно под капиллярно связанной можно понимать ту воду, которая не удерживается силами адсорбции, но и не стекает с поверхности зерен под влиянием силы, значительно превосходящей силу тяжести. Вода, стекающая под воздействием силы тяжести, может быть названа свободной. В формовочных смесях свободная вода не наблюдается.

Результаты обобщения собственного опыта и пересчетов опубликованных и производственных материалов приведены в табл. 39.

Таблица 39

**Грубоориентировочное количество адсорбированной и капиллярной воды
на 1% добавки**

Добавка	Количество адсорбированной и капиллярной воды в % на 1% добавки
Пыль каменноугольная, торфяная	0,05
Кварцевая мука	0,1
Грубодисперсная глина	0,2—0,4
Мелкодисперсная глина	0,4—0,8
Древесные опилки	0,5
Водорастворимые добавки (барда сульфитного щелока, декстрин)	1,0

Рассчитываемое по этой таблице грубо ориентировочное количество воды может отличаться от рабочей и оптимальной влажности по некоторым причинам, которые будут рассмотрены ниже.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Стандартный метод

Стандартным методом можно определить количество той воды, которая испаряется при температуре 100°C . Поэтому этим методом нельзя определить не только конституционную и кристаллизационную воду, но и воду, которая адсорбирована на поверхности зерен в виде последних очень тонких слоев, наиболее близко прилегающих к поверхности зерен. Непосредственными опытами было доказано, что слои воды, прилегающие к поверхности зерен, обладают температурой кипения, значительно превышающей 100°C , и удельным весом, значительно превышающим единицу. Ранее было установлено, что количество адсорбированной воды составляет около 0,1% веса кварцевых зерен. Таким образом, можно считать, что при стандартном методе определения воды совершается неточность более чем на 0,1%.

В соответствии со сделанными допущениями при стандартном методе определения воды высушивают навеску смеси при температуре $105\text{—}110^\circ \text{C}$ до постоянного веса.

Вес навески рекомендуется принимать равным 50 г. В этом случае удвоенная разность между 50 г и весом высушенной навески непосредственно указывает на влажность в процентах от веса навески. Такой прием почти полностью исключает необходимость пересчетов, но указывает на процент воды от веса влажной навески, что представляет указанные ранее неудобства.

Преимуществом метода является его крайняя простота как при проведении испытания, так и при проведении расчетов. Недостатком метода является длительность его проведения.

Поэтому наряду со стандартным существует большое количество ускоренных методов определения содержания воды в смесях.

Ускоренные методы определения влажности смесей могут быть прямые, основанные на определении количества воды путем ее выделения из высушенного материала, и косвенные, при которых вода из материала не выделяется, а влажность определяется по свойствам, изменяющимся с изменением влажности.

Прямые ускоренные методы

Ускорить процесс определения влажности прямыми методами можно или ускорением процесса высушивания, или заменой высушивания другими процессами, извлекающими влагу.

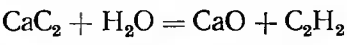
Ускорить процесс высушивания можно:
1) повышением температуры сушки. Недостатком этого приема является опасность выделения из смеси не только капиллярной и адсорбированной воды, но также конституционной и кристаллизационной;

2) уменьшением веса навески. Недостатком этого приема является неточное определение влажности. Поэтому снижать вес пробы ниже 10 г не рекомендуется;

3) усилением обмена нагретого воздуха. Недостатком этого приема является опасность выдувания из навески наиболее мелких зерен. Поэтому не следует применять высоких давлений и нужно принимать меры против выдувания мелких зерен из навески.

4) применением приспособлений, ускоряющих процессы взвешивания и пересчетов результатов взвешивания. Для этой цели применяются чашечные весы с противовесом и со стрелкой, указатель которой дает возможность непосредственного отсчета содержания воды в зависимости от веса исходной навески. Таким образом, отпадает трудоемкая операция точного взвешивания.

Примером удаления воды из смеси без ее высушивания является процесс смешивания влажной смеси с карбидом кальция. В результате реакции



получается ацетилен C2H2. Зная, что 1 г ацетилена занимает объем

22,4 / (2(12 + 2)) = 0,8 л,

можно легко определить количество образовавшегося ацетилена по показаниям манометра, градуированного на процент влажности смеси.

Косвенные методы

Ввиду того, что влажность оказывает влияние на изменение очень многих свойств, предложено много косвенных методов определения влажности. К их числу относятся:

1. Измерение высоты образца. По мере увеличения влажности происходит уменьшение высоты образца. При соблюдении постоянного веса можно по высоте такого образца судить о влажности смеси.

В табл. 34 были приведены результаты опытов [134] по определению высоты образцов при измерении их влажности. Из таблицы видно, что с увеличением содержания воды в смеси высота образцов уменьшается. Но при неизменном содержании воды (например, при 8%) высота образцов получается разная в зависимости от содержания в смеси глинистых составляющих, как это видно из следующих данных:

Количество глинистых составляющих в %	Высота образца в мм
1	54
3	57
10	55
25	50
35	53

(вес образца 170 г; сечение 19,6 см²; влажность 8%)

2. Измерение электропроводности, электродвижущей силы, диэлектрической постоянной смеси. В табл. 40 приведены результаты опытов автора по определению электросопротивления типовой смеси, содержащей разное количество воды.

Таблица 40
Влияние содержания воды в образце на его электросопротивление

Влажность смеси в %	Номер смеси					
	1	2	3	4	5	6
	Электросопротивление смеси в тыс. ом					
4	35	25	15	27	27	20
5	22	17	10	22	20	15
6	15	12	7	20	15	12
7	12	8	5	17	12	10
8	8	7	4	16	10	7
10	5	4	3	16	8	5

Несколько большее распространение получил на практике метод, основанный на измерении электродвижущей силы. С этой целью в смесь погружаются два электрода в виде двух проволок из разных металлов, например, медь и железо. Развивающаяся электродвижущая сила может быть отсчитана по показаниям милливольтметра. Этот метод используется для оценки влажности смеси непосредственно в опоке.

Недостатком этих методов является зависимость показаний не только от содержания воды, но также и от состава и температуры смеси. Поэтому эти методы не нашли на практике широкого применения для определения абсолютного содержания воды в формовочной смеси. Относительно большее распространение нашел метод определения электродвижущей силы для проверки достаточности высушенности формы: при полном удалении воды из смеси с достаточной точностью электродвижущая сила не обнаруживается.

Несколько в меньшей степени от состава смеси зависит диэлектрическая постоянная, изменяющаяся также при изменении содержания влажности смеси.

В последнее время усиленное внимание привлекает к себе метод определения влажности по количеству поглощенных нейтронов [135], что находится в зависимости от содержания водорода в смеси, а содержание водорода связано главным образом с содержанием в смеси воды.

3. ВЫСУШИВАЕМОСТЬ, ОБСЫХАЕМОСТЬ И НАМОКАЕМОСТЬ СМЕСЕЙ

По всей вероятности, целесообразно различать процессы потери воды смесью при подводе и без подвода тепла извне.

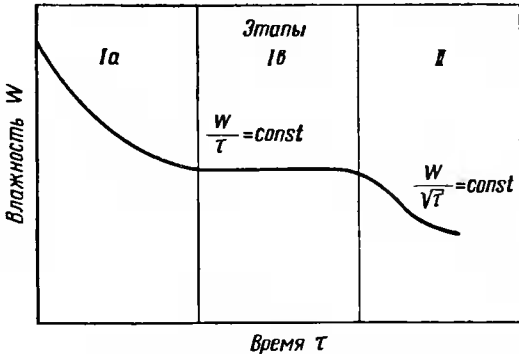
Под высушиваемостью понимается способность смесей отдавать при нагреве воду в окружающую среду.

Рассмотрению подлежат лишь вопросы, связанные со свойствами формовочных материалов. Можно ограничиться утверждением, что на разных этапах процесса высушивания наблюдаются разные закономерности.

В наиболее общем виде закономерности высушивания приведены на фиг. 24. В процессе высушивания можно различать не менее двух этапов, характеризующихся наличием разных ограничивающих факторов: на первом этапе процесс высушивания ограничивается условиями отдачи тепла поверхностью, а на втором этапе процесс ограничивается условиями перемещения воды внутри высушиваемого тела от глубинных слоев к поверхности. Первый этап может быть подразделен на два периода: в течение первого периода (*Ia*) наблюдается усиленный отвод воды с поверхности, а в течение второго периода (*I в*) процесс стабилизируется и скорость отдачи $v_1 = \frac{W}{\tau}$ становится постоянной. В течение

второго этапа скорость отдачи воды приближается к параболическому виду $v_{II} = \frac{W^2}{\tau} = \text{const}$.

Из этой закономерности можно сделать выводы:
1. Следует различать процесс поверхностного подсушивания, происходящий в течение первого этапа, и процесс объемного высушивания — в течение второго этапа.



Фиг. 24. Схема изменения высушиваемости смесей во времени.

2. При поверхностном подсушивании процесс удаления воды ограничивается главным образом условиями отдачи воды поверхностью. Поэтому ускорение подсушивания достигается главным образом ускорением отдачи воды с поверхности, например, ее обдуванием.

Практически процесс поверхностного подсушивания происходит на глубину порядка 10 мм, что подтверждается пересчетом опытов [136], приведенным в табл. 41; продвижение фронта слоя, высушенного до 1,0 и 0,5%, воды приблизительно пропорционально продолжительности высушивания.

Таблица 41

Изменение фронта высушенного слоя			
Опытные данные и их пересчет	Глубина просушенного слоя в мм		
	0—3	3—6	6—9
	Средняя расчетная глубина x в мм		
	1,5	4,5	7,5
Опытные данные:			
Продолжительность высушивания в мин τ_1 — при содержании воды до 1,0%	5	13	22
$\tau_{0,5}$ — при содержании воды до 0,5%	13	24	33

Опытные данные и их пересчет	Глубина просушенного слоя в мм		
	0—3	3—6	6—9
	Средняя расчетная глубина x в мм		
	1,5	4,5	7,5
Пересчет:			
$\frac{V\tau_1}{V\tau_{0,5}}$	2,24	3,6	4,7
$\frac{x}{V\tau_1}$	3,6	4,9	5,7
$\frac{x}{V\tau_{0,5}}$	0,7	1,25	1,6
$\frac{x}{V\tau_1}$	0,4	0,9	1,3
$\frac{x}{V\tau_{0,5}}$	0,3	0,35	0,35
$\frac{x}{V\tau_1}$	0,1	0,2	0,2

3. При поверхностном подсушивании подчиненное влияние на скорость удаления воды оказывает состав смеси и существенное влияние оказывает количество воды в смеси.

В табл. 42 приведены результаты опытов автора и Л. Д. Снуловой, а в табл. 43 пересчеты этих результатов.

Таблица 42

Высушивание смесей

Смесь	Исходная влажность в %	Продолжительность высушивания в мин	Глубина просушенного слоя в мм			
			До 3	3—7	7—10	10—45
Песчано-глинистая: 85% песка К02А 15% глины кудиновской	4,20	5 10 20 40 60	0,60 0,30 0,25 0,15 0,00	2,10 1,80 0,50 0,31 0,00	3,50 2,20 1,10 0,32 0,10	4,00 3,30 2,70 2,50 2,00
Песчано-глинисто-сульфитная: 90% песка К02А 10% глины кудиновской 3% сульфитно-щелочной барды	3,00	10 20 40 60	0,30 0,15 0,11 0,10	0,50 0,25 0,22 0,20	1,80 0,70 0,30 0,30	4,70 4,40 3,60 3,00

Смесь	Исходная влажность в %	Продолжительность высушивания в мин	Глубина просушенного слоя в мм			
			До 3	3—7	7—10	10—45
Эмульсионная: 70% песка К02А 25% отработанной смеси 5% кудиновской глины 3% добавки СБ (эмульсия сульфитно-битумная)	3,00	5 10 20 40 60	0,30 0,20 0,10 0,05 0,00	0,60 0,30 0,18 0,08 0,00	1,00 0,74 0,40 0,22 0,08	2,70 2,10 1,43 0,68 0,28
Жидко-стекляная: 94% песка К02А 5% глины кудиновской 5% жидкого стекла 10% однопроцентного раствора едкого натра	3,20	5 10 20 40 60	0,30 0,26 0,00 0,00 0,00	0,50 0,34 0,15 0,10 0,05	2,00 0,60 0,30 0,20 0,10	2,50 2,60 2,43 1,00 0,20

Таблица 43

Относительная скорость высушивания

Смесь	Продолжительность высушивания в мин	Глубина просушенного слоя в мм			
		До 3	3—7	7—10	10—45
		Относительная скорость высушивания			
Песчано-глинистая	5 10 20 40 60	0,17 0,09 0,04 0,02 0,01	0,10 0,05 0,04 0,02 0,01	0,3 0,04 0,03 0,02 0,01	0,00 0,03 0,01 0,00 0,00
Песчано-глинисто-сульфитная	6 10 20 40 60	0,12 0,09 0,05 0,02 0,01	0,08 0,09 0,04 0,02 0,01	0,06 0,06 0,04 0,02 0,01	0,02 0,01 0,00 0,00 0,00
Эмульсионная	5 10 20 40 60	0,18 0,09 0,05 0,02 0,01	0,16 0,09 0,04 0,02 0,01	0,13 0,07 0,04 0,02 0,01	0,02 0,03 0,02 0,02 0,01
Жидко-стекляная	5 10 20 40 60	0,18 0,09 0,05 0,02 0,01	0,16 0,08 0,04 0,02 0,01	0,07 0,08 0,04 0,02 0,01	0,02 0,02 0,01 0,01 0,01

4. При объемном высушивании процесс лимитируется перемещением воды во внутренних слоях формы. Поэтому на скорость высушивания оказывает влияние газопроницаемость формы и ее тепловой режим. Под обсыхаемостью понимают способность смесей отдавать без нагрева воду в окружающую среду.

При обсыхании, как и при поверхностном подсушивании, решающее значение имеют условия обмена воздуха на поверхности обсыхающей смеси. Такое обсыхание может привести к ухудшению поверхностных свойств смеси и готовой формы. Поэтому обсыхание в большинстве случаев нежелательно. Можно полагать, что одинаковая потеря воды в процентах скажется более резко на изменении свойств при более низком абсолютном содержании воды в смесях. Поэтому явление обсыхаемости более отрицательно сказывается в смесях с пониженным содержанием воды, например, в синтетических песчано-бентонитных смесях:

В целях уменьшения обсыхаемости применяются следующие мероприятия:

1. Прибавление в смесь примесей, снижающих упругость водяных паров. К числу таких примесей относятся хлористые соли — натриевые и бариевые, а также этилен-гликоль.

2. Механическое предохранение смеси от обсыхания, например, закрывание смеси тряпками или хранение смеси в бункерах.

3. Снижение температуры смеси, так как усиленное обсыхание наблюдается при повышении температуры смесей.

4. При невозможности уменьшить обсыхаемость прибегают к повышению содержания воды в смесях для возмещения возможных ее потерь при обсыхании. По американским данным, для такого возмещения при повышении температуры смеси на 20° С следует добавлять в смесь 0,3% воды [137].

Можно различать два вида намокания: а) через окружающую газовую (воздушную) среду и б) прямым соприкосновением.

При намокании через окружающую газовую среду процесс в значительной степени определяется явлениями адсорбции, рассмотренными в § 14 гл. I части первой, и закономерностями, приведенными в § 16 гл. I части первой. При намокании прямым соприкосновением процесс определяется главным образом наличием сопротивления на границе перехода двух смесей с разным содержанием влажности. Намокание прямым соприкосновением уменьшается введением такого сопротивления по месту соприкосновения, как например, на знаке стержня.

4. ПОВЫШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В ОТЛИВКАХ ПРИ ПОВЫШЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СМЕСЯХ

Увеличение содержания воды в смесях приводит к увеличению содержания водорода в черных и цветных металлах.

По опытам И. Ф. Колобнева и М. Б. Альтмана содержание водорода в алюминиевых сплавах повышается при увеличении влажности в смеси.

Влажность смеси в %	Содержание водорода в см ³ на 100 г сплава АЛ-4
5,0	1,51
6,25	2,52
8,0	3,10

Повышение содержания водорода в чугунах при увеличении содержания в смесях воды приведено в табл. 44 и 45 [138].

Таблица 44

Изменение содержания водорода в чугунах при увеличении содержания воды в смесях

Средний состав: 3,0—3,5% углерода; 2,0—2,5% кремния; 0,5—0,6% марганца; не более 0,08% серы; не более 0,5% фосфора

Серия опытов	Содержание элементов в %	Температура 1420° С			Температура 1320° С	
		Смесь содержит 5% W	Смесь сухая	Смесь сырая +6% каменно- угольной пыли	Смесь сырая	Смесь сухая
		Содержание водорода в чугунах 0,01%				
I	Кремний:					
	1,8	1,3	—	—	—	—
	1,0	0,7	0,4	—	—	—
II	Марганец:					
	0,1	0,3	0,2	—	0,2	0,1
	0,6	0,5	0,4	—	0,3	0,2
III	Марганец:					
	0,1	0,05	0,0	0,1	0,0	0,0
	1,1	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4
IV	Марганец:					
	0,6	—	—	0,4	—	—
	1,4	—	—	1,2	—	—
	2,2	—	—	2,8	—	—
	3,0	—	—	4,2	—	—
	3,7	—	—	6,2	—	—
V	Алюминий:					
	0,0	0,2	—	0,3	—	—
	0,01	1,6	—	1,8	—	—
	0,04	1,6	—	2,5	—	—
	0,10	2,1	—	2,5	—	—
	0,10	2,1	—	2,5	—	—
VI	Алюминий:					
	0,0	0,3	—	0,4	—	—
	0,01	1,0	—	1,2	—	—
	0,015	1,4	—	2,0	—	—
	0,10	1,7	—	2,3	—	—
	0,15	1,4	—	2,1	—	—
	0,20	1,0	—	1,6	—	—

Таблица 45

Влияние состава смесей на переход водорода в металл [138]

Состав смеси (песка 100%) в %				Температура нагрева смеси в °С	Содержание водорода в металле в мл/г		
Глина	Вода	Каменно-угольная пыль	Жидкое стекло		До протекания в форме	После протекания в форме	Поглощенное
10	3	—	—	20	4,14	5,90	1,76
10	6	—	—	20	4,14	9,20	5,06
10	10	—	—	20	4,14	Водородное кипение	
10	6	2	—	20	4,32	9,40	5,08
10	6	5	—	20	4,32	8,26	3,94
10	6	8	—	20	4,32	6,25	1,93
5	—	—	—	200	2,41	2,96	0,55
10	—	—	—	200	2,41	3,26	0,85
25	—	—	—	200	2,41	5,92	3,51
25	—	—	—	200	1,65	3,30	1,65
25	—	—	—	500	1,65	3,12	1,47
25	—	—	—	800	1,65	2,71	1,06
—	—	—	10	200	2,53	3,26	0,73
—	—	—	10	500	2,53	2,66	0,13
—	—	—	10	800	2,53	2,53	0,00

Из рассмотрения этих таблиц могут быть сделаны выводы:

1. При повышении содержания воды в смесях четко увеличивается содержание водорода в металле.

2. Увеличение содержания водорода в металле увеличивается при увеличении содержания в смесях водорода не только в виде воды, но и в виде каменноугольной пыли.

3. Увеличение содержания водорода в чугуне увеличивается при увеличении содержания в нем кремния, марганца и алюминия, а также при увеличении температуры заливки.

4. Не наблюдается строгой пропорциональности между увеличением содержания водорода в металле и изменением упомянутых факторов.

Кроме того, по опытам [139] содержание водорода в стали увеличивается при увеличении плотности и прочности смеси, а также при уменьшении ее газопроницаемости.

Несомненное влияние должен оказать тепловой и гидродинамический режим формы.

5. ЗАМЕНА ВОДЫ ДРУГИМИ ЖИДКОСТЯМИ

Широкое применение воды как жидкости определяется главным образом ее дешевизной, но замена ее другими жидкостями может также представить и некоторые технологические преимущества. К их числу можно отнести:

1. Изменение температуры кипения. При ее снижении процесс высушивания ускоряется, а при повышении — высушивание замедляется.

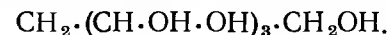
2. При замене воды сгорающими жидкостями можно при их сгорании получить поверхностно подсушенный слой формы.

3. Вода не образует раствора с многими связующими добавками. Поэтому при высушивании может произойти разрыв пленки связующей добавки с результирующим падением прочности. Такой разрыв может не произойти, если в виде жидкости применяются растворители, как например уайт-спирит.

К числу жидкостей, применяемых для замены воды с повышенной температурой кипения, относятся спирты, они применяются с одной, двумя и больше гидроксильными группами. Двухатомные спирты называются гликолями. Они применяются в смеси с водой и составляют 25—40% от веса воды.

Трехатомные спирты называются глицеринами с формулой $\text{CH}_2(\text{OH})\cdot\text{CHOH}\cdot\text{CH}_2(\text{OH})$.

К числу многоатомных спиртов относятся маннит и сорбит с развернутой формулой



В табл. 46 приведены примеры некоторых спиртов, применяемых для замены воды.

Таблица 46

Характеристика спиртов

Свойство	Гликоли				
	Этиленгликоль	Диэтиленгликоль	Метиловый спирт	Глицерин	Сорбит (маннит)
Удельный вес при температуре 20°С	1,125	1,115	0,81	1,26	1,52
Температура кипения	197,5	241—248	66	290	—
Температура плавления	—11,5	—8 до —9	—	+17	+166
Поверхностное натяжение в дин/см	47	44	22	—	—
Температура воспламенения	115—117	136—139	—	—	—
Формула	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$	$\text{C}_4\text{H}_8(\text{OH})_2$	CH_3OH	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$

6. НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЛАЖНОСТИ СМЕСЕЙ

Конституционная влажность должна соответствовать стехиометрическому составу, приведенному в табл. 15. Содержание воды меньше стехиометрического указывает на то, что минералы были перегреты и необратимо потеряли часть положительных свойств.

Содержание кристаллической и цеолитной воды должно также соответствовать полному насыщению минералов водой.

Количество воды, не входящей в состав минералов и определяемое стандартными методами, изменяется в широких пределах, доходя до 8% в глинистых смесях и снижаясь до 2,5 и ниже в синтетических бентонитовых. Содержание воды приближается к нулю в безводных смесях.

Приведенные в § 7 гл. II части третьей расчетные суммарные количества адсорбированной и капиллярной воды соответствуют приблизительно верхней границе влажности смесей. На практике для обеспечения необходимых технологических и других вторичных свойств суммарное количество воды наблюдается меньше приведенного расчетного максимума.

Глава III ТЕМПЕРАТУРА

С момента попадания первой капли жидкого металла в форму все вторичные свойства резко меняются по сравнению с установленными при комнатной температуре. Поэтому для оценки свойств формы необходимо знать не только изменение свойств формовочных материалов при повышенных температурах, но и закономерности изменения температуры формы при заливке ее жидким металлом.

Первая в мировой литературе работа по изучению теплового режима литейной формы была опубликована в советской печати в 1933 г. [1]. В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных этому вопросу [140], [143]. Не останавливаясь на их рассмотрении, автор считает необходимым обратить внимание на сложности, связанные с такими расчетами:

1. Передача и распространение тепла происходит на разных этапах охлаждения отливки по разным процессам. На первом этапе процесс охлаждения отливки и прогрева формы ограничивается условиями обмена тепла на поверхности соприкосновения, на следующем этапе температуропроводностью, а на последнем этапе — аккумулярующей способностью [135], [144], [146].

2. Теплофизические свойства формы резко меняются при повышении температуры. Поэтому точные результаты могут быть получены только при применении очень сложных формул, которые не могут найти применения при обычных технологических расчетах. Предпочтение в этих случаях может быть отдано наиболее простым формулам, дающим возможность наиболее наглядно и быстро оценить главные закономерности, связанные с тепловым режимом литейной формы.

К их числу относятся физически обоснованные формулы с эмпирически подбираемыми коэффициентами. В дальнейшем будет рассмотрено только влияние температуры на свойства формовочных материалов и не будет затронут тепловой режим литейной формы.

1. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

Для ориентировочных оценок величин удельной теплоемкости можно применить старинное правило Дюлонга и Пти [16], [40], [147], согласно которому атомная теплоемкость, т. е. произведение удельной теплоемкости c на атомный вес γ_a простого вещества в твердом состоянии, является постоянной величиной, равной в среднем и приближенно 6 ккал/г·град. Так, например, для железа $c\gamma_a = 5,8$, для алюминия 5,9; для ряда же элементов, в частности, для углерода, кремния и кислорода это правило не подтверждается.

По правилу Неймана-Коппа мольная теплоемкость равна сумме атомных теплоемкостей.

Отсюда теплоемкость может быть оценена по формуле

$$c = \frac{6n}{H},$$

где H — количество атомов соединения;

n — его молекулярный вес.

В табл. 47 приведены опытные данные и расчетные определения теплоемкостей ряда силикатов на основе стехиометрических формул с применением правила Неймана-Коппа.

Таблица 47

Теплоемкость силикатов				
Содержание	Силикаты			
	Кварц	Волластонит	Ортоклаз	Силлиманит
Опытные данные [40]				
Теплоемкость при температуре в °C				
300	0,24	0,22	0,235	0,255
600	0,25	0,245	0,265	0,275
1000	0,29	0,255	0,275	0,275
Пересчет				
Стехиометрическая формула	SiO ₂	CaSiO ₃	K ₂ Al ₂ Si ₆ O ₁₀	Al ₂ SiO ₆
Количество атомов n . . .	3	5	26	8
Молекулярный вес M . . .	60	116	567	162
Расчетная теплоемкость $\frac{6n}{M}$	0,30	0,26	0,28	0,29

В таблице можно заметить приближенное совпадение расчетных и опытных данных, а также зависимость теплоемкости от температуры.

Теплоемкость смеси $c_{см}$ может быть оценена по правилу аддитивности, если известны теплоемкости отдельных составляющих c_i и их процентное содержание g_i в смеси

$$c_{см} = \frac{g_1}{100} c_1 + \frac{g_2}{100} c_2 + \dots + \frac{g_n}{100} c_n.$$

При пользовании этой формулой надо считаться с теми ограничениями, которые были указаны при разборе формулы для определения удельного веса смеси.

В табл. 48 приведены результаты опытных определений удельных теплоемкостей формовочных смесей и их пересчет [148]. Расчетную теплоемкость определяли на основе приведенной формулы, считая теплоемкость воды равной единице, а теплоемкость сухой смеси соответствующей теплоемкости зерен и пор.

Таблица 48

Теплоемкость смесей [148]					
Смесь	Опытные данные		Пересчет		
	Температура	Влажность	Теплоемкость	Расчетная теплоемкость	Разность между расчетом и опытом
Песок	50	0	0,201	0,201	+0,00
	50	3,1	0,218	0,225	+0,07
	50	5,15	0,239	0,241	+0,02
	50	9,96	0,274	0,280	+0,06
	50	15,03	0,340	0,321	-0,197
Тощий песок	15	0	0,185	0,185	—
	15	5,3	0,204	0,224	+0,020
	15	10,1	0,220	0,266	+0,046
	50	—	0,190	0,190	—
	50	5,3	0,210	0,230	+0,020
Полужирный песок	50	10,1	0,230	0,271	+0,041
	15	0	0,190	0,190	—
	15	5,3	0,217	0,230	+0,013
	15	10,1	0,230	0,271	+0,041
	50	0	0,200	0,200	—
Жирный песок	50	5,3	0,221	0,240	+0,019
	50	10,0	0,237	0,280	+0,043
	15	0	0,181	0,181	—
	15	4,7	0,205	0,222	+0,017
	15	9,8	0,220	0,263	+0,043
Смесь: 25% свежего песка, 72% отработанной смеси, 3% каменноугольной пыли	15	7	0,210	—	—
Смесь: 10% свежего песка, 83% отработанной смеси, 6% каменноугольной пыли, 1% навоза	15	10	0,231	—	—
	50	10	0,250	—	—
	15	10	0,250	—	—
	50	10	0,230	—	—

- Из рассмотрения таблицы можно заметить, что:
- 1) во всех случаях (кроме одного сомнительного результата) расчетная теплоемкость превышает фактическую;
 - 2) ориентировочно при содержании воды 5% расхождение получается равным около 0,02, а при содержании воды 10% расхождение 0,04;
 - 3) так как величина расхождения практически не зависит от температуры испытания, то можно полагать, что расхождение является следствием изменения уплотнения образца при увеличении его влажности;
 - 4) при увеличении влажности теплоемкость увеличивается как за счет увеличения теплосодержания из-за большей теплоемкости воды, так и из-за увеличения плотности испытуемого образца;
 - 5) теплоемкость увеличивается при повышении температуры испытания;
 - 6) в среднем теплоемкость смеси при комнатной температуре можно принять равной около 0,2—0,3.

Влияние температуры на теплоемкость может быть оценено путем пересчетов результатов опытов того же автора (см. табл. 49). Данные таблицы подтверждают увеличение теплоемкости при повышении температуры. При этом повышение теплоемкости на

Таблица 49

Влияние температуры на изменение теплоемкости смесей [148]					
Материал	Опытные данные		Пересчет		
	Температура t в °C	Теплоемкость c	Разность температур Δt	Разность теплоемкостей Δc	Отношение $100 \cdot \frac{\Delta c}{\Delta t}$
Сухой песок (Боттроп) Пористость 38%	50	0,201	0	0	0
	204	0,208	154	0,007	0,0045
	403	0,213	353	0,012	0,0034
	496	0,218	446	0,017	0,0038
	Среднее				$0,0039 \pm 0,0005$ ($\pm 13\%$)
Сухой песок (Мильтенберг) Пористость 33%	50	0,181	0	0	—
	200	0,210	150	0,029	0,020
	295	0,220	245	0,039	0,016
	395	0,233	345	0,052	0,015
	502	0,241	452	0,060	0,013
	Среднее				$0,016 \pm 0,004$ (25%)

100° С изменяется в очень широких границах. Даже для одного песка расхождение получается до ±25%. Поэтому только для очень грубых пристрелочных расчетов можно принять среднее увеличение теплоемкости укладываемым в формулу

$$C = 0,2 + 0,01 \cdot \frac{T}{100}.$$

В приведенных величинах теплоемкостей не учитывались тепловые эффекты, связанные с фазовыми превращениями. Между тем влияние экзо- и эндотермических процессов может сказаться гораздо сильнее, чем влияние изменений теплоемкостей при повышении температуры и даже при изменении состава смесей.

Приведенные теплоемкости выражались количеством калорий, необходимых для повышения температуры на 1° 1 г вещества. В большинстве формул теплоемкость характеризуется количеством калорий, необходимых для повышения температуры на 1° 1 см³ или соответственно калорий на 1 м³ вещества.

Пересчет весовой теплоемкости формовочной смеси на объемную производится путем перемножения весовой теплоемкости на объемный вес

$$C = c\rho.$$

Объемные теплоемкости приведены в табл. 57 и 58.

2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Теплообмен в смеси осуществляется:

- 1) теплопроводностью (кондукцией) скелета формовочной смеси и воздуха, находящегося в порах смеси;
- 2) конвекцией газов в порах смеси;
- 3) излучением.

Все три способа теплообмена имеют разное значение на разных этапах прогрева формы:

Первый этап. При низких температурах приблизительно до 100° С теплообмен происходит только теплопроводностью, так как при этих температурах теплообмен конвекцией и излучением ничтожно мал и не может быть учтен.

Второй этап. При температурах от 100 до 800° С теплопередача смеси осуществляется в основном за счет конвекции и в меньшей степени теплопроводности.

Третий этап. При температурах выше 800° С решающее влияние на теплообмен оказывает излучение.

Уместно отметить, что второй этап наблюдается только при определении теплового режима непосредственно в форме. При определении величин теплопроводности в лабораторных печах этот этап не обнаруживается. Этим обстоятельством объясняется факт необнаружения некоторыми исследователями второго этапа.

Результаты определения коэффициентов теплопроводности, соответствующих первому этапу прогрева формы, приведены в табл. 50—53. Из рассмотрения этих таблиц могут быть сделаны следующие выводы:

Таблица 50
Влияние температуры на теплопроводность [149], [150]

Материал	Температура в °С						
	—200	—100	—50	0	+50	+100	+500
	Коэффициент теплопроводности в кал/см·сек·град						
Кварц параллельно оси	0,0150	0,0050	0,0380	0,0319	0,0255	0,0210	—
Кварц перпендикулярно оси	0,0065	0,0259	0,0205	0,0169	0,0148	0,0131	—
Стекловидный кварц . . .	0,0015	0,0025	0,0030	0,0033	0,0038	0,0045	—
Воздух	—	—	—	0,00053	0,00061	0,00068	—
Огнеупорная глина	—	—	—	—	—	0,0015	0,0021
Силикатный кирпич . .	—	—	—	—	—	0,0019	0,0023
Вода	—	—	—	—	0,00043	0,00052	—

Таблица 51
Влияние температуры, величины зерна и плотности на теплопроводность смесей (пересчет опытов Г. Дитерта, З. Гасты и Р. Долмана)

Свойство	Песок I	Песок II
Величина зерна в мм	0,42—0,60	0,105—0,150
Газопроницаемость в сухом состоянии	1250—1503	74,5—110,0
Удельный вес в г/см³	1,56—1,33	1,33—1,22
Твердость	63—50	63—45
Коэффициент теплопроводности при температуре в °С:		
93	0,0015—0,0011	0,0011—0,0011
427	0,0017—0,0012	0,0012—0,0011
704	0,0021—0,0014	0,0014—0,0013
816	0,0023—0,0017	0,0016—0,0014
927	0,0027—0,0019	0,0018—0,0015
1093	0,0034—0,0023	0,0023—0,0017
1260	0,0040	0,0030—0,0021

Пересчет

Изменение теплопроводности на 100° С в промежутке температур:				
93—816	0,1	0,8	0,7	0,04
927—1260	0,4	—	0,4	0,2

Примечание. Смесь содержит 4% бентонита.

Влияние пористости на теплопроводность [152]

Таблица 52

Песок	Пористость в %	Коэффициент теплопроводности в кал/см·сек·град	Авторы
Боттроп	34	0,000437 ± 0,000002 или 0,00044	Ролл Ф.
»	38	0,000427 ± 0,00017	
Красный Триентский	45	0,000431 ± 0,000005	Р. Мельмер
То же	56,5	0,00036 ± 0,000002	Р. Мельмер
То же	42	0,00056	Р. Мельмер
Белый кварцевый	52	0,00022	Р. Мельмер
То же			

Таблица 53

Влияние влажности на теплопроводность [148], [152]

Материал	Влажность	Коэффициент теплопроводности в кал/см·сек·град	Автор
Песок (Боттроп)	0	0,00042 ± 0,000005	Ф. Ролл
	8	0,00073 ± 0,000005	
	12	0,0027 ± 0,0003	
Песок (Мильтенберг)	0	0,00044 ± 0,00003	Ф. Ролл
	8	0,00088 ± 0,00003	
	12	0,0037 ± 0,0002	
Красный Триентский	0	0,0004 ± 0,00005	Р. Мельмер
	2	0,0005	
	26	0,0001	

1. Влияние температуры сказывается по-разному:

а) Теплопроводность большинства материалов повышается с повышением температуры.

б) Наивысшая теплопроводность кварца и многих силикатов достигает своего максимума при низких температурах. При переходе за эту температуру теплопроводность этих материалов снижается. Эта же закономерность наблюдается у циркона и не наблюдается у оливинов.

в) При более высоких температурах, приближающихся к прогреву в условиях третьего этапа, нарастание теплопроводности при повышении температуры происходит более интенсивно.

2. При уменьшении пористости теплопроводность при низких температурах заметно увеличивается. Это явление объясняется уменьшением содержания воздуха, обладающего значительно меньшей теплопроводностью, чем сами зерна. Кроме того, при уменьшении пористости увеличивается количество точек соприкосновения между зернами. При высоких температурах теплопроводность может увеличиться с увеличением пористости. Большое влияние оказывает величина пор.

3. Увеличение теплопроводности при уменьшении пористости настолько велико, что некоторые авторы считают теплопроводность зависящей главным образом от ее плотности. Это явно не всегда правильно.

4. При увеличении влажности теплопроводность смеси увеличивается главным образом за счет увеличения ее плотности. Однако это влияние может сказываться только до температуры 100° С, при которой происходит испарение воды. Таким образом, увеличение теплопроводности не имеет практического значения.

Для ориентировочной оценки теплопроводности и для установления связи с температурой используется иногда правило Видемана-Франца-Лоренца, согласно которому теплопроводность (λ), электросопротивление (ω) и температура (T) связаны между собой выражением

$$\frac{\lambda \omega}{T} = \text{const.}$$

Эта постоянная величина составляет от $2,2 \cdot 10^{-8}$ до $2,5 \cdot 10^{-8}$.

Теплопередача песчано-глинистой смеси на втором этапе с учетом конвективных потоков была исследована автором совместно с О. В. Колачевой. Формула для оценки теплопроводности с учетом конвективных потоков приведена к виду

$$\lambda_k = \lambda_0 + \beta \frac{x}{V\tau},$$

где x — расстояние от поверхности формы в см;

τ — продолжительность процесса в сек;

λ_0 — условный коэффициент теплопроводности, принимаемый равным 0,00016;

β — коэффициент. При направлении потока вверх $\beta = 0,0085$; при направлении потока вбок и вниз $\beta = 0,006$.

Поэтому для оценки теплопередачи на втором этапе при направлении потока вверх

$$\lambda_k = 0,00016 + 0,0085 \frac{x}{V\tau},$$

а при направлении потока вбок и вниз

$$\lambda_k = 0,00016 + 0,006 \frac{x}{V\tau}.$$

Приведенные эмпирические коэффициенты несомненно подлежат уточнению по мере накопления опытного материала.

Теплопередача на третьем этапе, определяющемся главным образом излучением, может быть выражена формулой

$$\lambda_3 = K\alpha = Kcf(t),$$

где K — коэффициент, зависящий от размеров пор формочной смеси и не зависящий от температуры;
 α — коэффициент теплоотдачи излучением при температуре t ;

$$\alpha = f(t);$$

C — коэффициент излучения, который при усредненных расчетах может быть принят равным $4 \text{ ккал/м}^2\text{час}^\circ\text{K}$;
 $f(t)$ — функция, зависящая от температуры и имеющая вид

$$f(t) = \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2},$$

где t_1 и t_2 — температуры тела и окружающей среды.
 Если принять

$$t_2 = 0,$$

то функция упрощается и принимает вид

$$f(t_1) = \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4}{t_1}.$$

Значения этих функций приведены в табл. 54. В ней же приведены значения

$$\alpha = 4f(t)$$

и приводимые некоторыми авторами значения

$$f(t) = \left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^3.$$

Таблица 54

Зависимость коэффициента α от температуры

Температура в $^\circ\text{C}$	$f(t)$	$4f(t)$	$\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^3$	$\frac{f(t_1)}{t}$	Температура в $^\circ\text{C}$	$f(t)$	$4f(t)$	$\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^3$	$\frac{f(t_1)}{t}$
100	1,4	6	52	0,014	1000	26,2	100	2050	0,026
200	2,2	9	103	0,011	1100	32,8	130	2600	0,030
300	3,4	14	188	0,011	1200	39,2	155	3150	0,033
400	5,0	20	305	0,012	1300	47,7	190	3900	0,037
500	7,0	30	460	0,014	1400	56,0	225	4650	0,040
600	9,6	38	680	0,016	1500	67,0	270	5500	0,045
700	12,7	50	900	0,018	1600	76,9	310	6500	0,048
800	16,5	65	1220	0,020	1700	88,0	350	7700	0,052
900	21,0	85	1600	0,023	1800	102,5	410	8900	0,057

Коэффициент K непосредственно из опыта [144] получился равным 0,013.

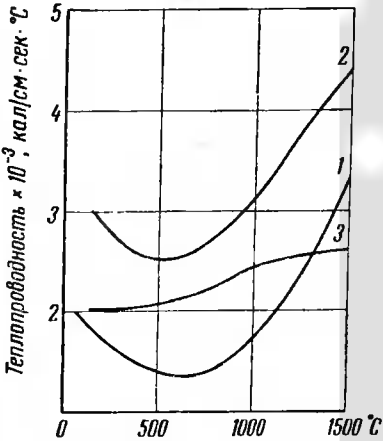
В этом случае коэффициент теплопроводности может быть принят для температуры 1000°C равным:

$$\lambda = K C f(t) = 0,013 \cdot 4 \cdot 26,2 = 1,3 \text{ ккал/м} \cdot \text{час}^\circ\text{C}$$

или

$$\lambda = \frac{1,3}{360} = 0,0035 \text{ кал/см} \cdot \text{сек}^\circ\text{C}.$$

Однако повышение теплопроводности за счет увеличения излучения поверхностных зерен может происходить только до той температуры, при которой начинается их оплавление. Итоговое влияние разных упомянутых факторов на теплопроводность по опытным данным Д. Аттертоне приведено на фиг. 25, подтверждающей приведенные ранее закономерности.



Фиг. 25. Итоговое влияние разных факторов на теплопроводность:
 1 — кварцево-бентонитовая смесь;
 2 — цирконовый песок; 3 — оливковый песок.

3. ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ

Температуропроводность a может рассматриваться как характеристическая способность тела выравнивать температуру, качественное число и связывающее между собой теплопроводность λ и объемную теплоемкость C_V в виде

$$a = \frac{\lambda}{C_V}.$$

Значения температуропроводности приведены в табл. 55. Для прикидочных расчетов, связанных с прогревом песчано-глинистой формы, можно принять

$$a = 0,002 \text{ (в системе СГС).}$$

Ту же величину принимает Аттертон [150].

Таблица 55

Температуропроводность оболочковых форм
 (пересчет опытов О. В. Колачевой)

Смесь	Температуропроводность	
	в $\text{см}^2/\text{сек}$	в $\text{м}^2/\text{ч}$
Кварцевый песок с 7% бакелитового лака	0,016	0,006
То же с 7% пульвербакелита	0,0125	0,0045
Кварцевый песок КО1 с 7% бакелитового лака	0,015	0,0055
Хромомагнетитовая смесь	0,009	0,0030
Смесь на хромистой руде	0,006	0,0222

Для расчета процессов при высоких температурах следует принимать несколько большую величину температуропроводности, примерно 0,005.

Для расчетов, связанных с конвекцией, необходимо учитывать направление потока газов. Наибольшая относительная температуропроводность получается при направлении потока газов вверх (см. § 2, гл. III, часть третья).

4. АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Аккумулирующая способность может также рассматриваться как качественное число, характеризующее способность тела поглощать тепло и связывающее те же величины, что и теплопроводность, но в виде

b = \sqrt{\lambda c \rho}.

Уточненные значения аккумулирующей способности приведены в табл. 56.

Таблица 56

Аккумулирующая способность типовых смесей		
Типовая смесь	Аккумулирующая способность	
	ккал/м²·град·ч¹/²	кал/см²·град·ч¹/²
По И. Б. Куманину:		
Песчано-глинистая (при содержании 10% глины)	20—25	0,033—0,042
То же, но с добавлением 30% кварцевой муки	30—35	0,05—0,06
Песчано-глинистая с 6% жидкого стекла	28—30	0,05
То же, но с добавлением 20% кварцевой муки	32—34	0,055
Хромомагнезитовая с 6% жидкого стекла	40—55	0,07—0,08
Хромомагнезитовая или из хромистого железняка с сульфитно-спиртовой бардой	40—50	0,07—0,08
По В. А. Денисову:		
Опилочная смесь	4—6	0,007—0,010
Смесь без опилок	6—12	0,010—0,02
Хромомагнезитовая	30—40	0,05—0,07

Уместно отметить чрезмерное внимание, которое уделяется этому качественному числу. Между тем весьма сомнительно, чтобы оно могло характеризовать тепловой режим литейной формы в начальные моменты соприкосновения жидкого металла с поверхностью формы.

5. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Теплофизические величины [153]—[155] типовых формовочных смесей приведены в табл. 57—59.

В табл. 60 приведены коэффициенты для пересчета технических мер на величины в системе СГС.

При пользовании приведенными в таблицах значениями следует не упускать из вида, что все величины меняются в зависимости от температуры, влажности, направленности потока газов. Поэтому для более точного учета влияния этих величин надо учитывать и их зависимость от проведенных факторов внешнего воздействия. Факт недостаточной точности расчетных величин приводит к выводу о нецелесообразности применения очень сложных формул, так как это усложнение не оправдывается получением повышенной формальной точности.

Таблица 57

Теплофизические свойства типовых формовочных смесей

Свойства	Номер смеси					
	1	2	3	4	5	6
В системе МКГСС	[145], [146]	[144]	[140]	[156]	[157]	[153]
Плотность ρ в кг·сек²/м⁴	1700	(1700)	1350	1470	1800	1730
Весовая теплоемкость в ккал/кг·град	0,2	(0,24)	0,566	0,191	0,2	0,26
Объемная теплоемкость cρ в ккал/м³·град	340	405	(760)	(270)	(320)	(450)
Теплопроводность λ в ккал/м·час·град	0,25	1,2	0,263	0,20	0,65	0,65
Температуропроводность α в м²/ч	0,0007	0,003	0,000343	0,0007	(0,002)	0,00145
Аккумулирующая способность в ккал/м²·час¹/²·град	9	22	14,2	7,5	17,0	17,1
В системе СГС плотность ρ в г/см³	1,7	(1,7)	(1,35)	(1,47)	(1,6)	(1,7)
Весовая теплоемкость c в ккал/г·град	0,2	0,24	(0,57)	(0,19)	0,2	(0,26)
Объемная теплоемкость cρ в ккал/см³·град	0,34	(0,41)	(0,76)	(0,27)	(0,32)	(0,45)
Теплопроводность в ккал/см·сек·град	0,0007	(0,003)	(0,0007)	0,0006	(0,0018)	(0,0018)
Температуропроводность Q в см²/сек	0,002	(0,008)	(0,0009)	(0,0021)	(0,0056)	(0,004)
Аккумулирующая способность в кал/м² сек·град	0,015	(0,037)	(0,024)	0,012	(0,03)	(0,038)

Примечание. Поставленные в скобках цифры получены пересчетом.

Теплофизические свойства формовочных смесей

Наименование	Исходный состав формовочной смеси в весовых процентах	t в °C	ρ в кг/м ³	b в ккал/м ² ·ч ^{1/2} ·°C	cQ в ккал/м ³ ·°C	λ в ккал/м·ч·°C	$G \cdot 10^3$ в м ² /ч	ϵ в ккал/кг·°C
Цирконовая	Циркон — 95 Бентонит — 5 Барда — 5	1300	2990	49,6	933	2,64	2,83	0,312
Форстеритовая	Форстерит — 97 Глина Часов-Ярская — 3 Барда — 5,6	1330	2280	43,8	914	2,10	2,30	0,401
Песчаная смесь с жидким стеклом	Кварцевый песок 1К02А — 93,5 Жидкое стекло (модуль 2,2—2,6) — 6,5	1400	1670	28,0	583	1,34	2,30	0,349
Песчаная смесь на жидком стекле с асбестом	Кварцевый песок 1К02А — 90 Асбест — 3 Жидкое стекло (модуль 2,2—2,6) — 7	1400	1630	25,3	560	1,14	2,04	0,344
Песчано-глинистая	Кварцевый песок 1К03Б — 88 Глина огнеупорная ФВ-1 — 12 Вода — 6	1400	1713	27,6	585	1,30	2,22	0,342

Теплофизические свойства формовочных смесей [153]
(система СГС)

Смесь	Теплоемкость c	Плотность ρ	Теплопроводность λ	Температуропроводность a	Аккумулирующая способность b
Сухая песчано-глинистая	0,25	1,46	0,0008	0,002	0,017
Кварцево-жидкостекольная + CO ₂	0,25	1,54	0,0009	0,003	0,019
Магнезито-глинистая	0,26	1,60	0,0013	0,003	0,023
Магнезито-жидкостекольная + CO ₂	0,26	1,69	0,0015	0,003	0,025
Карбид кремния + глина	0,25	1,65	0,0016	0,004	0,026
Карбид кремния + жидкое стекло + CO	0,25	1,74	0,0018	0,004	0,028

Примечание. Величина теплоемкости была взята из литературы. Плотность определялась непосредственно. Температуропроводность определялась пересчетом температурного поля в форме, заливаемой алюминием при температуре 700° С. Расчет производился по формуле, аналогичной приведенной в курсе автора (1933 г.) с использованием интеграла ошибок Гаусса. Зная теплоемкость и температуропроводность, определяли теплопроводность, а на ее основе — аккумулирующую способность.

Таблица 60

Перевод величин теплофизических свойств

Характеристика	Размерность	В системе	Величина в системе СМ·Г·СЕК	Передовой коэффициент	Величина в системе М·КГ·Ч	Величина в системе	
	СМ·Г·СЕК	М·КГ				М·КГ·Ч	СМ·Г·СЕК
Плотность ρ	г/см ³	кг/см ³	1	$\frac{100^3}{10^3}$	1000	1	0,001
Теплоемкость c	кал/г°С	ккал/кг°С	1	$\frac{1000}{1000}$	1	1	1
Теплопроводность λ	кал/см·сек·°С	ккал/м·ч°С	1	$\frac{100 \cdot 3600}{1000}$	360	1	0,0028
Температуропроводность a	см ² /сек	м ² /ч	1	$\frac{3600}{100^2}$	0,36	1	2,8
Аккумулирующая способность b	кал/см ² ·сек ^{1/2} °С	ккал/м ² ·ч ^{1/2} °С	1	$\frac{100^2 \cdot 3600}{1000}$	600	1	0,00167
Коэффициент излучения α	кал/см ² °С сек	ккал/м ² °С ч		$\frac{100^2 \cdot 3600}{1000}$	3600	1	0,000028

Глава I

ПОРИСТОСТЬ

К гидравлическим свойствам относится пористость Π , газопроницаемость K и газотворность G .

Под пористостью понимается количество пустот по отношению ко всему объему смеси. Обычно пористость выражается в процентах.

Рассмотрение закономерностей изменения пористости удобнее начать с простейших систем, состоящих из шаров одинакового диаметра.

1. ПОРИСТОСТЬ СИСТЕМЫ ШАРОВ

Шары одинакового диаметра

Система шаров одинакового диаметра называется однородной. Различаются три системы укладки шаров одинакового диаметра:

- а) кубическая укладка с наибольшей пористостью, изображена на фиг. 26;
- б) призматическая укладка, изображена на фиг. 27;
- в) пирамидальная укладка с наименьшей пористостью, изображена на фиг. 28.

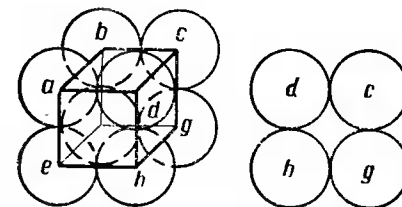
Кубическая укладка характеризуется расположением шаров по углам куба. Пористость этой системы равна

$$\Pi = \left(1 - \frac{\pi \cdot D^3}{6 D^3}\right) 100 = 47,5\%.$$

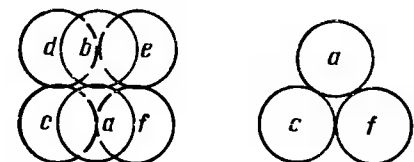
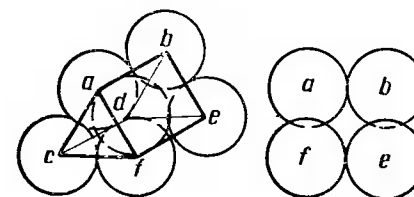
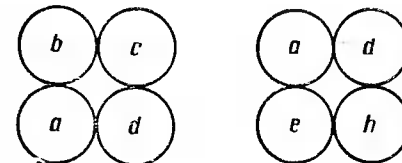
При таком расположении шаров каждый из них соприкасается с шестью соседними шарами. Поэтому координационное число этой системы равно 6.

Призматическая укладка характеризуется расположением шаров по шести углам призмы. Пористость этой системы равна 39,6, и координационное число равно 8.

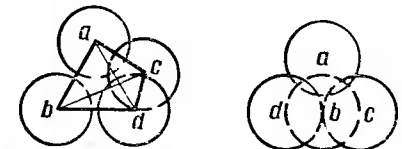
Пирамидальная укладка характеризуется расположением шаров по четырем углам правильного тетраэдра или по шести углам



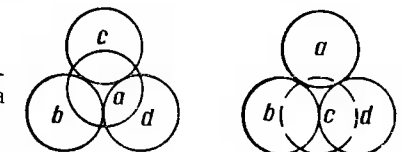
Фиг. 26. Кубическая укладка шаров.



Фиг. 27. Призматическая укладка шаров.

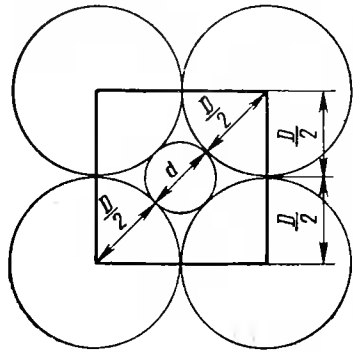


Фиг. 28. Пирамидальная укладка шаров.



правильного октаэдра. Пористость этой системы равна 25,5, и координационное число равно 12.

- Рассмотрение этих систем приводит к выводам:
1. Не представляется возможным уложить неупругие шары одинакового диаметра с пористостью меньше 25,5%.
 2. Пористость зависит от системы укладки и не зависит от диаметра шаров.



Фиг. 29. Схема расположения шаров неоднородной смеси.

3. Уменьшение пористости может быть достигнуто прибавлением шаров другого диаметра в однородную систему.

Шары неодинакового диаметра

Схема неоднородной системы приведена на фиг. 29. Отсюда следует; что малый шар с диаметром d может располагаться в порах между шарами большого диаметра D при условии:

$$(D + d)^2 = 2D^2.$$

Следовательно,

$$d = (\sqrt{2D - 1}) D.$$

Отсюда следует, что уменьшение пористости может быть достигнуто при вполне определенном соотношении шаров малого и большого диаметров.

2. ПОРИСТОСТЬ СМЕСИ

Смесь из угловатых зерен

Пористость может быть доведена до нуля при расположении кубов с точным соприкосновением между собой пришлифованных граней. Однако при насыпании таких кубов они располагаются в случайном порядке и занимают больший объем.

В табл. 61 приведены результаты опытов автора по определению пористости круглых и угловатых зерен.

Из рассмотрения этой таблицы могут быть сделаны выводы:

1. Угловатые зерна занимают больший объем, чем круглые.
2. Смесь угловатых зерен обладает большей пористостью, чем смесь круглых зерен.

Таблица 61

Величина зерна в мм	Пористость смеси круглых и угловатых зерен разных размеров	
	Пористость зерен в %	
	круглых	угловатых
0,075	40,3	51,3
0,10	39,0	50,8
0,15	38,4	47,7

3. Более мелкие зерна обладают большей пористостью, что может быть связано с их большей угловатостью (см. § 13, гл. I части первой).

При сопоставлении величин пористости смесей надо обеспечить одинаковую степень уплотнения. Между тем, даже при свободном насыпании зерен разных размеров можно получить разное уплотнение, что может привести к неправильным выводам.

Смесь из влажных зерен

Закономерности изменения пористости смеси при ее увлажнении могут быть установлены при пересчете табл. 34. Результаты пересчета приведены в табл. 62.

Таблица 62

Влияние влажности на пористость смесей (Пересчет табл. 34)

Показателя	Содержание воды в образце в %					
	1	2	3	4	6	8
Высота образцов из смеси зерен:						
0,2 мм	52	51	51	51	50	50
0,1 мм	57	56	56	54	52	51
Пористость смеси в %: из сухих зерен 0,2 мм	37,5	36,5	37,0	37,5	37,5	39,0
из сухих зерен 0,1 мм	42,7	42,5	42,7	41,5	40,0	41,5
из влажных зерен 0,2 мм	35,5	33,1	31,9	30,9	29,0	25,5
из влажных зерен 0,1 мм	41,5	39,5	37,0	34,7	30,1	28,5

Из рассмотрения этой таблицы могут быть сделаны следующие выводы:

1. Пористость смеси влажных зерен непрерывно уменьшается при увеличении содержания воды в смесях.
2. Условная пористость смеси сухих зерен претерпевает минимум при среднем содержании воды в смесях.
3. Пористость более мелких, а следовательно, и более угловатых зерен значительно больше пористости более крупных, а следовательно, и более круглых зерен.
4. Наименьшая пористость достигается в смесях с более крупными и более круглыми зернами при повышенном содержании воды по сравнению со смесями с более мелкими и более угловатыми зернами.
5. Следует различать пористость смеси до и после ее высушивания: пористость смеси до высушивания при увеличении ее влажности непрерывно уменьшается, а пористость смеси после высушивания претерпевает минимум при средних содержаниях воды.
6. Пористость смеси может резко увеличиваться при наличии в смесях выгорающих добавок.

3. НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОРИСТОСТИ

Пористость реальных смесей, состоящих из относительно однородных зерен, составляет в большинстве случаев от 25 до 45%. Более низкая пористость, доходящая до 15%, наблюдается у смесей, состоящих из неоднородных зерен. Пористость свыше 45% и до 50% наблюдается в смесях, содержащих выгоревшие примеси.

Средняя расчетная пористость может быть получена при допущении, что средний вес образца составляет около 170 г, его объем около 100 см³ и удельный вес зерен 2,62. Тогда

$$P = 100 \left(1 - \frac{170}{100 \cdot 2,62} \right) = 35 \%$$

Глава II

ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ

1. СТАНДАРТНАЯ ФОРМУЛА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ [1], [2], [159]

Стандартная формула газопроницаемости может быть выведена из формулы Пуазейля для определения количества Q см³ жидкости или газа с вязкостью η Гсек/см² при его прохождении в течение t сек через капилляры радиусом r см и длиной l см под давлением $p_1 - p_2$ Г/см²

$$Q = C \cdot \frac{\pi \tau (p_1 - p_2) r^4}{8 \eta l},$$

где C — коэффициент, в который входят неучтенные факторы, принимаемые постоянными, как например, сечение капилляра, его изогнутость и т. п.

Эту формулу можно применить для вывода формулы газопроницаемости смеси, если уподобить смесь пучку капилляров с сечением $\pi \cdot r^2$. Если принять толщину стенок капилляров равной нулю, то сечение испытываемого образца F см² может быть принято равным

$$F = \pi r^2 n,$$

где n — количество капилляров.

Следовательно,

$$r^2 = \frac{F}{\pi n}.$$

Основная формула после подстановки значения r^2 приобретает вид

$$Q = C \frac{\tau (p_1 - p_2) r^2 F}{8 \eta l n}.$$

Решая уравнения относительно C :

$$C = \frac{8 \eta \tau Q l}{r^2 F \tau (p_1 - p_2)},$$

принимая

$$C_1 = \frac{8 \eta \tau}{r^2}$$

и

$$p_1 - p_2 = P,$$

можно получить стандартную формулу

$$C = C_1 \frac{Q l}{F \tau P}.$$

Если принять

$$C_1 = 1 \text{ с размерностью } \frac{\text{Гсек}}{\text{см}^4},$$

то формула приобретает вид:

$$K = \frac{Q l}{F \tau P},$$

где K — безразмерная величина.

Анализ стандартной формулы газопроницаемости

Анализ стандартной формулы газопроницаемости приводит к следующим выводам:

1. При подстановке в формулу Пуазейля размерности входящих в нее величин можно убедиться, что коэффициент C является безразмерной величиной.

2. Этот коэффициент не меняется, если не меняется характеристика капилляров, не предусмотренная формулой, как например, ее шероховатость, очертание или изогнутость.

3. Если увеличится сопротивление прохождению газов через капилляры за счет факторов, не предусмотренных формулой, то коэффициент C должен уменьшиться и соответственно уменьшится количество газов или жидкости, проходящей через капилляры.

4. Если изменяются величины, предусмотренные формулой, и эти измененные величины будут в формулу подставлены, то коэффициент C не изменится.

5. Коэффициент K является безразмерной величиной, если принять размерность коэффициента C_1 соответствующей размерности входящих в нее величин:

$$C_1 \frac{\text{Гсек}}{\text{см}^4}.$$

6. Аналогично коэффициенту C коэффициент K не меняется, если не меняются величины, учитываемые стандартной формулой, например, при неизменной зерновой характеристике песка.

7. Аналогично коэффициенту C коэффициент K получается меньшим при увеличении сопротивления прохождению газов через смесь. Например, коэффициент газопроницаемости должен уменьшиться при испытании более мелкозернистого песка, оказывающего большее сопротивление прохождению газов через образец.

8. Коэффициент K также не изменится, если изменятся величины, предусмотренные стандартной формулой, и эти измененные величины будут в формулу подставлены (например, при изменении высоты образца и подстановке в формулу этой измененной высоты).

9. В отличие от безразмерного коэффициента K , характеризующего газопроницаемость, пропускная способность формы, выраженная через Q или $\frac{Q}{F\tau}$, не может рассматриваться как безразмерная величина. Эта размерная величина увеличивается с увеличением безразмерного коэффициента K .

2. РАСЧЕТНАЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ СМЕСИ ОДНОРОДНЫХ ШАРОВ [1], [2], [159]

При уподоблении формовочной смеси пучку капилляров уменьшение диаметра зерен может быть уподоблено уменьшению диаметра капилляров. Одновременно увеличивается их количество и количество перемен направлений движения газов. Эта сложная зависимость не поддается точному расчету с применением не слишком сложных формул. Поэтому целесообразно применить метод физически обоснованных формул с эмпирически подбираемыми коэффициентами.

Если исходить из развернутой формулы

$$K = C_1 \frac{Ql}{F\tau p}$$

и принять постоянными и равными единице Q , l , F , τ и p , то после подстановки значения C_1 получим

$$K = C_1 = \frac{8n\eta}{r^2}.$$

Положим также постоянным

$$C_1 = C_2 \frac{\eta r^2}{n}.$$

Ввиду того, что величины r и n между собой связаны, можно привести выведенную формулу к физически обоснованному виду

$$K = C_1 = C_2 \frac{r^2}{n} = C_2 d^a.$$

Задача сводится к определению опытным путем коэффициента C_2 и показателя степени a .

Предполагая, что коэффициент C_2 не зависит от диаметра зерна, можно определить показатель степени a , если известно отношение величин коэффициентов газопроницаемостей

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^a.$$

Результаты пересчетов опытных данных, полученных разными исследователями, приведены в табл. 63.

Расчет показателя степени α

Номера сит	Опытное определение газопроницаемости по данным								Пересчет показателя степени α по опытным данным							
	[160]	[161]	[161]	[161]	[75]	[75]	[162]	[162]	[160]	[161]	[161]	[161]	[75]	[75]	[162]	[162]
—12 +30	—	1790	—	—	—	—	—	—	—	1,84	—	—	—	—	—	—
—20 +30	—	950	1200	1350	—	—	—	—	—	2,65	1,52	1,91	—	—	—	—
—30 +40	—	535	710	700	780	1093	550	510	—	1,54	1,98	—	2,30	—	1,38	1,22
—40 +50	275	313	358	440	—	—	341	335	1,56	1,36	1,22	1,95	—	—	1,47	1,50
—50 +70	160	196	236	225	158	172	205	200	1,37	2,40	1,98	2,35	1,70	1,50	2,50	0,83
—70 +100	100	86	119	100	88	102	86	150	1,50	1,87	1,84	1,25	1,41	2,06	1,33	1,17
—100 +140	60	45	63	65	54	50	54	100	1,39	1,48	2,04	2,24	1,17	1,6	1,17	1,50
—140 +200	37	27	31	30	36	28	36	60	1,50	1,90	—	1,18	3,72	1,62	0,95	1,17
—200 +270	22	14	—	20	10	16	26	40	—	2,10	—	3,26	—	—	1,87	—
—270	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее									1,45±0,05	1,7±0,4	1,75±0,25	1,8±0,6	1,6±0,7	1,7±0,4	1,4±0,5	1,2±0,3

Из рассмотрения таблицы 63 можно сделать следующие выводы:

1. Показатель степени изменяется от 0,8 до 3,7. Средние значения изменяются в границах 1,3—1,8. При этих средних значениях не принимались во внимание крайние величины, являющиеся очевидными выпадами.

2. Не обнаруживается закономерности изменения показателя степени a от величины зерна. Это отсутствие корреляции подтверждает независимость этого показателя от величины зерна.

3. Для укрупненных оценочных расчетов можно принять показатель степени $a = 1,5$. При отсутствии достоверных данных о его величине предпочтение может быть отдано величине 1,5, как облегчающей расчеты, которые могут быть произведены на логарифмической линейке.

Приняв показатель степени $a = 1,5$, можно подойти к определению коэффициента C_2 :

$$C_2 = \frac{K}{d^{1,5}}.$$

В табл. 64 приведены результаты опытов автора и их пересчет.

Таблица 64

Расчет коэффициентов угловатости C_2 зерен

$$C_2 = \frac{d^{1,5}}{K}$$

Размер зерен в мм	Принятый средний диаметр d в мм	$d^{1,5}$	Круглые зерна		Полуугловатые зерна		Угловатые зерна		Очень угловатые зерна	
			K	C_2	K	C_2	K	C_2	K	C_2
+0,30 —0,50	0,40	0,243	—	—	220	(920)	—	—	330	2750
0,20 —0,30	0,25	0,124	99	825	175	1450	—	—	170	2300
+0,15 —0,20	0,18	0,073	84	1150	105	1430	126	1730	—	—
+0,10 —0,15	0,12	0,044	69	1570	87	2000	94	2130	—	—
+0,08 —0,10	0,09	0,026	49	1890	—	—	56	2150	—	—
Средний коэффициент	—	—	—	1300 ±500	—	1700 ±300	—	2000 ±200	—	2500 ±200

Из рассмотрения таблицы можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициент C_2 четко увеличивается с увеличением угловатости зерен. Поэтому его можно назвать коэффициентом угловатости.

2. Коэффициент угловатости увеличивается с уменьшением диаметра зерна. Поэтому можно утверждать, что мелкие зерна являются более угловатыми. Этот вывод подтверждает сделанный теоретический прогноз о связи между угловатостью и окатанностью зерен.

3. Для укрупненных расчетов можно принять следующие коэффициенты угловатости зерен:

для круглых	$C_2 = 1000$
для угловатых	$C_2 = 2000$
для очень угловатых	$C_2 = 3000$

4. Относительно большие колебания коэффициентов угловатости могут быть частично объяснены наличием неучтенных факторов. К их числу можно отнести шероховатость и неоднородность смеси. Неоднородность должна учитываться отдельным коэффициентом.

5. Можно полагать, что угловатость зерен оказывает влияние на газопроницаемость в нескольких направлениях: с одной стороны, известно, что смеси с угловатыми зернами обладают большей пористостью, а с другой стороны, можно полагать, что поверхность каналов угловатых зерен значительно более шероховата.

Формула приведенного вида была приведена разными авторами. К числу формул подобного построения можно отнести формулу, предложенную К. Л. Шептуновым, применительно к условиям завода «Станколит»

$$K = 2582d^{1,54}C_n,$$

где C_n — коэффициент, учитывающий неоднородность смеси.

3. ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ СМЕСИ ЗЕРЕН [164]

Расчет газопроницаемости смеси зерен может быть осуществлен двумя путями:

1. Расчет по зерновому строению с поправками на неоднородность. Этот путь в настоящее время не приводит к положительным результатам из-за неучтенности расчетных коэффициентов.

2. Расчет газопроницаемости смеси, если известна газопроницаемость ее составных частей. Этот путь представляет интерес, потому что вскрывает некоторые общие закономерности изменения газопроницаемости смеси. Кроме того, часто возникает вопрос о величине газопроницаемости смеси, если известна газопроницаемость ее составных частей.

В основу расчета может быть положена формула автора

$$f(a) = \frac{K_{см} - K_d}{K_D - K_d},$$

откуда

$$K_{см} = K_d + (K_D - K_d)f(a),$$

где K_D — проницаемость крупнозернистого песка со средним диаметром D ;

K_d — проницаемость мелкозернистого песка со средним диаметром d ;

$K_{см}$ — проницаемость смеси со средним зерном $D_{см}$. Смесь состоит из a частей мелкозернистого песка и $(1-a)$ частей крупнозернистого песка;

$f(a)$ — безразмерный критерий, могущий быть назван критерием газопроницаемости смеси.

Из анализа стандартных сит, приведенного в § 11 гл. I части первой, известно, что величина сита в свету может быть выражена в виде

$$D = A^{0,5m}d;$$

$$D_{см} = A^{0,5n}d,$$

причем $A = 2,0$ по ГОСТ 2189-52 и $A = 2,5$ по ГОСТ 2189-62.

Газопроницаемость по-прежнему может быть выражена в виде

$$K = C_2 d^a.$$

Тогда

$$f(a) = \frac{c_1 A^{0,5na} d^a - c_2 d^a}{c_3 A^{0,5ma} d^a - c_2 d^a}.$$

Пользование этой формулой в общем виде представляет значительные затруднения.

Поэтому желательно ее упрощение для выявления общей закономерности даже в ущерб точности. Упрощения могут быть совершены при допущении:

1) все зерна характеризуются одинаковой угловатостью $c_1 = c_2 = c_3$;

2) показатель степени $a = 2$;

3) $A = 2$.

Тогда после сокращения на d выведенная формула приобретает вид

$$f(a) = \frac{2^n - 1}{2^m - 1}.$$

Для удобства графического выражения результатов расчетов можно принять

$$\alpha = \frac{n}{m}.$$

Графическая связь между критерием газопроницаемости смеси и количеством прибавляемых более мелких зерен приведена на фиг. 30. Из ее рассмотрения могут быть сделаны качественные выводы:

1. Кривая газопроницаемости снижается при добавлении более мелких зерен не пропорционально количеству добавляемых мелких зерен, а значительно круче.

2. При одинаковом количестве прибавляемых более мелких песков кривая газопроницаемости снижается тем круче, чем больше разность между величиной зерен.

Количественно приведенная формула может быть использована только после уточнения принимаемых коэффициентов на основе опытных данных. При наличии этих уточненных коэффициентов представляется возможным подбирать смеси с заданной газопроницаемостью с уменьшенной затратой времени на подбор смесей.

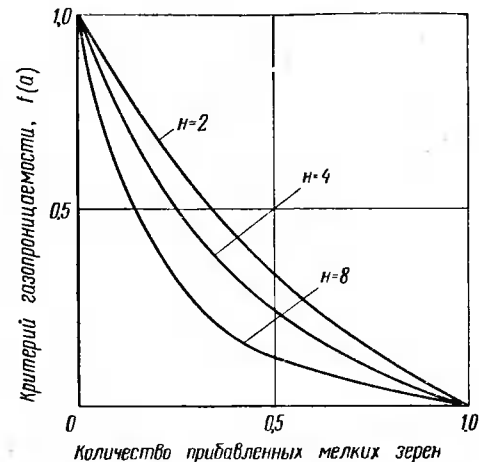
3. При соответствующем подборе коэффициентов c_1 , c_2 и c_3 , а также показателя степени a критерий $f(a)$ может оказаться меньше единицы, т. е. смесь при добавлении мелких зерен может оказаться менее газопроницаемой, чем смесь, состоящая только из мелких зерен.

4. ГАЗОПРЕНИЦАЕМОСТЬ СМЕСИ ИЗ ВЛАЖНЫХ ЗЕРЕН

Реальные смеси в подавляющем большинстве случаев не бывают сухими. Иногда вместо воды применяется другая смачивающая жидкость. Закономерности изменения газопроницаемости смесей от смачивания их разными жидкостями меняются только качественно.

Прежде всего необходимо отметить, что газопроницаемость влажных смесей имеет подчиненное значение, так как вода начинает испаряться из формы после попадания в нее первых же капель жидкого металла. Поэтому можно только совершенно условно говорить об увеличении газопроницаемости при увеличении содержания в ней воды.

При рассмотрении влияния жидкости на изменение газопроницаемости наблюдается несколько процессов, часть которых

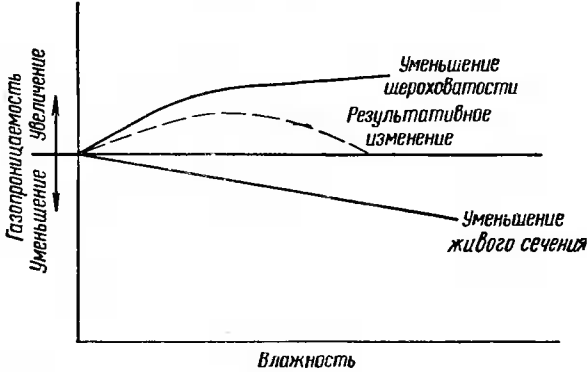


Фиг. 30. Схема влияния присадки в смесь мелких зерен на ее газопроницаемость.

приводит к увеличению, часть к уменьшению газопроницаемости, как это схематически изображено на фиг. 31.

К числу процессов, способствующих увеличению газопроницаемости, надо отнести уменьшение шероховатости поверхности зерен. Но это же уменьшение шероховатости увеличивает уплотняемость смеси.

К числу процессов, способствующих уменьшению газопроницаемости, надо отнести уменьшение живого сечения между зернами.



Фиг. 31. Схема влияния влажности на газопроницаемость.

Таким образом, в большинстве случаев при испытаниях после стандартного уплотнения наблюдается переход величины газопроницаемости через максимум. Однако при определениях величины газопроницаемости с соблюдением постоянства плотности этот максимум не наблюдается и газопроницаемость непрерывно снижается.

Учитывая увеличение количества газов при увеличении содержания жидкости в смеси, можно утверждать, что действительная газопроницаемость смеси при увеличении ее влажности во всех случаях снижается. Поэтому подбор влажности по признаку максимальной газопроницаемости нецелесообразен.

5. ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ГАЗОПРЕНИЦАЕМОСТЬ

Попытка количественного изображения связи между газопроницаемостью и содержанием глинистых составляющих в виде, пересчитанном на метрическую систему, приведена на фиг. 32 [160]. Эта диаграмма не может по разбираемым ниже причинам привести к полному количественному совпадению расчетных и опытных результатов, но дает возможность установить качественно некоторые закономерности:

1. При увеличении содержания глинистых составляющих газопроницаемость снижается.

2. Снижение абсолютной газопроницаемости смеси наблюдается тем больше, чем крупнее зерна, к которым добавляются глинистые составляющие.

К приведенным материалам должны быть сделаны следующие пояснения:

1. Приведенные на фиг. 32 величины газопроницаемостей должны быть уменьшены на величину, зависящую от степени однородности зерен.

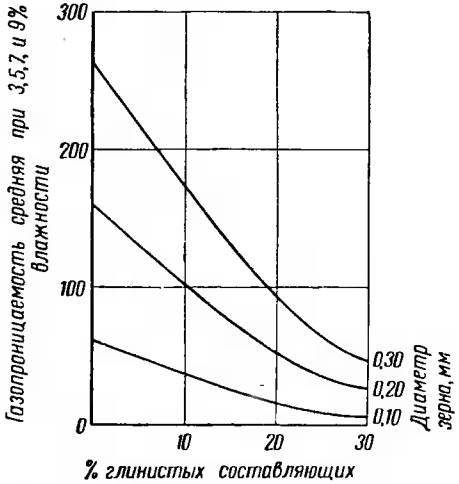
2. Газопроницаемость зависит от степени распределения глинистых составляющих по поверхности зерен. При равномерном распределении глинистых составляющих тонким слоем по поверхности зерен может произойти увеличение условного диаметра зерен с результирующим увеличением газопроницаемости. Поэтому наблюдается увеличение газопроницаемости при улучшении перемешивания смесей. Для получения сопоставимых результатов надо испытывать смеси при одинаковой степени перемешанности.

Таблица 65

Влияние степени дисперсности глинистых составляющих на относительную газопроницаемость [165]

Величина зерен песка в мм	Относительная газопроницаемость		
	Величина зерен глинистых составляющих в мк		
	20—30	5—20	2—5
0,75—1,0	22,2	24,7	31,5
0,50—0,75	15,6	17,8	23,9
0,33—0,50	9,9	11,5	12,8
0,15—0,33	5,6	7,0	7,9
0,05—0,15	1,4	1,7	1,9
Менее 0,05	0,1	0,1	0,2

5. Чем толще оболочка глинистых составляющих, окружающая зерна, тем заметнее на результатах определения газопроницаемости сказывается уплотнение смеси.



Фиг. 32. Диаграмма для расчета газопроницаемости.

3. При повышении содержания глинистых составляющих наблюдается их повышенное стремление к образованию комьев. Процесс образования комьев становится очень заметным при содержании глинистых составляющих свыше 30%.

4. Газопроницаемость повышается при увеличении степени дисперсности глинистых составляющих, так как при этом облегчается распределение глинистых составляющих по поверхности зерен. В табл. 65 приведены результаты опытов [165] по определению влияния степени дисперсности глинистых составляющих на газопроницаемость.

6. ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЕНИЯ НА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ

В порядке грубого приближения можно считать, что отношение величин газопроницаемости обратно пропорционально отношению уплотнений C :

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^a$$

или

$$\lg K_1 - \lg K_2 = a (\lg C_2 - \lg C_1).$$

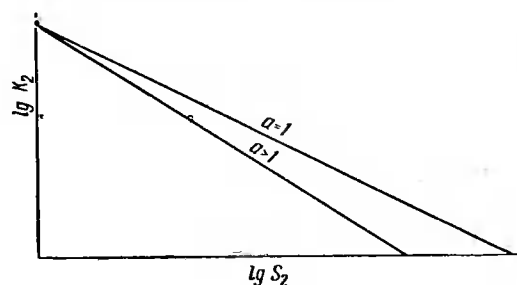
Если принять за единицу как газопроницаемость при уплотнении C_1 , так и само уплотнение C_1 , то формула приобретает простейший вид

$$K_2 C_2^a = 1;$$

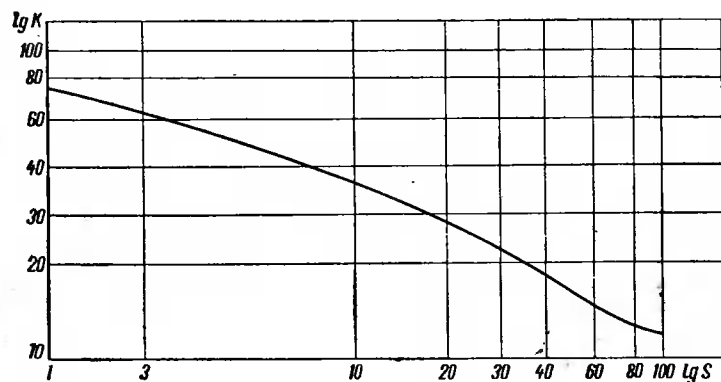
$$\lg K_2 + a \lg C_2 = 0.$$

Графически эта простейшая зависимость приведена на фиг. 33.

При увеличении показателя степени уплотняемости наблюдается более быстрое снижение газопроницаемости по мере увеличения уплотнения.



Фиг. 33. Схема связи между газопроницаемостью и уплотнением.

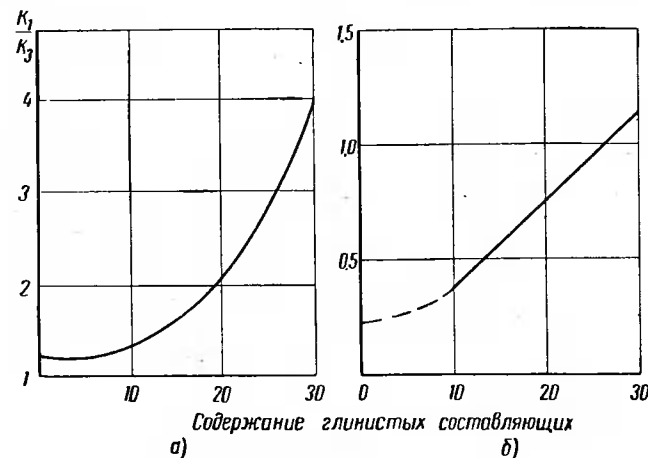


Фиг. 34. Связь между газопроницаемостью и уплотнением (Пересчет опытов К. Н. Карлова).

На фиг. 34 приведены результаты опытов К. Н. Карлова по влиянию уплотнения на газопроницаемость. Из диаграммы видно, что изменение логарифма газопроницаемости с изменением уплотнения происходит почти по закону прямой линии. При экстраполяции результатов этих опытов видно, что отношение газопроницаемости при одном ударе бабы стандартного копра к газопрони-

цаемости при трех ударах бабы стандартного копра составляет около $75:60 = 1,25$.

Результаты исследования связи между отношением газопроницаемости при одном и при трех ударах и содержанием глинистых составляющих [160] приведены на фиг. 35. Из этих опытов видно,



Фиг. 35. Влияние содержания глинистых составляющих на уплотняемость.

что при одинаковом изменении степени уплотнения газопроницаемость снижается сильнее при увеличении содержания глинистых составляющих.

Результаты этих опытов могут быть пересчитаны на изменение показателя степени уплотняемости по газопроницаемости (фиг. 35, а) в зависимости от содержания глинистых составляющих в смеси

$$\lg \frac{K_1}{K_3} = a \lg 3.$$

Отсюда

$$a = \frac{\lg \frac{K_1}{K_3}}{0,47} \approx 2 \lg \frac{K_1}{K_3}.$$

7. ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ СМЕСИ ДЛЯ НАГРЕТЫХ ГАЗОВ И ГАЗОВ РАЗНОЙ ВЯЗКОСТИ

Влияние вязкости газов учитывается формулой Пуазейля и не учитывается стандартной формулой газопроницаемости. Косвенно вязкость учитывается коэффициентом C_1 :

$$C_1 = \frac{8\eta}{r^2}.$$

Отсюда коэффициент газопроницаемости K :

$$K = \frac{C}{8\pi\eta} \cdot \frac{Ql}{F\tau p}.$$

Если принять все величины, кроме вязкости, постоянными и охватываемыми коэффициентом K , то

$$K = \frac{K_0}{\eta}.$$

Следовательно, коэффициент газопроницаемости уменьшается при увеличении вязкости. В табл. 66 приведены результаты опы-

Таблица 66

Газопроницаемость смеси для газов разной вязкости			
Газ	Относительная вязкость η	Газопроницаемость, определенная в стандартных усло- виях, K_0	Расчетная газопроницаемость, $K_\eta = \frac{K_0}{\eta}$
Воздух	100	106	106
Кислород	111	96	96
Двуокись углерода	81	130	131

тов автора и К. В. Крыловой по влиянию вязкости газов на газопроницаемость смеси. Опытные данные подтверждают теоретические предпосылки и приводят к результатам, достаточно хорошо совпадающим с расчетными.

Стандартная формула не учитывает изменения газопроницаемости при проходе через смесь нагретых газов. Поправка на температуру газов может быть совершена также на основе формулы Пуазейля, если учесть, что

при повышении температуры изменяется объем газов и их вязкость.

Изменение объема происходит по общеизвестной формуле

$$Q_t = Q_0 \frac{273 + t}{273},$$

где Q_0 и Q_t — объемы газов при температурах 0° и t° С.

Изменение вязкости газов с повышением температуры может быть учтено формулой, полученной автором после пересчета большого количества работ, посвященных влиянию температуры на вязкость газов

$$\eta_t = \eta_0 \left(\frac{273 + t}{273} \right)^{0,75},$$

где η_0 и η_t — вязкости при температурах 0° и t° С.

Возвращаясь к формуле Пуазейля и принимая все величины, кроме вязкости и объема газов, постоянными и равными C_4 , получим

$$C = C_4 Q \eta.$$

Отсюда

$$\frac{Ct}{C_0} = \frac{Q_t \eta_t}{Q_0 \eta_0}$$

или после подстановки значений для Q_t и η_t

$$\frac{Ct}{C_0} = \frac{Q_0 (273 + t) \eta_0 (273 + t)^{0,75}}{Q_0 \cdot 273 \cdot \eta_0 \cdot 273^{0,75}} = \left(\frac{273 + t}{273} \right)^{1,75}.$$

Физический смысл этого выражения сводится к утверждению, что отношение $C_t : C_0$ соответствует увеличению сопротивления проходу газов, нагретых до температуры t , по сравнению с проходом газов, нагретых до температуры 0° С.

Поэтому коэффициент газопроницаемости должен уменьшиться соответственно $C_0 : C_t$ и изменение коэффициента газопроницаемости может быть выражено в виде

$$\frac{K_t}{K_0} = \left(\frac{273}{273 + t} \right)^{1,75}.$$

Расчетное изменение коэффициента газопроницаемости при повышении температуры проходящих через смесь газов приведено в табл. 67. Из рассмотрения этой таблицы можно заметить, что уже при 800° С коэффициент газопроницаемости составляет менее 10%, а при 1500° С составляет только 3%.

Таблица 67

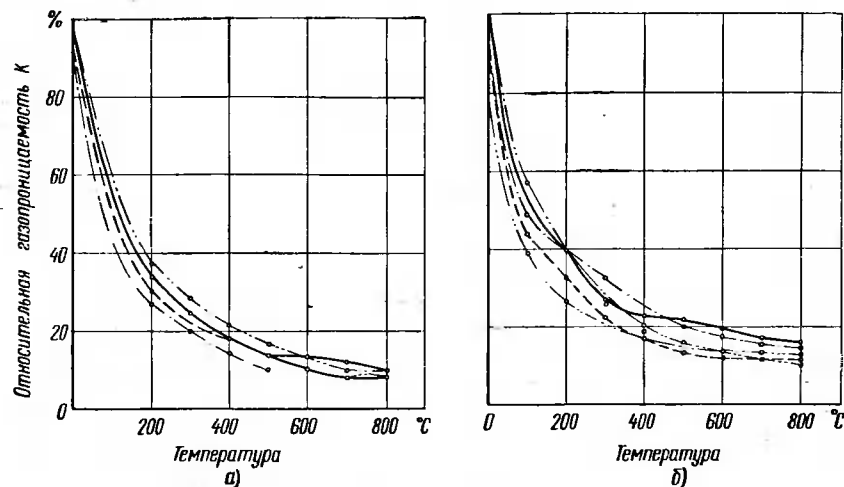
Влияние нагрева газов на проницаемость смесей

Температура в $^\circ\text{C}$	$\frac{K_0}{K_t} = \left(\frac{273}{273+t} \right)^{1,75}$	Температура в $^\circ\text{C}$	$\frac{K_0}{K_t} = \left(\frac{273}{273+t} \right)^{1,75}$
0	1,00	1000	0,07
100	0,57	1200	0,05
200	0,38	1400	0,04
400	0,20	1500	0,03
800	0,09		

Результаты непосредственных опытов по определению газопроницаемости, проведенных автором совместно с К. В. Крыловой, приведены на фиг. 36, а, б. Из этих диаграмм можно заметить достаточно удовлетворительное совпадение расчетных и опытных кривых, а также возможность не вводить поправку на нагрев самой смеси.

Необходимо подчеркнуть, что, строго говоря, изменение коэффициента газопроницаемости происходит только при изменении вязкости газа. При изменении температуры коэффициент газопроницаемости не изменяется, но изменяется пропускная способность формы для газов, нагретых по сравнению с газами холодными. Поэтому необходимо повысить коэффициент газопроницаемости для обеспечения прохода через смесь нагретых газов,

т. е. при повышении температуры уменьшается расчетный коэффициент газопроницаемости нагретых газов по сравнению с коэффициентом нагрева холодных газов.



Фиг. 36. Газопроницаемость нагретой смеси:

а — смесь кварцевых зерен: — величина зерна 0,20 мм; — — — 0,42; — — — 0,84 мм; — — — теоретическая кривая; б — смесь глинистая: — — — 90% кварцевого песка с зерном 0,2 мм и 10% глины 0,05 мм; — — — 80% того же песка, 10% той же глины и 10% пыли; — — — 70% того же песка, 10% той же глины и 20% пыли; — — — 50% того же песка, 10% той же глины и 40% пыли; — — — теоретическая кривая.

8. ПОНЯТИЕ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОПРЕНИЦАЕМОСТИ [1], [2], [166]

При стандартном методе определения газопроницаемости используется стандартная формула и применяется стандартный образец смеси. Переменными и наблюдаемыми на приборе для определения газопроницаемости величинами являются: продолжительность прохождения через образец воздуха объемом 2000 см³ под давлением, которое не должно превышать 10 см вод. ст.

При этих ограничениях стандартная формула для определения газопроницаемости несколько упрощается, так как объем воздуха $Q = 2000 \text{ см}^3$; высота образца $l = 5 \text{ см}$; сечение образца $F = 19,6 \text{ см}^2$.

После подстановки этих значений в стандартную формулу она приобретает вид

$$K = \frac{2000 \cdot 5}{19,6 \cdot p \cdot \tau};$$

$$K = \frac{509,5}{p \tau}.$$

Стандартами предусмотрен и ускоренный метод определения газопроницаемости, дающий возможность определять величину газопроницаемости по манометру без использования секундомера.

Возможность ускорения и упрощения процесса определения газопроницаемости основана на использовании формулы гидравлики

$$v = c_x \sqrt{p_1 - p_2},$$

где v — скорость протекания воздуха (или жидкости);
 $p_1 - p_2$ — разность между давлением и противодавлением;
 c_x — поправочный коэффициент.

Для получения возможности использования этой формулы надлежит преобразовать стандартную формулу для определения газопроницаемости

$$K = \frac{Q}{\tau F} \cdot \frac{l}{p} = v \frac{l}{p},$$

где v — скорость протекания воздуха; $v = \frac{Q}{\tau F}$.

Подставляя в стандартную формулу полученное значение для скорости, получим формулу

$$K = c_x \frac{\sqrt{p_1 - p_2}}{p} l,$$

из которой оказалось исключенным время τ . Задача сводится к определению коэффициента c_x . Для этой цели надлежит определить прежде всего то максимальное давление p_1 , которое создается при полностью перекрытом выходе в атмосферу воздуха, который при определении газопроницаемости проходит через образец. По стандарту это давление должно быть равно 10 см вод. ст. Противодействие при отключенном образце должно быть очень малым, и им можно пренебречь. Если оно недостаточно мало, то результаты определения газопроницаемости могут получиться искаженными. В стандартном приборе с отключенным образцом 2000 см³ воздуха выходят из прибора в течение около 5 сек. Следовательно, при этих условиях

$$v = \frac{2000 - 60}{5 \cdot 19,6} = 1200 \text{ см/мин.}$$

Поэтому

$$c_x = \frac{v}{\sqrt{10}} = 315.$$

Скорость 1200 см/мин слишком велика и затрудняет точные расчеты. Поэтому стандартом рекомендуется включить сопротивление в виде ниппеля на пути прохода воздуха через образец. Ниппелей рекомендуется применять два: для смесей с газопроницаемостью свыше 49 рекомендуется ниппель с отверстием

1,5 ± 0,03 мм, а для смесей с газопроницаемостью ниже 49 рекоммендуется ниппель с отверстием 0,5 ± 0,03 мм.

При включении ниппеля с отверстием 1,5 мм воздух объемом 2000 см³ выходит в течение 0,5 мин. Следовательно, поправочный коэффициент для ниппеля с диаметром 1,5 мм

$$c_{1,5} = \frac{2000}{19,6 \cdot 0,5 \sqrt{10}} = 63.$$

При включении ниппеля с отверстием 0,5 мм объем 2000 см³ воздуха выходит в течение 4,5 мин. Поэтому поправочный коэффициент для этого ниппеля

$$c_{0,5} = \frac{2000}{19,6 \cdot 4,5 \sqrt{10}} = 7.$$

После подстановки выведенных значений для c_x в развернутую формулу ускоренного определения газопроницаемости получается для ниппеля 1,5 мм

$$K = \frac{63 \sqrt{10 - p \cdot 5}}{p} = 35 \frac{\sqrt{10 - p_2}}{p_2},$$

а для ниппеля 0,5 мм

$$K = \frac{7 \sqrt{10 - p_2 \cdot 5}}{p_2} = 315 \frac{\sqrt{10 - p_2}}{p_2}.$$

В табл. 68 приведены значения для коэффициента газопроницаемости при определении ускоренным методом с отсчетом по одному манометру.

Таблица 68

Таблица для ускоренного определения проницаемости по показателям манометра

Давление в см вод. ст.	Проницаемость		Давление в см вод. ст.	Проницаемость		Давление в см вод. ст.	Проницаемость		Давление в см вод. ст.	Проницаемость	
	при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм		при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм		при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм		при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм
0,1	—	—	1,2	—	780	2,2	44	398	3,2	28	253
0,2	—	—	1,3	—	710	2,3	42	376	3,3	27	243
0,3	—	—	1,4	—	650	2,4	40	358	3,4	25,8	235
0,4	—	2450	1,5	—	610	2,5	38	341	3,5	24,2	226
0,6	—	1620	1,6	—	550	2,6	36	326	3,6	23,4	19
0,7	—	1350	1,7	—	525	2,7	34	313	3,7	22,7	12
0,8	—	1200	1,8	—	492	2,8	33	300	3,9	21,8	205
0,9	—	1060	1,9	—	467	2,9	31	287	4,0	20,0	198
1,0	—	950	2,0	49	440	3,0	30	275	4,1	19,5	185
1,1	—	850	2,1	47	417	3,1	29	264	4,2	19,0	178

Продолжение табл. 68

Давление в см вод. ст.	Проницаемость		Давление в см вод. ст.	Проницаемость		Давление в см вод. ст.	Проницаемость		Давление в см вод. ст.	Проницаемость	
	при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм		при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм		при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм		при от- верстии 0,5 мм	при от- верстии 1,5 мм
4,3	18,4	173	5,8	11,4	108	7,3	7,0	67	8,7	3,7	38
4,4	17,8	167	5,9	11,0	105	7,4	6,7	65	8,8	3,5	36
4,5	17,3	163	6,0	10,7	102	7,5	6,5	63	8,9	3,3	—
4,6	16,7	156	6,1	10,3	99	7,6	6,3	61	9,0	3,1	—
4,7	16,2	151	6,2	10,0	96	7,7	6,0	58	9,1	2,9	—
4,8	15,7	146	6,3	9,7	93	7,8	5,8	56	9,2	2,6	—
4,9	15,2	142	6,4	9,4	90	7,9	5,6	54	9,3	2,4	—
5,0	14,7	138	6,5	9,0	88	8,0	5,2	52	9,4	2,2	—
5,1	14,3	134	6,6	8,8	85	8,1	5,1	50	9,5	1,9	—
5,2	13,8	128	6,7	8,5	82	8,2	4,9	48	9,6	1,7	—
5,3	13,4	126	6,8	8,2	80	8,3	4,7	46	9,7	1,4	—
5,4	13,0	122	6,9	7,9	77	8,4	4,4	44	9,8	1,1	—
5,5	12,6	119	7,0	7,7	75	8,5	4,2	42	9,9	—	—
5,6	12,2	115	7,1	7,5	73	8,6	4,0	40	10,0	—	—
5,7	11,8	112	7,2	7,2	70						

Очевидно, что изложенный расчет может быть использован для разработки метода ускоренного определения газопроницаемости при применении других ниппелей и других давлений.

В табл. 69 приведено сопоставление величин газопроницаемости, полученных ускоренным методом по стандартной таблице и расчетом. Ошибка может быть отнесена за счет неучтенного увеличения плотностей воздуха и за счет наличия завихрений.

Таблица 69

Сопоставление величин проницаемости, получаемых ускоренным методом по расчету и по таблице

Давление по манометру в см вод. ст.	Проницаемость по формуле для сопротивления		По таблице сопротивления		Ошибка в % при применении сопро- тивлений	
	0,5 мм	1,5 мм	0,5 мм	1,5 мм	0,5 мм	1,5 мм
1	105,7	951,0	105	950	+0,5	—
2	49,8	448,2	49	440	+1,5	+2
3	31,1	279,6	30	275	+3,5	+1,5
4	21,6	194,1	20	193	+8,0	+0,5
5	15,8	141,8	14,7	138	+7,8	+2,5
6	11,8	105,7	10,7	102	+9,2	+3,5
7	8,7	78,4	7,7	75	+13	+4,5
8	6,2	56,0	5,3	52	+17	+7,5
9	3,9	35,2	3,1	32	+25	10

9. АНАЛИЗ СТАНДАРТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ

Стандартная формула для определения газопроницаемости может быть выражена в виде

$$K = v \frac{l}{p}.$$

Отношение p/l может рассматриваться как перепад давления на длине l и может быть выражено в виде dp . Тогда стандартная формула приобретает вид

$$K = \frac{v}{dp},$$

откуда в общем виде

$$dp = Kv^a$$

в частном случае при $a = 1$ получается стандартная формула.

В общем виде формула используется во многих отраслях промышленности, причем $1 < a < 2$.

При условии ламинарного движения $a = 1$ (см. § 2 гл. I части первой) для случая гладких труб турбулентное движение начинается при числе Рейнольдса, превышающем 200. При прохождении газа через смесь зерен отсутствие вихрей может наблюдаться в лучшем случае при значительно более низкой величине критерия Рейнольдса.

По опытам автора отклонения от ламинарного движения наблюдались при числе Рейнольдса около 60.

Расчет числа Рейнольдса при условии протекания воздуха через смесь может быть произведен на основе следующих допущений: если воздух объемом 2000 см^3 проходит через смесь с пористостью около 30% в течение 0,5 мин, то скорость протекания воздуха составит

$$v = \frac{2000}{20 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 60} = 11 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}.$$

При среднем диаметре зерна 0,2 мм, уподобляемом по-прежнему капилляру того же диаметра, и при вязкости 0,14 число Рейнольдса получается

$$\text{Re} = \frac{11 \cdot 0,02}{0,14} = 1,5,$$

что соответствует ламинарному режиму и возможности применять показатель степени $a = 1,0$.

Источником ошибок может оказаться наличие сопротивлений прохождению воздуха при отключенном образце. Поэтому рекомендуется проверить наличие этих сопротивлений при использовании самодельных приборов.

При оценке газопроницаемости следует иметь в виду, что более газопроницаемой может показаться смесь плохо уплотняющаяся. Поэтому может оказаться уместным проверять газопроницаемость при постоянной плотности.

10. НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЕЛИЧИНЫ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ

Газопроницаемость в формовочных смесях колеблется от величин 10^1 до 10^2 . Более подробная примерная характеристика наблюдаемых величин газопроницаемостей приведена в табл. 70. Однако от этой таблицы наблюдаются значительные отклонения главным образом потому, что при выборе величины газопроницаемости необходимо считаться с многими другими технологическими показателями смеси. Особое внимание должно быть обращено на величину газотворности, с которой величина газопроницаемости тесно связана.

Таблица 70

Ориентировочные величины проницаемости

Металл	Состояние формы при заливке	Вес отливки в кг	Проницаемость
Чугун	Влажная	До 1 1—20 20—2 000	10—30 30—80 80—120
	Высушенная	До 10 000	80—150
Сталь	Влажная	До 500	80—120
	Высушенная	» 5 000	80—120
Бронза — латунь	Высушенные	—	30—80
Для всех сплавов	Стержни	—	80—120

Глава III

ГАЗОТВОРНОСТЬ

Под газотворностью G понимается способность смеси выделять при нагреве газы. Можно полагать, что на качество отливок газотворность смеси оказывает во всяком случае не меньшее влияние, чем газопроницаемость. Но изучению процесса газовыделения начали уделять повышенное внимание только за последнее время. Поэтому этот процесс изучен еще совершенно недостаточно.

Обычно газотворностью выражается общее количество выделившихся газов. Но на качество отливок не меньшее влияние оказывают и состав, и продолжительность выделяющихся газов.

Поэтому наряду с суммарной газотворностью смеси в $см^3$ целесообразно приводить и относительную газотворность, отнесенную к 1% газообразующей добавки, в $см^3/\%$.

Большое влияние на условия образования газовых раковин в отливках оказывает скорость выделения газов из смеси в $см^3/г \cdot сек.$ При этом также следует различать скорость валовую $см^3/г \cdot сек$ и скорость относительную, отнесенную к 1% газовыделяющей добавки.

Все эти величины изменяются во времени, причем начальные моменты являются наиболее критическими.

По этим причинам в дальнейшем подлежат рассмотрению состав и количество выделяющихся газов, а также скорость их выделения в течение разных отрезков времени.

1. СОСТАВ ГАЗОВ

При рассмотрении процессов, связанных с выделением газов из формы, необходимо различать источники их образования. Можно различать:

1. Продукты испарения:

а) они образуются с поглощением тепла, поэтому вызывают некоторое снижение температуры формы в месте своего образования, т. е. в районе образования температуры $100^\circ C$, и некоторое повышение температуры в месте конденсации. Таким образом, водяные пары способствуют частичному переносу тепла от более горячих мест формы к более холодным ее местам.

б) они образуются без участия кислорода, поэтому количество водяных паров не зависит от состава атмосферы формы и зависит главным образом от температуры и давления.

в) продукты испарения конденсируются при снижении температуры ниже $100^\circ C$, поэтому они не улавливаются в виде газов приборами, в которых температура ниже 100° . Это количество газов должно быть уловлено сосудами, поглощающими водяные пары.

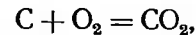
2. Продукты перегонки:

а) они образуются в чистом виде только при отсутствии в форме кислорода. При его наличии происходит частичное сгорание продуктов перегонки.

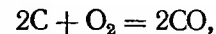
б) они образуются при температурах значительно выше температуры испарения, т. е. выше $100^\circ C$. Поэтому количество и состав продуктов перегонки в очень значительной степени зависят от температуры формы, давления и содержания кислорода.

3. Продукты сгорания образуются в результате взаимодействия газотворной составляющей с кислородом воздуха. Поэтому количество продуктов сгорания зависит не только от количества газотворных составляющих в смеси, но и от наличия кислорода в атмосфере формы [167].

Так, при полном сгорании на 1 моль кислорода образуется 1 моль газа CO_2



а при неполном сгорании на 1 моль кислорода образуется два моля газа CO



следовательно, при недостатке кислорода объем продуктов сгорания увеличивается. Такой случай имеет место при сжигании слишком большой навески в печи при определении газотворности смеси.

Закономерность увеличения газотворности при сжигании с недостатком воздуха может быть искажена при наличии в смеси добавок, поглощающих тепло при выделении. В результате количество выделяющихся газов уменьшается.

В табл. 79 приведено примерное изменение количества газов, выделяющихся при сжигании в лабораторной печи навесок формовочной смеси разного веса (табл. 71). Из рассмотрения таблицы можно увидеть уменьшение количества выделившихся газов.

Примерные составы газов, выделяющихся из формы, приведены в табл. 72. Из рассмотрения этой таблицы можно заметить, что 1) не происходит полного сгорания газов, несмотря на наличие свободного кислорода; 2) содержание водорода повышается при увеличении влажности смеси; 3) при применении барды сульфитного шелока в газах обнаруживается сера.

В табл. 73 приведен химический состав нескольких типов упрочняющих добавок, полученный после их высушивания. При этом происходила потеря не только механически примешанной воды, но и тех летучих, которые удаляются при температурах высушивания изготовленных стержней.

Таблица 71

Влияние веса навески на относительную газотворность [168]

Смесь	Газотворность при весе навески 1 $см^3$	Относительная газотворность на 1 г навески в % от относительной газотворности навески 1 г			
		Вес навески в г			
		0,25	0,5	1,0	2,0
Опилочная	26,7	—	97	100	—
»	22,0	—	125	100	—
Масляная	15,5	—	61	100	—
Формовочная с углем	22,6	—	130	100	—
Масляная	11,7	195	127	100	—
»	9,2	280	166	100	—
Декстриновая	13,9	—	135	100	76
Мазутная	12,5	—	—	100	77
Масляная	12,6	260	155	100	—
Сульфитная	10,2	320	177	100	—

Состав газов, выделяющихся из формы

Газ	№ пробы								
	1 [169]	2*	3**	4a*** [170]	4б*** [170]	4в*** [170]	4г*** [170]	4д*** [170]	4е*** [170]
CO ₂	7—25	—	—	4,9	3,3	2,0	6,4—6,8	2,5—2,8	6,5
O ₂	1—8	—	0,4—1,0	9,2	6,2	2,9	4,3—9,0	1,7—3,0	7,4
CO	11—23	37,6	29—30	2,4	6,3	11,3	2,5—11	11—30	11
H ₂	44—74	46,5	53,4—60,1	0,9	33,0	46,1	0,6—7,5	50—42	2,5
C _n H _m	4—8	5,2	—	—	—	—	—	—	—
N ₂	—	4,7	4—9	82,6	49,7	37,7	73—81	31—13	72
CH ₄	—	5,5	—	0	1,2	0	0	3—5	0,4
H ₂ +CO ₂	—	—	0,2—1,0	—	—	—	—	—	—
C _n H _{2n}	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—
C _n H _{2n+2}	—	—	5,3—6,8	—	—	—	—	—	—
H ₂ O	—	—	2—3 л на 10 л выделяв- шегося газа	—	—	—	—	—	—

*Плотинский Л. Е. Личное сообщение. Газы, выделяющиеся из формы, покрашенной смолой и залитой сталью.

**Автор и Я. И. Медведев. Форма с 7% pulverбакелита заливалась при 1300° С. Газы улавливались от 40 до 100 сек после заливки.

***В смесях а, б и в 4% бентонита и воды соответственно 0%; 2,5% и 5%, г — масляная смесь, д — бентонит + мучнистая добавка + вода, е — бентонит + мучнистая добавка.

Таблица 73

Химический состав высушенных упрочняющих добавок

Добавка	Состав в %					
	С	Н	Н	О	С	А
МФ-17	31	7	17	28	—	17
СП	43,5	4,7	0,7	34,6	—	16,5
Сульфитно-спиртовая барда	43,5	5,0	0,1	27,1	5,6	18,7
СБ	59,0	7,2	0,1	23,7	3,1	6,9
КТ	62,1	7,7	0,7	10,2	1,1	18,2
Пульвербакелит [171]	80	6	—	14	—	—
Лигнин	60	5	—	25	—	10
Асфальт	89	9	—	—	—	2
Среднее расчетное содержание	50	7	43			
	7 = F : 1					

Из рассмотрения таблицы можно сделать вывод:

1. Несмотря на совершенно разные добавки, содержание в них водорода заведомо не превосходит 8,2%, изменяясь в большинстве случаев между 5 и 8%, составляя в среднем 7%. Поэтому нельзя ожидать больших различий в газотворности из-за разного содержания в них водорода.

2. Содержание углерода изменяется главным образом в границах 40—60%, составляя в среднем 50%.

3. Значительные колебания замечаются в содержании кислорода. Эти колебания не могут сказаться на изменении количества полностью выделяющихся газов, но могут сказаться на скорости выделения газов. Можно полагать, что кислород, содержащийся непосредственно в добавках и входящий в ее химический состав, в большинстве случаев быстрее прореагирует с углеродом и водородом, чем кислород, содержащийся в виде воздуха в порах формовочной смеси.

2. ГАЗЫ, ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ИЗ НАВЕСКИ

Количество газов

Как уже было сказано, количество газов, выделяющихся из формы, зависит от степени полноты их сгорания. Ориентировочное количество выделяющихся газов на 1% газотворной добавки в 1 г смеси приведено в табл. 74, составленной по расчетным и опытным данным.

Таблица 74

Относительная ориентировочная газотворность в воздушной среде при 1000° С

Твердая газотворная составляющая	Расход кислорода в см ³ на 0,01 г добавки	Газотворность в см ³ на 0,01 г добавки
С при сгорании:		
в CO ₂ (расчет)	18,4	18,4
в CO (расчет)	9,2	30,8
H ₂ при сгорании в H ₂ O (расчет)	112	46,5
Органические упрочняющие добавки	—	2—15
Каменноугольная пыль	—	2—6
Мел	—	2—3
Глина	—	0,1—1,0
Газотворность добавок масляных, мучнистых, формальдегидных, комбинированных [172]	—	2,5—6,5
Среднее при содержании 50% С и 7% H ₂ :		
при сгорании в CO ₂ (расчет)	—	17,7
при сгорании в CO (расчет)	—	26,9
После конденсации паров:		
при сгорании в CO ₂ (расчет)	—	9,2
при сгорании в CO (расчет)	—	18,4

Из рассмотрения таблицы можно сделать выводы:

1) 1% газотворной добавки выделяет по данным разных авторов 2—15 см³ газа. Различия в методах проведения испытаний оказываются часто более значительными, чем разница в свойствах самих добавок;

2) добавки, содержащие водород, выделяют газов значительно больше, чем добавки, состоящие из углерода;

3) водород сгорает в воду, пары которой легко конденсируются и могут быть не уловлены в газосборнике;

4) 1% воды образует в 3 раза больше газов, чем самая газотворная упрочняющаяся добавка.

Расхождение в результатах определений газотворности разными упрочняющими добавками объясняется не только расхождениями в методике, но и разным состоянием упрочняющих добавок. Приходилось наблюдать снижение относительной газотворности на 2 см³ на 1% упрочняющей добавки при повышении температуры высушивания только на 10° С. Поэтому особое внимание необходимо уделить температуре высушивания. В очень многих случаях брак по газовым раковинам является следствием не избыточного количества упрочняющих добавок в смеси, а следствием недостаточной ее высушенности.

В табл. 75 приведены результаты опытов по определению газотворности и прочности смеси, нагретой до разных температур.

Количество выделяющихся из навески газов может быть оценено на основе стехиометрического расчета и химического элементарного состава.

Таблица 75

Влияние температуры высушивания на газотворность и прочность высушенных смесей

Температура высушивания в °С	Максимальная прочность в кг/см ²	Объем газов при максимальной прочности в см ³	Прочность в конце просушивания в кг/см ²	Объем газов в конце просушивания в см ³
175	18,7	17,8	16,5	17,0
205	17,8	15,2	16,1	13,4
230	16,4	15,8	12,4	12,8

На 0,01 г добавки выделяется из 50% С, сгорающего в СО₂,

$$0,01 \cdot 0,5 \cdot \frac{22,4}{12} \cdot 1000 = 9,2 \text{ см}^3,$$

а при сгорании в СО

$$0,01 \cdot 0,5 \cdot \frac{22,4 \cdot 2}{12} \cdot 1000 = 18,4 \text{ см}^3.$$

При сгорании 7% водорода

$$0,01 \cdot 0,07 \cdot \frac{22,4}{2} \cdot 1000 = 8,5 \text{ см}^3.$$

Всего на 0,01 г добавки выделяется

$$9,2 + 8,5 = 17,7 \text{ до } 18,4 + 8,5 = 26,9 \text{ см}^3.$$

Завышение вдвое расчетного количества газов по сравнению с действительным может быть объяснено главным образом тем, что часть летучих удаляется при высушивании, не весь углерод сгорает, а часть водорода не улавливается в виде газов, конденсируясь в виде паров.

Относительная скорость выделения газов

Как уже было сказано, относительная скорость выделения газов из навески должна быть в значительной степени связана с количеством кислорода, содержащимся в самой смеси. В табл. 76 приведен пересчет результатов опытов автора и Л. Д. Снуловой по определению скорости выделения газов из навески. Для исключения влияния абсолютного количества выделяющихся газов результаты опытов были пересчитаны так, что за 100% были взяты количества газов, выделившихся в течение первых 10 мин. Можно принять, что за этот промежуток выделяется достаточно большое количество газов. Кроме того, этот промежуток времени является заведомо превышающим тот максимум, который имеет практическое значение с точки зрения влияния на газовый режим литейной формы. Количества газов, выделившихся в течение более ранних отрезков времени, взяты в процентах от того количества газов, которое выделилось в течение 10 мин.

Таблица 76

Относительная скорость выделения газов из навески

Добавки	Содержание кислорода в %	Относительное количество выделившегося газа за минуту в см ³ /%-мин					
		Время в мин					
		0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
МФ-17	33	70	74	77	86	93	100
СП	35	47	54	63	70	84	100
Сульфитно-спиртовая барда	27	57	63	67	73	85	100
СБ	24	37	62	70	75	95	100
КТ	10	52	52	62	65	67	100

Из рассмотрения таблицы можно сделать выводы:

1. Скорость выделения газа увеличивается с увеличением содержания кислорода в добавке. Эта закономерность более заметна при определении количества газа через 0,5 мин. Исключением является добавка СП.

2. Через 0,5 мин выделяется более 50% газа.

3. Через 5 мин выделяется более 80% газа. Исключением является добавка КТ, содержащая только 10% кислорода.

3. ПОНЯТИЕ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОТВОРНОСТИ НАВЕСКИ И ФОРМЫ [167], [168], [173], [174]

Стандартных приборов для определения газотворности не существует. Типовой прибор состоит из печи с фарфоровой глазурованной трубкой, в которой устанавливается лодочка с испытуемой навеской. Выделяющиеся газы проходят через поглотитель и холодильник в сосуд, где определяются количественно. Существует ряд вариантов этого прибора, но все они практически работают по приведенной схеме.

Результаты лабораторного определения газотворности, определяемые разными исследователями, бывают часто несопоставимы из-за сложности проведения испытаний при кажущейся простоте. Несопоставимость результатов является следствием неуточненности методики, поэтому применяются разные величины навески, скорости нагрева, объемы рабочего пространства, способы улавливания продуктов сгорания.

Качественно можно утверждать, что продуктов сгорания получается тем больше и газотворность наблюдается тем большая, чем больше навеска по сравнению с объемом рабочего пространства, начиная с того предела, при котором начинает наблюдаться недостаток кислорода по сравнению с объемом, необходимым для полного сгорания навески. Газотворность определяется тем большей, чем большее количество газов оказывается уловленным. Между тем наблюдается потеря газов при помещении навески в очень горячую печь и при несовершенном улавливании газов. В этом случае газотворность будет показана ниже действительной. Существенным источником ошибок могут явиться колебания температуры печного пространства и охлажденного объема продуктов сгорания.

Значительная часть этих расхождений может быть устранена при унификации методов исследования.

Гораздо более существенным является возможное и наблюдаемое расхождение между результатами лабораторного определения газотворности и фактическим образованием газовых раковин в отливках. Эти расхождения являются следствием того, что при лабораторных испытаниях не отражены условия, имеющие место в реальной форме.

Существенным представляется вопрос, имеется ли в форме восстановительная или окислительная атмосфера.

Для расчета можно исходить из следующих положений:

1. Средняя пористость может быть принята равной 35%, следовательно, на 100 см³ или на 170 г смеси приходится 35 см³

воздуха. Этот объем соответствует $35 \cdot 0,21 = 7,2 \text{ см}^3$ или $7,2 \times \frac{32}{22,4 \cdot 1000} = 10,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ кислорода.

Согласно табл. 82 требуется для полного сгорания добавки в виде углерода 18,4 см³ кислорода, а в виде водорода 46,5 см. Поэтому можно утверждать, что кислорода в порах формы недостаточно и атмосфера в ней явно восстановительная. Только в самые начальные моменты, когда процесс сгорания только начинается, можно предполагать наличие окислительной атмосферы.

В лабораторной печи с диаметром трубки не менее 20 мм и длиной 200 мм объем равен

$$3,14 \cdot 2^2 \cdot 20 = 252 \text{ см}^3.$$

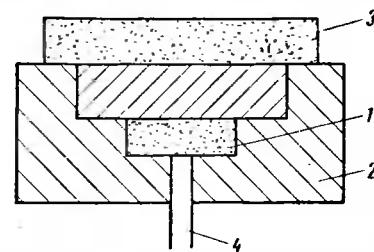
Отсюда следует, что в печи атмосфера более окислительная, чем в форме. По этой причине можно ожидать значительных отклонений результатов определения газотворности в печи от получаемых в действительности.

В такой же мере не совпадают условия нагрева образца в печи и нагрева формы жидким металлом.

Поэтому особого внимания заслуживают опыты, преследующие цель определения газотворности непосредственно в форме.

4. ГАЗОТВОРНОСТЬ ФОРМЫ

На фиг. 37 приведена в виде примера схема прибора, применявшегося автором и Я. И. Медведевым для определения газотворности формы. Исследуемый образец 1 помещен в металлической обойме и установлен в металлической нижней полуформе 2, перекрытой верхней полуформой 3. Газ для анализа состава для определения его температуры давления и количества отводится патрубком 4.



Фиг. 37. Схема прибора для определения газотворности формы.

При определении газотворности формы необходимо учитывать не только газотворность смеси Γ , но и тот ее объем V , который будет нагрет до температуры t_2 , при которой выделится объем газов Q :

$$Q = \Gamma \cdot V.$$

Этот объем можно принять равным

$$V = FH,$$

где F — поверхность соприкосновения металла с формой;
 H — глубина прогрева формы до температуры t .

Определение коэффициентов газовой выделения формой

(по опытам автора и Я. И. Медведева)

Время после заливки в мин	Поверхность соприкосновения F в см^2					
	20		78		177	
	Количество выделившихся газов Q в см^3	Коэффициент газовыделения $A = \frac{Q}{V\tau}$	Количество выделившихся газов Q в см^3	Коэффициент газовыделения $A = \frac{Q}{V\tau}$	Q в см^3	$A = \frac{Q}{V\tau}$
0,083	120	415	480	1670	1070	3720
0,167	180	440	670	1640	1560	3820
0,25	220	440	840	1680	1850	3700
0,33	250	435	930	1620	2180	3800
0,5	300	425	1190	1680	2700	3810
1,0	420	420	1630	1630	3760	3760
1,5	510	415	1980	1620	4490	3650
2,0	580	410	2220	1570	5180	3680
2,5	660	420	2500	1580	5780	3650
3,0	710	410	2630	1530	6000	3480
4,0	760	380	2900	1450	6750	3380
5,0	820	370	3210	1450	7120	3200
Средний коэффициент газовой выделения A за 3 мин		425 ± 15 (3,5%)		1620 ± 60 (3,5%)		3700 ± 130 (3,5%)
Средний относительный ко- эффициент газовой выделения $a = \frac{A}{F}$ за 3 мин . . .		21,2		20,8		20,9

Таблица 78

Примерные коэффициенты газовой выделения

Смесь		Отно- ситель- ный коэф- фици- ент газовыде- ления a	Смесь		Отно- ситель- ный коэф- фици- ент газовыде- ления a
Состав	Количе- ство в %		Состав	Количе- ство в %	
1. Кварцевый пе- сок	81,4	17,4	3. Кварцевый пе- сок	68,6	4,3
Полужирный пе- сок	13,0		Отработанная смесь	19,6	
Опилки	2,0		Огнеупорная глина	4,5	
Добавка ЗИЛ-3	3,6		Жидкое стекло	7,0	
2. Кварцевый пе- сок	81,4		Мазут	0,3	
Полужирный песок	14,8	11,9	Вода	—	
Патока	4,1				
Добавка ЗИЛ-3	0,1				

Температуру на поверхности отливка-форма t_n можно принять равной температуре затвердевания металла отливки. Температуры t_s и t_n можно принять постоянными на время протекания процесса.

При этих допущениях можно для ориентировочных расчетов принять

$$\frac{t_s}{t_n} = 1 - e^{-\frac{m' \cdot \tau}{H^2}},$$

где m' — коэффициент прогрева, характеризующий теплофизические свойства формы. Если принять этот коэффициент постоянным, то связь между глубиной H и продолжительностью τ прогрева может быть выражена параболической зависимостью

$$H = m \sqrt{\tau},$$

где m — коэффициент прогрева формы. Отсюда объем прогретой формы

$$V = FH = Fm \sqrt{\tau},$$

а объем выделившихся газов

$$Q = \Gamma V = \Gamma Fm \sqrt{\tau} = A \sqrt{\tau}.$$

При этом можно условиться называть коэффициентом газовой выделения формой

$$A = \Gamma Fm = \frac{Q}{\sqrt{\tau}},$$

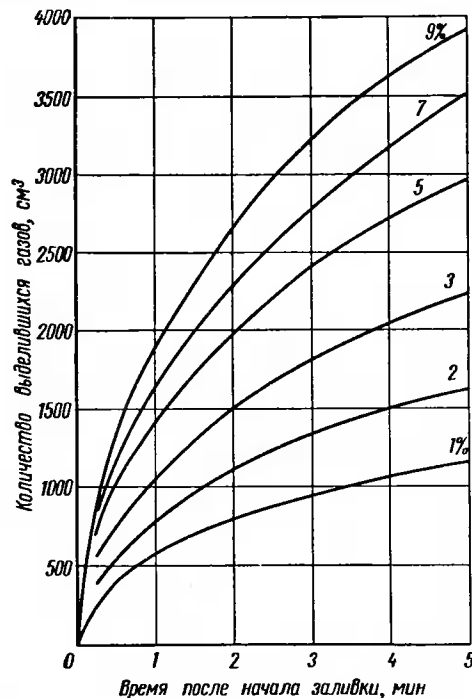
а относительным коэффициентом газовой выделения формой

$$a = \frac{A}{F} = \Gamma m.$$

Возможность использования выведенных формул подтверждается приведенным в табл. 77 постоянством коэффициентов A и a при пересчете опытов автора и Я. И. Медведева с пульвербаке-литом, произведенных на установке (см. фиг. 37).

В табл. 78 приведены результаты опытных определений относительного коэффициента газовой выделения для трех цеховых смесей по опытам автора и Я. И. Медведева. Из таблицы можно усмотреть значительное различие этих коэффициентов при заливке чугунов с температурой 1300—1450°С на установке (см. фиг. 39).

Результаты опытов автора и Я. И. Медведева по определению количества газов, выделяющихся из смеси с содержанием pulverбакелита от 1 до 9%, приведены на фиг. 38. Опытные данные получены на установке (фиг. 37) при поверхности соприкосновения 78 см². В табл. 79 приведены результаты пересчета, из рассмотрения которых можно сделать выводы:



Фиг. 38. Влияние количества добавок в смесь на газотворность формы.

1. Относительная газотворность навески, определенная на приборе фиг. 37, несколько уменьшается при увеличении содержания в смеси газотворной добавки, но это изменение незначительно и не превышает 14%. В пределах изменения содержания pulverбакелита от 1 до 3% и от 5 до 9% можно относительную газотворность считать неизменной в пределах точности опытов.

2. Коэффициент газовыделения $A = \frac{Q}{V\tau}$, определенный как количество газа, выделившегося в течение первой минуты, и относительный коэффициент газовыделения $a = \frac{A}{F} =$

$\frac{A}{78}$ увеличиваются не пропорционально увеличению количества pulverбакелита в смеси. Грубо приближенно можно считать, что этот коэффициент увеличивается пропорционально корню квадратному из количества добавленного pulverбакелита.

3. Коэффициент прогрева $m = \frac{a}{F}$ изменяется менее резко, чем коэффициенты газовыделения, но значительно более резко, чем коэффициенты газотворности. Практическое значение снижения коэффициента прогрева может быть связано с развитием в форме эндотермических процессов и усиленным отводом тепла газами от поверхности формы, вызванных разложением газотворных веществ. Но можно полагать, что эти процессы имеют место только

Изменения коэффициентов газотворности, газовыделения и прогрева с изменением количества газотворной добавки в смеси

Величины	Количество pulverбакелита в смеси g в %					
	1	2	3	5	7	9
Газотворность навески Γ в см ³	7,3	—	21,2	33,0	46,4	57,5
Относительная газотворность $\Gamma : \partial$	7,3	—	7,1	6,6	6,6	6,4
Изменение относительной газотворности	1,14	—	1,11	1,03	1,03	1,00
Коэффициент газовыделения формой $A = \frac{Q}{V\tau}$						
Количество газа, выделившегося в течение первой минуты, Q	550	800	1100	1400	1600	1850
Относительный коэффициент газовыделения $a = \frac{A}{F} = \frac{A}{78}$	7,1	10,2	14,1	18,0	20,6	23,7
Изменение коэффициентов газовыделения $\sqrt{g}$	1,0 1,0	1,4 1,4	2,0 1,7	2,5 2,2	9,9 2,7	3,33 3,0
Коэффициент прогрева $m = \frac{a}{F}$	1,0	—	0,7	0,6	0,5	0,4
Изменение коэффициента прогрева	2,5	—	1,7	1,5	1,2	1,0
$m \cdot a$	7,1	—	9,9	9,0	10,3	9,5

в начальные моменты заполнения формы жидким металлом. Они могут явиться причиной замедления прогрева формы. Косвенным подтверждением правильности допущения влияния эндотермических реакций на изменение коэффициента прогрева и является приблизительное постоянство произведения.

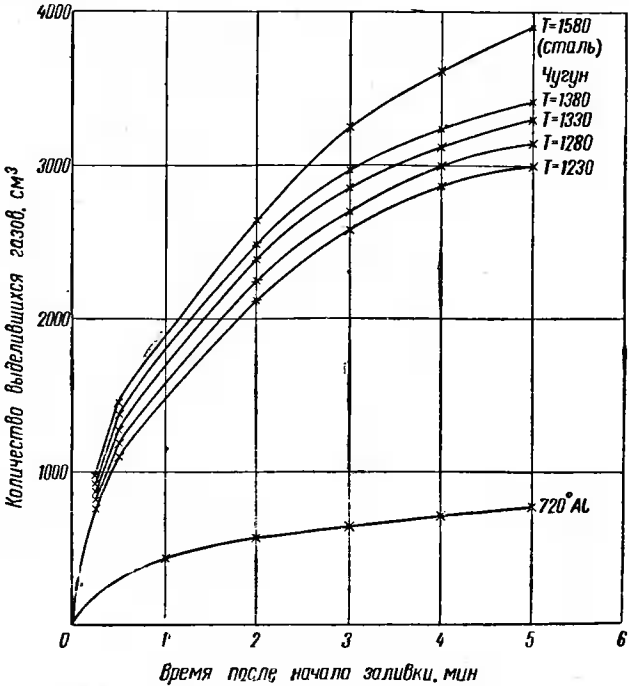
Влияние температуры заливки

Результаты измерения газотворности смеси в зависимости от температуры заливки приведены на фиг. 39 по опытам автора и Я. И. Медведева. Из ее рассмотрения можно заметить увеличение газотворности формы.

Более подробный математический анализ не представляется возможным осуществить из-за отсутствия необходимых исходных расчетных данных. Можно полагать, что с увеличением температуры увеличивается как скорость, так и полнота сгорания

добавок. Кроме того, можно полагать, что увеличивается коэффициент прогрева.

Отсюда некоторыми исследователями делается неправильный вывод об увеличении опасности образования газовых раковин



Фиг. 39. Влияние температуры заливки чугуна на газотворность формы.

в отливках при увеличении температуры заливки. Анализ связи между температурой заливки и вероятностью образования газовых раковин будет разобран в гл. IV части четвертой, посвященной разбору газового режима литейной формы.

Влияние толщины стенок отливки

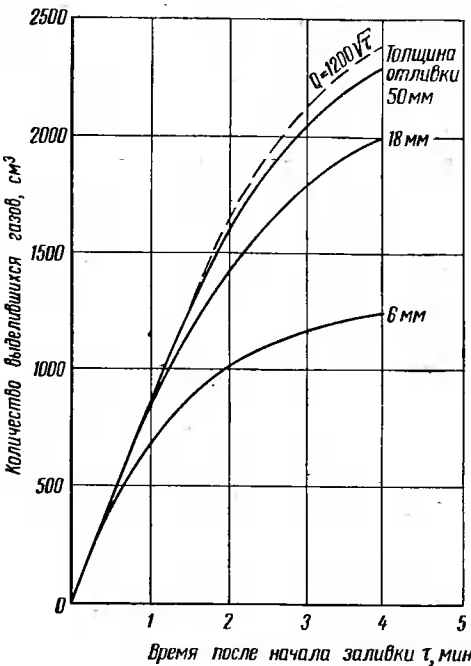
Результаты опытных данных, полученных автором и Я. И. Медведевым на приборе (фиг. 40) для изучения связи между толщиной стенок отливки и газотворностью смеси, приведены на фиг. 40. Теоретическая парабола построена по формуле

$$Q = 1200 \sqrt{\tau}.$$

В табл. 80 приведено сопоставление толщины стенок отливки и продолжительности процесса, в течение которого наблюдается совпадение расчетной кривой газовыделения с кривой, получен-

ной опытным путем. Можно заметить, что это отношение в пределах точности опыта сохраняется постоянным. Отсюда можно сделать выводы:

1. В начальный момент заливки металла в форму количество выделившихся газов не зависит от толщины стенок отливки.



Фиг. 40. Влияние толщины стенок отливки на газотворность формы.

2. Отклонение от нормального выделения газов связано с прекращением прогрева формы.

3. Прогрев формы и охлаждение отливки подчиняются общей закономерности (параболическая зависимость).

Таблица 80

Влияние толщины стенок отливки на отклонение от нормального режима выделения газов из формы

Толщина стенок <i>l</i> отливки в см	0,6	1,8	5,0
Продолжительность τ процесса нормального выделения газов из формы в мин (из фиг. 40)	0,2	0,6	1,5
Отношение l/τ	3,0	3,0	3,3

5. СВЯЗЬ МЕЖДУ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬЮ И ГАЗОТВОРНОСТЬЮ

Связь между газотворностью Γ и газопроницаемостью K может быть установлена через давление p : вследствие газотворности оно увеличивается, а вследствие газопроницаемости уменьшается.

Качественно связь между давлением, газопроницаемостью и газотворностью может быть установлена на основе формул в общем виде

$$K = \frac{Ql}{Fp\tau}.$$

Скорость v прохождения воздуха через образец сечением F в течение времени τ может быть выражена в виде

$$v = \frac{Q}{F\tau},$$

а перепад давления в виде

$$\Delta p = \frac{p}{l}.$$

Тогда газопроницаемость может быть выражена в виде

$$K = \frac{v}{\Delta p}.$$

Газотворность может быть выражена также в зависимости от скорости выделения газов v и развивающегося при этом давления p , т. е.

$$\Gamma = F(v, p).$$

Отсюда связь между K и Γ может быть качественно выражена в виде $\Delta p = f\left(\frac{\Gamma}{K}\right)$.

Количественно эта связь была установлена в работе Я. И. Медведева, проводившейся под руководством автора. В основу вывода положены следующие допущения:

1. Заполнение формы происходит мгновенно.
2. Физические свойства формы принимаются неизменными.
3. Давление газа изменяется линейно.
4. Вес газа из стержня удаляется только через его знак.

Если за время $d\tau$ в стержне объем газов увеличится на dV , то

$$p_{cp}(V + dV) = V(p_{cp} + dp_{cp}),$$

где p — давление на поверхности стержня, соприкасающегося с жидким металлом;

V — объем газов в порах стержня;

$$p_{cp} = \frac{p_2 + p_0}{2};$$

p_0 — давление на открытой поверхности стержня

$$dp_{cp} = \frac{dp}{2}.$$

Тогда формула приводится к виду

$$(p + p_0)dV = Vdp;$$

dV может рассматриваться как разность между объемами

$$dV = dQ_1 - dQ_2,$$

где dQ_1 — приращение объема за счет расширения газов в объеме dV_1 и за счет газотворности смеси dV_2 ;

$$dQ_1 = dV_1 = dV_2;$$

$$dV_1 = \beta dV;$$

$$dV_2 = \frac{\beta A}{2\sqrt{\tau}} d\tau,$$

где по-прежнему $A = \tau Fm$;

β — поправочный коэффициент на нагрев газов;

$$\beta = \frac{273 + t}{273};$$

dQ_2 — объем газов, выделяющихся из стержня с учетом его пропускной способности K .

$$Q_2 = K \frac{F(p - p_0)\tau}{l}.$$

Если положить $M = K \frac{F}{l}$,

то

$$dQ_2 = Mp d\tau - Mp_0 d\tau + M\tau dp.$$

Отсюда

$$\left(\frac{\beta A}{2\sqrt{\tau}} + \beta Mp_0 - Mp\right)d\tau + \left(-M\tau - \frac{V}{p + p_0}\right)dp + \beta dV = 0.$$

После интегрирования

$$\beta A \sqrt{\tau} - M p \tau + M p_0 \tau - V \ln(p + p_0) = C_1;$$

постоянная интегрирования при условии

$$\tau = 0 \text{ и } p = p_0$$

приобретает вид

$$C_1 = -V \ln 2p_0.$$

Принимаем приближенно

$$\ln\left(\frac{p + p_0}{2p_0}\right) \approx \frac{p - p_0}{2p_0}.$$

Тогда в окончательном виде

$$\beta A \sqrt{\tau} - M p \tau + M p_0 \tau - CV(p - p_0) = 0$$

или решаем относительно p :

$$p = p_0 + \frac{\beta A \tau}{CV + M\tau}.$$

Принимая

$$p - p_0 = p_\phi,$$

получим избыточное давление на поверхности соприкосновения металла с формой

$$p_\phi = \frac{\beta A V \tau}{CV + M\tau} = \frac{\beta F M V \tau}{\frac{2V}{p_0} + K \frac{F}{l} \tau}.$$

Выведенная формула дает возможность оценить давление на поверхности стержня в зависимости от ряда факторов. Это давление увеличивается при увеличении газотворности G , коэффициента прогрева формы M , поверхности соприкосновения жидкого металла со стержнем F , начального давления p_0 . Давление уменьшается при увеличении объема пор V , газопроницаемости K , отношения поверхности F к длине l .

Глава IV

ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

1. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ГАЗОВЫХ РАКОВИН

По своему виду и механизму образования объемные газовые раковины отличаются от поверхностных газовых раковин. Механизм образования последних будет рассмотрен в § 4 гл. IV части четвертой.

Механизм образования объемных газовых раковин может считаться состоящим из пяти этапов: 1) образование газов в форме; 2) перемещение газов к поверхности формы; 3) переход газов в жидкий металл; 4) перемещение газов в жидком металле; 5) выделение газов из металла.

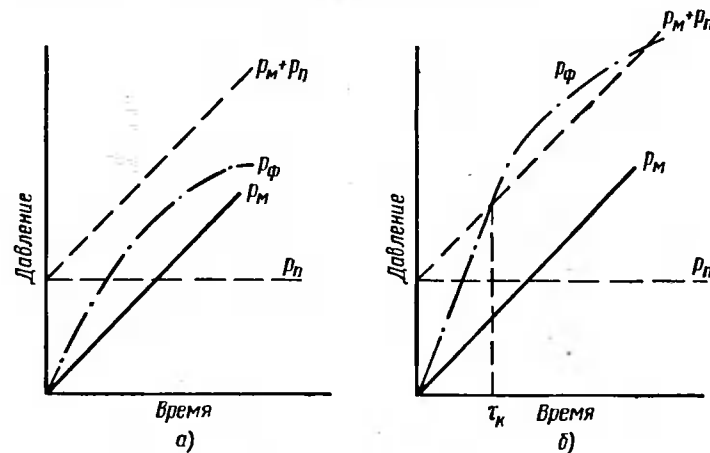
При рассмотрении этого механизма следует иметь в виду, что газовые раковины в отливках могут образоваться как за счет формы, так и за счет металла. Однако строго отделить раковины, получающиеся за счет металла, от раковин, получающихся за счет формы, не представляется во многих случаях возможным.

Обстоятельный расчет газового режима литейной формы был произведен также проф. А. А. Рыжиковым и А. Ф. Спасским.

Два первых этапа и механизм образования газов в форме были рассмотрены в § 4 гл. IV части четвертой, а теория и практика направленного газового потока были рассмотрены в § 7 гл. IV части четвертой. Было показано, что в форме создаются условия, вызывающие перемещение газов от поверхности формы к ее периферии.

2. ПЕРЕХОД ГАЗОВ В ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ

Невозможность попадания газа из формы в металл определяется условием, что давление газов в порах формы p_ϕ должно быть меньше давления слоя жидкого металла в рассматриваемой точке p_m и меньше давления, препятствующего проникновению газа через поверхность жидкого металла p_n . В общем виде следует еще учитывать давление на зеркало жидкого металла p_s .



Фиг. 41. Схема связи между давлением газов в форме и опасностью образования газовых раковин.

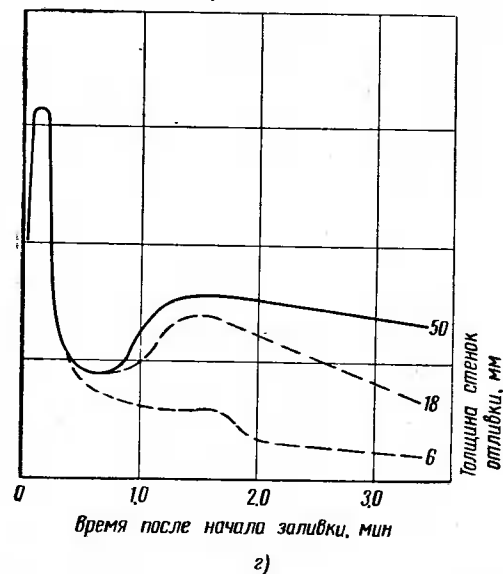
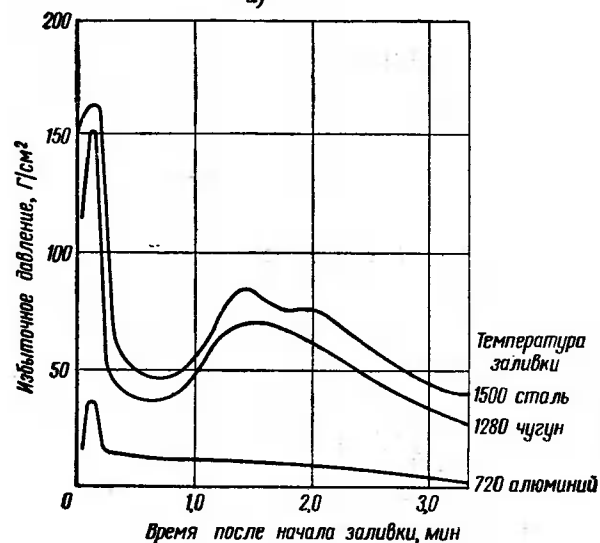
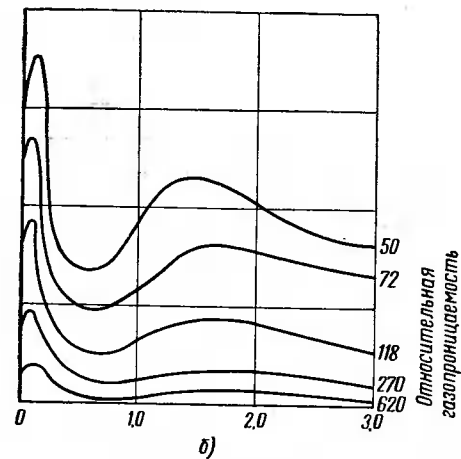
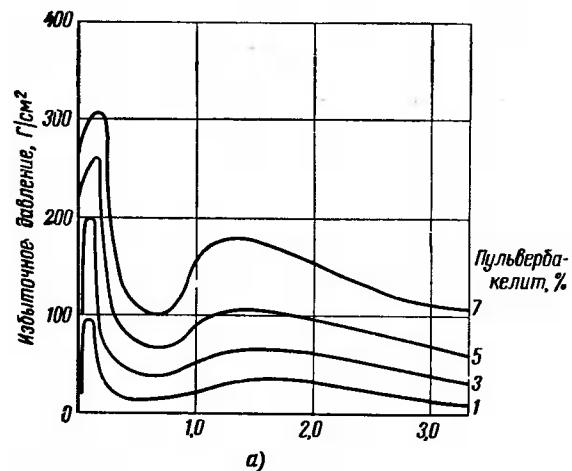
Это неравенство было выражено еще в 1939 г. [176] в виде

$$p_\phi < p_m + p_n + p_s.$$

Схематически это неравенство приведено на фиг. 41. На фиг. 41, а неравенство сохраняется и газы в металл из формы не попадают. На фиг. 41, б неравенство нарушается и газы могут перейти из формы в металл. Однако из этой схемы не следует, что во втором случае в отливке образуются газовые раковины, как это ошибочно утверждают некоторые авторы.

Расчетная зависимость давления p_ϕ от ряда факторов была установлена ранее. Но необходимо подчеркнуть, что количественные результаты расчета могут быть признаны обоснованными и только для начальных моментов процесса из-за положенных в основу расчета допущений, что стержень заливается мгновенно и что свойства формы не меняются с повышением температуры.

Практически это ограничение имеет подчиненное значение, так как противодавление p_n на поверхности связано не только с поверхностным натяжением жидкого металла, но и с образованием на поверхности металла затвердевшей корки и с созданием



в)

г)

Фиг. 42. Влияние на величину

а — количества пылевбакелита; б — относительной газопроницаемости; в — температуры заливки; г — толщины стенок отливки.

избыточного давления:

а — количества пылевбакелита; б — относительной газопроницаемости; в — температуры заливки; г — толщины стенок отливки.

В форме направленного газового потока. В табл. 81 приведены примерные значения p_n , полученные при заливке формы чугуна по схеме, приведенной на фиг. 37. Давление p_n определялось в указанном на схеме месте по срыву кривой давления, когда газ прорывался в металл и вызывал его кипение.

Таблица 81

Давление p_n , препятствующее проникновению газа через поверхность жидкого чугуна						
Температура заливки чугуна в °С	Величина p_n в г/см ²					
	Время после заливки в сек					
	4	8	12	20	30	40
1220	21	40	—	—	—	—
1280	17	20	244	30	92	—
1400	13	16	17	20	28	40

Если допустить, что нарастание величины противодействия p_n связано с появлением затвердевшей корки металла, то для чугуна можно его принять равным 10 г/см². Уместно отметить, что давлению 1 кг/см² соответствует столб чугуна высотой

$$\frac{10000}{7} = 1400 \text{ мм,}$$

а давлению 10 Г/см² = 0,01 кг/см² столб чугуна высотой 1400·0,01 = 14 мм.

Из этих опытов и проведенных элементарных расчетов может быть сделан существенно важный вывод:

1. Проникновение газов из формы в отливку наиболее опасно в начальный момент заливки формы жидким металлом, когда слой жидкого металла очень незначителен и может быть равным нулю: $p_n = 0$.

2. В этом случае проникновение металла не может иметь места, если $p_f < p_n$, т. е. в случае чугуна давление газов формы не должно превышать величину порядка 10 Г/см².

3. Повышение температуры сказывается в нескольких взаимно противоположных направлениях: а) повышение газовыделения, б) снижение p_n , в) замедленное образование на поверхности отливки корки затвердевшего металла. Можно считать практически исключенной опасность перехода газов из формы в отливку после образования этой корки. Время образования этой корки можно назвать критическим. Из табл. 89 следует, что в условиях проведения опытов критическое время при температуре заливки 1220° С составило 12 сек, а при температуре заливки 1280° С — 40 сек, г) усиление направленности газового потока часто недоучитывается, но имеет большое практическое значение.

На фиг. 42 приведены результаты опытов автора и Я. И. Медведева по определению давления p_f в зависимости от ряда факторов. Из этих опытов могут быть сделаны выводы:

1. Подтверждается наблюдавшееся многими авторами наличие двух максимумов давления.

2. Очень большое влияние на повышение давления оказывает повышение содержания связующей газотворной добавки и понижение газопроницаемости (фиг. 42, а и б).

3. Подчиненное влияние на величину максимального давления оказывает температура заливки. При изменении температуры на 300° С максимальное давление повышается менее чем на 20 Г/см². Только при заливке алюминием, т. е. при температурах, приближающихся к температурам усиленной газификации, наблюдается резкое снижение величины максимального давления (фиг. 42).

4. Уменьшение толщины стенок отливки не сказывается на величине первого максимума, а сказывается только на величине второго максимума, так как изменяется процесс охлаждения отливки.

5. Первый максимум обнаруживается в течение долей первой минуты, а второй максимум спустя 1 мин. Таким образом, можно полагать, что второй максимум появляется после создания на поверхности отливки достаточно толстой корки затвердевшего металла, препятствующего проникновению газа в полость отливки. Отсюда следует, что практическое значение имеет только первый максимум.

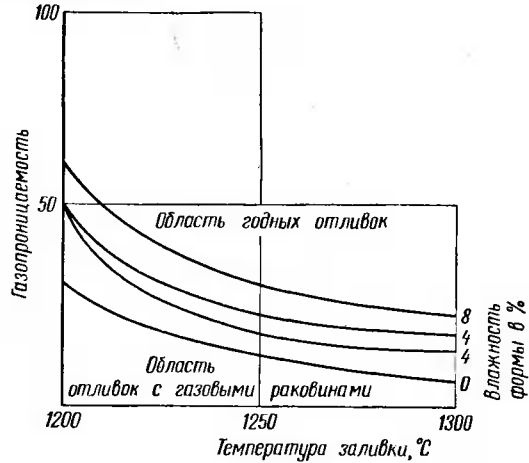
3. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГАЗОВ В ЖИДКОМ МЕТАЛЛЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ИХ ИЗ МЕТАЛЛА

Из проведенного в § 2 гл. IV части четвертой анализа процессов проникновения газа из формы в отливку было видно, что в большинстве случаев в отливку из формы в начальные моменты могут попасть газы. Поэтому повышенное внимание должно быть обращено на условия выделения газов из отливки. Эти условия облегчаются главным образом при уменьшении вязкости жидкого металла и при замедлении образования корки затвердевшего металла на поверхности отливки. Оба эти фактора зависят от температуры. Поэтому можно утверждать, что на условия выделения газов из металла температура оказывает только положительное влияние и повышение температуры должно сказаться положительно на уменьшении опасности образования газовых раковин в отливках. Непосредственные опыты подтверждают эти теоретические прогнозы.

На фиг. 43 приведены результаты опытов автора и К. В. Крыловой о влиянии температуры на условия получения отливок без газовых раковин в зависимости от газопроницаемости смеси и ее газотворности. Из рассмотрения результатов этих опытов можно прийти к выводам:

1. С повышением температуры уменьшается опасность образования газовых раковин.

В табл. 82 приведены результаты опытов автора и Л. Д. Снуловой о влиянии температуры на опасность образования газовых раковин в отливках. Из таблицы четко обнаруживается положительное влияние температуры на уменьшение опасности образования газовых раковин.



Фиг. 43. Зависимость образования газовых раковин от температуры заливки, газопроницаемости и влажности формы.

2. Опасность образования газовых раковин уменьшается при увеличении газопроницаемости и уменьшении газотворности. На основании изложенного можно считать, что основной мерой борьбы с газовыми раковинами, получающимися за счет газов из формы, является повышение температуры заливки. Более подробный анализ связи между разными технологическими факторами и условиями образования объемных газовых раковин в отливках выходит за рамки темы о формовочных материалах.

Таблица 82

Влияние температуры на брак по газовым раковинам

Связующая добавка	Температура заливки в °C				
	1200	1250	1300	1350	1400
	Количество бракованных втулок по газовым раковинам в %				
МФ-17	100	65	30	0	0
Эмульсионная КТ	80	50	33	0	0
Эмульсионная СБ	100	60	5	0	0
Эмульсионная СП	100	50	15	0	0
Сульфитно-спиртовая барда	60	37	17	0	0
Жидкое стекло	10	0	0	0	0
Глина	0	0	0	0	0

4. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ГАЗОВЫЕ РАКОВИНЫ

Объемные газовые раковины выделяются из формы, проникают в тело отливки и застревают в ее затвердевшем поверхностном слое при своем выделении из тела отливки. Поверхностные газовые раковины также выделяются из формы, но не проникают в тело отливки, а застревают в ее затвердевшем поверхностном слое. Таким образом, объемные газовые раковины застревают в теле отливки при выделении из него, а поверхностные газовые раковины застревают в нем при своем образовании.

Из этого определения вытекает и ряд следствий:

- 1. Поверхностные газовые раковины могут появиться только после образования затвердевшего поверхностного слоя металла отливки.
- 2. По времени поверхностные газовые раковины образуются позднее, чем объемные.
- 3. Поверхностные газовые раковины могут образоваться только в металле с повышенной разностью температур начала и конца затвердевания. Только в этом случае можно ожидать появления на поверхности отливки слоя повышенной вязкости при наличии очень тонкой затвердевшей корки, которая пробивается газовым пузырьком.
- 4. Возможность пробивания этой корочки газовым пузырьком создается только за счет его большой пробивной способности. Такая способность создается за счет развития процессов, близких к «микро-взрывным». Такой процесс возможен только при наличии процессов внезапного газообразования.
- 5. Внезапное образование газа наиболее вероятно в том случае, если процесс происходит при вполне определенной температуре. Если выделение газов происходит в интервале температур, то процесс протекает менее бурно и возможность пробивания затвердевшей корки резко снижается. Поэтому появление поверхностных газовых раковин часто не удается связать с увеличением содержания воды в смесях. Это может сказаться главным образом на объемных газовых раковинах.

- 6. К числу процессов выделения газов, протекающих при вполне определенной температуре, можно отнести процессы выделения конституционной воды из глинистых минералов.
- 7. Наличие конституционной воды характерно для водных минералов, в том числе для глинистых. Поэтому появление поверхностных газовых раковин часто удается связать с увеличением содержания глины в смесях. Кроме того, на практике отмечалось, что наличие глины некоторых месторождений связано с увеличением опасности появления поверхностных газовых раковин.
- 8. Поверхностные газовые раковины могут различаться по своему составу. Можно полагать возможность растворения газов в металле в тех случаях, когда металл газами не насыщен. Этим можно объяснить связь между увеличением опасности образования

поверхностных газовых раковин и обработкой жидкого металла разными добавками, снижающими содержание газа в металле, например, алюминием.

9. Опасность образования поверхностных газовых раковин увеличивается при повышении температуры заливки, опасность образования объемных газовых раковин уменьшается при повышении температуры. Поэтому существенно важно различать обе разновидности.

10. Характерным для поверхностных раковин является вид в направлении, перпендикулярном к поверхности отливки: поверхностные газовые раковины имеют вид взрывной камеры. Такой вид связан с процессом их образования: газы пробивают тонкий слой затвердевшей корки и, попав в менее плотную среду, расширяются. С поверхности они часто полностью закрываются, например, при очистке поверхности дробью. Но они могут вскрыться после удаления очень тонкого поверхностного слоя, например, даже после тепловой обработки.

Из совершенного разбора процесса образования поверхностных газовых раковин могут быть сделаны главнейшие рекомендации по уменьшению их образования:

1. Уменьшение содержания глины в смеси. При этом не все глины ведут себя одинаково.

2. Заливка при более низкой температуре. Но при этом увеличивается опасность образования объемных газовых раковин.

3. Применение металла, содержащего меньшее количество газов.

Глава I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ

Из механических свойств стандартами предусмотрено определение только прочности, твердости и осыпаемости. При этом прочность определяется на сжатие в сыром, а на разрыв в высушенном состоянии; твердость определяется над образцами как в сыром, так и в высушенном состояниях.

Этими стандартными методами можно в лучшем случае проверить постоянство свойств поставляемых и потребляемых формовочных материалов и смесей. Но этих свойств совершенно недостаточно для установления связи между механическими свойствами формовочных материалов и смесей, с одной стороны, и качеством отливки, с другой стороны.

Принципиальным можно считать стремление приблизить выражение механических свойств терминами и обозначениями, применяемыми при испытании других материалов, в частности металлов. Это стремление связано с необходимостью пользоваться общепринятыми теоретическими представлениями.

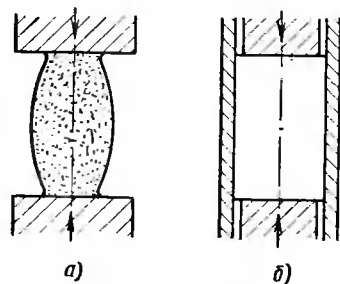
При оценке механических свойств следует различать прочность действительную (фактическую), определяемую непосредственно на приборе, и прочность потенциальную, которую можно получить из смеси заданного состава, но применяя наилучший для данного случая метод ее приготовления и обработки. Смешение этих, очевидно различных понятий, часто приводит к недоразумениям и к разрыву между результатами, получаемыми в лаборатории и на производстве.

В частности различие между потенциальной и действительной прочностями отчетливо обнаруживается в тех случаях, когда процесс упрочнения смеси начинается до момента начала приготовления из нее формы. В этом случае действительная прочность оказывается ниже потенциальной; действительная прочность получилась бы значительно больше, если бы процесс упрочнения смеси начался только с момента изготовления формы. Поэтому

наиболее резко наблюдается различие между действительной и потенциальной прочностями при использовании добавок, упрочняющее действие которых начинается до изготовления формы. В качестве примеров можно привести упрочнение смеси с высыхающими добавками за счет их частичного высыхания во время приготовления смеси и до момента приготовления формы.

Механические свойства могут различаться в зависимости от состояния смеси при ее испытании:

1. Свойства смесей в обработанном состоянии могут характеризовать свойства формы перед заливкой ее жидким металлом.



Фиг. 44. Схема деформации образца:

а—без изменения объема; б—с изменением объема.

2. Свойства смесей после нагрева до высоких температур могут характеризовать свойства формы после заливки ее жидким металлом.

3. Свойства смесей непосредственно при высоких температурах могут характеризовать свойства формы при ее заливке жидким металлом.

Необходимо также различать прочность валовую, т. е. отнесенную ко всему сечению испытуемого образца, и прочность поверхностную, отнесенную только к его поверхности. Такая прочность часто обозначается как «осыпаемость», что не всегда оказывается правильным. Интерес представляет поверхностная прочность, определяемая при температуре жидкого металла в форме.

При оценке прочностных свойств необходимо учитывать и происходящие при этом деформации. При этом в отличие от деформаций металла можно при деформации формовочных смесей различать:

а) деформацию, происходящую без изменения объема (фиг. 44, а). Схема такой деформации характерна появлением бочки на металлическом образце при испытании на сжатие;

б) деформацию, происходящую при изменении объема. Схема такой деформации приведена на фиг. 44, б. Такой вид деформации не учитывается при испытании металла, но характерен для поведения реальных форм и стержней, окруженных почти со всех сторон опокой и отливкой.

Так же, как и при деформации металла, деформация смеси может происходить без изменения и с изменением координационного числа (точек соприкосновения). В первом случае имеет место чистое уплотнение смеси, а во втором — уплотнение, связанное с текучестью.

Деформации могут различаться масштабно:

1. Деформация зерна была рассмотрена в первой части книги.

2. Деформация группы зерен или формы должна быть учтена при рассмотрении механических свойств смесей в сыром, обработанном и охлажденном состояниях.

3. Деформация формы в сочетании с деформацией отливки должна быть рассмотрена при разборе механических свойств в нагретом состоянии.

2. ПРИНИМАЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Прочность в самом общем виде принято обозначать σ_b .

Прочность в сыром состоянии обозначается σ_w . Количество воды в смеси приписывается к индексу. Если содержание воды в смеси 4,5%, то прочность такой смеси обозначается $\sigma_{w=4,5}$.

Прочность в обратном состоянии характеризуется видом обработки. Если обработка была произведена газом CO_2 , то прочность обозначается σ_{CO_2} . Если обработка связана с нагревом, то прочность обозначается в виде σ_t . При этом индекс сверху обозначает температуру, при которой происходит испытание, а индекс внизу — температуру, до которой смесь была нагрета.

Таким образом, σ_{1400}^{800} обозначает прочность образца, нагретого до 1400° и испытанного при 800°C . Если испытание проводилось при комнатной температуре, то индекс сверху опускается.

При определении механических свойств необходимо различать:

1) предел прочности, определяемый по стандартной методике с учетом происходящих при этом деформаций;

2) нагрузку $\sigma_{0,1}$, при которой начинаются заметные деформации. Величину этих деформаций можно принять равной 0,01% от высоты или длины образца. Эту нагрузку можно назвать условным пределом упругости;

3) нагрузку $\sigma_{0,2}$, при которой наблюдаются значительные деформации, равные или превосходящие 0,2% высоты или длины образца. Эту нагрузку можно назвать условным пределом текучести;

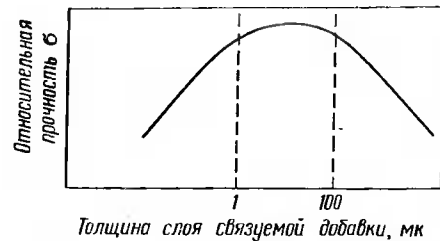
4) модуль упругости, определяемый при разных состояниях образца и формы.

Применительно к этой классификации будут рассмотрены механические свойства. Перед рассмотрением этих свойств будут рассмотрены общие закономерности и особенности свойств в разных состояниях.

3. ОСНОВНАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Схематически формовочную смесь можно рассматривать в виде шаров, по поверхности которых распределена в виде оболочки добавка.

К числу наиболее общих и важных относится установленная автором в 1933 г. закономерность [1], связывающая прочность смесей с количеством упрочняющих добавок и поверхностью зерен: *наибольшая прочность достигается при покрытии зерен смеси оптимальной толщиной упрочняющей добавки*. Эта закономерность приведена графически на фиг. 45.



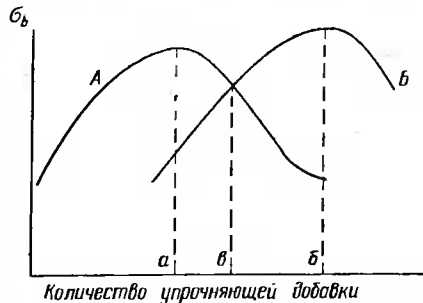
Фиг. 45. Закономерность изменения относительной прочности при изменении толщины слоя связующей добавки.

Проф. Лясс А. М. [177] уточнил эту закономерность и утверждает, что оптимальная толщина пленки должна соответствовать той ее минимальной толщине, при которой может быть обеспечена непрерывность распределения связующей добавки по поверхности зерен.

В качестве примера можно привести такие данные: для достижения наивысшей прочности толщина слоя связующих добавок должна составить 20—60 мк [178], а толщина слоя глинистой составляющей должна составить 6—12 мк [179].

Вывод: недопустимо применять формально правило проведения исследований при «прочих равных условиях».

Оценка качества упрочняющих добавок может получиться совершенно разная в зависимости от того, какая часть поверхности зерен смеси ими покрыта. Пример возможности неправильных выводов при использовании формального требования прочих равных условий приведен графически на фиг. 46: при прибавлении добавок А и Б к смеси в количествах а и б результаты могут получиться диаметрально противоположные: при добавлении в количестве а добавка А придает смеси большую прочность, чем добавка Б, а при добавлении в количестве б добавка Б придает смеси большую прочность, чем добавка А. Разные и противоположные результаты получаются потому, что добавка А покрывает поверхность зерен смеси при добавлении в количестве а, а добавка Б покрывает поверхность зерен смеси при добавлении в количестве б.



Фиг. 46. Влияние количества упрочняющей добавки на прочность.

Поэтому правильнее сопоставлять результат исследований по признаку равенства степени завершения процесса. Эта мысль поясняется схемой, приведенной на фиг. 47. Если сопоставлять

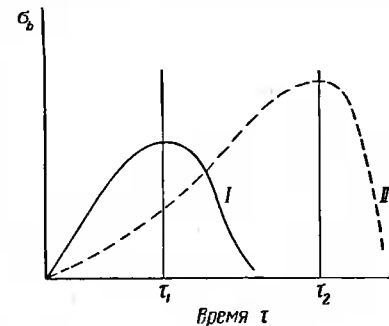
прочности, достигаемые через одинаковые промежутки времени τ_1 , то более благоприятным может оказаться режим I. Если же судить о прочности, достигаемой при окончании процесса, то режим II обладает преимуществом, так как при этом достигаются повышенные прочности. Отсюда, конечно, не следует рекомендовать во всех случаях применение медленно протекающего режима II.

II вывод: прочностные свойства можно оценивать не по абсолютной величине прочности, а по относительной прочности, отнесенной к 1% упрочняющей добавки.

Это понятие было использовано при рассмотрении и оценке упрочняющих добавок в части второй.

Если выразить относительную прочность $\sigma_{отн}$ как отношение абсолютной прочности σ_b к количеству упрочняющей добавки а %, то

$$\sigma_{отн} = \frac{\sigma_b}{a^0_{/0}} \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 47. Влияние продолжительности упрочнения на прочность. Изменение относительной прочности с увеличением количества упрочняющей добавки. Влияние продолжительности перемешивания на прочность смеси в сыром состоянии.

При росте абсолютной прочности может наблюдаться переход через максимум также и относительной прочности. Примеры такого изменения приведены в табл. 83 и 84.

При использовании понятия относительной прочности надо учитывать условность такого определения, как это было указано в § 1 гл. I части второй. Правильное использование этого понятия может помочь повысить эффективность и экономичность использования добавок. Но при этом надо учитывать и изменение технологических свойств.

Таблица 83

Влияние вязкости добавки на прочность смеси [90]
(В смесь вводится 2% раствора рематола с керосином)

Состав добавки в %		Вязкость по Энглеру	Прочность смеси в кг/см ²	Прочность отнесения к 1 %	
Рематол	Керосин			раствора	рематола ¹
100	0	21,5	10,6	5,3	5,3
81	19	17,5	13,0	6,5	8,0
75	25	10,6	14,8	7,2	9,6
72	28	7,7	11,8	5,9	8,2
57	43	3,3	9,6	4,8	8,5

¹ Пересчет автора.

Влияние вязкости добавки на прочность смесей [180]

Состав смеси: 98% песка марки К 02А, 2% связующей добавки

Состав добавки в %		Вязкость по Энглеру при 50°C	Прочность смеси в кг/см ²	Прочность смеси, отнесенная к 1%	
ГТФ	Уайт-спирит			раствора	добавки ГТФ*
100	0	13,8	8,2	4,1	4,1
95	5	9,2	10,2	5,1	5,4
90	10	5,8	9,3	4,6	5,1
80	20	3,6	8,0	4,0	5,0
70	30	1,9	6,1	3,0	4,3
50	50	1,1	3,3	1,6	3,2

* Пересчет автора.

III вывод: при использовании более мелкого песка прочность может упасть, если в смеси был недостаток упрочняющей добавки, и может повыситься, если был избыток упрочняющей добавки.

Этот вывод может рассматриваться как частный случай вывода I. Более мелкий песок обладает большей поверхностью, чем более крупный, поэтому для получения на поверхности более мелкого песка пленки той же толщины, что и на более крупном песке, необходимо в первом случае добавить большее количество связующей добавки, отнесенное к единице веса песка.

Поэтому песок Б можно принять более мелким, чем песок А на фиг. 46. Если согласно этой схеме к обоим пескам добавляется связующая добавка в количестве в, то увеличение этого количества в случае добавления к песку А повлечет за собой снижение относительной прочности, так как будет добавляться в избыточном количестве. В случае же добавления к песку Б увеличение этого количества будет способствовать повышению относительной прочности, так как будет способствовать покрытию всей поверхности слоем необходимой и оптимальной толщины.

Недоучет этого вывода в общей закономерности может привести к недостаточно обоснованным обобщениям.

IV вывод: при оптимальной толщине слоя упрочняющей добавки вся поверхность зерен смеси должна быть заведомо ею покрыта.

Все мероприятия, способствующие покрытию поверхности зерен равномерным слоем упрочняющей добавки, способствуют повышению прочности смеси.

Например, добавление керосина к зернам не придает прочности смеси. Если же керосин добавить к вязкой упрочняющей добавке, то прочность смеси увеличивается. Повышение прочности в этом случае происходит за счет лучшего распределения комбинированной вязкой добавки по поверхности зерен [1].

В табл. 91 и 92 приведены результаты опытов и их пересчет [90], [180].

Из рассмотрения этих таблиц могут быть сделаны следующие выводы:

1. При добавлении растворителя (керосина или уайт-спирита) прочность смеси увеличивается.

2. Несмотря на происходящие при этом уменьшение количества активной добавки (рематола или ГТФ), абсолютная прочность смеси увеличивается, что сказывается на увеличении относительной прочности и что может быть объяснено главным образом улучшением распределения упрочняющей добавки по поверхности зерен.

3. При переходе абсолютной прочности через максимум относительная прочность также проходит через максимум. Но падение относительной прочности, отнесенной к 1% раствора, происходит значительно сильнее, чем падение относительной прочности, отнесенной к 1% непосредственно активной добавки. Отсюда следует, что при уменьшении вязкости происходит более полное использование потенциальной прочности связующей добавки.

Увеличение прочности по мере увеличения продолжительности перемешивания связано главным образом также с улучшением распределения связующей добавки по поверхности зерен. Вместе с тем необходимо отметить, что на изменение прочности смеси при перемешивании может оказать влияние также и изменение ее состава, например уменьшение влажности. Именно улучшенным распределением глинистых составляющих по поверхности зерен естественных песков можно объяснить наблюдаемую во многих случаях их повышенную прочность по сравнению с прочностью недостаточно тщательно приготовленных синтетических песков.

Перемешивание облегчается при использовании смесей с крупными зернами. При недостаточном перемешивании смесь с угловатыми зернами может обладать повышенной прочностью из-за наличия механического сцепления зерен между собой.

Можно полагать, что такие смеси с угловатыми зернами будут характеризоваться пониженной плотностью. Для анализа механизма упрочнения может оказаться полезной методика определения свойств при постоянной плотности, упомянутая в третьей части.

4. СХЕМА МЕТОДОВ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Схема методов прочностных испытаний формовочных смесей приведена на фиг. 48. При испытании на сжатие образцы сжимаются между двумя параллельными торцовыми площадками. При испытании на срез усилия прилагаются к образцу не на всю его торцовую поверхность, а только на половину. При определении прочности на изгиб сухих образцов они испытываются, как балка на двух опорах. При испытании на изгиб сырых

образцов определяется величина обломившейся свесившейся части образца. Сухим образцам при испытании на разрыв придается форма восьмерки. Сырые образцы испытываются на разрыв в специальных разъемных гильзах.

Методические вопросы здесь не разбираются. Можно ограничиться замечанием, что результаты испытаний по мнению некоторых авторов [181] зависят от диаметра образца.

Испытание	Сжатие	Срез	Изгиб	Разрыв
Высушенных образцов				
Влажных образцов				

Фиг. 48. Схема методов механических испытаний.

Широко распространен косвенный метод определения прочности путем определения твердости поверхности. Твердость сырых форм определяется глубиной вдавливания стального шара в испытываемую поверхность, а твердость обработанных смесей определяется царапинами на ее поверхности. Так же, как и при испытании металлов, прямая связь между твердостью и прочностью отсутствует.

Глава II

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сырые смеси практически всегда содержат жидкость, поэтому формовочная смесь в сыром состоянии должна рассматриваться как трехфазная система: твердое тело — жидкость — газ. При этом все три фазы тесно между собой связаны и оказывают в тесном взаимодействии влияние на механические свойства смесей.

Влияние жидкости может сказаться в нескольких направлениях:

- а) как непосредственно связующая добавка;
- б) как добавка, смачивающая поверхность зерен (при этом в частности увеличивается уплотняемость смеси);
- в) как добавка, воздействующая на основную упрочняющую добавку, например, растворяя ее, изменяя ее набухание или вязкость;
- г) добавка, изменяющая состав газовой фазы.

Твердая фаза может влиять на механические свойства смесей как количественно, так и качественно. Количественно твердая фаза может влиять главным образом путем изменения поверхности смеси. Это достигается добавлением в смесь мелких зерен и в частности глины. Качественно твердая фаза может изменить состояние поверхности.

Газовая фаза может влиять на механические свойства как непосредственно, так и главным образом косвенно, воздействуя на жидкую фазу и на связующие добавки смеси.

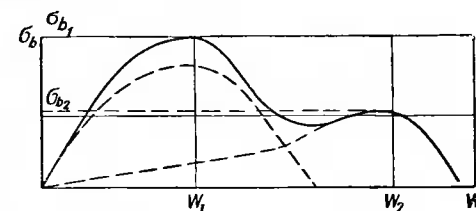
2. ЖИДКОСТЬ КАК УПРОЧНЯЮЩАЯ ДОБАВКА

Непосредственное влияние воды как упрочняющей добавки может рассматриваться только при очень низких содержаниях глинистых составляющих. При повышенном содержании глинистых составляющих их упрочняющее влияние затухает, непосредственное упрочняющее влияние воды.

На фиг. 49 приведены в схематизированном виде результаты опытов по влиянию воды на прочность кварцевых песков. Из рассмотрения этой диаграммы можно заметить наличие двух максимумов прочности. Отсюда можно сделать вывод о наличии нескольких причин, изменяющих прочность. Более обстоятельные опыты показали, что:

- 1) первый максимум увеличивается при увеличении поверхности смеси как по количеству воды, необходимой для развития максимума прочности, так и по величине прочности;
- 2) второй максимум при увеличении поверхности зерен не изменяется значительно ни по величине прочности, ни по количеству воды, которая требуется для развития максимальной прочности. По этой причине он не обнаруживается при повышении первого максимума прочности.

Утверждение, что первый максимум прочности увеличивается при увеличении поверхности и требует для своего развития увеличенного количества воды, может рассматриваться как проявление первого закона прочности формовочных смесей.



Фиг. 49. Схема влияния воды на прочность смесей в сыром состоянии.

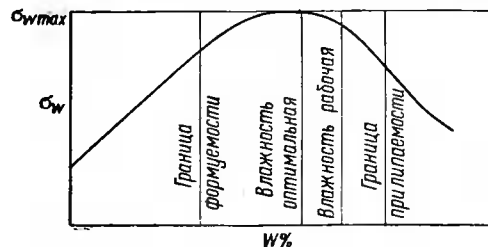
Эта закономерность может быть выражена формулой

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^a,$$

или

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{a_1},$$

где W_1 и W_2 — содержание воды соответственно;
 D_1 и D_2 , F_1 и F_2 — средние диаметры и поверхности смесей 1 и 2.



Фиг. 50. Схема влияния влажности на свойства смесей.

В пределе $a = 1$ при мономолекулярном слое адсорбированной воды, как это было показано в § 7 гл. I части первой, количество адсорбированной воды пропорционально поверхности зерен и обратно пропорционально их диаметру.

По мере увеличения толщины слоя воды показатель a приближается к 0,5.

В пределе $a = 0$ при образовании второго максимума оптимальная влажность по прочности не зависит от диаметра зерен, сохраняясь в границах $W = 12,5 \div 15\%$, т. е. в пределах, близких к границам точности измерений. Причины появления этого второго максимума неясны.

Расхождение между оптимальной и рабочей влажностью вызвано тем, что изменение влажности оказывает влияние не только на прочность, но и на многие другие свойства формы. Схематически это влияние приведено на фиг. 50: при недостаточной влажности не достигается хорошая формуемость, а при избытке влажности наблюдается прилипаемость.

3. ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

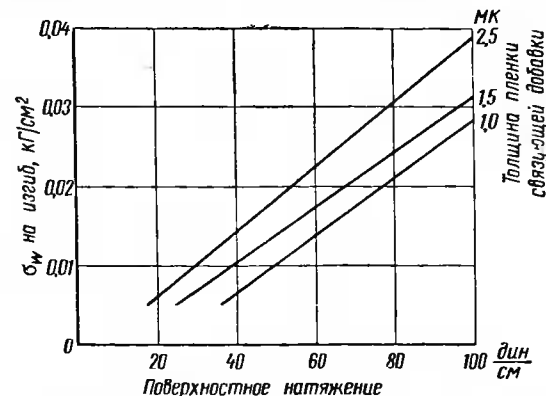
На прочность смеси свойства смачивающей жидкости оказывают прямое и косвенное влияние (в частности ее поверхностное натяжение и вязкость).

В табл. 85 приведены результаты опытов автора по определению влияния поверхностного натяжения на прочность смеси кварцевых зерен. Из таблицы видно, что эта прочность изменяется пропорционально поверхностному натяжению жидкости. К та-

Влияние поверхностного натяжения жидкости на прочность смеси в сыром состоянии

Жидкость	σ_w в кг/см ²	Относительная прочность в сыром состоянии в %	Поверхностное натяжение в дин/см	Относительное поверхностное натяжение в %
Вода	0,25	100	71	100
Спирт	0,08	32	22	32

ким же результатам пришел проф. И. Чикель и Г. Шуман, как это видно из фиг. 51. Практическая возможность повышения прочности за счет применения жидкости с повышенным поверхностным натяжением в настоящее время ограничена, так как неизвестны жидкости, обладающие поверхностным натяжением, превосходящим поверхностное натяжение воды. Влияние поверхностного натяжения должно быть учтено при замене воды другими жид-



Фиг. 51. Влияние поверхностного натяжения на прочность смесей в сыром состоянии. Вязкость от 1 до 5000 ц. п. з.

костями, которые, как правило, обладают более низким поверхностным натяжением. Это приводит к снижению прочности в сыром состоянии. В частности влияние поверхностного натяжения на прочность пленок подтверждается прямыми опытами А. М. Лясса (см. табл. 86).

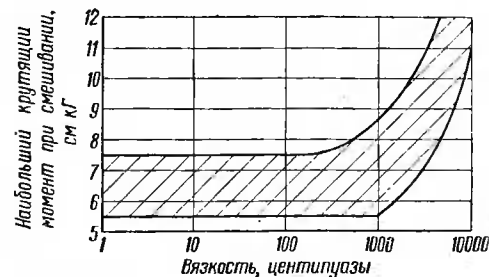
При увеличении вязкости можно также ожидать повышения прочности в сыром состоянии, но при этом затрудняется распределение упрочняющей добавки по поверхности зерен, как это подтверждается прямыми опытами проф. И. Чикеля и Г. Шумана, приведенными на фиг. 52 и 53. Поэтому при использовании жидких связующих добавок не стремятся к повышению их вязкости,

Связующая добавка	Удельный вес в г/см ³	Работа когезии в эрг/см ²	Поверхностное натяжение в дин/см	Прочность пленок в Г/см ²
А. Жидкость:				
4ГУ	0,885	53,2	26,6	0,730
П	0,870	53,2	26,6	0,784
Олифа натуральная	0,996	57,8	28,9	0,790
ЗИЛ	0,952	62,4	31,2	—
	0,900			
Льняное масло	0,900	74,0	37,0	0,805
ГТФ	0,931	99,4	49,7	0,807
МСБ	1,18	117,6	58,8	0,833
МФ-17	1,22	122,6	61,3	—
СБ	1,19	122,6	61,3	—
Барда сульфитно-спиртовая	1,28	129,6	61,3	0,897
Жидкое стекло	1,48	—	70,9	0,993
Б. Растворители:				
Вода	1,00 *	72,5	—	72,9
Уайт-спирит	—	—	—	24,0

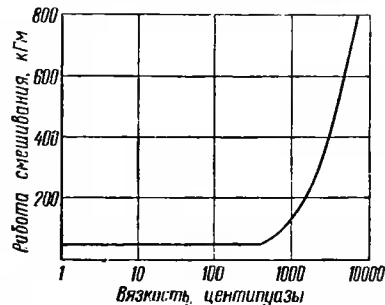
* Не отмеченные — из диссертации А. М. Лясса.

если прочность в сыром состоянии имеет подчиненное значение и необходимо повысить прочность в обработанном состоянии.

Повышение прочности смеси в сыром состоянии может представить практическое значение в том случае, когда смесь не пред-



Фиг. 52. Влияние вязкости на наибольший крутящий момент при смешивании.



Фиг. 53. Влияние вязкости на работу смешивания.

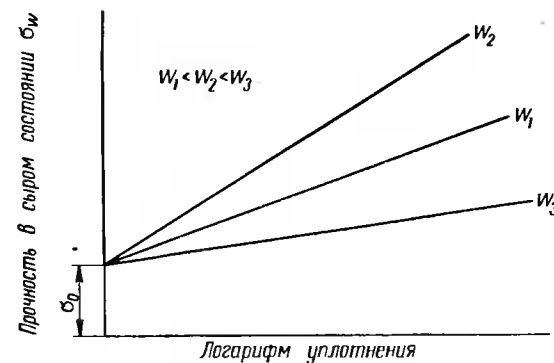
ставляется возможным уплотнить по существу технологического процесса, как например, при изготовлении оболочковых форм с опрокидывающимся бункером. В этом случае может оказаться целесообразным добавление в смесь машинного масла, как наиболее дешевой добавки, увеличивающей прочность смеси за счет понижения ее вязкости и уменьшения трения между зернами. Пример влияния машинного масла на прочность смесей приведен в табл. 87.

Влияние добавки машинного масла на прочность в сыром состоянии смесей на пульвербакелите [182]

Машинное масло	Удельный вес смеси в г/см ³	Пористость в %	Прочность в сыром состоянии в кг/см ²
0	1,44	45	14
0,05	1,52	42	17
0,25	1,60	39	20

4. ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

На фиг. 54 приведена схематизированная диаграмма связи между прочностью смеси в сыром состоянии, уплотнением и влажностью.



Фиг. 54. Влияние уплотнения на прочность смесей в сыром состоянии.

Эта диаграмма отражает наблюдаемые закономерности:

1. Прочность увеличивается приблизительно пропорционально логарифму уплотнения. Поэтому можно ожидать, что связь между прочностью и уплотнением может быть выражена формулой такого примерного построения:

$$\sigma_p = \sigma_0 + a \cdot \lg p,$$

где σ_0 и σ_p — прочности при уплотнении, принимаемом равным нулю и равным p ;

a — показатель степени уплотняемости.

2. Влажность W смеси оказывает косвенное влияние на прочность смесей благодаря изменению их уплотняемости.

3. При средней влажности наблюдается наивысшая прочность. В соответствии с основной закономерностью изменения прочности

Влияние влажности и уплотнения на свойства смесей (по Шумахеру И.)

Свойства	Влаж-ность	Уплотнение набойником весом											
		1 кг						7 кг					
		Число ударов набойника											
		1	2	3	4	7	14	1	2	3	5	7	10
		Приведенные килограммы (пересчет автора)											
		1	2	3	4	7	14	7	14	21	35	49	70
Твердость		Опытные данные											
	2,7	53	64	69	73	78	87	85	90	91	93	94	95
	3,5	45	52	58	65	73	83	81	87	89	91	93	94
	4,0	44	52	58	64	74	81	80	86	89	92	93	94
Газопроницаемость	2,7	192	161	145	128	112	85	85	90	91	93	94	95
	3,5	515	400	315	270	195	132	135	98	80	64	55	48
	4,0	600	480	375	310	225	143	148	105	80	60	52	46
Прочность во влажном состоянии в кг/см ²	2,7	0,12	0,17	0,22	0,27	0,38	0,57	0,51	0,73	0,84	0,99	1,2	1,3
	3,5	0,10	0,14	0,19	0,21	0,31	0,50	0,47	0,65	0,75	0,93	1,1	1,3
	4,0	0,11	0,14	0,13	0,21	0,31	0,46	0,45	0,63	0,75	0,95	1,1	1,2
Прочность в высушенном состоя- нии в кг/см ²	2,7	0,23	0,31	0,51	0,53	1,0	1,4	1,3	1,6	1,9	2,5	2,6	3,0
	3,5	0,71	1,0	1,2	1,4	1,9	3,0	3,2	4,5	5,2	6,2	7,3	7,8
	4,0	1,2	1,7	2,1	2,7	3,7	6,0	6,3	9,0	11	14	15	17
Пересчет													
		0,0	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	0,8	1,4	1,3	1,5	1,7	1,8
Расчетная прочность:													
$\sigma_w = 0,1 + 0,025 \lg p$		0,10	0,17	0,22	0,25	0,30	—	—	—	—	—	—	—
$\sigma_w = 0,1 + 0,6 \lg p$		—	—	—	—	—	0,38	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2

формовочных смесей можно ожидать, что это среднее содержание влажности получится более высокое у более мелких песков.

В табл. 88 приведены результаты опытов И. С. Шумахера по изучению влияния влажности и уплотнения на основные вторичные свойства формовочной смеси. В последних строках этой таблицы приведен результат пересчета автором опытов по указанной формуле с подстановкой частных значений $\sigma_0 = 0,1 \text{ кг/см}^2$, $a = 0,1$ и $0,6$.

Отклонения расчетной прочности от полученной опытным путем получились достаточно малыми, что позволяет применять приведенную формулу для ориентировочных расчетов. Вместе с тем необходимы дальнейшие опыты для расчетного определения показателя степени a .

5. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГЛИНИСТЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

Наиболее эффективным и широко используемым на практике путем для повышения прочности в сыром состоянии является увеличение поверхности смеси. Это достигается чаще всего добавлением в смесь глин.

Результаты опытов автора по изучению влияния количества глин на прочность приведены в табл. 89. При проведении этих опытов исследовались естественные пески Дивенского месторождения, поэтому можно считать, что переменным было только количество глинистых составляющих. В табл. 90 приведены пересчеты

Таблица 89

Зависимость оптимальной влажности от содержания глинистых составляющих
(опыты автора)

Количество глинистых составляющих A в %	$\sqrt{A}$	Оптимальная влажность W по прочности в %	$\frac{W}{\sqrt{A}}$
2,5	1,58	3,5	2,2
5	2,22	4,0	1,8
10	3,17	4,9	1,55
15	3,88	5,7	1,48
20	4,55	6,4	1,40
25	5,00	7,2	1,45
30	5,5	8,0	1,45
40	6,35	9,0	1,42
50	7,1	9,5	1,34
60	8,1	9,8	1,20

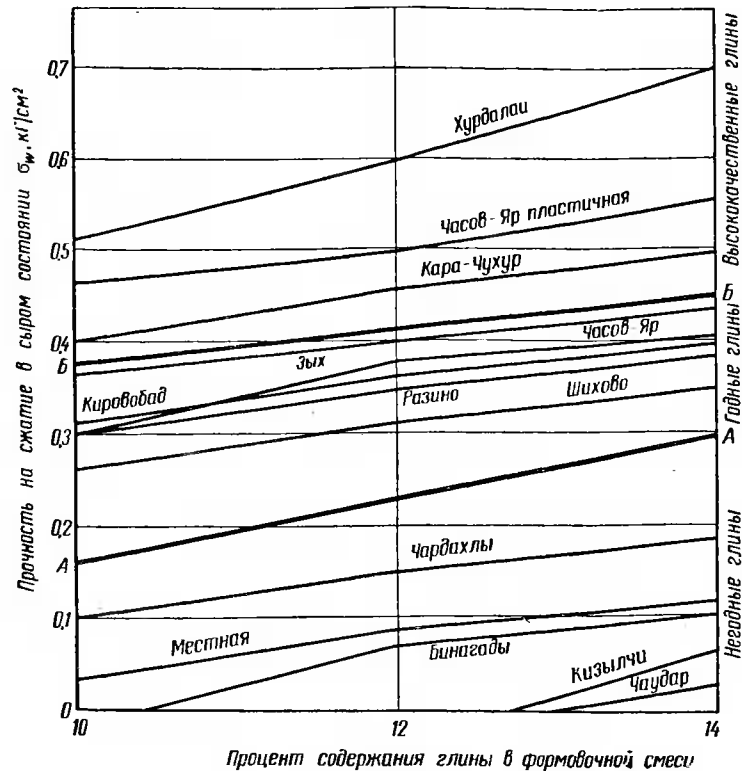
Таблица 90

Зависимость оптимальной влажности от содержания глинистых составляющих
Испытание по методу определения величины отламывающихся кусков
(опыты АФА)

№ опыта	Количество глинистых составляющих A в %	$\sqrt{A}$	Оптимальная влажность W по прочности в %	$\frac{W}{\sqrt{A}}$
1	4,7	2,14	7,0	3,3
2	9,7	3,12	4,9	1,58
3	15,7	3,98	5,8	1,45
4	20,4	4,51	6,9	1,53
5	26,5	5,15	7,7	1,49
6	35,1	5,95	8,7	1,47
7	45,2	6,71	9,4	1,40
8	64,6	8,05	9,7	1,20

Среднее из опытов с 2
по 7 $1,49 \pm 0,09$
 $\frac{0,09}{1,49} \cdot 100 = \pm 6\%$

результатов опытов, произведенных с синтетическими смесями. При пересчете этих опытов обнаруживается для каждой серии приблизительно постоянное отношение оптимальной влажности к корню квадратному из количества глинистых составляющих или к поверхности смесей. Подобный же результат был получен



Фиг. 55. Влияние количества глины на прочность смесей в сыром состоянии.

и при пересчете опытов с чистыми кварцевыми зернами, что увеличивает достоверность полученных результатов. При содержании глинистых составляющих свыше 10% это отношение укладывается в границы $1,3 \pm 0,3$. Более точные результаты могли бы быть получены при учете поверхности не только глинистых составляющих, но и самих зерен.

На фиг. 55 приведены результаты опытов Е. В. Руссо по определению прочности смесей в сыром состоянии с добавлением глины разных месторождений.

6. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ГЛИНИСТЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

Приведенные в § 5 гл. II части пятой закономерности относились к смесям с переменным количеством глинистых составляющих приблизительно одинакового качества. Большое практическое значение имеет вопрос влияния качества глинистых составляющих на прочность смесей в сыром состоянии.

На основании первой закономерности изменения прочности формовочных смесей можно применительно к поставленному вопросу установить следующие положения:

- 1. В пределах зерен стандартной глинистой составляющей встречаются зерна от самых мелкодисперсных до имеющих условный диаметр 22 мк.
 - 2. Можно ожидать совершенно различных величин прочности при использовании разных глин при неизменном суммарном количестве глинистых составляющих.
 - 3. Наибольшую прочность можно ожидать от введения в смесь глинистых составляющих с наибольшей степенью дисперсности, как обладающих наибольшей поверхностью.
 - 4. Прочность в сыром состоянии снижается при использовании глин, подвергшихся нагреву выше температуры начала потери конституционной воды. Было установлено, что с потерей конституционной воды степень дисперсности глин уменьшается.
 - 5. При увеличении поверхности смеси за счет увеличения степени дисперсности глин наибольшую прочность также можно ожидать при соответствующем увеличении содержания воды в смесях.
- Эти положения подтверждаются приведенными в табл. 91 результатами опытов А. Л. Туманского по определению прочности в сыром состоянии смесей с разными глинами, добавляющимися к песку в количестве 10%.

Таблица 91
Влияние качества глин на прочность смесей в сыром состоянии [70]

Название глины	Количество зерен в %			Кол- лон- даль- ность	Прочность в сы- ром состоянии на сжатие в кг/см ²			Прочность в вы- сушенном состоя- нии на сжатие в кг/см ²		
	Размер зерен в %				Влажность в %			Влажность в %		
	0,05— 0,005	0,05— 0,001	Менее 0,001		3	4	5	2	4	6
Бентонит	—	—	100	100	1,1	0,6	—	0,8	3,0	4,8
Латинская	24	4	72	80	0,9	0,6	0,3	0,7	—	2,5
Н. Увельская . . .	28	14	58	62	0,5	0,4	0,3	0,5	1,5	2,2
Гжельская	—	—	—	39	0,3	0,3	—	0,6	2,5	3,5
Тамбовская	82	14	4	21	0,3	0,2	—	0,2	—	2,5

Из этих опытов можно сделать дополнительные выводы:

1. Увеличение прочности наблюдается только при увеличении содержания зерен с условным диаметром меньше 1 мк. Если принять средний диаметр зерен песка явно больше 0,1 мм, то поверхность зерен с диаметром 1 мк = 0,001 мм превышает поверхность зерен с диаметром 0,1 мм в $0,1 : 0,001 = 100$ раз. Поэтому изменение величины зерна песка не может оказать такого влияния на изменение поверхности смеси, как изменение количества и качества глинистой составляющей.

2. Можно ожидать, что среди тех мелкодисперсных глинистых составляющих, которые главным образом влияют на повышение прочности смесей, оказываются зерна с разными свойствами. Поэтому закономерность увеличения прочности с увеличением степени дисперсности носит до известной степени статистический характер, от которого возможны отдельные исключения. В частности можно ожидать влияния:

- 1) состава глин, в первую очередь минералогического состава и ионно-обменного комплекса;
- 2) формы зерен;
- 3) условий приготовления смеси, в первую очередь продолжительности перемешивания.

Влияние минералогического состава и ионно-обменного комплекса сказывается прежде всего в том, что значительно большую прочность придают минералы типа монтморрилонита по сравнению с минералами типа каолинита. Из минералов монтморрилонитового типа значительно большую прочность придают натриевые бентониты по сравнению с кальциевыми.

Особо следует остановиться на повышении прочности при замене кальциевых ионов натриевыми. Одним из первых исследователей, обративших внимание на эту возможность, был И. С. Григорьев [80], показавший возможность повышения прочности глинистых смесей при обработке глин натриевыми солями. На этом приеме основано получение большинства «искусственных бентонитов» за рубежом. При обработке бентонитов содой прочность проходит максимум при среднем количестве прибавленной соды [65], [69].

Можно полагать, что наиболее заметное изменение свойств происходит при обработке глин одновалентными катионами с наименьшим ионным радиусом и с образованием в результате обработки катионами таких соединений, которые нерастворимы в воде [185].

Можно допустить, что повышение прочности смесей при добавлении к ним натриевых солей связано не только с заменой обменивающихся ионов кальция на ионы натрия, но и с другими процессами. В частности наблюдается повышение прочности смесей при обработке песка растворами натриевых солей [183]; это повышение прочности может быть связано с изменением заряда поверхностей кварцевых зерен.

С этим может быть также связано наблюдавшееся некоторыми исследователями [184] повышение прочности при изменении pH. Однако прямая связь между pH и прочностью представляется маловероятной.

Неуправляемым и пока неиспользуемым резервом повышения прочности является возможность смешивания между собой глин разных происхождений. В качестве примера в табл. 92 приведены результаты опытов по определению прочности в сыром состоянии смесей с глинами разных происхождений и разного минералогического состава [186].

Таблица 92

Прочность смесей песков с глинами разного происхождения

Состав смеси в %					Наибольшая прочность при оптимальной влажности		Относительная прочность в кг/см ² . %		Расчетная прочность в кг/см ²	Превышение фактической прочности над расчетной
Глина										
Гусаровская	Боровичская	Бентонит	Пылевидный кварц	Гусаровский песок	Прочность в кг/см ²	Влажность в %	бентонит	глина		
3	—	—	—	97*	0,16	2,0	—	0,05	0,05·3 = 0,15	0,15:0,15 = 1,0
—	—	4	—	96	0,58	1,8	0,15	—	0,15·4 = 0,60	0,60:0,60 = 1,0
—	3	4	—	93	0,96	2,2	0,20	0,05	0,05·3+0,15·4=0,75	0,96:0,75 = 1,28
3	—	4	—	97	0,96	3,2	0,20	0,05	0,05·3+0,15·4=0,75	0,94:0,75 = 1,25
3	—	4	—	97*	1,05	3,2	0,22	0,05	0,05·3+0,15·4=0,75	1,05:0,75 = 1,40
—	—	4	2	94	0,82	2,0	0,20	—	0,15·4 = 0,60	0,82:0,60 = 1,35

* Глина неотмытого гусаровского песка. Во всех остальных случаях глина гусаровская отмывалась от гусаровского песка и прибавлялась к отмываемому песку.

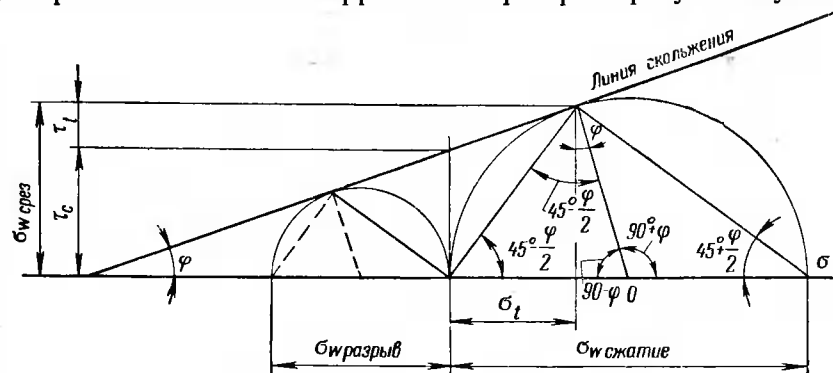
В первых двух опытах применялась смесь из отмываемого гусаровского песка с бентонитом и из неотмытого гусаровского песка без бентонита. Из этих опытов была определена относительная прочность, развиваемая одним процентом гусаровской глины (0,05 кг/см²) и одним процентом бентонита (0,15 кг/см²). Между тем при смешивании гусаровской глины с бентонитом относительная прочность, приходящаяся на 1% бентонита, повышается с 0,15 кг/см² до 0,20 кг/см². Если подсчитать сумму прочностей, как сумму произведений количества добавок на относительную прочность, окажется, что фактическая прочность превышает расчетную сумму прочностей более чем на 25%. Отсюда могут быть сделаны выводы:

1. При смешении глин разного происхождения можно получить суммарную прочность, превышающую сумму прочностей, исходя из относительных прочностей, развиваемых каждой глиной в отдельности.

Из этого построения следует, что

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \sigma_{\text{сжс}} \cos \varphi.$$

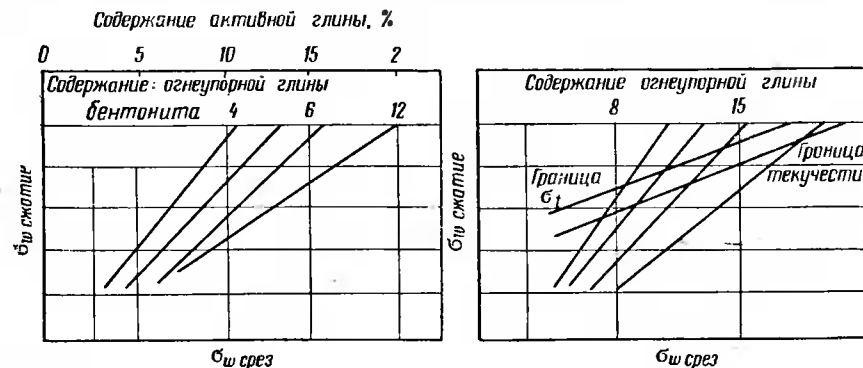
При этом угол φ определяет положение линии скольжения, которая по мнению Наварро-Альказар характеризует текучесть



Фиг. 56. Связь между прочностями на сжатие, разрыв и срез смесей в сыром состоянии.

смеси. Этот угол зависит от состава смеси, в частности от содержания в ней глинистых составляющих.

Р. Рейне, Е. Кинг и И. Шумахер утверждают, что отношение $\sigma_{\text{сжс}}$ к $\sigma_{\text{ср}}$ полностью зависит от содержания активных глинистых составляющих в смеси. Они рекомендуют определять это отноше-



Фиг. 57. Оценка качества смесей по отношению прочностей на сжатие и срез.

ние для оценки качества глинистых составляющих. Если полученная при очередной проверке точка не отложится на заданной линии, то необходимо соответственно изменить содержание глинистых составляющих, добавляя глину или тощий песок (см. фиг. 57).

2. Во многих случаях может оказаться нецелесообразным применять чистый бентонит. Он очень дорогой, и может оказаться целесообразным применять его в сочетании с другими менее дорогими глинами. Эти выводы были подтверждены дальнейшими опытами А. Л. Тиманского и И. Б. Куманина.

Причина этого явления остается неясной, можно допустить, что такое повышение прочности связано не только со смешением глин разного минералогического состава, но и с улучшением распределения бентонита по поверхности зерен при добавлении в смесь более грубой и менее дисперсной глины.

В настоящее время к такой же рекомендации приходят зарубежные исследователи [187].

Влияние формы зерен на прочность в сыром состоянии полностью укладывается в закономерности, разобранные в общем виде в § 3 гл. I части пятой (вывод IV).

Пересчеты результатов многочисленных опытов показывают, что различие прочности в сыром состоянии смесей с угловатыми и круглыми зернами уменьшается при более тщательном пригот-

овлении смесей. Влияние величины зерна на прочность в сыром состоянии значительно меньше, чем влияние количества глинистых составляющих.

Значительное повышение прочности смесей при смешивании на бегунах можно объяснить двумя причинами:

1. Улучшением обволакивания зерен глинистыми составляющими.

2. Уменьшением содержания влажности переувлажненной смеси. По этой второй причине наблюдается иногда в начале перемешивания падение прочности. По этой же причине наблюдается более заметное повышение прочности смеси, содержащей водорастворимые связующие добавки, как например, декстрин.

7. СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОЧНОСТЯМИ НА СЖАТИЕ, СРЕЗ И РАЗРЫВ СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

По данным разных авторов соотношение прочности на сжатие к прочности на срез укладывается в границы 3,5 : 1 до 5,5 : 1. Отношение прочности на разрыв к прочности на сжатие изменяется в границах 1 : 8 до 1 : 15. Отношение прочности на изгиб к прочности на разрыв в среднем 1 : 3.

Сопоставление этих величин с учетом физических процессов, происходящих при нарушении прочности, представляется весьма перспективным: оно может способствовать улучшению качества смесей, в частности при сопоставлении с их уплотняемостью, формуемостью и текучестью.

На фиг. 56 приведена по работам [129], [130], [188] с использованием круга Мора графическая связь между прочностями на разрыв, сжатие и срез.

Изменение высоты стержня [193]

Смесь	Опытные данные					Пересчет
	Высота стержня в см	Объемный вес в г/см ³	Деформация стержня в %	Давление p у основания стержня в кг/см ²	σ_w	$\frac{p}{\sigma_w} \cdot 100$ в %
Жидкостекольная	20	1,60	0	0,033	0,18	18
	30	1,55	0,40—0,52	0,046	0,18	25
То же	40	1,50	0,53 до 0,70	0,060	0,18	33
»	50	1,60	0,90 до 1,20	0,081	0,18	45
Песчано-глинистая	20	1,40	0	0,028	0,45	6,2
	30	1,35	0	0,040	0,45	9,0
То же	40	1,42	0,05 до 0,15	0,057	0,45	13
»	50	1,30	0,49 до 0,80	0,065	0,45	15
Опиловная	20	1,50	0	0,030	0,55	5,5
То же	30	1,47	0	0,044	0,55	8
»	40	1,52	0,04 до 0,09	0,068	0,55	12
»	50	1,45	0,46 до 0,60	0,072	0,55	13
»	60	1,48	1,05 до 1,08	0,089	0,55	16

величину 0,05 и даже 0,1 кг/см², а давление у основания стержня не должно превышать 10% от σ_w . Кроме того, можно заметить, что величина деформации доходит до 0,2%, что соответствует деформации, принятой при определении предела текучести.

9. УСЛОВНЫЙ ПРЕДЕЛ УПРУГОСТИ

Если под условным пределом пропорциональности понимать ту нагрузку, при которой сохраняется пропорциональность деформации нагрузки, то очевидно, что эта величина зависит от точности работы прибора. Поэтому удобнее воспользоваться понятием «условного предела упругости» (§ 2 гл. 1 части пятой).

За реально определяемую деформацию можно принять 0,01 мм, что при длине стандартного образца, равной 50 мм, составит $\frac{0,01}{50} \cdot 100 = 0,02\%$. Такая точность может считаться приемлемой при использовании хороших лабораторных приборов.

Результаты опытов автора по определению нагрузки, при которой обнаруживается указанная деформация, приведены на фиг. 58. Результаты аналогичных испытаний приведены в табл. 95 [194].

Таблица 95

Зависимость условного предела упругости от зернового строения смесей (по проф. Аулиху)

Марка песка	σ_w в кг/см ²	$\sigma_{0,01}$ в кг/см ²	$\frac{\sigma_{0,01}}{\sigma_w} \cdot 100\%$	Марка песка	σ_w в кг/см ²	$\sigma_{0,01}$ в кг/см ²	$\frac{\sigma_{0,01}}{\sigma_w} \cdot 100\%$
T02A	0,67	0,52	78	Ж016A	1,09	0,62	57
P02A	0,71	0,52	94	T0063A	0,31	0,26	87
Ж02A	1,18	0,83	70	P0063A	0,57	0,51	89
T016A	0,32	0,28	81	Ж0063A	0,72	0,60	73
P016A	0,54	0,52	95				

По мнению тех же авторов абсолютная величина приведенного соотношения может быть использована для оценки качества смесей по признаку недостаточной прочности в высушенном состоянии и текучести.

Необходимо подчеркнуть, что градуировка должна быть произведена отдельно для каждой смеси, так как изменение одной переменной может изменить соотношение величин σ_{wcp} и $\sigma_{wжс}$. Возможно, что качество глинистых составляющих оказывает на это соотношение наибольшее влияние.

Отношение $\sigma_{wжс} : \sigma_{wcp}$ принимается некоторыми авторами как признак хрупкости. Они считают, что более вязкие смеси для стального литья характеризуются отношением

$$\frac{\sigma_{wжс}}{\sigma_{wcp}} = 2,5 \div 3,0.$$

Более хрупкие смеси для чугунного литья характеризуются этим отношением в границах 3,75 до 4,5.

8. ДЕФОРМАЦИЯ СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ ПРИ СОХРАНЕНИИ НЕИЗМЕННОГО ОБЪЕМА

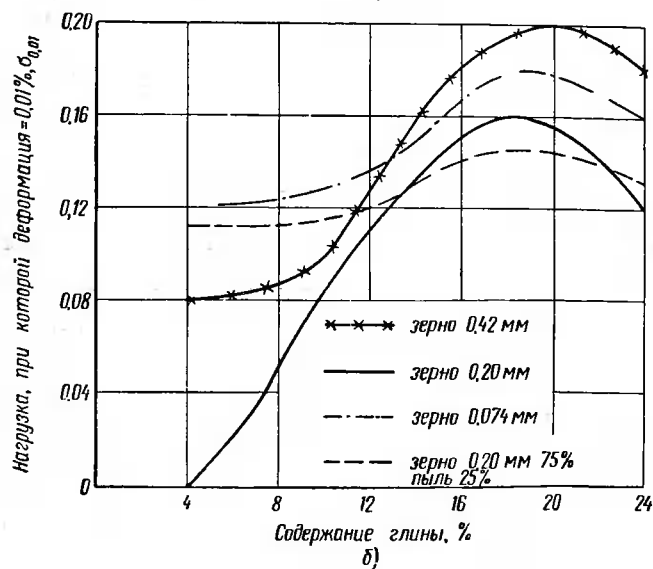
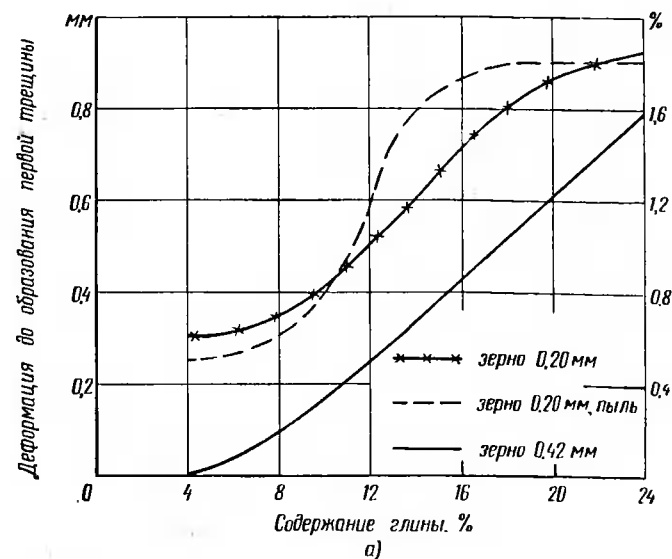
Такой вид деформации смесей представляет практическое значение для оценки деформации форм и стержней под воздействием собственного веса.

При среднем удельном весе уплотненного стержня около 1,7 г/см³, давление на его основание при высоте 10 см составит 17 Г/см² или около 0,02 кг/см². При высоте стержня 1 м давление на основание может дойти до 0,2 кг/см². Непосредственные опыты Н. Л. Соболя на заводе Станколит и В. О. Яковлева в ЦНИИТ-МАШе показали, что в зависимости от площади основания стержня изменение его высоты доходит до 2 мм, как это видно из табл. 93 и 94. Абсолютные значения полученных величин должны быть уточнены дополнительными исследованиями, но заведомо можно на основании этих опытов утверждать, что во избежание деформации стержня под воздействием собственного веса прочность стержневой смеси в необработанном состоянии должна превышать

Таблица 93

Изменение высоты стержня при высушивании [192]

Опытные данные		Пересчет	
Высота стержня H в см	Уменьшение высоты стержня в мм	Давление у основания стержня 0,01-1,7H в кг/см ²	Среднее уменьшение высоты в %
До 20	0,45—0,60	до 0,03	0,25
20—40	0,55—0,75	0,03—0,07	0,22
40—60	1,05—1,25	0,07—0,10	0,23
60—80	1,50—1,75	0,10—0,14	0,24
80—100	2,00—2,25	0,14—0,17	0,24



Фиг. 58. Влияние количества глины:

а — на деформацию до появления первой трещины; б — на условный предел упругости.

Из рассмотрения этих материалов могут быть сделаны следующие выводы:

1. В целях увеличения точности размеров отливок желательно иметь смеси, начало деформаций которых происходит под воздействием более высоких нагрузок, т. е. обладающих более высоким условным пределом упругости.

2. Условный предел упругости увеличивается при увеличении содержания глины только до некоторой границы. При переходе через эту границу условный предел упругости начинает снижаться. Такой границей является содержание около 20% глинистых составляющих.

3. Как правило, в обычных смесях содержание глинистых составляющих не доходит до этой границы, поэтому в пределах практически применяемых содержаний глины увеличение ее содержания приводит к повышению условного предела упругости.

4. Условный предел упругости, по данным табл. 95, составляет от 70 до 95% предела прочности, достигая максимума при среднем содержании глинистых составляющих у полужирных песков, отклоняясь от него при понижении и повышении содержания глинистых составляющих у тощих и жирных песков.

Более низкие значения отношения условного предела упругости к пределу прочности на сжатие приведены в табл. 96 [193]. Не останавливаясь на абсолютных значениях этого отношения, можно отметить понижение этого отношения у песчано-глинистых и опилочных смесей по сравнению с жидкостекольными. У жидкостекольных смесей это отношение достигает максимума при среднем содержании глины. Это было также обнаружено в опытах автора и проф. Аулиха с глинистыми смесями.

10. ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ И ПЛАСТИЧНОСТЬ

Систематических и непосредственных опытов по определению предела текучести проведено и опубликовано не было. Косвенно и условно можно судить о закономерностях изменения предела текучести по величине пластичности, выражающейся величиной той деформации, при которой обнаруживается первое нарушение сплошности образца. Опыты автора по определению этой величины приведены на фиг. 59.

Из этих опытов можно сделать вывод, что деформация, при которой обнаруживается первая трещина, увеличивается как

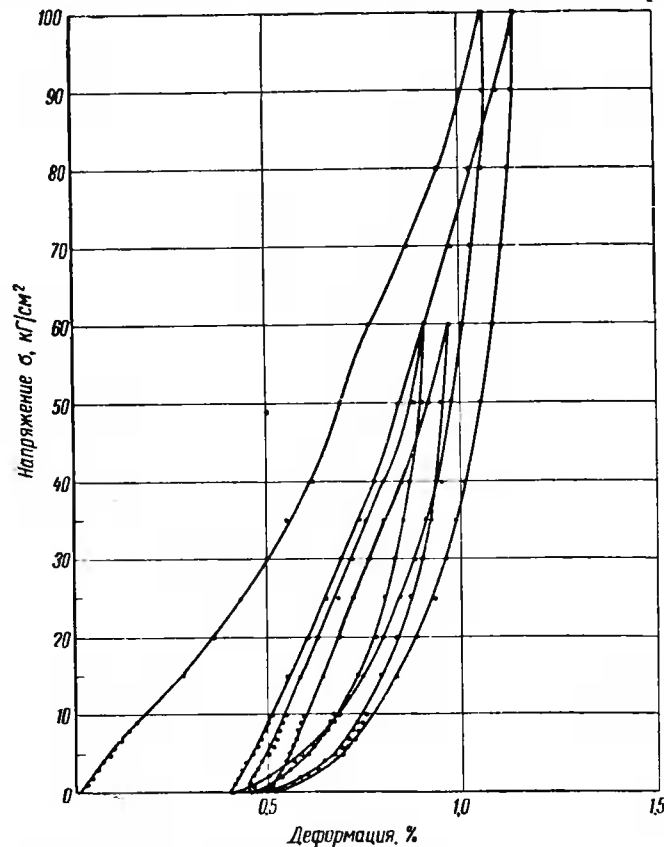
Таблица 96

Условный предел упругости
(по В. О. Яковлеву)

Характеристика смеси	$\frac{\sigma_{0,01}}{\sigma_w} \cdot 100$ в %
Безглинистые жидкостекольные	47—53
Жидкостекольные, содержащие:	
3% глины	50—54
5% глины	36—44
Песчано-глинистая	20—26
Опилочная	26—34

при увеличении содержания глинистых составляющих, так и при увеличении поверхности зерен смеси.

При оценке качества смеси по величине деформации в сочетании с величиной прочности можно полагать нежелательными смеси, обладающие чрезмерной деформацией при малых нагрузках.



Фиг. 59. Влияние повторных обжатий на остающиеся и исчезающие деформации.

При чрезмерно больших деформациях смеси, обнаруживаемых при малых нагрузках, затрудняется задача получения отливок с точными размерами. А чрезмерно малые деформации, обнаруживаемые при больших нагрузках, свидетельствуют о хрупкости смесей.

Поэтому можно считать обоснованными рекомендации выбирать смеси, у которых произведение величины разрушающей нагрузки на величину происходящей при этом деформации должно укладываться в средние границы, например от 0,4 до 1,5 [195].

Предел текучести резко снижается до 0,2% при увеличении содержания в смеси древесных опилок [196].

11. ДЕФОРМАЦИЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ ОБЪЕМА

Деформации с изменением объема смесей в сыром состоянии могут иметь место при извлечении моделей из форм и стержней из ящиков.

Общие закономерности этого вида деформаций чистого кварцевого песка могут быть выведены при рассмотрении табл. 97, составленной по опытам А. М. Дубровского, проведенным при участии автора.

Таблица 97

Средние примерные величины упругих и пластических деформаций отмытого кварцевого песка при комнатной температуре и при меняющемся давлении

Давление в кг/см ²	Деформация в %			Условный модуль упругости в кг/см ²
	пластическая (остающаяся)	упругая (исчезающая)	суммарная	
10	0,0	0,06	0,06	170
20	0,0	0,12	0,12	170
30	0,0	0,23	0,23	130
40	0,0	0,27	0,27	150
60	0,05	0,50	0,55	120
80	0,1	0,67	0,77	120
100	0,4	1,2	1,6	85

1. Остающаяся пластическая деформация отмытых кварцевых песков обнаруживается при давлении 40 кг/см².

2. Упругая деформация изменяется приблизительно пропорционально нагрузке, что выражается в сохранении почти постоянного модуля упругости.

Более подробное изменение деформации при давлении, превышающем 40 кг/см², приведено на фиг. 59, составленной по опытам тех же исследователей. Пересчет этих опытов приведен в табл. 98.

Таблица 98

Изменение упругих и пластических деформаций при повторных нагрузках

№ опыта	Давление в кг/см ²	Деформация в %		
		остающаяся (пластическая)	исчезающая (упругая)	суммарная
1	100	0,40 — 0,00 = 0,40	1,05 — 0,4 = 0,65	1,05 — 0,00 = 1,05
2	100	0,50 — 0,40 = 0,10	1,15 — 0,50 = 0,65	1,15 — 0,40 = 0,75
3	60	0,50 — 0,45 = 0,05	0,90 — 0,45 = 0,45	0,90 — 0,45 = 0,45
4	60	0,50 — 0,50 = 0,00	0,95 — 0,50 = 0,45	0,95 — 0,50 = 0,45

Опыты были поставлены с целью выявления остающихся (пластических) и исчезающих (упругих) деформаций. С этой целью люберецкий кварцевый песок был помещен в стальной цилиндр и последовательно сжимался дважды под давлением 100 кГ/см и затем дважды под давлением 60 кГ/см.

Таблица 99

Влияние давления на упругие деформации [197]

Давление в кГ/см ²	Упругая деформация в %
5	0,25
10	0,45
20	0,65
30	0,95

Из рассмотрения результатов опытов можно заметить:

1. Остающиеся деформации не были обнаружены только после четвертого сжатия. Это указывает на наличие перемещений и деформаций зерен даже после трех сильных обжатий.

2. Исчезающие упругие деформации сохраняются неизменными с точностью в пределах проведенного опыта. Они составили 0,65% при давлении 100 кГ/см² и 0,45% при давлении 60 кГ/см².

Результаты опытов, проведенных на кафедре литейного производства в МАМИ, приведены в табл. 99. Из рассмотрения этой таблицы видно, что упругие деформации составляют величину, значительно превышающую полученную в ранее приведенных опытах. Это расхождение может быть связано с тем, что во втором случае изучалась битумная смесь.

Несмотря на значительные расхождения в абсолютных значениях, можно утверждать, что при применении высоких давлений не представляется возможным пренебречь влиянием упругих деформаций на точность размеров отливок.

12. МОДУЛЬ УПРУГОСТИ

На основании определений условного предела упругости представляется возможным подойти к оценке модуля упругости при испытании в условиях неизменного объема. Он может быть принят равным для начальных деформаций

$$E = \frac{\text{Условный предел упругости}}{0,01} \text{ кГ/см}^2.$$

По данным автора максимальный модуль упругости

$$E = \frac{0,2}{0,01} = 20 \text{ кГ/см}^2.$$

По данным проф. Аулиха (табл. 103)

$$E = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ кГ/см}^2.$$

По данным В. О. Яковлева (табл. 104)

$$E = \frac{0,05}{0,01} = 5 \text{ кГ/см}^2 \text{ (не более).}$$

Таким образом, для глинистых смесей модуль упругости представляется более вероятным порядка 10 кГ/см² с повышением по мере уменьшения содержания глинистых составляющих.

Модуль упругости при испытаниях с изменением объема смеси может быть принят равным: для кварцевых песков, по данным А. М. Дубровского и автора — 170 кГ/см² (табл. 97); для песчано-битумных смесей, по данным Г. М. Орлова и др. (табл. 99), приблизительно 20 кГ/см².

13. СВЯЗЬ МЕЖДУ ТВЕРДОСТЬЮ И ПРОЧНОСТЬЮ СМЕСЕЙ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

Прямая связь между прочностью и твердостью существовать не может хотя бы потому, что на величину твердости вдавливанием оказывают значительное влияние пластические и упругие свойства материала. Поэтому связь между твердостью и прочностью может в общем виде носить только статистический характер и может иметь разный вид при разных смесях.

В табл. 100 приведена ориентировочная связь между твердостью и степенью уплотнения формы.

Таблица 100

Связь между твердостью и степенью уплотнения формы

Степень уплотнения	Сжатие в кГ/см ²	Твердость
Очень слабое уплотнение	0,05	20
Слабое уплотнение	0,1	40
Среднее уплотнение	0,1—0,2	50
Сильное уплотнение	0,3—0,5	70
Очень сильное уплотнение	Более 0,6	85

14. ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОЧНОСТИ В СЫРОМ СОСТОЯНИИ

При оценке σ_w надлежит прежде всего проверить, в какой степени применяемое в цехе среднее уплотнение соответствует стандартному уплотнению. При наличии расхождений следует ввести к приводимым ниже показателям, полученным в стандартных условиях при испытаниях на сжатие, поправку в соответствии со сказанным в § 1 гл. I части третьей.

Для форм, заливаемых в сыром состоянии, $\sigma_{wсж}$ в большинстве случаев укладывается в границы 0,3—0,5 кГ/см², повышаясь

до 0,8 при наиболее крупном стальном литье в более глинистые формы, как например, в формы, высушиваемые перед заливкой.

Стержни, к которым предъявляются наиболее высокие требования в отношении текучести, характеризуются очень низкой прочностью, доходящей до $0,05 \text{ кг/см}^2$. Прочность глинистых стержневых смесей доходит до прочности глинистых форм, т. е. до $0,3 \text{ кг/см}^2$.

Конкретные показатели прочности приведены в части седьмой.

Глава III

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ В ОБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обработка сырых смесей производится для повышения их свойств, главным образом прочностных. Обработка производится нагревом и химическими реактивами, в частности газом; не исключена возможность обработки другими методами. Уместно подчеркнуть, что обработке подвергается готовая форма. Более подробно должны быть рассмотрены свойства смесей, обработанных путем подвода тепла извне.

При оценке механических свойств смесей в обработанном состоянии следует учитывать не только величину достигаемых свойств, но и время, которое для этого расходуется. Во многих случаях желательное ускорение процесса даже в том случае, если при этом наблюдается некоторое ухудшение прочностных показателей.

Прочность смесей в «высушенном» состоянии должна рассматриваться как частный случай прочности в обработанном состоянии.

Название прочности «в высушенном» состоянии должно быть признано условным, так как на самом деле при нагреве происходят не только процессы высушивания, т. е. удаления воды, но и сложные химические процессы. Эти процессы резко различаются, но все же имеется ряд общих закономерностей, которые здесь и будут рассмотрены.

При рассмотрении закономерностей изменения прочности в обработанном состоянии следует учитывать не только влияние состава, как этим можно было ограничиться при рассмотрении прочности в сыром состоянии, но и влияние условий обработки смесей, в данном частном случае влияние температуры и продолжительности выдержки при повышенной температуре.

Закономерности изменения прочности при высушивании зависят от того, являются связующие добавки неорганического или органического происхождения. Поэтому следует рассматривать

отдельно влияние условий высушивания на прочность смесей с неорганическими и органическими упрочняющими добавками.

Закономерности изменения прочности в высушенном состоянии можно разделить на общие и частные. Наиболее общей является закономерность изменения скорости упрочнения при повышении температуры. По отношению к ней удобно рассмотреть влияние отдельных факторов и особенности упрочнения разных групп связующих добавок.

Большой практический интерес представляет во многих случаях скорость упрочнения, поэтому необходимо учитывать не только абсолютную прочность, но и скорость ее нарастания.

2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В ВЫСУШЕННОМ СОСТОЯНИИ

Температура оказывает на смесь упрочняющее и разупрочняющее влияние: упрочняющее влияние сказывается в развитии процессов спекания и химических процессов; разупрочняющее действие сказывается в развитии процессов сгорания. При повышенной скорости нагрева разупрочнение может образоваться и в результате растрескивания.

Таким образом, можно утверждать:

1. Каждой температуре соответствует равновесное состояние, которое достигается спустя некоторый промежуток времени.

Повышение температуры ускоряет приближение системы к равновесному состоянию. Поэтому надо, как это уже было сказано, рассматривать и сопоставлять две системы не «при прочих равных условиях», а по степени приближения к равновесному состоянию.

2. Процессы упрочнения и разупрочнения могут протекать только в некотором интервале температур: при недостаточной температуре процессы упрочнения могут вовсе не начаться, как, например, не начинается упрочнение затвердевающих добавок при температуре ниже температуры начала плавления. При избыточной температуре может произойти полное разрушение связующей добавки, как например, ее сгорание.

Во многих случаях процессы упрочнения могут быть описаны формулой, аналогичной формуле Аррениуса — Вант-Гоффа:

$$\ln k = B - \frac{A}{T},$$

где k — скорость реакции;
 T — абсолютная температура;
 A и B — постоянные коэффициенты.

В разбираемом случае под скоростью реакции можно понимать скорость нарастания прочности, т. е. $\frac{\sigma_b}{\tau}$.

Если под σ_b понимать наивысшую или заданную прочность и принять ее за единицу, то основную формулу можно выразить в виде

$$\lg \frac{1}{\tau} = b - \frac{a}{T}$$

или

$$\lg \tau = \frac{a}{T} - b,$$

где a и b — постоянные коэффициенты;
 τ — продолжительность процесса упрочнения в мин;
 T — абсолютная температура в °K.

Возможность применения этой формулы подтверждается результатами перерасчетов опытов автора и И. А. Виленской, приведенными в табл. 101. В этом частном случае $a = 3700 \pm 200$, $b = 6$.

Таблица 101

Опытное определение расчетных коэффициентов

Для получения на масляной смеси постоянной прочности 6,0–6,5 кг/см² при разных температурах и в течение разных промежутков времени

Температура		Продолжительность нагрева τ в мин	$\lg \tau$	$a = (\lg \tau + b) T$
в °C	в °K			
130	400	1080	3,02	3600
170	440	120	2,08	3500
200	475	60	1,77	3700
250	525	30	1,47	3900

При рассмотрении этой формулы можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении температуры продолжительность процесса, необходимая для достижения заданной прочности, сокращается приблизительно пропорционально логарифму времени.

2. Известно, что прочность развивается по нескольким механизмам и процессам, связанным с разными скоростями упрочнения, так, например, процессами полимеризации, конденсации и окисления. Поэтому при учете только одной средней скорости могут обнаружиться значительные расхождения между расчетными формулами и действительностью.

3. Формула имеет ограниченное применение, так как не удовлетворяет крайним условиям: начало и конец упрочнения происходят при конечных температурах.

Нижняя граница для водорастворимых добавок определяется температурой окружающей среды, при которой начинается испа-

рение жидкости; нижняя температура, при которой начинается упрочнение расплавляющихся добавок, определяется их температурой плавления.

4. Выведенные коэффициенты должны изменяться в зависимости не только от свойств связующей добавки, но и от условий проведения процесса упрочнения, в частности от зернового строения песка.

3. ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В ОБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ

Величина зерна оказывает влияние на прочность в обработанном состоянии в нескольких направлениях:

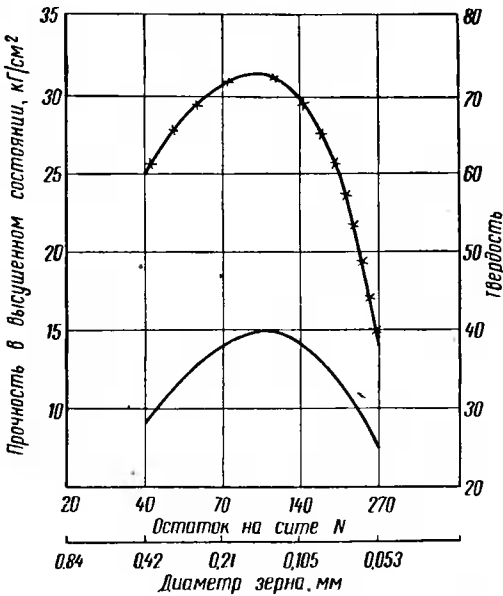
1. В точном соответствии с первой закономерностью изменения прочности формовочных смесей наибольшая прочность наблюдается при оптимальной толщине слоя упрочняющей добавки. Поэтому при недостатке связующей добавки может наблюдаться снижение прочности при добавлении к смесям мелких зерен.

При избытке связующей добавки может наблюдаться повышение σ_b , если поверхность смеси увеличивается. Это может быть достигнуто применением более мелких зерен.

В качестве примера можно привести нарастание прочности при изменении величины зерна, соответствующей остатку зерен на ситах № 100 и 140, и при наличии в смеси 1,25% связующей добавки, как представлено на фиг. 60 [161].

Однако может наблюдаться падение прочности при добавлении в смесь глины, как это показано в табл. 102, составленной по опытам автора.

2. При наличии химической связи между добавляемыми зернами и связующей добавкой может наблюдаться изменение прочности за счет образования химических процессов.

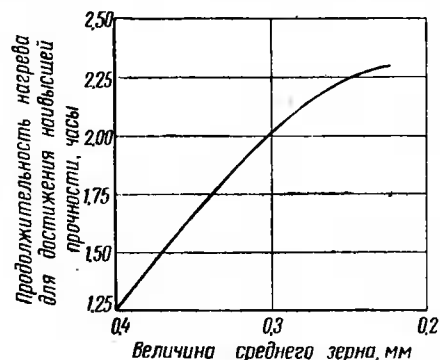


Фиг. 60. Влияние величины зерна на прочность.

Влияние количества глинистых составляющих на прочность песчано-масляных смесей

Количество глинистых составляющих в %	Расчетная поверхность F смеси в $см^2$	Прочность на сжатие смеси в высушенном состоянии σ_f	Произведение $F \cdot \sigma_f$
0,0	88	50	4400
0,5	187	47	8700
1,0	287	34	9700
2,0	486	10	4860
4,0	884	5	4400

3. Уменьшение величины зерна может затруднить конвекционные потоки в высушиваемых стержнях и формах, замедлить их прогревание и приближение к равновесному состоянию. Поэтому при уменьшении размера зерен замедляется длительность нагрева стержней, необходимая для достижения наивысшей прочности; это утверждение подтверждается опытами, результаты которых приведены на фиг. 61.



Фиг. 61. Влияние величины зерна на продолжительность нагрева для достижения наивысшей прочности.

4. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ ВЫСУШЕННЫХ СМЕСЕЙ

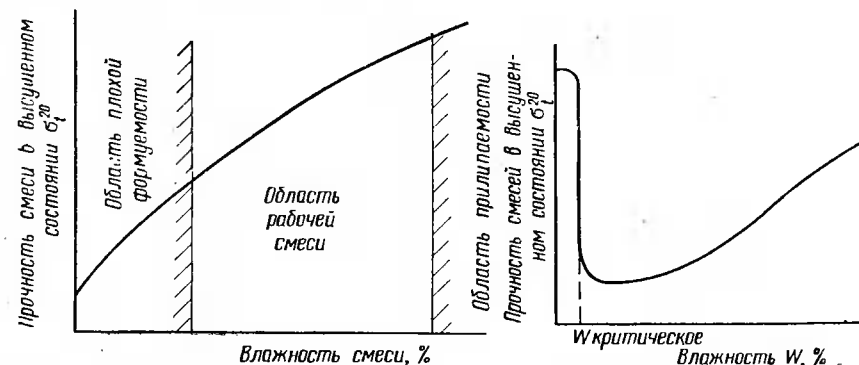
Влажность оказывает на прочность стержней в высушенном состоянии прямое и косвенное влияние, вызывая увеличение и уменьшение прочности.

К упрочняющим факторам можно отнести смазывающее действие воды и покрытие всей поверхности зерен достаточным количеством жидкой или вязкой связующей добавки. К разупрочняющим факторам можно отнести разрыв пленок парами испаряющейся воды. Разупрочняющее действие наблюдается у сме-

сей с пленкообразующими связующими добавками. Схема влияния воды на прочность в высушенном состоянии смесей с упрочняющими добавками, не образующими плотной пленки, приведена на фиг. 62.

Из ее рассмотрения можно сделать выводы:

1. При увеличении содержания воды прочность в высушенном состоянии увеличивается.



Фиг. 62. Влияние влажности на прочность смесей с упрочняющими добавками, не образующими плотной пленки.

Фиг. 63. Влияние влажности на прочность смесей с упрочняющими добавками, образующими плотную пленку.

2. Избыточное содержание воды не рекомендуется из-за увеличения опасности прилипания.

3. Недостаточное содержание воды не рекомендуется из-за ухудшения формовкости.

Схема влияния воды на прочность смесей с упрочняющими добавками, образующими плотную пленку, приведена на фиг. 63 по результатам опытов А. М. Лясса и Е. И. Колотилина. Эта схема будет в дальнейшем рассмотрена более подробно.

5. ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ

Особенность влияния температуры на прочность глинистых смесей в высушенном состоянии связана с появлением в них модификационных изменений при нагреве. В табл. 103 приведены результаты опытов автора по определению прочности смесей: а) после нагрева их до разных температур, б) после нагрева, разрушения, высушивания и увлажнения (σ_w), в) после нагрева, разрушения, увлажнения и их повторного нагрева (σ_{100}^{20}). Из рассмотрения этой таблицы можно сделать дополнительные к ранее сделанным выводы:

1. Прочность после нагрева до разных температур и охлаждения до комнатной температуры повышается скачками. Провалы прочности могут быть связаны: а) с разрывом связей между зернами

Изменение прочности при нагреве глинистых смесей

Нагрев до температуры в °С	Прочность в кг/см ²					
	σ_t^{20}	σ_w	σ_{100}^{20}	σ_t^{20}	σ_w	σ_{100}^{20}
	Естественного девонского песка			Синтетической смеси кварцевого песка с пулковской глиной		
20	1,0	0,7	7,6	—	0,8	9,7
100	4,2	0,6	7,6	4,1	0,9	9,7
150	5,5	0,7	7,6	11,8	0,9	—
200	6,8	0,7	—	11,9	—	9,3
250	7,1	0,6	—	8,6	0,8	8,3
300	8,6	0,6	7,5	11,1	0,8	11,0
350	7,6	0,5	6,2	7,6	0,8	9,6
400	12,7	0,5	4,4	15,1	0,8	8,6
500	7,1	0,4	4,3	13,6	0,7	9,6
600	10,6	0,3	1,5	8,3	0,6	5,0
700	10,9	0,2	0,4	18,7	0,2	1,1
800	9,3	0,1	0,2	13,1	0,2	0,2

после нагрева до температур дегидратации глинистых составляющих (250—350° С); б) за счет их усадки и после нагрева до температуры перехода кварца из модификации альфа в модификацию бета (575° С); в) разными скоростями нагрева зерен разного диаметра и с разными коэффициентами линейного расширения.

2. Обращает на себя внимание нарастание прочности после нагрева до температуры около 350° С. Оно может быть вызвано частичным спеканием глинистых составляющих. Можно полагать, что при отсутствии процессов спекания не будет наблюдаться и процессов повторного нарастания прочности.

3. Падение прочности наблюдается у образцов смесей, нагретых до более высоких температур, охлажденных, разрушенных, вновь изготовленных и испытанных после нагрева до температуры 100° С. Это падение может быть связано с понижением степени дисперсности глинистых составляющих при их частичной дегидратации.

4. Более заметный провал прочности может наблюдаться у глин, обладающих повышенной усадкой при нагреве, как например, у бентонитов. Однако часто эти глины обладают также способностью обратного спекания при дальнейшем нагреве. Поэтому нельзя безоговорочно не рекомендовать бентониты для использования их в смесях для форм, высушиваемых перед заливкой.

6. ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ВЫСЫХАЮЩИХ СВЯЗЫВАЮЩИХ ДОБАВОК

Особенности упрочнения высыхающих связующих добавок связаны с их особыми свойствами, рассмотренными в § 2 гл. I части второй.

1. Прочность высыхающих добавок в значительной степени зависит от их способности образовывать коллоидные системы. Поэтому при потере этой способности снижается прочность. В качестве примера можно привести падение прочности в высушенном состоянии смесей на сульфитном щелоке, который предварительно подвергался длительному кипячению. Можно полагать, что при этом происходит расщепление молекулы и образуется раствор, а не коллоидная система. По этой причине не допускается доведение до кипения воды, в которой растворяется сульфитный щелок или его барда.

2. Упрочнение высыхающих добавок начинается при комнатной температуре; поэтому к ним относится сказанное о возможности снижения действительной прочности из-за того, что процесс упрочнения смеси может начаться до момента приготовления из нее формы. Поэтому рекомендуется всячески предохранять смеси на водорастворимых добавках от преждевременного обсыхания (§ 3 гл. II части третьей). Особенно отрицательно сказывается применение теплых смесей.

3. В высыхающих добавках можно ожидать особо яркого проявления процессов миграции. Поэтому от форм из смесей с высыхающими добавками можно ожидать повышенной поверхностной прочности и пониженной осыпаемости.

Для уменьшения осыпаемости высушенных стержней, содержащих водорастворимые добавки, успешно применяют прием, заключающийся в опрыскивании поверхности стержней водой. При последующем высыхании стержней часть водорастворимых добавок мигрирует к их поверхности, и, увеличивая поверхностную прочность, снижает их осыпаемость.

7. ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК

Из рассмотрения приведенной на фиг. 63 схемы упрочнения смесей с пленкообразующими добавками можно было сделать следующие формальные выводы:

1. Наибольшая прочность развивается у смесей, не содержащих воды.

2. При переходе через критическое содержание воды прочность резко снижается.

3. После перехода через наименьшее значение прочность снова начинает повышаться.

Падение прочности при приближении к критическому содержанию влажности объясняется разрывом пленки связующей

добавки, как это было доказано непосредственными опытами А. М. Ляссом.

Поэтому рассмотрение существа особенностей упрочнения пленкообразующих добавок приводит к следующим выводам:

1. Введение жидкостей в смесь, содержащую пленкообразующие добавки, может привести к падению прочности смесей, если жидкость не образует раствора с активной связующей добавкой. В этом случае жидкость при своем испарении разрывает пленку, что приводит к падению прочности.

2. В частности при применении смесей, содержащих пленкообразующие добавки, может оказаться целесообразным не вводить в смесь воды. Это осуществимо при двух обязательных условиях:

а) В таких смесях вместо воды должна применяться другая жидкость. К числу таких безводных добавок относится связующая добавка ЗИЛ, рассмотренная в § 8 гл. III части второй;

б) Применение безводных связующих добавок целесообразно только в таких литейных, где исключена возможность попадания в смесь влажных песков. В противном случае можно опасаться неожиданного снижения прочности с результирующими вспышками брака.

3. Решающей является прочность разрыва пленки (когезия), а не прочность отрыва пленки от зерен (адгезия), как это показали непосредственные опыты, проведенные А. М. Ляссом. Результаты этих опытов приведены в табл. 104. Из рассмотрения этой таблицы можно усмотреть резкое превышение прочности когезии над прочностью адгезии.

Таблица 104

Примерные прочности когезии и адгезии типовых связующих добавок [178]

Связующая добавка	Прочность пленки в высушенном состоянии в кг/см ²		Связующая добавка	Прочность пленки в высушенном состоянии в кг/см ²	
	при разрыве (когезия)	при отрыве (адгезия)		при разрыве (когезия)	при отрыве (адгезия)
Пulвербакелит в виде 30%-ного раствора в ацетоне	1200	75	Масло подсолнечное	380	11
Жидкое стекло	850	Более 100*	ЗИЛ	320	11
Карбидоформальдегидная смола (МФ-17)	750	9	ГТФ	220	14
Олифа натуральная	480	22	Декстрин (30%-ный водный раствор)	200	28
УГУ	430	10	Сульфитно-спиртовая барда	150	11
П	400	21			

* Адгезия превышает прочность кварцевых штоков.

4. Можно полагать, что прочность смеси повышается при наличии на ее поверхности тонкого слоя адсорбированной влаги. Эта закономерность была показана непосредственными опытами, результаты которых приведены в табл. 111.

8. ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПРОДУВАНИИ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

У ряда авторов нет единой точки зрения на закономерности упрочнения жидкостекольных смесей, упрочняемых продуванием углекислым газом.

В дальнейшем будет изложена точка зрения на эти закономерности, подробно рассмотренная в статье автора и Б. Ю. Фейгельсона и дополнительно изученная автором совместно с Н. Х. Ивановым.

1. Упрочнение жидкостекольных смесей основано главным образом на образовании геля кремнезема. В зависимости от метода обработки формы гель может выпасть с разной степенью чистоты. Непосредственные опыты А. М. Лясса показали, что при продувании смеси газом СО₂ выпадает более чистый гель кремнезема.

2. При продувании жидкостекольной смеси углекислым газом происходит прежде всего его сильное растворение в смеси. Поэтому изменение прочности может происходить и после окончания процесса продувания смеси углекислым газом за счет того газа, который находился в виде раствора в воде.

3. При увеличении продолжительности продувания смеси углекислым газом прочность увеличивается, доходя до максимума, после чего снижается. Это падение вызывается переходом соды (Na₂CO₃) в бикарбонат (NaHCO₃) (табл. 105). Образованию бикарбоната способствует повышение влажности смеси и концентрации СО₂. Наивысшая прочность достигается не только через разные промежутки времени, но и при вдувании разного количества газа при разной скорости. Можно полагать, что в резуль-

Таблица 105

Влияние на состав смеси продолжительности продувания ее газом СО₂ (Берг П. П. и Фейгельсон Б. Ю.)

Продолжительность продувания	Состав смеси		Пересчет					
	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	Содержание Na ₂ O			Содержание CO ₂		
			Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	Всего Na ₂ O	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	Всего CO ₂
15 сек	0,80	0,10	0,47	0,04	0,51	0,33	0,05	0,38
15 мин	0,70	0,25	0,41	0,09	0,50	0,29	0,13	0,12
25 мин	0,55	0,50	0,32	0,18	0,50	0,23	0,26	0,49

тате обработки жидкостекольной смеси углекислым газом выпадает не чистый гель кремнезема, поэтому при вдувании избытка CO_2 можно ожидать перестройки выпавшего геля. Для реальных смесей продолжительность продувания составляет величину порядка 1 мин.

4. Фронт упрочненного слоя продвигается при вдувании газа CO_2 вначале пропорционально продолжительности продувания, а через несколько десятков секунд пропорционально корню квадратному из продолжительности продувания (табл. 106). Отсюда по аналогии с процессами распространения тепла в форме напрашивается принципиальный вывод, что в начальные моменты процесс ограничивается сопротивлением на поверхности формы, а в последующие моменты — сопротивлением внутри формы, в частности ее газопроницаемостью.

Таблица 106

Продвижение фронта упрочненного слоя при продувании газов CO_2
(Берг П. П. и Фейгельсон Б. Ю.)

Показатели	Продолжительность продувания τ в сек					
	5	15	25	25	50	65
Глубина упрочненного слоя H в мм	Опытные данные					
	25	75	110	140	180	190
H/τ	Пересчет					
	5,0	5,0	4,4	4,0	3,6	2,9
$H/\sqrt{\tau}$	15	20	22	24	26	24
$H = 5\tau$	25	75	(125)	(175)	(250)	(320)
$H = 23\sqrt{\tau}$	(52)	(90)	115	138	162	185
Разность между расчетной глубиной и действительной						
При $H = 5\tau$. . .	0	0	—	—	—	—
При $H = 23\sqrt{\tau}$	—	—	+5	—2	—18	+5

5. Фронт продвижения упрочненного слоя приблизительно пропорционален корню квадратному из давления, если оно не превосходит 2,5 атм (табл. 107).

6. При разбавлении газа CO_2 другими газами скорость упрочнения снижается, но при этом улучшается усвоение газа формой.

Поэтому для экономии газа целесообразно разбавлять газ CO_2 воздухом (табл. 108). По этой же причине улучшается усвоение газа формой при подведении его с меньшей скоростью и под очень малым давлением.

Влияние давления на глубину упрочненного слоя при продолжительности продувания 20 сек
(Берг П. П. и Фейгельсон Б. Ю.)

Показатели	Давление p в кг/см^2								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Опытные данные									
Глубина упрочненного слоя H в мм	100	120	138	155	160	170	177	182	190
Пересчет									
$H = 100\sqrt{p}$	100	122	142	158	173	187	200	212	224
Разность между расчетной глубиной и опытными данными . . .	0	+2	+4	+3	—	—	—	—	—

Таблица 108

Изменение прочности в кг/см^2 в зависимости от концентрации и продолжительности продувки
(Берг П. П. и Фейгельсон Б. Ю.)

Продол- житель- ность выдержки до испы- тания с момента изготов- ления в ч	Продувка CO ₂				Продувка CO ₂ + воздух								Продувка CO ₂ + кислород							
					50+50				75+25				50+50				75+05			
	Продолжительность продувки в сек																			
	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
0,5	0,8	12,5	11,0	11,5	7,0	7,7	13,0	11	7,2	12,5	13	12	7,7	10,5	11	9	8,0	9,7	10,0	11,0
24	9,5	12,5	9,5	7,5	—	9,0	14,5	—	9,0	11,5	10	11,5	10,0	10,5	10	—	8,0	10,0	11,0	11,5
72	15,0	14,0	5,5	4,0	14,5	13,0	15,0	14	14,5	15,0	—	11,5	14,0	14,5	15	10	10,5	—	12,5	13,0
100	15,5	15,0	5,5	—	17,0	17,5	19,0	11	16,0	17,0	17,5	14,5	—	18,5	19	10	13,0	14,0	13,0	14,0
168	17,5	15,0	5,5	4,5	17,5	20,0	23,5	10	17,0	17,5	18,5	15,0	15,5	21,5	22	14	17,0	17,0	16,0	17,5

Оптимальная влажность, при которой достигается наивысшая прочность жидкостекольных смесей [202]

Жидкое стекло с модулем 2,2—3,1, плотностью 45—58 Ве, удельным весом 1,45—1,66

Содержание жидкого стекла g в %	2	3	5	7
Содержание воды в смеси при наивысшей прочности по опытным данным	1,5—1,7	2,5—3,5	3,0—3,5	4,5
Расчет по формуле $1 + 0,5g$	2,5	2,5	3,5	4,5

10. На прочность оказывает влияние не только суммарное количество воды, но и последовательность ее введения в смесь. Результаты опытов [183] приведены в табл. 111.

Из таблицы можно сделать выводы:

1) Нецелесообразно высушивать песок до полного удаления воды, так как при этом замечается заметное снижение прочности.

2) Зерна могут быть высушены до содержания воды около 0,1—0,2%, так как при этом прочность значительно повышается. Этому содержанию соответствует адсорбированный слой воды.

3) Применение более влажных зерен несколько затрудняет точную дозировку содержания воды в готовой смеси.

4) На прочности не сказывается, вводится ли вода вместе с жидким стеклом или непосредственно в смесь.

Значительное влияние на свойства смесей оказывает различие структуры и степени дисперсности кремнегеля. Однако этот вопрос в настоящее время совершенно не изучен.

9. ДЕФОРМАЦИЯ СМЕСЕЙ ПРИ ВЫСУШИВАНИИ

Практическое значение деформаций смесей при высушивании может проявиться в изменении размеров стержней и форм, а также в появлении трещин.

Решение вопроса усложняется тем, что при нагреве часть составных частей смеси увеличивается, а часть уменьшается по длине и по объему. Ориентировочные коэффициенты линейного расширения типовых минералов были приведены в табл. 23. В реальных смесях имеется одновременно и песок и глина.

Результативное изменение размеров песчано-глинистой смеси при нагреве приведено на фиг. 64 на сводной диаграмме, составленной автором на основе своих опытов и в соответствии с имеющимися литературными данными.

Из рассмотрения этой диаграммы могут быть сделаны выводы:

1. При низких и средних температурах происходит расширение, а при более высоких — усадка смеси. Практическое значение

7. При повышении содержания едкого натра в жидком стекле уменьшается стойкость золя кремнезема, а следовательно, и тот промежуток времени, в течение которого смесь сохраняет формуемость. Примерная связь между модулем жидкого стекла и формуемостью приведена в табл. 109.

Таблица 109

Живучесть смесей на жидком стекле в зависимости от модуля жидкого стекла

Модуль жидкого стекла	Продолжительность сохранения формуемости смесей
2,2	4·24 = 96 (четверо суток)
2,5	2·24 = 48 (двое суток)
2,7	8 (смена)
3,2	3

8. Стойкость золя снижается также при повышении концентрации в нем силиката натрия. Поэтому при высушивании (снижении содержания воды) из золя скорее выпадает гель и начинается процесс упрочнения смеси. Наличие этого процесса позволяет отнести жидкое стекло к высыхающим добавкам, не укладываемым безоговорочно и полностью в классификацию, приведенную в табл. 26.

9. Пересчеты ряда опытов, проведенных разными исследователями и автором, показывают, что наиболее высокая прочность достигается не только при полном смачивании всей поверхности зерен, но и при достаточно полном насыщении водой жидкого стекла. Таким образом, оптимальная прочность может быть достигнута при содержании воды

$$W = W_1F + W_2g,$$

где F — поверхность смеси;

g — количество связующих добавок;

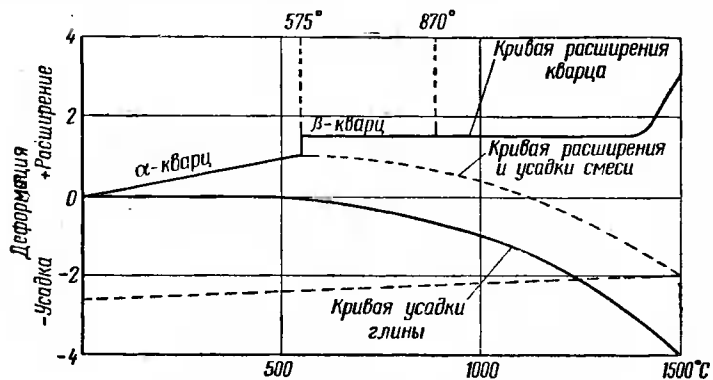
W_1 и W_2 — количества воды, которые должны быть добавлены на 100 см² поверхности смеси и соответственно на 1% жидкого стекла.

На 1% сухого остатка жидкого стекла, можно считать, в среднем требуется 1% воды. Но так как в 1% жидкого стекла содержится в среднем около 0,5% воды, то фактически на 1% жидкого стекла надо принять $W_2 = 0,5$.

В табл. 110 приведены результаты опытов Петржелла. Пересчет этих опытов подтверждает высказанные соображения и показывает достаточно удовлетворительное совпадение расчетных и опытных данных в предположении, что на смачивание поверхности зерен требуется 1% воды, а на насыщение жидкого стекла водой требуется 0,5% на 1% жидкого стекла.

этого изменения знака при нагреве будет рассмотрено при разборе деформаций смесей в нагретом состоянии § 3 гл. V части пятой.

2. Усадка происходит только за счет глины. Поэтому уменьшение усадки может быть достигнуто за счет уменьшения усадки



Фиг. 64. Схема деформации глинистой смеси.

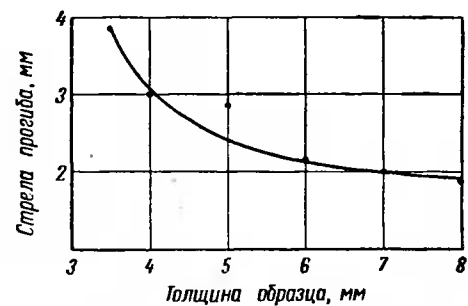
глины. Усадка глины зависит как от ее минералогического состава, так и от содержания в ней механически примешанной воды. Поэтому наблюдается уменьшение размеров стержней при высушивании как в случаях повышения влажности смеси, так и в случаях увеличения содержания в них глины [198].

10. ДЕФОРМАЦИЯ ВЫСУШЕННЫХ СМЕСЕЙ

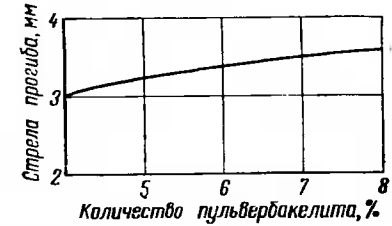
Деформация высушенных смесей обнаруживается при прогибании длинных стержней, а также при изготовлении оболочковых форм, например радиаторных. Поэтому чрезмерная деформация нежелательна. Но в еще большей степени недопустима чрезмерно малая деформация, свидетельствующая о хрупкости стержней. Можно полагать, что поломка стержней в очень многих случаях является следствием не недостаточной их прочности, а их неспособности к упругой деформации.

По опытам В. Н. Бехалова стрела прогиба стержней длиной 250 мм и с поперечным сечением 25,25 мм составляет для качественных смесей около 0,15—0,25 мм при нагрузке 10 кг и 0,30—0,45 мм при нагрузке 20 кг. Модуль упругости стержневых смесей составил по его данным $40\,000 \pm 10\,000 \text{ кг/см}^2$ при изгибе [199].

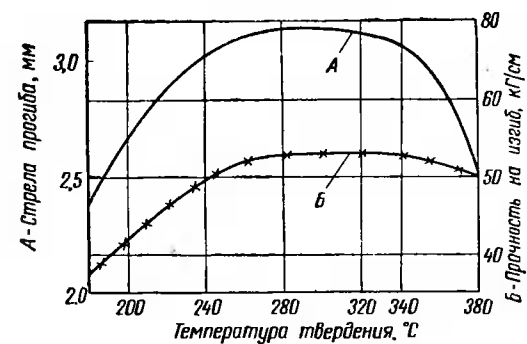
По опытам с пульвербакелитовыми смесями для оболочковых форм [200] стрела прогиба при расстоянии между опорами 200 мм сильно зависит от толщины образца (фиг. 65), мало зависит от количества добавляемого пульвербакелита (фиг. 66) и сильно зависит от температуры твердения (фиг. 67).



Фиг. 65. Влияние толщины образца на стрелу прогиба.



Фиг. 66. Влияние количества пульвербакелита на стрелу прогиба.



Фиг. 67. Влияние температуры твердения на стрелу прогиба и прочность на изгиб.

11. НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОЧНОСТИ ВЫСУШЕННЫХ СМЕСЕЙ

Прочность на сжатие формовочных глинистых смесей в высушенном состоянии изменяется ориентировочно в границах 1—2 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. Прочность на разрыв стержневых смесей — 1—10 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. Превышение прочности на разрыв значительно выше 10 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ обычно не является необходимым, так как вызывает только перерасход связующей добавки.

Глава IV

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

1. ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

Механические свойства смесей в прокаленном состоянии отличаются от механических свойств в высушенном состоянии главным образом двумя показателями:

1. Более высокой температурой нагрева перед началом охлаждения. Такой температурой можно принять температуру заливки металла в форму. Поэтому на этот вид свойств могут быть распространены многие закономерности, установленные для свойств смесей, нагретых до более низких температур.

2. Наличием непосредственного соприкосновения формы с отливкой, между тем как высушенная форма рассматривается до заливки ее жидким металлом. Поэтому смесь оказывается зажатой охлаждающимся металлом, что не может не оказать влияния на ее свойства после охлаждения. По этой же причине нельзя безоговорочно отождествлять свойства смеси, нагретой до температуры заливки жидким металлом и охлажденной, со свойствами смеси, находящейся во время охлаждения под большим давлением усаживающегося металла.

Практическое значение прочности в прокаленном состоянии форм и стержней очень велико, так как она характеризует их выгибаемость из отливки. Поэтому прочность в охлажденном состоянии должна быть по возможности низкой.

При рассмотрении возможностей снижения прочности в прокаленном состоянии надо по-прежнему исходить из факта наличия процессов, вызывающих упрочнение и разупрочнение смесей. Поэтому задача улучшения выбиваемости связана, с одной стороны, с созданием условий, благоприятствующих развитию процессов, вызывающих разупрочнение смесей, а с другой стороны, условий, препятствующих развитию процессов, вызывающих их упрочнение.

К числу процессов, вызывающих упрочнение смесей в прокаленном состоянии, относится спекание и сплавление. Поэтому улучшение выбиваемости может быть достигнуто прежде всего торможением этих процессов. К числу таких мероприятий можно отнести:

1. Уменьшение количества и полное устранение добавок, вызывающих спекание смесей.
2. Изменение температуры спекания и плавления смесей.
3. Уменьшение давления на смеси в процессе охлаждения отливки.
4. Сокращение продолжительности процесса спекания.
5. Создание прослоек между спекающимися зернами.

Необходимо подчеркнуть, что на улучшение выбиваемости оказывает влияние не только прочность в охлажденном состоянии, но и пригораемость формы, т. е. степень ее пристаивания к поверхности отливки. Это свойство будет рассмотрено в 1 гл. четвертой части. При изготовлении стержней в виде оболочек фактор пригораемости оказывает тем большее влияние, чем тоньше оболочка.

2. ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СПЕКАЮЩИХСЯ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

К неспекающимся упрочняющим добавкам относятся многие органические добавки. Поэтому наиболее действенным мероприятием для улучшения выбиваемости является замена неорганических добавок неспекающимися органическими. Однако и органические добавки могут придавать смесям разные степени выбиваемости. Она ухудшается в тех случаях, когда органическая упрочняющая добавка при нагреве коксуется. В свою очередь, процесс коксования зависит от состава газовой фазы в процессе нагрева смесей: процесс коксования развивается тем сильнее, чем менее окислительная атмосфера в форме. Как общее правило, процесс коксования развивается более полно у добавок, упрочняющих за счет процессов спекания, как например, пеки, в частности древесный пек. В наименьшей степени процесс коксования развивается у масляных химических добавок.

Можно полагать, что процесс коксования получает более полное развитие при наличии в органических добавках свободного углерода и менее полное развитие при наличии в ней углерода в виде легко сгорающих химических соединений.

Уменьшение содержания спекающихся и плавящихся добавок является особенно хорошо действующим мероприятием в случае применения таких легкоплавких добавок, как например жидкое стекло. В этом случае снижение содержания жидкого стекла в смеси является наиболее действенным мероприятием по улучшению выбиваемости смесей. По опытам автора и Н. Х. Иванова содержание жидкого стекла в смесях может быть снижено до 3,5 и даже до 3,0 %.

3. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

Выбиваемость резко ухудшается при наличии в смеси спекающихся добавок, как например легкоплавкой глины, при заливке крупных стальных деталей.

По этой же причине наблюдается плохая выбиваемость форм и стержней, изготовленных на жидком стекле. Отсюда следует, что огнеупорность оказывает большое влияние на выбиваемость.

Из рассмотрения в шестой части вопросов, связанных с процессами пригара, будет видно, что вопреки распространенному

Таблица 112

Влияние количества глинистой составляющей на огнеупорность

Количество глинистой составляющей в %	Огнеупорность (по пироскопу) с точностью $\pm 50^\circ \text{C}$
5	1500
10	1420
15	1320
20	1230
25	1150
30	1050

мнению высокая огнеупорность имеет подчиненное значение как признак непригораемости отливки [2]. Но она оказывает очень большое влияние на выбиваемость. Поэтому на вопросе огнеупорности смеси необходимо остановиться несколько подробнее.

Прежде всего необходимо подчеркнуть, что огнеупорность является понятием относительным, так как она зависит в очень большой степени от условий проведения испытаний, в частности от скорости повышения температуры, от давления, от состава газовой фазы.

Поэтому для уменьшения влияния внешних факторов применяется сравнение условной огнеупорности испытуемого материала с эталоном. Эталоном является пирамидка высотой около 50 мм с длиной основания 15 мм. Из испытуемого материала изготавливается такая же пирамидка. Испытание производится путем сопоставления поведения эталона, называемого пироскопом, и пирамидки из испытуемого материала.

Из многочисленных проведенных опытов может быть установлена очень важная закономерность: огнеупорность смеси определяется не абсолютной огнеупорностью отдельных ее составляющих, а их соотношением.

Из этой общей закономерности может быть сделан ряд выводов:

1. Огнеупорность смеси снижается при добавлении глины к кварцевому песку, как это видно из результатов опытов автора, приведенных в табл. 112.

2. Эвтектика двойной системы глинозем — кварц получается при приблизительном содержании 8% глинозема и 92% кварца. Поэтому смесь, содержащая менее огнеупорную глину в меньшем количестве, может оказаться более огнеупорной, чем смесь, содержащая более огнеупорную глину, но в большем количестве, как это схематически изображено на фиг. 68.

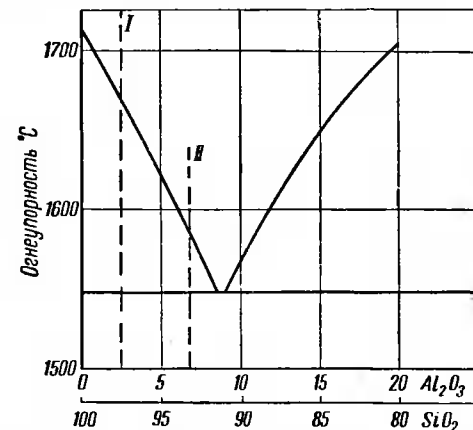
Поэтому при добавлении бентонита с низкой огнеупорностью смесь может получиться более огнеупорной, чем при добавлении высокоогнеупорной глины. Причина большей огнеупорности бентонитовой смеси заключается в добавлении бентонита в меньшем количестве.

3. Смесь обладает тем меньшей огнеупорностью, чем большее количество разных окислов в ней представлено.

Поэтому наблюдается снижение огнеупорности смеси при введении в нее глины разного минералогического состава. При этом каждая в отдельности глина может быть весьма огнеупорной.

При изменении количества имеющейся примеси огнеупорность может изменяться в соответствии с диаграммами состояния. По этим соображениям А. М. Лясс предложил для увеличения огнеупорности жидкостекольной смеси вводить в нее глинозем [203] в виде боксита в количестве примерно до 3% при одновременном добавлении до 5% шамота преимущественно при стальном литье или до 2,09% органических материалов при чугуном литье.

4. Огнеупорность снижается при создании условий, приближающих систему к равновесному состоянию. Поэтому огнеупорность снижается при уменьшении размеров зерен, как это подтверждается результатами непосредственных опытов, приведенных в табл. 113 [204].



Фиг. 68. Схема влияния на огнеупорность присадки мало- и высокоогнеупорных глин: I — присадка малоогнеупорной глины в малом количестве; II — присадка высокоогнеупорной глины в большом количестве.

Таблица 113

Зависимость огнеупорности от величины зерна [204]

Минерал	Температура	Величина зерна в мм			
		Более 0,40	От 0,30 до 0,40	От 0,15 до 0,30	Менее 0,15
Полевой шпат	Плавнения	1365	1320	1295	1280
То же	Спекания	1265	1240	1200	1100
Слюда	»	—	1120	1120	1115

По той же причине наблюдается снижение огнеупорности при увеличении однородности смеси разных окислов, обладающих порознь высокой огнеупорностью.

Как частный, но часто встречающийся, случай необходимо отметить выбиваемость стержней в виде тонких оболочек. В этом случае выбиваемость тесно связана с пригораемостью. В целях уменьшения пригара может оказаться целесообразным снижение огнеупорности, как это будет подробнее рассмотрено в части шестой. Поэтому при отсутствии противодействия со стороны формы или стержня на жидкий металл наблюдается улучшением выбиваемости при введении в смесь плавней, например хлористого натрия.

4. ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСЕЙ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

Огнеупорность, выраженная температурой плавления, значительно снижается при увеличении давления, как это подтверждается непосредственными опытами, результаты которых приведены в табл. 114.

Таблица 114

Состав смеси в %		Температура плавления в °С		Пересчет
Кварцевый песок	Глина	При атмосферном давлении	При избыточном давлении 1,7 атм	Понижение температуры плавления в °С при снижении давления на 1 атм
100	0	1750	1620	76
80	20	1650	1510	82
60	40	1510	1470	25
20	80	1750	1540	123
0	100	1790	1540	146

Из рассмотрения этой таблицы можно заметить, что грубо ориентировочно можно оценить падение температуры плавления в 100° С при повышении давления на 1 атм.

Значительно большее давление оказывает на форму усаживающийся металл. Можно ожидать, что температура спекания смеси также значительно снижается при увеличении на нее давления. Практически уменьшение давления достигается введением в смесь добавок, допускающих ее деформацию с изменением объема. К числу таких добавок относятся древесные спилки, выгорающие в процессе высушивания формы или даже прогрева жидким металлом. После выгорания опилок в форме создаются поры, за счет которых может произойти деформация формы и стержня, сжимающихся усаживающимся металлом.

К числу наиболее эффективных мероприятий, снижающих противодействие формы и стержня усаживающемуся металлу, является изготовление формы и стержня в виде оболочек.

В табл. 115 приведены результаты опытов [206] по определению напряжений в форме при введении в нее древесных опилок и каменноугольной пыли.

Таблица 115

Изменение напряжения в форме при введении в смесь каменноугольной пыли и древесных опилок (пересчет опытов А. М. Дубровского)
Состав исходной смеси: 20% люберецкого песка; 72% отработанной смеси; 8% глины; 5—6% влаги; прочность в сыром состоянии 0,45—0,60 кг/см²; газопроницаемость 48—154

Добавка	Количество	Напряжение в кг/см² в форме при температуре в °С			
		200	400	550—600	800
Нет	0	10	40	105	15
Каменноугольная пыль	6	5	25	65	10
Древесные опилки	1	5	25	90	20
То же	3	2	10	30	2
»	5	0	5	10	0

Из рассмотрения результатов этих опытов можно заметить снижение напряжений в форме на величину порядка 100 атм при 550—600° С и при одновременном создании в ней пор, допускающих ее деформацию с уменьшением объема.

В табл. 116 приведены результаты опытов по определению прочности в охлажденном состоянии смесей с добавкой каменноугольной пыли и древесных опилок. Эти опыты также подтверждают значительное снижение прочности в охлажденном состоянии смесей при добавке к ним древесных опилок. При добавлении каменноугольной пыли снижения прочности в охлажденном состоянии не наблюдается.

Таблица 116

Влияние присадки каменноугольной пыли и древесных опилок на прочность охлажденных смесей (по Бергу П. П. и Виленской И. А.)
Состав смеси: 85% люберецкого песка; 15% кудиновской глины; 6% воды; прочность в сыром состоянии 0,5 кг/см²; газопроницаемость 65—90

Добавка	Количество	Прочность в кг/см² в охлажденном состоянии после нагрева до температуры в °С						
		20	200	400	600	800	900	1000
Нет	0	4,8	4,2	3,7	1,0	0,5	0,5	0
Каменноугольная пыль	5	5,7	6,5	5,4	2,7	1,3	0,5	0
Древесные опилки	3	2,4	2,0	0,9	0	0	0	0

Таким образом, можно прийти к выводу, что добавка древесных опилок создает дополнительные поры в форме, что приводит к значительному снижению в ней напряжений, а следовательно, и к повышению температуры спекания. Кроме того, эта добавка снижает прочность в охлажденном состоянии, что также улучшает выбиваемость.

Добавка каменноугольной пыли также снижает напряжения в форме, следовательно, также улучшает выбиваемость, хотя прочность в охлажденном состоянии не снижается.

5. ВЛИЯНИЕ СОКРАЩЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕСИ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

Процессы спекания протекают во времени, поэтому обоснованно ожидание снижения спекаемости при уменьшении продолжительности этого процесса. В табл. 117

Таблица 117
Влияние продолжительности нагрева на температуру наклона пироскопов
(по П. П. Бергу)

Продолжительность выдержки образца до наклона пироскопа в мин	Огнеупорность, определенная наклоном пироскопа, в °С
1	1320
12	1260
23	1220

приведены результаты опытов автора по влиянию продолжительности нагрева на температуру плавления смеси. Эта температура определялась пироскопами.

Из этих опытов следует не только улучшение выбиваемости при уменьшении веса и толщины стенок отливки, но и возможности улучшения выбиваемости при сокращении продолжительности остывания отливки.

6. СОЗДАНИЕ ПРОСЛОЕК МЕЖДУ СПЕКАЮЩИМИСЯ ЗЕРНАМИ

Такие прослойки создаются путем введения в смесь специальных добавок. К их числу можно отнести водорастворимые добавки, как например патоку. Известны предложения по введению патоки в жидкостекольные смеси в целях улучшения их выбиваемости.

Созданием прослоек между зернами со связующей добавкой может быть также объяснено влияние каменноугольной пыли на прочность в охлажденном состоянии.

7. НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОЧНОСТИ СМЕСЕЙ В ПРОКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

Наименьшая прочность наблюдается у смесей, изготовленных из отмытых от глинистых составляющих зерен и полностью сгорающих органических добавок. К числу таких добавок относятся химические добавки. В этом случае даже после нагрева до 500° С

прочность на сжатие может быть принята равной нулю, так как образец после такого нагрева рассыпается.

Затруднения при выбивке начинают обнаруживаться при прочности σ_{1000}^{20} больше 1 кг/см², т. е. у образца, нагретого до температуры 1000° С и охлажденного до комнатной температуры.

Рекомендуется критически подходить к результатам определения в лабораторных условиях прочности в охлажденном состоянии из-за возможности расхождения условий лабораторных и реальных в форме, заливаемой жидким металлом.

В частности расхождения могут получиться вследствие разной газовой среды: при наличии в форме восстановительной атмосферы могут развиваться процессы коксования, не имеющие места при испытаниях в лабораторных условиях.

Кроме того, в лабораторных условиях пониженная прочность может обнаружиться в результате появления в образце трещин. Наличие таких трещин в форме и стержне может только незначительно улучшить выбиваемость.

Вместе с тем стержень в условиях реальной заливки со всех сторон окружен сжимающим его жидким металлом.

Глава V
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ В НАГРЕТОМ СОСТОЯНИИ

1. ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ В НАГРЕТОМ СОСТОЯНИИ

Механические свойства смесей в нагретом состоянии определяются непосредственно при температурах, значительно превышающих комнатную, тогда как свойства высушенных и охлажденных смесей определяются при температурах, близких к комнатным, после того как смеси были нагреты до высоких температур. Эти свойства представляют относительно наибольший интерес, так как характеризуют поведение формы в наиболее ответственные моменты, а именно, при заполнении ее жидким металлом. Они оказывают наибольшее влияние на качество отливок.

2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СМЕСЕЙ В НАГРЕТОМ СОСТОЯНИИ

Значительные расхождения прочности нагретых смесей у разных исследователей объясняются тем, что этот вид прочности связан в еще большей степени, чем ранее разобранные, со скоростями подъема температуры и приложения нагрузки. На фиг. 69

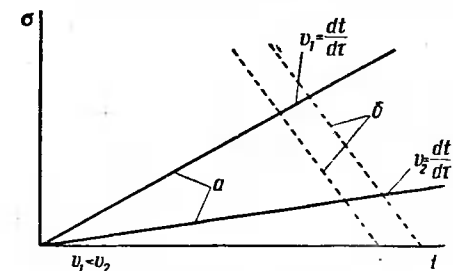
приведена схема влияния упрочняющих и разупрочняющих факторов на прочность нагретых смесей при увеличении скорости нагрева. На фиг. 70 приведена подобная же схема влияния скорости нагрева на результирующую прочность нагретых смесей.

Из рассмотрения этих схем могут быть сделаны выводы:

1. При увеличении скорости нагрева прочность нагретых смесей значительно снижается, как так упрочняющие факторы не имеют возможности развиться достаточно полно.

2. Прочность нагретых смесей увеличивается с увеличением длительности выдержки при тех высоких температурах, при которых еще не начались процессы разупрочнения.

3. При увеличении скорости нагрева несколько увеличивается та температура, при которой развивается наибольшая прочность.



Фиг. 69. Схема влияния скорости нагрева на прочность нагретых смесей: а — упрочняющие; б — разупрочняющие факторы.

Практика подтверждает эти выводы. На основании проведенных опытов можно конкретизировать сделанные выводы:

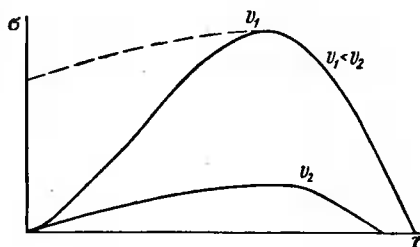
1. При заполнении формы черным металлом температура на поверхности формы достигает 1000° С в течение нескольких секунд. Поэтому скорость нагрева поверхности составляет не менее 100° за 1 сек. Эта скорость значительно превышает достигаемую при проведении обычных опытов по определению прочности нагретых смесей.

Такая скорость может быть достигнута в лабораторных условиях при нагреве в индукторе токами высокой частоты порядка миллионов герц.

2. При нагреве с очень большой скоростью наивысшая прочность нагретых смесей при оптимальной температуре незначительно превышает прочность высушенных смесей.

3. Прочность, достигнутая при высоких температурах в условиях медленного нагрева, может обнаружиться при комнатной температуре при условии медленного охлаждения (пунктирная линия на фиг. 70).

Определения прочности нагретых смесей в условиях медленного нагрева могут оказаться полезными для установления некоторых дополнительных закономерностей:



Фиг. 70. Схема влияния скорости нагрева на прочность нагретых смесей.

1. С увеличением содержания глины прочность увеличивается, но это увеличение происходит непропорционально увеличению содержания глинистых составляющих.

2. Наивысшая прочность смесей в нагретом состоянии при изменении количества глины того же качества обнаруживается при неизменной температуре. Отсюда можно сделать вывод, что процесс разупрочнения происходит при неизменной температуре, присущей данной глине.

3. При разном качестве глины наивысшая прочность нагретых смесей достигается при разных температурах. Отсюда можно сделать вывод, что процесс разупрочнения начинается у разных глин при разных температурах. В частности у бентонитов по сравнению с каолиновыми и иллитовыми глинами он начинается при более низких температурах.

4. Нарастание прочности при повышении температуры замедляется в промежутке 400—600° С. Отсюда можно сделать вывод, что замедление нарастания прочности связано с модификационными изменениями кварца. Поэтому можно полагать, что это замедление нарастания прочности будет менее заметно у смесей на другой минералогической основе. Для смесей на кварцевой основе промежутки температур 500—600° С является критическим.

5. Отсутствует прямая связь между прочностью в сыром, высушенном и нагретом состояниях. При повышении скорости нагрева можно допустить, что прочность в нагретом состоянии приближается к прочности в высушенном состоянии. Можно ожидать, что при наивысшей скорости нагрева, имеющейся в реальной литейной форме, наивысшая прочность смесей в нагретом состоянии не будет значительно отличаться от прочности в высушенном состоянии.

6. Наибольшая прочность наблюдается у смесей, нагретых до температур 900—1000° С. При превышении этой температуры начинает резко проявляться процесс разупрочнения. Можно полагать, что наибольшая прочность обнаружится при более высокой температуре не столько при использовании более огнеупорной глины, сколько при подборе неорганической связующей добавки, состоящей из того же окисла, что и зерновая составляющая. В качестве примера можно привести смесь кварцевых зерен, сцементированных гелем кремнезема.

7. Наиболее резкое падение прочности смесей в нагретом состоянии наблюдается при введении в смесь древесных опилок.

Наивысшая прочность при введении в смесь древесных опилок достигается при той же температуре 900° С. Отсюда можно сделать вывод, что введение опилок снижает общую прочность, но не влияет на процесс разупрочнения, связанный с повышением температуры. Наблюдается также замедление нарастания прочности в промежутке температур 400—600° С. Отсюда можно сделать вывод, что введение опилок заметно не уменьшает разупрочняющее влияние модификационных изменений кварца.

В табл. 118 приведены результаты опытов автора и Л. Д. Снуловой по определению прочности нескольких типовых нагретых стержневых смесей.

Таблица 118

Влияние температуры на прочность типовых стержневых смесей
(Опыты автора и Л. Д. Снуловой)

Песчаная основа смеси — кварцевый песок типа К02А

Связующая добавка	Добавка в %	Глина в %	Температура в °С									
			20	20	200	400	600	800	900	1000	1050	1100
			Прочность на сжатие									
			в кг/см ²	в %								
СП	5,6	0	16	100	95	75	65	60	30	25	20	15
СП	5,6	3	55	100	90	90	75	60	25	20	15	10
СБ	5,6	0	41	100	85	55	35	25	20	15	12	10
СБ	5,6	3	56	100	65	50	30	30	20	10	—	—
КТ	5,6	0	32	100	55	50	35	20	15	15	12	10
КТ	5,6	3	10	100	90	90	50	35	—	15	10	—
Сульфитная барда	5,6	0	15	100	110	75	60	35	—	30	25	25
То же	5,6	3	32	100	120	85	—	40	—	35	25	—
Жидкое стекло . .	5,6	0	48	100	75	55	35	30	20	12	10	8
Жидкое стекло . .	5,6	3	65	100	125	55	35	30	—	35	30	—
МФ-17	2,5	0	51	100	90	30	20	15	5	4	3	2
Среднее для всех добавок кроме МФ-17	—	—	—	100	75	50	30	20	15	10	—	—

Из рассмотрения таблицы можно сделать выводы:

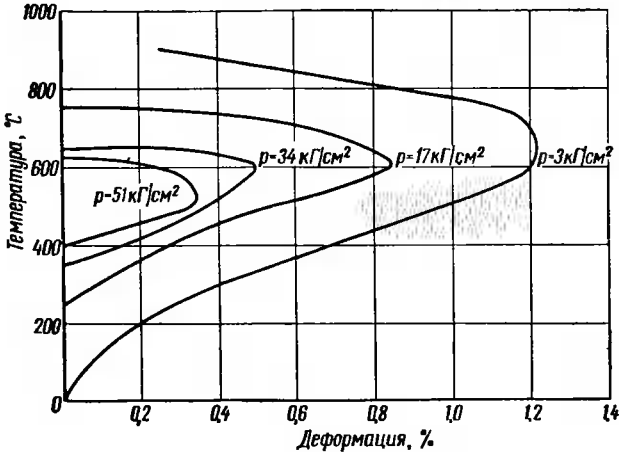
1. Процесс разупрочнения начинается при более низкой температуре — около 400° С. Отсюда следует, что при неорганических добавках процесс разупрочнения связан с плавлением, а при органических добавках не только с плавлением, но и со сгоранием.
2. Прочность смеси после введения в нее глины заметно повышается в промежутке температур 400—1000° С. Отсюда можно сделать вывод, что при введении глины процесс разупрочнения органических добавок задерживается до температуры начала разупрочнения глины.
3. В смесях с карбамидноформальдегидными добавками процесс разупрочнения начинается при значительно более низких температурах, как об этом говорилось во второй части книги.
4. Сопоставляя процессы разупрочнения за счет плавления и сгорания, можно прийти к выводу, что процесс сгорания начинается при более низких температурах. При этом скорость процесса сгорания зависит также и от количества подведенного кислорода, т. е. от наличия кислорода в составе добавки, и от скорости диффузии. Скорость диффузии зависит, в свою очередь, от величины зерна. При отсутствии или недостатке кислорода могут развиваться про-

цессы коксования, замедляющие процесс разупрочнения связующих добавок. Сложные и связанные между собой закономерности были частично рассмотрены во второй части книги.

5. Процесс плавления протекает тем быстрее, чем выше перегрев. Поэтому органические связующие добавки, разупрочняющиеся за счет плавления, могут разупрочняться быстрее, чем сгорающие добавки. По этой причине бывает целесообразно для уменьшения опасности образования горячих трещин в мелких отливках из белого чугуна (например, фитинги) применять плавающие и некокующиеся связующие добавки.

3. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НАГРЕТЫХ СМЕСЕЙ

Наибольший практический интерес представляют те деформации нагретых смесей, которые происходят при изменении объема под влиянием тепловых и механических воздействий.



Фиг. 71. Влияние температуры на деформацию смеси отмытых кварцевых зерен под нагрузкой 100 кг/см².

Таким образом, при установлении общих закономерностей деформации нагретых смесей прежде всего необходимо учитывать: а) состав смеси, б) тепловой режим, в) условия распределения и приложения нагрузки.

Для установления этих закономерностей в количественной форме совершенно недостаточно имеющихся материалов, поэтому в лучшем случае можно пытаться установить их качественно. При этом приходится частично хотя и с большой осторожностью использовать и результаты опытов по определению деформации без изменения объема.

На фиг. 71 приведены результаты опытов А. М. Дубровского, проведенных на приборе его конструкции. Результаты этих опытов подтверждают прежде всего наличие наибольшего расширения при

Средние примерные величины упругих и пластических деформаций
отмытого кварцевого песка под нагрузкой 100 кг/см^2
при нагреве до разных температур

Температура нагрева в °С	Деформация в %			Условный модуль упругости в $\text{кг/см}^2 \cdot 10/\delta_y$
	пластическая δ_n	упругая δ_y	суммарная δ_c	
0	0,1	0,8	0,9	125
200	0,1	0,6	0,7	167
400	0,3	0,5	0,8	200
600	0,8	0,4	1,2	200
800	0,1	0,4	0,5	250
1000	0,1	0,4	0,5	250

2. Упругие деформации достигают значительной величины, и ими пренебрегать при точных расчетах размеров отливки не представляется возможным. Наличие значительных упругих деформаций было установлено при испытаниях при комнатной температуре, как это было указано в гл. II.

Для выяснения влияния повторных нагрузок на деформацию отмытого кварцевого песка исследователями были поставлены опыты, результаты которых приведены на фиг. 72, а пересчеты в табл. 120. Эти опыты подтверждают наличие больших остающихся деформаций даже при повторных нагрузках. При этом упругая исчезающая деформация сохраняется достаточно постоянной по величине, а остающаяся деформация изменяется почти вдвое. Повторное появление остающихся деформаций представляется весьма важным явлением, указывающим на недостижение системой равновесия.

Таблица 120

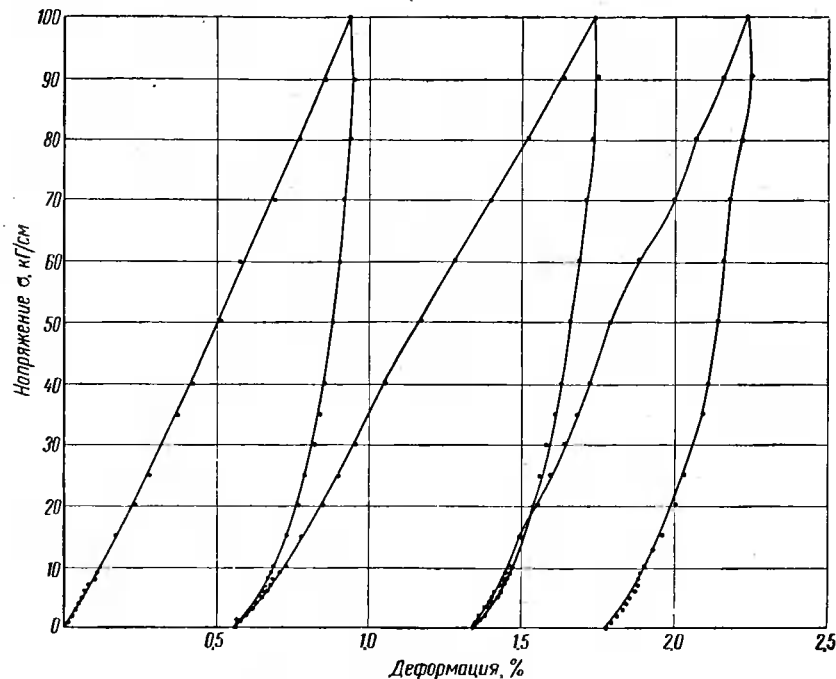
Величины упругих и пластических деформаций отмытого
кварцевого песка под нагрузкой 100 кг/см^2 при температуре 600°С

№ опыта	Деформация в %		
	остающаяся (пласти- ческая)	исчезающая (упругая)	суммарная
I	$0,55 - 0,00 = 0,55$	$0,95 - 0,55 = 0,40$	$0,95 - 0,00 = 0,95$
II	$1,35 - 0,55 = 0,80$	$1,80 - 1,35 = 0,45$	$1,80 - 0,55 = 1,25$
III	$1,75 - 1,35 = 0,40$	$2,25 - 1,75 = 0,50$	$2,25 - 1,35 = 0,90$

Увеличение расширения смеси приводит к созданию в ней напряжений, которые должны получиться тем большими, чем больше деформация.

В табл. 121 приведены результаты опытов автора и И. А. Виленской по определению объемных расширений типовых смесей,

температуре около 600°С . Это расширение совпадает с модификационным изменением кварца, происходящим при температуре 575°С . Наиболее интересно резкое уменьшение расширения при последующем нагреве. При этом расширение снижается до нуля при температуре тем более низкой, чем выше было приложено давление к образцу.



Фиг. 72. Влияние повторных нагрузок на величину упругих и пластических деформаций при 600°С отмытого песка.

Деформация смеси при высоких температурах представляет повышенный интерес, поэтому на том же приборе А. М. Дубровским при участии автора были проведены исследования по расширению отмытого кварцевого песка под давлением 100 кг/см^2 . Результаты опытов приведены на фиг. 72, а пересчет опытов приведен в табл. 119.

Из рассмотрения этих результатов можно сделать следующие дополнительные выводы:

1. Суммарная деформация, подобная установленной на фиг. 72 и наблюдающаяся при температуре около 600°С , получается главным образом за счет пластической деформации. Она доходит до 0,8% при этой температуре, тогда как выше и ниже этой температуры она составляет только около 0,1%.

Смесь	Расширение в %
Глинистая:	
15% глины, остальное песок	1,9
15% глины, 3% опилок, остальное кварцевый песок	1,4
15% глины, 5% каменноугольной пыли	1,5
Цеховая смесь для чугунного литья	1,6—1,9
Цеховая опилочная смесь	1,3—1,5
Цеховая шамотная смесь	1,3

установленных в кварцевом цилиндре и нагретых до 600° С. Цилиндр из плавленого кварца применялся потому, что этот материал обладает очень низким коэффициентом теплового расширения. Уместно отметить, что при этих опытах наибольшее расширение соответствовало температуре около 600° С. Из рассмотрения приведенных в таблице данных можно заметить, что расширение колеблется в очень незначительных границах — от 1,3 до 1,9. Такая небольшая разница, приводимая и в других работах, вызвана тем, что расширение происходит свободно, т. е. только под давлением кварцевого прутка, связывающего поверхность образца с индикатором.

Иные результаты получаются в тех случаях, когда смесь при расширении преодолевает сопротивление, которое может быть измерено. В этом случае представляется возможным разделить смеси на группы, как это приведено в табл. 122.

Таблица 122

Классификация смесей по величине напряжений при нагреве [207]

№ группы	Смесь	Напряжение при расширении смеси в кг/см ²
I	Хромомагнетитовая; шамотная (40% шамота); на основе хромистого железняка Песчано-глинистая с 5% древесных опилок	До 20
II	Песчано-глинистая с 3% древесных опилок То же с 8% каменноугольной пыли	20—40
III	Песчано-глинистая с 5% пылевидного кварца То же с 2% древесных опилок Жидкостекольная — песчаная Отработанная песчано-глинистая смесь	40—80
IV	Песчано-глинистая с 10% пылевидного кварца То же с 1% древесных опилок	80—120
V	Песчано-глинистая на свежем кварцевом песке	Свыше 120

Из рассмотрения таблицы следует, что наибольшие напряжения, а следовательно, и деформация наблюдаются у песчано-глинистой смеси, составленной из чистых кварцевых песков. Деформация и напряжения снижаются при добавлении в смесь древесных опилок и каменноугольной пыли, а также при снижении содержания в ней пылевидного кварца. Значительное снижение деформации и напряжений наблюдается в смесях, не содержащих кварца, как например, хромомагнетитовых, шамотных и на основе хромистого железняка.

Ранее опубликованная классификация стержневых смесей [208] приведена в табл. 123.

Сопоставление опытов по определению деформаций и напряжений приводит к возможности разделить весь процесс их возникновения на четыре этапа, как это сделано схематически на фиг. 73.

Фиг. 73. Схема изменений деформаций и напряжений при нагреве формы.

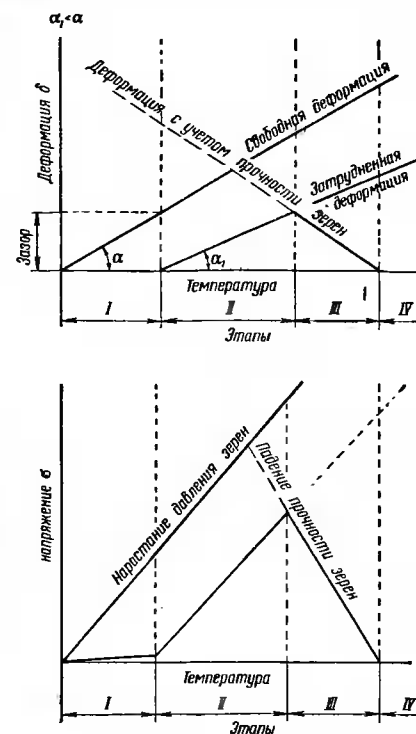


Таблица 123

Классификация стержневых смесей по величине напряжений при 1300° С применительно к отливкам из стали 30Л [208]

№ группы	Добавки в смесь	Пример смеси	Характеристика стержня	Величина напряжений в кг/см ²	Оценка податливости
I	Органические некокующиеся, неорганические, обеспечивающие высокую деформацию смесей при высоких температурах	Пulвербакелит, жидкое стекло	Оболочковые	0,5	Отличная
II	Органические некокующиеся	III	Сплошные	0,3—5	Хорошая
III	Органические кокующиеся	Пек, ГТФ	»	5—9	Удовлетворительная
IV	Неорганические	Жидкое стекло	»	9	Малая

Из приведенной схемы видно, что следует различать свободную и затрудненную деформацию. «Свободная» деформация характеризуется постепенным нарастанием величины деформации. Выражение «свободная» поставлено в кавычках, так как абсолютно свободной деформации не существует. В лучшем случае деформация происходит под воздействием пружины индикатора.

Поэтому на первом этапе происходит нарастание давления зерен на внешнее сопротивление до тех пор, пока это давление не превысит внешнее сопротивление. Процесс, происходящий на этом первом этапе, может быть уподоблен устранению зазора между зернами. До окончания первого этапа деформации смеси не наблюдается, хотя деформация зерен и может иметь место.

II этап начинается с момента начала преодоления внешнего сопротивления и выражается в нарастании как деформации смеси, так и напряжений по отношению к внешней среде. Этот этап продолжается до тех пор, пока напряжение на смесь не превысит контактной прочности зерен, значительно превосходящей прочность валовую, как это уже указывалось.

III этап характеризуется началом снижения напряжений и деформаций расширения в смеси.

На IV этапе можно считать отсутствующими как напряжения, так и деформации расширения смеси. Этот этап еще более четко выявляется при наблюдении деформаций и напряжений глинистых смесей. В этих случаях наблюдается при повышенных температурах усадка глины, которая дополнительно снижает напряжения.

4. ВЛИЯНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН В ОТЛИВКАХ

Образование горячих трещин в отливках является следствием очень многих причин, связанных со всеми этапами их изготовления, в частности с формовочными материалами. Необходимо подчеркнуть, что в данном случае материал формы неотделим по воздействию на опасность образования трещин в отливках от других технологических вопросов.

Принципиальным направлением при борьбе с трещинами в отливках является снижение сопротивления формы усадке. Примерные напряжения, возникающие в форме при введении в нее разных добавок, были приведены в табл. 122, 123. Эти же напряжения влияют на изменение величины усадки. Однако на практике от этих средних значений наблюдаются часто отклонения из-за невозможности полностью оторвать свойства материалов формы от условий ее использования. В частности необходимо учесть степень уплотнения формы: при уменьшении степени уплотнения опасность образования горячих трещин значительно снижается.

Более сложной является связь между материалом формы, температурой заливки и опасностью образования горячих трещин. На эту связь обычно не обращается достаточного внимания. Опас-

ность образования горячих трещин в отливках резко увеличивается при совпадении времени создания в форме наибольших напряжений со временем прохождения отливкой критического интервала немного ниже температуры солидуса, характеризующегося малой прочностью и пластичностью металла.

Схемой, приведенной на фиг. 73, могут быть объяснены результаты опытов [207], обнаружившие горячие трещины в стальных отливках при заливке в промежутке температур 1580—1630° С. Можно полагать, что в случае заливки при более низкой температуре в форме еще не создались большие напряжения, что соответствует этапу I на схеме фиг. 73; в случае заливки при температурах 1580—1630° С напряжения в форме достигали своего наибольшего развития; в случае заливки при температурах, превышающих 1630° С, напряжения в форме снова снижались до достаточно низкого значения.

Обнаруженный при этих опытах критический промежуток температур может рассматриваться только как примерный; он может получиться другим при других условиях проведения опытов.

5. ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ФОРМЫ НА ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ОТЛИВКИ

Так же, как и в предыдущем случае, точность размеров отливки зависит не только от материала формы, но и от многих других причин, с которыми она теснейшим образом связана. В первую очередь необходимо упомянуть технологию изготовления отливки. Поэтому вопрос влияния материалов формы трудно отделим от влияния самой формы.

При рассмотрении влияния материала формы следует различать ее тепловую и механическую деформацию.

Если учитывать только тепловую деформацию, то наилучшим можно признать материал с наименьшей тепловой деформацией. К числу материалов с наименьшим коэффициентом линейного расширения относится плавленый кварц. Дилатометрические измерения наибольшего теплового расширения керамики, изготовленной для получения отливок методом выплавляемых моделей [209], показали: 1,27% для кварцевого песка марки К02А; 0,52 для шамотной крошки и 0,23 для плавленого кварца. По данным того же автора влиянием этилсиликата на величину теплового расширения можно пренебречь.

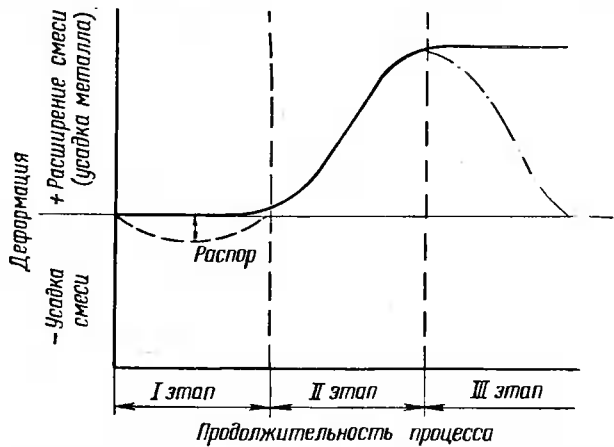
При изготовлении формы из таких мало деформирующихся при нагреве материалов можно добиться устойчивых размеров полости формы и отливки при обеспечении достаточной технологической дисциплины.

Сложнее решается задача подбора такого материала, который обладает заданным коэффициентом теплового расширения и усадки. Такая задача возникает при изготовлении литых зубных протезов по снятому с натуры слепку. Такая задача была успешно решена

М. И. Тылем, подобравшим под руководством С. О. Бирули соответствующие формовочные материалы.

В большинстве практических случаев не представляется возможным ограничиться только учетом тепловой деформации. Необходимо учитывать и механическую деформацию. Задача усложняется тем, что деформация меняется не только во времени по величине, но и по знаку.

В основу закономерностей изменения размеров формы, залитой жидким металлом, можно положить схему, приведенную на



Фиг. 74. Деформация формы, залитой жидким металлом.

фиг. 73. Но она должна быть дополнена процессами, связанными с воздействием жидкого металла на форму.

В конечном итоге можно прийти к схеме, приведенной на фиг. 74, учитывающей деформацию формы и стержня. Деформация формы (фиг. 73) достигает своего максимума в конце этапа II и сохраняет его потому, что сжимающих усилий со стороны металла форма не испытывает. Деформация стержня продолжается и после этапа II перехода к этапам III и IV, потому что стержень со стороны металла испытывает сжимающие усилия.

Изменение размеров формы происходит и в течение этапа I, если она расширяется под воздействием жидкого металла. Такое явление называется распором.

В литературе можно найти другие схемы изменений размеров формы, исходя из допущения, что форма при нагреве уменьшается в размерах [210].

6. ВЛИЯНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕМ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ

Объем усадочной раковины может зависеть от материала формы постольку, поскольку форма может влиять на размеры отливки. Если форма под воздействием жидкого металла расширяется, то

при недостаточном питании в отливке может появиться повышенное количество усадочных раковин увеличенного объема. Поэтому можно ожидать, что при одинаковой скорости охлаждения отливки в формах, в большей степени деформирующихся под воздействием жидкого металла, могут обнаружиться и в большем количестве усадочные раковины. Практика подтверждает этот теоретический прогноз; в табл. 124 приведены опытные данные о влиянии состава формы на величину усадочных раковин. Выявляется четкая зависимость увеличения распора, объема усадочной раковины и веса отливки при увеличении степени уплотнения формы, перехода на высушенную и прочную цементную форму.

Таблица 124

Влияние состава формы на усадку чугуна [211]

Форма	Изменение размеров образца в мм	Объем усадочной раковины в мм³	Вес образца в кг
Сырая песчано-глинистая слабо набитая	+3,3	87	21,3
То же, но плотно набитая	+0,6	70	20,5
То же, но высушенная	-0,4	16	20,6
Цементная	-1,4	18,5	20,8

В табл. 125 приведены результаты опытов по выявлению связи между твердостью, с одной стороны, и распором, весом отливки и объемом усадочной раковины, с другой стороны. Замечается четкая зависимость распора от твердости и общая направленность в ожидаемом направлении.

Таблица 125

Влияние уплотнения на распор и вес отливки (по Шумахеру)

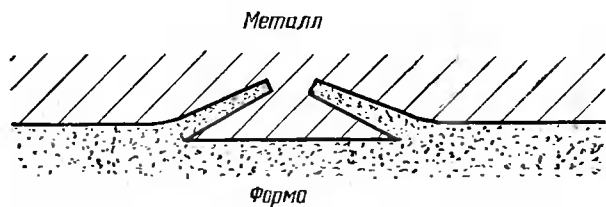
Свойство	Уплотнение					
	слабое			сильное		
Твердость	41	46	54	79	82	79
Распор	Большой	Большой	Малый	Малый	Нет	Нет
Вес отливки в кг	2,60	2,62	2,54	2,48	2,45	2,50
Усадочная раковина	Большая	Средняя	Малая	Малая	—	Средняя

7. УЖИМИНЫ И ПЛЕНЫ

Схема образования ужимины приведена на фиг. 75. На поверхности формы происходит отслаивание, и под отслоившийся участок заливается металл. Можно полагать, что подобный (но не тождественный) процесс происходит и при образовании плен. Они различаются внешне главным образом тем, что ужимины имеют вид

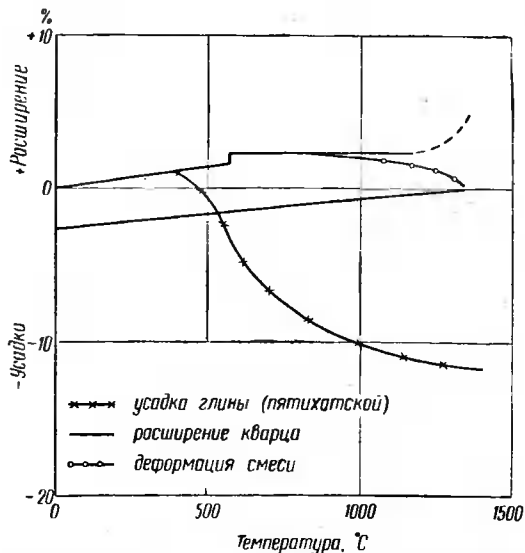
длинных и узких полос, а плены — поверхностей, приближающихся по форме к кругу [212].

Процесс образования ужимин и плен может быть связан с процессами расширения и сжатия формовочной смеси при нагреве



Фиг. 75. Схема образования ужимины.

(фиг. 76). Правильность этой схемы была подтверждена практическими наблюдениями на заводе им. Лихачева [213] применительно к смеси кварцевого песка и пятихатской глины. Деформация этой смеси приведена на фиг. 76.



Фиг. 76. Деформация песчано-глинистой смеси при нагреве.

Из рассмотрения этих схем можно сделать заключение, что нагруженная смесь при нагреве вначале расширяется из-за расширения кварца, а при высоких нагревах усаживается из-за усадки глины.

Поэтому на поверхности формы, нагретой до более высоких температур, происходит усадка смеси, а в более глубоких слоях происходит ее расширение. В результате при неблагоприятном

стечении обстоятельств на поверхности формы образуется вначале трещина, лепестки которой впоследствии отслаиваются так, что под них затекает жидкий металл.

Касательные напряжения на цилиндрическом теле могут быть рассчитаны по формуле [214]:

$$\sigma = \frac{E \cdot t \cdot \alpha}{1 - \mu} \left(1 - \frac{3r^2}{R^2} \right),$$

где E — модуль упругости;

μ — коэффициент Пуассона;

α — коэффициент линейного расширения;

t — температура;

R — радиус цилиндра;

r — расстояние рассматриваемой точки от оси цилиндра.

Из формулы видно, что напряжения достигают наибольшей и отрицательной величины при $R = r$, т. е. на периферии цилиндра.

В этом случае

$$\sigma = -2 \frac{E \cdot t \cdot \alpha}{1 - \mu}.$$

Необходимо подчеркнуть, что температура T и коэффициент линейного расширения соответствуют разности температур и коэффициентов на поверхности и в центре тела.

Из произведенного теоретического анализа могут быть сделаны практические рекомендации для уменьшения опасности образования ужимин.

1. Уменьшение разности коэффициентов линейного расширения и усадки песка и глины. Эта рекомендация может быть осуществлена рядом мероприятий:

а) Уменьшение коэффициента линейного расширения песка. Оно может быть в случае кварца достигнуто частичной заменой свежего песка отработанной смесью. Это мероприятие на практике проверено, но оказывается недостаточно эффективным, так как усадка глины по своей абсолютной величине значительно превосходит расширение кварца.

б) Уменьшение коэффициента линейной усадки глины. По наблюдениям А. М. Петриченко [215] этот коэффициент увеличивается и опасность образования ужимин усугубляется при использовании глин с увеличенным содержанием кристаллизационной воды. По указанным данным и по практике завода им. Лихачева увеличенный брак по ужиминам наблюдается в случае применения пятихатской глины.

в) Подавление разности коэффициентов расширения и усадки приложением давления к поверхности формы. Это мероприятие осуществляется в естественных условиях тем, что на поверхности формы оказывает давление слой жидкого металла. По этой причине ужимины обнаруживаются в большинстве случаев в верхней полуформе.

г) Рассредоточение деформаций во времени так, чтобы по возможности не одновременно происходили расширение и усадка. Это достигается применением песков с рассредоточенной структурой, т. е. с остатком зерен, сосредоточенным на трех и даже на четырех ситах. Недостатки, связанные с применением песков с рассредоточенной структурой, были разобраны в первой части книги.

д) Увеличение пористости смеси. Это мероприятие осуществляется уменьшением уплотнения, введением в смесь опилок или каменноугольной пыли.

II. Уменьшение разности температур на поверхности и в центре. Это мероприятие может быть достигнуто снижением температуры заливки, но в большинстве случаев его нельзя рекомендовать, так как значительное снижение может привести к другим видам брака. Незначительное же снижение оказывается недостаточно эффективным.

Недостаточная эффективность снижения температуры на уменьшение опасности образования ужимин объясняется еще и тем, что они образуются в верхней полуформе, разогревающейся излучением зеркала поднимающегося жидкого металла. Поэтому рекомендуется ряд технологических мероприятий, которые здесь не могут быть рассмотрены, как выходящие за границы темы книги. Однако можно воздействовать на снижение температуры поверхности верхней полуформы и путем изменения состава формовочной смеси. Для этой цели в смесь вводятся добавки, выделяющие обильно дым и сажу при нагреве. К таким добавкам относятся мазут.

III. Повышение прочности поверхностного слоя. Это мероприятие может оказаться достаточно эффективным только в случае упрочнения слоя на достаточную глубину. Поэтому поверхностное упрочнение опрыскиванием может оказаться эффективным только при использовании связующих добавок достаточно малой концентрации. Так, по опытам А. М. Петриченко эффективное действие раствора барды сульфитного щелока наблюдалось только в случае его проникновения на глубину свыше 2,5 мм. Для этой цели барда должна быть сильно разбавлена водой. Уменьшение ужимин наблюдалось при нанесении на поверхность формы жидкого стекла [216] и связующей добавки ЗИЛ [217].

Систематические опыты по выяснению влияния состава смеси на образование ужимин были проведены Б. Б. Гуляевым. Результаты этих опытов приведены в табл. 126. Из рассмотрения таблицы можно найти подтверждение сделанным теоретическим прогнозам, а именно, что время появления ужимин резко удлиняется при применении более прочной смеси, обладающей меньшей разностью коэффициентов линейного расширения и сжатия.

Представляет интерес возможность выявления в лабораторных условиях склонности смеси к образованию ужимин. Такие попытки были произведены многими исследователями, но не дали положи-

тельных результатов из-за трудности в лабораторных условиях воспроизвести без точного моделирования процессы, происходящие в литейной форме.

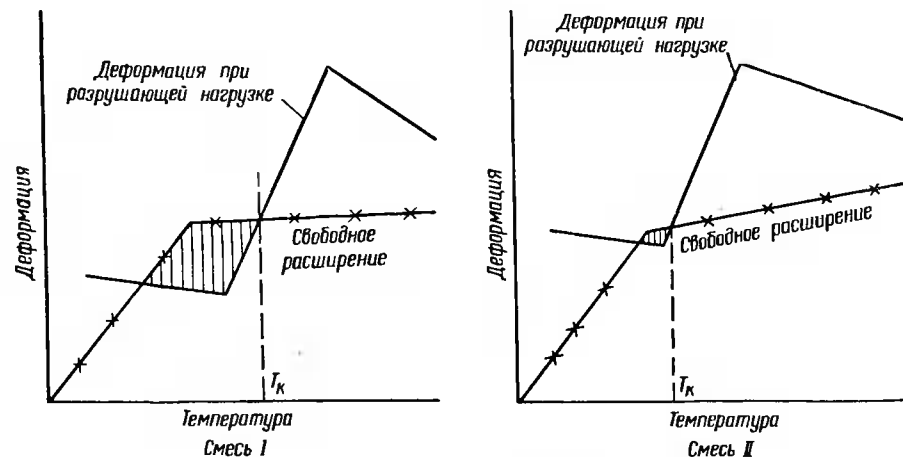
В качестве примера таких попыток можно привести результаты опытов Г. Дитерта с сотрудниками [219]. Они предлагают по первой методике не менее, чем при пяти разных температурах определять величину свободной деформации при расширении и ту деформацию, которая обнаруживается при разрушении образцов. Результаты наносятся на диаграмму, подобную приведенной на фиг. 77.

Нанесенные на диаграмме результаты испытаний могут дать возможность установить три критерия, характеризующие склонность смесей к образованию ужимин.

I критерий. Критическая температура (T_k на фиг. 77), при которой деформация свободного расширения пересекает по абсолютной величине деформацию, обнаруживаемую при разрушающей

Таблица 126
Склонность смесей к образованию ужимин [213]

Смесь	Время появления ужимин в сек
Сырая песчано-глинистая	5
Та же, но пропильная толстыми гвоздями	5
Просушенная в течение 1 ч	15—20
Та же, но просушенная в течение 2 ч	90
Та же, но просушенная в течение 20 ч	60
Жидкостекляная	30
Смесь на хромистом железнике	35
Та же, но пропильная гвоздями	90



Фиг. 77. Оценка склонности смесей к образованию ужимин.

нагрузке. Эта температура может рассматриваться как критерий, характеризующий склонность смеси к перестройке расположения зерен. Чем эта температура выше, тем смесь приобретает большую

склонность к образованию ужимин. Поэтому авторы считают, что при применении смеси, у которой критическая температура меньше 650°C , опасность образования ужимин мала, а при использовании смеси, у которой критическая температура превышает 800°C , опасность образования ужимин велика.

II критерий. Разность деформаций при температуре модификационных превращений кварца, что по мнению авторов соответствует 590°C . Чем больше при этой температуре свободная деформация превышает деформацию при разрушающей нагрузке, тем меньше склонность смеси к перестройке расположения зерен. Поэтому авторы считают, что при разности деформаций менее $0,002\text{ мм/мм}$ опасность появления ужимин мала, а при разности деформаций больше $0,004\text{ мм/мм}$ опасность образования ужимин велика.

III критерий. Величина поверхности, расположенная между обоими видами деформаций (заштрихованная площадь на фиг. 77). Чем эта площадь больше, тем больше опасность обнаружения ужимин.

Ввиду трудоемкости проведения испытаний по этой методике авторы предлагают вторую методику, заключающуюся в определении давления, которое требуется приложить к образцу для того, чтобы он сохранил исходную величину. Они считают, что длина ужимин прямо пропорциональна этому давлению.

Можно выразить сомнение в получении во всех случаях совпадающих результатов, но высказанные этими авторами идеи заслуживают внимания и доработки.

8. ЗАСОРЫ

Появление засоров должно быть связано с недостаточной поверхностной прочностью формы. Часто поверхностная прочность формы отождествляется с величиной осыпаемости, определяемой при комнатной температуре.

Однако процессы осыпаемости и образования засоров резко различаются и их отождествление представляется необоснованным.

Изучение закономерностей появления засоров представляет значительные сложности из-за трудностей обнаружения зерен смеси, попавших в тело отливки. Единственный в настоящее время реальный путь заключается в обнаружении зерен методами автордиографии. С этой целью зерна смеси обволакиваются радиоактивными изотопами, которые в дальнейшем обнаруживаются на фотографической пленке.

Желательно, чтобы выбранный изотоп удовлетворял ряду требований:

1. Он должен быть бета-активен с целью увеличения разрешающей способности метода.

2. Период его полураспада должен быть достаточно большим, чтобы была возможность завершить опыт.

3. Изотоп должен образовывать водный раствор для создания возможностей обволакивания им зерен смеси.

4. Водный раствор должен быть нейтральным для исключения его влияния на свойства смеси.

5. Температура его кипения должна быть достаточно высока для исключения искажений, возможных при воздействии через образующиеся пары.

В наиболее полной степени этим требованиям удовлетворяют изотопы кальция, фосфора и вольфрама [220], [221].

Проведенные работы показали, что зерна, попавшие на поверхность металла, не проникают в глубь тела отливки и что наибольшую опасность представляют зерна, смятые металлом при протекании через сложные литниковые ходы и при динамическом воздействии на стенки формы.

Из опытов Б. Б. Гуляева с сотрудниками по выявлению связи между составом смесей, осыпаемостью и образованием засоров следует, что наибольшее количество засоров обнаруживается при изготовлении формы из песчано-глинистой смеси, а наименьшее количество засоров — при изготовлении формы из песчано-масляной смеси. Жидкостекольные смеси занимают среднее положение. Между тем осыпаемость, определенная при комнатной температуре двух последних смесей, одинакова, а количество засоров при использовании песчано-глинистой смеси явно не достигает десятикратного количества засоров при использовании двух других смесей, как это вытекает из сопоставления величин осыпаемости.

Из опытов [222] по осыпанию зерен на поверхность жидкого металла можно сделать выводы:

1. Зерна осыпаются на поверхность зеркала в течение первых нескольких секунд. После прекращения «дождя» зерен наблюдалось иногда растрескивание поверхности формы, расположенной над зеркалом жидкого металла. Если в течение критического интервала не происходило растрескивания и обвала формы, то дальнейшая выдержка не увеличивала опасности обвала кусков формы.

2. Падение зерен и обвал отдельных кусков являются следствием недостаточной прочности при повышенной температуре, недостаточной для преодоления напряжений, создающихся в результате напряжений, связанных с усадкой и расширением зерен.

3. Падение зерен и обвал отдельных кусков прекращаются при развитии процессов спекания.

Поэтому меры борьбы могут намечаться практически те же, что и при борьбе с ужиминами и пленами. Во всяком случае в настоящее время не представляется возможным отдельные рекомендации возводить в ранг общих рекомендаций в дополнение к ранее сделанным применительно к борьбе с ужиминами и пленами.

Под технологическими понимаются комплексные свойства, неразрывно связанные с технологией изготовления отливок и не могущие быть однозначно описаны ранее разобранными вторичными свойствами. Эти комплексы могут иметь повышенное тяготение к определенным группам вторичных свойств, в связи с которыми они и были ранее рассмотрены. Так, например, к комплексным свойствам, имеющим тяготение к механическим свойствам, были отнесены свойства выбиваемости, податливости, формуемости и прилипаемости.

Глава I

ПРИГОРАЕМОСТЬ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ

Под пригораемостью в самом общем виде понимается способность смеси плотно приставать к поверхности отливки.

При более близком ознакомлении с этим вопросом возникает необходимость различать пригар, чистоту поверхности и поверхностное легирование.

Условно между этими явлениями можно провести такие формальные границы:

Под пригаром можно по-прежнему условиться понимать в самом общем виде приставание поверхности отливки к поверхности формы.

Под чистотой поверхности отливки можно условиться понимать наличие на ней выступов, не превышающих по высоте радиус зерна смеси.

Если гребень выступа превышает радиус зерна смеси, то зерна оказываются механически закрепленными на поверхности отливки. В таком случае имеет место механический пригар, который правильнее назвать глубинным.

Если зерна смеси плотно пристали к поверхности отливки, но гребень выступа не превышает радиуса зерна, то имеет место химический пригар, который по аналогии правильнее назвать поверхностным.

Если в результате соприкосновения поверхности формы с поверхностью отливки произошло ее химическое изменение, то имеет место поверхностное легирование.

Предлагаемая классификация не затрагивает механизма образования пригара, различая виды пригара только по высоте гребней выступов.

В большинстве случаев виды пригаров различаются авторами по механизму образования. Такие классификации имеют тот недостаток, что в них отсутствуют объективные признаки. Кроме того, механизм образования пригара настолько сложен, что связывать его только с механическими или химическими процессами, по всей вероятности, недостаточно обоснованно.

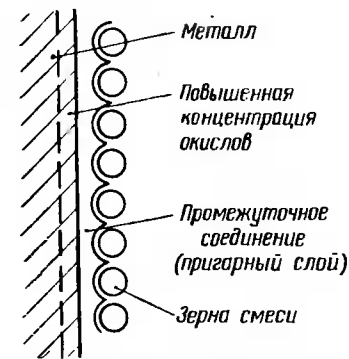
В частности многими авторами под механическим пригаром понимается проникновение в поверхность формы металла. На самом деле очень мало вероятно допущение, что с поверхностью формы соприкасается чистый металл. Такое просачивание «чистого» металла в глубь формы может иметь место только при очень грубых просечках.

Можно полагать, что в подавляющем большинстве случаев имеет место проникновение в поверхность формы металла с поверхностью, сильно обогащенной окислами. В этом случае происходят сложные физико-химические процессы, связанные с соприкосновением окислов поверхности формы с окислами металла отливки. Поэтому вместо системы металл — форма следует рассматривать систему металл — окислы металла — окислы формы. Грубо — схематически эта система приведена на фиг. 78.

Применительно к этой схеме можно процесс образования пригара разделить на несколько условных этапов:

1. Окисление поверхности металла или что то же — повышение концентрации кислорода на поверхности металла.
2. Смачивание поверхности формы окисленной поверхностью металла.
3. Образование соединений между окислами металла и окислами формы (образование пригарного слоя).

Влиянием окисленной поверхности металла на процесс пригара можно пренебречь в том случае, когда толщина прожилки, проникшей в толщу формы, очень велика. Однако в этом случае правильнее обозначить такое явление не пригаром, а просечкой, являющейся следствием образования трещин на поверхности формы.



Фиг. 78. Схема образования пригарного слоя.

2. ОКИСЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

Уменьшение содержания окислов на поверхности металла может быть осуществлено двумя путями:

1. Уменьшением абсолютного содержания окислов в металле до попадания его в полость формы.

2. Уменьшением окисления металла, попавшего в полость формы. Непосредственные опыты подтверждают, что хорошее раскисление металла приводит к значительному уменьшению пригара. В частности установлено, что высокомарганцовистая сталь типа Г13 пригорает значительно меньше, если плавка доведена под шлаком с пониженным содержанием окислов. Поэтому на некоторых заводах, производящих высокомарганцовистые стали, проверяется содержание марганца в шлаке.

Так, например, содержание окиси марганца в шлаке при плавке в электрических печах не должно превышать 3,5%, а при плавке в мартеновских печах 8%.

Вполне вероятно, что окисление металла увеличивается, а следовательно увеличивается и пригар, если металл заполняет форму с более развитой поверхностью, например, более узкой и тонкой струей.

Восстановительная атмосфера создается в форме введением в смесь добавок, поглощающих при сгорании кислород воздуха. Можно полагать, что восстановительная атмосфера формы может препятствовать дальнейшему окислению металла, но не может его восстановить.

Задача подбора таких добавок усложняется требованием создания восстановительной атмосферы с момента попадания в форму первых капель металла и сохранением восстановительной атмосферы до окончания возможного процесса взаимодействия между окислами металла и формы.

Эта задача решается подбором добавок с соответствующей реакционной способностью. Применительно к чугунным отливкам можно различать три типовых случая.

1. Заливка наиболее мелких отливок в сырые формы. В этом случае противопригарная добавка наносится в виде припылов на поверхность сырой формы.

2. Заливка отливок средних размеров в сырые формы. В этом случае противопригарная добавка вводится в смесь.

3. Заливка крупных отливок в обработанные (высушенные) формы. В этом случае противопригарная добавка наносится в виде краски на поверхность обработанной или обрабатываемой формы.

Примеры припылов и добавок, вносимых в смесь, приведены в § 3 и 4 гл. I части шестой.

3. ПРИПЫЛЫ

Припылы должны: 1) создавать восстановительную атмосферу в полости формы с момента попадания в нее первых капель жидкого металла; это действие может быть непродолжительным;

2) приставать к поверхности формы и не смываться протекающим жидким металлом; 3) облегчать извлечение модели из формы и 4) быть экономичными.

К наиболее распространенным припылам относится древесно-угольная пыль, из числа естественных продуктов наиболее полно удовлетворяющая предъявляемым требованиям. Можно не сомневаться, что удастся найти искусственный продукт, полнее удовлетворяющий этим требованиям.

Предпочтительнее древесный уголь лиственных деревьев. По опытам автора наиболее желательная степень помола, обеспечивающая получение пылинок размерами 0,05—0,1 мм. Более мелкие пылинки не только слишком быстро сгорают, но и менее равномерно распределяются по поверхности припыливаемой формы.

Размол производится чаще всего в шаровых мельницах. При этом удастся получить более мелкий и относительно более однородный помол, чем в бегунах.

Химический состав древесноугольной пыли имеет подчиненное значение, так как припыл остается на слоях, прилегающих к поверхности отливки. Он удаляется из опоки вместе с отливкой и не засоряет обратную формовочную смесь. Поэтому допустимо содержание в ней серы до 6%.

Применение припылов во многих случаях нежелательно, так как процесс припыливания несколько снижает темп приготовления формы, но может облегчить извлечение модели из формы. Поэтому по возможности заменяют припыл добавками, вводимыми непосредственно в смесь.

4. ДОБАВКИ, ВВОДИМЫЕ В СМЕСЬ

Эти добавки должны: 1) создавать восстановительную атмосферу с момента попадания в полость формы первых капель металла и до окончания возможной реакции взаимодействия между окислами металла и формы; 2) не ухудшать атмосферы цеха; 3) не оставлять в смеси вредных примесей; 4) не затруднять приготовления смеси и 5) быть экономичными.

К наиболее распространенным добавкам этой группы относится каменноугольная пыль.

Технические условия на каменный уголь для приготовления пыли приведены в табл. 127. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют угли марок Г (газовый), ПЖ паровичный жирный и Д (длиннопламенный). Расхождение в определении границ допустимого содержания серы вызывается тем, что значение имеет не только количество серы, но и та форма, в которой она представлена.

По данным литейного института в Кракове¹ наиболее вредными составными частями в углях являются фузит и дурит. Они должны

¹ Личное сообщение проф. П. А. Янушевича.

Технические условия на каменноугольную пыль

Характеристика зерен	Технические условия						среднее	
	при толщине отливок в мм							
	5	5—10	10—15	25—50	более 50			
Наиболее крупные зерна не должны проходить через сито №	—	01	016	025	0315	—	—	
Средний диаметр зерна — сито №	—	005	01	01	016	—	—	
Количество прибавляемой пыли в % от веса смеси	0	3	3—4	4—5	6—8	—	—	
Остаток на сито:								
+0315	—	—	—	—	0	0	—	
+025	—	—	—	0	—	—	—	
+016	—	—	0	—	—	Не более 5	—	
+01	—	0	—	—	—	—	—	
+005	—	—	—	—	—	Не более 70	—	
—005	—	—	—	—	—	Остальное	Остальное	
Количество пыли в % по объему в литейных серого чугуна ЗИЛ	3	6	8	13,5	15			
в литейных ковкого чугуна	—	2	6	9	—			
Влажность не более	—	—	—	—	—	12	14	
Золы не более							4	
Серы не более							25—37	
Летучих								

быть удалены из углей, назначенных для использования в качестве противопригарных добавок. По тем же данным не пригодны в качестве противопригарных добавок некоторые сорта энергетических углей. По этим причинам характеристика углей только по химическому составу должна восприниматься критически. Она должна проверяться и уточняться при получении углей с нового месторождения.

Необходимость сохранения восстановительной атмосферы до возможного окончания процесса образования пригара приводит к целесообразности применять не только разное количество в смеси, но и применять каменноугольную пыль разной степени размола в зависимости от величины отливки. Практически очень затруднительно иметь в цеху пыль разного размола. Поэтому применяется

пыль одного размола, но степень размола выбирается разная в зависимости от преобладающей толщины стенок отливки. При выборе степени помола необходимо считаться с понижением производительности размалывающих установок по мере увеличения тонкости помола. Поэтому приведенные средние значения соответствуют тем реальным возможностям, которые имеют место на заводах.

Содержание летучих значительно снижается при увеличении длительности хранения пыли. Поэтому не рекомендуется производить помол в прок с большим запасом. Если же такой помол производится, то пыль рекомендуется хранить небольшими порциями в мешках. При длительном хранении пыли увеличивается также опасность ее самовозгорания.

Недостатком каменноугольной пыли является наличие в нем серы и золы. Поэтому в отдельных случаях она заменяется пекми, в частности древесноугольным. При этом возникают осложнения с его размолом. По этой причине иногда применяется эмульгированная добавка КТ [223]. По этой же причине иногда вместо каменноугольной пыли в смесь вводится мазут. Его недостатками являются: обильное газообразование и трудность увлажнения мазутной смеси. Из-за обильного газообразования мазут может применяться только в хорошо вентилируемых цехах. Количество вводимого в смесь мазута составляет 1,5—2,5% в зависимости от толщины стенок.

5. ВЫВОД И АНАЛИЗ ОБЩЕЙ ФОРМУЛЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИГАРНОГО СЛОЯ

Общая формула пригара может быть выведена исходя из принятого ранее уподобления формы пучку капилляров, через которые протекает жидкость в соответствии с формулой Пуазейля

$$Q = \frac{C\pi pr^4}{8\eta l}.$$

Так как процесс протекает во времени, то надлежит оценить скорость протекания жидкости [224]

$$\frac{dQ}{d\tau} = \frac{C\pi pr^4}{8\eta l}.$$

Прирост объема жидкости в капилляре может быть выражен в виде

$$dQ = \pi r^2 dl.$$

Отсюда

$$d\tau = \frac{8\eta l}{C\pi pr^4} dQ$$

или при подстановке значений для dQ

$$d\tau = \frac{8\eta r^2 \pi l}{C\pi pr^4} dl$$

или после сокращения

$$d\tau = \frac{8\eta}{Cpr^2} dl.$$

Отсюда

$$\int d\tau = \frac{8\eta}{Cpr^2} \int_0^l l \cdot dl$$

или

$$\tau = \frac{4\eta l^2}{Cpr^2}.$$

Следовательно, глубина проникновения металла в капилляры диаметром $2r$

$$l = C_1 r \sqrt{\frac{p\tau}{\eta}},$$

где

$$C_1 = \sqrt{\frac{C}{2}}.$$

Давление p определяется давлением p_1 жидкого металла на поверхность формы, капиллярным давлением p_2 , определяемым формулой Журена, и противодействием газов p_3 в форме

$$p = p_1 + p_2 - p_3,$$

причем

$$p_1 = H\gamma,$$

где H — высота столба металла над поверхностью формы

$$p_2 = \frac{2\sigma}{rg},$$

где σ — поверхностное натяжение в дин/см ;

g — ускорение силы тяжести, равное 981 см/сек^2 .

Формула Журена предполагает полное смачивание поверхности жидкостью. Если такое допущение не имеет места, то надо ввести поправку на краевой угол смачивания φ в виде

$$p_2 = \frac{2\sigma}{rg} \cos \varphi,$$

связь между $\cos \varphi$ и смачиваемостью приведена на фиг. 79.

После внесения значений для давления p формула приобретает вид

$$l = C_1 r \sqrt{\frac{\tau}{\eta} \left(H\gamma + \frac{2\sigma}{rg} \cos \varphi - p_3 \right)}.$$

Если принять, что продолжительность процесса связана с величиной отливки, выражающейся ее приведенной толщиной R в виде

$$\tau = m^2 R^2,$$

то формула может быть приведена к виду

$$l = C_1 r m R \sqrt{\frac{p}{\eta}}$$

с подстановкой значения для p .

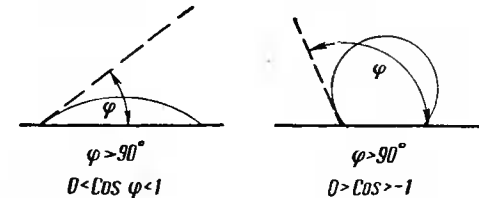
По приведенной условной формулировке глубина R проникновения поверхностного пригарного слоя в толщу формы не может превосходить среднего радиуса r зерна формовочной смеси. При этих предпосылках выведенной формуле может быть придан безразмерный критериальный вид:

$$\frac{l}{r} = C_p; \quad C_p < 1,$$

причем

$$\frac{l}{r} = C_p = C_1 m R \sqrt{\frac{p}{\eta}} = C_1 \sqrt{\frac{p\tau}{\eta}}.$$

Анализ формулы приводит к выводу, что глубина проникновения пригарного слоя увеличивается при: 1) увеличении продол-



Фиг. 79. Связь между косинусом φ и смачиваемостью.

жительности процесса, следовательно, и при увеличении приведенной толщины отливки; 2) уменьшении вязкости, а следовательно, и при увеличении температуры заливки; 3) увеличении давления, а следовательно, при увеличении высоты отливки; 4) увеличении размеров зерна, а следовательно, при увеличении газопроницаемости смеси.

Эти величины находятся в сложной взаимной связи, которая в дальнейшем будет рассмотрена подробнее.

Особого внимания заслуживает вопрос о продолжительности процесса, зависящей от теплового режима формы. В частности можно полагать, что продолжительность проникновения пригарного слоя увеличивается при увеличении количества тепла, передаваемого от отливки к форме и при уменьшении ее теплопроводности.

Если количество тепла, передаваемого от отливки к форме, выражать коэффициентом теплоотдачи (α) с размерностью $\text{кал/см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$, а теплопроводность коэффициентом λ с размерностью $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$, то более благоприятные условия для проникновения окислов в поры формы создаются при увеличении

отношения $\frac{a}{\lambda}$ с размерностью $\frac{\text{кал} \cdot \text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град} \cdot \text{кал}} = \frac{1}{\text{см}}$, отсюда можно выразить склонность к образованию пригара в критериальном виде подобно критерию Био:

$$C_R = \frac{aR}{\lambda} \text{ или } C_r = \frac{ar}{\lambda}.$$

Некоторые авторы считают возможным оценивать охлаждающую способность смеси величиной ее аккумулирующей способности b с размерностью $\text{кал}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}^{1/2} \cdot \text{град}$. В этом случае отношение $\frac{a}{b}$ имеет размерность $\frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}} \cdot \frac{\text{см}^2 \cdot \text{сек}^{1/2} \cdot \text{град}}{\text{кал}} = \text{сек}^{1/2}$, отсюда возможность выразить условия проникновения окислов в форму в виде критерия

$$C_\tau = \frac{a}{b\tau^{1/2}}.$$

Оба последних критерия можно считать логически обоснованными. При этом критерий C_p может рассматриваться учитывающим давление, критерий C_r — учитывающим величину пор, а следовательно, величину зерен смеси и степень ее уплотнения; критерий C_τ учитывает длительность процесса. Поэтому первый критерий может быть назван критерием давления, второй — критерием пространственным, а третий — критерием временным.

Для оценки порядка критической величины двух последних критериев можно принять:

для второго критерия C_r

a — около $4 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$;

λ — около $0,2 \text{ ккал}/\text{м} \cdot \text{ч}$;

r — радиус пор около $0,1 \text{ мм} = 10 \text{ м}$.

Отсюда

$$C_r = \frac{ar}{\lambda} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{0,2} = 10^{-3};$$

для третьего критерия

b — порядка 10

$$\tau = \text{сек} \text{ или } \frac{1}{60^2} \text{ ч}.$$

Отсюда

$$C_\tau = \frac{a}{b\sqrt{\tau}} = \frac{4}{10 \cdot 60} = 10^{-2}.$$

Абсолютные значения этих критериев могут быть уточнены только на основе накопления опытных данных.

Аналогичные формулы были предложены Н. Б. Куманиным:

$$l = a \sqrt{K} \frac{R\Delta_{nep}}{b\phi} \sqrt{p};$$

$$Q = A \frac{ar^2}{\eta l} \left(H\gamma + \frac{2\sigma}{gr} \cos \varphi - p \right),$$

где A и a — постоянные коэффициенты; при этом коэффициент a зависит от степени уплотнения смеси;

Δ_{nep} — перегрев над температурой ликвидуса;

Q — количество пригоревшего слоя;

остальные величины имеют то же обозначение, что и формулы автора.

Правильность выведенных формул может быть установлена только путем их сопоставления с опытными данными.

6. ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРЕН НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИГАРНОГО СЛОЯ В ФОРМУ

Из анализа общей формулы было установлено, что глубина проникновения пригарного слоя увеличивается с увеличением размеров зерна, но по сложной зависимости. Она может быть вскрыта, если ввести значения радиуса зерна под коренной знак:

$$l = C_1 \sqrt{\frac{\tau}{\eta} r^2 p};$$

$$l = C_1 \sqrt{\frac{\tau}{\eta} r^2 (H\gamma - p_3) + r \frac{2\sigma}{g}}.$$

Отсюда следует, что при достаточно большом первом слагаемом $(H\gamma - p_3)$ увеличение глубины происходит пропорционально радиусу зерна r , а при достаточно малом значении этого слагаемого увеличение глубины пропорционально только $r^{1/2}$. При промежуточных значениях показатель степени n занимает положение

$$0,5 < n < 1,0.$$

Сложность изучения влияния величины зерна усугубляется искажающим влиянием сопутствующих явлений, не учтенных формулой, как например, изменение теплопроводности смеси, изменение скорости реакции между окислами.

Та величина зерна, при которой глубина проникновения пригарного слоя превышает радиус, может быть названа критической. Очевидно, что эта критическая величина зависит от ряда факторов, поэтому не может быть получена единой для всех случаев практики.

В табл. 128 приведены А. Д. Поповым результаты опытных определений связи между глубиной пригарного слоя и величиной зерна. Из рассмотрения этой таблицы можно заметить изменение

глубины проникновения пригарного слоя приблизительно пропорциональным величине зерна. Несовпадение может быть частично объяснено неточностью определения величин зерна.

Обращает на себя внимание увеличение глубины проникновения пригарного слоя при наиболее мелком зерне в случае заливки сталью. Если исключить возможность ошибочного определения, то придется сделать вывод о том, что в данном частном случае размер зерна 128 мк явился критическим.

Таблица 128

Влияние величины зерна на глубину проникновения пригарного слоя
(по А. Д. Попову)

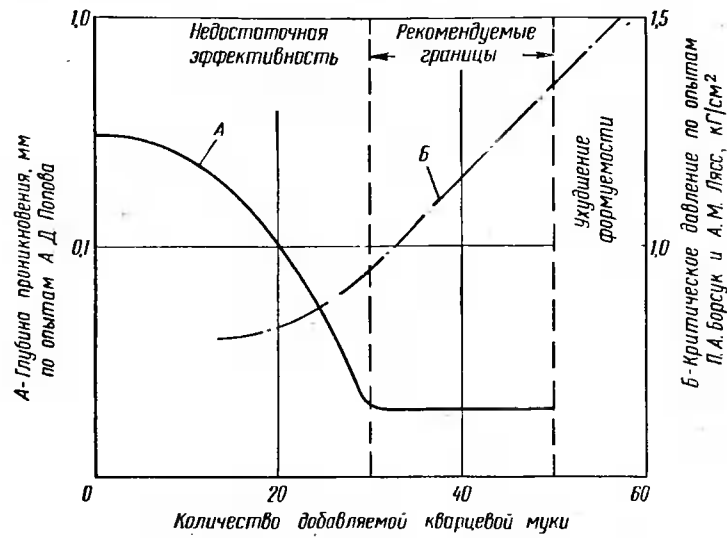
Металл	Остатки зерен на ситах №					
	20	30—40	50—70	100	140	200
Опытные данные: глубина проникновения в мм						
Сталь	1,6	1,0	0,25	0,15	0,10	0,18
Чугун	1,6	1,3	0,28	0,15	0,10	0,05
Пересчет						
Средний расчетный диаметр зерна в мк						
	—	—	260	180	128	90
Относительный диаметр зерна						
	—	—	1,0	0,7	0,5	0,35 ($\sqrt{0,35} \approx 0,6$)
Относительная глубина проникновения						
Сталь	—	—	1,0	0,6	0,4	0,7
Чугун	—	—	1,0	0,6	0,4	0,2

В табл. 129 приведены результаты опытов А. М. Лясса и П. А. Борсука. Пересчет приведенных опытных данных подтверждает приблизительно пропорциональность глубины проникновения пригарного слоя величине зерна и корню квадратному из давления.

Влияние величины зерна и давления на глубину проникновения пригарного слоя в форму
(по А. М. Лясса и П. А. Борсуку)

Давление		Глубина проникновения металла в мм			
		Средний диаметр зерна в мм			
		0,73	0,26	0,13	Меньше 0,053
Опытные данные					
0,6 кг/см ² 2,5 кг/см ²		1,14 1,16	0,42 0,98	0,38 0,94	0,12 0,20
Пересчет автора					
Относительное давление		Относительный средний диаметр			
		1,00	0,36	0,18	Менее 0,07
		Относительная глубина проникновения пригарного слоя в зависимости от давления			
p	$\sqrt{p}$				
1,00 1,2	1,00 2,05	1,00 1,02	1,00 2,3	1,00 2,2	1,00 1,7
		Относительная глубина проникновения пригарного слоя в зависимости от диаметра зерна			
p	$\sqrt{p}$				
1,00 4,2	1,00 2,05	1,00 1,00	0,37 0,85	0,34 0,73	1,00 0,17
		Относительная глубина проникновения пригарного слоя в зависимости от величины зерна, если принять глубину проникновения при зерне 0,75 мм и при давлении 2,5 кг/см ² равной расчетной			
1,14 · 2,05 = 2,2 мм (вместо 1,16 мм)					
1,00 4,2	1,00 2,05	1,00 1,00	0,37 0,44	0,34 0,38	0,10 0,10
		Расчетная глубина проникновения в мм			
1,00 4,2	— —	1,14 2,2	0,41 0,81	0,21 0,40	0,08 0,16

Уменьшение размера зерна может быть достигнуто также добавлением кварцевой муки. Результаты опытов по влиянию кварцевой муки на глубину проникновения пригарного слоя



Фиг. 80. Влияние добавки кварцевой пыли на глубину проникновения пригарного слоя.

приведены на фиг. 80, по данным А. Д. Попова, А. М. Лясса и П. А. Борсука.

Приведенная на этой фигуре рекомендованная область добавки кварцевой муки должна рассматриваться как условная, зависящая от зернового строения смеси и степени дисперсности муки.

Таблица 130

Влияние степени дисперсности кварцевой муки на величину критического давления (по А. М. Ляссе и П. А. Борсуку)

Происхождение муки	Остаток зерен на сите — 270 (тазик)	Критическое давление в кг/см²
Болотовское	84—86	1,25—1,50
Туктубаевское	70	0,53—0,63
Молотый Люберецкий песок	40	0,40—0,48

Влияние степени дисперсности муки на критическое давление, при котором пригарный слой проникает в толщу формы, приведено в табл. 130.

Уместно отметить наблюдение, что при равном среднем расчетном размере зерна проникновение пригарного слоя в толщу формы уменьшается в случае однородного зерна по сравнению с крупным зерном, к которому добавлена кварцевая мука [225].

7. ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЕНИЯ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИГАРНОГО СЛОЯ В ФОРМУ

Уменьшение размеров пор происходит не только при уменьшении размеров зерна, но и при увеличении уплотнения смеси. Это подтверждается результатами опытов, приведенных в табл. 131.

Таблица 131

Влияние уплотнения на глубину проникновения пригарного слоя в форму

Количество ударов бабы копра	Опытные данные					
	Смесь					
	А		Б		В	
	Глубина в мм	Твердость в единицах	Глубина в мм	Твердость в единицах	Глубина в мм	Твердость в единицах
1	0,46	44,0	0,24	58,5	—	—
2	0,44	66,9	0,26	66,8	2,2	40
3	0,39	70,0	0,25	72,0	1,9	60
7	0,45	78,0	0,16	85,0	—	—
10	0,40	78,3	0,15	87,5	—	—
15	0,37	81,0	0,12	88,0	1,8	80

Примечание.

Смеси: А — песок типа К063Б (условный радиус 0,31 мм);

Б — песок типа К016А (условный радиус 0,08 мм);

А и Б — заливались сталью при температуре 1680° С [227];

В — заливалась чугуном при температуре 1320° под давлением 2,0 кг/см² по данным А. М. Лясса и В. В. Чиминова.

Из рассмотрения результатов опытов можно сделать выводы:

1. Глубина проникновения пригарного слоя не пропорциональна увеличению количества ударов бабы копра.

2. Не наблюдается четкой закономерности между глубиной проникновения и поверхностной твердостью формы.

Такая же малая зависимость глубины проникновения от поверхности твердости в границах 25—75 при весе отливки до 15 кг наблюдалась Д. И. Лоськовым [226]. При весе отливки 500 кг наблюдалось уменьшение пригара только при увеличении поверхностной твердости свыше 65 единиц.

Можно полагать наличие «критической твердости», подобной «критическому диаметру зерна». Из табл. 139 видно, что для смесей типа К063Б и К016А «критическая твердость» наступает при превышении приблизительно 80 единиц.

Уменьшение глубины проникновения, связанное с уменьшением размеров пор, должно найти отражение и на связи с газопроницаемостью.

Если принять газопроницаемость K связанной с величиной диаметра зерна d формулой (§ 2 гл. II части четвертой)

$$K = C_3 \cdot d^{1,5},$$

то глубина проникновения в зависимости от диаметра зерна приобретает вид

$$l = C_{\kappa} \left(\frac{K}{C_3} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{\frac{p\tau}{\eta}}.$$

Поэтому можно выразить сомнение в прямой пропорциональности глубины проникновения величине газопроницаемости.

8. ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИГАРНОГО СЛОЯ В ФОРМУ

Согласно выведенной общей формуле глубина проникновения *l* пропорциональна корню квадратному из давления *p*.

Но само давление зависит от высоты и удельного веса металла $p_1 = H\gamma$, капиллярного давления $p_2 = \frac{2\sigma}{gr}$ и газового противодавления *p*₃.

Таким образом, нельзя считать глубину проникновения пригарного слоя пропорциональной только высоте слоя жидкого металла, как это делается некоторыми авторами.

В подтверждение этого положения приведены в табл. 132 результаты опытов по определению давления на глубину про-

Таблица 132

Влияние давления на глубину проникновения пригарного слоя в форму (Чугун в жидкостекляную смесь по А. М. Ляссу и В. В. Чиминову)

Температура заливки в °С	Давление в кг/см²				
	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0
Опытные данные					
Глубина проникновения пригарного слоя в мм					
1220	0,12	0,4	0,6	0,8	0,9
1440	—	1,8	2,3	2,5	2,8
Пересчет автора					
Относительное давление <i>p</i> : 0,5					
—	1,0	2,0	3,0	4,0	
Корень квадратный из относительного давления <i>p</i> : 0,5					
—	1,0	1,4	1,7	2,0	
Относительная глубина проникновения <i>l</i> : <i>l</i> _{0,5}					
1220	—	1,0	1,5	2,0	2,2
1440	—	1,0	1,3	1,4	1,6
Среднее					
$\frac{l:l_{0,5}}{\sqrt{p:0,5}}$	1,0	1,4	1,8	1,9	
	1,0	1,0	1,05	0,95	

никновения пригарного слоя в форму. В данном случае можно предположить, что критическое давление составило около 0,25 кг/см², и для упрощения расчетов можно относить глубину проникновения пригарного слоя $C_{\kappa} = \sqrt{p:0,5}$. Это отношение составляет 1,0 ± 0,05.

Уместно указать на то, что при среднем расчетном удельном весе железоуглеродистых сплавов $\gamma = 7 \text{ г/см}^3$ высоте слоя 100 см соответствует давление

$$p_1 = \frac{100 \cdot 7}{1000} = 0,7 \text{ кг/см}^2.$$

Наличие критического давления и пропорциональности относительной глубины проникновения относительному давлению подтверждается опытами А. М. Лясса и П. А. Борсука, результаты которых приведены в табл. 133.

Таблица 133

Влияние давления на глубину проникновения пригарного слоя в форму (Сталь 20Х13НГ по А. М. Ляссу и П. А. Борсуку)

Смесь	Давление p в кг/см ²				Критическое давление в кг/см ²
	0,6	1,2	1,8	2,5	
Опытные данные					
Глубина проникновения в мм					
Песчано-глинистая	0,40	0,79	0,80	0,82	Менее 0,6
Песчано-маршалитовая (45% кварцевой муки)	Нет	Нет	0,20	0,28	1,5
Хромомагнитовая с жидким стеклом	Нет	Нет	Нет	Нет	Более 2,5
То же с сульфитной бардой . .	0,13	0,21	0,24	0,57	Менее 0,6
Хромистый железняк с жидким стеклом	Нет	Нет	Нет	Нет	Более 2,5
То же с сульфитной бардой . .	0,21	—	—	0,60	Менее 0,6
Магнитовая с жидким стеклом	0,32	—	—	0,47	Менее 0,6

Пересчет автора

Относительное давление (*p* : 0,6)

| 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,2 |

Корень квадратный из относительного давления $\sqrt{p:0,6}$

| 1,0 | 1,4 | 1,7 | 2,1 |

Относительная глубина проникновения

Песчано-глинистая	1,0	2,0	2,0	2,1
Хромомагнитовая с сульфитной бардой	1,0	1,6	1,8	4,4
Хромистый железняк с сульфитной бардой	1,0	—	—	2,9
Магнитовая с сульфитной бардой	1,0	—	—	1,5
Среднее . . .	1,0	1,8	1,9	2,9 (2,2*)

* Без учета величины 4,4, кажущейся явным выпадом.

Из таблицы может быть сделан также вывод о зависимости критического давления от состава формовочной смеси. Наименьшее критическое давление наблюдается у смесей песчано-глинистых. Оно повышается при добавлении в смесь кварцевой муки. Наиболее высокое давление наблюдается у смесей хромистых и хромомagneзитовых на жидком стекле. Можно полагать, что повышение критического давления связано в данном случае главным образом с наличием в смеси жидкого стекла, так как при той же зерновой основе, но при наличии в качестве связующей добавки сульфитного щелока вместо жидкого стекла критическое давление снова упало до минимума.

9. ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛА НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИГАРНОГО СЛОЯ

Согласно выведенной формуле глубина проникновения пригарного слоя в форму обратно пропорциональна корню квадратному из вязкости. Достоверных непосредственных опытов в подтверждение этого положения проведено не было. Косвенно влияние вязкости видно из табл. 134, связывающей увеличение жидкотекучести с увеличением глубины проникновения в форму пригарного слоя.

Таблица 134

Влияние жидкотекучести на глубину проникновения пригарного слоя
(по А. М. Лясу и В. В. Чиминову)

Температура заливки 1320° С. Давление металла 1,0 кг/см²

Количество фосфора в %	Жидкотекучесть по длине спирали в мм	Глубина проникновения в мм
0,2	630	0,8
1,0	800	1,2
2,0	920	1,8

10. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРИГАР

При учете влияния температуры на пригар следует различать температуру заливки и температуру прогрева формы, хотя они между собой тесно связаны.

При оценке влияния температуры необходимо учитывать многогранность ее воздействия, в частности через изменения, приведенные в § 5 гл. I части шестой, трех критериев пригара.

Из приведенных в основной формуле величин можно считать зависящими от температуры величины вязкости, поверхностного натяжения, изменения зерен смеси, продолжительность процесса соприкосновения отливки с поверхностью формы при повышенных температурах.

Повышение температуры приводит к увеличению глубины проникновения пригарного слоя в форму из-за уменьшения вязкости и увеличения продолжительности пребывания при повышенной температуре, но приводит к уменьшению глубины проникновения из-за уменьшения величины поверхностного натяжения. При повышении температуры увеличиваются критерии пространственный S_r и временной S_t . Влияние изменения зерен происходит по значительно более сложной закономерности.

На основании выведенной в § 5 гл. I части шестой формулы можно ожидать, что повышение температуры будет способствовать увеличению глубины проникновения пригарного слоя в форму.

В подтверждение этих положений приводится табл. 135, из которой видно, что при нарастании температуры уменьшается «критический диаметр» зерна, характеризующийся величиной газопроницаемости.

Таблица 135

Влияние температуры заливки на глубину проникновения пригарного слоя
(По Били и Протеро)

Характеристика	Опытные данные при газопроницаемости				
Температура заливки в °С	602	383	188	94	75
Глубина проникновения окислов в мм					
1640	0,40	0,35	0,25	0,17	0,15
1629	0,06	0,08	0,06	0,18	0,13
1600	0,06	0,05	0,08	0,07	0,12

Пересчет автора

K^2/s	71	52	32	21	18
$K^2/s : 18$	4,1	3,0	1,8	1,2	1,0
Относительная расчетная глубина проникновения при $t = 1640^\circ \text{С}$	2,7	2,4	1,7	1,1	1,0

Вязкость резко увеличивается при переходе через линии солидус и «нулевой жидкотекучести» [228]. Поэтому следует ожидать резкого уменьшения глубины проникновения пригарного слоя при той температуре заливки, при которой температура на поверхности отливки — форма достигает температуры солидуса или «нулевой» жидкости. Факт наличия такой «критической» температуры подтверждается непосредственными опытами, приведенными в табл. 136.

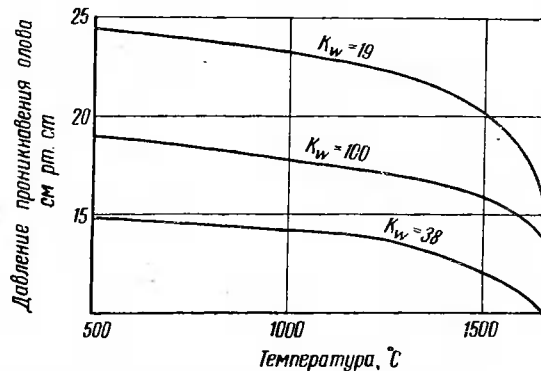
Влияние состава стали на критическую температуру образования пригарного слоя [127]

Средний состав стали: 0,2% C; 0,6% Mn; 0,3% Si; 0,03% S; 0,03% P

Температура на поверхности металл — форма составляет около 0,9 температуры заливки

Изменяемый элемент	Содержание элемента	Критическая температура в °С	Изменяемый элемент	Содержание элемента	Критическая температура в °С
Фосфор	0	1620	Никель	0	1620—1640
	0,2	1620		1	1600—1620
	0,3	1580		5	1600—1620
	0,4	ниже { 1500		15	1620—1640
	0,9		1500		
Хром	0	1620—1640	Титан	0	1620—1640
	1	1600—1620		0,1	1640—1660
	5	1620—1640	Углерод	0	1660
	15	1580—1600		0,2	1620
					0,4
				0,6	

Влияние температуры заливки сказывается на изменении условий получения пригара также из-за разной степени прогрева формы. Вначале при повышении температуры формы в ней



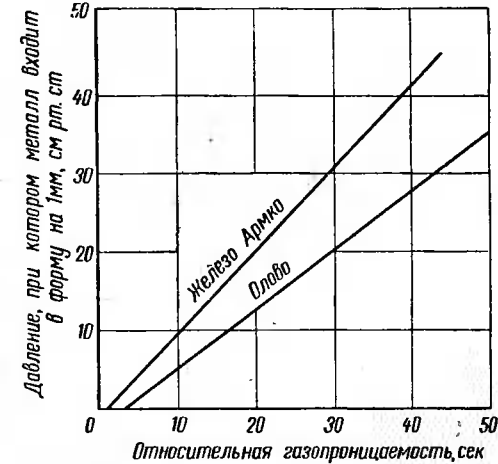
Фиг. 81. Влияние температуры олова на критическое давление.

ского давления из-за усиленного образования дополнительных пор и частичного сплавления смеси. При температуре выше 1600° C наблюдается резкое повышение критического давления из-за появления на поверхности формы оплавленного газонепроницаемого слоя. По мнению авторов этих опытов температура, при которой наблюдается резкое повышение критического давления, соответствует температуре плавления (измеренной пироконусами).

Аналогичные результаты были получены А. М. Ляссом и В. В. Чиминовым, обнаружившим резкое уменьшение пригарного слоя при нагреве чугуновых образцов в жидкостекольной смеси выше 1400° C. В этих опытах наблюдалось наряду с уменьшением пригарного слоя увеличение спекшегося слоя формовочной смеси, прилегавшей к поверхности отливки.

Связь между газопроницаемостью и глубиной проникновения была установлена в § 5 гл. I части шестой

$$l = C_k \frac{K^{2/3}}{C_3} \sqrt{\frac{p\tau}{\eta}}.$$



Фиг. 82. Влияние относительной газопроницаемости на критическое давление.

Отсюда следует, что глубина проникновения не может быть пропорциональной газопроницаемости, но газопроницаемость может быть приблизительно пропорциональной давлению из-за близкого совпадения показателей степени 0,5 и 0,67. Такая пропорциональность приведена на фиг. 82.

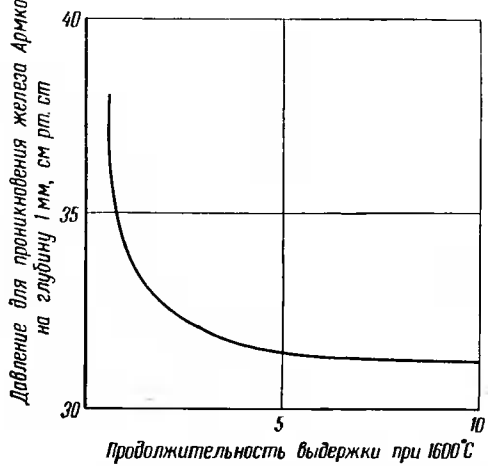
Как уже было сказано, можно ожидать наличия критического давления как при повышении температуры, так и при увеличении продолжительности выдержки, это подтверждается результатами опытов, приведенными на фиг. 83.

Однако можно полагать, что продолжительность выдержки может оказывать разное влияние на пригар: если выдержка происходит при температуре плавления формовочной смеси, то пригар уменьшится так же, как он уменьшается при повышении температуры заливки.

Глубина проникновения пригарного слоя при увеличении продолжительности выдержки увеличивается по-разному также и в зависимости от атмосферы окружающей среды, как это видно из табл. 137, закономерность изменения глубины проникновения ($l: \sqrt{\tau}$) сохраняется, но значительное уменьшение глубины проникновения наблюдается только при создании сильно вос-

создается дополнительная пористость из-за усадки и выгорания отдельных примесей. Это приводит к увеличению ее проницаемости и к уменьшению давления, которое надо приложить к металлу для внедрения его в форму. Возможность наличия такой закономерности подтверждается непосредственными опытами с оловом, результаты которых приведены на фиг. 81. При повышении температуры до 1600° C наблюдается падение критиче-

становительной атмосферы (водород). В нейтральной среде (аргон) глубина проникновения отличается незначительно по сравнению с условиями нагрева в атмосфере воздуха.



Фиг. 83. Влияние продолжительности выдержки на пригар.

Этот опыт подтверждает наличие окислов на поверхности металла, и замена окислительной атмосферы на нейтральную не может значительно изменить глубины проникновения окислов в форму. Только создание резко восстановительной атмосферы может уменьшить количество окислов на поверхности металла, а следовательно, и изменить глубину их проникновения в форму. Приведенные коэффициенты были получены при

Таблица 137

Влияние продолжительности выдержки на глубину проникновения пригарного слоя в форму (по Б. Б. Гуляеву и Ю. Ф. Боровскому)

Газ	Продолжительность выдержки в мин				
	0	15	30	60	
Опытные данные					
Глубина проникновения окислов в мм					
Кислород	0	1,8	2,5	3,2	
Воздух	0	1,15	1,9	2,6	
Аргон	0	1,1	1,8	2,0	
Водород	0	0,0	0,0	0,0	

Пересчет автора

Относительная продолжительность выдержки $\sqrt{\tau}$

0	3,9	5,5	7,8
---	-----	-----	-----

Относительная глубина проникновения окислов $l: \sqrt{\tau}$

Среднее

Кислород	0,44±0,02	—	0,46	0,46	0,41
Воздух	0,33±0,03	—	0,30	0,35	0,33
Аргон	0,30±0,05	—	0,28	0,35	0,26

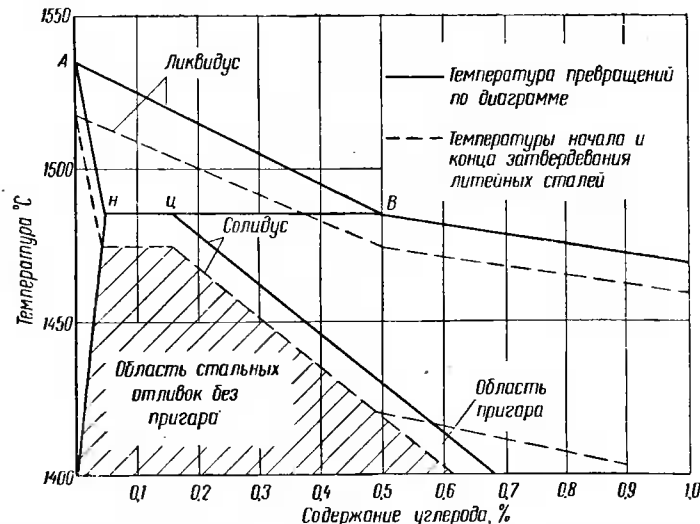
выдержке образцов при температуре 1300 °C. При понижении температуры глубина контактной зоны уменьшается, как это видно из приведенных данных (по Б. Б. Гуляеву и Ю. Ф. Боровскому¹)

Температура в °C	Глубина контактной зоны в мм
800	0,1
1000	0,5
1200	1,0
1400	2,25

Однако не исключено обратное положение в случае смесей с большим содержанием добавок, создающих восстановительную атмосферу, как например смесей для оболочковых форм. В этом случае увеличение длительности пребывания отливки в форме может привести к уменьшению пригара.

11. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МЕТАЛЛА НА ПРИГАР

Состав металла может оказывать влияние на пригар в нескольких направлениях: на вязкость (табл. 134) и температуру солидуса (табл. 136).



Фиг. 84. Схема связи между содержанием углерода в стали и областью появления отливок с пригаром.

Особое внимание следует обратить на сделанный вывод о резком снижении пригара в случае, когда температура на поверхности форма — отливка получается ниже температуры солидуса к моменту окончания заполнения формы жидким металлом.

¹ Личное сообщение.

Если принять, что температура на поверхности форма — отливка составляет 0,9 от температуры заливки, то для уменьшения пригара желательно заливать при температуре около $1/0,9 = 1,1$ температуры солидуса. Но это требование становится тем более затруднительным, чем больше разница между температурами солидуса и ликвидуса.

На фиг. 84 приведена диаграмма изменения температур начала и конца затвердевания стальной части железоуглеродистых сплавов. Из диаграммы видно, что опасность увеличения пригара увеличивается при повышении содержания С в стали свыше 0,5%.

12. ВЛИЯНИЕ ОГНЕУПОРНОСТИ НА ПРИГАР

Автор неоднократно подчеркивал нецелесообразность выбора во всех случаях смесей по признаку наибольшей огнеупорности для получения отливок с наименьшим пригаром. Практика подтвердила правильность этих прогнозов, и в настоящее время можно считать установленным ряд закономерностей, связанных с влиянием огнеупорности на пригар:

1. Наибольший пригар обнаруживается при использовании смесей со средней огнеупорностью.

2. Пригар может уменьшиться при использовании смесей как с большой, так и с малой огнеупорностью.

3. Приведенные в § 3 гл. III части первой границы содержания элементов в песках и глинах относятся к случаям, когда необходимо применять наиболее огнеупорные смеси.

В качестве примеров можно привести снижение пригара при заливке стали (высокая температура заливки) в жидкостекольные формы и наличие большого пригара при заливке в жидкостекольные формы чугуна (пониженная температура заливки).

Пригар увеличивался при повышении содержания полевых шпатов до 20%. При дальнейшем повышении их содержания наблюдалось снижение пригара [230].

Удавалось получать отливки с малым пригаром в смесях на основе ваграночного шлака.

Для оценки огнеупорности материалов, применяемых в литейном производстве, особое значение приобретает скорость появления тех свойств, которые характеризуют «огнеупорность», т. е. размягчение, плавление, спекание.

Отсюда ряд следствий:

1. Химический состав не может характеризовать огнеупорность, так как при неизменном валовом химическом составе может наблюдаться разное распределение элементов между зернами. Между тем процессы оплавления, размягчения и спекания начинаются с поверхности зерен. Поэтому эти процессы разовьются тем скорее, чем мельче зерна и чем равномернее они между собой перемешаны. По этой же причине огнеупорность силиката

всегда ниже огнеупорности смеси разных зерен, но того же валового химического состава.

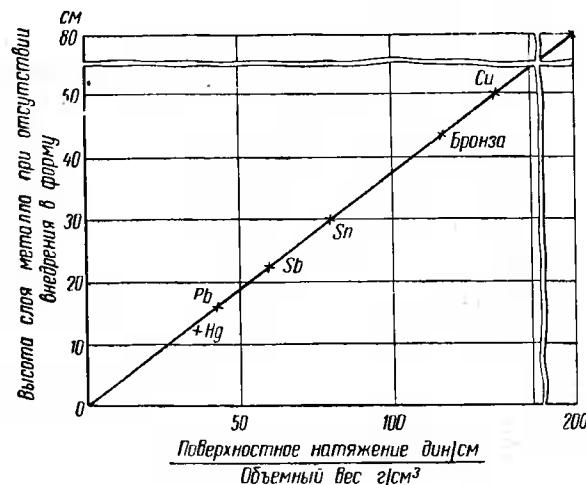
2. Еще меньшее значение может иметь огнеупорность отдельных составляющих смеси, так, например, от добавления огнеупорной глины в большом количестве смесь может оказаться менее «огнеупорной», чем при добавлении менее огнеупорной глины, но в меньшем количестве.

3. Огнеупорность целесообразнее определять путем сопоставления с огнеупорностью стандартных пироскопов. Они представляют собой трехгранные пирамиды высотой 30 мм и со сторонами верхнего и нижнего оснований 8 и 2 мм. Они помещаются вместе с пирамидками из испытуемого материала в печь и нагреваются до 1500° С со скоростью 10—15 град/мин, а свыше 1500° С со скоростью 5 град/мин. Другие методы определения огнеупорности дают менее удовлетворительные результаты, в частности метод определения пригорания к платиновой ленте.

13. ВЛИЯНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИГАРНОГО СЛОЯ

Капиллярное давление учитывается в основной формуле формулой Журена

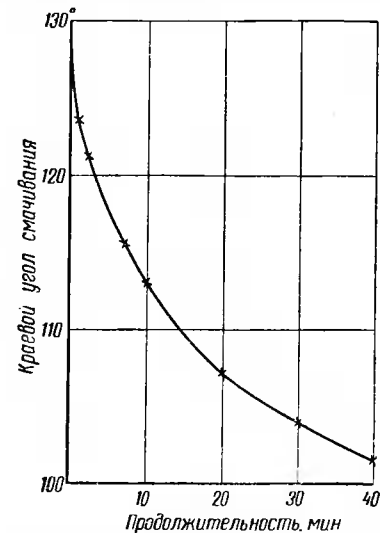
$$p_2 = \frac{2\sigma}{rg} \cos \varphi.$$



Фиг. 85. Влияние поверхностного натяжения на критическое давление.

Из фиг. 85 видна прямая пропорциональность между высотой слоя металла в см, при которой отсутствует внедрение металла в форму, и отношением поверхностного натяжения в дин/см

к удельному весу в $г/см^3$. При этом смесь имела газопроницаемость около 30 и содержала около 11% кварцевой муки. Можно утверждать, что при другом зерновом строении критическое да-



Фиг. 86. Влияние выдержки на изменение краевого угла.

вление окажется другим, но важно наличие отмеченной прямой пропорциональности.

Изменение краевого угла при равных средах на равных формовочных смесях и спустя разные отрезки времени приведено в табл. 138. В этой таблице продолжительность смачивания ограничивалась 5 мин. Из фиг. 86, составленной по опытам А. М. Лясса и И. В. Валисовского, видно, что при дальнейшей продолжительности смачивания краевой угол продолжает уменьшаться. Из рассмотрения табл. 138 можно сделать выводы:

1. Во всех без исключения случаях краевой угол при увеличении продолжительности смачивания уменьшается, что свидетельствует

Таблица 138

Смачиваемость
(по А. М. Ляссу и И. В. Валисовскому)

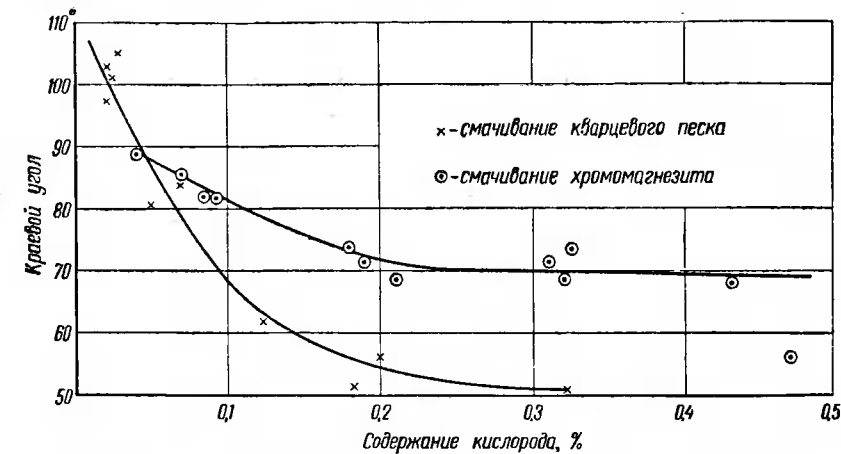
Материал формы	Металл	Газовая среда					
		окислителя		слабо окис- лительная		нейтральная	
		через минуту					
		0	1	0	5	0	5 "
Кварцевый песок	Железо	52	36	83	67	111	107
То же	Армко		(0,7)		(0,8)		(0,98)
	Сталь 30Л					103	93 (0,9)
98% кварцевого песка +2% льняного масла	Армко	—	—	50	41 (0,8)	131	124 (0,95)
98% кварцевого песка +2% олифы	»	—	—	—	—	116	115 (0,99)
98% кварцевого песка +2% олифы	Сталь 30Л	—	—	—	—	109	104 (0,96)

Продолжение табл. 138

Материал формы	Металл	Газовая среда					
		окислительная		слабо окислительная		нейтральная	
		через минуту					
		0	1	0	5	0	5
98% кварцевого песка +2% сульфитной барды	Армко	—	—	68	50 (0,7)	119	107 (0,9)
98% кварцевого песка +2% сульфитной барды	Сталь 30Л					113 109	109 (0,97) 98 (0,9)
98% кварцевого песка +2% сульфитной барды	Армко	—	—	106	97	118	115
92—94% кварце- вого песка +6— 8% жидкого стекла	»					116	106 (0,92—0,98)
	Сталь 30Л	—	—	—	—	97	96 (0,98)
90% кварцевого песка +10% жидкого стекла	Армко	—	—	73	66 (0,9)	115	108 (0,94)
75% кварцевого песка +25% жидкого стекла	»	—	—	84	77 (0,9)	122	114 (0,94)
90% кварцевого песка +10% цемента	Армко	—	—	86	81 (0,9)	104	95 (0,92)
Кварцевая мука .	»	90	—	90	82 (0,9)	105	99 (0,94)
Хромистый желез- няк	»	—	—	93	89 (0,96)	81	71 (0,89)
Хромистый желез- няк	Сталь 30Л	—	—	—	—	88	85 (0,97)
Хромомagneзит . .	Армко	63	54 (0,85)	101	96 (0,9)	102	97 (0,9)
Магнезит	Армко	90	64 (0,7)	107	102 (0,9)	113	100 (0,9)

об увеличении смачиваемости поверхности формы металлом по мере увеличения выдержки.

2. Краевой угол уменьшается по мере увеличения выдержки значительно сильнее в окислительной газовой среде по сравнению с нейтральной газовой средой. При сопоставлении изменения угла во времени надо учесть, что при испытаниях в окислительной газовой среде измерялось изменение угла через 1 мин, а в двух остальных случаях через 5 мин.



Фиг. 87. Влияние содержания кислорода в железе на краевой угол.

3. Увеличение скорости изменения краевого угла в окислительной атмосфере указывает на связь между уменьшением краевого угла и увеличением окисленности поверхности металла.

4. Из всех испытанных материалов не смачивается железом армо в окислительной среде только магнезит.

5. В слабоокислительной среде не смачивается армо-железом хромомagnesит, магнезит и жидкостекольная смесь с кварцевым песком.

6. В нейтральной атмосфере не смачиваются изученные формовочные смеси.

7. В слабоокислительной и нейтральной газовой среде смачивание материалов, содержащих окись магния, изменяется незначительно.

Уменьшение краевого угла смачивания в окислительной среде приводит к прогнозу об уменьшении краевого угла при увеличении содержания кислорода в металле. Правильность предположения этого подтверждается опытами А. М. Лясса и И. В. Валисовского, результаты которых приведены на фиг. 87. Из рассмотрения результатов этих опытов можно прийти к выводам:

1. При увеличении содержания кислорода в металле краевой угол уменьшается.

2. При одинаковой окисленности металла краевой угол на поверхности хромомagnesита меньше краевого угла на кварце.

3. При достижении критического содержания кислорода в металле дальнейшего значительного уменьшения краевого угла не замечается.

В табл. 139 приведено влияние зернового строения на величину краевого угла смачивания. Из таблицы можно отметить, что это влияние очень незначительно и сглаживается в окислительной среде.

Таблица 139

Влияние величины зерна на краевой угол смачивания
(Смачивание армо-железа по А. М. Ляссу и И. В. Валисовскому)

Материал формы	Среда	Средний размер зерна в мм					
		0,027	0,090	0,155	0,310	0,505	0,715
		Краевой угол смачивания через 5 мин после начала расплавления					
Кварцевый песок	Нейтральная	103,5	104,5	106	104	—	98
Хромистый железняк		77	79	74,5	—	—	—
Хромомagnesит	Восстановительная	—	112	112	105	103	—
Кварцевый песок	Окислительная	77	—	—	75	—	76 *

* Получено интерполяцией.

С. И. Сапиро [232] нашел, что увеличение шероховатости поверхности формы приводит к увеличению угла смачивания на 30—40° С, т. е. к уменьшению смачиваемости.

14. ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СМЕСИ НА ПРИГАР

Создание восстановительной атмосферы в форме не всегда способствует уменьшению пригара. Можно полагать, что в отдельных случаях восстановительная атмосфера может облегчить протекание процессов науглероживания поверхности мелоуглеродистой отливки, что повлечет за собой снижение температуры ее плавления и облегчение проникновения в форму пригарного слоя.

Подтверждение возможности увеличения пригара при введении в смесь науглероживающей добавки можно усмотреть из опытов, приведенных в табл. 140: снижение критической температуры при заливке стали обнаруживается при введении в смесь масла.

Можно полагать, что именно процессом науглероживания могут быть объяснены неудачи борьбы с пригаром стальных

Таблица 140

Влияние добавок на критическую температуру пригара стали (по Били и Протеро)

Средний состав стали: 0,3% углерода; 0,6% марганца; 0,3% кремния, 0,03% фосфора и 0,03% серы

Добавка	Критическая температура в °С
Натриевый бентонит	1620—1640
Крахмалистые добавки	1640—1660
Масло	1540—1560
Окалина	1620—1640
Портланд-цемент	1600—1620

15. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СМЕСИ НА ПРИГАР

Из критериев C_r и C_t (§ 5 гл. I части шестой) следует, что на уменьшение пригара влияет увеличение как теплопроводности, так и связанной с ней аккумулирующей способности формы.

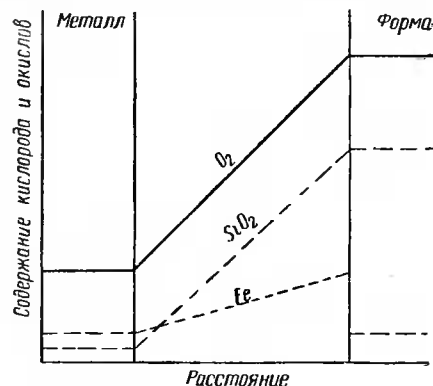
Особое значение имеет увеличение конвективной теплопроводности, связанной и с увеличением газопроницаемости. Влияние газопроницаемости на глубину проникновения пригарного слоя было подтверждено опытами, разобранными в § 10 гл. I части шестой.

16. ОБРАЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ МЕЖДУ ОКИСЛАМИ ФОРМЫ И МЕТАЛЛА

Оксиды формы могут образовывать соединения только с оксидами металла. Образование соединений оксидов формы с самим металлом очень мало вероятно.

Схема постепенного изменения концентрации оксидов на поверхности металл — форма приведена на фиг. 88. Получающиеся соединения должны изменяться в зависимости от состава формы и металла.

При оценке химического состава следует учитывать, что оксид смеси всегда имеется в избытке.



Фиг. 88. Схема распределения оксидов на поверхности форма — отливка.

малоуглеродистых отливок при введении в смесь науглероживающих добавок, хотя они и создают восстановительную атмосферу. Между тем эта мера оказывается эффективной при заливке чугуна, науглероживание которого мало заметно из-за наличия в нем высокого содержания углерода.

Также частично снижением температуры плавления пригарного слоя может быть объяснено увеличение пригара при введении в смесь пирита, выделяющегося при нагреве серы.

Поэтому:

1) состав соединения по отношению к этому оксиду изменяется в зависимости от глубины взятия пробы;

2) сопоставимыми получаются абсолютные количества оксидов, приходящихся на единицу поверхности форма — отливка. Такое изменение состава оксидов приведено в табл. 141 [227].

Таблица 141

Влияние температуры на глубину проникновения оксидов и их состав

(по Били и Протеро)

Температура заливки <i>t</i> в °С	Глубина проникновения окислов в мм	Содержание окислов в мг на 1 см ² поверхности			Содержание кислорода в окислах на 1 см ² поверхности			
		FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	Сумма
Крупный песок типа K063Б*					Пересчет			
Состав песка		Следы	0,53	Следы	—	—	—	—
1534	0,08	30,8	2,78	1,09	0,8	6,7	0,2	7,7
1560	0,05	29,5	3,70	1,18	1,1	6,5	0,3	7,9
1580	0,04	31,7	3,69	1,15	1,1	7,0	0,3	8,3
1600	0,05	35,1	4,52	0,80	1,3	7,7	0,2	9,2
1620	0,05	36,1	2,98	0,78	0,9	8,0	0,2	9,1
1640	0,30	39,8	2,62	1,14	0,8	8,0	0,3	9,9
1660	0,31	39,5	4,64	0,85	1,4	8,7	0,2	10,3
Средний состав		34,7	3,61	1,0	1,08	7,65	0,3	9,0
Мелкий песок (типа K016A)								
Состав песка		Следы	1,55	Следы	—	—	—	—
1560	0,06	55,0	3,92	1,37	1,2	12,1	0,3	13,6
1580	0,04	51,2	8,25	1,55	2,5	11,2	0,3	14,0
1600	0,12	52,6	4,77	1,91	1,4	11,6	0,4	13,4
1620	0,13	48,2	5,40	2,61	1,6	10,6	0,6	12,6
1640	0,15	44,5	7,49	2,33	2,2	9,8	0,5	12,5
1660	0,11	49,9	8,72	1,63	2,6	11,0	0,4	14,0
1680	0,15	54,7	6,97	1,12	2,1	12,0	0,2	14,3
1700	0,16	49,9	6,84	3,19	2,0	11,0	0,7	13,7
1725	0,12	50,8	5,81	4,17	1,7	11,2	0,9	13,9
Средний состав		50,8	6,5	2,2	2,95	11,2	0,5	13,6

* По всей вероятности, в оригинале опечатка, вместо крупного надо читать мелкий песок, и наоборот.

Из рассмотрения таблицы можно сделать выводы:

1. Критическая температура для крупного песка составляет 1580° С, а для мелкого песка — 1620° С.

2. Наблюдается общее направление в увеличении содержания окиси и закиси железа. Однако общее направление имеет ряд исключений. Более четкая закономерность обнаруживается при пересчете опытных данных на суммарное содержание кислорода в оксидах. У мелких песков суммарный кислород непрерывно

растет. У крупных песков закономерность изменения суммарного кислорода также нарушается, и содержание кислорода не поддается четкой закономерности.

3. Суммарное содержание кислорода у крупных песков значительно (почти на 50%) больше, чем у мелких песков.

Разная закономерность изменения состава окислов в крупных и мелких песках может зависеть от относительного количества кислорода, заключающегося в порах между зернами. Зависимость состава окислов от газовой фазы подтверждается непосредственными опытами Н. С. Крещановского, приведенными в табл. 142. Из рассмотрения таблицы можно совершенно четко усмотреть увеличение количества окислов по мере увеличения окисленности газовой фазы.

Таблица 142

Влияние газовой среды на изменение состава и глубины пригара
(По Н. С. Крещановскому)

Присадка в %	Состав пригоревшего слоя в %			Присадка в %	Состав пригоревшего слоя в %		
	SiO ₂	MnO	FeO		SiO ₂	MnO	FeO
Каменный уголь				Селитра			
0,3	77,6	15,0	—	1,0	77,3	0,2	12,2
0,6	80,1	14,1	—	1,5	75,7	0,3	13,7
1,0	78,2	13,6	—	2,0	75,4	0,3	15,7
1,5	79,4	11,3	—	2,5	75,1	0,3	17,2

В табл. 143 приведены по данным того же автора изменения состава пригарного слоя в зависимости от условий плавки и состава формовочной смеси. Можно также четко обнаружить прямую связь между составом пригарного слоя и условиями проведения плавки. Обращает на себя внимание резкое уменьшение пригарного слоя при применении смеси на магнезитовой основе.

Таблица 143

Влияние условий проведения плавки и заливки стали
на глубину и состав пригарного слоя (по Н. С. Крещановскому)

Условия опыта	Состав пригоревшей корки в %				Формовочная смесь
	SiO ₂	MnO	FeO	Cr ₂ O ₃	
Содержание кислорода в стали в %	Сталь Г13				Нормальная
0,032	80,8	10,9	—	—	
0,041	81,1	14,9	—	—	
После присадки и до присадки ферромарганца	83,6	1,3	9,7	—	
После присадки ферромарганца	80,3	13,7	1,9	—	

Условия опыта	Состав пригоревшей корки в %				Формовочная смесь
	SiO ₂	MnO	FeO	Cr ₂ O ₃	
Толщина слоя в мм	Изменение состава формы				Песчано-глинистая
	Сталь Г13		Сталь угле- родистая		
	—	27	23	—	
	—	—	18	—	
	—	22	12	—	
	—	—	5	—	
	—	12	2	—	
	—	—	1	—	
—	7	—	—		
Толщина слоя в мм	Изменение состава формы				На магнезитовой основе
	Сталь Г13				
	—	3,6	—	—	
	—	1,6	—	—	
	—	0,1	—	—	
Толщина слоя в мм	Изменение состава формы				Песчано-глинистая
	Сталь хромистая				
	86,7	0,5	8,6	1,0	
	94,9	0,3	3,8	Нет	
	94,1	0,3	1,8	»	

Структурный анализ получающихся окислов показывает, что они в большинстве случаев представляют собой не механическую смесь и не растворы, а четкие химические соединения, характеризующие определенные минералы.

Примеры минералов, встречающихся в пригарном слое, приведены в табл. 144. В дополнение к этой таблице можно отметить, что на поверхности песчано-глинистой смеси при заливке в нее углеродистой стали образуется главным образом фаялит. Окись железа (Fe₂O₃) не образует силикатов, хотя в пригарном слое обнаруживается свободная кремнекислота в явном избытке.

При заливке легированных сталей в формы, содержащие окислы, отличные от кварца, встречаются минералы, содержащие эти окислы. Это наблюдение подтверждает наличие прямой зависимости состава пригарного слоя от состава стали и формовочной смеси. Уместно также подчеркнуть, что образование этих минералов может происходить ниже температуры конца затвердевания металла отливки.

Примеры минералов, встречающихся в пригарном слое
(по данным разных авторов)

Формовочная смесь	Сталь	Минерал	Химический состав	Кристаллическая решетка
Песчано-глинистая	Углеродистая	Фаялит Гематит Кварц и тридимит	2FeOSiO_2 Fe_2O_3	Ромбическая Гексагональная » Ромбическая
		Тефроит Родонит Магнантит	2MnOSiO_2 MnOSiO_2 3MnOSiO_2	Триклинная
Шамот	То же	Муллит Мангенцеллит	$3\text{Al}_2\text{O}_3$ $2\text{MnOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	Ромбическая
Магнезитовая	Марганцовистая	Ферростерит Периклаз	$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ MgO	
Хромо-магнезитовая	Хромоникелевая	» Пикотит (хромовая шпинель) Монтчеллит Ферстерит	MgO $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	Кубическая
	То же »		$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Ромбическая
Песчано-глинистая	»	Хромит	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	Кубическая

17. СТРОЕНИЕ ПРИГАРНОГО СЛОЯ

К числу факторов, могущих оказать влияние на плотность приставания пригарного слоя к поверхности отливки, можно отнести и наличие ориентационного соответствия кристаллической решетки металла и пригарного слоя. Впервые опыты, подтверждающие эту возможность, были поставлены автором совместно с Л. Л. Куниным. В дальнейшем это положение было углублено теоретическими выкладками Л. Л. Куниным [234].

Наиболее полное ориентационное несоответствие получается в случае образования аморфного пригарного слоя на кристаллической поверхности металла отливки. Развивая эту мысль, И. Б. Куманин пришел к правильному выводу об уменьшении пригара при образовании пригарного слоя в виде аморфно-стекловидной массы.

Косвенное влияние ориентационного несоответствия на уменьшение пригара подтверждается фактом отсутствия пригара при заливке в жидкостекольные смеси стали и наличием большого пригара при заливке чугуна.

В. В. Чиминов непосредственными опытами, проведенными под руководством А. М. Лясса и И. Б. Куманина, показал, что удалять пригарный слой легче при наличии в нем свыше 20 % аморфных стекловидных включений. Им же было показано, что отделение пригарного слоя облегчается при увеличении скорости охлаждения свыше 60°C за 1 мин и при увеличении выдержки по мере снижения температуры (см. табл. 145).

Ранее проведенные опыты автора показали возможность резкого улучшения отделения пригарного слоя при введении в смесь низкоплавкого ваграночного шлака.

Однако получение стекловидного пригарного слоя нельзя считать универсальным мероприятием, обеспечивающим легкое отделение пригарного слоя от поверхности отливки.

Таблица 145

Влияние продолжительности выдержки на образование легкоотделимого пригара
(по А. М. Ляссу и В. В. Чиминову)

Температура чугуна в $^\circ\text{C}$	Продолжительность выдержки в мин, необходимая для получения легкоотделимого пригара
1600	0,5
1550	1,0
1500	2,0
1450	4,0
1400	12,0
1350	26,0

Глава II

ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ

Поверхностное легирование может рассматриваться как процесс, аналогичный пригару, но сознательно вызываемый с целью изменения состава и свойств поверхностного слоя металла отливки.

В настоящее время поверхностное легирование применяется только для изменения химического состава поверхностного слоя металла отливки, но не исключена возможность воздействия на этот поверхностный слой путем нанесения на него слоя окислов, подобных процессу эмалирования.

Изменение химического состава металла отливки может производиться: 1) навариванием и 2) диффузией.

Автор совершенно твердо убежден в большом будущем процессов поверхностного легирования как метода значительного повышения качества отливок. Не подлежит сомнению, что требования к поверхности отливки должны в большинстве случаев

отличаться от требований к ее основной массе. Различие этих требований может быть в наиболее полной степени удовлетворено применением процессов поверхностного легирования.

Однако теория и практика этих процессов еще совершенно недостаточно разработаны, поэтому приходится в значительной мере высказывать соображения, не подкрепленные непосредственными опытами.

К процессам поверхностного легирования за счет диффузии относилось ранее рассмотренное (§ 4 гл. II части третьей) обогащение металла водородом. В дальнейшем будут рассмотрены случаи изменения содержания в поверхностном слое углерода, серы, теллура.

Конкретные составы паст, применяемые для поверхностного легирования, будут приведены в части седьмой.

2. ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ НАВАРИВАНИЕМ

При поверхностном легировании за счет процессов наваривания на поверхность формы наносится слой пасты, который расплавляется теплом жидкого металла отливки и после затвердевания приваривается к ее поверхности.

На основании проведенных, хотя и очень немногочисленных исследований можно установить следующие закономерности:

1. Следует различать температуры плавления пасты, легированного слоя и легируемого металла.

2. Температура пасты должна быть ниже температуры плавления металла отливки (легируемого металла). Однако чрезмерно низкая температура плавления пасты нежелательна, так как в этом случае она стекает в нижние слои формы и не приваривается к поверхности отливки [235].

3. Температура плавления легированного слоя должна значительно отличаться от температуры плавления легируемого металла. Некоторые авторы считают даже, что температура плавления легированного слоя должна быть выше температуры плавления легируемого металла [236]. Это требование вызвано также опасением стекания в нижнюю часть формы легированного слоя.

4. Опасность стекания легированного слоя в нижнюю часть формы увеличивается при увеличении веса отливки. Поэтому трудности проведения поверхностного легирования увеличиваются при увеличении веса отливки.

5. Для улучшения приставания легированного слоя к поверхности легируемого металла надо обеспечить хорошую взаимную растворимость обоих слоев. В этом случае также имеет место закономерность кристаллизационного подобия решеток.

При сопоставлении паст можно руководствоваться следующими соображениями:

1. В целях снижения температуры плавления не рекомендуется применять чистые металлы, а рекомендуется использовать

высокоуглеродистые ферросплавы. К числу их относятся феррохром, ферромарганец, ферросилиций.

В качестве связующей используется декстрин, жидкое стекло.

2. Образование газовых раковин связано во многих случаях с пористостью пасты. Поэтому рекомендуется применять в пасте ферросплавы разной зернистости. Для уменьшения пористости применяется прессование. Давление прессования доводится до 5000 кг/см^2 .

Для увеличения сопротивления износу лемехов И. А. Ниловский [237] насыпал на дно формы в сухом виде легированную гранулированную шихту толщиной 2—3 мм.

Б. А. Ульянов¹ рекомендует наносить слой пасты на бумажной подложке, которая затем вместе с пастой укладывается на стержень.

3. ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОЕ

Возможность поверхностного легирования за счет процессов диффузии некоторыми авторами отрицается [238], так как действительно для осуществления этих процессов отводится очень мало времени, связанного с пребыванием поверхности отливки при достаточно высокой температуре.

Поэтому осуществление процесса возможно при условии соблюдения ряда условий, способствующих образованию растворов: близкое строение кристаллической решетки и малый атомный радиус. К числу таких элементов в железных сплавах относятся углерод, теллур, бор, азот. Практическое применение находят процессы обогащения поверхности углеродом, серой и теллуrom.

4. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОТЛИВКИ

Возможность науглероживания малоуглеродистой стали была установлена в § 14 гл. I части шестой. Практически при отсутствии науглероживающих добавок в смеси всегда происходит обезуглероживание железистых сплавов. Но по абсолютной величине оно при высокоуглеродистых сплавах практически незаметно. Оно более заметно в малоуглеродистых сплавах и наиболее заметно при заливке стали в неразъемные формы (выплавляемые и растворяющиеся).

В табл. 146 приведены по опытам М. Л. Хенкина глубины обезуглероженного слоя формы в зависимости от температуры формы и содержания углерода в стали.

При оценке глубины обезуглероженного слоя необходимо считаться с тем, что одновременно протекают два процесса — обезуглероживания и окисления. При непосредственном определении

¹ Личное сообщение.

Влияние температуры формы на глубину обезуглероженного слоя
(по М. Л. Хенкину)¹

Сталь	Температура формы в °С							
	500	550	600	650	700	750	800	850
Глубина обезуглероженного слоя в мм при заливке стали								
35	—	0,15	0,22	0,30	0,34	0,39	0,42	0,44
50	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,37	0,39	0,40

¹ Личное сообщение.

глубины обезуглероженного слоя на самом деле определяется разность между глубиной обезуглероженного и окисленного слоев. Если процесс окисления протекает с такой же скоростью, что и процесс обезуглероживания, то глубину обезуглероживания непосредственным обмером определить не представляется возможным.

Из рассмотрения таблицы можно сделать вывод, что при повышении температуры формы процессы обезуглероживания ускоряются. Это может быть связано не только с увеличением скорости обезуглероживания, но и с увеличением продолжительности пребывания поверхностного слоя отливки при тех температурах, при которых происходит процесс обезуглероживания.

В табл. 147, по данным того же автора, приведены результаты определения глубины обезуглероженного и науглероженного

Таблица 147

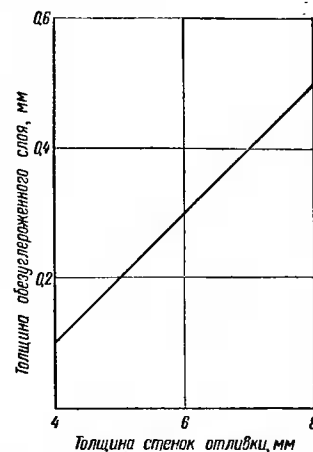
Влияние количества карбюризатора на глубину обезуглероженного и науглероженного слоя
(по М. Л. Хенкину)¹
Сталь 35Л

Количество карбюризатора в %	0	0	3	5	7	10	12,5	15
Температура формы в °С	250	750	750	750	750	750	750	750
Глубина обезуглероженного слоя в мм					Глубина науглероженного слоя в мм			
Диаметр образца в мм	0	0,4	0,3	0,02	0,00	0,1	0,4	0,6
5	0,3	0,6	0,5	0,05	0,00	0,1	0,3	0,5
15	0,5	0,7	0,6	0,08	0,00	0,1	0,3	0,4
30	0,6	0,9	0,8	0,1	0,00	0,05	0,3	0,4

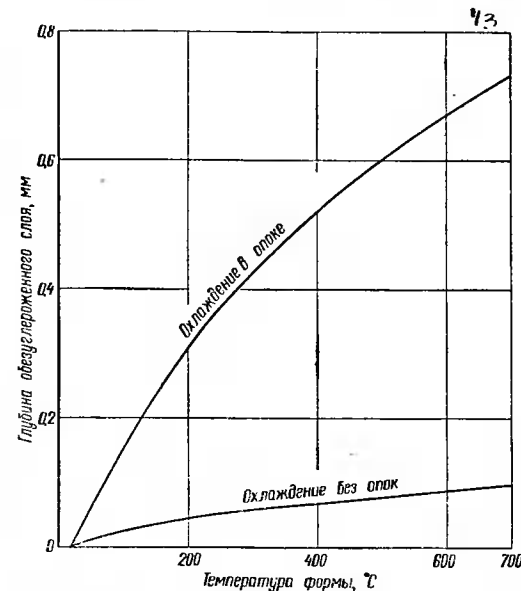
¹ Личное сообщение.

слоя в зависимости от количества добавляемого содового карбюризатора, температуры нагрева формы и диаметра образца. Из рассмотрения таблицы можно сделать выводы:

1. Как при увеличении температуры, так и при увеличении диаметра образца обезуглероживание увеличивается. Это явление может быть связано с увеличением продолжительности пребывания образца при той высокой температуре, при которой происходит процесс обезуглероживания. Однако следует иметь в виду, что степень обезуглероживания увеличивается при наличии в форме конвективных



Фиг. 89. Влияние толщины стенок отливки на толщину обезуглероженного слоя.



Фиг. 90. Влияние условий охлаждения отливки на глубину обезуглероженного слоя.

потоков, подводящих к поверхности отливки новые порции кислорода [239].

При оценке глубины обезуглероженного слоя надо считаться с диаметром образца; при увеличении диаметра образца разницы в глубинах обезуглероженного слоя резко сокращаются.

2. При содержании 7% карбюризатора в смеси атмосфера приближается к нейтральной и не обнаруживается ни обезуглероженный ни науглероженный слой. При других условиях проведения опытов нейтральная атмосфера может получиться при другом содержании карбюризатора.

Увеличение толщины обезуглероженного слоя при увеличении толщины стенок отливки подтверждается также результатами опытов В. Г. Петрова и О. В. Ступишиной [240] (фиг. 89).

Пересчет результатов этих опытов приводит к формуле

$$x_c = 0,1(x_m - 3) \text{ мм},$$

где x_c — толщина обезуглероженного слоя;

x_m — толщина стенок отливки.

Уменьшение глубины обезуглероженного слоя наблюдается и при ускорении охлаждения защитной опоки, как это подтверждается результатами опытов О. В. Ступишиной, приведенными на фиг. 90.

Абсолютные величины науглероженного и обезуглероженного слоев могут получиться другими при введении в смесь других науглероживающих добавок. В частности И. И. Горюнов и И. П. Башков установили «нейтральную атмосферу» при введении в смесь 6% древесного угля, а И. В. Труш при присадке 10% графита обнаружил обезуглероженный слой.

5. ОБОГАЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВКИ СЕРОЙ

Обогащение поверхности отливки серой может явиться желательным явлением, так как наличие серы в поверхностных слоях металла отливки улучшает некоторые их свойства, связанные с износом [244], но может оказаться нежелательным явлением увеличенная склонность стальных отливок к образованию горячих трещин. Поэтому вопросы, связанные с поверхностным легированием серой, представляют не только теоретический, но и практический интерес.

Общая закономерность насыщения поверхности стальной отливки серой приведена на фиг. 91, составленной по данным двух авторов. По данным обоих авторов обогащение серой наблюдается на глубине порядка 1 мм.

Можно полагать, что переход серы в металл осуществляется не только при непосредственном соприкосновении, но и через газовую фазу, так как непосредственными

расстоянии автор обнаружил температуру 650°С, а количество выделяющейся по его опытам серы пропорционально температуре нагрева формовочной смеси.

Очевидными мерами борьбы с поверхностным насыщением серой являются снижение содержания серы в форме и улучшение направленного газового потока в форме.

6. ОБОГАЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВКИ ТЕЛЛУРОМ

Введение теллура в чугун улучшает ряд его свойств, поэтому во многих случаях желательно. Но стоимость теллура высока и его введение в основную массу отливки экономически невыгодно. Большие преимущества представляет введение теллура в поверхность отливки путем ее поверхностного легирования.

Самым простым способом является введение его в облицовочную смесь. Но такой способ также недостаточно экономичен. Поэтому предпочтение отдается способу поверхностного легирования путем нанесения на поверхность формы пасты или краски.

Теллуrowые пасты и краски составляются по одинаковым правилам, различаясь главным образом вязкостью.

Теллур применяется в виде суспензии порошка в воде. Во избежание расслоения суспензии к ней добавляют бентонит, а для улучшения ее приставания к поверхности формы к ней добавляют водорастворимую добавку, например, бентонит.

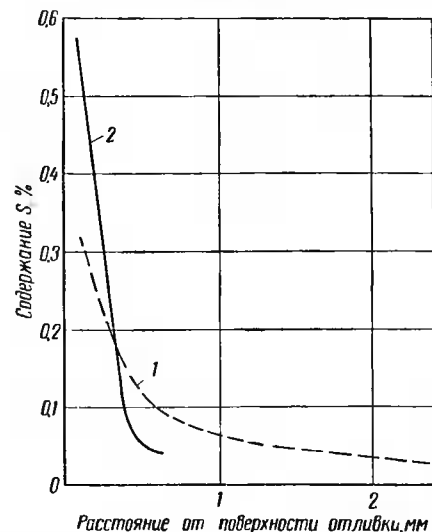
Краска наносится на горячую поверхность с тем, чтобы она могла высохнуть. При нанесении на холодную поверхность ее необходимо после нанесения краски подсушить.

Количество перешедшего в чугун теллура определяется температурой заливки, длительностью пребывания поверхности при высокой температуре, содержанием теллура в краске, толщиной слоя краски или пасты. Эффективное действие начинается с нанесения краски в виде мазка.

Примеры применения теллура приведены в части седьмой.

В тех случаях, когда возникает желание обогатить поверхность металла серой, можно или повысить содержание серы в формовочной смеси, или прибегнуть к нанесению на поверхность формы пасты, содержащей повышенное количество серы.

М. И. Фурман [245] рекомендует наносить для этой цели на поверхность формы серу в виде пасты или в распыленном виде после расплавления.



Фиг. 91. Насыщение серой поверхности стальной отливки:

1 — по М. И. Балашеву, 2 — «Гиссерай», 1954, № 20, стр. 515.

ными опытами М. И. Балашова [246] в выделяющихся из формы газах было обнаружено до 0,15% сернистого газа.

Тем же автором было установлено, что при толщине стальной отливки 55 мм выгорание серы происходит на глубину до 25—35 мм, т. е. на половину глубины стенок отливки. На этом

ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТИ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под чистотой можно понимать такое состояние поверхности отливки, которое обнаруживается после удаления приставшего к ней слоя формочной смеси и промежуточного соединения. Отсюда следует, что чистая поверхность может обнаружиться под поверхностно или химически пригоревшим слоем формочной смеси.

При характеристике чистоты поверхности отливки можно использовать понятия, применяемые для характеристики чистоты поверхности деталей, обработанных на станках.

Вместе с тем имеются и значительные различия между поверхностями литыми и обработанными на станках. К числу различий можно отнести:

1. Поверхность, обработанная на станках, может быть названа «организованной», так как характеризуется четким чередованием впадины и выступов. Литая поверхность не может быть названа «организованной» не только из-за отсутствия закономерностей такого чередования, но и из-за возможности появления резких выпадов от наблюдающихся средних и часто встречающихся величин неровностей.

2. Чистота поверхности отливки в очень большой степени зависит от чистоты поверхности формы. В настоящее время отсутствуют методы для измерения чистоты поверхности формы. Между тем принципиально правильнее различать эти два понятия и уделять больше внимания именно чистоте поверхности формы.

3. На литой поверхности наблюдается иногда «пригар» — понятие, отсутствующее при оценке чистоты обработанной поверхности. Поэтому необходимо уточнить отличие пригара от понятия чистоты, согласно § 1 гл. I части шестой можно условиться понимать под чистотой поверхности такое ее состояние, при котором высота выступов и гребней не превышает радиуса зерна смеси. В противном случае наблюдается пригар. Плотность прилегания металла к поверхности формы при этой ф о р м у л и р о в к е не учитывается главным образом из-за отсутствия для этого четкого объективного количественного критерия.

4. Чистота поверхности формы оказывает влияние не только на чистоту поверхности отливки, но и на условия заполняемости формы металлом. В частности она оказывает влияние на трение металла о поверхность формы (усадку металла) и на величину зерна отливки.

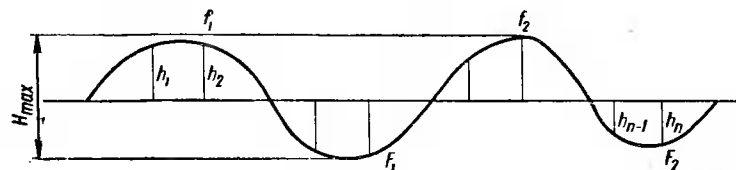
5. Чистота поверхности отливок влияет не только на их товарный вид, но и на ряд их механических и технологических свойств. Рассмотрение этих влияний выходит за рамки этой книги.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВКИ

Чаще всего для характеристики чистоты поверхности применяются выражения:

- 1) максимальная высота выступа $H_{\max}$;
- 2) средняя квадратическая величина выступа $H_{с.к.}$;
- 3) средняя арифметическая высота выступа $H_{ср}$ или R_a .

1. Максимальная высота выступа $H_{\max}$ принимается равной наибольшему расстоянию от вершины профиля до номинальной поверхности. Под номинальной понимается поверхность, получающаяся после удаления всех гребней, как это изображено



$$H_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum f_i^2}{n}}$$

Фиг. 92. Определение $H_{с.к.}$.

на фиг. 92. По новому ГОСТу 2789-59 вместо номинальной введено понятие «геометрической поверхности».

Расчетным путем можно определить $H_{\max}$ как разность между наибольшей высотой гребня и наибольшей глубиной впадины.

Для исключения влияния наиболее резких выпадов можно в качестве приведенной $H_{\max}$ или R_z считать разность между средними арифметическими величинами пяти наибольших выступов и пяти наибольших впадин, как это сделано для примера в табл. 148.

2. Среднее квадратическое отклонение $H_{с.к.}$ равно корню квадратному из среднего квадрата расстояний точек профиля неровностей до его средней линии. Под средней понимается линия, делящая профиль пополам таким образом, что площади по обеим сторонам от этой линии равны между собой, как это изображено на фиг. 92.

$$f_1 + f_2 + f_3 + \dots = F_1 + F_2 + F_3 + \dots,$$

отсюда

$$H_{с.к.} = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l n^2 dl}$$

или приближенно

$$H_{с.к.} = \sqrt{\frac{1}{n} (h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_n^2)}.$$

Примерный расчет $H_{\max}$, H_{cp} и $H_{c.k}$

№ обмера	Результат обмера	Отклонения от среднего арифметического	Квадрат отклонений
1	190	50	2 500
2	170	70	4 900
3	220	20	400
4	170	70	4 900
5	250	10	100
6	400	160	25 400
7	330	90	8 100
8	270	30	900
9	200	40	1 600
46	330	90	8 100
47	300	60	3 600
48	320	80	6 400
49	260	20	400
50	250	10	100
Сумма	12 000	1300	10 000

Отсюда $H_{\max} = 400 - 170 = 230$.

Приведенный

$$H_{\max} = \frac{(400 + 330 + 330 + 320 + 300) - (170 + 170 + 200 + 220 + 190)}{5} = 147.$$

$$\text{Среднее арифметическое } H_0 = \frac{12\,000}{50} = 240.$$

$$\text{Среднее арифметическое отклонение } H_{cp} = \frac{3100}{50} = 62.$$

$$\text{Среднее арифметическое из суммы квадратов } \frac{10\,000}{50} = 200.$$

$$\text{Среднее квадратичное отклонение } H_{c.k} = \sqrt{200} = 14.$$

Определение $H_{c.k}$ связано с некоторыми трудностями, поэтому сравнительно редко применяется для характеристики литой поверхности. При определении механически обработанной поверхности применяются специальные приборы. Они не могут быть использованы для оценки чистоты литой поверхности из-за возможного наличия на ней грубых выступов, могущих повредить прибор.

3. Средняя арифметическая высота выступа определяется по формуле

$$H_{cp} = \frac{1}{n} (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n) = \frac{\sum H_i}{n}.$$

Математически обоснованная связь между $H_{\max}$, H_{cp} и $H_{c.k}$ отсутствует. Ориентировочно можно считать, что отношение $H_{\min} : H_{cp}$ и $H_{cp} : H_{c.k}$ составляет от 2 до 5.

Вопросы чистоты поверхности приобретают все большее значение, поэтому перед переходом к рассмотрению закономерностей изменения чистоты поверхности необходимо вкратце остановиться на методах ее измерения и подготовки.

Стандартная характеристика чистоты поверхности приведена в табл. 149.

3. ПОНЯТИЕ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

В зависимости от преследуемой цели можно воспользоваться разными методами и приборами для оценки качества поверхности. Они могут быть разделены на две группы:

1) с прямым соприкосновением проверяемой поверхности (ощупывающие) и

2) без прямого соприкосновения (оптические).

В большинстве случаев реальные ощупывающие приборы, применявшиеся для оценки качества литой поверхности, имели индикатор часового типа разной точности измерения. Для увеличения точности отсчета рекомендуется применять наиболее острый наконечник. Дорогие алмазные наконечники в данном случае неприменимы из-за опасности их повреждения. Практически рекомендуется применение грампонных игловок, используемых для проигрывания долгоиграющих пластинок. Эти иглы снабжены сапфировыми или корундовыми наконечниками. Их износостойкость зависит в значительной степени от давления, с которым они прижимаются к проверяемой поверхности.

Наиболее точные результаты могут быть получены при использовании индикатора часового типа с ценой деления 1 мк. При этом индикатор монтируется на станине, допускающей продольное и поперечное перемещение, с помощью микрометрических винтов. В качестве такой станины может быть использовано основание инструментального микроскопа.

Наиболее точные результаты отсчета могут быть получены при использовании светового луча вместо механических рычагов. В этих случаях кратность вертикального перемещения увеличивается в 5000 раз, а кратность горизонтального перемещения в 100 раз. Световой луч используется для записи следа на светочувствительной бумаге. Такие записывающие приборы называются профилографы. Для более полного исключения

Таблица 149

Стандартная характеристика чистоты поверхности (по ГОСТу 2789-59)

Класс чистоты поверхности	Среднее арифметическое отклонение прилифа R_a в мк не более	Высота неровностей R_z в мк не более
1	80	320
2	40	160
3	20	80
4	10	40
5	5	20
6	2,5	10
7	1,25	6,3
8	0,63	3,2

Примечание. Для классов с 1 по 5 основной является шкала R_z .

влияния индивидуальности выпускаемые нашей промышленностью профилографы перемещаются в горизонтальной плоскости механически с приводом от электродвигателя.

Упомянутые трудности, связанные с расчетным определением $H_{с.к.}$, преодолеваются при использовании профилометров. Их действие основано на перемещении головки шупа в головке соле-ноида или на передаче давления на поверхность пьезоэлектрической пластинки. В обоих случаях генерируется электрический ток, который может быть измерен миллиамперметром и про-градуирован на величину, пропорциональную $H_{с.к.}$.

К первой группе относятся и методы измерения чистоты по-верхности путем осмотра отпечатка проверяемой поверхности. Отпечаток может быть получен при соприкосновении окрашенной поверхности с бумагой.

К приборам первой группы надо отнести и пневматические; основанные на измерении сопротивления прохождению воздуха между поверхностями прибора и отливки эти методы должны рассма-триваться как косвенные.

Однако результаты определения чистоты поверхности этим методом получаются несопоставимыми по абсолютной величине с результатами определения чистоты поверхности прямыми ме-тодами [247].

К числу наиболее удобных приборов второй группы можно отнести разного рода микроскопы сравнения. При использовании таких микроскопов необходимо иметь эталоны. Очень грубые поверхности могут сопоставляться при их рассмотрении невоору-женным глазом.

К числу более сложных приборов этой группы можно отнести микроскопы со световым сечением: например, микроскоп, пред-ложенный академиком Линником В. П.

Приборы, связанные с использованием эффекта интерферен-ции света, не используются для оценки качества литой поверх-ности, так как она слишком груба.

При сопоставлении чистот литых поверхностей необходимо учитывать методику определения чистоты. Принципиальное отли-чие методов, основанных на ощупывании поверхности с помощью иглы, заключается в зависимости от результатов измерения сте-пени ее заострения.

Грубо ориентировочно можно считать, что диаметр острия иглы должен быть менее диаметра зерен смеси. При нарушении этого правила игла не может проникнуть между зернами на достаточную глубину. По этой же причине впадина между зернами может быть определена на большой глубине при использовании методов второй группы. Поэтому $H_{\max}$ при определении разными методами получает разные значения, а при определении оптическими методами может получиться значительно большей, чем при методах, основанных на ощупывании поверхности иглами.

4. ПОНЯТИЕ О ПОДГОТОВКЕ ЛИТОЙ ПОВЕРХНОСТИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЕЕ ЧИСТОТЫ

Поверхность отливки непосредственно после извлечения ее из формы всегда покрыта слоем формовочной смеси, иногда и небольшой толщины. Поэтому очень важна для получения четких результатов подготовка поверхности к изучению.

По всей вероятности, понятие истинной поверхности является в значительной мере условным, так как переход к чисто метал-лической поверхности от поверхности, обогащенной окислами, происходит постепенно.

Проведенные опыты показали, что относительно точные ре-зультаты можно получить при химическом или электрохимическом растворении остатков поверхности формы на поверхности от-ливки.

Менее точные результаты получаются после очистки поверх-ности песком, и заметно искаженные результаты получаются при обработке поверхности дробью. Но обработка дробью может быть использована для улучшения чистоты поверхности готовой отливки.

Уместно отметить, что номинальная поверхность, получаю-щаяся после удаления всех гребней, может получиться наиболее точной после действительного их полного механического уда-ления. Однако такой способ не может быть реально использован в подавляющем большинстве случаев.

5. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

К наиболее общим закономерностям изменения чистоты по-верхности можно отнести следующие:

1. Отсутствует объективный критерий чистоты поверхности при наличии плотного поверхностного химического пригара. После удаления с поверхности отливки плотно к ней пристав-шей формовочной смеси поверхность может оказаться очень чистой, но такая чистота не представляет большого практиче-ского интереса из-за трудности удаления пригоревшей корки.

2. Чистота поверхности отливки не может быть выше, чем чистота поверхности формы. Поэтому чистота поверхности отливки ухудшается при увеличении размера зерен и уменьшении сте-пени уплотнения. Примеры будут приведены в § 6 и 7 гл. III части шестой.

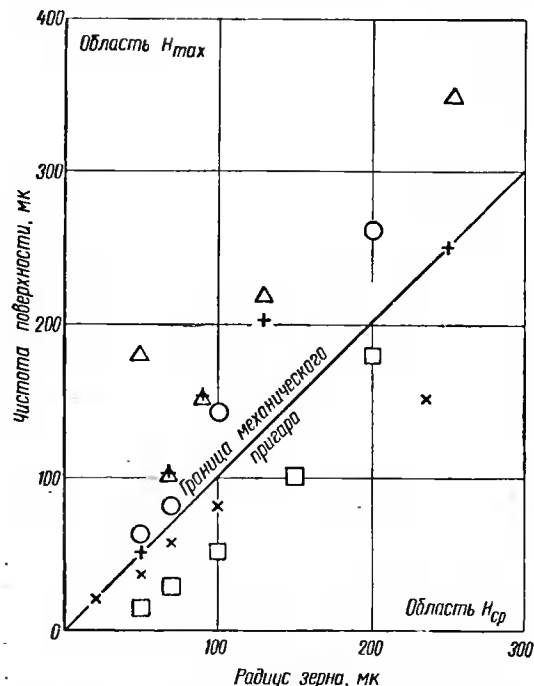
3. Чистота поверхности отливки зависит не только от чи-стоты поверхности формы, но и от состояния металла, в частно-сти от его температуры при заливке. Подробнее это влияние будет рассмотрено в § 8 гл. III части шестой. Влияние состава металла не изучено, но должно оказывать несомненное влияние на изучаемый фактор.

Влияние размера зерен смеси на качество поверхности отливок
Берг П. П. и Я. И. Медведев (Песок + 7% пудлербакелита)

Опытные данные				Пересчет		Примечание
Зерновая часть смеси — $D_1 + D_2$	Характеристика чистоты поверхности в мм		Средний радиус зерна в мк $\frac{D_1 + D_2}{4} = r$	$\frac{H_{cp}}{r}$	$\frac{H_{max}}{H_{cp}}$	
	H_{cp}	H_{max}				
Опытные фракции						Соответствует ГОСТу 2138-56
—840 + 590	364	800	360	1,0	2,1	
—590 + 420	184	400	250	0,73	2,2	
—420 + 297	133	290	175	0,77	2,2	
—2 + 210	75	210	120	0,62	2,8	
—210 + 149	43	100	90	0,48	2,3	
—149 + 105	32	90	62	0,52	2,8	
—105 + 74	30	70	45	0,67	2,3	
—74 + 53	33	78	32	1,0	2,4	
Отмытый песок						
1К 100/50	86	215	112	0,75	2,5	1К025А
1К 150/100	116	282	112	1,0	2,4	1К025Б
1К 100/200	38	82	55	0,67	2,2	1К01А
1К 200/120	35	64	55	0,64	1,8	1К01Б
1К 140/270	32	106	37	0,87	1,8	1К0063А

6. ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

Ухудшение качества поверхности при увеличении диаметра зерна совершенно очевидно. Можно считать, что при превышении



Фиг. 93. Влияние радиуса зерна на чистоту поверхности:

× — H_{cp} по Гуляеву Б. Б. и Боровскому Ю. Ф.
○ — H_{cp} по Гуляеву Б. Б. и Боровскому Ю. Ф.
△ — H_{max} при стальном литье по Попову А. Д.
+ — H_{max} при чугунном литье по Попову А. Д.
□ — по И. Е. Шубу и Кантору П. И.

2. Повышение этого отношения при уменьшении величины зерна ниже 0,2 мм может быть связано с тем, что H_{cp} , начиная с фракции — 149 + 105, остается практически постоянным и равным около 30 мк. Уместно отметить, что радиус закругления

H_{cp} радиуса зерна имеет место механический пригар. Превышение H_{cp} радиуса зерна можно наблюдать только при характеристике поверхности величиной H_{max} . Эта закономерность подтверждается результатами опытов ряда исследователей и приведена на фиг. 93. Результаты опытов автора и Медведева Я. И. приведены в табл. 150, из рассмотрения которой можно сделать следующие дополнительные выводы:

1. Отношение H_{cp} к среднему радиусу зерна закономерно снижается при приближении к среднему радиусу 90 мк, т. е. при среднем зерне 0,18 мм. При более мелком и более крупном зерне это отношение повышается, доходя до максимума, равного 1,0.

острия наконечника составил 35—40 мк. Таким образом, подтверждается, что H_{cp} не может определяться значительно меньшим, чем радиус наконечника.

3. Повышение этого отношения при увеличении величины зерна свыше 0,2 мм может быть связано с улучшением заполнения наконечником профилометра впадин между более крупными зёрнами.

7. ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЕНИЯ НА ЧИСТОТУ ПОВЕРХНОСТИ

Уплотнение должно улучшать чистоту поверхности отливки подобно влиянию уменьшения величины зерна.

Пересчеты результатов опытов приводят к выводу о возможности использовать для оценки влияния давления на чистоту поверхности отливки формулу типа

$$\frac{H_1 - H_2}{H_1} = C \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^n,$$

где H_1 и H_2 — чистота поверхности в мк при давлении p_1 и p_2 ; C и n — коэффициент и показатель степени, определяемые опытным путем.

В табл. 151 приведены опытные данные Б. Б. Гуляева и Ю. Ф. Боровского с песчано-глинистыми смесями, а в табл. 152

Таблица 151

Влияние прессования на чистоту поверхности отливок [229]

Опытные данные			Пересчет автора			
Давление в кг/см^2	Чистота поверхности отливок в мк		Разность $\Delta H_{\text{с.к}}$		Отношение $\Delta : \sqrt[3]{\Delta p}$	
	Песок А70/140, средний радиус зерна 100 мк	Пылевидный кварц Б, средний радиус зерна 25 мк	А	Б	А	Б
1	90	25	0	0		
3	80	18	10	7	7,5	5,2
10	75	12	15	13	7,2	6,3
50	70	10	20	15	5,5	4,2
Среднее . .					6,7	5,2

Таблица 152

Влияние давления высоты слоя смеси на чистоту поверхности отливок
(Берг П. П. и Медведев Я. И.)

Опытные данные			Пересчет				Примечания
Высота слоя смеси H	Чистота по- верхности отливки в $\mu\text{м}$		Разность высот в см ΔH	Разность давлений $\frac{\Delta H \cdot 1,5}{1000}$ кг/см^2	Разность $\Delta H_{\text{ср}}$ в $\mu\text{м}$	$\frac{H_{\text{ср}}}{\sqrt[3]{\Delta p}}$	
	$H_{\text{ср}}$	H_{max}					
2	>120	>1400	—	—	—	—	Очень большой пригар Большой пригар Местный пригар Нет пригара » » » »
5	>120	>420	—	—	—	—	
10	85	220	0	—	—	—	
20	78		10	0,015	7	28	
40	73		30	0,045	10	22	
70	68		60	0,090	17	38	
Среднее . . .						30±8	

результаты опытов автора и Я. И. Медведева со смесью, содержащей 7% пульвербакелита и песка ИК025А, что соответствует среднему диаметру зерна около 250 мк . Смесью уплотнялась под влиянием собственного веса. Из табл. 160 можно усмотреть, что коэффициент изменяется в границах 4—7, составляя в среднем $6,0 \pm 0,5$ при показателе степени $1/3$.

При том же показателе степени коэффициент C для случая очень малых давлений, как например, при получении оболочковых форм составил 30 ± 8 .

При всей условности и неточности полученных результатов можно все же сделать выводы:

1. Улучшение качества поверхности отливки возможно путем увеличения уплотнения смеси.

2. Улучшение качества поверхности происходит явно не пропорционально увеличению уплотнения p , а пропорционально p^n , причем показатель степени $n \approx \frac{1}{3}$.

3. При недостаточном давлении поверхность настолько ухудшается, что появляется механический (глубинный) пригар.

4. Механический пригар образуется при уплотнении $p < 0,01 \text{ кг/см}^2$.

Можно полагать, что улучшение качества поверхности с увеличением уплотнения связано в значительной степени с уменьшением газопроницаемости формы [247]. Через изменение газопроницаемости может быть связано влияние на чистоту поверхности как длительности перемешивания (табл. 153), так и влажности (табл. 154).

Таблица 153

Влияние длительности перемещения на чистоту поверхности отливки
(по П. Шнайдеру)

Характеристика	Длительность перемешивания в мин				
	5	10	30	60	90
Газопроницаемость	180	230	210	190	160
Объемный вес г/см^3	1,48	1,43	1,44	1,46	1,48
Чистота поверхности (определение пневматическим методом)	90	130	120	100	90

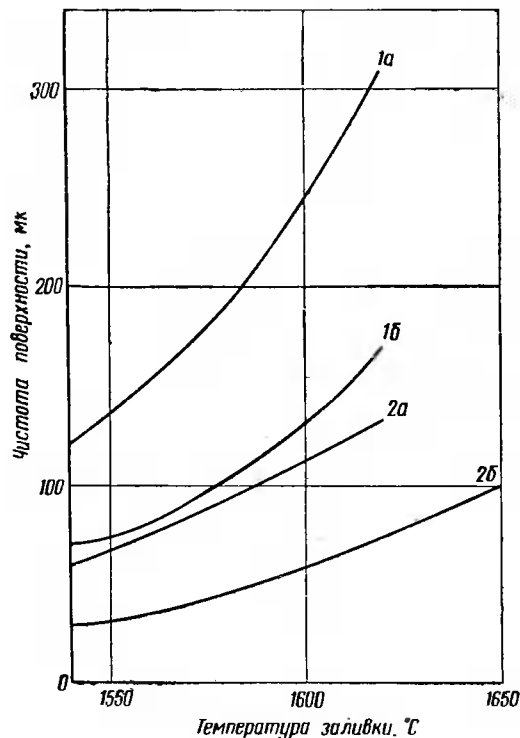
Таблица 154

Влияние влажности смеси на чистоту поверхности отливки
(по П. Шнайдеру)

Характеристика	Влажность смеси в %					
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Газопроницаемость	240	280	310	280	260	250
Объемный вес в г/см^3	1,50	1,47	1,44	1,46	1,49	1,52
Чистота поверхности (определение пневматическим методом)	90	120	150	145	135	120

8. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЧИСТОТУ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВКИ

За счет уменьшения вязкости можно ожидать ухудшения чистоты поверхности с повышением температуры даже в том случае, если смачиваемость поверхности смеси не увеличивается. Это ожидание подтверждается непосредственными опытами



Фиг. 94. Влияние температуры заливки на чистоту поверхности отливки.

Б. Б. Гуляева и Ю. Ф. Боровского [229], результаты которых приведены на фиг. 94.

Из рассмотрения закономерностей изменения чистоты поверхности можно заметить, что с повышением температуры чистота значительно ухудшается, особенно при заливке стали в песчано-глинистые смеси.

Уменьшения вязкости можно достигнуть и изменением состава металла. Однако, кроме влияния на вязкость, изменение состава металла может изменить его поверхностное натяжение.

Ухудшение качества поверхности чугунных отливок наблюдается при увеличении содержания серы в металле (табл. 155). П. Шнайдер связывает ухудшение качества поверхности с уменьшением величины поверхностного натяжения чугуна при увеличении содержания в нем серы.

Таблица 155

Влияние содержания серы в чугуне на чистоту поверхности отливки [247]

Число ударов бабы копра	Содержание серы в %			
	0,01	0,04	0,07	0,10
Чистота поверхности				
1	640	660	670	680
2	510	540	560	580
3	440	480	520	550
4	400	450	500	520
5	370	420	480	500

9. ВЛИЯНИЕ ГАЗОТВОРНОСТИ НА ЧИСТОТУ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВКИ

Повышение газотворности смеси может привести к ухудшению качества поверхности отливок, но только до известной границы. При переходе через нее качество поверхности не только не может улучшаться, но одновременно увеличивается опасность образования газовых раковин.

В табл. 156 приведены результаты определения чистоты поверхности при разных количествах добавляемых газотворных добавок [248]. Рассмотрение таблицы подтверждает, что качество поверхности улучшается при увеличении содержания пека до 1,2% и каменноугольной пыли до 4%. Дальнейшее увеличение содержания этих газотворных добавок не улучшает качества поверхности и увеличивает опасность появления газовых раковин.

Таблица 156

Влияние присадки пека и каменноугольной пыли на чистоту поверхности отливки (заливка чугуном)

Добавка	Количество добавки в %	Значения чистоты в мк			Добавка	Количество добавки в %	Значения чистоты в мк		
		среднее	нижнее	высшее			среднее	нижнее	высшее
Пек	0,4	97	68	166	Каменноугольная пыль	2,0	54	—	—
	0,8	50	34	100		4,0	44	—	—
	1,2	40	21	71		6,0	46	—	—
	1,6	38	26	85		8,0	48	—	—

В качестве общего вывода можно утверждать, что повышение газотворности смеси может привести к улучшению качества поверхности отливок, но это мероприятие чревато опасностью появления газовых раковин.

10. ВЛИЯНИЕ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ФОРМЫ НА ТРЕНИЕ ЗАТВЕРДЕВАЮЩЕГО МЕТАЛЛА (сопротивление усадке металла)

Поверхность формы оказывает значительное сопротивление усадке отливки, как это показали непосредственные опыты, проведенные М. П. Ивановым совместно с автором. Результаты этих опытов приведены в табл. 157. Из рассмотрения этой таблицы видно, что трение о стенки формы может быть даже выражено коэффициентом, аналогичным коэффициенту трения о твердые поверхности.

Таблица 157

Оценка коэффициента трения отливки о поверхность формы
(Автор и М. П. Иванов)

Опытные данные		Пересчет					
Уклон ϕ в %	Усадка u	Угол α	Разность $\Delta u = u_4 - u_\phi$	Разность $\Delta \phi = 4 - \phi$	$k = \frac{\Delta u}{\Delta \phi}$	Расчетная усадка $u_p = u_4 - k\phi$	Разность между расчетной действительной усадками
0	0,54	0°0'	0,32	4	0,08	0,58	+0,04
1	0,66	0°36'	0,20	3	0,07	0,65	—0,01
2	0,74	1°12'	0,12	2	0,06	0,72	—0,02
4	0,86	2°18'	0,00	0	—	0,86	±0,03
8	$\begin{cases} 0,89 \\ 0,84 \end{cases}$	4°36'					
Средний		—	—	—	0,07	—	—

Однако оба коэффициента только условно могут быть сопоставлены, так как можно допустить, что трение может происходить не только между поверхностями металла и формы, но и между формой и пригоревшим к отливке слоем [208], [249] — [251].

11. ВЛИЯНИЕ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ФОРМЫ НА ВЕЛИЧИНУ ЗЕРНА ОТЛИВКИ

Вполне вероятно, что чистота поверхности формы может оказать влияние на величину зерна отливки. Однако для пояснения этого важного вопроса проведено очень мало работ [252]. Этот вопрос приобретает особое значение как резерв для улучшения качества литых легированных сталей, не претерпевающих превращений при охлаждении.

Можно полагать, что влияние качества поверхности формы на величину зерна отливки возможно при условиях:

1. В форме должно присутствовать большое количество достаточно мелких зерен (порядка 1 мк).
2. Зерно формы должно обладать параметрами, необходимыми для образования твердого раствора или химического соединения (совпадение параметров решеток, температур плавления, химического средства).
3. Возможно, что форма должна оказывать восстанавливающее действие на окислы отливки. Восстановленный из окислов металл характеризуется более мелким зерном и может оказать влияние на измельчение зерна отливки на значительную ее глубину.

12. ВЛИЯНИЕ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ФОРМЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОТЕКАНИЮ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

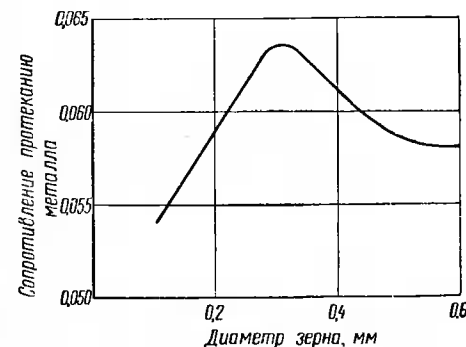
На фиг. 95 приведены результаты опытов А. Гула [253] о влиянии размеров зерна смеси на изменение сопротивления протеканию жидкого металла, в данном случае свинца.

Из приведенных результатов можно заметить, что наибольшее сопротивление протеканию металла наблюдается при средней величине зерна, в данном случае равной 0,3 мм.

При уменьшении диаметра зерна сопротивление уменьшается, что может быть объяснено уменьшением шероховатости поверхности.

При увеличении диаметра зерна свыше 0,3 мм сопротивление протеканию жидкого металла несколько снижается, а при диаметре свыше 0,5 остается постоянным. Уменьшение сопротивления при увеличении диаметра зерна может быть частично объяснено тем, что свинец частично затекает в более крупные поры и условный диаметр канала несколько увеличивается.

Результаты этих опытов подтверждают несомненное влияние величины зерна, а следовательно и чистоты поверхности на трение протекающего металла. Однако опытного материала недостаточно для того, чтобы сделать обобщающие выводы.



Фиг. 95. Влияние величины зерна на сопротивление протеканию металла.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под долговечностью можно понимать способность смеси сохранять свои свойства после многократных заливок формы жидким металлом.

Хотя методика определения долговечности в настоящее время не установлена, правильнее определять долговечность по длительности сохранения первичных свойств, так как вторичные свойства зависят как от первичных свойств, так и от факторов внешнего воздействия.

Из первичных свойств наибольшего внимания заслуживают химические свойства и зерновое строение. Из последних в первую очередь: потеря конституционной, кристаллизационной и цеолитной воды, а также изменение концентрации водородных ионов.

Из вторичных свойств заслуживает внимания прочность. Практически важным является сохранение смеси прочности после многократных заливок.

Экономические расчеты показывают, что влияние на стоимость смеси оказывает не количество добавки, необходимое для создания прочности, а количество добавки, необходимое для сохранения прочности и на заданном уровне при достаточной формуемости и при отсутствии пригара.

2. ПОТЕРЯ КОНСТИТУЦИОННОЙ И КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ВОДЫ

Как уже было сказано в первой части книги, конституционная вода теряется необратимо, а кристаллизационная обратимо при нагреве ниже критической температуры. Коренное изменение вторичных свойств происходит при потере конституционной воды.

В табл. 158 приведены результаты опытов автора по определению обратимых и необратимых потерь воды после нагрева в течение 2 ч при температуре 300 и 700° С. Прогретые таким образом пробы подвергались обратному намоканию путем выдержки в воде в течение суток с последующим высушиванием до постоянного веса при температуре 105° С.

Из рассмотрения этой таблицы можно сделать выводы:

1. Относительная необратимая потеря воды после нагрева до температуры 700° С песков Сиверского и Дивенского месторождений значительно меньше, чем песков Волгоградского месторождения. Сопоставление этого вывода с результатами измерения степени дисперсности, приведенными в табл. 4, подтверждает, что у более дисперсных глинистых составляющих наблюдается большая величина необратимой потери воды при нагреве до температур, при которых удаляется конституционная вода.

Потеря конституционной и кристаллизационной воды после нагрева до 300 и 700° С

Серия песка	Содержание глинистых составляющих в %	После			После			Относительная необратимая потеря воды после нагрева до °С	
		нагрева до 700° С — W_{700}	обратного намокания + W_{700}	необратимая потеря воды ΔW_{700}	нагрева до 300° С — W_{300}	обратного намокания + W_{300}	необратимая потеря воды ΔW_{300}	$\frac{\Delta W_{700}}{L}$ 700	$\frac{\Delta W_{300}}{L}$ 300
I	26,85	1,553	0,215	1,338	0,449	1,181	0,268	5,0	1,0
I	24,95	1,547	0,177	1,370	0,552	0,193	0,359	5,5	1,4
II	20,00	1,459	0,340	1,119	0,492	0,122	0,370	5,6	1,8
I	18,49	1,885	0,173	1,712	0,607	0,182	0,425	9,2	2,4
II	17,63	1,089	0,074	1,015	0,338	0,124	0,214	5,7	1,2
II	14,63	0,964	0,073	0,891	0,230	0,082	0,148	6,1	1,0
II	13,86	0,972	0,088	0,884	0,428	0,093	0,335	6,4	2,4
II	17,10	1,307	0,188	0,119	0,417	0,102	0,315	6,5	1,8
III	13,65	2,483	0,410	2,073	0,694	0,232	0,462	15,2	3,4
III	13,25	2,337	0,370	1,967	0,178	0,217	0,501	14,9	3,8
III	12,76	1,390	0,255	1,135	0,465	0,262	0,203	8,8	1,6
III	12,55	2,997	0,344	2,653	—	—	—	—	—

I и II Среднее 5,7±0,7
III Среднее 11±4

Примечание. Пески I серии — Сиверского месторождения
II серии — Дивенского месторождения
III серии — Волгоградского месторождения

2. Отсутствие четкой зависимости относительной потери воды от содержания глинистых составляющих после нагрева до 700° С подтверждает, что эта потеря связана не только с количественным содержанием глинистых составляющих, но и с их качеством.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СТРОЕНИЯ СМЕСЕЙ ПРИ ПОВТОРНЫХ ЗАЛИВКАХ

Составы смесей, подвергшихся многократным заливкам, приведены в табл. 159; для удобства сопоставления смеси зашифрованы по мнемоническому правилу: первая буква обозначает основу смесей. Ш — шамот и пески; Л — люберецкий кварцевый, Лю — люберецкий глинистый, Ми — Миллеровский, Гу — гусаровский, Та — тамбовский, Ре — репинский.

Вторая буква обозначает глину: Б — бентонитовую и Г — Боровицкую.

Третья и четвертая буквы — И — известь, К — коллоидальный кремнезем, У — каменноугольная пыль, С — сульфитный щелок, П — полевошпатовую пыль.

Таблица 159

Составы смесей, применявшихся в опытах по определению долговечности

№ смеси	Шифр	Основа смеси	Глина в %	Добавка в %
1	ЛБ	Люберецкий песок	Бентонитовая 2,5—5,0	—
2	ШБ	Молотый шамот	Бентонитовая 2,5—5,0	—
3	ЛГ	Люберецкий песок	Боровичская 10—15	—
4	ШГ	Молотый шамот	Боровичская 10—15	—
5	ЛБИ	Люберецкий песок	Бентонитовая 2,5—5,0	Известь 2,8—3,0
6	ЛГИ	То же	Боровичская 10—15	Известь 2,8—3,0
7	ЛБК	»	Бентонитовая 2,5—5,0	Коллоидальный кремнезем 3,0
8	ШБК	Молотый шамот	Бентонитовая 2,5—5,0	Коллоидальный кремнезем 3,0
9	ЛБУ	Люберецкий песок	Бентонитовая 2,5—5,0	Каменный уголь 5
10	ЛГУ	То же	Боровичская 10—15	Каменный уголь 3,0
11	ЛБС	»	Бентонитовая 2,5—5,0	Сульфитный щелок 3
12	ЛГС	»	Боровичская 10—15	Сульфитный щелок 3
13	ЛБП	»	Бентонитовая 2,5—5,0	Полевошпатовая пыль 10
14	ЛГП	»	Боровичская 10—15	Полевошпатовая смесь 10
15	ЛБГ	»	Бентонитовая 4,5	—
16	ЛБУП	»	Боровичская 1,5	—
17	ЛГУП	»	Бентонитовая 2,5—5,0	Каменный уголь молотый 5 + пыль полевошпатовая 10
18	ЛБСП	»	Боровичская 10—15	Каменный уголь молотый + полевошпатовая пыль 10
19	ЛГСП	»	Бентонитовая 2,5—5,0	Сульфитный щелок 3 + пыль полевошпатовая 10
20	ЛБГП	»	Боровичская 10—15	Пыль полевошпатовая 10
21	МБ	Миллеровский песок	Бентонитовая 2,5—5,0	—
22	Губ	Гусаровский песок	Бентонитовая 2,5—5,0	—
23	РЕ	Репинский песок	Бентонитовая 2,5—5,0	—
24	Та	Тамбовский песок	Бентонитовая 2,5—5,0	—
25	Лю	Люберецкий глинистый песок	Бентонитовая 2,5—5,0	—

Результаты опытов по определению изменений зернового строения смесей при многократных заливках приведены в табл. 160.

Таблица 160

Изменение зернового строения после повторных заливок

№ смеси	Шифр смеси	Средний диаметр зерновой части смеси в мм			Условный средний диаметр глинистой составляющей в мк			Количество зерен диаметром менее 1 мк в % от всех зерен		
		До начала заливки D_1	После последней заливки D_2	Изменение $\frac{D_2}{D_1}$	До начала заливки D_1	После последней заливки D_2	Изменение $\frac{D_2}{D_1}$	До начала заливки a_1	После последней заливки a_2	Изменение $\frac{a_2}{a_1}$
1	ЛБ	0,234	0,212	0,91	0,3	0,5	1,7	3,8	2,4	0,6
2	ШБ	0,151	0,162	1,07	0,6	0,7	1,2	1,1	2,0	1,8
3	ЛГ	0,199	0,207	1,04	1,3	1,2	0,9	4,4	4,3	1,0
4	ШГ	0,157	0,153	0,98	1,1	1,6	1,4	6,6	4,3	0,6
5	ЛБИ	0,234	0,220	0,94	0,1	0,5	5,0	0,9	0,7	0,8
6	ЛГИ	0,215	0,198	0,92	0,2	0,9	4,5	0,5	0,9	1,8
7	ЛБК	0,221	0,215	0,97	0,2	0,2	1,0	4,8	3,3	0,7
8	ШБК	0,155	0,166	1,07	0,4	0,4	1,0	4,2	4,5	1,1
9	ЛБУ	0,205	0,193	0,94	0,5	0,5	1,0	1,0	2,6	2,6
10	ЛГУ	0,180	0,177	0,98	1,2	1,3	1,1	4,1	4,6	1,1
11	ЛБС	0,219	0,194	0,93	0,2	0,6	3,0	5,3	3,4	0,6
12	ЛГС	0,202	0,199	0,98	0,6	1,7	2,8	7,5	2,9	0,4
13	ЛБП	0,179	0,185	1,03	0,5	0,9	1,8	5,1	3,1	0,6
14	ЛГП	0,171	0,181	1,06	1,8	2,2	1,2	4,8	5,3	1,1
15	ЛБГ	0,215	0,207	0,96	0,4	0,5	1,2	4,4	2,3	0,5
16	ЛБУП	0,173	0,183	1,06	0,8	0,9	1,1	0,8	2,1	2,6
17	ЛГУП	0,163	0,177	1,08	1,7	2,1	1,2	5,5	2,1	3,8
18	ЛБСП	0,189	0,179	0,95	0,4	0,6	1,5	4,4	2,7	0,6
19	ЛГСП	0,172	0,176	1,02	0,7	2,0	2,8	6,0	4,7	0,8
20	ЛБГП	0,186	0,170	0,92	0,7	0,8	1,1	1,6	3,2	2,0
21	МИБ	0,261	0,254	0,97	0,4	0,5	1,2	0,8	1,2	1,5
22	Губ	0,368	0,326	0,88	0,5	0,6	1,2	0,6	1,3	2,2
23	Ре	0,049	0,052	1,06	0,7	1,1	1,6	7,4	6,0	0,8
24	Та	0,091	0,093	1,02	0,6	0,7	1,2	8,6	7,0	0,8
25	Лю	0,191	0,181	0,94	0,3	0,4	1,3	7,2	4,2	0,6
Среднее		1,0±0,1			1,7					

Из рассмотрения таблицы можно сделать следующие выводы:
1. При повторных заливках происходят процессы, вызывающие растрескивание и спекание зерен.

2. Из 25 смесей у 10 смесей наблюдалось увеличение, а у 15 — уменьшение среднего диаметра зерен. Из этих первых 10 смесей у 7 смесей имелись шамотные зерна, а из 10 смесей, содержащих шамотные зерна, у 7 смесей наблюдалось увеличение среднего

№ смеси	Шифр смеси	Наибольшее количество заливок	рН после заливки				Примечание ¹
			0	4	8	последней	
16	ЛБУП	11	8,4	8,3	8,1	8,0	2
17	ЛГУП	22	7,6	7,5	7,4	6,7	1
18	ЛБСП	13	8,4	8,2	7,5	7,3	2
19	ЛГСП	15	8,1	7,7	7,5	7,1	1
20	ЛБГП	11	8,6	8,1	7,6	7,1	2
21	МиБ	11	9,1	8,9	8,2	8,6	2
22	Губ	8	8,8	8,5	8,5	—	2
23	РЕ	12	7,2	6,9	7,0	6,8	1
24	Та	12	7,1	7,1	7,3	6,9	1
25	Лю	11	5,6	6,0	6,5	6,4	1
Среднее без № 25			8,1	8,0	7,8	7,2	

¹ Причины прекращения плавок:

1 — недостаток смеси после последней заливки для продолжения опытов;

2 — плохая формуемость;

3 — недостаточная прочность.

4. ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ ПОСЛЕ МНОГОКРАТНЫХ ЗАЛИВОК

Результаты опытов по изменению pH после многократных заливок приведены в табл. 161.

Таблица 161

Изменение рН после многократных заливок

№ смеси	Шифр смеси	Наибольшее количество заливок	рН после заливки				Примечание ¹
			0	4	8	последней	
1	ЛБ	8	8,6	8,5	8,5	—	1
2	ШБ	8	9,1	8,8	8,9	—	2
3	ЛГ	8	7,6	7,2	7,1	—	1
4	ШГ	8	7,9	8,1	8,2	—	1
5	ЛБИ	2	8,7	—	—	—	3
6	ЛГИ	8	10,1	8,4	8,5	—	3
7	ЛБК	4	9,4	8,6	—	—	2
8	ШБК	4	9,5	8,7	—	—	2
9	ЛБУ	8	8,6	8,5	8,5	—	1
10	ЛГУ	17	7,5	7,2	7,1	6,4	1
11	ЛБС	14	7,9	7,0	7,1	7,7	3
12	ЛГС	15	7,2	6,9	6,7	6,9	1
13	ЛБП	13	8,8	8,4	7,8	7,0	3
14	ЛГП	13	8,0	7,8	7,8	7,2	2
15	ЛБГ	12	8,1	7,5	7,1	6,8	1

Из рассмотрения таблицы можно сделать выводы:

1. Смеси после многократных заливок стремятся к нейтральному состоянию, что характеризуется приближением концентрации водородных ионов к величине 7. Характерно, что у щелочных смесей ($pH > 7$) наблюдается понижение pH , а у кислых смесей ($pH < 7$) наблюдается повышение pH (смесь № 25).

2. Среднее pH смесей, залитых не менее 10 раз и сохранивших удовлетворительную прочность и формуемость, составляет $6,75 \pm 0,35$.

3. Можно полагать, что применение химически нейтральных смесей способствует увеличению их долговечности.

5. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ МНОГОКРАТНЫХ ЗАЛИВОК

Результаты опытов по определению прочности после многократных заливок приведены в табл. 162. Из ее рассмотрения можно прийти к выводам:

1. В подавляющем большинстве случаев прочность снижается после многократных заливок из-за дегидратации глинистых составляющих. Наблюдается в небольшом количестве случаев незначительное повышение прочности (смеси № 19, 14, 24), при среднем количестве заливок, но и в этих случаях при дальнейшем увеличении количества заливок прочность снижалась.

Таблица 162

Изменение прочности после многократных заливок

№ смеси	Шифр смеси	Сжатие в кг/см^2 во влажном состоянии после заливки				Прочность на сжатие в кг/см^2 в высушенном состоянии после заливки			
		0	4	8	последней	0	4	8	последней
1	ЛБ	0,36	0,17	0,14	—	2,8	0,8	0,5	—
2	ШБ	0,43	0,29	0,12	—	3,3	2,2	0,7	—
3	ЛГ	0,59	0,41	0,28	—	5,7	4,1	1,5	—
4	ШГ	0,58	0,49	0,30	—	6,0	3,3	2,3	—
5	ЛГИ	0,39	0,1	—	—	—	—	—	—
6	ЛБИ	0,44	0,1	—	—	—	—	—	—
7	ЛБК	0,38	0,18	—	—	1,6	2,0	—	—
8	ШБК	0,32	0,18	—	—	1,0	1,0	—	—
9	ЛБУ	0,38	0,26	0,13	—	6,6	3,8	1,3	—
10	ЛГУ	0,46	0,40	0,27	—	6,6	5,3	4,5	3,4
11	ЛБС	0,41	0,35	0,30	0,10	6,6	5,3	3,8	1,7
12	ЛГС	0,35	0,28	0,20	0,18	6,6	6,6	6,6	2,9
13	ЛБП	0,42	0,42	0,34	0,13	6,6	5,3	4,8	1,6
14	ЛГП	0,37	0,41	0,37	0,34	6,5	2,8	3,4	3,1
15	ЛБГ	0,44	0,35	0,37	0,10	4,5	3,8	2,2	0,9
16	ЛБУП	0,50	0,40	0,30	0,21	6,6	6,6	5,4	4,2
17	ЛГУП	0,59	0,55	0,55	0,48	6,6	6,6	6,6	6,5
18	ЛБСП	0,35	0,42	0,33	0,21	6,6	6,5	6,3	3,6
19	ЛГСП	0,45	0,45	0,68	0,42	6,6	6,5	6,6	6,6
20	ЛБПГ	0,44	0,28	0,21	0,15	6,6	4,0	2,5	—
21	МиБ	0,39	0,28	0,16	0,16	5,5	2,5	2,6	2,3
22	ГуБ	0,33	0,28	0,17	—	—	—	—	—
23	Ре	1,10	0,60	0,50	0,40	6,6	6,6	6,6	6,3
24	Та	1,10	0,50	0,40	0,40	6,6	4,1	4,9	5,7
25	Лю	1,00	0,70	0,50	0,50	4,2	4,6	4,7	4,0

2. У двух- и трехкомпонентных смесей (№ 1—15) в 87% всех случаев наблюдалась закономерность; прочность во влажном состоянии после четвертой заливки составляла менее $0,3 \text{ кг/см}^2$ при рН более 8,1 и более $0,3 \text{ кг/см}^2$ при рН менее 8,1. Исключение из этой закономерности составили только смеси № 12 и 13. Отсюда можно сделать вывод, что прочность в большей степени сохраняется у химически нейтральных смесей.

3. Наблюдается общая закономерность снижения прочности при увеличении количества зерен с диаметром менее 1 мк . Более подробный анализ этой связи приведен в табл. 163. Сведения о количестве этих зерен взяты из табл. 160. Более высокая прочность наблюдается при большом количестве этих зерен, но и при наличии увеличенного количества этих зерен не всегда наблюдается повышенная прочность.

Таблица 163

Связь между количеством зерен менее 1 мк и прочностью после многократных заливок

№ смеси	Прочность на сжатие во влажном состоянии в кг/см^2 смесей								
	до начала заливки				после последней заливки				
	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	Более 0,6	до 0,1	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	Более 0,4
Количество зерен диаметром менее 1 мк в % от общего веса всех зерен									
1	3,8	—	—	—	—	2,4	—	—	—
2	—	1,1	—	—	—	2,0	—	—	—
3	—	—	4,4	—	—	—	4,3	—	—
4	—	—	6,6	—	—	—	4,9	—	—
5	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
6	—	0,5	—	—	0,9	—	—	—	—
7	3,3	—	—	—	—	3,3	—	—	—
8	4,2	—	—	—	—	4,5	—	—	—
9	1,0	—	—	—	—	2,6	—	—	—
10	—	4,1	—	—	—	—	4,6	—	—
11	—	5,3	—	—	—	3,4	—	—	—
12	7,5	—	—	—	—	2,9	—	—	—
13	—	5,1	—	—	—	3,1	—	—	—
14	4,8	—	—	—	—	—	—	5,3	—
15	—	4,4	—	—	—	2,3	—	—	—
16	—	0,8	—	—	—	—	2,1	—	—
17	—	—	5,5	—	—	—	—	—	2,1
18	4,4	—	—	—	—	—	2,7	—	—
19	—	6,0	—	—	—	—	—	—	4,7
20	—	1,6	—	—	—	3,2	—	—	—
21	—	0,8	—	—	—	1,2	—	—	—
22	0,6	—	—	—	—	1,3	—	—	—
23	—	—	—	7,4	—	—	—	6,0	—
24	—	—	—	8,6	—	—	—	7,0	—
25	—	—	—	7,2	—	—	—	4,2	—
Среднее				4,2	7,2	До 1,0	Более 4,0		

4. Бентонитовые смеси заметнее теряют свою прочность, чем смеси глинистые. Эта закономерность более отчетливо выражена в табл. 164. Она подтверждает ранее высказанные соображения, что более дисперсные глины придают большую прочность смесям, но эта повышенная степень дисперсности получается часто за счет большего содержания конституционной воды, а в этих условиях можно опасаться повышенной необратимой потери воды при нагреве смесей.

Изменение прочности бентонитовых и глинистых смесей
после многократных заливок

№ смеси	Шифр смеси	Смесь							
		бентонитовая				глинистая			
		Прочность до заливки и после многократных заливок							
		До заливки в кг/см ²	После четы- рех заливок в %	После восьми заливок в %	После пос- ледней в %	До заливки в кг/см ²	После четы- рех заливок в %	После восьми заливок в %	После пос- ледней за- ливки в %
1	ЛБ	0,36	47	39	—	—	—	—	—
3	ЛГ	—	—	—	—	0,59	69	47	—
15	ЛБГ	0,44	80	84	24	0,44	80	84	24
2	ШБ	0,43	67	28	—	—	—	—	—
4	ШГ	—	—	—	—	0,58	85	52	—
9	ЛБУ	0,38	65	34	—	—	—	—	—
10	ЛГУ	—	—	—	—	0,46	87	59	—
11	ЛБС	0,41	85	73	24	—	—	—	—
12	ЛГС	—	—	—	—	0,35	80	57	51
13	ЛБП	0,42	100	81	28	—	—	—	—
14	ЛГП	—	—	—	—	0,37	110	100	92
16	ЛБУП	0,50	80	60	42	—	—	—	—
17	ЛГУП	—	—	—	—	0,59	93	93	81
18	ЛБСП	0,35	120	94	60	—	—	—	—
19	ЛГСП	—	—	—	—	0,45	64	48	—

6. ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ПЫЛИ В ФОРМОВОЧНЫХ
СМЕСЯХ

Из произведенного анализа закономерностей изменения долговечности формовочных смесей можно сделать выводы:

1. Основной причиной потери долговечности является накопление пыли, вызывающее изменение проницаемости и прочности.

2. Пыль образуется как вследствие дробления зерен, так и вследствие потери воды водными минералами.

3. Основной причиной накопления пыли является потеря воды водными минералами. Она является и основной причиной потери прочности смесями при многократных заливках.

Поэтому представляет интерес математический анализ закономерностей накопления пыли в смесях при многократных заливках [254].

В качестве примера методики приводится расчет обогащения смеси пылью в простейшем случае, когда свежий песок не добавляется.

При расчете принимается:

1. В исходной смеси содержится $\Gamma\%$ глинистых составляющих,

2. Содержание пыли в исходной смеси $P_0\%$, а глинистых составляющих $\Gamma_0\%$.

3. После каждой заливки в пыль переходит a частей глинистых составляющих, т. е. образуется $a \cdot \Gamma\%$ пыли.

4. Суммарное содержание пыли после n -ой заливки $P_n\%$, а глинистых составляющих $\Gamma_n\%$.

Таким образом, до начала заливок в смеси содержится $P_0\%$ пыли и $\Gamma_0\%$ глинистых составляющих.

После первой заливки в смеси содержится пыли: $P_1 = P_0 + a \cdot \Gamma_0\%$; глинистых составляющих: $\Gamma_1 = (1 - a) \Gamma_0$.

После второй заливки в смеси содержится пыли: $P_2 = P_1 + a \Gamma_1$; глинистых составляющих: $\Gamma_2 = (1 - a) \cdot \Gamma_1 = (1 - a)^2 \cdot \Gamma_0$ или $P_2 = P_0 + a \cdot \Gamma_0 + a (1 - a) \cdot \Gamma_0 = P_0 + a \Gamma_0 \times [1 + (1 - a)]$.

После третьей заливки пыли: $P_3 = P_2 + a \cdot \Gamma_2$; глинистых составляющих: $\Gamma_3 = (1 - a) \Gamma_2 = (1 - a)^3 \Gamma_0$; или после подстановки выведенных значений:

$$P_3 = P_0 + a \Gamma_0 + a (1 - a) \Gamma_0 + a (1 - a)^2 \Gamma_0 = P_0 + a \cdot \Gamma_0 [1 + (1 - a) + (1 - a)^2].$$

После n -ной заливки в смеси содержится пыли: $P_n = P_0 + a \Gamma_0 [1 + (1 - a) + (1 - a)^2 + \dots + (1 - a)^{n-1}]$.

Если для краткости обозначить $x = 1 - a$, то

$$1 + x + x^2 + x^3 \dots + x^n = \frac{x^n - 1}{x - 1} = \frac{1 - x^n}{1 - x}$$

или

$$1 + (1 - a) + (1 - a)^2 + (1 - a)^3 + \dots + (1 - a)^{n-1} = \frac{(1 - a)^n}{1 - (1 - a)} = \frac{1 - (1 - a)^n}{a}.$$

Следовательно, после n -ой заливки в смеси содержится пыли: $P_n = P_0 [1 - (1 - a)^n] \Gamma_0$.

Выведенная формула дает возможность оценить количество пыли, образующейся после заданного количества заливок, если известны P_0 , Γ_0 и a .

После бесконечно большого количества заливок содержание пыли стремится к $P_n = P_0 + \Gamma_0$, т. е. все количество глинистых составляющих переходит в пыль, так как $1 > a > 0$, а при $(1 - a)^n$ система стремится к нулю.

Из произведенного расчета также следует, что особое значение для оценки долговечности имеет коэффициент a .

В качестве примера можно указать, что снижение прочности при использовании бентонитовых глин происходит быстрее, чем при использовании боровических глин, однако первые могут быть добавлены в смесь в меньшем количестве, чем вторые.

Среди бентонитовых глин надо во многих случаях отдавать предпочтение тем бентонитам, которые обладают несколько пониженной прочностью, они должны быть добавлены в повышенном количестве (повышенное Γ), но зато обладают пониженной α . С этой точки зрения во многих случаях может быть отдано предпочтение кальциевым глинам вместо натриевых, хотя вторые и придают повышенную прочность смеси.

Глава V

ТЕКУЧЕСТЬ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ

Вопросам, связанным со свойством текучести смесей, посвящено большое количество опубликованных и проводимых работ. Однако само понятие текучести до настоящего времени не уточнено. Например, встречается отождествление текучести с пластичностью. Разные авторы вкладывают в это понятие разное содержание, поэтому и определяют это свойство принципиально разными методами.

Можно полагать, что разногласие в понятиях и методах определения является в значительной степени следствием наличия нескольких процессов, связанных со свойством текучести. Поэтому представляется целесообразным вначале уточнить общую картину процессов, связанных с текучестью, а затем перейти к рассмотрению отдельных ее проявлений.

При попытках найти общую картину процессов, связанных с текучестью, можно условиться считать, что при течении смеси происходит перемещение ее зерен в направлении как совпадающем, так и не совпадающем с направлением вектора внешней уплотняющей силы.

При принятии такого самого общего определения понятия течения зерен смеси можно обнаружить ряд проявлений этого процесса в практике изготовления форм:

1. При совпадении направления перемещения зерен с вектором внешней уплотняющей силы происходит процесс уплотнения.

2. Течение смеси под воздействием собственного веса — сыпучесть. Такой процесс представляет большой практический интерес при течении смеси в бункерах, так как недостаточная текучесть может вызвать зависания в них смеси. Можно полагать, что к числу смесей, характеризующихся наибольшей текучестью под влиянием собственного веса, относится смесь однородных круглых кварцевых зерен.

3. Течение смеси под усиленным внешним давлением при заполнении полостей моделей и стержневых ящиков, т. е. в направлениях, не совпадающих с вектором уплотняющих сил.

Такой вид текучести представляет интерес потому, что недостаточно текучая смесь не может обеспечить хорошего заполнения этих полостей. Такой вид текучести может быть условно назван и заполняемостью форм; он важен при изготовлении стержней пескодувным способом. Можно полагать, что упомянутая выше смесь однородных круглых кварцевых зерен не будет обладать наибольшей заполняемостью.

4. Течение по поверхности модели или стержневого ящика. Не исключена возможность перемещения зерен не только в направлении, не совпадающем с направлением вектора внешней уплотняющей силы, но и перемещения в направлении, параллельном поверхности модели или стержневого ящика. Такой вид текучести может быть условно назван растекаемостью. Он представляет большой практический интерес при оценке влияния смеси на качество поверхности отливки. Можно полагать, что смесь, хорошо заполняющая полости, не всегда будет одновременно характеризоваться высоким качеством своей поверхности, а следовательно, и высоким качеством поверхности отливки.

2. ОСНОВЫ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЧЕСТИ

Универсального метода, охватывающего все виды текучести, в настоящее время не существует. Можно полагать, что такой универсальный метод должен состоять из несколько принципиально различных определений, так как механизмы проявления разных видов текучестей значительно друг от друга отличаются.

К методам, граничащим с определением текучести по уплотняемости, можно отнести методы Дитерта [256], Г. М. Орлова [257], Кейля [258]. Идея первого метода состоит в определении соотношений уменьшения высоты образца при его уплотнении после третьего и между четвертым и пятым ударами бабы стандартного копра. Идея методов Г. М. Орлова и Кейля состоит в определении твердости по высоте фасонных образцов.

К методам, граничащим с определением сыпучести, относятся методы, связанные с определением угла естественного уклона смеси. Эти определения в некоторых случаях усложняются установкой испытуемых смесей на вибрирующую поверхность.

К методам, граничащим с определением заполняемости, относятся методы, связанные с продавливанием испытуемой смеси через отверстия. Сюда относятся методы автора и О. В. Колачевой, К. В. Крыловой и М. И. Шацких [259], а также слегка измененный метод Н. В. Афанасьева, В. Ф. Косякова [260], Кенеди [261] и Орнст [262].

К методам, граничащим с определением растекаемости, относятся методы, связанные с наблюдением поверхности уплотненного стандартного образца. К этому методу примыкает предложение К. Ролла — наблюдать степень заполнения рифлей, нанесенных на поверхности формы. Однако практическая проверка

этого метода показала, что часть рифлей заполняется песком при его насыпании в форму.

Кроме того, предложен ряд методов для определения текучести по факторам, с нею связанным. Сюда относится предложение [263] определения коэффициента текучести. При этом методе определяется срезающее усилие, могущее характеризовать трение между зернами при заполнении формы. Для характеристики текучести используется определение коэффициента внутреннего трения [264].

К этой же категории относятся методы по соотношению остатков зерен на ситах [265] — [267].

3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕКУЧЕСТИ

Систематических опытов по определению закономерностей изменения текучести с указанными различиями опубликовано не было.

На основании проведенных опытов можно установить только общие закономерности:

- 1. Текучесть смесей уменьшается при увеличении трения между зернами.
- 2. Текучесть, как общее правило, увеличивается при уменьшении прочности в сыром состоянии.
- 3. Наибольшей текучестью обладают масляные смеси с минимальной прочностью в сыром состоянии (менее 0,02 кг/см² на сжатие).

Таблица 165

Примерные эталонные смеси с условной текучестью третьего рода (по АФС)

Условная текучесть	Наличие крупных пор на поверхности эталонного образца	Пример смеси
10	Следы	Отмытый сухой песок
9	»	Масляная смесь с прочностью в сыром состоянии менее 0,02 кг/см² на сжатие
8	Мелкие поры обнаруживаются на расстоянии 1/4 высоты сверху	Влажность смеси 3% Прочность смеси в сыром состоянии 0,02—0,03 кг/см². Влажность 3—4%
7	Мелкие	Прочность смеси в сыром состоянии 0,03—0,04 кг/см². Влажность 3—4%
6	Поры появляются на 2/3 высоты сверху	Прочность смеси в сыром состоянии 0,04—0,06 кг/см²
5	Большие поры на 1/2 высоты	То же, но при повышенной влажности
4	То же	То же
3	Большие поры по всей поверхности	Прочность смеси в сыром состоянии больше 0,07 кг/см²
2	Очень большие поры	Смесь для футеровки ковшей
1	» » »	—

4. Наибольшей сыпучестью и текучестью третьего рода обладает кварцевый песок, состоящий из круглых однородных зерен.

5. Текучесть второго рода улучшается при добавлении в смесь небольших количеств связующих добавок. Например, текучесть смеси улучшается при добавлении в нее 2% битума [197].

6. Текучесть ухудшается при увеличении содержания в смеси глины. Это увеличение связано с повышением прочности смеси в сыром состоянии.

7. Текучесть зависит от степени уплотнения. Поэтому уплотненная смесь обладает худшей текучестью, чем смесь неуплотненная.

8. Текучесть уменьшается при увеличении скорости приложения давления.

Примерные эталонные смеси с условной текучестью 3-го рода приведены в табл. 165 [350].

Глава I

СОСТАВЛЕНИЕ СМЕСЕЙ И КРАСОК

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

По мере углубления сведений о формовочных и стержневых смесях и красках все больше стирается между ними грань. Остаются, как и при всякой классификации, характерные представители смесей и красок, но одновременно появляются такие смеси, которые почти с одинаковым успехом могут быть отнесены как к формовочным и стержневым смесям, так и к краскам.

Отсюда появляется возможность установления общих рекомендаций и правил составления смесей и красок.

Рекомендуется не полагаться на одну рецептуру, так как практически исключается наличие двух цехов с одинаковыми условиями производства. Поэтому всякий «рецепт» должен рассматриваться как примерный, который должен уточняться и видоизменяться в зависимости от специфических местных условий.

В разбираемой части будут в значительной степени использованы приведенные в предыдущих частях сведения, на которые делаются ссылки.

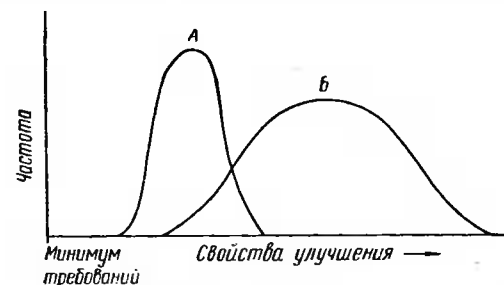
2. ОСНОВЫ ВЫБОРА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При выборе исходных материалов надлежит учитывать два основных связанных между собой показателя: экономику и постоянство свойств.

Экономический расчет должен охватывать всю технологическую цепь производства отливок. Неправильно оценивать экономичность применения исходных материалов только по стоимости самих смесей. При использовании наиболее дешевых смесей можно получить резкое ухудшение остальных показателей работы цеха, в частности увеличение расходов на выбивку и очистку отливок.

Постоянство свойств должно рассматриваться как показатель, оказывающий первостепенное влияние на экономику, так как только при использовании исходных материалов с постоянными

свойствами можно достигнуть полной отработки технологии изготовления отливок. Предпочитаются те материалы, свойства которых изменяются в более узких пределах даже при условии, что их абсолютные свойства несколько занижены. Это положение



Фиг. 96. Схема связи между свойствами и частотой их обнаружения.

выражено на фиг. 96: предпочтение может быть отдано материалу *А* свойства которого изменяются в более узких границах, чем свойства материала *Б*, хотя по абсолютным значениям свойства материала *Б* выше, чем свойства материала *А*.

Кроме того, надлежит отдавать предпочтение тем материалам, которые находятся ближе к потребителю.

3. ГЛАВНЕЙШИЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ СМЕСЕЙ И КРАСОК

В каждой смеси и краске можно различать четыре составные части: 1) зерновую; 2) связующую; 3) специальную; 4) растворяющую.

Зерновое строение было рассмотрено в главе I части первой. Наиболее распространена зерновая часть в виде кварцевых зерен. В совершенно чистом виде кварцевые зерна практически никогда не встречаются. Среди минералов зерновой части наиболее распространены полевые шпаты. Из работ [268] и [269] видно было, что можно допустить до 30% полевых шпатов в смеси с кварцем при изготовлении форм для стальных углеродистых отливок небольшого развеса. Для изготовления стержней в связи с более тяжелыми условиями их работы кварцево-полевошпатовые пески применять не рекомендуется.

Для изготовления отливок из легированных сталей рекомендуется применять смеси, изготовленные на мало активных зернах с повышенным содержанием циркония, хрома и магнезии.

Не исключена возможность в менее ответственных случаях использовать в качестве зерновой части дробленые шлаки.

При составлении рецептов рекомендуется принимать за 100% зерновую часть.

Суммарный расход свежего песка зависит от большого количества переменных величин, в частности от тщательности проверки свойств формовочных материалов.

Связующие были разобраны в части второй и в гл. II части первой. В формовочных смесях в качестве связующих применяются главным образом неорганические, а в стержневых смесях — органические добавки. Применяют органические связующие добавки в стержневых смесях потому, что они теряют прочность при нагреве, что приводит к ухудшению выбиваемости стержней. Однако по гигиеническим соображениям весьма желательно удаление из смесей сгорающих добавок, задымляющих атмосферу цеха.

Из неорганических связующих добавок в формовочных смесях применяется главным образом глина. Разбор качеств глин и их сопоставление было произведено в § 4 гл. II части первой.

Количество глины, добавляемой в смесь, определяется главным образом соображениями прочности. В глинистых формовочных смесях глина придает прочность как в сыром, так и в высушенном состоянии. В таких смесях она добавляется в наибольших количествах: в мелкозернистых смесях содержание стали доходит до 16%. В смесях обычной зернистости оно составляет 8—12%. Бентонитов добавляется значительно меньшее количество. Неорганических добавок типа жидкого стекла и цемента добавляется 3—7%, в среднем около 5%.

В стержневых смесях глины добавляется значительно меньшее количество. В некоторых стержневых смесях она не добавляется вовсе.

Органические добавки добавляются в количестве 0,5—5%. В наименьшем количестве они добавляются в формовочные смеси главным образом для уменьшения их осыпаемости. В наибольшем количестве они добавляются в те формовочные смеси, где они являются основной связующей добавкой, как например, при изготовлении оболочковых форм. В типовых стержневых смесях они добавляются в количестве 1—5%.

Специальная часть смесей составляется из добавок, не изменяющих значительно прочности и газопроницаемости смесей. К числу таких специальных добавок можно отнести, например, древесные опилки, увеличивающие податливость смесей, каменно-угольную пыль, уменьшающую пригар, формалин, увеличивающий сохранность красок.

Растворителем является в большинстве случаев вода. Иногда она заменяется другой жидкостью, например, уайт-спиритом, маслом, гликолем, алкоголем. В некоторых случаях применяются смеси сухие в виде порошка.

4. ВЫБОР СВОЙСТВ

Стандартные показатели свойств используются главным образом для проверки постоянства качества поставляемых материалов. Прямая связь между качеством отливок и стандартными показателями

телями прочности и газопроницаемости в подавляющем большинстве случаев установлена быть не может. Но не подлежит сомнению наличие связи между показателями стандартных свойств и тех свойств, которые влияют на качество отливок. Эта связь между свойствами не однозначна, а меняется в зависимости от ряда факторов. К числу свойств, влияющих на качество отливок, надо отнести в первую очередь: гидравлические свойства — газо-творность, механические — деформации и прочностные свойства при высоких температурах, физические свойства — тепловые и огнеупорность.

5. ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

При приготовлении смесей можно различать четыре отдельных процесса: подготовка исходных материалов; собственно приготовление смеси; обработка приготовленной смеси; хранение смесей.

Аппаратура и механизмы приготовления смесей здесь не рассматриваются. Подлежат рассмотрению только основы процессов приготовления смесей.

6. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Под исходными материалами следует понимать не только исходные сырые материалы, но и отработанную смесь. Подготовка отработанной смеси называется обычно регенерацией. Отдельные процессы подготовки исходных сырых материалов и отработанной смеси принципиально не различаются. Они различаются в некоторой степени по признаку применяемых механизмов.

При подготовке исходных материалов можно различать процессы: а) дробление, б) высушивание, в) охлаждение, г) отделение пыли, д) отделение крупных посторонних включений, е) выжигание органических добавок, ж) планирование песков.

а) Дробление применяется в двух случаях: для получения отдельных зерен из крупных исходных кусков и для дробления спекшихся комьев формы и стержней.

В первом случае дробление должно происходить до разных размеров зерен в зависимости от назначения раздробленных материалов: связующая добавка; зерновая часть формовочной или стержневой смеси; зерновая часть краски; специальная часть формы или стержня.

При использовании дробленого материала в качестве связующей добавки желательно доводить дробление до наибольшей степени дисперсности. При увеличении степени дисперсности увеличивается поверхность и резко увеличиваются трудности дальнейшего размолла. Поэтому при обычных методах дробления трудно получить зерна, проходящие через сито 005 (№ 270) и даже через

сито 01 (сито № 140). В большинстве случаев ограничиваются грубым помолом, что, однако, нежелательно. При использовании вибрационных методов дробления удается получить зерна с большей степенью дисперсности. Однако и в этом случае дробление затрудняется, а при достижении определенной степени дисперсности вовсе прекращается явлениями обратной коагуляции. Поэтому во многих случаях применяется дробление не чисто механическое, а в сочетании с физико-химической обработкой, в частности: при помещении глины в воду она проникает между отдельными зернами, и дробление получается наибольшим. Можно полагать, что такое разделение на отдельные зерна может быть облегчено при добавлении к воде «понижителей твердости», как например, хлористого натрия, хлористого кальция, мылонафта, сульфитного щелока и т. п.

Дополнительными преимуществами мокрого дробления являются: полное устранение пылеобразования, возможность подачи глинистой суспензии по трубам и возможность избежать высушивания глины перед дроблением.

Наблюдающееся иногда на практике расслоение глинистой суспензии может быть полностью устранено при подаче суспензии по замкнутой системе, как например, это осуществлено на Ярославском моторном заводе.

Расслоение уменьшается при повышении плотности суспензии (приблизительно 1 : 1,2) и при увеличении степени дисперсности глинистых зерен. Эти положения находятся в полном соответствии с формулой Стокса.

К недостаткам процесса мокрого дробления можно отнести замедленность его протекания. Оно может быть ускорено при проведении процесса намокания с более мелкими кусками. Поэтому иногда применяется сочетание механического дробления с намоканием.

Введение глины в виде суспензии не может быть осуществлено в том случае, если с глиной вводится в смесь избыток воды.

При использовании материала в качестве зерновой части формовочной или стержневой смеси дробление останавливается при получении зерен, проходящих через сито 042 (№ 40). Наряду с крупными зернами при дроблении получают и значительно более мелкие, засоряющие смесь пылью. При возможности отделения пыли желательно довести дробление до той величины, которая соответствует применяемым зернам.

Для получения зерновой части краски (например, кварцит для получения кварцевой муки) дробление должно быть доведено до прохождения большинства зерен через сито № 200 (сито 005).

Дробление специальных добавок должно быть доведено до разной степени дисперсности в зависимости от назначения добавки. В качестве примера можно привести дробление каменного угля. Получающаяся пыль должна быть доведена до разной степени дисперсности в зависимости от толщины отливки.

б) Высушивание часто производится как операция, облегчающая получение более устойчивого процесса: при применении высушенных песков исключается трудно учитываемая переменная — остаточное содержание воды. Однако нет необходимости высушивать пески до полного удаления воды. При полном высушивании песка не только увеличивается продолжительность высушивания, но наблюдается падение прочности смесей.

Применение песка, высушенного до неизменного процента влажности, все же не решает полностью задачу получения смесей с постоянным содержанием воды: переменное содержание воды наблюдается в отработанной смеси. Практически отработанная смесь высушивается только в случае применения гидроочистки. Поэтому задача получения смесей с постоянной влажностью решается путем изменения количества добавляемой воды в зависимости от содержания воды в отработанной смеси; а вопрос высушивания песка должен быть тесно связан с вопросом увлажнения смеси. Имеются попытки этот процесс автоматизировать [270], [271], [135].

в) Охлаждение во многих случаях практики представляет значительные трудности. Между тем применение недостаточно охлажденной смеси резко ухудшает ее качества.

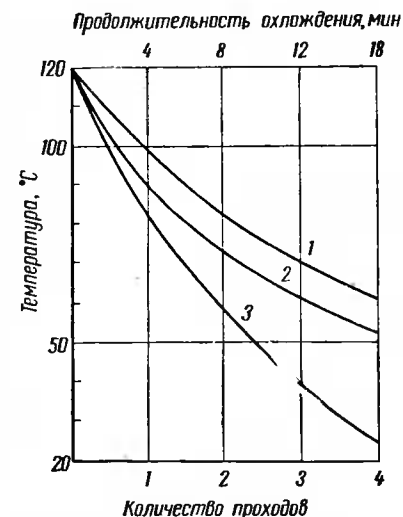
Пересчет влияния разных факторов на условия охлаждения отработанной смеси приводит к следующим выводам:

1. Среднее падение температуры при прохождении смеси на конвейере составляет около 1° С на 100 м длины конвейера. Эта скорость охлаждения зависит от температуры и влажности смеси, от влажности и температуры окружающей среды, от скорости и условий движения воздуха над конвейером.

2. При пропускании смеси через сито температура падает примерно на 20° С в зависимости от тех же факторов.

3. Наиболее значительное снижение температуры происходит при добавлении воды к смеси.

На фиг. 97 приведены результаты опытов по охлаждению смеси, пропущенной и не пропущенной через дезинтегратор [273].



Фиг. 97. Влияние продолжительности охлаждения на температуру смесей:

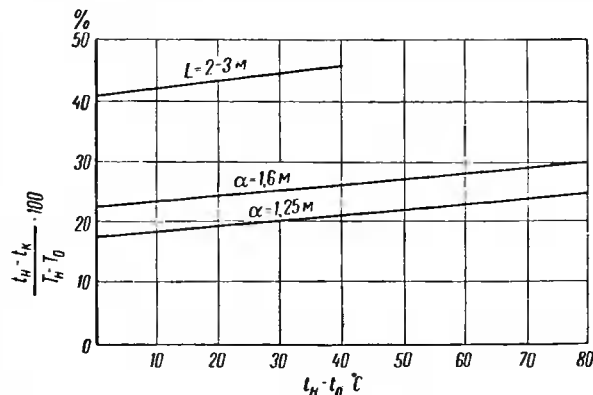
1 — охлаждение смеси, не прошедшей через дезинтегратор; 2 — охлаждение смеси, прошедшей через ленточный дезинтегратор; 3 — охлаждение смеси, прошедшей через дисковый дезинтегратор.

На фиг. 98 приведены результаты опытов [272] о влиянии расстояния отбрасывания на охлаждение смеси. Охлаждающее действие $\Delta t\%$ выражается отношением

$$\Delta t = \frac{t_n - t_k}{t_n - t_o} \cdot 100,$$

где t_n , t_k и t_o — температуры начальная, конечная и окружающей среды.

Охлаждение смеси в контактном теплообменнике осуществлено на автозаводе им. Лихачева [274]. Заслуживает внимания пред-



Фиг. 98. Влияние расстояния отбрасывания на охлаждение смесей.

ложение Магаданских литейщиков охлаждать смесь путем продувания воздуха в бункере [275]. В отдельных случаях процесс охлаждения полуавтоматизирован.

г) Отделение пыли рассматривается с точки зрения не только технологической, но и санитарно-технической. С технологической точки зрения пыль в некоторых случаях может оказаться даже полезной, как добавка, могущая уменьшить пригар.

Особенно вредна пыль с санитарно-технической точки зрения. Кварцевая пыль является в частности причиной заболевания силикозом. Эта болезнь по внешним признакам сходна с туберкулезом, но вызывается не бактериями, а осаждением кварцевой пыли на поверхности легких.

К числу наиболее действенных мер относится применение исходных материалов и смесей во влажном состоянии, например, замена размола глины ее обработкой в мокром состоянии. В противном случае надо удалять пыль непосредственно у места ее образования, в первую очередь с участков обрубки.

Удаление пыли из исходных материалов осуществляется практически в настоящее время только двумя способами: отсосом и осаждением. Отсос производится созданием воздушных потоков,

а осаждение производится в отстойниках, а наиболее полно в электростатическом поле высокого напряжения [276], [280] и в воде при гидравлической очистке отливок [279].

Выбор метода удаления пыли определяется в сочетании с применяемым методом регенерации [277], [278], [281], [282].

д) Отделение крупных включений производится на ситах разных конструкций и с помощью магнитных сепараторов, во втором случае, если удаляются намагничивающиеся части смеси, как например, капли чугуна или стали.

е) Выжигание органических добавок [283] представляет собой тот частный случай обработки исходных материалов, когда на поверхности зерен остается слой неполностью сгоревшей органической добавки. По поводу необходимости выжигания этой остаточной оболочки взгляды литейщиков расходятся. По всей вероятности, правильно вопрос о целесообразности выжигания этой несгоревшей оболочки не может быть решен в общем виде: если в оболочке остались непрореагировавшие добавки, то сжигание может оказаться нецелесообразным. Если же осталась только углистая оболочка, которая дополнительной прочности смеси придать не может, а может ее снизить из-за адсорбции добавляемой свежей связующей добавки, то выжигание может оказаться целесообразным. Иногда обжигаются также кварцевые зерна, используемые для приготовления неразъемных форм.

ж) Плакирование песков производится несколькими путями, но они могут быть разделены на два основных способа — холодный и горячий.

Существо холодного способа сводится к использованию растворителя, который переводит смолу в жидкое состояние. Растворенная смола смешивается с песком и обволакивает зерна. После этого смесь нагревается, растворитель испаряется и смола остается на поверхности зерен.

В качестве растворителя применяют спирт, часто в смеси с водой, иногда в смеси с керосином. Воду и керосин добавляют для уменьшения испаряемости спирта, вода добавляется также для облегчения растворения уротропина. При песке с модулем мелкости порядка 100, что соответствует среднему зерну около 016, растворителя добавляется до 25% от веса смолы. При увеличении количества растворителя наблюдается улучшение качества поверхности, но несколько замедляется процесс удаления растворителя.

Процесс приготовления плакированного песка осуществляется в два приема: вначале производится распределение сухой смолы между зёрнами в течение не более 1 мин; после этого добавляется растворитель и перемешивание продолжается до полного исчезновения комьев. Этот процесс может продолжаться до 20 мин. Продолжительность перемешивания увеличивается при увеличении количества растворителя в смеси.

Существо горячего способа заключается в применении термопластичных смол, отличающихся избытком фенола. Эти смолы

могут быть нагреты вместе с песком, так как они затвердевают обратимо, т. е. с возможностью повторного расплавления. С терморезактивными смолами такой нагрев невозможен, так как после нагрева они затвердевают необратимо, т. е. без возможности повторного расплавления. Термопластичные смолы смешиваются в нагретом состоянии с песком, после чего они переводятся в терморезактивные смолы путем увеличения содержания в них формальдегида. Повторный нагрев таких смол приводит к их необратимому затвердеванию.

В качестве термопластичных смол применяются новоллаки (см. § 4 гл. II, части второй). Перемешивание происходит при температуре около 150° С. После перемешивания около 5 мин, достаточном для обволакивания зерен смолой, смесь охлаждается до температуры около 60° С. Это охлаждение продолжается около 5 мин. При этой температуре к смоле добавляется уротропин, который распадается с выделением формальдегида и аммиака. Для ускорения охлаждения уротропин добавляется иногда в водном растворе. Выделяющийся формальдегид переводит новоллачную смолу в терморезактивную. Уротропина добавляется около 10—15% от веса смолы. После добавления уротропина перемешивание продолжается еще около 5 мин, так что общая продолжительность перемешивания продолжается около 15 мин. При горячем способе плакирования следует очень точно придерживаться разработанного для каждого конкретного случая режима, так как отклонение от него может резко ухудшить свойства смеси. В частности следует остерегаться преждевременного перехода термопластичной смолы в терморезактивную. Поэтому уротропин следует добавлять в самом конце процесса. Также надо остерегаться преждевременного удаления растворителя, так как в этом случае ухудшится обволакивание зерен смолой. При проведении горячего способа плакирования следует иметь в виду, что в процессе затвердевания происходит нарастание прочности смеси, что вызывает необходимость иметь смесители повышенной мощности.

При сопоставлении способов холодного и горячего плакирования можно прийти к следующим выводам:

1. Холодный способ значительно легче осуществить, и результаты плакирования меньше зависят от отклонений от заданного наилучшего режима.

2. Горячий способ более производительен, но дает менее однородный продукт, так как режим высушивания зависит от случайных условий, как например, от влажности окружающего воздуха при высушивании,

7. ОСНОВЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

Приготовление смесей из подготовленных исходных материалов состоит из следующих процессов:

А. Перемешивание подготовленных исходных материалов,

Б. Обволакивание зерен связующей добавки.

В. Уплотнение смеси.

Г. Изменение температуры смеси.

Д. Изменение состава смеси.

Непризнание выдвигаемого автором начиная с 1933 г. утверждения, что вторичные свойства зависят от первичных свойств и от факторов внешнего воздействия, приводит к недостаточному выявлению общих закономерностей.

А. Перемешивание подготовленных материалов

а. В смесеприготовительные машины целесообразно загружать заранее частично перемешанные материалы, как например, глинистые пески вместо песка и глины.

б. Равномерное распределение составных частей смеси затрудняется при их разных удельных весах, как например, при смешивании песка с органическими связующими добавками. Поэтому часто применяются плакированные (§ 6 гл. I части седьмой).

в. Равномерность распределения глины между зернами песка облегчается при смешивании сухих составных частей смеси.

Однако такой метод не рекомендуется из-за усиленного пылеобразования. Поэтому рекомендуется добавлять глину в виде эмульсии или вливать воду к сухим зернам для обеспечения их полного обволакивания водой. После этого вводят остальные добавки. Часто вода добавляется в два приема: вначале небольшая порция для уменьшения возможности образования пыли, а спустя несколько минут добавляют остальную порцию воды.

г. Перемешивание облегчается при увеличении степени дисперсности связующей добавки. В первую очередь эта закономерность относится к глинистым добавкам. Увеличение степени дисперсности глины увеличивается при добавлении ее в виде суспензии. Поэтому использование глины в виде суспензии может быть всемерно рекомендовано, если удастся преодолеть главное затруднение: ее расслаивание во времени и при перемешивании.

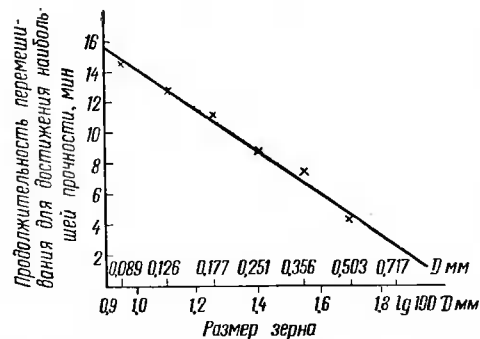
д. При чрезмерном давлении катков на смесь может произойти раздробление отдельных ее зерен. Опасность дробления зерен уменьшается при создании зазора между катком и дном чаши бегунов.

е. На тщательность перемешивания должно быть обращено особое внимание. Она может проверяться разными способами. К числу наиболее простых и перспективных надо отнести введение в смесь краски. При этом создается возможность не только проверять качество смеси, но и различать разные смеси по их цвету. Для проверки качества перемешивания в лабораторных условиях можно применить люминесцентный анализ [86].

Б. Обволакивание зерен связующей добавкой

а. В подавляющем большинстве случаев качество смеси в очень значительной степени зависит от совершенства процесса обволакивания зерен связующей добавкой. Поэтому в частности целесообразно применять **п л а к и р о в а н н ы е п е с к и**.

б. Чем больше поверхность зерен, тем труднее осуществить ее обволакивание. Поэтому увеличиваются трудности при приго-



Фиг. 99. Влияние величины зерна на продолжительность перемешивания для достижения наибольшей прочности.

товлении смеси с более мелкими зернами. По этой же причине для приготовления мелкозернистых смесей часто предпочитают естественные глинистые пески. На фиг. 99 приведены опытные данные по влиянию величины зерна на увеличение продолжительности перемешивания, необходимой для достижения наивысшей прочности.

в. Чем больше вязкость жидкой добавки, тем труднее обеспечить равномерное обволакивание ею всей

поверхности зерен. Поэтому закономерно стремление снижения вязкости жидких добавок. Во многих случаях вязкость по этой причине в технических условиях ограничивается верхней границей.

г. Чем больше количество связующей добавки, тем труднее ее распределить равномерным слоем по поверхности зерен. Поэтому снижается относительная прочность смеси, что подкрепляет ранее сделанные выводы о снижении относительной прочности смеси при увеличении содержания в ней связующих добавок.

В. Уплотнение смеси

а. Обволакивание зерен связующей добавкой неизбежно происходит при некотором давлении. Поэтому обволакивание связано с увеличением степени плотности смеси. Этим может быть объяснено наблюдаемое почти во всех случаях нарастание плотности с увеличением продолжительности приготовления смеси на бегунах.

б. Во многих случаях при дальнейшем увеличении продолжительности приготовления смеси плотность снижается, что может быть объяснено созданием комков в смеси. Комкование смеси увеличивается при увеличении содержания в ней мелких зерен.

в. Для улучшения свойств формовочной смеси ее целесообразно разрыхлять на специальных машинах.

Г. Изменение температуры смеси

По мере увеличения продолжительности перемешивания может изменяться температура смеси: снижаться за счет охлаждения отработанной горячей смеси и несколько повышаться за счет трения зерен. Перемешивание при температуре, превышающей температуру окружающей среды, приводит к усилению высыхания смеси, а изменение содержания воды в смеси приводит к значительному изменению ее свойств; желательно, чтобы температура смеси не превышала 35° С.

Д. Изменение состава смеси

а. При увеличении продолжительности перемешивания происходит неизбежное снижение влажности смеси, влияющее на изменение вторичных свойств смеси.

б. Для изменения вторичных свойств смеси к ней добавляются специальные примеси. В настоящее время только начинается стремление изменять свойства смеси введением в нее добавок в самых незначительных количествах. Эти примеси могут рассматриваться как «молекулярные припой», создающие дополнительную связь между зернами и связующей добавкой [81].

К числу таких специальных добавок можно отнести и давно применявшиеся катализаторы процессов упрочнения.

8. ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СМЕСЕЙ

Обработка готовой смеси сводится в большинстве случаев к ее разрыхлению, после чего несколько увеличивается ее газопроницаемость. Однако разрыхленная смесь легко снова слеживается, поэтому разрыхление целесообразно только при условии ее быстрого использования.

В свете последних достижений химической обработки можно допустить появление такого процесса, при котором приготовленная смесь непосредственно перед изготовлением формы будет подвергаться дополнительной химической обработке. К числу таких добавок можно отнести всякого рода катализаторы, ускоряющие для примера процесс полимеризации, конденсации или окисления.

Уплотнение приготовленной смеси увеличивается при увеличении высоты бункеров. Однако и при снижении их высоты уплотнение может не уменьшиться, если сохраняется большая высота сбрасывания готовой смеси в бункер.

Основным требованием к качеству хранения исходных материалов и смесей является несмешивание исходных материалов и обеспечение достаточной сохранности свойств при длительном хранении. Поэтому хранение исходных материалов рекомендуется

в крытых и желательнo отапливаемых складах. Во всех случаях недопустимо хранение песков и глин на открытых площадках.

В настоящее время требование к хранению несколько усложняется в связи с появлением быстро затвердевающих смесей.

Глава II

ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СМЕСЕЙ

Систематическое рассмотрение смесей возможно только на основе их классификации. При классификации смесей следует учесть их (табл. 166) свойства, состав и технологию изготовления форм.

Таблица 166

Классификация смесей

Предпочтительное свойство	Примерный типовой состав смеси	Примерная технология	Подробности в гл. II части седьмой
Нормальное	Песчано-глинистая	Нормальная	2,3
Ускорение упрочнения	Эмульсионная	Поверхностно-подсушенная Оболочковая	4
	Пulвер-бакелитовая		5
	Жидкостекольная Цементная	CO ₂ -процесс	6 7
	Органические добавки	Диэлектрическое высушивание	8
Чистота поверхности	Этилсиликатная Неорганические соли	Неразъемные формы	9
Текучесть	Малоглинистая Гипсовая —	Пескодувный В жидкие смеси Прессованные формы	10 11 12
Податливость	Опилочная	Высушенные окрашенные формы	2,3

Предпочтительное свойство	Примерный типовой состав смеси	Примерная технология	Подробности в гл. II части седьмой
Многократное использование	Шамотная, графитная, талькохлористая	Полупостоянные формы	13
Пониженная химическая активность	Хромистая, Магнетитовая, Цирконовая	Для изготовления отливок из легированных сталей	14
Пластичность	Высокоглинистая	Шаблонирование	15
Направленность затвердевания	Металло-керамическая Пористая Термит	(Повышенная теплопроводность) (Малотеплопроводная) (экзотермическая)	16 17
Изменение состава отливки	Дробление ферросплава	Поверхностное легирование	Глава II части шестой
Точность размеров	Жидкостекольная	Упрочнение на модели В стержнях. Прессование формы	
Незамерзающие	Гликолевые	Безводные	19
Выбиваемость	Органические связующие добавки	Стержни	20
Непригораемость	—	Краски	Глава III части шестой

А. Свойства. Смеси должны обладать разными свойствами. Можно принять, что существует группа смесей, которые можно признать «нормальными». Эти смеси обладают комплексом нормальных свойств. Перечень таких свойств приведен в табл. 167. Но в отдельных случаях какому-либо свойству отдается предпочтение. Это «предпочтительное» свойство может быть признано одним из классификационных признаков.

Нормальные свойства смесей

Состав и свойства	Характеристика	Состав и свойства	Характеристика
Первичные свойства	Кварцевый песок Глина	Выбиваемость σ_{1400}^{20} в кг/см ²	До 1
Зерновая часть		Пластичность σ_{1400}^{20}	0,4 до 1,5
Связующая добавка		Текучесть	Большая
Вторичные свойства		Гидравлические:	
Механические:		пористость в %	15—50
прочность в сыром (влажном) состоянии σ_{1400} в кг/см ²	0,3—0,7	газопроницаемость	20—200
Прочность в высушенном состоянии σ_{200}^{20} в кг/см ²	0,8—1,2	Физико-химические:	
Упрочнение	Высушиванием	температуропроводность в см ² /сек	0,002±0,001
		огнеупорность	Имеет подчиненное значение
		химическая активность	Средняя

К числу таких предпочтительных свойств можно отнести:

1. Сокращение продолжительности процесса упрочнения. При необходимости применения упрочненных форм до последнего времени применялся процесс упрочнения путем их высушивания. Недостатком этого процесса является его большая длительность. Ускорение может быть достигнуто уменьшением глубины просушиваемого слоя, устранением диффузионных процессов и высушиванием токами высокой частоты, вызывающими прогрев по всему объему формы.

Длительность процесса высушивания определяется в значительной степени длительностью выделения водяных паров из полости формы. Этот процесс выделения может быть уподоблен процессам диффузии. Устранение процессов диффузии может быть достигнуто, во-первых, использованием процессов упрочнения за счет полимеризации или конденсации молекул упрочняющих добавок (при нагреве без подвода внешних реагентов; например, при изготовлении оболочковых форм с использованием синтетических смол). Во-вторых, искусственным внедрением газа в полость формы. К числу таких процессов относится CO₂-процесс.

2. Повышение чистоты поверхности. Достигается это применением или наиболее мелких песков, что осуществимо при использовании неразъемных форм, выплавляемых или растворяющихся, или высоких уплотнений.

3. Повышение текучести. Оно необходимо для улучшения заполняемости полости формы смесью, например, при изготовлении форм пескодувным способом.

Повышение текучести может быть достигнуто приемом, который только начинает внедряться в практику, а именно — приме-

нением жидких смесей. К таким смесям относятся гипсовые и этил-силикатные.

4. Увеличение податливости. Это свойство необходимо при затвердевании отливок.

5. Возможность многократного использования формы. Применение таких форм представляет повышенный экономический интерес при серийном изготовлении крупных отливок и с несложными очертаниями.

6. Пониженная химическая активность формы. Это свойство представляет особый интерес при изготовлении крупных отливок из легированных сталей.

7. Увеличенная пластичность. Такое свойство необходимо при изготовлении форм шаблонированием.

8. Возможность увеличения влияния на направленность затвердевания за счет применения форм с повышенной или пониженной теплопроводностью, а также за счет применения смесей с экзотермическим эффектом.

9. Воздействие на химический состав поверхности отливки.

10. Повышение точности размеров отливки, изготовлением форм неразъемными, под повышенным давлением или в стержнях.

11. Улучшение выбиваемости. Наиболее выпукло это свойство учитывается при изготовлении стержней.

12. Уменьшение пригораемости. Это важное свойство достигается или подбором соответствующего состава смеси, или нанесением на поверхность формы краски.

13. Снижение температуры замерзания смеси. Это достигается заменой воды другими жидкостями, например этиленгликолем.

Б. Состав. Оставив в основе классификации предпочтительное свойство, можно для обеспечения этого свойства различать смеси согласно табл. 166.

В. Технология изготовления форм определяется в значительной степени выбранными предпочтительными свойствами и составом. «Нормальным» можно принять процесс изготовления отливок в песчано-глинистые сырые формы. Таким образом можно различать процессы: 1) нормальный; 2) поверхностно-подсушенный; 3) оболочковый; 4) CO₂-процесс; 5) литье в неразъемные формы по выплавляемым и растворяющимся моделям; 6) пескодувный; 7) литье в жидкие смеси; 8) литье в полупостоянные формы; 9) шаблонирование; 10) поверхностное легирование; 11) прессованные формы; 12) изготовление отливок в стержнях.

Количество этих процессов будет несомненно увеличиваться. Их классификация и подробное рассмотрение выходит за рамки книги.

2. НОРМАЛЬНЫЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ СМЕСИ

Показатели свойств и составы типовых сырых и высушенных глинистых смесей приведены в табл. 168, составленной под руководством автора коллективом сотрудников треста «Союзформолитье»

Типовые свойства глинистых смесей

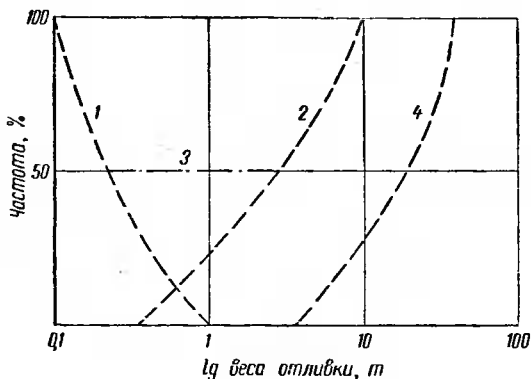
Форма	Вес отливки в кг	Концен- трация зерен на ситах	Содержа- ние гли- ны в %	Газопро- ницае- мость K_w	Проч- ность σ_w в кг/см ²	Влаж- ность в %	Отрабо- танная смесь в %	Свежие неор- ганические добавки (глина + пе- сок) в %	Сульфит- ный це- лок в %	Древес- ные опил- ки в %	Каменный уголь в %
Чугунное литье											
Сырая	До 1	0,16—005 (100—270)	8—10	15—25	0,3—0,4	3,5—4,5	75—90	Остальное	—	—	—
»	1—20	0,25—0063 (70—200)	8—12	20—40	0,3—0,5	3,5—5,5	50—90	»	0,5	—	2—3
»	20—200	0,25—016 (70—100)	8—12	40—60	0,4—0,6	4—6	50—90	»	0,5	—	2—5
»	200—2 000	0,63—016 (30—100)	10—14	60—80	0,4—0,7	4—6	50—70	»	0,5	—	5—8
Высушенная	До 10 000	0,63—016 (30—100)	10—20	80—150	0,4—0,7	6—8	40—6	»	—	2,3	—
Стальное литье											
Сырая	До 500	0,63—016 (30—100)	8—12	80—150	0,4—0,7	4—6	50—75	»	0,5	—	—
Высушенная до	5000	0,63—016 (30—100)	10—20	80—150	0,4—0,7	5—8	50—75	»	—	2,3	—
Медные сплавы											
Сырая	—	0,25—0063 (70—200)	8—12	30—50	0,3—0,5	4—6	60—80	»	—	—	—
Высушенная	—	0,25—0063 (70—200)	10—20	30—50	0,4—0,6	—	60—70	»	—	—	—
Алюминиевые сплавы											
Сырая и высушенная	—	0,25—01 (70—140)	8—12	30—50	0,3—0,5	4—6	60—80	»	—	—	—

во главе с инженерами Н. В. Дмитриевым и М. И. Шацких и дополненной И. Б. Куманиным.

Сырые формы применяются для изготовления относительно более мелких отливок весом до 1000 кг. Эта граница непрерывно изменяется в сторону увеличенного веса.

К числу причин, ограничивающих применение сырых форм, можно отнести:

а) Длительность приготовления форм. Изготовление крупных форм происходит в течение нескольких смен, и сохранение неизменной влажности в течение этого времени практически невозможно.



Фиг. 100. Области применения песчано-глинистых смесей:

1 — литье в невысушенные формы; 2 — в высушенные;
3 — в подсушенные; 4 — литье в кессонах.

Повторное смачивание высохших форм затруднительно, и практическим выходом является использование высушенных форм.

б) Формы для изготовления более крупных отливок должны иметь повышенную прочность.

в) Более крупные отливки сильнее пригорают к поверхности форм. Применение противопригарных средств в виде добавок, вводимых непосредственно в смесь, в большинстве случаев оказывается недостаточным. Поэтому приходится наносить на поверхность формы специальный противопригарный слой в виде красок. Нанесение такого слоя практически осуществляется только при его последующем высушивании.

Грубо ориентировочное представление о соотношении весов и отливок, заливаемых в глинистые формы — соответственно сырые и высушенные, приведено на фиг. 100 с использованием материалов В. М. Шестопада. Среднее место между сырыми и высушенными формами занимают подсушенные формы. Наиболее крупные отливки заливаются в высушенные формы в кессонах.

При выборе состава и свойств смесей можно руководствоваться следующими соображениями.

А. Синтетические смеси и естественные пески. При выборе между естественным и искусственным синтетическими песками можно воспользоваться следующими соображениями:

а) Принципиальное предпочтение должно быть отдано искусственным (синтетическим) пескам, так как только случайно можно обнаружить в естественных условиях пески, полностью удовлетворяющие предъявляемым требованиям.

б) Практически в большинстве случаев применяются смеси, состоящие из нескольких песков. Все такие смеси могут быть названы «синтетическими», но в дальнейшем синтетическими будут называться смеси из безглинистых (кварцевых и тощих) песков с глиной.

в) Преимущество синтетических смесей заключается в возможности применения наиболее качественных исходных песков и глин. Поэтому потребность в применении синтетических песков отпадает при наличии хороших естественных песков, как например, третичные пески под Волгоградом.

г) Применение синтетических песков возможно только при наличии качественной и достаточной производительной смесеприготовительной установки.

По литературным данным [284] в США из 21 обследованных литейных в 11 применялся промытый и просушенный кварцевый песок.

Б. Зерна. При выборе зерен можно руководствоваться следующими соображениями (см. часть первую):

а) Практика показывает, что при концентрации зерен на ситах (см. табл. 168) могут быть достигнуты требуемые свойства.

Для улучшения качеств поверхности отливки предпочтение может быть отдано смесям с рассредоточенной структурой. Однако получение от потребителя песков с рассредоточенной структурой связано с опасностью получения песков непосредственного качества. При получении песков с сосредоточенной структурой легче добиться постоянства качества. При получении песков с рассредоточенной структурой необходимо при приготовлении смесей производить смешение между собой нескольких песков. В высушиваемых смесях из-за повышенного содержания в них глины применяется, как правило, более крупный песок.

б) Пески могут быть разного минералогического состава. Наиболее распространены кварцевые пески. В менее ответственных случаях возможна замена полевошпатовыми зернами части кварцевых зерен.

в) Смешивание с глиной затрудняется при использовании мелких песков. Поэтому не применяются синтетические смеси на песках с зернами меньше 0,1 мм. Такие смеси применяются при изготовлении мелких чугуновых отливок и отливок из цветных сплавов.

г) Чем выше требования предъявляются к смесям, тем более обоснованно применение синтетических смесей.

В. Глина. При выборе глин можно руководствоваться соображениями, приведенными в § 4 гл. II части первой.

В дополнение к этим сведениям можно привести следующие соображения:

а. Приведенные в табл. 177 значения относятся к условной глине среднего качества, характеризующейся содержанием 100 % глинистых составляющих. При применении более качественных глин количество прибавляемой глины может быть резко сокращено. В частности при применении бентонитов количество добавляемой глины при той же прочности может быть уменьшено вдвое и даже больше по сравнению с приведенными в таблице значениями.

б. По экономическим соображениям целесообразно применять бентониты главным образом в смеси с другими, менее качественными глинами.

в. При изготовлении высушиваемых форм преимущества бентонитов затухиваются и их можно заменить менее дорогими огнеупорными глинами.

Г. Влажность. Влажность изменяется главным образом в зависимости от содержания в смеси глины: чем ее больше, тем выше должна быть влажность смеси.

Д. Отработанная смесь. Во всех случаях отработанная смесь должна быть добавлена в наибольшем количестве. Это требование вызывается не только экономическими соображениями, но и требованиями: как правило, зерна отработанной смеси способствуют улучшению качества поверхности отливки из-за частичного перехода в более стойкие и менее расширяющиеся при нагреве модификации.

Е. Барда сульфитного щелока. Барда прибавляется в целях увеличения поверхностной прочности формы в связи с частичной миграцией к поверхности водорастворимых связующих добавок. По этой причине барда сульфитного щелока может быть заменена другими водорастворимыми добавками, но барда сульфитного щелока предпочитается главным образом по экономическим соображениям. Обычно применяется барда с удельным весом около 1,25—1,30, что соответствует наличию 50 % сухого остатка. При введении сульфитного щелока необходимо учесть содержание в нем воды.

Ж. Древесные опилки. Опилки желательны наиболее мелкие. При возможности отсортировки этих опилок при распиловке дерева предпочтение должно быть отдано опилкам при поперечной, а не при продольной разрезке.

З. Противопригарные добавки должны учитываться не только количественно, но и качественно, как это было указано в гл. I части шестой. Каменноугольная пыль может быть заменена мазутом или другими газотворными добавками. В смеси для высушиваемых форм противопригарные добавки не вводятся, так как поверхность высушиваемых форм покрывается краской.

И. Газопроницаемость. Неправильно представление, что чем выше газопроницаемость, тем лучше. Не рекомендуется применять смеси с чрезмерно высокой газопроницаемостью. В этих случаях замечается ухудшение качества поверхности отливок. При заливке мелких чугунных отливок в формы с газопроницаемостью свыше 20 могут обнаружиться отбеленные участки из-за повышенной конвективной теплопроводности. Повышенная газопроницаемость менее опасна в высушенных формах, так как они с поверхности прокрашиваются, а прочность так же как и газопроницаемость относится к свойствам, определенным непосредственно в самой форме. Эти свойства совпадают со свойствами, определенными в лабораторных условиях, только в том случае, когда в форме наблюдается стандартное уплотнение. Если уплотнение в форме отличается от стандартного, необходимо сделать поправку в соответствии с указаниями, сделанными в гл. I части третьей.

3. ПОВЕРХНОСТНО ПОДСУШИВАЕМЫЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ СМЕСИ (облицовочные)

Стремление использовать преимущества форм, упрочняемых высушиванием, ограничивается длительностью процессов высушивания. Поэтому предложено и осуществлено несколько путей ускорения процессов упрочнения, в частности поверхностное подсушивание.

Поверхностное подсушивание применяется и при изготовлении форм из глинистых смесей. Так, на заводе «Серп и молот» поверхностное подсушивание на глубину 20—30 мм применялось для изготовления отдельных отливок весом до 300 кг. На заводе «Станколит» применялось подсушивание на глубину 15—30 мм (см. табл. 41).

В табл. 169 приведены примеры поверхностно подсушиваемых песчано-глинистых смесей, взятые из американской практики [284].

Таблица 169

Примеры поверхностно подсушенных смесей для стальных отливок от 2 т до 40 т [284]

Показатель смеси	№ смеси									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Облицовочная									Наполнительная
Состав в %										
Свежий песок . .	93,9	90,7	79,2	93,9	35,2	29,4	0	19,8	47,0	—
Отработанная смесь регенерированная . .	0	0	0	0	62,8	29,4	0	79,0	74,4	—

Показатель смеси	№ смеси									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Облицовочная									Наполнительная
То же регенерированная	0	0	0	0	0	29,4	94,8	0	24,0	0,5 до 1,0
Бентонит	5,1	3,3	2,8	5,5	1,7	2,4	3,5	0,9	0	
Глина	0	2,2	2,0	0	0	1,0	0,7	0	0	до 0,4
Крахмалистые связующие	1,0	0,8	0,5	0,5	0,3	0,6	0,4	0,3	0,3	
Сульфитный щелок	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0,4
Древесная мука	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	
Кварцевая мука	0	3,0	15,0	0	0	7,8	0	0	0	до 0,4
Марка песка — приблизительный пересчет	025	025	0315	025	025	025	025	—	0315	
Свойства										
Прочность на сжатие в сыром состоянии в кг/см ²	0,56	0,50	0,57	0,52	0,46	0,63	0,49	0,47	0,60	0,4
Газопроницаемость					150	105	140	180	150	100
Влажность в %		5,0	6,0		3,2	4,5	5,0	3,8		до 170

Примечания: 1. Около 50% литейных предпочитают применять отмытый высушенный песок.

2. Кварцевую муку применяют примерно 50% всех цехов. Она добавляется при изготовлении отливок с толщиной стенок свыше 200 мм и при применении крупнозернистого песка.

3. Крахмалистые добавки применяются в виде декстрина и желатинизированной кукурузной муки.

4. Древесная мука добавляется при большом содержании в смеси кварцевой муки.

5. Иногда добавляется 0,5% окислов железа.

6. Изредка вместо крахмалистых добавок применяется пек.

4. ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ЭМУЛЬСИОННЫЕ СМЕСИ

Для поверхностного высушивания успешно применялись эмульсионные смеси, предложенные НИИЛИТМАШем. Преимущество этих смесей по сравнению с жидкостекольными заключалось в хорошей выбиваемости и малом пригаре. Это преимущество особенно резко проявлялось при чугунном литье [136].

Из эмульсионных смесей изготовлялся облицовочный слой, глубина высушивания которого изменялась в зависимости от веса отливки. Преимуществом эмульсионных облицовочных смесей по сравнению с песчано-глинистыми было их значительно меньшее обратное намокание при длительной выдержке перед заливкой.

В табл. 170 приведены опытные данные завода «Компрессор» о глубине просушивания, сообщенные Л. М. Фридманом [285].
 Типовой состав и свойство такой смеси: 50% кварцевого песка; 45% отработанной смеси; 5% молотой глины; 3% эмульсионной добавки (СП, СБ, КТ); 4—6% воды. Газопроницаемость $K = 60$; $\sigma_w = 0,3 \div 0,5 \text{ кг/см}^2$; $\sigma_t = 3 \text{ кг/см}^2$.
 Примерные смеси, применявшиеся на разных заводах, приведены в табл. 171.

Таблица 170

Глубина просушенного слоя эмульсионной смеси (по Л. М. Фридману)				
Вес отливки G в кг	Опытные данные		Пересчет	
	Толщина просушенного слоя H в мм	Продолжительность высушивания в мин	$\frac{\sqrt{\tau}}{H}$	$\frac{\sqrt{\tau}}{\sqrt[3]{g}}$
50—1000	15—20	15	0,33	0,91
100—300	20—25	20	0,21	0,6—0,75
300—600	25—30	30	0,20	0,7
600—1000	30—35	—	—	—
1000—1500	35—40	120	0,29	1,0
2000—3000	45—50	180	0,27	1,0

Таблица 171

Примерные смеси на эмульсионных добавках				
Состав и свойства	Завод			
	«Компрессор», 1950 г.		Лепсе, 1960 г.	
Состав в %				
Кварцевый песок	50	50	50	55
Отработанная смесь	40—45	40—45	40	45
Молотая глина	3,5—4,5	2,5—3,5	2	3
СП	2,5	—	2,5	—
СБ	3,0	—	3,0	—
КТ	—	2	—	—
Барда сульфитного щелока	—	1,0—1,5	—	—
Свойства				
K_w	Не менее 60		Не менее 100	—
σ_w в кг/см^2	0,25—0,45		0,3—0,4	—
σ_t разрыв в кг/см^2	Не менее 3		Более 3	—

5. СМЕСИ НА СИНТЕТИЧЕСКИХ СМОЛАХ

В целях экономии смол и ускорения процесса упрочнения формы применяются тонкостенные, что привело к процессу получения оболочковых форм на синтетических смолах.
 Типовая смесь для оболочковых форм на синтетических смолах: 100% кварцевого песка (K02A), 7% смолы, до 1% специальной добавки.

Песок обычно применяется кварцевый, желательнo чистый, так как примеси в виде глины или мелочи вызывают перерасход связующей добавки и ухудшают текучесть смеси. За рубежом считается выгодным применять отмытый песок. Его повышенная стоимость окупается во многих случаях экономией дорогой смолы.
 По зерновому строению предпочтение отдается пескам с сосредоточенной структурой. Это требование вызвано опасением разделения («сегрегация») зерен по величине при перемещениях смесей. По этой же причине отдается предпочтение плакированным пескам [286].

При посещении автором литейных Венгрии ему было указано, что плакирование песков приводит к значительной экономии смолы.
 Наиболее сложен вопрос выбора смолы. Сопоставление применяемых смол было приведено в § 4 гл. II части второй. В настоящее время наиболее распространены смолы фенольноформальдегидные. Возможно, что будут найдены более подходящие синтетические смолы.
 Специальные добавки применяются для: а) воздействия на прочность формы; б) уменьшения расслоения смеси; в) уменьшения прилипания формы к модели.
 а) К добавкам, применяемым для увеличения прочности или для увеличения скорости нарастания прочности, можно отнести уротропин (гексаметилентетрамин), часто называемый гекса. Его действие основано на выделении формальдегида при нагреве. Он добавляется при использовании смесей на основе новолачных смол (см. § 4 гл. II части второй) и пеков. Влияние добавки уротропина на ускорение упрочнения смесей приведено в табл. 172. Из опытов, приведенных в табл. 173 [287], следует, что увеличению прочности способствует добавка в смесь небольшого количества минерального и растительного масла. Это влияние может быть связано только с косвенными причинами, например, с изменением поверхностного натяжения и вязкости, способствующих лучшему распределению смолы между зернами песка. Кроме того, при наличии масла увеличивается уплотнение смеси.

Таблица 172

Влияние уротропина на скорость упрочнения ¹ Смесь содержала 9% древесного пека					
Температура упрочнения смеси в °С	Продолжительность упрочнения в сек				
	Содержание уротропина в %				
	0	5	10	20	40
350	900	300	180	130	100
400	640	200	130	100	90
450	490	170	110	90	80

¹ Из работы А. М. Лясса, Я. И. Медведова и Л. Д. Сиуловой при участии автора.

Влияние добавок на прочность пульвербакелитовой смеси [287]

Добавка	Прочность смеси в кг/см ²				
	Добавка в %				
	0,0	0,5	0,10	0,15	0,20
Минеральное масло средней вязкости	100	135	160	140	140
Растительное масло	100	130	140	150	150
Фенольноформальдегидная смола	100	105	—	—	100
Уайт-спирит	100	100	105	105	105

б) Для уменьшения расслоения в смесь добавляют жидкости с пониженным поверхностным натяжением. К числу таких жидкостей относится керосин, который добавляется в количестве десятих долей процента, в среднем около 0,3% [288]—[290]. Добавлять керосина больше 0,3% нежелательно, так как при этом увеличивается газотворность смеси.

На Горьковском автомобильном заводе вместо керосина в смесь добавляется 0,9% спирта-ректификата. Преимуществом этой добавки является и то, что она растворяет частично пульвербакелит [291].

в) Для уменьшения прилипания смеси к стенкам модели применяют добавки, которые обычно наносят на поверхность модели, а не вводят непосредственно в смесь. Во многих случаях такие добавки содержат кремний-органические соединения, подобные этилсиликату (§ 7 гл. II второй части). Из них наибольшее распространение получила этилполисилаксановая жидкость № 5. Ввиду ее дороговизны она применяется в виде эмульсии, содержащей только 2—5% этой жидкости, 92—95% воды и 3% эмульгатора, обычно в виде хозяйственного мыла [288]—[290].

Вместо этилполисилаксановой жидкости на некоторых заводах применяются эмульсия и растворы на основе метилсиликоновой жидкости [292].

На Горьковском автомобильном заводе для снижения прилипаемости в смесь вводят 0,003% стеарата цинка [291].

Прочности тонкостенной оболочки во многих случаях не хватает для удержания в полости формы жидкого металла. Увеличение прочности не рекомендуется производить за счет увеличения содержания связующей добавки. Обычно это увеличение достигается:

а) увеличением толщины стенок оболочки (в среднем толщина стенок оболочки составляет около 8 мм) и б) введением наполнительной смеси. Она выполняется в виде металлической дроби, но при условии ее улавливания при выбивке отливок из формы ВНИИТМАШ рекомендует изготовление наполнительной упрочняющей смеси на основе жидкого стекла [293]. Без упрочняющей

наполнительной смеси могут быть использованы формы высотой не выше 300 мм. При применении смол, теряющих прочность при более низких температурах, как например, карбамидных, эта критическая высота отливки должна быть снижена. При изготовлении алюминиевых отливок она может быть повышена.

Наиболее успешное применение оболочковых форм на синтетических смолах наблюдается в тех случаях, когда наиболее жестко выдерживается заданный тепловой режим формы.

Можно не только утверждать, что процесс получения отливок в оболочковые формы может быть автоматизирован, но и что именно при автоматизации процесса преимущества изготовления отливок в оболочковые формы выявляются наиболее полно.

При изготовлении оболочковых форм следует обращать внимание на температуру модели [288].

Продолжительность выдержки формы на модели желательна минимальная, так как она в значительной степени определяет продолжительность процесса.

6. ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫЕ СМЕСИ

Жидкостекольные смеси находят в настоящее время все большее распространение. Формы, приготовленные из таких смесей, высушивают продувкой углекислым газом и в сушильных печах.

К числу главнейших преимуществ этих смесей относится возможность их быстрого упрочнения.

Примерные смеси на жидком стекле приведены в табл. 174 и 175 [294]. Приведенные составы можно сопровождать следующими примечаниями:

Для снижения стоимости смеси в ней допускается значительное количество отработанной смеси.

Жидкостекольные смеси в отношении глины характеризуются часто недоучитываемой особенностью: жидкое стекло является активным химическим реагентом, могущим вступить в реакцию с глиной. Поэтому необходимо обращать особое внимание на качество добавляемых в смесь глин.

Некоторые сорта глин способствуют выпадению газа. В этих случаях при увеличении содержания глины необходимо уменьшать модуль жидкого стекла. Так, например, при модуле 2,2 допускается содержание глины 6%, а при модуле 2,27 только 3%.

Специфической особенностью, связанной с применением отработанных жидкостекольных смесей, является повышение содержания в смеси натрия. Чрезмерное повышение содержания натрия нежелательно, так как при этом может затрудниться выбиваемость смеси и ухудшиться качество поверхности отливки.

Жидкое стекло характеризуется: а) модулем, б) плотностью и в) вязкостью, как это было разобрано в § 7 гл. II части второй.

Таблица 174

Типовые составы и свойства смесей на жидком стекле (по А. М. Лясу)

Составные части	Смеси					
	1	2	3	4	5	6
А. Зерновая составляющая в %:						
кварцевый песок . .	95—97	50—70	100	97—98	98	70—85
отработанная смесь боксит	—	30—50	—	2—3	—	—
глина формовочная	3—5	—	—	—	2—4	—
кварцевая мука . . .	—	—	—	—	—	15—30
Б. Связующие в % от зерновой составляющей:						
жидкое стекло по ГОСТу 8264-56 . .	5—6	5—6	4—6	4,5—5,5	4—5	4—6
Едкий натр (10—20%)	0,5—1,5	0,5—1,5	0,5—1,5	0,5—1,5	0,5—1,5	0,5—1,5
В. Спец. добавки в %	*	—	*	**	***	—
Г. Свойства:						
прочность в сыром состоянии в кг/см^2	0,10—0,20	0,12—0,25	0,04—0,07	0,05—0,07	0,10—0,15	0,15—0,25
прочность в кг/см^2 после высушивания при 200° более	80	90	80	80	80	100
прочность в кг/см^2 продувания CO_2 в течение 60" более	10	12	8	8	8	16
газопроницаемость более	150	80	200	150	150	90
влажность в % . . .	3,0—4,5	3,5—4,5	3,0—4,5	3,0—4,0	2,5—3,0	3,5—5,0

* Для облегчения выбивки стержней при чугунном и цветном литье рекомендуется вводить 1,5—3,0% опилок, древесного пека, угля и др.

** То же, но в количестве 0,5—1,5%.

*** Битума 1,5—2,0%.

Примечания:

Смесь: № 1 — для форм и стержней стального, чугунного и цветного литья;

№ 2 — для форм стального и чугунного литья. Количество отработанной смеси для стального литья, как правило, до 30%, а для чугунного литья до 50%;

№ 3 — для стержней стального, чугунного и цветного литья;

№ 4 — для стержней преимущественно стального литья;

№ 5 — для стержней преимущественно чугунного литья;

№ 6 — для оболочковых форм и стержней.

Примеры жидкостекольных смесей (по Петржела) Таблица 175

Характеристика смеси	Состав в %				
	Кварцевый песок	Жидкое стекло Ве 50°	Каменноугольная пыль	Глина	Вода
А. Для чугунных отливок:					
для форм и простых стержней	97	3—6	3	—	1,8—2,5
для форм с удовлетворительной выбиваемостью	95	3—6	5—7	—	3,8—4,2
то же с хорошей выбиваемостью	95	3,0—3,5	3	2	2,2—2,5
то же с очень хорошей выбиваемостью	92	3,0—3,5	5	3	2,2—2,5
для стержней с очень хорошей выбиваемостью	94—97	3,0—4,0 +1% нафталина	2—5	—	2,5—3,0
Б. Для стальных отливок:					
для форм и стержней . .	97—98	3,0—3,5	—	2—3	2,2—2,5
для форм и стержней с хорошей выбиваемостью	95—97	3,0—3,5	1—2	2—3	2,5—3,0

Величина модуля выбирается главным образом в зависимости от того промежутка времени, в течение которого формовочная смесь выдерживается до изготовления формы.

Формуемость сохраняется в зависимости от модуля:

Модуль	Количество суток
2,2	4
2,5	2
2,7	8
3,2	3

В нашей практике модуль удерживается чаще всего в границах 2,5—2,7. За рубежом, в частности в Чехословакии и Швеции, применяется жидкое стекло со значительно более высоким модулем.

По всей вероятности, выбор модуля определяется в значительной степени технологическими навыками. Но по нашей практике работа на пониженном модуле представляет преимущество.

1. При высоком модуле задержка с изготовлением формы может привести к значительному изменению свойства смеси. Для сокращения времени транспортирования смесей смесеприготовительные механизмы устанавливаются непосредственно у места потребления смеси.

2. Применение смесей с пониженным модулем позволяет применять более глинистые смеси и с повышенным использованием отработанной смеси.

По опытам автора с Н. Х. Ивановым перспективными представляются жидкостекольные смеси с пониженным содержанием жидкого стекла (не свыше 30%) с тем, чтобы улучшить их выбиваемость. В таких смесях желательно пониженное содержание глины.

Плотность удерживается на практике около $1,50 \text{ г/см}^3 \pm 0,02$. Понижение удельного веса приводит к уменьшению и вязкости жидкого стекла, а следовательно, к улучшению обволакивания им зерен песка. Но чрезмерное понижение плотности, связанное с увеличением содержания воды в жидком стекле, нежелательно, так как может привести к увеличению прилипаемости ее к модели и стержневому ящику.

В табл. 176 приведены рекомендации Жанкола и Вироля плотности жидкого стекла в зависимости от его модуля и области применения.

Прилипаемость уменьшается не только при уменьшении содержания воды в смеси, но и при введении в смесь специальных добавок. В частности для этой цели в жидкостекольные смеси вводится иногда до 0,5% мазута. По предложению ЦНИИТМАШа деревянные модели рекомендуется покрывать нитролаками. Во всяком случае недопустимо окрашивание деревянных моделей спиртовыми лаками.

Плотность, модуль и области применения жидкого стекла [295]

Модуль	Оптимальная кон- центрация сухого остатка в %		Возмож- ная мак- симальная концен- трация в %	Области применения
	При присадке жидкого стекла			
	3%	5%		
2,0	47	52	56	Для сложных стержней при длитель- ном хранении
2,4	38	44	50	Для тяжелых стержней
2,8	32	37	47	Для простых стержней с немедленным использованием
3,0	—	34	42	—

Выбиваемость (см. гл. 5 части шестой) относится к числу тех свойств, которые представляются особенно важными при использовании жидкостекляных смесей.

К числу мер, применяемых для улучшения выбиваемости этих смесей, можно отнести:

1. Разрушение геля, достигаемое введением в смесь:

а) водорастворимых добавок, при сгорании которых предполагается разрушение геля. К числу таких добавок относится патока и барда сульфитного щелока;

б) каменноугольной пыли в количестве до 7%. Однако благотворное действие этой добавки обнаруживается по опытам Петржела только при условии, что температура стержня достигла 500° С. Поэтому эта добавка оказывается мало эффективной при заливке чугуна;

в) нафталина в количестве до 1%. Эта добавка по опытам Петржела [294] оказывается наиболее эффективной. Она рекомендуется им в наиболее сложных случаях. Недостатком этой добавки является неприятный запах, выделяющийся из стержней при заливке жидким металлом.

2. Уменьшение сопротивления усадке достигается двумя приемами:

а) применением формы в виде оболочки. Этот процесс переходит в самостоятельный процесс изготовления оболочковых жидкостекляных форм, но может рассматриваться как метод улучшения выбиваемости;

б) созданием пор в форме. Для этой цели в смесь вводят добавки, выгорающие или при высушивании, или при заполнении форм жидким металлом. К числу таких добавок относятся древесные опилки, а также разные пеки и битумы [296]. Однако при использовании пеков необходимо следить за тем, чтобы они не коксовались. При коксовании может произойти ухудшение выбиваемости форм.

3. Снижение прочности смеси в прокаленном состоянии достигается мероприятиями, специфическими для жидкостекляных смесей:

а) Прочность жидкостекляных смесей в нагретом состоянии в значительной степени зависит от температуры их нагрева. Недопущение нагрева смесей может способствовать улучшению выбиваемости. Это мероприятие может быть осуществлено несколькими мероприятиями, в частности ускорением выбивки.

б) Повышение температуры плавления путем уменьшения содержания натрия в смеси. Это достигается в первую очередь уменьшением до 3% содержания жидкого стекла в смеси. Повышение температуры плавления по предложению А. М. Лясса, И. Б. Куманина, И. В. Валисовского и И. Л. Петржела достигается также превышением содержания в смеси глинозема [203], [294]. Для этой цели в смесь вводится глина до 5%.

в) Замена зерен кварца зернами из других минералов, не реагирующих с жидким стеклом.

Пригар согласно гипотезе автора и Л. Л. Кунина § 17 гл. I части шестой уменьшается при создании разных кристаллических решеток у металла и у пригоревшей корки. Эта разность решеток наиболее отчетливо обнаруживается при доведении поверхности формы до расплавления с образованием при охлаждении аморфной корки. Поэтому пригар может уменьшиться при заливке в форму более тугоплавких металлов. Такой случай имеет место, когда в жидкостекляную форму заливают сталь. Поэтому пригар стальных отливок к жидкостекляным формам значительно меньше пригара чугуновых отливок к этим же формам.

При заливке чугуна в эти формы необходимо их покрывать краской. Примеры таких красок приведены в табл. 187 и 188.

Режим упрочнения жидкостекляных смесей может быть осуществлен обработкой углекислым газом и высушиванием. Режим продувания был рассмотрен в § 8 гл. III части первой.

При упрочнении жидкостекляной формы высушиванием надо по-прежнему остерегаться преждевременного выделения геля кремнезема. Полностью сохраняется правило, что прочность получается тем больше, чем меньше геля выделялось до высушивания и чем больше геля выделится при высушивании. Поэтому в частности наблюдается пониженная прочность у жидкостекляных форм, высушиваемых после предварительного частичного продувания углекислым газом.

Непосредственными опытами А. М. Лясс [201] показал, что при продувании жидкостекляных смесей углекислым газом происходит заполнение пор смеси содой. Поэтому также последующее высушивание не может привести к повышению прочности смеси.

Очень перспективными представляются намечающиеся работы по получению жидкостекляных смесей в жидком состоянии суспензии с очень малой вязкостью.

У нас цементные формы находят пока ограниченное применение. Оно связано главным образом с тем, что цемент используется на удовлетворение нужд строительства. Эти смеси применяются главным образом для изготовления более крупных отливок — весом более 1 т.

Типовая цементная смесь: 70 % кварцевого песка типа 50/100 (0,25), 20 % обработанной смеси, 10 % цемента, 4—6 % воды.

К этому составу можно сделать некоторые дополнения: песок мельче типа 021 (70/140) на практике не применяется. Отработанные смеси могут быть использованы только после тщательного их размельчения [120].

Марки цемента были указаны в § 7 гл. II части второй.

Вода в смесях с кварцевыми песками может быть введена из расчета ~ 0,6 от веса цемента [121].

Упрочнение может произойти на воздухе. Продолжительность упрочнения формы зависит от температуры в цехе. При температуре ниже 8° С упрочнение происходит практически в неприемлемые сроки. При температуре 15—20° С достаточное упрочнение происходит в течение суток [297].

Автор в 1945 г. наблюдал упрочнение цементных форм при «наливании» в них газа CO_2 . Будучи более тяжелым, чем воздух, газ оставался в полостях формы. Упрочнение производилось к концу дневной смены, а к концу утренней смены упрочненные формы заливались [298].

8. СМЕСИ ДЛЯ ВЫСУШИВАНИЯ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

В качестве связующих рекомендуются только водорастворимые добавки и синтетические смолы. Из последних предпочитают смолы, растворимые в воде. Вместо водорастворимых добавок применяются иногда водные эмульсии.

Для повышения проводимости и увеличения скорости прогрева в смесь вводят графит, хлористый натрий (поваренную соль), борную и фосфорную кислоту [299]—[302].

9. СМЕСИ ДЛЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ ФОРМ

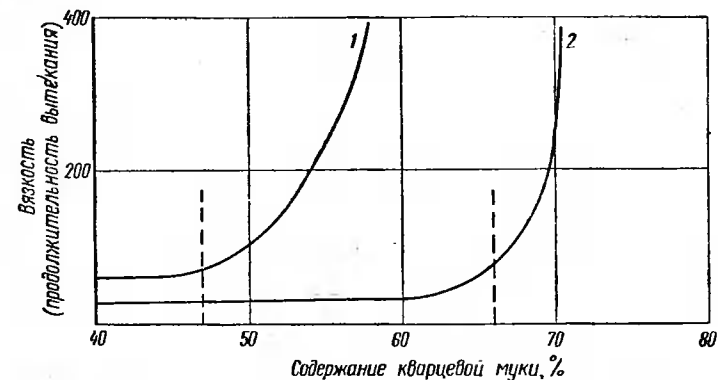
Принципиальным недостатком обычных разъемных неметаллических форм является необходимость применения относительно крупных песков. Следствием является ухудшение качества литой поверхности.

Применение более мелких песков практически исключается резким падением при этом газопроницаемости при сохранении значительной газотворности.

Принципиальная возможность применения очень мелких зерен сочетается только с одновременным снижением газотворности

смеси. К числу негаснущих относятся связующие добавки на основе геля кремнезема и расплавленных растворимых органических солей (NaNO_3 , KNO_3). В этих случаях смеси применяются жидкими и обычно для изготовления неразъемных форм с целью получения отливок по выплавляемым или растворяющимся моделям.

В этих смесях можно различать три составные части: А) огнеупорная составляющая; Б) связующая добавка; В) специальная добавка.



Фиг. 101. Влияние концентрации суспензии на ее вязкость:

1 — суспензия на жидком стекле; 2 — суспензия на этилсиликате.

А. Огнеупорная составляющая. Наиболее распространенной огнеупорной составляющей является кварцевая мука в виде естественного или искусственного пылевидного кварца (см. § 3, гл. II части первой). Преимуществом этой добавки является ее относительно невысокая цена. Недостатком является высокий коэффициент теплового расширения кварца. Поэтому пылевидный кварц в более ответственных случаях не применяется. Его заменяют дробленным плавленным кварцем и некоторыми безводными дроблеными минералами.

Плавленный дробленный кварц получается при производстве плавленных кварцевых изделий, в частности на фарфоровой фабрике имени Ломоносова в Ленинграде.

К числу безводных относятся минералы на основе глинозема и окиси титана.

Количество добавляемой кварцевой муки определяется главным образом вязкостью получающейся суспензии, используемой в качестве облицовочного слоя. Изменение ее вязкости с изменением содержания в ней кварцевой муки приведено на фиг. 101, составленной по опытам Ф. Д. Оболенцова [303]. Вязкость начинает заметно увеличиваться только с некоторой границы: в случае суспензии на жидком стекле — около 48%, а в случае этил-

силиката около 65%. Эти примерные границы соответствуют приблизительному содержанию кварцевой муки в суспензиях. Абсолютная величина вязкости суспензии зависит не только от содержания в ней кварцевой муки, но и от вязкости жидкости. Зависимость вязкости жидкого стекла от его состава была приведена в § 7 гл. II части второй. Чрезмерная вязкость нежелательна, так как при этом увеличивается толщина облицовочного слоя, получающегося окунанием модели в суспензию; это подтверждается результатами опытов, приведенными в табл. 177. При рассмотрении таблицы можно заметить, что толщина слоя зависит не только от вязкости суспензии, но и от состава смачиваемой поверхности.

Таблица 177

Влияние вязкости на толщину облицовочного слоя [304]

Материал модели	Относительная вязкость				
	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0
	Толщина слоя в мк				
Стекло	100	125	175	225	275
Воск	125	175	250	325	375
Пластмасса	150	200	275	350	400

При многократном окунании моделей в суспензии ее вязкость не изменяется, если не изменяется температура и не испаряется растворитель. Быстрее испаряется ацетон, затем спирт и еще медленнее вода. По этой причине вязкость жидкостекольной суспензии изменяется меньше, чем вязкость этилсиликатной суспензии.

При относительной влажности окружающего воздуха (свыше 60%) вязкость жидкостекольной суспензии не изменяется в течение 2—3 ч.

Б. Связующая добавка. В качестве связующих применяются добавки на основе получения золя и геля кремнезема, рассмотренные в § 7 гл. II части второй, и неорганические соли (NaNO_3 , KNO_3). Необходимо подчеркнуть принципиальную возможность применения других неорганических окислов, которые возможно будет получать в виде золя и геля.

Для увеличения стойкости геля содержание в нем кремнезема не должно превышать 20%, как это было указано в упомянутых параграфах.

В. Специальная добавка. В качестве специальных в суспензию вводятся добавки, улучшающие адгезию (приставание) облицовочного слоя к поверхности модели. Общей можно признать закономерность улучшения адгезии полярных растворителей к полярным веществам и неполярных растворителей к неполярным веществам.

Полярными веществами можно признать канифоль, шеллак, касторовое масло, стеариновую кислоту; полярными растворителями — воду, спирт, основания и кислоты, азтанол, метанол.

К неполярным веществам можно отнести битумы, парафины, полиэтилен; к неполярным растворителям — бензин, бензол, четыреххлористый углерод.

Поэтому не может существовать универсальной добавки, улучшающей адгезию облицовочного слоя к поверхности модели.

В качестве примера можно привести, что для улучшения адгезии к моделям, содержащим канифоль и стеарин, в облицовочный слой вводится соляная или уксусная кислота в количестве сотых долей процента, а адгезия к поверхности моделей, содержащих парафин, улучшается при введении в облицовочный слой около 1% бензина [305].

10. СМЕСИ ДЛЯ ПЕСКОДУВНОГО ПРОЦЕССА

(Смеси с повышенной текучестью)

Повышение текучести связано в значительной степени с понижением прочности в сыром состоянии до $0,1 \text{ кг/см}^2$. Поэтому такие смеси характеризуются прежде всего очень низким содержанием глины (около 1—2%).

Связующие добавки применяются разные, но предпочтение отдается тем, которые обеспечивают получение прочности в высушенном состоянии в границах $10\text{—}20 \text{ кг/см}^2$. Для уменьшения опасности растрескивания во время высушивания в смесь вводят водорастворимую добавку. Наиболее дешевой является барда сульфитного щелока, добавляемая в количестве около 1%. Для уменьшения прилипаемости в смесь вводят около 0,1% керосина.

Влажность следует удерживать около 2%. Понижение содержания воды увеличивает осыпаемость смеси, а повышение приводит к увеличению прилипаемости.

Особенностью смесей, применяющихся на Горьковском автомобильном заводе, является содержание в них муки, добавляемой в количестве около 1%. Считается, что эта добавка повышает прочность в сыром состоянии без снижения ее текучести.

Типовая смесь для пескоструйных процессов: 100% песка, 1—2% глины, 2—5% связующей добавки; 1% керосина; 2% воды; $K_w = 60 \div 100$; $\sigma_{w \text{ сж}} = 0,04 \div 0,08 \text{ кг/см}^2$.

Успешно применяются такие смеси с плакированным песком. Смеси с введением сухого порошкообразного пульвербакелита неудобны тем, что они расслаиваются по удельному весу.

Имеются также достоверные сведения об успешном применении жидкостекольных смесей особенно для пескоструйных машин. Примерные смеси, применяемые в пескоструйных машинах, приведены в табл. 178.

Смеси для пескоструйных машин могут обладать повышенной прочностью от $0,2$ до $0,8 \text{ кг/см}^2$ [306] и, следовательно, могут содержать повышенное количество глины.

Примеры смесей для пескоудного процесса

Характеристика	Смеси							
	Ярославско-го моторного	Ярославского моторного	Жадкосте-кольная [307]	ГАЗ [308]	ЗИЛ, серый чугун [309]	ЗИЛ, кокий чугун [309]	ЗИЛ, сталь [309]	«Россельмаш»
Составляющие в %:								
кварцевый песок . .	100	100	100	100	100	100	100	100
глина	1—2	1—2	—	—	1	1	1	1
мука	—	—	—	0,5	—	—	—	—
Связующие в %:				0,8	—	—	—	—
ЗИЛ 4	—	—	—	—	—	—	2	—
П	4,5	—	—	—	—	—	—	—
ПС	—	—	—	—	3,0	—	—	—
ПТ	—	—	—	—	—	—	—	—
ПК	—	5	3—4	1,5*	—	3,5	—	—
4ГУ	—	—	—	2,5	—	—	—	—
жидкое стекло—мо- дуль 2,5, уд. вес 1,5	—	—	—	0,5—0,9	—	—	—	0,9
15%-ный раствор NaOH	—	—	0,5	—	—	—	—	—
лак Этиноль	0,5	—	—	—	—	—	—	—
керосин	0,1	0,1	—	0,2	—	—	—	—
барда сульфитного щелока	1,5	1,5	—	0,5	—	1,5	1,5	1,3
вода	2,4—3,2	2,4—3,2	2—3	2—3	1,5	2,5—3,5	1—2	1—2,4
Показатели:								
K_w выше	80	80	60	60	—	80	90	75
σ_w в кг/см ²	0,05	0,05	0,03	0,07	0,04	0,06	0,04	0,05
	0,10	0,10	0,05	0,10	0,06	0,07	0,05	0,08
$[\sigma_t]$ в кг/см ²	7—20	7—20	1,8—2,5	6—20	17—20	6—8	4,0—5,5	Выше 10

* Или ПТ.

11. ГИПСОВЫЕ СМЕСИ

Одним из преимуществ гипсовых смесей является их высокая текучесть, так как они применяются в виде жидкой массы. Поэтому отливки получаются более точными. Они применяются для получения отливок из цветных сплавов. В. Г. Барадьянц [123] рекомендует смесь, состоящую из асбеста 20% и гипса 80%.

Гипс должен удовлетворять требованиям, приведенным в § 7 гл. II части второй. Для изготовления массы требуется 40—60% воды от веса сухого гипса. По данным этого автора применяется стандартный коротковолокнистый антофиллит — асбест 7—6-го сорта, а иногда микрохризотил — асбест 8-го сорта.

Замедление упрочнения достигается добавлением в смесь специальных добавок, к их числу относятся столярный клей (в виде 1%-ного водного раствора), добавляемый в количестве 0,05—0,1%; бура, добавляемая в количестве 0,35—0,5%; борная кислота, добавляемая в количестве 1,5—2%. Все взято в процентах от веса сухой массы.

За рубежом процесс изготовления отливок в гипсовых формах называется «антиох-процессом» [310]. Смесь для этого процесса составляется из отмытого кварцевого песка со средним зерном 0,15 мм следующего состава: 40% гипса, 8% талька и небольших добавок жидкого стекла и портланд-цемента. На 100 частей сухой смеси добавляется 50 частей воды.

Смесь, предложенная В. Г. Барадьянц представляется более рациональной, если не учесть возможного ее удорожания за счет замены кварцевого песка асбестом.

Гипсовые формы должны рассматриваться как частный случай применения смесей в очень текучем состоянии. Можно с уверенностью предсказать большие перспективы процессам получения форм из жидкотекучих смесей, если будет решена задача подбора соответствующего состава.

12. СМЕСИ ДЛЯ ПРЕССОВАННЫХ ФОРМ

Повышение давления при изготовлении форм приводит к улучшению поверхности отливок и к повышению точности их размеров [311]—[314], [237], [197].

Если при изготовлении форм под небольшим давлением можно применять смеси, близкие к «нормальным» [312], то при более высоком давлении [197], [237], [313] рекомендуют смеси с углекислыми и органическими добавками.

Типовой смесью можно считать:

Песок + отработанная смесь + глина + бентонит . . .	100%
Древесный пек + битум	1—3%
Каменноугольная пыль + графит + древесный уголь . . .	0,5—3%

Примерные смеси приведены в табл. 179.

Таблица 179

Примеры смесей для изготовления прессованных форм

Смесь	Смесь в весовых процентах						
	1	2	3	4	5	6	7 [197]. [237]
	[312]						
С о с т а в							
Песок кварцевый	19	16	20	94	42	33	88
Отработанная смесь . . .	72	78	76	—	50	60	—
Бентонит	—	—	1	3,5	—	—	5
Глина огнеупорная . . .	3,5	2	2 ^м	—	3	2	—
Битум	3	2	—	2	2	2	2
Древесноугольный пек . .	2	1	0,5	—	—	—	—
Каменноугольная пыль . .	—	—	0,5	—	3	—	—
Графит	0,5	—	—	—	—	—	—
Древесный уголь	—	1	—	0,5	—	3	—
С в о й с т в а							
σ_w сжатие в кг/см ² . . .	1,1—1,25	0,9—1,0	0,8—0,9	0,9—1,1	0,8—0,9	0,8—0,9	1,25
K_w	35	35	35	120	80	70	95
w	2,3—2,5	2,0—2,4	1,9—2,1	1,9—2,1	1,8—2,0	1,9—2,1	2,0—2,5

13. СМЕСИ ИЗ ПОЛУПОСТОЯННЫХ ФОРМ

(Многоразовые формы)

«Постоянных» форм принципиально существовать не может. Всякая форма когда-то должна выйти из строя. Поэтому можно говорить только об увеличении срока эксплуатации формы и различать формы одноразовые и многоразовые.

Многokrатно используемые формы должны сочетать, как правило, преимущества металлических и неметаллических форм. Эта задача решается в настоящее время двумя путями:

а) применением комбинированных форм с металлическими и неметаллическими частями. Этот прием часто используется применением неметаллических вставок в металлические формы или металлических вставок в неметаллические формы;

б) применением многослойных форм, у которых наружная оболочка металлическая, а прилегающая к жидкому металлу — неметаллическая. Этот прием начинает широко внедряться в практику. Неметаллическая часть формы изготавливается из текучей [315]—[319] или шамотной [320] смеси.

Вопросы, связанные с металлическими формами, здесь не рассматриваются.

Несколько более подробно надлежит рассмотреть неметаллические смеси, которые могут быть многokrатно использованы.

К такой смеси должны быть предъявлены требования:

1. Сохранение прочности после многokrатных заливок. Прочность формы может быть создана или введением в смесь неорганических связующих добавок, или путем прессования под большим давлением.

2. Прочность этих смесей не может быть создана введением в них органических связующих добавок, так как они выгорают при заливке формы металлом.

2. Зерна должны обладать минимальной тепловой деформацией при нагреве. По этой причине нежелательны смеси на основе кварцевого песка.

Материалы, применяемые для изготовления многоразовых неметаллических форм, могут быть разделены на две группы:

I. Упрочняемые неорганическими связующими.

II. Изготавливаемые под большим давлением, обеспечивающим достаточную прочность форм.

К первой группе относятся шамотные смеси. Типовой состав такой смеси для полупостоянных форм: 40% шамота молотого свежего; 4% шамотной обработанной смеси; 20% глины, 10% воды.

Показатели смеси: $K_w > 100$; $\sigma_w \approx 1 \text{ кг/см}^2$.

Иногда в целях удешевления часть шамота (до 50%) заменяется кварцевым песком.

Формы из этих смесей в целях повышения их прочности уплотняются несколько больше, чем обычные. Поверхность формы немного разрушается после заливки, поэтому ее необходимо несколько подправлять. Эта операция производится шамотной

смесью с последующей промазкой кистью, смоченной глинистой суспензией.

Формы применяются только подсушенными перед заливкой. Подсушивание следует проводить очень осторожно во избежание появления трещин. Перед высушиванием рекомендуется форму выдержать в течение одной-двух смен в цехе для снижения содержания воды в поверхностном слое (подвяливание).

Высушивание производится при температуре удаления кристаллизационной воды с тем, чтобы осуществить частичное спекание зерен глинистой составляющей, т. е. выше 350°C . В некоторых случаях форма не нагревается до спекания в расчете на прохождение процесса спекания при заливке формы жидким металлом.

Высушенная форма обычно окрашивается и вторично высушивается. Повторное высушивание может происходить при более низкой температуре ($200\text{—}250^\circ \text{C}$). Подсушивание необходимо и после исправления формы.

Примеры смесей для полупостоянных форм приведены в табл. 180.

Таблица 180

Примеры шамотных смесей для полупостоянных форм

Состав смеси в %	№ смеси			
	1 [321]	2 [321]	3 [320]	4 [320]
Шамот молотый	25	45	20	65
Обработанная шамотная смесь	33,5	—	40	—
Кварцевый песок	23	—	—	—
Огнеупорная глина	18,5	25	40	30
Сульфитная барда	—	—	—	5
Вода	8—9	8—9	—	12

Ко второй группе относятся смеси на основе графита [322]—[325] или водных силикатов [326]—[328] тальк, хлорит, только хлорит, змеевик (см. § 3 гл. II части первой).

Для изготовления графитовых многоразовых форм литейщики могут получить от соответствующих специализированных предприятий графитовые блоки заданных размеров. Из них могут быть легко изготовлены механической обработкой формы нужных очертаний ($HV 5\text{—}10$). Для увеличения прочности формы они могут быть помещены в металлические кожухи, а части, размываемые жидким металлом, могут быть заменены неорганическими вставками.

Формы могут быть использованы для получения отливок с самым широким диапазоном температур затвердевания: от алюминия до стали.

При использовании графитовых форм надо учитывать их повышенную теплопроводность, превышающую в 100 раз теплопроводность песчано-глинистой формы. Поэтому при заливке чугуна надо изменять химический состав или производить заливку в подогретые формы.

14. СМЕСИ ПОНИЖЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Эти смеси применяются для изготовления крупных легированных стальных отливок. Они изготавливаются на основе материалов, содержащих окислы магния, циркония и хрома (хромистый железняк и хромомagneзит).

Смеси применяются как облицовочные толщиной несколько сантиметров [329] или в виде пасты, наносимой на поверхность готовых форм. Паста наносится пульверизатором или кистью, если она обладает большой вязкостью. В [330] смеси и пасты на хромистом железняке в качестве связующей применяются водорастворимые добавки: сульфитный щелок, патока, декстрин. Опыты применения жидкого стекла не увенчались успехом из-за малой газопроницаемости смеси, не позволяющей ее продувать газом CO₂ [331].

В табл. 181 под № 1 приведен состав смеси на хромистом железняке, применявшийся на Ново-краматорском металлургическом заводе [329], [331] и на Магнитогорском металлургическом комбинате [45]. Под № 2 приведен подобный же состав, применявшийся на Уралмашзаводе [332] и на заводе «Сибтяжмаш» [330].

Таблица 181

Примеры смесей с пониженной химической активностью

Состав смеси	№ смеси			
	1	2	3	4
Зерновая часть:				
хромистый железняк	100	100	—	—
хромомagneзит	—	—	100	100
Связующая добавка:				
сульфитный щелок	3—4	—	—	3—7
декстрин	—	2	—	—
патока	—	9—12	—	—
жидкое стекло	—	—	5—10	—

На заводах, где имеются отходы хромомagneзитовых изделий, смеси готовят на хромомagneзитовой основе. Они применяются также в виде облицовочного слоя и в виде паст. Связующей добавкой такой облицовочной смеси можно успешно применять жидкое стекло (состав № 3), рекомендуемое ЦНИИТМАШ [333] и применяемое на Магнитогорском металлургическом комбинате [45] и на Невском заводе им. Ленина [334].

Для паст связующей добавкой может явиться сульфитный щелок.

15. СМЕСИ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

Такие смеси применяются для изготовления форм шаблонированием.

Для повышения пластических свойств в сыром состоянии в смесь добавляется увеличенное количество глины, достигающее

до 20 %, при соответствующем повышении влажности смеси. Такое высокое содержание глины увеличивает опасность растрескивания формы. Для уменьшения этой опасности в смесь вводят древесные опилки, а кварцевая основа заменяется шамотной.

16. СМЕСИ ПОНИЖЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Из таких смесей изготавливаются только части формы для придания металлу направленности при затвердевании. В частности такие смеси применяются для изготовления оболочки прибыльных надставок.

Снижение теплопроводности может быть достигнуто главным образом за счет увеличения пористости смеси, но без создания в форме конвективных потоков за счет наколов. Увеличение пористости должно происходить главным образом за счет введения в смесь добавок, образующих поры при высыхании или выгорании. К числу таких добавок в первую очередь относятся древесные опилки, добавляемые в количестве 3—5 %. Поэтому малотеплопроводные смеси характеризуются в большинстве случаев пониженным удельным весом.

Пониженной теплопроводностью обладают смеси из гипса, применяемые как прибыльные надставки при изготовлении отливок из цветных сплавов. Эти надставки не могут быть использованы при изготовлении отливок из железных сплавов из-за опасности перехода в металл серы, гипса и из-за разрушения гипса при нагреве до высоких температур.

17. СМЕСИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Так же, как и смеси с пониженной теплопроводностью, смеси с повышенной теплопроводностью применяются для изготовления только части форм.

Повышение теплопроводности смесей достигается двумя способами: 1) повышением содержания в смеси металла, главным образом, в виде дробы и 2) применением более теплопроводных зерен.

В смесях первой группы необходимо соблюдать осторожность при добавлении в смесь стружки, так как она может поранить руки рабочих. Количество дробы доводится приблизительно до 20 %. Меньшее количество оказывается недостаточно эффективным, а большее количество резко ухудшает формуемость смеси, хотя в отдельных случаях применяются смеси, содержащие значительно больше чугушной дробы.

В смесях второй группы вместо кварца применяются магнетитовые и хромомagneзитовые зерна.

По опытам О. Ю. Кацюбинского захлаживающее действие смеси, содержащей 50 % чугушной дробы, мало отличается от захлаживающего действия смесей на основе хромомagneзита [335].

Примеры экзотермических смесей

Состав в %	№ смеси							
	1 [340]	2 [340]	3 [339]	4 [341]	5 [337]	6 [343]	7 [336]	8 [343]
А. Окисляющиеся								
Стружка алюминиевая	22,0	22,0	—	—	—	—	—	—
Алюминиевый порошок	—	—	3—6	28	—	19	—	—
Сплав Ферросилиций (СИ-75)	—	—	—	—	12	—	—	—
Ферроалюминий (65%)	—	—	—	—	—	18,1	—	—
Б. Окисляющие								
Окалина железная	54,5	54,5	—	44	—	21	50	—
Селитра	2,0	2,0	до 7	—	5	18,1	5	—
Марганцевая руда	—	—	до 17	—	—	—	—	—
Медная окалина	—	—	—	—	30	—	—	—
Термит	—	—	54—56	—	—	—	—	—
В. Связующие								
Жидкое стекло	7,5	7,5	4	—	—	21	—	—
Портланд-цемент	—	—	—	28	—	—	—	—
Глина	—	—	—	3—5	10	—	3	5
Сульфитный щелок	—	—	—	5—7	8	—	—	—
Декстрин	—	—	—	—	—	—	2	—
СП	—	—	—	—	—	—	—	2—3
Г. Инертные								
Коксовая мелочь	7,0	6,0	—	—	15	—	19	—
Зола кокса	7,0	—	—	—	—	—	—	—
Шлак ваграночный	—	8,0	—	—	—	—	—	—
Песок	—	—	18—30	—	—	4	—	—
Древесный уголь	—	—	—	—	33	12	—	80
Древесные опилки	—	—	—	—	5	7,8	—	15

Примечания. № смеси 1. Опыт ЗИЛ.
 2. ЦНИИТМАШ для чугуна.
 3. Уральский институт черных металлов.
 4. Для медных сплавов.
 5. » » »
 6. Для стали. Луганский завод.
 7. Киевский завод «Большевик».

19. НЕЗАМЕРЗАЮЩИЕ СМЕСИ

Снижение температуры замерзания смеси достигается введением в нее примесей, снижающих температуру замерзания воды. Добавляться могут соли и растворы. К числу наиболее дешевых относится поваренная соль. Согласно диаграмме состояния система поваренная соль — вода замерзает при температуре около -10°C , если она состоит из приблизительно 15% хлористого натрия и 85% воды. Если, следовательно, в смеси содержится 6%

Действие многих экзотермических смесей основано на сгорании алюминия. Однако применение чистого алюминия связано с некоторыми затруднениями: алюминиевый порошок очень дорогой, а приготовление алюминиевой стружки является очень трудоемкой операцией. Поэтому вполне обосновано применение алюминия в виде ферроалюминия, например, содержащего 65% алюминия [336], легко поддающегося дроблению.

Часто вместо алюминия применяется богатый кремнием ферросилиций (Си 75).

В случае литья медных сплавов вместо алюминия применяется алюминиевомагнийевый сплав, содержащий 40—55% магния и соответствующий соединению Mg_4Al_3 . Он характеризуется большой хрупкостью, легким размельчением и низкой температурой ($750—780^{\circ}\text{C}$) [337].

Для обеспечения процесса горения в смесь вводятся окислы, отдающие кислород. К наиболее дешевым относятся окислы железа в виде руды или окалины. Для удаления из них воды и для перевода их в более высокую форму они прокаливаются при температуре, превышающей 800°C [338].

Иногда в дополнение к окислам железа добавляют пиролюзит (окись марганца), а в случае литья медных сплавов — медную окиску.

Недостатком смеси алюминий — окись железа (термит) является недостаточно низкая температура ее воспламенения (339). С целью ее снижения к термиту добавляются окислы, отдающие кислород легче и при более низкой температуре. К числу таких окислов относится калиевая и натриевая селитры (NaNO_3 и KNO_3).

Недостатком смеси металла с окислами является также чрезмерная скорость реакции горения: для замедления процесса горения в смесь вводят добавки, которые могут явиться одновременно и связующими добавками неорганическими (глина, цемент, жидкое стекло) и органическими.

Часто этих связующих добавок оказывается недостаточно для замедления процесса горения. В этих случаях вводят инертные примеси в виде песка или шамота или сгорающие углистые добавки в виде кокса, древесного угля. Наличие большого количества добавок, замедляющих процесс горения алюминия, привело к идее применения экзотермических смесей, выделяющих тепло только за счет сгорания углистых примесей. Примеры экзотермических смесей приведены в табл. 182.

Прочность в сыром состоянии этих смесей составляет обычно $0,15—0,40 \text{ кг/см}^2$ на сжатие. Газопроницаемость 40—80. Влажность должна быть невысокая, так как иначе может произойти обогащение металла водородом.

воды, то для снижения температуры замерзания до -10°C надо добавить в смесь около

$$\frac{6 \cdot 15}{85} \approx 1\% \text{ хлористого натрия.}$$

Такой ориентировочный расчет приводит к результатам, совпадающим с практическими данными, приведенными П. И. Штортенко [344]. Они превышают данные Кушвинского металлургического завода [345]. Расхождение может быть объяснено разной продолжительностью воздействия низкой температуры.

В. А. Быков и Б. Е. Юдина [346] с той же целью добавляли в смесь не воду, а 20%-ный раствор этиленгликоля. Из такого состава изготавливались смеси, не замерзающие при температуре -10°C . Свойства смеси, смоченные этим раствором, не отличались от свойств смесей, смоченных водой. Снизить содержание воды стремятся в смесях для магниевового литья. Содержание гликоля составляет около 25—40% от веса воды. Таким образом, вместо 3% воды вводится 2% воды и 1% гликоля.

Примерные составы гликолевых смесей для медных сплавов приведены в табл. 183.

При замене воды этиленгликолем снижается поглощение сплавом водорода.

Таблица 183

Примеры гликолевых смесей для медных сплавов

Составные смеси в %	№ смеси		
	1	2	3
Кварцевый песок	94	93	90
Вода	2	2	2
Гликоль	1	1	1
Бентонит	3	4	4
Каменноугольная пыль	—	—	3

20. ВЫБИВАЕМЫЕ СМЕСИ (стержневые)

Стержневые смеси могут быть расклассифицированы по признаку стержней, для изготовления которых они используются. Наиболее подробная классификация стержней была произведена И. Б. Куманиным [90], неоднократно опубликованная, поэтому она здесь не приводится. Применительно к этой классификации И. Б. Куманин и А. М. Лясс разработали типовые стержневые смеси, приведенные в табл. 184 в слегка переработанном автором виде.

В дополнение к этой таблице можно сделать следующие пояснения.

Типовые стержневые смеси (по Куманину И. Б. и Лясу А. М.)

Класс стержня	Краткая характеристика стержня	Состав смеси в %							Свойства смесей			
		Кварцевый песок	Глина или глинистые составляющие	Отработанная смесь	Связующие добавки органические с относительной прочностью в кг/см ²			Опилки	Прочность в кг/см ²		Газопроницаемость	Влажность в %
					более 5	от 3 до 5	менее 3		на сжатие в сыром состоянии	на разрыв в обработанном состоянии		
				Пересчет на безводное состояние								
I	Очень тонкое сечение, очень сложные очертания, плохая вентиляция	100	Менее 2	0	1,0—1,5	0	0	0	До 0,05	6—12	80—120	До 3
II	Наличие тонких выступов, ребер, перемычек наряду с массивной частью	100	» 4	0	—	1,0—3,0	1—2	0	0,05—0,1	5—7	80—120	3—4
III	Отсутствие тонких сечений, очертания средней сложности. Образуют необрабатываемые полости	96—100	» 6	0	—	—	2—4	0	0,10—0,15	4—6	60—100	До 4
IV	Отсутствие тонких сечений, несложные очертания. Образование обрабатываемых полостей	60	8	40	—	—	2—4	0	0,15—0,20	2—4	50—80	4—5
V	Массивные стержни, образующие большие внутренние полости в крупных отливках	60	10	40	—	—	2—4	2	0,2—0,3	Около 1	50—80	До 6

1. Кварцевый песок для смесей I класса стержней желателен отмытый, т. е. содержащий незначительное количество глинистых составляющих. Смесей для стержней I класса высушиваются на специальных плитах; кроме того, они очень низкие, как например, л е н т о ч н ы е для автомобильного и авиационного литья, поэтому они могут иметь очень низкую прочность. Вместе с тем прочность желательна низкая для обеспечения наибольшей текучести смеси.

2. Во всех случаях, когда в смесях допускается повышенное содержание глинистых составляющих для обеспечения необходимой прочности в сыром состоянии, можно применять глинистые пески.

Глава III

КРАСКИ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

До недавнего времени под краской понимался слой, наносимый на поверхность формы и стержня для предохранения их от пригара.

В настоящее время это определение может быть принято только условно, так как существуют краски, которые должны «пригореть» к отливке, образуя на ее поверхности слой со специальными свойствами. Поэтому ранее применявшаяся формулировка понятия краски может рассматриваться как отражение общего положения, при котором форма рассматривалась как керамический сосуд, имеющий целью придать отливке заданные очертания. Если рассматривать форму как керамический сосуд, который должен придать отливке не только заданные очертания, но и заданные свойства, приведенная формулировка может относиться только к «пассивной» окраске.

Правильнее не включать в определение понятия краски требование предохранения отливки от пригара. Можно рассматривать предохранение от пригара как частный случай, а в общем виде под красками и припылами следует понимать слои, наносимые на поверхность формы и стержня, придающие поверхности отливки заданные свойства.

При таком определении подчеркивается активность краски, которая должна не только уменьшать пригар, но и придавать отливке также другие поверхностные свойства, как например, улучшение качества поверхности, изменение химического состава. При этом краска отличается от припыла тем, что она наносится в виде суспензии, а припыл в виде порошка.

При таком подходе удастся четко выделить в отдельную главу рассмотрение составов, наносимых на готовую поверхность, тогда

как в предыдущих главах рассматривались составы самих форм и стержней.

Можно ожидать в ближайшем будущем значительно более широкого использования красок и припылов, как метода улучшения качества поверхности.

Краски и припылы можно различать по признаку комплексного воздействия на металл в соответствии с закономерностями и теоретическими положениями, рассмотренными в гл. I части шестой.

I. Краски пассивные — не плавящиеся и не диффундирующие.

II. Краски активные — плавящиеся.

III. Краски активные — диффундирующие.

Второстепенными признаками, по которым можно различать все три типа красок, являются:

А. Заливаемый металл (сталь, чугун, разные цветные металлы).

Б. Методика высушивания красок (внешним источником тепла, сжиганием и экзотермическими процессами).

С учетом изложенного будут вначале рассмотрены общие закономерности составления рецептов красок, а в дальнейшем будут рассмотрены примеры применительно к указанной классификации.

2. ОБЩАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ПОДБОРА СОСТАВА КРАСОК

При всем многообразии составов красок можно установить общие закономерности, не отличающиеся принципиально от ранее установленных для составления формовочных и стержневых смесей.

В сухом составе красок, так же как и смесей, можно различать три главнейшие составные части: А) зерновая составляющая; Б) связующая добавка; В) специальная добавка.

К этому сухому составу может добавляться разная жидкость и в разном количестве.

3. ЗЕРНОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ

В соответствии со сказанным в § 1 разбираемой главы можно различать зерновую составляющую: I) неплавящуюся; II) плавящуюся и III) диффундирующую.

I. Неплавящиеся зерновые составляющие могут быть: а) неорганические; б) органические.

а. Из неорганических находят применение только окислы, как наиболее стойкие соединения. С очень большой осторожностью могут применяться соли и водные окислы, так как многие из них (например, карбонаты) распадаются при высоких температурах. Окислы обладают разной химической активностью по отношению к заливаемому металлу и его окислам. К наименее активным относятся магnezит, хромомagneзит, хромистый железнйак, корунд и циркон.

Недопустимо смешивание зерен минералов, могущих вступать между собой в химическое взаимодействие, например, кислых и основных — кварца и магнезита.

6. Из органических огнеупорных добавок применяются почти исключительно углистые. По признаку понижающей химической активности эти добавки могут быть расположены в ряд: древесный уголь (наибольшая химическая активность), каменный уголь, кокс, антрацит и графит.

В целях уменьшения пригара и создания в полости формы восстановительной атмосферы с момента попадания в нее первой капли жидкого металла часто и вполне обоснованно в краску вводится небольшое количество наиболее активных углистых добавок — древесного и каменного углей (до 5%). Избыток каменного угля опасен, так как может привести к ухудшению качества поверхности из-за выделения летучих при нагреве.

Соотношение между коксом, антрацитом и графитом определяется главным образом экономическими соображениями и условиями работы формы: чем более напряжена форма, тем менее химически активна должна быть краска, тем больше в ней желателен графит. Но графит является наиболее дорогой добавкой, поэтому его содержание в краске стараются ограничить. Чем крупнее форма, тем больше в ней желательно иметь графита.

Неправильно во многих случаях утверждение, что углистые краски применяются только для чугунного литья. Во многих случаях они могут быть частично добавлены и в краски для стального литья. Такая добавка широко используется при изготовлении неразъемных форм для возмещения угара углерода в стали.

II. Плавающие добавки подбираются по составу того элемента, который желательно ввести в состав поверхности металла отливки, и по признаку огнеупорности. По этой второй причине предпочтение отдается часто высокоуглеродистым ферросплавам, обладающим более низкой температурой плавления, чем низкоуглеродистые ферросплавы (§ 2 гл. II части шестой).

III. Диффундирующие добавки по соображениям, изложенным в § 3 гл. II части шестой, должны образовывать твердые растворы с металлом отливки и обладать достаточно малым атомным радиусом.

Этим требованиям удовлетворяет небольшое количество добавок. К их числу относятся: углерод, теллур, бор, азот, сера и водород.

Практическое применение нашли в настоящее время сера, углерод и теллур.

Углерод вводится в краску в виде древесного угля или содового карбюризатора, применяемого для цементации. Теллур применяется в виде порошка, просеянного через сито с размерами меньше 0,05 мм (сито № 270).

В качестве связующих добавок в красках используются главным образом водорастворимые добавки и глины.

Они распределяются наиболее равномерно. К наиболее распространенным относятся патока, барда сульфитного щелока, жидкое стекло.

Глина прибавляется в краску не только как связующая добавка, но и как добавка, препятствующая расслоению краски. Предпочтение отдается наиболее дисперсным глинам, к числу которых в первую очередь относятся натриевые монтморрилонитовые глины. Избыток глины нежелателен, так как приводит к растрескиванию краски при ее высушивании.

В табл. 185 приведены результаты опытов по определению высоты слоя суспензии в процентах от общей высоты.

Таблица 185

Стойкость краски против расслаивания [347]

Количество натриевого бентонита в % от веса воды	Высота слоя суспензии через 16 ч в % к исходной. Суспензия состоит из 40% кварцевой муки. Величина зерен муки в μ к		
	до 75	75	100
0	0,46	0,46	0,42
2	0,46	0,47	0,42
3	0,92	0,85	0,44
4	1,0	1,0	0,82

Из рассмотрения опытов можно сделать выводы:

1. Расслоение уменьшается при увеличении содержания в суспензии бентонита до 4%. Дальнейшее увеличение содержания бентонита не увеличивает стойкость суспензии (при данных условиях опыта).

2. Увеличение степени дисперсности увеличивает стойкость суспензии. Однако при этом увеличивается опасность растрескивания краски, нанесенной на поверхность формы.

При повышении степени дисперсности зерновой части необходимо вводить в краску увеличенное количество связующей добавки в соответствии с общими закономерностями, установленными в шестой части книги. Требование не допускать повышенного количества глины во избежание растрескивания краски приводит к необходимости вводить водорастворимые связующие добавки.

Ориентировочно при 4% монтморрилонитовых глин вводится 1—3% водорастворимых добавок с относительной прочностью 3—5 кг/см^2 (например, декстрина), в 2—3 раза больше добавок с относительной прочностью менее 3 кг/см^2 (например барды сульфитного щелока или патоки).

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ

Специальные добавки применяются с целью предохранения краски от развития в ней бактерий (брожение); уменьшения расслоения и размыва.

В качестве материала, предохраняющего краску от ее разложения бактериями, применяется формалин (формальдегид) в количестве около 0,01—0,02%.

Уменьшение расслоения достигается применением красок в виде эмульсии. К числу эмульгаторов относится мылонафт, добавляемый в количестве около 0,1—0,2% от веса сухого остатка краски.

Для уменьшения опасности размыва в циклопексантовые краски рекомендуется вводить борную кислоту в количестве до 2%.

6. КОЛИЧЕСТВО ДОБАВЛЯЕМОЙ ЖИДКОСТИ

В подавляющем большинстве случаев добавляемой в краску жидкостью является вода. Вода заменяется другими жидкостями в тех красках, которые должны высыхать без подвода тепла извне.

От количества добавляемой в краску жидкости зависит ее вязкость, влияющая на скорость расслоения краски и на глубину ее проникновения в поры формы.

Связь между содержанием в краске воды и бентонита приведена схематически на фиг. 102. Чем больше бентонита в краске, тем больше надо добавить в нее воды для сохранения достаточной вязкости. При добавлении воды ниже критического содержания вязкость краски резко повышается.

Но чем выше вязкость краски, тем меньше глубина ее проникновения в поры смеси и тем толще слой краски. Увеличение толщины краски увеличивает разность температур на ее поверхностях и увеличивает опасность образования трещин.

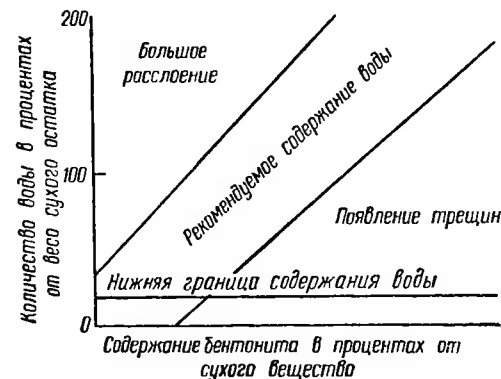
Практически количество воды по отношению к весу сухого состава составляет от 50 до 200%.

При наименьшем количестве воды краска получается очень густой и приобретает состояние пасты. В таком виде краска меньше расслаивается. Поэтому в централизованном порядке краска поступает к потребителям в виде пасты.

Краска, содержащая 50% воды от веса сухого остатка, применяется для нанесения ее на поверхность формы кистью. Наиболь-

шее количество воды вводится в краски, наносимые на поверхность формы скунанием. Среднее количество — при нанесении краски опрыскиванием. Однако надо иметь в виду, что при добавлении воды свыше 100% от веса сухого остатка наблюдается очень быстрое расслоение краски.

Количество добавляемой воды при заданном составе сухого остатка может быть проверено удельным весом краски. Поэтому на практике наряду с вязкостью рекомендуется проверять и ее удельный вес. Это определение проще всего осуществляется ареометром.



Фиг. 102. Влияние количества бентонита на вязкость красок.

В краски, которые должны высыхать без подвода тепла извне, добавляются вместо воды жидкости или сгорающие, или легко испаряющиеся. К сгорающим относится бензин. Преимуществом краски на бензине является возможность ее высушивания вне сушила непосредственно на конвейере. Недостатком такой краски является засорение атмосферы парами бензина и продуктами горения. Поэтому такие краски не нашли широкого применения. Вместе с тем применение быстро высыхающих красок представляется особенно важным в связи с применением жидкостекольных смесей для чугунных отливок. В этом случае подсушивание краски резко снижает эффективность применения жидкостекольных смесей. Поэтому и у нас, и за рубежом проводятся работы по подбору быстровысыхающих красок.

Петржела Я. (Чехословакия) предложил применять в качестве быстро испаряющейся жидкости циклопексан, кипящий при 80° С. Вязкость этих красок можно изменять добавкой стеариново-кислого алюминия и пропан-асфальта.

7. ПРИМЕРЫ КРАСОК

Примерные составы красок приведены в табл. 186—192.

Таблица 186

Примеры составов паст
(по НИИЛИТМАШу)

Металл отливки	Марка пасты	Состав									Плотность в г/см ³	
		Зерновая состав- ляющая					Связующая добавка в %			Вода в %		Формалин в см ³ на 100 кг пасты
		Кварцевая мука	Графит скрытно-ат- мосферный черный	Магнезит металлур- гический	Тальк	Бентонит	Декстрин	Барда сульфитного щелока или патока уд. в. 1,3				
Чугун	ГБ-1 ГБ-2 и ГБ-3	— —	60,0 58,5	— —	— —	3,5 3,5	3,5 —	— 10,0	33 28	40 40	1,40—1,45 1,40—1,45	
Сталь углероди- стая	СТ-1 СТ-2 и СТ-3	70,5 — 70,0	— — —	— — —	— — —	3,0 3,0	1,5 —	— 10,0	25 17	40 40	1,60—1,65 1,60—1,65	
Сталь марганцо- вистая	—	—	—	64,5	—	4,5	—	10,0	21	40	—	
Сплавы; алюминиевые . медные	ТБ ТГ	— —	— 30,0	— —	61,0 31,0	4,0 3,0	— —	— 3,0	35 33	— —	— —	

Примерные составы красок для форм и стержней
из жидкостекольных смесей, требующих подсушки
(по ЦНИИТМАШу)

Таблица 187

Состав	№ краски				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
	в весовых %			в объемных %	
А. Огнеупорная состав- ляющая:					
графит черный	43,5	43,5	—	—	27,0
графит серебристый	15,0	—	—	—	13,0
цирконовый порошок	—	—	90	—	—
кварцевая мука	—	—	—	60	—

Состав	№ краски				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
	в весовых %			в объемных %	
Б. Связующие добавки:					
бентонит	3,5	3,5	—	1,0	2,5
сульфитная барда (уд. в. 1,28—1,30)	10,0	10,0	—	—	7,5
водный раствор па- токи (уд. в. 1,07)	—	—	—	39,0	—
В. Спецдобавки:					
формалин (в летнее время)	—	—	—	0,1	—
Г. Растворитель:					
вода	28,0	43,0	30,0	—	50

Примечание. Бентонит вводится замоченный в воде в соотношении 1 : 2. Краски: № 1 для чугунных отливок. Паста перед употреблением разбавляется водой до уд. в. 1,28—1,30; № 2 — для чугунных отливок с уд. в. 1,28—1,30; № 3 — для стального литья с уд. в. 1,8; № 4 — для стального литья с уд. в. 1,58—1,60; № 5 — для чугуно-
ного литья.

Таблица 188

Примеры составов красок для форм и стержней из жидкостекольных смесей,
не требующих подсушки
(по А. М. Ляссу)

Состав	№ краски						
	1 в объем- ных %	2 в несо- вых %	3 в несо- вых %	4 в объем- ных %	5 в объем- ных %	6 в несо- вых %	7 в объем- ных %
А. Огнеупорные составля- ющие:							
графит черный	—	30,0	45,0	23,0	37,0	20,0	—
» серебристый	—	12,0	5,0	15,5	13,0	20,0	66,0
цирконовый порошок	53,0	—	—	—	—	—	—
пек древесный	—	—	5,5	—	—	—	—
Б. Связующие добавки:							
нитролак 624	10,0	—	—	—	—	—	—
нитрозмаль НМЭ-25	—	—	—	—	—	—	—
лак № 68	—	41,0	—	15,5	—	—	—
лак № 16	—	—	—	—	37,0	—	—
сульфитная барда уд. в. 1,18—1,20	—	—	—	—	—	20	—
В. Специальные добавки:							
машинное масло отра- ботанное	—	—	—	—	—	—	1,0
Г. Растворитель							
растворитель 646	37,0	17,0	—	—	—	—	—
спирт технический или ацетон	—	—	44,5	—	—	—	—
спирт этиловый	—	—	—	23,0	—	—	—

Состав	№ краски						
	1 в объем- ных %	2 в весо- вых %	3 в весо- вых %	4 в объем- ных %	5 в объем- ных %	6 в весо- вых %	7 в объем- ных %
Ацетон	—	—	—	23,0	—	—	—
уйт-спирит	—	—	—	—	13,0	—	—
бензин	—	—	—	—	—	40	—

Примечание. Вместо растворителя 624 можно применять ацетон

Краски: № 1 для стального литья. Уд. в. краски 2,0—2,2

№ 2 чугунного литья » » » 1,25—1,28

№ 3 то же » » » 1,25—1,28

№ 4 то же » » » 1,04—1,06

№ 5 то же » » » 1,25—1,30

№ 6 для сплавов на медной основе.

Паста № 7 для натирания на стержни для сплавов на медной основе.

Таблица 189

Примеры быстронагреваемых красок (на циклопексане)

Состав	№ краски									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Для чугуна				Для стали				Для цветных металлов	
Растворители: циклопексан	58	58	65	58	53—65	53—65	30	32	50—55	58
стеариновокислый алюминий	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2
пропан	1,5—	1,5—	1,5—	1,5—	2	2	1	1	2	2
асфальт	2,0	2,0	2,0	2,0						
Огнеупорные добавки:										
графит	5	—	3	5—10	—	—	—	—	—	20
серебристый графит	5—15	25	—	—	—	—	—	—	—	20
черный кокс молотый	—	—	30	15—20	—	—	—	—	—	—
кварцевая мука	—	—	—	—	30—40	—	—	—	—	—
шамотная мука	20	—	—	10—20	—	30—40	—	—	—	—
корундовая мука	—	—	—	—	—	—	65—68	—	—	—
магнезитовая мука	—	—	—	—	—	—	65	—	—	—

Состав	№ краски									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Для чугуна				Для стали				Для цветных сплавов	
цемент	—	22	—	—	—	—	—	—	—	—
тальк	—	—	—	—	—	—	—	—	45—50	—
Специальные добавки:										
борная кислота	—	—	—	—	0—2	0—2	0—2	0—2	0—2	—

Таблица 190

Примеры составов хромистых красок

Состав	№ краски		
	1 [45]	2 [348]	3 [332]
А. Огнеупорные составляющие:			
хромистый железняк	—	—	100
хромагнетизм	100	—	—
магнетит	—	100	—
Б. Связующие добавки:			
патока	—	2	5
сульфитный щелок (на сухой остаток)	2,5	—	—
бентонит	—	6	—
декстрин	0,5	—	2
В. Специальные добавки:			
мыло (для эмульгирования)	0,2	—	—
Сухого остатка	100	—	—
Воды к сухому остатку	35	25	—
Плотность краски в г/см ³	1,8	1,5	—

Таблица 191

Примеры пригорающих красок

Добавки			Вязкость
Зерновая в %	Связующая	Специальная	
1. Феррохром углеродистый — 50 Ферромарганец — 40 Чугун (3,5% C) эвтектический — 10	Жидкое стекло с уд. в. 1,05 15%	Нет	Консистенция сметаны *

* Личное сообщение.

Добавки			Вязкость
Зерновая в %	Связующая	Специальная	
2. Феррохром (60% Сг, 6% С) — 100	Жидкое стекло	—	[235] Консистенция каши
3. Чугун серый (стружка) — 25 Феррохром — 30 Ферромарганец (75% Мп) — 3 Графит серебристый — 5 Ферробор — 15 Ферротитан — 15 Кремний — 3 Никель — 4	Нет	Нет	[237]

Таблица 192

Примеры составов диффундирующих красок

Состав в %	№ краски и пасты			
	1 [349]	2 [349]	3 [245]	4 [245]
Сера	20	—	90	40
Сернистое железо	—	—	—	34
Теллур	—	2	—	—
Бентонит	40	49	—	—
Огнеупорная глина	—	—	—	16
Декстрин	40	49	—	—
Жидкое стекло	—	—	10	10
Воды (от сухого остатка)	200	200	100	100

ЛИТЕРАТУРА

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

1. Берг П. П. Курс формовочных материалов. Металлургиздат, 1933. 383 с.
2. Берг П. П. Основы учения о формовочных материалах. Машгиз, 1948. 341 с.
3. Лященко П. В. Гравитационные методы обогащения. Гостоптехиздат, 1940.
4. Фигуровский Н. А. Седиментационный анализ. Изд-во АН СССР, 1948. 332 с.
5. Haseman G. F. The effect of different electrolytes on the AFA clay determination. Trans AFA, 1939, v. 46, p. 851—864.
6. Дубинин М. М. Физико-химические основы сорбционной техники. Госхимиздат, 1932. 381 с.
7. Думанский А. В. Учение о коллоидах. Госхимиздат, 1948. 416 с.
8. Зигмонди Р. Коллоидная химия, Изд-во НКСнаба УССР, 1933. 452 с.
9. Каблук И. А., Гапон Е. Н. и Гриндель М. А. Физическая и коллоидная химия. Сельхозгиз, 1942. 480 с.
10. Липатов С. М. Проблемы учения о лиофильных коллоидах. Изд-во АН СССР, 1941. 175 с.
11. Наумов В. Химия коллоидов. Госхимтехиздат, 1932. 532 с.
12. Песков Н. П. и Александрова-Прейс Е. М. Курс коллоидной химии. Госхимиздат, 1948. 384 с.
13. Carman P. C., Journal Soc. chemical ind. London, 1937, v. 57, p. 225/34.
- 13a. Cadle R. D. Particle size determination. Pitman, 1956.
14. Hofmann H. und andere. Rentgena graphische und kolloidchemische untersuchungen ueber Tone, Z. angew chemie, 1934, S. 539.
15. Giesserei, 1960; AFS Trans, 1959, v. 67, p. 125. Brit. foundrymen, 1959, v. 52, 4, p. 161/70.
16. Бродский А. И. Физическая химия. Т. 1 и 2. Госхимиздат, 1948. 998 с.
17. Пестов Н. Е. Физико-химические свойства зернистых и порошкообразных химических продуктов. Изд-во АН СССР, 1947.
18. Берг П. П. Определение степени дисперсности глинистых формовочных песков. — «Литейное дело» 1933, № 1.
19. Kaschima G. Report of the castings research laboratory, Waseda university, 1955, N 6, p. 31/7.
20. Овчаренко Ф. Д. и Минакова Е. А. Бентонитовые глины УССР. Изд-во АН УССР, 1960.
21. Калашникова А. Я., Куличков С. А. и Голубева Т. К. Формовочные пески. Машгиз, 1960. 243 с.
22. Брызгалов Н. А. Разведка формовочных песков — «Литейное дело», 1940. № 7, с. 25—26.
23. Plozek H., Rzepa T., Weitz Z. Katalog Krajowich piaskow iglin formierskich, Warszawa, 1957. 267 str.
24. Райс Г. Глины. Госхимиздат, 1932. 528 с.

25. Гончаров В. В. Огнеупорные глины Боровичско-любятинского района. Металлургиздат, 1952. 235 с.
26. Потапенко С. В. и Ключников М. Н. Каолины и глины УССР. Изд-во геологической литературы, 1940. 247 с.
27. Zentralinstitut für Giessereitechnik. Katalog der Giesserei Sande in GDR. Leipzig, 33, S., 1954.
28. Grochalski R. Giesserei Formstoffe. Verlag Technik, Berlin, 1955, S. 333.
29. Schiel K., Müller K. Die Formsande und Formstoffe. VEB Wilhelm Knapp. Halle — 1953, S. 251.
30. Behr J. a) Geologie, Mineralogie und Wirtschafts — geographie der deutschen Formsand vorkommen. Giesserei, 1928, S. 945/8.
31. Behr J. Formsand vorkommen. Giesserei, 1944, S. 30/31.
32. Trainer D. W. Geology of moulding sand deposits. Trans. AFA, 1925, v. 33, p. 797.
33. Горшков А. А. и Мархасев Б. И. Перспективы применения речных песков в литейном производстве, — «Литейное производство», 1960, N 2, с. 2.
34. Рухин Л. Б. Гранулометрический метод изучения песков. Изд-во АН СССР, 1947, с. 213.
35. Берг П. П. О свойствах формовочных материалов. — Сб. Вопросы теории литейных процессов. Машгиз, 1960, с. 5—28.
36. Vingass G. G. and Zrimsek. Modern castings, 1960, p. 73/82.
37. Болдырев А. К. Кристаллография. КУБУЧ, 1931, 331 с.
38. Седлецкий И. Д. Коллоидно-дисперсная минералогия. Изд-во АН СССР, 1945.
39. Уклонский А. С. Минералогия. Гостоптехиздат, 1940. 444 с.
40. Августиник А. И. Физическая химия силикатов. Госхимиздат, 1947. 324 с.
41. Ботвинкин О. К. Физическая химия силикатов. Промстройиздат, 1955. 286 с.
42. Эйтель В. Физическая химия силикатов. ОНТИ, Химтеоретиздат, 1936. 560 с.
43. Горшков А. А. и др. Передовая технология литейного производства. Машгиз, 1953.
44. Шпортенко П. И. Борьба с пригаром на крупном литье. — «Литейное производство», 1957, № 2, с. 27.
45. Янкевич Г. И. и Резниченко Г. Н. Применение хромо-магнетитового порошка при изготовлении форм для высокомарганцевистой стали. «Литейное производство», 1960, № 10, с. 44.
46. Абрамсон И. Д. Технология изготовления керамических стержней для литья по выплавляемым моделям. — «Литейное производство», 1960, № 1, с. 13—20.
47. Ткаченко К. М. и Липман М. С. Использование цирконовых концентратов в литейном производстве. — «Литейное производство», 1962, № 1, с. 7—8.
48. Цибрик А. Н. Физико-технологические свойства рудных и цирконовых песков и отходов обогащения. — «Литейное производство», 1960, № 2, с. 38.
49. Кузин Р. П. Дунитовые формовочные смеси. — «Уральская металлургия», 1940, № 3, с. 32.
50. Кузин Р. П. Формовочные смеси из дунита. — «Литейное дело», 1940, № 3, с. 22—25.
51. Туманский А. Л. Сборник статей по формовочным материалам. Машгиз, 1958.
52. Будников П. П. Гипс. Госстройиздат, 1943.
53. Davies W. Foundry sand control, 1950. British resources of steel moulding sands. Journal of the Iron and Steel Institute, 1943, II II/III; 1945, II VII/III.
54. Davies W. British bounding clays. Journal of the iron and steel institute, 1945, II, p. 117/126.

55. Мархасев Б. Н. Коллоидальность как показатель связующих свойств бентонитовых глин. — «Литейное производство», 1958, № 10, с. 10.
56. Endell K. und andere. Ueber die Bedeutung der Quell fähigkeit toniger Bindemittel für Giessereisande. Giesserei, 1940, S. 465/75 und 499/502.
57. Grim R. E. and others. a) The relationship between the physical and mineralogical characteristics of bounding clays, Trans AFA, 1940, v. 48 № 1, p. 117/26.
58. Grim R. E. and others. Mineral composition and texture of the clay substance of the natural moulding sands. Trans AFA, 1940, v. 47, p. 935/53.
59. Grimshaw R. W. and Roberts A. L. An invagation of the constitution of certain foundry bounding clays. Foundry trade Journal, 1945, v. 76, p. 233/8; 325/8; v. 77, p. 180.
60. Piper G. H. Bounding clays and the properties of synthetic moulding sands. Foundry trade journal, 1939, v. 60, p. 509/13.
61. Аронович В. А. Бентонитовые глины в литейном производстве. — «Литейное производство», 1933, № 1, с. 13—20.
62. Берг П. П. и Дмитриев Н. В. Огланлинский бентонит. Наркомтяжпром — Главмарлит — Союзформолитье. 1937. 31 с.
63. Горшков А. А. и др. Бентонитовые глины УССР. Изд-во АН УССР, 1960.
64. Горшков А. А. Бентониты Украинских месторождений. — «Литейное производство», 1958, № 4, с. 2—7.
65. Калашникова А. Я. и др. Бентонитовые глины Татарской АССР. — «Литейное производство», 1962, № 3, с. 4.
66. Бентонитовые глины Азербайджана. Сб. статей. Изд-во АН Азербайджанской ССР, Баку 1951.
67. Култышев Н. П. О формовочных глинах. — «Литейное производство», 1961, № 1, с. 48.
68. Сварика А. А. Бентонитовые глины крайнего северо-востока — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 40.
69. Стрюченко А. А. и Горшков А. А. Применение Черкасской Пальгорскитовой глины в формовочных смесях. — «Литейное производство», 1962, № 2, с. 4—7.
70. Туманский А. Л. Формовочные глины ЦБТИ. 1956. 87 с.
71. Туманский А. Л. и Калашникова А. Я. Бентонитовые глины СССР. — «Литейное производство», 1960, № 4, с. 1—3.
72. Крянж И. Р. и др. Противопригарные формовочные смеси для отливок из нержавеющей стали. — «Литейное производство», 1954, № 2, с. 3—7.
73. Черноголов П. В. Новый противопригарный формовочный материал. — «Литейное производство», 1959, № 1, с. 4.
74. Foundry Trade Journal, 1927 — 3 — XI.
75. Карлов К. Н. Формовочные материалы. ОНТИ Металлургиздат, 1937. 293 с.
76. Туманский А. Л. Формовочные пески. Машгиз, 1956. 236 с.
77. Шацких М. И. Заменители кварцевых песков. — «Бюллетень литейщика», 1943, № 2/3, с. 3—5.
78. Саввон М. Н. Формовочные материалы. НТУ ВСНХ СССР. 1930. 190 с.
79. Селиванов Б. П. Лабораторные исследования формовочных песков. Кубуч 1932. 152 с.
80. Григорьев И. С. Повышение степени дисперсности формовочных глин. — «Литейное дело», 1935, № 8, с. 13.
81. Горшков А. А. и др. Улучшение качества формовочных смесей путем введения малых добавок солей. — «Литейное производство», 1959, № 2, с. 34—38.
82. Slevarenstvi, 1959, — № 5, s. 205.
83. Modern Castings, 1959, № 5.
84. Аносов В. Я. и Погдин С. А. Основные начала физико-химического анализа. Изд-во АН СССР, 1947. 875 с.
85. Курнаков Н. С. Введение в физико-химический анализ. Изд-во АН СССР, 1940. с. 561.

86. Берг П. П., Лясс А. М. и Виленская И. А. Люминесцентный анализ — «Вестник металлпромышленности», 1947, № 9, с. 59—65.
87. Röll F. und Riess A. Luminiszenz analyse von Kernöben und Kernbindern. Giesserei, 1942, S. 269/73.
88. Берг Л. Г., Николаев А. В. и Роде Е. Я. Термография. Изд-во АН СССР, 1944.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

89. Куманин И. Б. Формовочные материалы. Энциклопедический справочник Машиностроение. 1947. Т. IV, с. 73—103.
90. Куманин И. Б. и Лясс А. М. Связующие материалы для стержней. Оборонгиз, 1949. с. 272.
91. Лясс А. М. Современные связующие материалы и область их применения. Машгиз, 1955.
92. Шипилин Б. И. Изготовление стержней в литейном производстве. Машгиз, 1953. 220 с.
93. Справочник по стержневым связующим материалам в литейном производстве. Оборонгиз, 1950. 172 с.
94. Чиминов В. В. и Бородина С. П. Быстросохнущий крепитель на основе сульфитно-спиртовой барды. — «Литейное производство», 1960, № 12, с. 10—11.
95. Шпак Л. В. и Гладкий С. И. Применение таллового масла при изготовлении литейных стержней. — «Литейное производство», 1959, № 9, с. 45.
96. Крейцер Г. Д. Асфальты, битумы и пеки. Стройиздат, 1939. 400 с.
97. Левин М. М. Смеси для литейных стержней. Машгиз, 1948. 100 с.
98. Петров Г. С. Синтетические жирные кислоты. Пищепромиздат, 1944.
99. Богданов Н. Г. К вопросу о заменителях масляных связующих добавок. — «Литейное производство», 1960, № 3, с. 39—40.
100. Борская Е. А. Пути улучшения безмасляного крепителя П оргавтопрома. — «Литейное производство», 1954, № 9, с. 29—31.
101. Васильев Е. А. Безмасляный стержневой крепитель П из окисленного петролатума. — «Литейное производство», 1950, № 1, с. 10—12.
102. Дринберг А. Я. Технология пленкообразующих веществ. Госхимиздат, 1948. 413 с.
103. Лосев И. П. и Петров Г. С. Химия искусственных смол. Госхимиздат, 1951. 432 с.
104. Лазарев А. И. и Сорокин М. Ф. Синтетические смолы для лаков. Госхимиздат, 1953. 400 с.
105. Пауэрс П. О. Синтетические смолы и каучуки. Госхимиздат, 1948. 280 с.
106. Шайбер И. Химия и технология искусственных смол. Госхимиздат, 1948. 594 с.
107. Ткаченко К. М. Технология транспортного машиностроения. 1955, № 2, с. 54—55.
108. Giesserei, 1959, N 26, S. 988—989.
109. Modern Castings, 1960, N 1, p. 101—110.
110. Петько Л. И. и др. Вопросы гигиены труда при использовании крепителя НАК. — «Литейное производство», 1960, № 1, с. 42.
111. Куманин И. Б. и Лясс А. М. Быстросохнущие смеси для скоростного изготовления литейных стержней и форм. — «Литейное производство», 1951, № 1, с. 23—25.
112. Санков И. И. и Киселева М. С. Новый стержневой крепитель НАК. — «Литейное производство», 1961, № 2, с. 40—41.
113. Коротков А. И. Механизированные установки для изготовления оболочковых форм. — «Литейное производство», 1955, № 5, с. 8—10.
114. Лясс А. М., Медведев Я. И. и Снулова Л. Д. Заменитель pulverbakelita для оболочковых форм. — «Литейное производство», 1956, № 9, с. 10—13.

115. Снулова Л. Д. и Винниченко П. Г. и Гурвич К. М. Применение крепителя ПС-1 при изготовлении оболочковых форм. — «Литейное производство», 1962, № 5, с. 38.
116. Григорьев П. Н. и Матвеев М. А. Растворимое стекло. Промстройиздат, 1956, с. 443.
117. Труды конференции по изготовлению отливок с применением быстротвердеющих смесей на жидком стекле. 1958 г. (Труды ЦНИИТМАШ—МДНТИ).
118. Андрианов К. А. Кремний-органические соединения. Госхимиздат, 1955. с. 520.
119. Байков А. А. Физико-химические условия производства огнеупорных изделий. ГНТИ. 1931.
120. Лебедев К. П. и Соколов Н. Н. Технология производства гребных винтов. Судпромгиз, 1951. 372 с.
121. Чернышев И. А. Отливка гребных винтов в цементных формах. Изд-во «Морской транспорт», 1952. 142 с.
122. Шкленник Я. И. и Озеров В. А. Литье по выплавляемым моделям. Машгиз, 1961. 455 с.
123. Барадьянц В. Г. Литье цветных металлов в гипсовые формы. — «Литейное производство», 1958, № 7, с. 9—11.
124. Матвеев М. А. и Ткаченко К. М. Минеральные крепители для литейных форм. — «Литейное производство», 1953, № 5, с. 21—22.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

125. Бабков В. Ф. и др. Грунтоведение и механика грунтов. Дориздат, 1950.
126. Герсеванов Н. М. и Польшин Д. Е. Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение. Стройиздат, 1948. 257 с.
127. Орнатский Н. В. Механика грунтов. Изд-во Московского университета, 1950. 419 с.
128. Сергеев Е. М. Общее грунтоведение. Изд-во Московского университета, 1952. 383 с.
129. Терцаги К. Теория механики грунтов. Госстройиздат, 1961 г. 507 с.
130. Цытович Н. А. Механика грунтов. Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1951. 507 с.
131. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. т. II, Машгиз, 1950. 534 с.
132. Берг П. П. и Селиванов Б. П. Об унификации методов испытания формовочных материалов. — «Литейное дело», 1931, № 1, с. 7.
133. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. Изд-во АН СССР, 1936.
134. Берг П. П. Косвенное определение влажности методами определения высоты и электропроводности. — «Литейное дело», 1930, № 6, с. 15—16 и 1931, № 8.
135. Сиротинский П. С. Автоматизация измерения влажности песчано-глинистых формовочных смесей. — «Литейное производство», 1961, № 4, с. 43—48.
136. Кулешов П. Ф. и др. Скоростная технология изготовления литейных форм с подсушенной поверхностью. Сб. Формовочные материалы ВНИТОЛ. Машгиз, 1960, с. 5—28.
137. Modern Castings, 1959, N 2, p. 55—61.
138. Оболенцев Ф. Д. Качество литых поверхностей. Машгиз, 1961.
139. Нехендз Ю. А. и Каленов В. П. Влияние свойств формовочной смеси на содержание водорода в сплавах при заливке в литейные формы. — «Литейное производство», 1960, № 4, с. 24—25.
140. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья. Машгиз, 1953. 383 с.
141. Гребер Г. и Эрк С. Основы учения о теплообмене ОНТИ НКТП СССР, 1933. 327 с.
142. Гухман А. А. Физические основы теплопередачи. Энергоиздат, 1934. 315 с.
143. Кирпичев М. В., Михеев М. А. и Эйгенсон Л. С. Теплопередача, Госэнергоиздат, 1940. 292 с.

144. Берг П. П. и Хинчин А. С. Зависимость теплофизических констант формовочной смеси от температуры. — «Инженерно-физический журнал», 1960, Т. III, № 3, с. 49—53.
145. Берг П. П. Оценка температуры нагревающейся литейной песчаной формы. — «Литейное производство», 1952, № 12, с. 10—14.
146. Берг П. П. Основы построения технологических формул для оценки тепловых процессов в литейной форме. Сб. Затвердевание металлов, Машгиз, 1958, с. 33—38.
147. Раковский А. В. Введение в физическую химию. ГОНТИ, 1938. 310 с.
148. Roll F. Wärmeleitungsvermögen v. Formsand. Giesserei, 1928, S. 860—862.
149. Техническая энциклопедия. Т. VII. ОГИЗ, 1932.
150. Atterton D. V. The apparent thermal conductivity of moulding materials at high temperatures. Journal Iron and Steel Institute, 153, v. 174, p. 201—211.
151. Dietert H. W. Foundry, 1947 — IX — p. 84—85, 228—232.
152. Берг П. П. и Колачева О. В. Тепловой режим литейной формы. — «Литейное дело», 1940, № 10, с. 3—7.
153. Хворин Н. Затвердевание отливок. Изд-во иностранной литературы, 1955. 140 с.
154. Раддл Р. У. Затвердевание отливок. Машгиз, 1960. 391 с.
155. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. Государственное изд-во физико-математической литературы, 1962. 456 с.
156. Шварцберг Б. В. О полуметаллических смесях. — «Литейное производство», 1951, № 8, с. 25.
157. Новиков П. Г. и Грузин В. Г. Сокращение выдержки отливки в форме — средство мобилизации резервов литейных цехов. — «Литейное производство», 1953, № 9, с. 6—12.
158. Saschadri R. and Ramahandron. Modern Castings, 1961 XV. № 6, p. 66—74.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

159. Берг П. П. Основы теории проницаемости. «Бюллетень литейщика». 1946, № 1, с. 18.
160. Abrahamson A. E. J. Sandcontrol increases economy in the foundry, 1930, v. 58, № 6, p. 84—87, № 8, p. 74—78, № 10, p. 56—60. № 12, p. 56—59, № 14, p. 59—63, № 16, p. 52—55, № 18, p. 57—58.
161. Dietert H. W. Modern core practice and theories. AFA 1942, p. 532.
162. Eggleston G. Fundamental considerations in non ferrous sand control. Foundry Trade Journal, 1937, v. 57, p. 137—138. Transact AFA, 1937, 8, № 4, p. 110—129.
163. Шептунов К. Л. Аналитический метод определения газопроницаемости формовочных смесей. — «Литейное дело», 1938, № 8 и 9, с. 43—45.
164. Берг П. П. Изменение газопроницаемости смеси кварцевых зерен. — «Литейное дело», 1938, № 6, с. 35—36.
165. Diepschlag R. J. Giesserei, 1926, 153 S.
166. Берг П. П. Методы ускоренного определения газопроницаемости. — «Литейное дело», 1931, № 8, с. 21—24.
167. Колачева О. В. Определение газотворной способности формовочных материалов и смесей. — «Техническая информация», № 8.
168. Шацких М. И. Прибор для определения газообразующей способности формовочных и стержневых смесей. — «Бюллетень литейщика» 1946, № 3, с. 3—12.
169. Maske F. und Piwowarsky E. Beitrag z. Kenntniss der gas durchlässigkeit. Giesserei, 1928, S. 559—66.
170. Lock C. and Aschbrook R. S. Trans A. F. S., 1950, v. 52, p. 584.
171. Modern Castings, 1960, № 1, p. 101/110.

172. Brown C. Foundry 1948, № 11, p. 83, 88, 244, 245.
173. Пищев М. В. Изучение газотворной способности стержневых смесей. — «Литейное дело», 1941, № 3, с. 6—10.
174. Райнус Р. Н. К вопросу о газотворной способности формовочных и стержневых смесей. — «Литейное дело», 1941, № 3, с. 10—12.
175. Рыжиков А. А. и Спасский А. Ф. Газовый режим литейной формы. — «Литейное производство», № 4, с. 21—23.
176. Финарти Ю. Я. Газовые явления в песчаной форме. — «Литейное дело», 1939, № 1, с. 7—11.

ЧАСТЬ ПЯТАЯ

177. Лясс А. М. Диссертация, 1947.
178. Лясс А. М. О некоторых свойствах пленок связующих материалов и прочности формовочных смесей. — «Литейное производство», 1959, № 6, с. 8—15.
179. Васин Ю. П. П. и Черногоров П. В. Влияние огнеупорной глины на свойства формовочных смесей. — «Литейное производство», 1961, № 4, с. 4—7.
180. Шацких М. И. Сланцевая генераторная смола как заменитель растительных масел и масляных связующих добавок. Сб. ВНИТОЛ, Формовочные материалы. Машгиз, 1954, с. 115—132.
181. Коллет Р., Гати Ф. и Намюр Р. Прочность формовочных и стержневых смесей, а также жеребеек в холодном и горячем состоянии. — «25-й международный конгресс литейщиков». Машгиз, 1961, с. 313—333.
182. British Foundrymen, 1959, II, p. 53—61.
183. Берг П. П. и Фейгельсон Б. Ю. Химическое упрочнение форм и стержней. — Сб. «Вопросы теории литейных процессов», Машгиз, 1960, с. 93—109.
184. Giesserei, 1954, N 20, S. 518.
185. Patterson W., Boenisch D., Khana S. S. Einflugs v. Kationen und Anionen auf die Hafsfestigkeit tongebundener Giessereiformsande. Mitteilungen aus dem Giesserei — Institut der Rheinisch — Westfälischen Zech-nischen hochsch, 1962, v. 14, S. 117—125.
186. Берг П. П. и Дмитриев Н. В. Советские бентониты и их применение на практике. — «Литейное дело», 1938, № 8 и 9, с. 30—35.
187. Foundry, 1958, N 7, p. 94—96.
188. Наварро-Алькасар. Угол трения сырых формовочных материалов и их взаимосвязь с технологическими свойствами и с гидратацией глины. — «26-й международный конгресс литейщиков», Машгиз, 1961, с. 390—404.
189. Modern Castings, 1961, № 1, p. 60—62.
190. Modern Castings, 1960, № 3, p. 46—47.
191. Modern Castings, 1960, № 2, p. 94—108.
192. Соболев Н. Л. Исследование и разработка методов повышения точности чугунного станочного литья. Сб. «Современная технология производства станочного литья.» ЦБТИ министерства станкостроения, 1952. Вып. 2, с. 59—106.
193. Яковлев В. О. Исследование факторов, влияющих на точность отливок при использовании быстротвердеющих смесей. — Сб. «Изготовление отливок с применением быстротвердеющих смесей на жидком стекле», 1958, с. 161—176. Московский дом научно-технической пропаганды и ЦНИИТМАШ.
194. Giesserei, 1930, S. 875.
195. Briggs C. W. The metallurgy of steel castings M. Graw-Hill Book Co Inc. 1946.
196. BCJRA (Journal 1960, N 2, p. 169—176).
197. Орлов Г. М. и др. Прогрессивный метод формовки. — «Литейное производство», 1960, № 2, с. 6—8.
198. Буцель К. Т. Усадка стержней. — «Литейное производство», 1960, № 8, с. 10.
199. Бехалов В. Н. Деформация радиаторных стержней и ее устранение. — «Литейное производство», 1956, № 1, с. 8—10.

200. Малегин М. Д. и Шленник Я. И. Физико-механические свойства оболочковых форм. — «Литейное производство», 1957, № 10, с. 28—30 с.
201. Лясс А. М. Некоторые итоги исследования свойств быстротвердеющих смесей. — «Литейное производство», 1961, № 7, с. 23—30.
202. Slevarenstvi, 1958, XII str. 549—558.
203. Лясс А. М. и Валисовский И. В. Об улучшении выбиваемости смесей на жидком стекле. — «Литейное производство», 1961, № 9, с. 33—36.
204. Nipper N. und Piwowsky E. Ein Beitrag zur Kenntniss der Feuerbeständigkeit v. Formsanden Giesserei. 1930, S. 625—630.
205. Bradshaw and Emery, Trans AFA, 1926, v. 34, p. 347.
206. Дубровский А. М. Деформация песчаной формы при производстве стальных отливок. — «Литейное производство», 1956, № 9, с. 22—26.
207. Дубровский А. М. Влияние тепловой деформации формовочных и стержневых составов на качество литья. — «Литейное производство», 1960, № 6, с. 21—25.
208. Лясс А. М. и Чжоу Яо-хо. О некоторых факторах, влияющих на образование горячих трещин в стальных отливках. — «Литейное производство», 1958, № 4, с. 19—23.
209. Ступишина О. В. Линейные изменения керамических форм при нагреве и охлаждении. — «Литейное производство», 1958, № 2, с. 20—23.
210. Gittus J. H. Journal of research and development BCJRA, 1954, v. 5, № 5, Report, p. 382.
211. BCJRA, 1949, v. 7, № 10, p. 605—623.
212. Гуляев Б. Б. и др. Плены на стальных отливках. — «Литейное производство», 1960, № 6, с. 25—29.
213. Просяник Г. В. Устранение брака в отливках головки блока «ЗИЛ-120». — «Литейное производство», 1956, № 8, с. 28—29.
214. Одинг И. А. Прочность металла, ОГИЗ, 1932. 280 с.
215. Петриченко А. М. О природе ужимин в отливках. — «Литейное производство», 1960, № 3, с. 7—9.
216. Рутман М. М. Жидкое стекло как средство борьбы с ужиминами на чугунных отливках. — «Литейное производство», 1956, № 10, с. 29—30.
217. Саксонов Л. Г. и Перов А. П. Поверхностное упрочнение стержней для изложниц. — «Литейное производство», 1958, № 11, с. 28.
218. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. Машгиз, 1960. 416 с.
219. Дитерт Г. В. и др. Испытания формовочных смесей при высокой температуре и их связь с дефектами поверхности отливок. — 23-й конгресс литейщиков, Машгиз, 1958, с. 118—136.
220. Берг П. П., Студниц М. А. и Фейгельсон Б. Ю. — «Литейное производство», 1956, № 7, с. 18—19.
221. Гуляев Б. Б., Боровский Ю. Ф., Сигалова З. В., Соколова Е. С. Исследование засоров в отливках при помощи радиоактивных изотопов. — «Литейное производство», 1956, № 8, с. 25—27.
222. Foundry Trade Journal, 1955, № 2036, p. 263—271 and № 2037, p. 301—309.

ЧАСТЬ ШЕСТАЯ

223. Евнин А. Н. Применение крепителя КТ в формовочных смесях. — «Литейное производство», 1955, № 9, с. 24.
224. Journal of Iron and Steel Institute, 1950, т. 166, p. 7.
225. Фурзунд К. Проникивание металла в песчаные стержни. — 24-й Международный конгресс литейщиков, Машгиз, 1960, с. 157—166.
226. Лоськов Д. И. Влияние плотности набивки форм на пригар песка к стальным отливкам. — Сб. «Вопросы теории и практики литейного производства». Машгиз, 1956, с. 125—134.
227. Journal of Iron and Steel Institute, 1951, v. 167, p. 141—157.
228. Нехендзи Ю. А. Стальное литье. Металлургиздат, 1948. 766 с.
229. Гуляев Б. Б. и Боровский Ю. Ф. Формирование пригара на стальных отливках. — «Литейное производство», 1957, № 6, с. 5—7.

230. Технология транспортного машиностроения. 1956, № 3, с. 52—53.
231. Валисовский И. В. О смачивании расплавом формовочных материалов. — «Литейное производство», 1959, № 12, с. 32—35.
232. Сапиро С. И. Капиллярно-гидромеханические процессы при плавке и кристаллизации стали. — Сб. ВНИТОЛ, Современная технология выплавки стали для фасонного литья. Машгиз, 1953, с. 51—67.
233. Крещановский Н. С. Пригар на стальных отливках и методы борьбы с ним. — «Литейное дело», 1938, № 8/9, с. 23—29.
234. Кунин Л. Л. Поверхностные явления в металлах. Металлургиздат, 1955. 304 с.
235. Бугачев В. М. и Грузин В. Г. Легирование поверхности отливок при затвердевании. — «Литейное производство», 1957, № 5, с. 29—30.
236. Михайлов А. М. и Серебряков М. И. Поверхностное легирование фасонных отливок. — «Литейное производство», 1957, № 6, с. 18—22.
237. Нилковский И. А. Изготовление литых стальных лемехов с легированной режущей кромкой. — «Литейное производство», 1955, № 8, с. 13—14.
238. Горшков А. А. и Рабинович Е. И. Поверхностное легирование. Машгиз, 1950. 59 с.
239. Иванов В. Н. и Баранов А. В. Окажинообразование и обезуглероживание отливок, изготавливаемых литьем по выплавляемым моделям. — «Литейное производство», 1961, № 3, с. 19—21.
240. Петров В. Г. и Ступишина О. В. Изготовление стальных отливок по методу выплавляемых моделей. — «Литейное производство», 1951, № 2, с. 12.
241. Ступишина О. В. Обезуглероженный слой в отливках по выплавляемым моделям. — «Литейное производство», 1959, № 5, с. 36—38.
242. Горюнов И. И. и Башков И. П. Механические свойства металла отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям. — «Литейное производство», 1954, № 1, с. 5—7.
243. Труш И. В. Обезуглероживание поверхности отливок. — «Литейное производство», 1955, № 9, с. 27—28.
244. Ушаков А. Д. К вопросу об антизакрипных свойствах сернистого чугуна. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 41—43.
245. Фурман М. И. Поверхностное легирование стальных и чугунных отливок серой. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 43—44.
246. Балашов М. И. Сера в поверхностных слоях стальных отливок. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 36—38.
247. Шнайдер П. Формовочные материалы и состояние поверхности отливок. — 25-й Международный конгресс литейщиков, Машгиз, 1961, с. 613—634.
248. Giesserei, 1959, S. 530.
249. Foundry Trade Journal, 1933, v. 48 N 859 and 860.
250. Foundry Trade Journal, 1953, v. 95, № 1925.
251. Journal Iron and Steel Institute, 1942, v. 145, № 1.
252. Journal Institute Metals, 1951, v. 80, p. 93.
253. Freiburger Forschungshelpe, 1955, № 8, S. 141—170.
254. Берг П. П. и Колачева О. В. Расчет шихты формовочной смеси. — «Литейное дело», 1937, № 7, с. 28—31.
255. Зеленцов П. Н. Расчет времени замены состава в замкнутой системе. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 38—39.
256. Transaction AFA, 1934, v. 42, p. 199.
257. Орлов Г. М. Текучесть формовочной смеси и уплотнение форм прессованием. — «Литейное производство», 1959, № 11, с. 35—40.
258. Transaction AFS 1940, v. 48, p. 175.
259. Шацких М. И. Методика испытания некоторых вторичных свойств формовочных смесей. — «Бюллетень литейщика», 1944, № 9—10 (12—13), с. 6—15.
260. Афанасьев Н. В. и Косяков В. Ф. Испытание формовочных смесей на текучесть. — «Литейное производство», 1959, № 10, с. 37—40.
261. Modern Castings, 1956, IX, p. 30—32.

262. Slevarenstvi, 1959, str. 438—441.
263. Косяков В. Ф. Коэффициент текучести формовочных смесей. — «Литейное производство», 1961, № 7, с. 41—43.
264. Modern Castings, 1960, № 3, p. 107—111.
265. Скоморохов С. А. Новые методы контроля стержневых смесей на текучесть и вязкость в сыром состоянии. — «Литейное производство», 1951, № 12, с. 26—28.
266. Черкасов Л. М. По поводу статьи С. А. Скоморохова. — «Литейное производство», 1953, № 9, с. 32—33.
267. Iron and Steel, 1953, X p. 475—478.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ

268. Шацких М. И. Заменители кварцевых песков. — «Бюллетень литейщика», 1943, № 2—3, с. 3—5.
269. Платонов П. М. Применимость речного песка для стальных отливок. — «Бюллетень литейщика», 1946, № 2/29, с. 3—8.
270. Дитерт Г. и др. Автоматическое увлажнение формовочных смесей. — «24-й Международный конгресс литейщиков», Машгиз, 1960, с. 238—245.
271. Огарков Е. Б. Автоматическое регулирование влажности формовочной смеси. — «Литейное производство», 1961, № 4, с. 12—13.
272. Гезелл В. Исследование смесителей и дезинтеграторов — «23-й Международный конгресс литейщиков», Машгиз, 1958, с. 251—266.
273. BCJRA Journal of research and development, 1954, v. 5, № 7, p. 367—374.
274. Курочкин Ю. П. и др. Применение контактного теплообмена для охлаждения кварцевого песка после сушки. — «Литейное производство», 1960, № 12, с. 28—30.
275. Щербakov К. Л. Охлаждение выбитой отработанной смеси. — «Литейное производство», 1960, № 1, с. 45.
276. Балабанов Е. М., Боровик М. Г. и Соломон Л. С. Электрическая сепарация формовочных песков. Машгиз, 1951. 183 с.
277. Иконников А. Н. Регенерация горелой формовочной земли. Машгиз, 1947, 71 с.
278. Зайгерov И. Б. Регенерация отработанных смесей в литейном производстве. Машгиз, 1961. 180 с.
279. Боровик М. Г. и Соломон Л. С. Регенерационные установки при гидросортировке литья. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 17—22.
280. Линия восстановления горелой формовочной земли. — «Литейное производство», 1956, № 5, с. 11—14.
281. Соколов Н. И. и Панина А. В. Восстановление отработанной формовочной земли методом воздушной сепарации. — «Литейное производство», 1952, № 9, с. 17—18.
282. Скобников К. М. Современные способы восстановления отработанной смеси. Сб. ВНИТОЛ Формовочные материалы, Машгиз, 1954. с. 224—237.
283. Czikel J. und Quarre K. Versuche über die thermische Regenerierbarkeit von organisch gebundenen ALT-Sanden. Freiburger Forschungshäfte, 1958, B. 30—1, S. 110—134.
284. Бриггс Ч. В. Производство крупных стальных отливок в сырых формах. — 23-й международный конгресс литейщиков. Машгиз, 1958, с. 236—250.
285. Фридман Л. М. Применение быстросохнущих смесей для улучшения качества отливок и сокращения цикла их производства Сб. ВНИТОЛ, Формовочные материалы, Машгиз, 1954, с. 175—182.
286. Ватерс Б. Г. Ч. и Брейбрук А. Рассмотрение теории процесса изготовления оболочковых форм. — 23-й международный конгресс литейщиков. Машгиз, 1958, с. 189—216.
287. British Foundrymen, 1959 — II — p. 53—61.
288. Лакедемонский А. В. и др. Литье жароупорных сплавов в оболочковые формы. — «Литейное производство», 1956, № 3, с. 7—8.
289. Лакедемонский А. В. и др. Отливка деталей гидротрансформаторов. — «Литейное производство», 1957, № 1, с. 18—20.

290. Дворкин И. Ф. Стальное литье в оболочковые формы. — «Литейное производство», 1960, № 12, с. 39—40.
291. Дудник А. А. и Ухабин Г. А. Коленчатый вал «Волга». — «Литейное производство», 1959, № 5, с. 8—12.
292. Лупырев И. И. и др. Разделительные смазки для оболочковых форм. — «Литейное производство», 1958, № 6, с. 27.
293. Смирнов А. А. и Бобышева И. В. Двухслойные оболочковые формы для чугунных отливок. — «Литейное производство», 1959, № 9, с. 14—16.
294. Slevarenstvi, 1953, № 5, str. 142—149.
295. Foundrie, 1960, № 173, p. 239—251.
296. Интяков Н. Г. Сб. докладов минской городской конференции. Изд-во АН БССР, 1959, 24. с.
297. Мейер Ф. и др. Формовка тяжелой чугунной станины в песчано-цементных смесях. — «Литейное производство», 1960, № 6, с. 12—14.
298. Берг П. П. Обзор новостей литейной технологии в Германии за годы войны. — «Вестник машиностроения», 1946, № 1, с. 54—62.
299. Васин Ю. П. Сушка стержней в электрическом поле высокой частоты. — «Литейное производство», 1958, № 2, с. 7—10.
300. Modern Castings, 1960, № 1, p. 100—110.
301. Giesserei, 1952, S. 179—181.
302. Giesserei, 1957, S. 316—318.
303. Оболенцев Ф. Д. Качество литых поверхностей. Машгиз, 1961. с. 97.
304. Foundry, 1958 — V — p. 82—85.
305. Сладков М. В. Гидролиз этилсиликата в производстве точного литья. — «Литейное производство», 1958, № 9, с. 8—12.
306. Растишин Н. И. и др. Пескодуювно-пескострельная полуавтоматическая машина «ЗИЛ». — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 26—28.
307. Покровская Н. Б. и др. Изготовление стержней из быстротвердеющей смеси CO_2 — процессом на пескодуювной машине типа 287. — «Литейное производство», 1960, № 3, с. 29—31.
308. Чичагов К. К. и Дроздова Е. И. Пескодуювная формовка стержней. — «Литейное производство», 1959, № 8, с. 8—10.
309. Титов Н. Д. Поточно-массовое производство отливок. Машгиз, 1960, 528 с.
310. Foundry, 1955, v. 83, № 11, p. 100—106.
311. Мезилев А. А. Точное литье в керамические формы. — «Литейное производство», 1951, № 12, с. 2—3.
312. Святкин Б. К. Автоматическое вибропрессование песчаных форм под высоким давлением. — «Литейное производство», 1960, № 4, с. 8—10.
313. Дудник И. Р. Метод прессования под высоким давлением. — «Литейное производство», 1958, № 6, с. 4—9.
314. Кривошеев В. М. Прессование форм при высоких давлениях. — «Литейное производство», 1959, № 5, с. 15—16.
315. Аронович В. А. Оболочка как основа конструкции литейной формы. — «Литейное производство», 1951, № 5, с. 19—21.
316. Рабинович Б. В. Тонкостенные формы. — «Литейное производство», 1951, № 6, с. 26—27.
317. Аксенов П. Н. и др. Отливка автомобильных и тракторных гильз в тонкостенных формах. — «Литейное производство», 1953, № 9, с. 1—6.
318. Берг П. П. и Фейгельсон Б. Ю. Металло-оболочковые формы. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 32—33.
319. Рабинович Б. В. и др. Тонкостенные формы. — «Литейное производство», 1961, № 7, с. 10—14.
320. Руссиян С. В. и Богланов В. Н. Опыт применения керамических форм и термооболочковых стержней для отливки крупногабаритных и тонкостенных деталей. — «Литейное производство», 1956, № 6, с. 4—7.
321. Антонов А. Н. Чугунное литье повышенной точности в полупостоянные формы. — «Литейное производство», 1960, № 7, с. 1—5.
322. Смирнов Н. М. Отливка стальных вагонных колес в графитовые формы. — «Литейное производство», 1958, № 10, с. 7—8.

323. Сосненко М. Н. Графитовые литейные формы. — «Литейное производство», 1958, № 10, с. 6—7.

324. Сосненко М. Н. Параметры литья в постоянные графитовые формы. — «Литейное производство», 1960, № 2, с. 34—36.

325. Савидов М. А. и Меркулов Е. А. Метод получения литых элементов литниковых систем в графитовых формах. — «Литейное производство», 1960, № 10, с. 41.

326. Шмелькин М. А. Литье в прессованные стержни. — «Литейное производство», 1952, № 1, с. 28—30.

327. Сидоров В. А. Отливки в каменные формы. — «Литейное дело», 1940, № 7, с. 29.

328. Коротков В. Г. Временная форма из талькохлорита. — «Литейное производство», 1960, № 9, с. 42.

329. Шпортенко П. И. Борьба с пригаром на крупном литье. — «Литейное производство», 1957, № 2, с. 27.

330. Колчин И. Ф. и Рыженков В. В. Улучшение качества стальных отливок. — «Литейное производство», 1959, № 11, с. 12—14.

331. Применение хромистого железняка в производстве крупных стальных отливок. — «Литейное производство», 1956, приложение к № 2, с. 35—37.

332. Попов А. Д. Чистота поверхности отливок. — «Литейное производство» 1960, № 1, с. 36—37.

333. Крянин И. Р. и др. Противопригарные формовочные смеси для отливок из нержавеющей стали. — «Литейное производство», 1954, № 2, с. 3—7.

334. Нестерцев С. П. Жаропрочное стальное литье. Машгиз, 1960.

335. Коцюбинский О. Ю. Заохлаждающее действие смесей с чугуновой стружкой и дробью. — «Литейное производство», 1959, № 9, с. 42.

336. Иванов В. И. Применение экзотермических смесей с ферроалюминием. — «Литейное производство», 1960, № 4, с. 5—6.

337. Карцева А. М. Экзотермические смеси для обогрева прибылей отливок из сплавов на медной основе. — «Литейное производство», 1959, № 7, с. 9—11.

338. Вихорева Т. А. и Власов А. Ф. Опыт применения прибылей с экзотермическим обогревом. — «Литейное производство», 1958, № 4, с. 25—26.

339. Ключнев Н. И. и Сухарев А. М. Применение экзотермических смесей в производстве отливок из чугуна с шаровидным графитом. — «Литейное производство», 1959, № 1, с. 11—12.

340. Богачев А. Ф. и др. Экзотермические смеси для обогрева прибылей. — «Литейное производство», 1959, № 10, с. 17—21.

341. Геллер С. А. Экзотермические смеси для обогрева прибылей стальных отливок. — «Литейное производство», 1960, № 3, с. 31—32.

342. Лещенко В. П. и др. Применение экзотермических смесей для обогрева прибылей фасонного цветного литья. — «Литейное производство», 1960, № 1, с. 3.

343. Дорошенко С. П. и Злотников Н. М. Обогрев стального литья. — «Литейное производство», 1961, № 1, с. 1—2.

344. «Сталь», 1949, № 1, с. 83—84.

345. «Сталь», 1950, № 11, с. 1041—1043.

346. Сб. «Литейное производство», Машгиз, 1948, с. 82—84.

347. Миддлтон Д. и Макилрой. Формовочные краски, применяемые в сталелитейных цехах. — 27-й международный конгресс литейщиков, Машгиз, 1961, с. 249—265.

348. Столпнер Е. Б. Применение быстросохнущих эмульсионных связующих добавок в производстве стального литья. Сб. ВНИТОЛ формовочные материалы. Машгиз, 1954, с. 160—165.

349. Дойно Д. С. Отбеливающее и уплотняющее действие теллура на чугун. — «Литейное производство», 1951, № 11, с. 14—15.

350. Transactions AFS 1953, p. 106/158.

Технический редактор *А. Я. Тиханов*. Корректоры: *О. К. Добровольская* и *А. М. Усачева*
Переплет художника *А. Я. Михайлова*

Сдано в производство 23/V 1963 г.	Подписано к печати 4/IX 1963 г.	T-11922
Тираж 6500 экз.	Печ. л. 25,5	Уч.-изд. л. 26,75
Бум. л. 12,75	Формат 60×90/16.	Цена 1 р. 49 к. Зак. 1457.

Типография № 6 УЦБ и ПП Ленсовнархоза, Ленинград, ул. Моисеевко, д. 10

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ