

**Серия
справочников
для рабочих**



И.В.ФИРГЕР

**ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА
СПЛАВОВ**

СПРАВОЧНИК



Ленинград «Машиностроение»
Ленинградское отделение
1982

ББК 34.651

Ф12

УДК 621.78 (083)

Рецензенты: **А. М. Липницкий** и **С. К. Гинзбург**

Фиргер И. В.

Ф12 Термическая обработка сплавов: Справочник. —
Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. —
304 с., ил. (Серия справочников для рабочих.)

В пер. 1 р. 50 к.

Справочник содержит сведения по термической обработке изделий, изготовляемых из стали, чугуна и цветных сплавов. Приведены характеристики и конструктивные схемы оборудования, приборов и приспособлений, применяемых в термических цехах. Значительное внимание уделено терминологии и классификации материалов, а также методам контроля качества металла, предупреждению брака, сохранения без повреждения поверхностных слоев и формы изделий в процессе термической обработки и другим актуальным вопросам практики работы в термических цехах.

Справочник рассчитан на квалифицированных рабочих и мастеров термических цехов. Он может быть также использован инженерно-техническими работниками, занимающимися технологией термической обработки сплавов.

Ф $\frac{2704070000-107}{038(01)-82}$ 107-82

ББК 34.651
6П4.51(083)

ИБ № 3134

Иосиф Владимирович Фиргер

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ СПРАВОЧНИК

Редактор *Н. З. Симоновский*

Художественный редактор *С. С. Венедиктов*

Технический редактор *Т. Н. Витошинская*

Переплет художника *П. П. Викторова*

Корректоры *А. И. Лавришенко, Е. П. Свирина*

Сдано в набор 25.01.82. Подписано в печать 02.09.82. М-41893. Формат 84 × 108^{1/32}.
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 15,96. Уч.-изд. л. 23,94. Тираж 40000 экз. Заказ 31. Цена 1 р. 50 к.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени издательства
«Машиностроение» 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10.

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

© Издательство «Машиностроение», 1982 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| Предисловие | 5 |
| Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ | 6 |
| 1. Виды термической обработки стали | — |
| 2. Некоторые вопросы теории термической обработки | — |
| 3. Структура и структурные составляющие в стали и чугуна | 20 |
| Глава II. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ | 24 |
| 4. Прогрессивные методы нагрева при термической обработке | — |
| 5. Влияние легирующих элементов на свойства стали | 25 |
| 6. Температура критических точек стали | 27 |
| 7. Нормативы времени нагрева и выдержки стальных изделий | — |
| 8. Закалочные среды | 35 |
| 9. Прочие данные | 41 |
| Глава III. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ | 56 |
| 10. Классификация стали, маркировка | — |
| 11. Химический состав марок стали | 59 |
| 12. Режимы термической обработки стали | — |
| 13. Виды брака при термической обработке стали | — |
| Глава IV. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ | 84 |
| 14. Общие вопросы | — |
| 15. Цементация | — |
| 16. Азотирование | 90 |
| 17. Цианирование и нитроцементация | 98 |
| 18. Хромирование | 104 |
| 19. Алитирование | 106 |
| 20. Силицирование | 107 |
| 21. Борирование | — |
| 22. Сульфидирование | — |
| Глава V. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУНА | 109 |
| 23. Классификация, маркировка | — |
| 24. Термическая обработка чугуна | 111 |
| 25. Химико-термическая обработка чугуна | 120 |
| Глава VI. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ | 122 |
| 26. Маркировка сплавов | — |
| 27. Составы и термическая обработка латуней, бронз и никелевых сплавов | 123 |
| 28. Составы и термическая обработка деформируемых алюминиевых сплавов | — |
| 29. Составы и термическая обработка литейных алюминиевых сплавов | 135 |
| 30. Составы и термическая обработка магниевых сплавов | 146 |
| 31. Составы и термическая обработка титановых сплавов | 151 |
| Глава VII. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА | 154 |
| 32. Общие вопросы | — |
| 33. Термическая обработка режущего и мерительного инструмента | 156 |
| 34. Термическая обработка штампов | 158 |

| | |
|---|------------|
| Глава VIII. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 171 |
| 35. Общие вопросы | — |
| 36. Термическая обработка сварных конструкций на снятие напряжений | 173 |
| 37. Термическая обработка сварных конструкций, изготовленных электрошлаковой сваркой | 177 |
| Глава IX. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАГРЕВА | 179 |
| 38. Термическая обработка с применением индукционного нагрева | — |
| 39. Режимы поверхностной индукционной закалки | 182 |
| 40. Местная газопламенная термическая обработка | 189 |
| Глава X. БЕЗОКСИДЛИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕРАХ | 190 |
| 41. Общие вопросы | — |
| 42. Характеристика и способы приготовления контролируемых атмосфер | 191 |
| 43. Классификация и свойства контролируемых атмосфер | 195 |
| 44. Регулирование контролируемых атмосфер по точности | — |
| Глава XI. БЕЗДЕФОРМАЦИОННАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА | 205 |
| 45. Источники деформации изделий | — |
| 46. Методы преодоления деформаций | 207 |
| 47. Преодоление деформаций с использованием явления сверхпластичности сплавов | 211 |
| Глава XII. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ | 214 |
| 48. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб | — |
| 49. Испытание на ударную вязкость | 218 |
| 50. Испытание на твердость | 219 |
| 51. Металлографическое исследование | 230 |
| 52. Определение марки сплава | 238 |
| 53. Физические методы выявления дефектов после термической обработки | 240 |
| Глава XIII. ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ | 241 |
| 54. Классификация оборудования | — |
| 55. Термические печи и ванны | — |
| 56. Установки для приготовления контролируемых атмосфер | 255 |
| 57. Оборудование для индукционного нагрева | 258 |
| 58. Оборудование для низкотемпературной термической обработки (обработки холодом) | 262 |
| 59. Тепловой контроль | — |
| 60. Аппаратура для неразрушающего контроля качества термической обработки изделий | — |
| Глава XIV. СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ | 276 |
| 61. Общие вопросы | — |
| 62. Очистка металлическим песком | 277 |
| 63. Очистка корундовой крошкой | 278 |
| 64. Гидроабразивная очистка | 279 |
| 65. Очистка с использованием ультразвука | — |
| Глава XV. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХАХ | 282 |
| 66. Требования, предъявляемые к зданиям и помещениям | — |
| 67. Требования к охране окружающей среды | 283 |
| 68. Оборудование | — |
| 69. Отопление и вентиляция | 285 |
| 70. Условия безопасного труда | 287 |
| 71. Правила техники безопасности при термической обработке изделий из магнитных сплавов | 288 |
| 72. Другие данные | 289 |
| Приложения | 291 |
| Список литературы | 303 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 года предусмотрено опережающее развитие машиностроения и металлообработки. Это требует повышения темпов совершенствования технологии и оборудования для термической обработки, которая занимает значительный объем в машиностроении.

В период технического прогресса промышленного производства термическая обработка сплавов приобретает особо важное значение. Стремление к повышению качества изделий машиностроения, увеличению их надежности и долговечности, снижению расхода металлов и энергетических ресурсов было основной целью термической обработки сплавов за последние десятилетия. Эта же цель определяет дальнейшее развитие теории и практики термической обработки сплавов на последующие годы.

Для решения столь ответственных задач, освоения сложных технологических процессов термической обработки и оборудования повышенные требования предъявляются к квалификации персонала термических цехов. При издании настоящего справочника преследовалась цель — удовлетворить потребность производителей-термистов в справочной литературе, способствовать повышению их квалификации.

Справочник охватывает почти все основные области термической обработки общего машиностроения; рассмотрены технология, оборудование, контроль и ряд других вопросов, касающихся термической обработки изделий, изготавливаемых из стали, чугуна и цветных сплавов. Особое внимание уделено новым и прогрессивным технологическим процессам и оборудованию, позволяющим достигать высокой эффективности термической обработки, особенно повышения качества изделий, производительности труда и экономии энергоресурсов.

Для облегчения рабочим термических цехов изучения материалов справочника обращено внимание на разъяснение терминов, классификации режимов, оборудования, принципы маркировки сплавов и другие подобные вопросы.

Физические величины в справочнике приведены в соответствии с международной системой единиц (СИ). В приложении дана таблица соотношений единиц системы МКГСС с единицами СИ.

Автор отдает себе отчет об имеющихся недостатках в справочнике и будет благодарен читателям за замечания и предложения, которые будут учтены в дальнейшей работе.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Виды термической обработки стали

Основные виды термической и химико-термической обработки стали и их характеристики приведены в табл. 1 и 2. Виды термической обработки чугуна и цветных сплавов рассмотрены в главах V и VI.

На рис. 1 и 2 приведены схемы термомеханической и механико-термической обработок.

2. Некоторые вопросы теории термической обработки

Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом. При изучении сплавов и определении режимов термической обработки пользуются диаграммами состояний, охватывающими всю систему сплавов. Диаграмма состояний может быть получена из двух или более веществ, называемых *компонентами*. По диаграмме состояний можно определить, при каких температурах происходит начало и конец затвердевания и структурные превращения в твердом состоянии, а также для каждого сплава можно найти его критические точки.

При переходе из жидкого состояния в твердое в некоторых сплавах могут выделяться кристаллы обоих компонентов, в других — кристаллы твердого раствора; сплавы могут быть однородными, с одинаковыми свойствами по всему объему, или неоднородными, состоящими из смеси различных однородных частиц. Составляющие сплавов, однородные по строению и свойствам, называют *фазами*.

Сталь и чугун с некоторым приближением можно рассматривать как сплавы железа с углеродом, так как наличие в их составе небольших количеств сопутствующих компонентов (серы, фосфора, кремния, марганца) существенно не влияет на положение критических точек.

Углерод с железом может образовать химическое соединение карбид железа — цементит или может находиться в свободном состоянии в виде графита, поэтому существуют две диаграммы состояния сплавов железа с углеродом: цементитная (рис. 3) и графитная. Сплавы, затвердевающие по цементитной системе, относятся к сталям (массовая доля углерода до 2,0 %) и белым чугунам (массовая доля углерода выше 2,0 %).

Массовые доли углерода (%), соответствующие точкам пересечения линий превращения на диаграмме железо—углерод (рис. 3):

$V = 0,5$ — массовая доля углерода в жидкой фазе при перитектической температуре;

1. Основные виды термической обработки стали

| Вид обработки | Характеристика |
|---------------------------------------|--|
| Отжиг | Термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем медленном охлаждении, с целью получения более равновесной структуры |
| Отжиг I рода | Отжиг, при котором, как правило, не происходит фазовых превращений (перекристаллизации), а если они имеют место, то не оказывают влияния на конечные результаты |
| Отжиг гомогенизированный | Отжиг с длительной выдержкой при температуре выше 950 °С с целью выравнивания химического состава |
| Отжиг, увеличивающий зерно | Отжиг при температуре 950—1200 °С с целью увеличения размера зерна |
| Отжиг рекристаллизационный | Отжиг наклепанной стали при температуре, превышающей температуру начала рекристаллизации, для устранения наклепа и получения определенной величины зерна |
| Отжиг II рода | Отжиг, при котором фазовые превращения (перекристаллизация) определяют его целевое назначение |
| Отжиг полный | Отжиг при температуре выше A_{c3} с целью получения перлитной структуры после полной перекристаллизации |
| Отжиг неполный | Отжиг в интервале температур между A_{c1} и A_{c3} (A_{cm}) для получения перлитной структуры после полной перекристаллизации |
| Отжиг изотермический | Отжиг с нагревом до температуры выше A_{c3} для доэвтектоидной и A_{c1} или A_{cm} для заэвтектоидной стали, последующей выдержке, охлаждению до температуры перлитного превращения и изотермической выдержке до полного распада аустенита с целью получения перлитной структуры |
| Отжиг сфероидизирующий | Отжиг при температуре несколько ниже или выше A_{c1} с целью сфероидизации карбидов |
| Отжиг нормализационный (нормализация) | Отжиг при температуре выше A_{c3} для доэвтектоидной или A_{cm} для заэвтектоидной стали с последующим охлаждением на спокойном воздухе для получения мелкого зерна и равномерного распределения структурных составляющих |
| Закалка | Термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем быстром охлаждении, с целью получения неравновесной структуры |

| Вид обработки | Характеристика |
|--------------------------------------|---|
| Закалка с полиморфным превращением | Закалка, заключающаяся в нагреве до температуры выше A_{c2} для доэвтектоидной и A_{c1} для заэвтектоидной стали, выдержке и последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую, с целью получения преимущественно структуры мартенсита |
| Закалка без полиморфного превращения | Закалка, заключающаяся в нагреве стали до температуры растворения избыточных фаз, выдержке и последующем быстром охлаждении, с целью предотвращения выделений из пересыщенного твердого раствора |
| Закалка объемная | Закалка, при которой происходит нагрев и превращения по всей массе (объему) изделия |
| Закалка поверхностная | Закалка, при которой происходит нагрев и превращения в поверхностном слое изделия |
| Закалка непрерывная | Закалка с непрерывным охлаждением в одной среде (в зависимости от состава стали) с целью получения структуры мартенсита или предотвращения выделений из пересыщенного твердого раствора |
| Закалка прерывистая | Закалка с охлаждением в двух средах: вначале с большей, затем с меньшей охлаждающей способностью с целью получения структуры мартенсита и уменьшения остаточных напряжений |
| Закалка ступенчатая | Закалка с охлаждением в среде с температурой несколько выше M_n , выдержкой без превращения аустенита для выравнивания температуры по всему сечению изделия и последующим охлаждением с целью получения структуры мартенсита и уменьшения остаточных напряжений |
| Закалка изотермическая | Закалка с охлаждением в среде с температурой выше M_n , изотермической выдержкой до полного или неполного превращения аустенита и последующим охлаждением для получения тонкопластинчатой структуры бейнита или бейнита с мартенситом |
| Закалка с самоотпуском | Закалка с охлаждением только поверхности или части изделия и отпуском за счет остаточного внутреннего тепла с целью получения мартенсита отпуска или структуры продуктов распада мартенсита |
| Закалка с обработкой холодом | Закалка с продолжением охлаждения до температуры ниже 20°C , но в интервале $M_n - M_k$ с целью дополнительного превращения аустенита в мартенсит |

| Вид обработки | Характеристика |
|--|--|
| Отпуск | Термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали, подвергнутой закалке с полиморфным превращением, до температуры ниже A_{c1} , выдержке и последующем охлаждении, с целью превращения неравновесной структуры в более равновесную |
| Отпуск высокий | Отпуск при температуре 500—680 °С с целью получения (в зависимости от состава стали) структуры сорбита отпуска или мартенсита отпуска, характеризующегося вторичным твердением Примечание. Сочетание закалки и высокого отпуска называется <i>улучшением стали</i> |
| Отпуск средний | Отпуск при температуре 250—500 °С с целью получения дисперсных продуктов распада мартенсита и уменьшения остаточных напряжений |
| Отпуск низкий | Отпуск при температуре ниже 250 °С с целью получения мартенсита отпуска и уменьшения остаточных напряжений |
| Старение | Термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали в состоянии пересыщенного твердого раствора до определенной температуры, выдержке и последующем охлаждении для получения более равновесного состояния |
| Старение термическое | Старение недеформированной в холодном состоянии стали при повышенной температуре |
| Старение деформационное | Старение холоднодеформированной стали при повышенной температуре |
| Деформационно-термическая обработка | Обработка, заключающаяся в сочетании термического воздействия и пластической деформации, с целью изменения структуры и свойств стали |
| Термомеханическая обработка (рис. 1) | Деформационно-термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше A_{c3} , выдержке, пластической деформации аустенита и последующем его превращении, с целью получения особой мартенситной структуры |
| Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) | Термомеханическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше A_{c3} , выдержке, пластической деформации при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую |
| Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) | Термомеханическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше A_{c3} , охлаждении до температуры относительной устойчивости аустенита ниже температуры начала рекристаллизации, пластической деформации при этой температуре и последующем быстром охлаждении |

| Вид обработки | Характеристика |
|---|--|
| Механико-термическая обработка (рис. 2) | Деформационно-термическая обработка, заключающаяся в пластической деформации стали при температуре выше или ниже температуры начала рекристаллизации и последующем старении, с целью получения полигональной структуры |
| Высокотемпературная механико-термическая обработка (рис. 2, а) | Обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры растворения избыточных фаз, пластической деформации при этой температуре, быстром охлаждении и последующем старении |
| Дорекристаллизационная механико-термическая обработка (рис. 2, б) | Обработка, заключающаяся в пластической деформации стали при температуре ниже температуры начала рекристаллизации и последующем старении |
| Низкотемпературная механико-термическая обработка (рис. 2, в) | Обработка, заключающаяся в пластической деформации стали при низких температурах и последующей длительной выдержке при комнатной температуре (20 °С) |

2. Виды химико-термической обработки стали

| Вид обработки | Характеристика |
|--|--|
| Химико-термическая обработка | Обработка, состоящая из термического и химического воздействий, с целью изменения химического состава, структуры и свойств стали |
| Диффузионное насыщение неметаллами или диффузионное удаление | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении стали неметаллами или диффузионном удалении неметаллов из стали, с целью изменения химического состава, структуры и свойств |
| Науглероживание (цементация) | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали углеродом |
| Азотирование | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали азотом |
| Борирование | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали бором |
| Обезуглероживание | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном удалении углерода из поверхностного слоя стали |
| Сенсорирование | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном удалении водорода из стали |

| Вид обработки | Характеристика |
|---|---|
| Азотоуглероживание (высокотемпературное цианирование) | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом в интервале температур 800—950 °С |
| Углеродоазотирование (низкотемпературное цианирование) | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали одновременно азотом и углеродом в интервале температур 450—650 °С |
| Сероуглеродоазотирование (сульфидирование или сульфоцианирование) | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали одновременно азотом, углеродом и серой |
| Диффузионное насыщение металлами | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали металлами, с целью изменения его состава, структуры и свойств |
| Алюминирование диффузионное (алитирование) | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали алюминием при температуре 700—1100 °С |
| Хромирование диффузионное | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали хромом при температуре ~900—1200 °С |
| Цинкование диффузионное | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали цинком при температуре ~300—550 и 700—1000 °С |
| Силицирование | Химико-термическая обработка, при которой происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя стали кремнием в интервале температур ~800—1100 °С |
| Титанирование | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали титаном |
| Хромоалюминирование | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали одновременно хромом и алюминием при температуре ~900—1200 °С |
| Хромосилицирование | Химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали одновременно хромом и кремнием при температуре ~900—1200 °С |

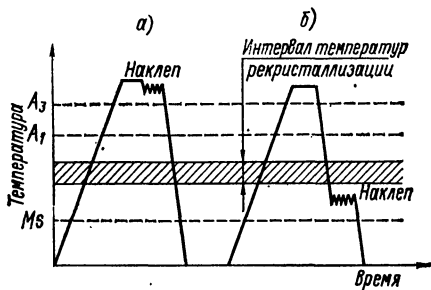


Рис. 1. Схема термомеханической обработки; а — высокотемпературной; б — низкотемпературной

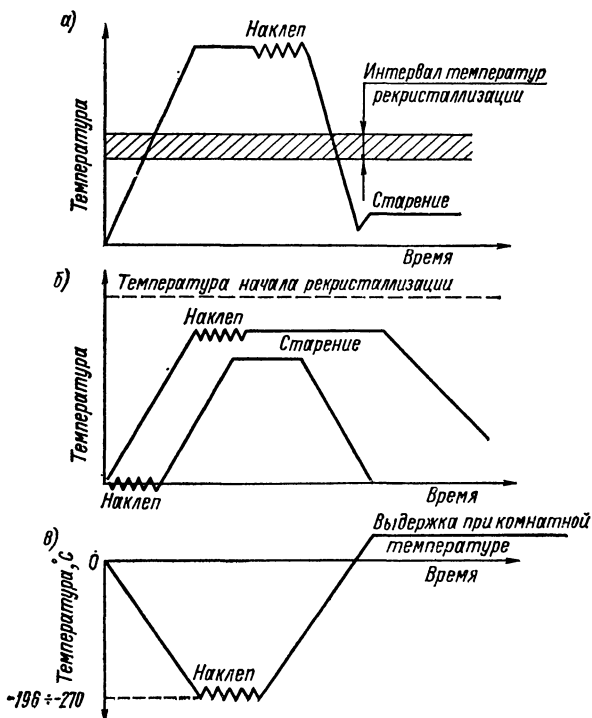


Рис. 2. Схемы механо-термической обработки

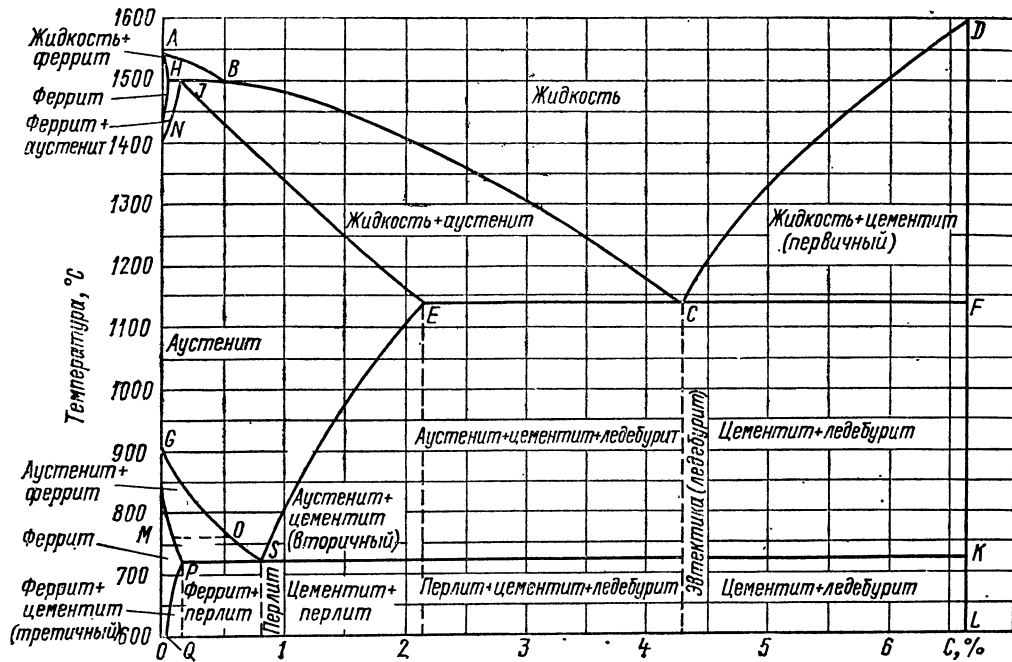


Рис. 3. Диаграмма состояния железа с углеродом

C — 4,3 — массовая доля углерода в жидкой фазе, находящейся в равновесии с аустенитом и цементитом при эвтектической температуре;

H — 0,1 — предельная массовая доля углерода в δ -фазе при перитектической температуре;

J — 0,16 — массовая доля углерода в аустените, находящемся в равновесии с δ -фазой и жидкой фазой при перитектической температуре;

E — 2,14 — предельная массовая доля углерода в аустените, находящемся в равновесии с цементитом при эвтектической температуре;

S — 0,8 — массовая доля углерода в аустените, находящемся в равновесии с ферритом и цементитом при эвтектоидной температуре;

P — 0,02 — предельная массовая доля углерода, растворенного в феррите, находящемся в равновесии с аустенитом и цементитом при эвтектоидной температуре (727 °C).

Температуры превращений:

1499 °C — перитектическое (линия HJB);

1147 °C — эвтектическое (линия ECF);

727 °C — эвтектоидное (линия PSK).

Линия точек Кюри (магнитных превращений) для феррита соответствует 768 °C (линия MO), а для цементита — 217 °C.

Обозначение критических точек (температур) принимается в соответствии с диаграммами равновесия структур железо—углерод (рис. 3) и превращением аустенита при непрерывном охлаждении:

A — обозначение критической точки;

A_c — температура превращения при нагреве;

A_r — температура превращения при охлаждении;

A_1 — температура равновесия аустенита с ферритом и цементитом (линия PK);

A_2 — температура, при которой феррит изменяет свои магнитные свойства (линия MO);

A_3 — температура верхней границы равновесной области феррит—аустенит (линия GS);

A_{c_m} — температура верхней границы равновесной области вторичный цементит — аустенит (линия SE);

A_{c_1} — температура начала образования аустенита при нагреве стали;

A_{c_3} — температура окончания образования аустенита при нагреве доэвтектоидной стали;

A_{r_m} — температура окончания растворения вторичного цементита в аустените при нагреве заэвтектоидной стали;

A_{r_1} — температура окончания превращения аустенита в перлит при охлаждении стали;

A_{r_3} — температура начала превращения аустенита в феррит при охлаждении доэвтектоидной стали;

A_{r_m} — температура начала выделения вторичного цементита из аустенита при охлаждении заэвтектоидной стали;

M_H — температура начала мартенситного превращения;

M_K — температура окончания мартенситного превращения.

В табл. 3 объяснены линии превращения на диаграмме железо—углерод.

Превращение аустенита при охлаждении. Термическая обработка сплавов и, в частности, стали в большинстве случаев состоит в нагреве до температуры образования твердого раствора, выдержке при этих температурах и охлаждении с разными скоростями в зависимости от требуемой конечной структуры и физико-механических свойств.

3. Линии превращения на диаграмме железо — углерод, определяющие конечную структуру стали и чугуна

| Обозначения на диаграмме (рис. 3) | Превращения | |
|-----------------------------------|---|---|
| | при охлаждении | при нагреве |
| A | Температура затвердевания чистого железа | Температура плавления чистого железа |
| ABCD | Начало затвердевания сплава | Полное расплавление сплава |
| CEJHA | Полное затвердевание стали — образование аустенита | Начало плавления стали |
| ECF | Полное затвердевание чугуна — образование ледебурита | Начало плавления чугуна |
| GOS | Начало распада аустенита с образованием феррита. Критические точки Ar_8 | Получение однородного аустенита. Критические точки Ac_8 |
| SE | Начало распада аустенита с образованием цементита. Критические точки Ar_m | Получение однородного аустенита. Критические точки Ac_m |
| PSK | Окончание распада аустенита с образованием перлита. Критические точки Ar_1 | Начало образования аустенита (превращение перлита в аустенит). Критические точки Ac_1 |
| GP | Окончание превращения аустенита в феррит (при малом содержании углерода в сплаве) | Начало превращения феррита в аустенит |
| PQ | Начало выделения из феррита частиц цементита (третьичного) | Окончание растворения третичного цементита |
| MO | Приобретение ферритом магнитных свойств | Потери ферритом магнитных свойств |

Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом (рис. 3) дает представление о структурных превращениях, протекающих в железо-углеродистых сплавах при очень медленном (равновесном) нагреве или охлаждении. При увеличении скорости охлаждения превращение аустенита под воздействием переохлаждения смещается в область низких температур, что используется при термической обработке стали, так как это позволяет существенно изменять структуру стали и придавать ей различные физико-механические свойства.

При увеличении скорости охлаждения критическая точка Ar_2 снижается больше, чем Ar_1 ; разрыв между этими точками уменьшается, и при некоторой скорости охлаждения они сливаются в одну точку Ar' (рис. 4).

С повышением скорости охлаждения частицы цементита, выделяющиеся из аустенита, становятся мельче и их можно различить под микроскопом только при больших увеличениях. Образуется сорбит, который отличается от перлита лишь размерами цементитных включений (см. табл. 4).

При больших скоростях охлаждения частицы цементита делаются настолько мелкими, что их не удается различить через обычный микроскоп. Образуется троостит, строение которого не отличается от строения перлита и сорбита. Выделение цементита из аустенита при образовании перлита, сорбита и троостита сопровождается перестройкой кристаллической решетки γ -железа в кристаллическую решетку α -железа.

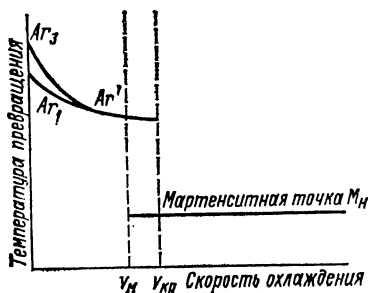


Рис. 4. Зависимость температуры $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения от скорости охлаждения: V_n — скорость охлаждения, при которой в структуре появляются участки мартенсита; $V_{кр}$ — критическая скорость охлаждения, при которой в структуре образуется только мартенсит

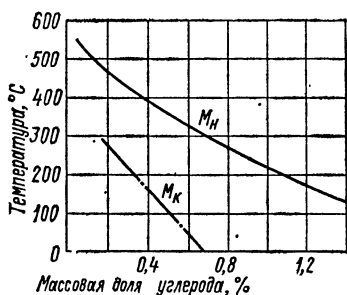


Рис. 5. Влияние содержания углерода в переохлажденном аустените на температуру образования мартенсита: M_n — температура начала образования мартенсита; M_k — температура окончания образования мартенсита

При критической скорости закалки распад аустенита прекращается, и переохлажденный аустенит образует при температуре ~ 250 — 300 °C игольчатую структуру: называемую *мартенситом*. Прямая линия (рис. 4), характеризующая это превращение, соответствует температуре начала мартенситного превращения (точка M_n). Точка M_n практически не зависит от скорости охлаждения, а зависит от химического состава стали, особенно от содержания в стали углерода. С повышением содержания углерода, растворенного в аустените, точка M_n смещается в сторону более низких температур (рис. 5).

При температуре, соответствующей M_n , значительная доля аустенита почти мгновенно превращается в мартенсит. Однако некоторое количество его остается и претерпевает превращение только при дальнейшем охлаждении — дополнительной обработке при низких температурах (обработка холодом). Температура окончания превращения аустенита в мартенсит зависит от состава стали и называется *точкой M_k* .

Ниже 450 — 500 °C и выше 200 — 250 °C имеет место промежуточное бейнитное превращение аустенита, отличающееся от перлитного распада и мартенситного превращения, хотя и содержащее некоторые сходные элементы этих превращений. Бейнит (продукт диффузионного распада аустенита) представляет собой феррито-карбидную смесь, но в отличие от феррита перлита феррит бейнита содержит больше углерода. Бейнит, образовавшийся при высокой температуре, значительно

отличается от бейнита, образовавшегося при низкой температуре превращения; отсюда и пошло различие в названиях — верхний и нижний бейниты.

Верхний бейнит, образовавшийся при температуре около 400 °С, имеет вид «резаной соломы» или «пера», нижний бейнит имеет игольчатое строение, похожее на мартенсит. Верхний и нижний бейниты отличаются также и по механическим свойствам. Таким образом, в зависимости от скорости охлаждения твердого раствора (аустенита) в стали могут протекать следующие основные превращения:

| | | |
|----------------------------------|--------------------------|--|
| Увеличение скорости охлаждения ↓ | Перлитное превращение | Продукты превращения — механическая смесь феррита и цементита различной степени дисперсности |
| | Бейнитное превращение | Продукты превращения — промежуточные от механической смеси до игольчатой структуры |
| | Мартенситное превращение | Продукты превращения — однородная игольчатая структура |

В практике термической обработки при регулировании переохлаждения аустенита для получения требуемой структуры пользуются С-образными кривыми, получаемыми для каждой марки стали опытным путем. Эти кривые дают наглядную картину зависимости образующей структуры стали от температуры переохлаждения аустенита. При построении С-образных кривых по оси ординат откладывается температура переохлаждения аустенита, а по оси абсцисс — время в логарифмическом масштабе. Первая С-образная кривая, расположенная ближе к оси ординат, соответствует началу превращения аустенита, вторая — соответствует окончанию этого превращения. Пользуясь С-образными кривыми (диаграммами изотермического распада аустенита), можно представить, как будет происходить превращение в условиях непрерывного охлаждения с разной скоростью. Однако одних только представлений бывает недостаточно, необходимо знать дополнительные качественные данные — зависимость от скорости охлаждения, образующуюся твердость. В настоящее время широко применяются термокинетические диаграммы превращения аустенита, представляющие собой графическое обобщение С-образных кривых и кривых скоростей охлаждения в одном графике.

На рис. 6 и 7 приведены две диаграммы изотермического превращения аустенита для одной и той же марки хромоникелевомолибденовой стали марки 30Х2Н2М. Одна из них термокинетическая диаграмма (рис. 7). Более подробные сведения о С-образных кривых и термокинетических диаграммах приведены в работе [45].

Превращения при отпуске. При отпуске закаленной стали структура, полученная закалкой, неустойчива и стремится к превращению в более равновесное состояние. Нагрев облегчает этот переход, так как с повышением температуры увеличивается подвижность атомов. При отпуске происходят следующие превращения.

1. Распад мартенсита. Первоначально в области низких температур (100—150 °С) образуется мартенсит отпуска; повышение температуры отпуска (150—300 °С) сопровождается распадом мартенсита отпуска в феррито-карбидную смесь.

2. Распад остаточного (нераспавшегося) аустенита (интервал температур 200—300 °С) в феррито-карбидную смесь.

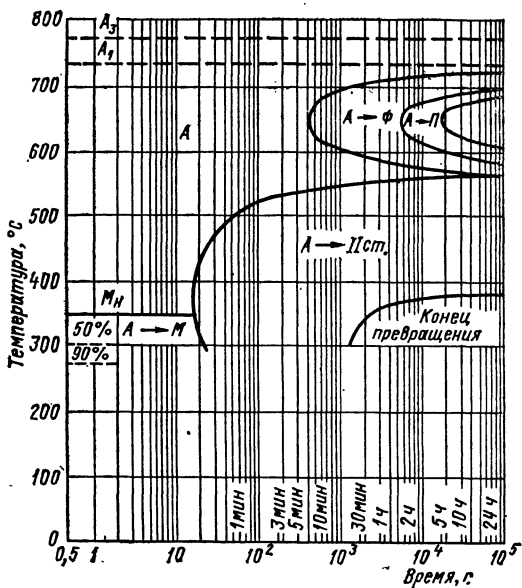


Рис. 6. С-образная диаграмма для стали марки 30X2H2M

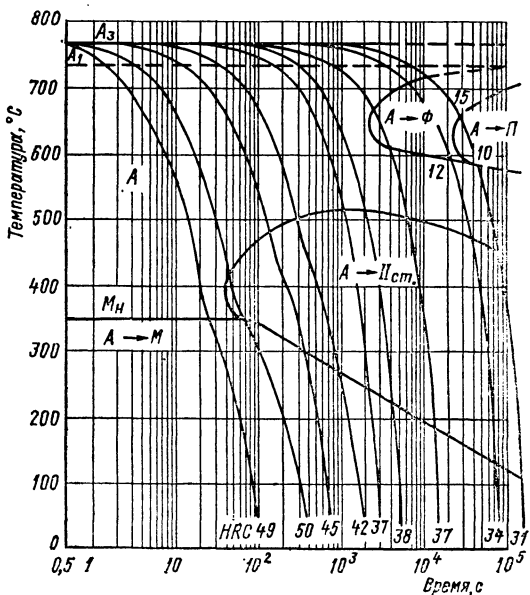


Рис. 7. Термокинетическая диаграмма для стали марки 30X2H2M

3. Релаксационные процессы (при 300—400 °С), связанные с уменьшением искаженности кристаллической решетки и снятием внутренних напряжений.

4. К концу третьего превращения заканчивается распад мартенсита с образованием очень мелкой феррито-карбидной смеси. Процесс объединения мелких частиц в крупные (коагуляция) начинается при 300—400 °С и развивается выше 400 °С. Этот процесс сопровождается сфероидизацией (округлением) мелких карбидных пластинок, т. е. превращением пластинчатых карбидных выделений в округлые.

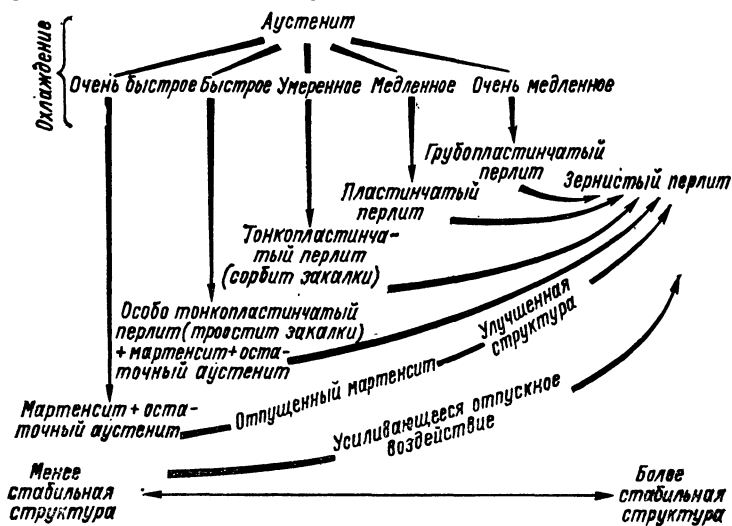


Рис. 8. Влияние скорости охлаждения при закалке на микроструктуру стали (сталь эвтектоидного состава)

Таким образом, результаты отпуска определяются теми структурными процессами, которые происходят в закаленной стали при ее нагреве. Эти процессы зависят главным образом от температуры нагрева и продолжительности выдержки. Скорость нагрева и охлаждения имеет меньшее значение и учитывается лишь в отдельных частных случаях (например, когда сталь склонна к отпускной хрупкости — требуется ускоренное охлаждение после отпуска).

На рис. 8 приведена схема процессов, происходящих при закалке и отпуске углеродистой эвтектоидной стали.

Превращения, происходящие при термической обработке цветных сплавов. Для цветных сплавов обычно применяется отжиг первого рода (без перекристаллизации). Однако широко применяется и смягчающий отжиг, особенно для термически упрочняемых алюминиевых сплавов (типа дуралюмин, авиаль и др.). Для этих же сплавов используется неполный (сокращенный) смягчающий отжиг. Он применяется не только для алюминиевых сплавов, а используется также для двухфазных латуней и других сплавов.

Для цветных сплавов — алюминиевых, магниевых, никелевых, медных и других — в промышленности часто применяется закалка без полиморфного превращения, основанная на изменении растворимости фаз в твердом растворе при нагреве до повышенных температур (эта

операция аналогична дисперсионному твердению). Сущность такой закалки рассмотрим на примере.

В цветном сплаве C_0 (рис. 9) при нагреве до температуры закалки $T_{зак}$ β -фаза растворится в матричной α -фазе. При выдержке и последующем охлаждении с $T_{зак}$ в твердом растворе фиксируется элемент B в концентрации, свойственной для температуры T_0 , характеризующей точкой n . При комнатной температуре такой твердый раствор будет пересыщенным, так как его равновесная концентрация характеризуется точкой b . Таким образом, при закалке без полиморфного превращения образуется пересыщенный твердый раствор. В дальнейшем закаленный сплав подвергается естественному (при комнатной температуре) или искусственному (при повышенной температуре) старению, при

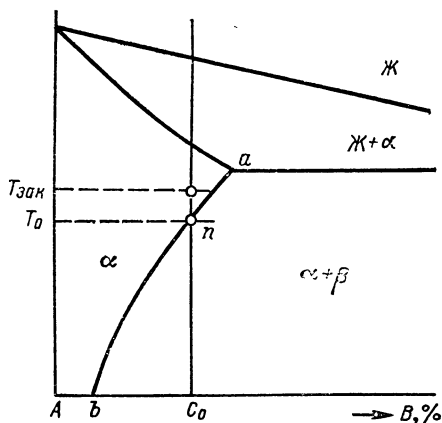


Рис. 9. Схема закалки без полиморфного превращения


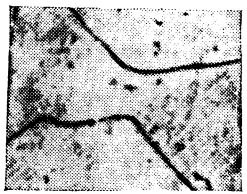

котором из матричной α -фазы выделяется в мелкодисперсном виде элемент B (обычно в виде химического соединения) и сплав упрочняется. В этом, собственно, сущность упрочняющей термической обработки цветных сплавов без полиморфного превращения. Время выдержки при температуре нагрева под закалку выбирают так, чтобы завершились процессы растворения избыточных фаз. Чем дисперснее избыточные фазы, тем быстрее они растворяются.

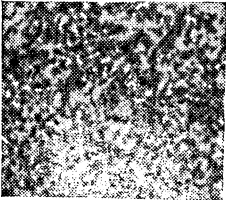
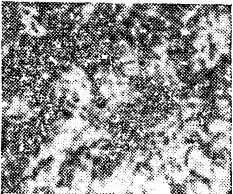
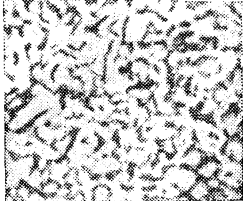
С понятием «закалка» обычно ассоциируется представление о быстром охлаждении. Часто многие изделия закачивают в воде. Однако при закалке цветных сплавов необязательно очень быстрое охлаждение. Необходимо стремиться, чтобы при охлаждении не успел произойти распад матричного раствора. В зависимости от скорости этого распада скорость охлаждения при закалке может быть различной. Для одних сплавов обязательна закалка в воде, а для других, в которых твердый раствор распадается медленно, можно производить закалку с охлаждением в спокойном и сжатом воздухе.


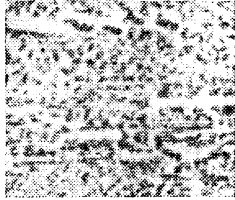
3. Структура и структурные составляющие в стали и чугуне

В табл. 4 приведены наиболее часто встречающиеся структуры и структурные составляющие в стали и чугуне и рассмотрены некоторые их свойства.

4. Структуры и структурные составляющие в стали и чугуне

| Структура | Определение | Характеристика | Твердость НВ | Микроструктура |
|-----------|--|--|-----------------|---|
| Аустенит | Твердый раствор углерода и других элементов в γ -железе | Немагнитен. Кристаллическая решетка кубическая, графоцентрированная | 170—200 |  <p>×100</p> |
| Феррит | Твердый раствор небольшого количества углерода и других элементов в α -железе | Магнитен при температуре ниже 768 °С, кристаллическая решетка кубическая объемноцентрированная. Массовая доля углерода до 0,02 % | 80—100 |  <p>×100</p> |
| Цементит | Карбид железа, массовая доля углерода 6,67 % | Магнитен при температуре ниже 217 °С. Кристаллическая решетка сложная ромбическая | 700 |  <p>Выпадение цементита по границам зерен (белые участки) ×100</p> |

| Структура | Определение | Характеристика | Твердость НВ | Микроструктура |
|-----------|---|--|-----------------|--|
| Сорбит | Механическая смесь феррита и цементита, отличающаяся от перлита более тонким строением (высокой дисперсностью) | Магнитен. Образуется в процессе ускоренного охлаждения при распаде аустенита в интервале температур 600—700 °С (сорбит закалки) или при отпуске мартенсита (сорбит отпуска). Массовая доля углерода не лимитирована | 270—320 |  <p data-bbox="751 663 813 688">× 500</p> |
| Троостит | Механическая смесь феррита и цементита, отличающаяся от сорбита еще более высокой степенью дисперсности | Магнитен. Образуется при ускоренном охлаждении при распаде аустенита в интервале температур 400—600 °С (троостит закалки), а также при отпуске мартенсита (троостит отпуска). Массовая доля углерода не лимитирована | 330—450 |  <p data-bbox="740 1075 808 1100">× 100</p> |
| Бейнит | Механическая смесь пересыщенного углеродом α-твердого раствора и карбидов. Образуется в результате распада аустенита в условиях интенсивного переохлаждения (обычно при 450—200 °С) | Магнитен. Различают верхний бейнит, образующийся в верхней зоне промежуточного превращения, и нижний бейнит, образующийся при температурах, близких к M_n | 400—500 |  <p data-bbox="735 1503 802 1528">× 500</p> |

| Структура | Определение | Характеристика | Твердость HВ | Микроструктура |
|-----------|--|---|-----------------|---|
| Мартенсит | Пересыщенный твердый раствор углерода и других элементов в α -железе, полученный из аустенита в результате бездиффузионного превращения (перестройки кристаллической решетки γ -железа без изменения массовой доли углерода) | Магнитен. Кристаллическая решетка кубическая, объемноцентрированная. Микроструктура, как правило, игольчатого вида. Образуется в процессе быстрого охлаждения при температуре ниже 200—250 °С. Массовая доля углерода не лимитирована | 500—700 |  <p>×500</p> |
| Ледебурит | Механическая смесь, состоящая в момент образования из аустенита и цементита (эвтектика). При дальнейшем охлаждении аустенит распадается с образованием феррито-цементитной смеси | Массовая доля углерода 4,3 %. Отличается большой твердостью и хрупкостью. Образуется при температуре 1147 °С (линия ECF) | >700 |  <p>×100</p> |

Г Л А В А II

И С Х О Д Н Ы Е Д А Н Н Ы Е Д Л Я У С Т А Н О В Л Е Н И Я Р Е Ж И М О В Т Е Р М И Ч Е С К О Й О Б Р А Б О Т К И

4. Прогрессивные методы нагрева при термической обработке

Выбор способа нагрева под определенную операцию термической обработки — важный этап в общем цикле ее выполнения. При выборе способа нагрева следует руководствоваться двумя основными факторами: качеством нагрева и затратами энергоносителей, потребных для его выполнения, так как экономия энергоресурсов при выполнении термических операций приобретает актуальное значение.

В настоящее время в промышленности широко применяются газовые и электрические печи для нагрева под различные операции термической и химико-термической обработки, повсеместно внедрены различные виды индукционного нагрева. Все большее развитие приобретает электрический вакуумный нагрев. Помимо перечисленных прогрессивных способов нагрева, ставших традиционными, в последнее время появилось много новых методов нагрева, которые или внедрены в производство или находятся в стадии внедрения. Начинают применяться тлеющий разряд, лазерный и электронный нагревы и многие другие методы.

Нагрев с помощью тлеющего разряда заметно ускоряет процесс химико-термической обработки, протекающий в ионизированной атмосфере при пониженном давлении, при этом улучшается качество химико-термической обработки. Например, длительность ионного азотирования в тлеющем разряде в 1,5—2 раза меньше длительности обыкновенного газового азотирования.

Обработка материалов сфокусированным излучением лазера является научным и техническим направлением технологии машиностроения.

Для ряда марок стали при лазерной обработке наблюдается эффект поверхностного упрочнения. Опыты показали, что после воздействия луча оптического квантового генератора на поверхность образцов из стали марок 45, ХВГ и других микротвердость в зоне обработки повышается в три—семь раз. Применение лазерных нагревательных установок дает возможность повысить концентрацию мощности на поверхности изделий до 10^8 кВт/см². Однако для термической обработки применяют удельную мощность порядка нескольких десятков киловатт на квадратный сантиметр. Процесс нагрева поверхности изделий с помощью сфокусированного пучка лазерного излучения может осуществляться в атмосфере воздуха, а если учесть, что лазерные установки не дороже обычных, традиционных нагревательных устройств, то весь процесс лазерной термической обработки экономически приемлем.

В настоящее время для упрочнения штампов и режущего инструмента применяются промышленные лазерные установки. Стойкость штампов при лазерном упрочнении повышается в два—десять раз, стойкость режущего инструмента (фрезы, протяжки, развертки и др.) в два раза. Лазерное упрочнение обычно производится на окончательно изготовленном инструменте.

Весьма перспективным является электронный нагрев изделий. При помощи электронных нагревательных устройств можно получать значительные концентрации мощности 10^3 — 10^5 кВт/см². Однако высокая стоимость оборудования (процесс может протекать только в вакууме) ограничивает широкое применение электронного нагрева. Перспективен также метод нагрева в средах, которые называются «кипящий слой». В этих средах с успехом применяется нагрев под термическую обработку, химико-термическую обработку и охлаждение при закалке. Скорость нагрева в кипящем слое в шесть—семь раз выше, чем в электрических печах, при этом обеспечивается равномерность температуры по всему рабочему объему ± 1 °С. Метод нагрева в кипящем слое должен найти широкое применение в промышленности.

5. Влияние легирующих элементов на свойства стали

Введение в сталь специальных легирующих элементов существенно влияет на смещение критических точек как по температуре, так и по составу. Это смещение тем значительнее, чем больше введено легирующих элементов. Кроме того, легирующие элементы влияют на величину

5. Влияние легирующих элементов на свойства стали

| Наименование элемента | Температура нормализации, отжига и закали | Твердость и прочность | Прокаливаемость | Склонность к перегреву | Пластичность | Прочность при высоких температурах | Склонность к отпусковой хрупкости | |
|-----------------------|---|--------------------------|-----------------|-------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Алюминий | Заметно повышается | Повышаются незначительно | Понижается | Уменьшается | При малом содержании незначительно повышается | Мало влияет | Увеличивается | |
| Ванадий | Повышается | Повышаются | — | Значительно уменьшается | Повышается | | — | |
| Вольфрам | | | Увеличивается | Уменьшается | При содержании <1% повышается | Значительно повышается | Уменьшается | |
| Кобальт | Мало влияет | Повышаются незначительно | Уменьшается | Мало влияет | Мало влияет | Незначительно повышается | — | |
| Кремний | Повышается | | | | Понижается | | | |
| Марганец | Понижается | Повышаются | Увеличивается | Мало влияет | Незначительно увеличивается | Мало влияет | Увеличивается | |
| Молибден | Повышается | | | | Сильно увеличивается | Повышается при содержании до 0,5—0,6% | Повышается | Уменьшается |
| Никель | Понижается | | | | Увеличивается | Незначительно повышается | Мало влияет | |
| Ниобий | Повышается | Понижаются | — | — | Повышается | — | Незначительно уменьшается | |

| Наименование элемента | Температура нормализации, отжига и заковки | Твердость и прочность | Прокаливаемость | Склонность к перегреву | Пластичность | Прочность при высоких температурах | Склонность к отпусковой хрупкости |
|-----------------------|--|--------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Титан | Значительно повышается | Повышаются незначительно | — | Уменьшается | Повышается незначительно | Мало влияет | — |
| Хром | Повышается | Повышаются | Увеличивается | Незначительно уменьшается | Не снижается при содержании до 1,5 % | Повышается | Увеличивается |

6. Влияние легирующих элементов на величину зерна стали

| Легирующие элементы | Влияние элемента | Легирующие элементы | Влияние элемента |
|-----------------------------------|--|---------------------|---|
| C, Mn, B, P, Sb | Увеличивает склонность к росту зерна | W, Mo, Cr | Задерживает рост зерна в определенных температурных интервалах |
| Ti, V, Ta, Nb, Zr, Al, Te, Se, Be | Активно задерживает рост зерна даже при малых добавках | Si, Cu, Co, Ni | Оказывает двойственное влияние в зависимости от состава стали и содержания в ней данного элемента |

зерна закаливаемость и прокаливаемость стали, а также на ее физико-механические и технологические свойства. В табл. 5 показано влияние легирующих элементов на свойства стали, а в табл. 6 — влияние легирующих элементов на величину зерна стали.

6. Температура критических точек стали

Критические точки некоторых марок стали приведены в табл. 7—9,

7. Нормативы времени нагрева и выдержки стальных изделий

Время нагрева стальных изделий до заданной температуры или скорость нагрева зависят главным образом от температуры нагрева, степени легированности стали, конфигурации изделий, мощности и типа печи, величины садки, способа укладки изделий и других факторов. В табл. 10 приведены нормы времени нагрева стальных изделий до заданной температуры.

7. Температура (°C) критических точек некоторых марок конструкционной стали

| Марка стали | A_{c1} | A_{c3} | A_{r1} | A_{r3} | Марка стали | A_{c1} | A_{c3} | A_{r1} | A_{r3} |
|-------------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| 10 | 730 | 875 | 680 | 855 | 50X | 721 | 771 | 660 | 692 |
| 20 | 735 | 855 | 680 | 835 | 20XH | 735 | 805 | 660 | 790 |
| 30 | 735 | 812 | 675 | 796 | 40XH | 735 | 768 | 660 | 701 |
| 35 | 730 | 802 | 691 | 791 | 18XГ | 765 | 838 | 700 | 798 |
| 40 | 727 | 788 | 688 | 727 | 38XC | 763 | 810 | 680 | 755 |
| 45 | 725 | 770 | 690 | 720 | 40XC | 765 | 810 | 680 | 725 |
| 50 | 720 | 760 | 690 | 720 | 20XM | 743 | 843 | 504 | 746 |
| 65 | 727 | 752 | 696 | 730 | 30XMA | 755 | 805 | 675 | 765 |
| 20Г | 736 | 853 | 681 | 834 | 25XФ | 768 | 840 | 704 | 782 |
| 40Г | 726 | 790 | 689 | 768 | 40XФА | 755 | 790 | 700 | 745 |
| 50Г | 726 | 774 | 689 | 754 | 18X2H4MA | 700 | 810 | — | — |
| 30Г2 | 718 | 804 | 627 | 727 | 20XH2M | 700 | 800 | 400 | — |
| 40Г2 | 710 | 780 | 627 | 710 | 12XH2 | 732 | 795 | 671 | 768 |
| 45Г2 | 711 | 765 | 626 | 704 | 12XH3A | 715 | 773 | 659 | 726 |
| 50Г2 | 711 | 765 | 626 | 704 | 20XH3A | 700 | 760 | 650 | 630 |
| 20X | 765 | 838 | 700 | 798 | 12X2H4A | 720 | 780 | 575 | 660 |
| 40X | 743 | 782 | 693 | 730 | 40XH2MA | 732 | 774 | — | 469 |

8. Температура (°C) критических точек некоторых марок инструментальной стали

| Марка стали | A_{c1} | A_{c3} или A_{cm} | A_{r3} или A_{rm} | A_{r1} | M_H | M_K |
|-------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|----------|-------|-------|
| У7, У7А | 725 | 765 | — | 700 | 280 | — |
| У8, У8А | 720 | 740 | — | 700 | 245 | — |
| У9, У9А | 730 | 760 | — | 700 | 190 | — |
| У10, У10А | 730 | 800 | — | 700 | 210 | — |
| У12, У12А | 730 | 820 | — | 700 | 200 | —20 |
| 7XФ | 770 | 780 | 740 | 710 | — | — |
| 9XФ | 700 | — | — | — | 215 | — |
| 13X | 760 | 780 | 740 | 710 | — | — |
| X | 745 | 900 | — | 700 | 240 | — |
| 9XC | 770 | 870 | — | 730 | 160 | —30 |
| XBG | 750 | 940 | — | 710 | 210 | —50 |
| X12M | 830 | 855 | 785 | 750 | 230 | 0 |
| X12Ф1 | 810 | 860 | 780 | 760 | 225 | 0 |
| 7X3 | 760— | — | — | 730 | 400 | — |
| | 770 | — | — | — | — | — |
| 5XHM | 730 | 780 | 640 | 610 | 230 | — |
| 5XГM | 700 | 800 | — | — | 215 | — |
| 4X2B5MФ | 820 | 840 | 840 | 690 | 205 | 100 |
| 3X2B8 | 800 | 850 | 750 | 690 | 380 | — |
| 6XC | 770 | 830 | — | — | 250 | — |
| 5XB2C | 775 | 860 | — | — | 295 | — |
| P18 | 820 | 860 | 770 | 725 | — | — |
| P9 | 820 | 870 | 780 | 740 | — | — |
| P6M5 | 815 | 880 | 790 | 730 | — | — |
| P6M3 | 800 | 860 | 780 | 720 | — | — |
| P18Ф2 | 800 | 850 | 770 | 725 | — | — |
| P6M5Ф3 | 815 | 875 | — | — | — | — |
| P18Ф2K5 | 830 | 860 | 780 | 750 | — | — |
| P9K5 | 815 | 850 | 760 | 725 | — | — |
| P9K10 | 840 | 870 | 820 | 785 | — | — |
| P9M4K8 | 800 | 840 | 790 | 750 | — | — |
| P6M5K5 | 840 | 875 | 805 | 765 | — | — |

9. Температура (°С) критических точек
пружинных марок стали общего назначения

| Марка стали | A_{c1} | A_{c2} | Марка стали | A_{c1} | A_{c3} |
|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| 65 | 727 | 752 | 55С2 | 775 | 840 |
| 70 | 730 | 743 | 55С2А | 775 | 840 |
| 75 | 730 | — | 60С2 | 750 | 820 |
| 85 | 730 | — | 60С2А | 750 | 820 |
| У9А | 730 | — | 50ХГ | 750 | 775 |
| У10А | 730 | — | 50ХГА | 750 | 775 |
| | | | 55ХГР | 750 | 790 |

При расчетах времени нагрева нужно принимать во внимание способ укладки изделий. На рис. 10 приведены значения коэффициентов времени нагрева ($K_{расп}$) в зависимости от расположения изделий в печи.







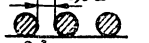




| Расположение изделий | Коэффициент времени нагрева $K_{расп}$ | Расположение изделий | Коэффициент времени нагрева $K_{расп}$ |
|---|--|--|--|
|  | 1 |  | 1 |
|  | 1 |  | 1,4 |
|  | 2 |  | 4 |
|  | 1,4 |  | 2,2 |
|  | 1,3 |  | 2,0 |
| | |  | 1,8 |

Рис. 10. Коэффициенты времени нагрева в зависимости от расположения изделий в печи (d — диаметр или сторона квадрата)

Время выдержки изделий при данной температуре так же, как и время нагрева, зависит от многих факторов, влияющих на процессы растворения и структурных превращений, происходящих в стали.

В табл. 11—14 приведено время выдержки изделий в зависимости от их условной толщины¹ (время выдержки исчисляется с момента достижения изделиями заданной температуры). Условная толщина изделия (стенки) определяется как произведение ее фактической средней толщины на коэффициент формы, зависящий от соотношения между

¹ Для некоторых высоколегированных марок стали и сплавов, инструментальных марок стали, для которых требуются особые условия по длительности выдержки, данные табл. 11—14 неприемлемы. Для таких марок стали и сплавов длительность выдержки устанавливается в зависимости от диффузионных и структурных процессов, протекающих в сплавах применительно к конкретным маркам.

10. Нормы времени нагрева изделий из углеродистой и легированной стали

| Способ нагрева | Температура нагрева, °С | Время нагрева на 1 мм диаметра изделия, с | |
|--|---------------------------------|---|-----------------------|
| | | из углеродистой стали | из легированной стали |
| Газовая печь То же с упакованными в ящике изделиями | 800—900 800—900 | 60—70 90—100 | 65—80 120—150 |
| Электропечь | 770—820 820—880 | 60—65 50—55 | 70—75 60—65 |
| Соляная ванна | 770—820 820—880 | 12—14 10—12 | 18—20 16—18 |
| Свинцовая ванна | 1240—1310 820—880 770—820 | 9—11 5—7 6—8 | 11—13 7—8 8—10 |

11. Время выдержки изделий в электропечах при нагреве под закалку

| Условная толщина * изделия, мм | Выдержка, мин | Условная толщина * изделия, мм | Выдержка, мин |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| 20 | 20 | 65 | 65 |
| 25 | 25 | 70 | 70 |
| 30 | 30 | 75 | 75 |
| 35 | 35 | 80 | 80 |
| 40 | 40 | 85 | 85 |
| 45 | 45 | 90 | 90 |
| 50 | 50 | 95 | 95 |
| 55 | 55 | 100 | 100 |
| 60 | 60 | | |

Примечания: 1. Время выдержки при температуре закалики взято из расчета 1 мин на 1 мм условной толщины. 2. Определение условной толщины см. рис. 11.

* Фактическая толщина изделия, умноженная на коэффициент формы.

12. Время выдержки изделий в соляных ваннах при нагреве под закалку

| Условная толщина изделия, мм | Выдержка, мин | Условная толщина изделия, мм | Выдержка, мин |
|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| 5 | 4 | 30 | 13 |
| 7 | 5 | 35 | 14 |
| 10 | 6 | 40 | 16 |
| 15 | 8 | 45 | 18 |
| 20 | 9 | 50 | 21 |
| 25 | 11 | | |

Примечания: 1. Время выдержки при температуре закалики взято из расчета 2,5 мин + 0,3 мин на 1 мм условной толщины. 2. Определение условной толщины см. рис. 11.

**13. Время выдержки изделий в электропечах
при отпуске или низкотемпературном отжиге**

| Условная толщина изделия, мм | Выдержка (мин) при температуре, °С | | | Условная толщина изделия, мм | Выдержка (мин) при температуре, °С | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----|
| | 300 | 320— 400 | 400 | | 300 | 320— 400 | 400 |
| До 20 | 140 | 40 | 30 | 65 | 185 | 85 | 75 |
| 25 | 145 | 45 | 35 | 70 | 190 | 90 | 80 |
| 30 | 150 | 50 | 40 | 75 | 195 | 95 | 85 |
| 35 | 155 | 55 | 45 | 80 | 200 | 100 | 90 |
| 40 | 160 | 60 | 50 | 85 | 205 | 105 | 95 |
| 45 | 165 | 65 | 55 | 90 | 210 | 110 | 100 |
| 50 | 170 | 70 | 60 | 95 | 215 | 115 | 105 |
| 55 | 175 | 75 | 65 | 100 | 220 | 120 | 110 |
| 60 | 180 | 80 | 70 | | | | |

Примечания: 1. Время выдержки взято из расчета: а) при температуре отпуска <300 °С 2 ч + 1 мин на 1 мм условной толщины; б) при температуре отпуска 300—400 °С 20 мин + 1 мин на 1 мм условной толщины; в) при температуре отпуска >400 °С 10 мин + 1 мин на 1 мм условной толщины. 2. Определение условной толщины см. рис. 11.

**14. Время выдержки изделий при отпуске в соляных
(селитровых) ваннах**

| Условная толщина изделия, мм | Выдержка (мин) при температуре, °С | | | Условная толщина изделия, мм | Выдержка (мин) при температуре, °С | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----|
| | 300 | 320— 480 | 480 | | 300 | 320— 480 | 480 |
| 1 | | | 3 | 25 | | | 13 |
| 3 | | | 4 | 30 | | | 15 |
| 5 | | | 5 | 35 | | | 17 |
| 7 | 120 | 15—25 | 6 | 40 | 120 | 15—25 | 19 |
| 10 | | | 7 | 45 | | | 21 |
| 15 | | | 9 | 50 | | | 23 |
| 20 | | | 11 | | | | |

Примечания: 1. Время выдержки взято из расчета: а) при температуре отпуска <300 °С 120 мин; б) при температуре отпуска 300—400 °С 15—25 мин; в) при температуре отпуска >480 °С 3 мин + 0,4 мин на 1 мм условной толщины. 2. Определение условной толщины см. рис. 11.

15. Нормы продолжительности цикла термообработки стальных и чугунных отливок

| Материал | Термическая обработка | Форма и толщина массивных частей отливок, мм | Пределы температуры нагрева печи, °С | Продолжительность термообработки без учета времени на загрузку и разгрузку отливок, ч | |
|--------------------------------------|---|--|--|---|--------------------------------|
| | | | | всего | в том числе время работы топки |
| Низкоуглеродистая сталь | Нормализация | До 100 | 890—920 | 12—18 | 8—12 |
| | | Св. 100 | 890—920 | 19—25 | 13—17 |
| Высокоуглеродистая сталь | Нормализация | До 100 | 860—880 | 10—15 | 8—13 |
| | | Св. 100 | 860—880 | 16—21 | 14—18 |
| | Отпуск | До 100 | 580—650 | 2—16 | 6—11 |
| | | Св. 100 | 580—650 | 14—23 | 9—16 |
| Низколегированная сталь | Отжиг | До 100 | 870—890 | 18—31 | 15—26 |
| | | Св. 100 | 870—890 | 27—41 | 22—34 |
| | | Нормализация | До 100 | 880—900 | 10—15 |
| Св. 100 | 880—900 | | 16—21 | 14—18 | |
| | Отпуск | До 100 | 520—650 | 15—22 | 12—17 |
| | | Св. 100 | 520—650 | 20—27 | 15—20 |
| Легированная сталь | Отжиг | До 100 | 860—880 | 22—31 | 19—26 |
| | | Св. 100 | 860—880 | 31—41 | 25—34 |
| | | Нормализация | До 100 | 870—890 | 12—15 |
| Св. 100 | 870—890 | | 17—21 | 15—18 | |
| | Отпуск | До 100 | 520—650 | 19—25 | 16—20 |
| | | Св. 100 | 520—650 | 24—31 | 19—24 |
| Высоколегированная сталь | — | — | Режим термообработки устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от марки стали | | |
| Высокомарганцовая сталь (Г13Л и др.) | Закалка в воде | До 100 | 1050—1100 | 17 | 17 |
| | | Св. 100 | 1050—1100 | 24 | 24 |
| Серый чугун | Низкотемпературный отжиг (искусственное старение) | До 100 | 520—570 | 17—20 | 13—17 |
| | | Св. 100 | 520—570 | 18—21 | 13—17 |

| Материал | Термическая обработка | Форма и толщина массивных частей отливок, мм | Пределы температуры нагрева печи, °С | Продолжительность термообработки без учета времени на загрузку и разгрузку отливок, ч | |
|----------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| | | | | всего | в том числе время работы топки |
| Высокопрочный чугун | Отжиг | Простая конфигурация | 900—950 | 19—27 | 14,5—20,5 |
| | | Сложная конфигурация | | 24—30 | 19,5—23,5 |
| | Снятие напряжений | Простая конфигурация | 500 | 12—16 | 10—13 |
| | | Сложная конфигурация | | 21—25 | 19—22 |
| Ковкий чугун | Отжиг в элеваторных электропечах | До 100 Св. 100 | 950—970 950—970 | 31—39 37—45 | 25—32 29—36 |
| | Отжиг в тоннельных печах | — | 1010—1030 | 39—58 | 38—57 |
| | Отжиг в камерных печах | — | 980 | 46* | 36 |
| Чугунные кокильные отливки | Отжиг | — | 850—950 | 18—22 | 17—21 |

Примечания: 1. В цикл термообработки входит время, затрачиваемое на нагрев, выдержку, охлаждение в печи, охлаждение на воздухе при продолжении режима термической обработки в той же печи и на окончательное охлаждение на воздухе, которое составляет в зависимости от условий от 1 до 5 ч. 2. Продолжительность цикла термообработки разностенных отливок, а также отливок сложной конфигурации принимается ближе к верхнему пределу.

* Полный цикл термообработки с загрузкой и выгрузкой печи.

16. Продолжительность сквозного нагрева изделий различного сечения до 800—850 °С при нагреве в различных печах

| Тип печи | Продолжительность нагрева (с) на 1 мм диаметра или толщины изделия | | |
|--------------------|--|--------------------|-----------------------|
| | Круглое сечение | Квадратное сечение | Прямоугольное сечение |
| Электрическая печь | 40—50 | 50—60 | 60—75 |
| Пламенная » | 35—40 | 45—50 | 55—60 |
| Соляная ванна | 12—15 | 15—18 | 18—22 |
| Свинцовая » | 6—8 | 8—10 | 10—12 |

17. Продолжительность выравнивания температуры при нагреве поковок под закалку

| Диаметр поковки, мм | Время выравнивания, ч | Диаметр поковки, мм | Время выравнивания, ч |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 300 | 3,3 | 700 | 9,8 |
| 400 | 4,8 | 800 | 4,7 |
| 500 | 6,3 | 900 | 13,6 |
| 600 | 8,1 | 1000 | 15,6 |

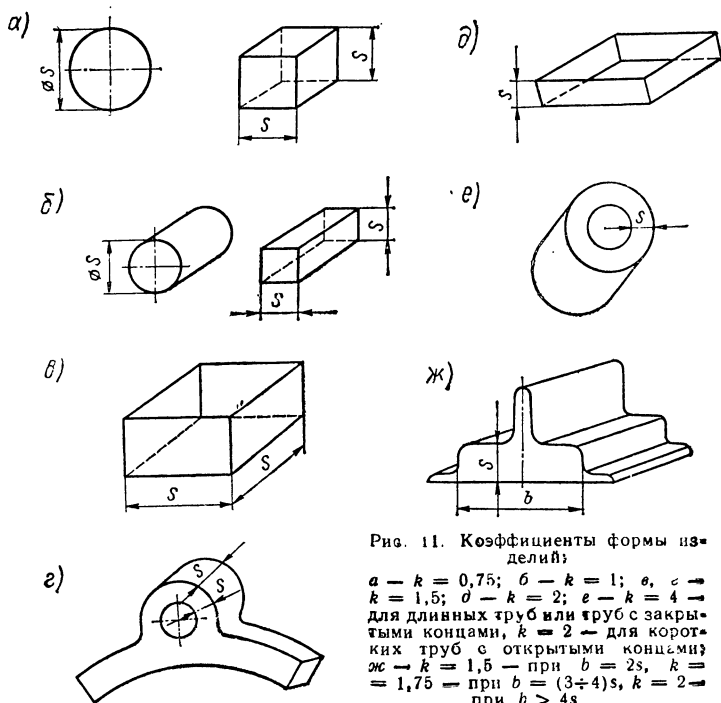


Рис. 11. Коэффициенты формы изделий:

а — $k = 0,75$; б — $k = 1$; в, г — $k = 1,5$; д — $k = 2$; е — $k = 4$ — для длинных труб или труб с закрытыми концами, $k = 2$ — для коротких труб с открытыми концами; ж — $k = 1,5$ — при $b = 2s$, $k = 1,75$ — при $b = (3 \div 4)s$, $k = 2$ — при $b > 4s$

и увеличенной поверхностью и объемом изделия. На рис. 11 приведены коэффициенты форм для изделий различных сечений.

Нормы продолжительности цикла термической обработки стальных и чугунных отливок приведены в табл. 15. Ориентировочная продолжительность сквозного нагрева изделий различного сечения в печах приведена в табл. 16.

При нагреве под закалку и нормализацию с целью повышения производительности посадка крупных поковок в печь осуществляется при температуре закалики или нормализации. При этом следует руководствоваться продолжительностью выравнивания температуры, устанавливаемой в зависимости от максимального сечения поковок (табл. 17). При выравнивании температуры нагрева поковок при отпуске следует руководствоваться данными табл. 18.

18. Продолжительность выравнивания температуры нагрева поковок при отпуске

| Диаметр поковки, мм | Время выравнивания, ч | Диаметр поковки, мм | Время выравнивания, ч |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 400 | 5,0 | 800 | 15,0 |
| 500 | 7,5 | 900 | 17,5 |
| 600 | 10,5 | 1000 | 20,0 |
| 700 | 12,6 | | |

8. Закалочные среды

К закалочным средам предъявляются следующие основные требования: обеспечение заданных физико-механических свойств на изделия при закалке и последующем отпуске; высокая охлаждающая способность закалочной среды при 650—550 °С (интервал наименьшей устойчивости аустенита) и пониженная охлаждающая способность при температурах ниже 300 °С (в интервале мартенситного превращения); отсутствие повреждения (разъедания) поверхности закаливаемых изделий; недефицитность и сравнительно невысокая стоимость закалочной среды, а также полная растворимость закалочных сред в процессе промывки изделий после закалки.

В табл. 19 приведен перечень применяемых закалочных сред.

Вода и водные растворы. Вода является дешевым и широко распространенным охладителем, применяемым при закалке изделий. Обладая достаточно высокой скоростью охлаждения в интервале температур перлитного превращения (650—550 °С), вода позволяет получать необходимую твердость и прокаливаемость крупногабаритных изделий. Однако большая скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения вызывает повышенные внутренние напряжения в закаливаемых изделиях и как следствие деформации и трещинообразование.

Вода (речная или водопроводная) на определенных стадиях охлаждения (пленочного и пузырчатого кипения) в процессе закалки может образовывать на поверхности изделий мягкие пятна, что сопровождается усиленным трещинообразованием. Использование проточной воды уменьшает опасность образования мягких пятен и трещин на изделиях, однако повышенная ее газонасыщенность снижает это преимущество. Следовательно, при массовом производстве и термической обработке ответственных изделий применение чистой воды в качестве закалочной среды не рекомендуется.

Различные примеси к воде по-разному влияют на ее охлаждающую способность. Добавка поваренной соли и едких щелочей в количестве

14. Перечень применяемых закалочных сред

| Среда | Марка или состав (массовая доля, %) | Среда | Марка или состав (массовая доля, %) |
|--|---|--------------------------------------|---|
| <i>Вода и водные растворы</i> | | <i>Расплавы солей и щелочей</i> | |
| Вода | — | Селитра натриевая | 100 % NaNO ₃ |
| Водяной душ | — | Селитра калиевая | 100 % KNO ₃ |
| Водоструйная среда | — | Селитра калиевая + нитрит натрия | 55 % KNO ₃ + 45 % KNO ₂ |
| Водовоздушная среда | — | Селитра калиевая + селитра натриевая | KNO ₃ + 50 % NaNO ₃ |
| Водный раствор едких щелочей | 5 % NaOH и KOH | Едкий натр | 100 % NaOH |
| То же | 10 % NaOH и KOH | Едкий калий | 100 % KOH |
| » | (40±5) % NaOH и KOH | Едкий калий + едкий натр | 20 % NaOH + 80 % KOH с добавкой 6 % H ₂ O |
| Водный раствор глицерина | 20-процентный | То же | 25 % NaOH + 75 % KOH с добавкой 6 % H ₂ O |
| То же | 40-процентный | » | 37 % NaOH + 63 % KOH |
| » | 60-процентный | Едкий натр + селитра калиевая | 30 % NaOH + 70 % KNO ₃ |
| » | 40 % глицерина + 20 % KOH | Едкий натр + селитра натриевая | 75 % NaOH + 25 % NaNO ₃ |
| Технический глицерин | — | Едкий натр + поваренная соль | 60 % NaOH + 40 % NaCl |
| Водный раствор поваренной соли | 5-процентный | Карналлит (естественный минерал) | KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O |
| То же | 10-процентный | Тройная смесь хлористых солей | 33,3 % KCl + 33,3 % NaCl + 33,4 % BaCl ₂ |
| » | 25-процентный | То же | 30 % BaCl ₂ + 48 % CaCl ₂ + 22 % NaCl |
| » | 5—7-процентный | Двойная смесь солей | 50 % KCl + 50 % Na ₂ CO ₃ |
| Водный раствор марганцовокислого калия | — | Тройная смесь солей | 44 % NaCl + 47 % K ₂ CO ₃ + 9 % Na ₂ CO ₃ |
| Водный раствор поливинилового спирта | — | <i>Расплавленные металлы</i> | |
| <i>Масло</i> | | Свинец | 100 % |
| Масло | Соляровое | Олово | 100 % |
| » | Индустриальное 12 | Свинец + олово | 37 % + 63 % |
| » | (Веретенное 2) Индустриальное 20 | <i>Воздушные среды</i> | |
| » | (Веретенное 3) Индустриальное 30 | Воздух спокойный | — |
| » | (Машинное Л) Индустриальное 45 | Воздух под давлением | — |
| » | (Машинное С) Индустриальное 50 | <i>Прочие среды</i> | |
| » | (Машинное СУ) Цилиндровое легкое 11 | Псевдоожженный «кипящий слой» | — |
| » | Цилиндровое легкое 24 (Вискозин) | Металлические плиты | — |
| » | Цилиндровое тяжелое 38 | | |
| » | Цилиндровое тяжелое 52 (Вапор) | | |
| » | Трансформаторное | | |
| » | Авиационное МС-20 | | |

5—10 % заметно повышают охлаждающую способность воды, 5—7-процентный водный раствор марганцовокислого калия снижает скорость охлаждения в интервале мартенситного распада (дает среднюю скорость охлаждения между чистой водой и маслом). Возможно использование 0,15-процентного водного раствора полвинилового спирта, охлаждающая способность которого является промежуточной между скоростью охлаждения в чистой воде и масле. Водные растворы щелочей, солей и глицерина все шире применяются в термических цехах, так как обеспечивают интенсивное охлаждение в перлитном интервале температур и замедленное и равномерное в области низких температур.

Масла. Они широко применяются как охлаждающие закалочные среды, что объясняется их более низкой охлаждающей способностью по сравнению с водой особенно в интервале температур мартенситного превращения. Охлаждающая способность закалочных масел зависит от их вязкости (температуры). Повышенная температура закалочного масла снижает вязкость и тем самым улучшает охлаждающую способность. Для индустриального масла 12 и 20 наилучшая охлаждающая способность в интервале температур 40—80 °С.

Масло следует перемешивать в закалочных баках, так как при этом достигается отсутствие перепада температур по всему объему масла, что обеспечивает равномерное охлаждение закаливаемых изделий. Перемешивание масла осуществляется при помощи механических мешалок и принудительной струйной циркуляции. Не рекомендуется перемешивание масла сжатым воздухом, так как при этом происходит процесс интенсивного окисления масла.

При закалке в масле с высокой вязкостью затрудняется промывка и очистка деталей. При значительном повышении вязкости (более 40 % первоначального значения) закалочное масло следует заменить свежим. Качество масла оценивают по характеристикам, значения для 50-процентной смеси индустриальных масел 12 и 20 приведены в табл. 20 данные завода ЗИЛ).

20. Показатели для оценки качества закалочных масел

| Характеристика | 50-процентная смесь свежих индустриальных масел 12 и 20 | Предельно допустимый показатель |
|----------------------------------|---|---------------------------------|
| Вязкость при 50 °С | 15—18 | 22—24 |
| Кислотное число, мг КОН/г | 0,14 | 2,0 |
| Зольность, % | 0,007 | 0,03 |
| Водорастворимые кислоты и щелочи | Отсутствуют | Реакция кислая |
| Механические примеси, % | > | 0,15 |
| Вода | Отсутствует | Следы |
| Температура вспышки, °С | 170 | 160 |
| Коксуемость, % | — | 0,6 |
| Содержание смол, % | — | 10 |

Периодичность проверки качества закалочного масла:

1) в крупных цехах с большой загрузкой закалочных баков и маслоохладительной системы полная проверка свойств масла должна производиться не реже одного раза в месяц;

2) в цехах единичного и мелкосерийного производства, где закалочные баки и маслоохладительные системы работают периодически, проверка вязкости и наличия смол должна производиться один раз в месяц, полная проверка — раз в полгода.

21. Зависимость удельного объема закалочного масла в баке от температуры нагрева закаливаемых изделий

| Температура нагрева закаливаемых изделий, °С | Количество закалочного масла на 1 кг закаливаемых изделий, л |
|--|--|
| 850 | 12,5 |
| 950 | 17,5 |

22. Долговечность закалочных масел

| Условия работы закалочного масла | Долговечность, ч |
|---|------------------|
| Без защитной атмосферы над зеркалом масла при постоянном перемешивании | 400 |
| Без защитной атмосферы над зеркалом масла и при перемешивании только во время заковки | 1 000 |
| С защитной атмосферой над зеркалом масла и при перемешивании только во время заковки | 10 000 |

При работе с горячими маслами необходимо учитывать следующее:

1) закалочные баки следует заполнять маслом с учетом увеличения объема масла при разогреве до 180 °С на 10—18 %; при определении емкости закалочного бака можно пользоваться данными табл. 21;

2) закалочное масло с меньшей вязкостью облегчает последующую промывку;

3) поверхность закалочного масла в баке желательно защищать инертным газом или техническим азотом.

В табл. 22 приведены данные о долговечности закалочного масла в различных условиях работы.

В процессе длительной работы масла становятся непригодными для заковки. Изменение свойств закалочных масел обусловливается процессами окисления при контакте масла с горячей металлической поверхностью изделий. Окислы металлов, имеющиеся на поверхности изделий, вода, присутствующая в масле, ускоряют процессы окисления. Окисление масла протекает более интенсивно при повышенных температурах. Для восстановления закалочных свойств окисленного масла производят его регенерацию или освежение посредством добавления свежего масла. К недостаткам закалочных масел следует отнести необходимость дополнительной операции отмывки и обезжиривания поверхности закаленных изделий, а также пожароопасность.

Для получения требуемых свойств закалочных масел в них добавляют различные присадки (ингибиторы) — вещества, повышающие стойкость масел к окислению, а также улучшающие вязкость и другие свойства. В качестве присадок применяются аминофенол в количестве 0,01—0,1 % от массы масла, ЦИАТИМ-330, ЦИАТИМ-331, ЦИАТИМ-334 и др.

В настоящее время для заковки ответственных изделий машиностроения применяются специальные закалочные масла с хорошими антиокислительными свойствами и сопротивлением загущению (табл. 23). Для обеспечения постоянства скорости охлаждения масла используют при определенной рабочей температуре.

Расплавы солей и щелочей. Заковка в горячих средах — расплавах солей и щелочей — прочно вошла в практику термической обработки деталей и инструмента. Этот метод термической обработки позволяет получать более высокие механические свойства стали, наименьшие деформации, избежать появления трещин, а в некоторых случаях достигнуть светлой поверхности закаливаемых изделий, не нуждающихся в последующей очистке. Однако соли и щелочи имеют и существенные недостатки. К ним следует отнести низкую теплопроводность, что вызывает необходимость применения перемешивающих устройств, непо-

23. Нефтяные масла для закалки *

| Марка масла | Температура вспышки, °С | Зольность, %, не более | Температура применения, °С |
|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| МЗМ-16 | 140 | 0,4 | 30—40 |
| МЗМ-26 | 170 | 0,6 | 80—120 |
| МЗМ-120 | 230 | 18 | 160—200 |

* Масло изготавливают из нефти и присадок (ионол и алкилсалицилат кальция), добавляемых для улучшения антиокислительных и отмывающих свойств масел.

стоянство состава при работе, а в ряде случаев разъедание поверхности закаливаемых изделий и наличие вредных выделений. Все это требует дифференцированного подхода к вопросу применения горячих сред для закалки. Поэтому, когда позволяет критическая скорость охлаждения для данных марок стали и при наличии достаточной вентиляции, можно применять для закалки расплавы солей и щелочей.

Воздух. Применяется в качестве охлаждающей среды при закалке только высоколегированных марок стали, имеющих невысокую критическую скорость охлаждения. Для охлаждения применяется спокойный и сжатый воздух. Недостатком этого способа является ограниченность размеров изделий, подвергаемых закалке, образование пленки окислов, трудно удаляемой при очистке, и повышенный шум при применении сжатого воздуха.

Водовоздушные смеси. Эти смеси находят широкое применение особенно при термической обработке крупногабаритных изделий из легированных марок стали. Охлаждающая способность водовоздушной смеси, подаваемой на поверхность закаливаемых изделий через форсунки специальным наконечником (для увеличения угла распыления), может изменяться в широких пределах и зависит от количества расходуемой воды, интенсивности подачи охлаждающей смеси и расстояния форсунок от охлаждаемых поверхностей.

Скорость охлаждения при малой степени увлажнения соответствует скорости охлаждения в масле. Повышение степени увлажнения увеличивает скорость охлаждения, которая достигает предела при определенном количестве подаваемой воды. Дальнейшее увеличение расхода воды не приводит к повышению скорости охлаждения. Интенсивность подачи охлаждающей смеси определяется давлением воздуха в форсунке-распылителе. Расход воды определяется размером и конфигурацией изделия. Водовоздушное охлаждение может быть использовано при нагреве т. в. ч.

В последнее время применяют установки водоструйного охлаждения. Этот перспективный способ охлаждения (особенно для крупногабаритных изделий) позволяет регулировать скорость охлаждения в широких пределах от достигаемой закалки в масле до закалки в воде. При этом получается весьма удовлетворительная прокаливаемость, хорошие механические свойства и небольшие остаточные напряжения, что позволяет избежать больших деформаций и трещинообразования при закалке.

Псевдоожженный кипящий слой. Охлаждение изделий в процессе закалки может производиться в среде мелких твердых частиц (например, в песке), которые поддерживаются во взвешенном состоянии посредством продувки через них воздуха или газа. Такая среда обладает высокой теплопроводностью и поэтому может служить хорошим охла-

дителем. Скорость охлаждения в кипящем слое занимает промежуточное положение между скоростью охлаждения в масле и на воздухе; она зависит от давления и температуры подаваемого газа (воздуха), при этом достигается равномерность охлаждения. При закалке в кипящем слое отсутствуют смачивание поверхности изделий, паровая рубашка и коррозия на поверхности изделий.

Водный раствор жидкого стекла. В последнее время в качестве закалочной среды стали применять водный раствор жидкого силиката, который является заменителем воды и масла. Основными преимуществами жидкого силиката являются: низкая стоимость раствора, негорючесть, отсутствие пригара и окалины на закаленных изделиях, а также вредных выделений во время закалки; получение достаточно высокой твердости без опасности трещинообразования; создание антикоррозионной пленки на поверхности деталей.

Для приготовления водного раствора жидкого силиката применяют жидкое стекло (силикат натрия и др.). Рабочий раствор жидкого силиката получают растворением его водой — на один объем жидкого стекла (удельной плотности 1,5—1,6) добавляется пять-шесть объемов воды. Растворять жидкое стекло желательно в теплой воде, нагретой до 30—40 °С. Для достижения хорошей стабильности и долговечности раствора в работе его необходимо постоянно перемешивать.

Водные растворы полимеров. Водные растворы полимеров в качестве охлаждающей среды при закалке находят все большее промышленное применение, особенно при поверхностной закалке с индукционным нагревом. Рассматривая преимущества водных растворов полимеров как закалочной среды на примере Аква—Пласта и полиакриламида [39], можно сделать следующие выводы:

1) по своей интенсивности охлаждения являются промежуточными между водой и маслом;

2) охлаждающая способность полимерных растворов зависит от их концентрации и температуры;

3) имеют водородное число рН, которое находится между 6 и 7, т. е. от слабокислых до нейтральных (практически как вода); добавкой триэтаноламина или других ингибиторов водородное число можно поддерживать на заданном уровне;

4) подбирая оптимальный состав и температуру раствора, можно добиваться при закалке изделий высокой твердости, благоприятной структуры, избегать появления трещин и уменьшать деформации;

5) не оказывают вредного влияния на окружающую среду;

6) при длительном использовании полимерные закалочные среды не изменяют состава и первоначальных закалочных свойств;

7) применение полимерных закалочных сред возможно при различных способах закалки: в ванне, спреером и т. д.;

8) растворы полимеров не горят и не образуют дыма;

9) концентрация раствора легко поддается контролю, имеется возможность автоматического регулирования охлаждающей способности раствора;

10) полимерные закалочные среды дают значительную экономию.

Закалка в пене. Пена, содержащая 20—25 % воды в пленках и 75—80 % воздуха в пузырьках диаметром 2—5 мм, охлаждает в интервале температур 700—300 °С в 2,5—3 раза интенсивнее, чем масло, а при более низких температурах в 2,5 раза медленнее, чем вода. Следовательно, пена с увлажненностью 20—25 % по своей охлаждающей способности занимает промежуточное положение между маслом и водой. Например, при закалке витых цилиндрических пружин сжатия из стали марки 60С2А водяной пеной взамен масла обеспечивается увели-

чение прокаливаемости без образования трещин, а также повышаются упругие свойства и долговечность пружин. Применяются специальные закалочные устройства для приготовления пены и закалки в ней изделий.

В табл. 24—32 приведены сведения по закалочным средам.

9. Прочие данные

В табл. 33—39 представлены сведения, необходимые при выполнении различных процессов термической обработки.

24. Свойства закалочных масел

| Закалочные масла | Плотность при 18 °С | Температура вспышки, °С | Температура воспламенения, °С | Закаливающая способность при 20 °С по отношению к воде |
|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|--|
| Индустриальное 12 | 0,876 | 165 | — | 0,35 |
| » 20 | 0,881 | 170 | — | — |
| Трансформаторное | 0,869 | 155 | 182 | 0,17 |
| Машинное | 0,909 | 207 | 240 | 0,22 |
| Хлопковое | 0,925 | 321 | 360 | 0,36 |
| Оливковое | 0,917 | 310 | 360 | 0,37 |
| Парафиновое | 0,879 | 163 | 188 | 0,29 |
| Индустриальное 30 | 0,864 | 180 | 220 | — |
| » 45 | 0,900 | 190 | 240 | — |
| » 50 | 0,900 | 200 | — | 0,22 |
| Цилиндровое | — | 215 | — | — |

Примечание. Закаливающая способность воды принята равной единице.

25. Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах

| Закалочная среда | Скорость охлаждения (°С/с) при температуре, °С | |
|--|--|---------|
| | 650—550 | 300—200 |
| Дистиллированная вода | 250 | 200 |
| Вода при температуре, °С: | | |
| 18 | 600 | 270 |
| 28 | 500 | 270 |
| 45 | 100 | 270 |
| 74 | 30 | 200 |
| 10-процентный водный раствор: | | |
| едкого натра при 18 °С | 1200 | 300 |
| поваренной соли при 18 °С | 1100 | 300 |
| соды при 18 °С | 800 | 270 |
| серной кислоты при 18 °С | 750 | 300 |
| 5-процентный раствор марганцовокислого калия | 450 | 100 |
| Глицерин | 135 | 175 |
| Эмульсия масла в воде | 70 | 200 |
| Мыльная вода | 30 | 200 |
| Минеральное машинное масло | 150 | 30 |
| Трансформаторное масло | 120 | 25 |
| Сплав 75 % олова и 25 % кадмия (температура расплава 175 °С) | 450 | 50 |
| Медные плиты | 60 | 30 |
| Железные плиты | 35 | 15 |
| Воздух: | | |
| спокойный | 3 | 1 |
| под давлением | 30 | 10 |

26. Закаливающая способность водных растворов поваренной соли и других солей

| Закалочная среда | Плотность при 15 °С | Интенсивность циркуляции, м/с | Относительная закаливающая способность * при различных температурах ванны, °С | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|---|------|------|------|------|
| | | | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Раствор поваренной соли, %: | | | | | | | |
| 5 | 1,036 | В покое | 1,12 | 0,91 | 0,62 | 0,28 | — |
| 10 | 1,073 | 0,9 | 1,23 | — | — | — | — |
| 15 | 1,111 | 0,9 | 1,27 | — | — | — | — |
| 20 | 1,151 | В покое | 1,06 | — | — | — | — |
| 26 | 1,204 | 0,9 | 0,81 | — | — | — | — |
| Раствор едкого натра, %: | | | | | | | |
| 2,5 | 1,029 | В покое | 1,19 | — | — | — | — |
| 5 | 1,058 | » » | 1,17 | 1,04 | 0,78 | 0,41 | — |
| 5 | — | 0,9 | 1,2 | 1,11 | 0,9 | 0,49 | 0,2 |
| 10 | 1,113 | 0,9 | 1,2 | — | — | — | — |
| 15 | 1,169 | В покое | 1,14 | — | — | — | — |
| 15 | — | 0,9 | 1,11 | — | — | — | — |
| 20 | 1,223 | 0,9 | 1,07 | — | — | — | — |
| 50 | 1,529 | 0,9 | 1,05 | — | — | — | — |
| Раствор хлористого кальция, %: | | | | | | | |
| 5 | 1,042 | В покое | 1,06 | — | — | — | — |
| 10 | 1,085 | » » | 1,17 | — | — | — | — |
| 20 | 1,179 | » » | 1,06 | — | — | — | — |
| Вода | — | » » | 1,0 | 0,72 | 0,44 | 0,18 | 0,07 |
| » | — | 0,9 | 1,01 | 0,73 | 0,46 | 0,19 | 0,08 |

* По отношению к чистой воде принята равной единице.

27. Коэффициент закаливающей способности воды и сред на ее основе

| Закалочная среда | Значение коэффициентов при температуре, °С | |
|----------------------------|--|------|
| | 720—1050 | 200 |
| Вода при температурах, °С: | | |
| 0 | 1,06 | 1,02 |
| 20 | 1,00 | 1,00 |
| 25 | 0,72 | 1,11 |
| 100 | 0,04 | 0,71 |
| Хлористый литий * | 2,07 | 1,04 |
| Едкий натр * | 2,06 | 1,36 |
| Поваренная соль * | 1,96 | 0,98 |
| Углекислый натрий * | 1,38 | 1,09 |
| Серная кислота * | 1,22 | 1,49 |
| Фосфорная кислота * | 0,99 | 1,07 |
| Водомасляная эмульсия * | 0,11 | 1,33 |
| Мыльная вода | 0,07 | 1,16 |

* 10-процентные растворы в воде.

28. Интенсивность охлаждения в различных закалочных средах

| Движение среды | Воз- дух | Масло | Вода | Соленая вода |
|-------------------------------------|-------------|-----------|---------|-----------------|
| Без движения | 0,02 | 0,25—0,30 | 0,9—1,0 | 2,0 |
| Слабое движение | — | 0,30—0,35 | 1,0—1,1 | 2,0—2,2 |
| Движение средней ин- тенсивности | — | 0,35—0,40 | 1,2—1,3 | — |
| Энергетичное движе- ние | — | 0,4—0,5 | 1,4—1,5 | — |
| Сильное движение | — | 0,5—0,8 | 1,6—2,0 | — |
| Бурное движение | — | 0,8—1,1 | 4,0 | 5,0 |

Примечание. Больше число соответствует более интенсивному охлаждению.

29. Средняя скорость охлаждения в различных интервалах температур при закалке в воде и масле *

| Температура нагрева закаливаемого изделия, °C | Охлаждающая среда | Средняя скорость охлаждения (°C/с) при температуре, °C | | | |
|---|-------------------|--|---------|---------|---------|
| | | 700—200 | 700—500 | 300—200 | 200—150 |
| 1100 | Спокойная вода | 130 | 90 | 120 | 40 |
| 1000 | Спокойное масло | 14 | 20 | 8,3 | 6,2 |

* Опыты проводились на цилиндрах \varnothing 29 мм, изготовленных из армо-железа.

30. Влияние охлаждающей среды на поверхность закаливаемых изделий при нагреве в соляных ваннах

| Охлаждающая среда | Необходимость очистки после закалки | Вероятность разъедания поверхности изделий | Антикоррозийная стойкость поверхности изделий при отсутствии пассивирования |
|-------------------|--|---|---|
| Вода | Очистка не нужна | Не разъедает | Нестойкая |
| Масло | Обезжиривание (промывка), при необходимости химическая очистка | | Стойкая |
| Селитра | Химическая очистка | Разъедает при температурах $>500^{\circ}\text{C}$ | Стойкая (но меньше, чем при охлаждении в масле) |

| Охлаждающая среда | Необходимость очистки после закалки | Вероятность разбедания поверхности изделий | Антикоррозийная стойкость поверхности изделий при отсутствии пассивирования |
|---------------------------------|---|--|---|
| Едкие щелочи | При нагреве в расплаве NaCl + KCl — промывка в горячей воде. При нагреве в расплаве солей, содержащих BaCl ₂ — химическая очистка | Не разъедает | Нестойкая |
| Смеси хлористых солей | Химическая очистка | Не разъедает | Нестойкая (особенно при наличии в среде CaCl ₂) |
| Смеси селитры с нитритом натрия | | Не разъедает при температурах <300 °С | Стойкая (но меньше, чем при охлаждении в масле) |
| Смеси селитры со щелочью | | Не разъедает при содержании щелочи ≥30 % | |
| Воздух | | При медленном охлаждении в интервале высоких температур образуется «шагреновая кожа» | Стойкая |

31. Рекомендуемая температура конца охлаждения в закалочной среде для изделий больших сечений

| Группа стали | Температура конца охлаждения при закалке, °С | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| | Сечение изделия до 400 мм | | Сечение изделия св. 400 мм | |
| | на наименьшем сечении | на наибольшем сечении | на наименьшем сечении | на наибольшем сечении |
| Углеродистые и малолегированные | Не ниже 200 | Не выше 400 | Не ниже 150 | Не выше 350 |
| Легированные и высоколегированные | Не ниже 150 | Не выше 280 | Не ниже 120 | Не выше 250 |

32. Продолжительность охлаждения изделий больших сечений в охлаждающих средах при закалке

| Охлаждающая среда | Продолжительность охлаждения (мин) при максимальном сечении изделия, мм | | | | |
|---------------------|---|---------|---------|---------|----------|
| | До 200 | 200—400 | 400—600 | 600—800 | 800—1000 |
| Масло | 30—70 | 70—120 | 120—180 | 180—240 | 240—300 |
| Через воду в масле: | | | | | |
| в воде | 1—3 | 3—4 | 4—6 | 6—8 | 8—10 |
| в масле | 20—50 | 50—90 | 90—140 | 140—200 | 200—260 |

33. Размер зерна стали (в баллах) в зависимости от температуры нагрева *

| Температура, °С | Марка стали | | | | | |
|-----------------|-------------|-------|-------|-------|---------|----------|
| | 18ХГГ | 25ХГГ | 30ХГГ | 25ХГМ | 12Х2Н4А | 25ХГНМАЮ |
| 850 | — | 10 | — | 9 | — | 9—10 |
| 870 | — | 10 | — | 8—7 | — | 9 |
| 900 | — | 9—10 | — | 6—7 | — | 9 |
| 950 | 8 | 9 | 8 | 5—6—7 | 6—7 | 9 |
| 1000 | 8 | 8 | 8 | 3—4 | 3—4 | — |
| 1050 | 8 | 6—7 | 4—5 | 2—3 | 3 | — |
| 1100 | 5—6 | 5 | 4 | 2—3 | 3 | — |
| 1150 | 3—4 | 4 | 3 | 2—1 | 1—2 | — |
| 1200 | 3 | — | 2 | 1 | 1 | — |
| 1300 | 2 | — | 1 | 1 | 1 | — |

* Размер зерна определяется по ГОСТ 5939—65.

34. Смеси, применяемые в качестве нагревающих и охлаждающих сред

| Состав ванны (массовая доля, %) | Температура применения, °С |
|--|----------------------------|
| <i>Соляные ванны</i> | |
| 100 % поваренной соли | 850—920 |
| 100 % хлористого калия | 820—920 |
| 56 % хлористого калия + 44 % поваренной соли | 700—900 |
| (50 ± 78) % хлористого бария + (50 ± 22) % поваренной соли | 700—950 |
| 80 % хлористого бария + 20 % поваренной соли | 815—1100 |
| (50 ± 80) % хлористого бария + (50 ± 20) % хлористого калия | 680—1060 |
| 100 % селвинита | 790—900 |
| 60 % селвинита + 40 % хлористого калия | 750—900 |
| 50 % селвинита + 50 % углекислого натрия | 700—850 |
| 66 % селвинита + 34 % хлористого бария | 750—900 |
| (50 ± 81) % хлористого кальция + (50 ± 19) % поваренной соли | 550—900 |

| Состав ванны (массовая доля, %) | Температура применения, °С |
|---|----------------------------|
| 50 % хлористого кальция + 50 % хлористого бария | 650—900 |
| 39 % фтористого калия + 61 % хлористого калия | 650—900 |
| 17 % фтористого бария + 83 % хлористого бария | 900—1100 |
| (56 ± 65) % углекислого натрия + (44 ± 35) % поваренной соли | 670—900 |
| 50 % углекислого натрия (соды) + 50 % хлористого калия | 650—870 |
| 50 % углекислого калия + 50 % поваренной соли | 600—900 |
| 70 % хлористого калия + 30 % бурой (обезвоженной) | 750—900 |
| 65 % хлористого бария + 5 % поваренной соли + 30 % хлористого калия | 750—850 |
| 48 % хлористого бария + 22 % поваренной соли + 30 % хлористого калия | 600—900 |
| 65 % хлористого бария + 25 % поваренной соли + 10 % хлористого кальция | 700—1000 |
| 30 % хлористого кальция + 20 % поваренной соли + 50 % хлористого калия | 560—870 |
| 80 % хлористого калия + 17 % поваренной соли + 3 % едкого натра | 750—850 |
| 44 % хлористого калия + 54 % поваренной соли + 2 % фтористого натрия | 680—900 |
| 40 % хлористого калия + 50 % хлористого бария + 10 % фтористого магния | Менее 1000 |
| 45 % хлористого калия + 10 % поваренной соли + 45 % углекислого натрия | 720—900 |
| 20 % хлористого бария + 27 % хлористого кальция + 20 % поваренной соли + 33 % хлористого калия | 550—850 |
| 75 % хлористого бария + 20 % хлористого кальция + 4,5 % поваренной соли + 0,5 % карбида кремния | 860—1060 |
| 100 % хлористого бария | 1020—1320 |
| 98 % хлористого бария + 2 % карбида кремния | 1020—1320 |
| 95 % хлористого бария + 5 % кварцевого песка | 955—1315 |
| 95 % хлористого бария + 5 % фтористого натрия | 950—1350 |
| 90 % хлористого бария + 10 % поваренной соли | 950—1300 |
| 92 % хлористого бария + 5 % фтористого кальция + 3 % кварцевого песка | 955—1315 |
| <i>Щелочные ванны</i> | |
| 100 % едкого натра | 350—700 |
| 100 % едкого кали | 400—650 |
| 85 % едкого натра + 15 % едкого кали | 330—600 |
| 80 % едкого натра + 20 % едкого кали | 330—600 |
| 63 % едкого натра + 37 % углекислого калия | 290—600 |
| 77 % едкого натра + 14 % поваренной соли + 9 % хлористого калия | 330—600 |
| 40 % едкого натра + 25 % поваренной соли или хлористого калия + 35 % углекислого натрия | 500—600 |

35. Составы огнеупорных обмазок и набивок

| Состав | Объемное соотношение сухих компонентов | Крупность помола компонентов, мм | Количество воды на 1 м ³ сухой смеси, л | Назначение |
|---------------------------|--|----------------------------------|--|--|
| Шамотно-глинистая обмазка | Молотый шамот 75 %, огнеупорная молотая глина 25 % | До 2—3 | 350—400 | Забивка отверстий в деталях, уплотнительная обмазка наружной поверхности кладки сводов термических печей |

| Состав | Объемное соотношение сухих компонентов | Крупность помола компонентов, мм | Количество воды на 1 м ³ сухой смеси, л | Назначение |
|-----------------------------------|---|--|--|--|
| Асбесто-шамотная обмазка | Молотый шамот 70 %, асбест 30 % | До 1 (асбест, протертый на сите с отверстиями диаметром до 5 мм) | 350—400 водного раствора жидкого стекла (60 % жидкого стекла плотностью 1,3 г/см ³ и 40 % воды — массовая доля) | Уплотнение неподвижных элементов, выступающих из печи, за исключением токоподводящих элементов |
| Графито-шамотная обмазка | Молотый шамот 60 %, графитовый порошок 40 % | | | |
| Асбесто-шамотно-глинистая набивка | Молотый шамот 50 %, асбест 35 %, огнеупорная глина 15 % | До 1 | 200—300 | Уплотнение неподвижных элементов, выступающих из печи, в том числе токоведущих |
| Шамотно-глинистая набивка | Молотый шамот 70 %, огнеупорная молотая глина 30 % | До 3 | 150—200 | Забивка отверстий в изделиях, пустот и зазоров в шамотной и легковесно-шамотной кладке печи |

36. Цвета побежалости при нагреве некоторых нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов

| Температура нагрева, °С | Цвета побежалости | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | 12Х18Н9Т | ХН38ВТ | ХН75МБТЮ | ХН77ТЮР |
| 300 | Светло-соломенный | — | — | — |
| 400 | Соломенный | Соломенный | Светло-желтый | — |
| 500 | Красновато-коричневый | Фиолетовый | Желтый | Светло-соломенный |
| 600 | Фиолетово-синий | Коричнево-синий | Коричневый | Фиолетовый |
| 700 | Синий | Синий | Синий | Синий |
| 800 | — | Голубой | Голубой | Голубой |

37. Допустимые расстояния между стенками печи с выдвижным подом, горелками и термообрабатываемыми поковками

| Поковки | Расстояние, мм | | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | от передней стенки | от задней стенки | от боковых стенок | от горцовых стенок (не менее) | от горелок (не менее) |
| Поковки простой конфигурации | 300 | 300 | 200 | 300 | 200 |
| Поковки сложной конфигурации | 600 | 500 | 300 | 300 | 300 |

38. Нормы нагрузки на под термической камерной печи периодического действия и методической печи в зависимости от массы и толщины стенок отливок

| Масса отливок, кг | Толщина стенок отливок, мм | Нагрузка на под печи, т/м ² | | |
|-------------------------------------|----------------------------|--|--------------------|---------------------|
| | | Сталь | Серый чугун | Ковкий чугун |
| <i>Печи периодического действия</i> | | | | |
| До 100 | До 100 Св. 100 | 0,75—2,0 2,0—3,0 | 0,5—1,5 1,5—2,5 | 1,5—3,0 2,5—3,5 |
| 100—500 | До 100 Св. 100 | 0,65—2,0 2,0—3,0 | 0,5—1,5 1,5—3,0 | — — |
| 500—2000 | До 100 Св. 100 | 0,6—2,0 2,0—3,2 | 0,7—2,0 2,0—3,0 | — |
| Св. 2000 | До 100 Св. 100 | 0,3—1,0 1,0—2,3 | 0,5—1,5 1,5—2,5 | — |
| <i>Методические печи</i> | | | | |
| До 100 | До 100 | $\frac{0,35}{0,6}$ | $\frac{0,35}{0,6}$ | $\frac{0,45}{0,65}$ |
| | Св. 100 | $\frac{0,55}{0,8}$ | $\frac{0,55}{0,8}$ | $\frac{0,55}{0,75}$ |
| 100—500 | До 100 | — | $\frac{0,4}{0,65}$ | — |
| | Св. 100 | — | $\frac{0,6}{0,9}$ | — |

Примечания: 1. Нагрузка на под печи дана при высоте загрузки отливок 1 м; при других высотах нагрузка соответственно изменяется. 2. В числителе дана нагрузка без поддона, в знаменателе — с поддоном или горшком.

39. Нормы расхода основных и вспомогательных материалов, применяемых при термической обработке

| Вид обработки | Материал или состав смеси | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | Примечание | |
|--|---------------------------|---|----------------------------|---|---|---|
| Цементация стальных изделий в твердом карбюризаторе при 900—950 °С | Карбюризатор | 100 | I II III | 60 70 80 | Расход дан для цикла цементации 6—8 ч | |
| | Вспомогательные материалы | Прутки для образцов-свидетелей (контроль глубины слоя цементации) | — | — | 10 | Марки стали пруткового материала аналогичны маркам обрабатываемых изделий |
| | | Шамотная глина | — | — | 300 | — |
| Газовая цементация стальных изделий при 900—950 °С | Пиробензол (синтин) | 100 | I II III | 15 25 35 | Расход дан для глубины слоя цементации 0,8—1,0 мм | |
| | | | Керосин | | I II III | 10 20 30 |
| | Вспомогательные материалы | Прутки для образцов-свидетелей (контроль глубины слоя цементации) | — | — | 2 | Марки стали пруткового материала аналогичны маркам обрабатываемых изделий |
| | | Асбест листовой и шнуровой | — | — | 5 | Применяется для изоляции внутренних нецементируемых полостей |
| | | | | | | |

| Вид обработки | Материал или состав смеси | | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | Примечание |
|---|---------------------------|------------------|------------------|----------------------------|-----|---|------------|
| Азотирование стальных изделий при 430—560 °С | Аммиак жидкий | | 100 | I | 40 | Расход дан для глубины слоя азотирования 0,3—0,4 мм и цикла обработки 15—20 ч | |
| | | | II | 50 | | | |
| | | | III | 60 | | | |
| Газовое цианирование стальных изделий при 840—860 °С (нитроцементация) | Аммиак жидкий | | 5—10 | I | 10 | Расход дан для глубины слоя 0,7—1,2 мм | |
| | | | | II | 12 | | |
| | Пиробензол | | 90—95 | I | 15 | | |
| | | | | II | 20 | | |
| | | | III | 25 | | | |
| Высокотемпературное жидкостное цианирование стальных изделий при 800—850 °С | Состав № 1 | Цианплав (ГППХ) | 10 | I | 13 | Нормы даны для цианирования изделий с приспособлениями; при обработке изделий без приспособлений нормы необходимо уменьшить на 30 % | |
| | | | | II | 15 | | |
| | | | | III | 17 | | |
| Высокотемпературное жидкостное цианирование стальных изделий при 800—850 °С | Состав № 1 | Хлористый барий | 45 | I | 10 | | |
| | | | | | II | | 15 |
| | | | | | III | | 27 |
| | | Хлористый натрий | 45 | I | 10 | | |
| | | | | II | 15 | | |
| | | | | III | 25 | | |
| | Состав № 2 | Цианистый натрий | 50 | I | 20 | | |
| | | | | II | 30 | | |
| | | Хлористый барий | 35 | I | 15 | | |
| | | | | II | 20 | | |
| | | | | III | 25 | | |

| Вид обработки | Материал или состав смеси | | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | Примечание |
|--|---------------------------|----------------------|------------------|----------------------------|----|---|------------|
| Высокотемпературное жидкостное цианирование стальных изделий при 800—850 °С | Состав №2 | Хлористый натрий | 15 | I | 6 | Нормы даны для цианирования изделий с приспособлениями; при обработке изделий без приспособлений нормы необходимо уменьшить на 30 % | |
| | | | | II | 10 | | |
| | III | 15 | | | | | |
| Состав № 3 | Желтая кровяная соль | 50 | I | 20 | | | |
| | | | II | 30 | | | |
| III | 42 | | | | | | |
| Хлористый натрий | | 50 | I | 20 | | | |
| | | | II | 30 | | | |
| III | 40 | | | | | | |
| Высокотемпературное цианирование стальных изделий в твердой среде при 800—850 °С | Древесный уголь | 70 | I | 50 | | | |
| | | | II | 75 | | | |
| III | 100 | | | | | | |
| Желтая кровяная соль | | 30 | I | 20 | | | |
| | | | II | 30 | | | |
| III | 40 | | | | | | |
| Низкотемпературное цианирование стальных изделий в жидкой среде при 520—570 °С | Состав № 1 | Цианистый натрий | 100 | I | 20 | | |
| | | | | II | 30 | | |
| | | | | III | 40 | | |
| | Состав № 2 | Желтая кровяная соль | 30 | I | 20 | | |
| | | | | II | 35 | | |
| | | | | III | 50 | | |
| Сода каустическая | | 20 | I | 5 | | | |
| | | | II | 10 | | | |
| | | | III | 15 | | | |
| Низкотемпературное цианирование стальных изделий в газообразной среде при 520—570 °С | Керосин | 70 | I | 15 | | | |
| | | | II | 25 | | | |
| | | | III | 40 | | | |
| | Аммиак | 30 | | I | 6 | | |
| | | | | II | 10 | | |
| | | | | III | 17 | | |

| Вид обработки | Материал или состав смеси | | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | Примечание |
|---|---------------------------|------------------|----------------------|----------------------------|---|---|
| Нагрев стальных изделий под закалку в соляных ваннах при 800—900 °С | Состав № 1 | Хлористый калий | 100 | I II III | 15 20 25 | Нормы даны для нагрева изделий с приспособлениями; при нагреве изделий без приспособлений нормы следует уменьшить на 30 % |
| | Состав № 2 | Хлористый барий | 30 | I II III | 12 18 25 | |
| | | Хлористый натрий | 70 | I II III | 18 22 25 | |
| | Состав № 3 | Хлористый барий | 50 | I II III | 10 15 20 | |
| | | Хлористый калий | | I II III | 10 15 20 | |
| | Раскислители | Ферросилиций | 2—4 (от массы солей) | — | 3 | |
| | | Древесный уголь | 4—5 (от массы солей) | — | 5 | |
| Нагрев стальных изделий под закалку в соляных ваннах при 1200—1300 °С | Хлористый барий | | 100 | I II III | 30 40 50 | |
| | Бура (раскислитель) | | 2—4 (от массы солей) | — | 3 | |

| Вид обработки | Материал или состав смеси | | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | Примечание |
|---|---|-----------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|--|------------|
| Изотермическое охлаждение стальных изделий в соляных ваннах при 450—550 °С | Углекислый натрий или кальцинированная сода | | 10 | I II III | 3 5 6 | | |
| | Хлористый натрий | | 45 | I II III | 15 20 25 | | |
| | Углекислый калий | | | I II III | 15 20 25 | | |
| Охлаждение стальных изделий в масле при 20—60 °С | Индустриальное масло | | 100 | I II III | 10 15 20 | <p>Нормы даны для обработки изделий без приспособлений; при обработке изделий с приспособлениями нормы следует увеличить на 50 %</p> | |
| | Машинное масло | | | I II III | 15 20 30 | | |
| Изотермическое охлаждение стальных изделий в щелочных ваннах при 360—400 °С | Состав № 1 | Сода каустическая натриевая | 100 | I II III | 30 40 90 | <p>Нормы даны для обработки изделий с приспособлениями; при обработке изделий без приспособлений нормы следует уменьшить на 30 %</p> | |
| | | | | Состав № 2 | Сода каустическая калиевая | | 90 |
| | Желтая кровяная соль (раскислитель) | 4 (от массы щелочи) | — | | | | |
| | | | | | | | |

| Вид обработки | Материал или состав смеси | | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | | Примечание | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|------------------|---|----|---|--|--|
| | | | | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | | | | |
| Изотермическое охлаждение стальных изделий в селитровых ваннах при 150—450 °С | Состав № 1 | Селитра калиевая | 50 | I | 20 | Нормы даны для обработки изделий с приспособлениями; при обработке изделий без приспособлений нормы следует уменьшить на 30 % | | |
| | | | | II | 30 | | | |
| | | III | | 40 | | | | |
| | Селитра натриевая | I | | 20 | | | | |
| II | | 30 | | | | | | |
| | III | 40 | | | | | | |
| Состав № 2 | Селитра калиевая | I | | 20 | | | | |
| | | II | | 30 | | | | |
| | III | 40 | | | | | | |
| | Нитрид натрия | I | | 20 | | | | |
| | | II | | 30 | | | | |
| | | III | | 40 | | | | |
| Отпуск стальных изделий в селитровой ванне при 300—500 °С | Селитра калиевая | | 50 | I | 30 | | | |
| | | II | | 40 | | | | |
| | III | 45 | | | | | | |
| Селитра натриевая | I | 30 | | | | | | |
| | II | 40 | | | | | | |
| | III | 45 | | | | | | |
| Отпуск стальных изделий в щелочной ванне при 300—550 °С | Сода каустическая (кристаллическая) | | | 50 | I | | 15 | |
| | | II | | | 25 | | | |
| | | III | | | 35 | | | |
| Хлористый натрий | I | 15 | | | | | | |
| | II | 25 | | | | | | |
| | III | 35 | | | | | | |
| Желтая кровяная соль (раскислитель) | | 2—4 (от массы солей) | — | | 3 | | | |
| Отпуск стальных изделий в масле при 200—300 °С | Цилиндровое тяжелое масло 52 | | 100 | | I | 15 | Нормы даны для обработки изделий без приспособлений; при обработке изделий с приспособлениями нормы следует увеличить на 50% | |
| | | II | | | 20 | | | |
| | III | 30 | | | | | | |
| Цилиндровое масло | I | 10 | | | | | | |
| | II | 15 | | | | | | |
| | III | 25 | | | | | | |

| Вид обработки | Материал или состав смеси | Массовая доля, % | Группа сложности деталей * | | Массовый расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг | Примечание |
|---|---|---------------------------------|----------------------------|-----|---|------------|
| | | | I | II | | |
| Старение стальных и чугунных изделий в масле при 120—150 °С | Индустриальное масло | 100 | I | 15 | Нормы даны для обработки изделий без приспособлений; при обработке изделий с приспособлениями нормы следует увеличить на 50 % | |
| | Машинное масло | | II | 20 | | |
| Обработка стальных изделий холодом при -60—70 °С | На компрессорных установках | Фреон-22 | I | 3 | — | |
| | | | II | 5 | | |
| | Фреон-23 | 50 | III | 7 | | |
| | | | I | 3 | | |
| | В стационарных бачках (ваннах) | Твердая углекислота (сухой лед) | 75 | II | | 5 |
| | | | | III | | 7 |
| I | | | | 3 | | |
| Бензин или ацетон | | 25 | II | 5 | | |
| | III | | 7 | | | |
| Промывка | Кальцинированная сода | 100 | I | 5 | | |
| | | | II | 10 | | |
| | | | III | 15 | | |
| Дробеструйная очистка | Чугунная дробь диаметром 0,3—1,0 мм | 100 | I | 10 | | |
| | | | II | 15 | | |
| | | | III | 20 | | |
| Пескоструйная очистка | Металлический чугунный песок 0,3—0,5 мм | 100 | I | 25 | | |
| | | | II | 30 | | |
| | | | III | 35 | | |
| Соединение изделий в связи | Вязальная проволока диаметром 1,0 мм | 100 | I | 2 | | |
| | | | II | 3 | | |
| | | | III | 4 | | |

* Нормы учитывают конструктивные особенности и конфигурацию термообработываемых изделий, в связи с этим они разбиты на три группы по сложности. К группе I отнесены изделия плоской формы с отверстиями (вырезами), составляющими до четверти общей поверхности изделий; к группе II отнесены изделия, имеющие рельефную поверхность, и плоские изделия с отверстиями (вырезами), составляющими до половины общей поверхности изделия; к группе III относятся изделия сложной конфигурации, а также с отверстиями (вырезами), составляющими более половины общей поверхности изделия.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

10. Классификация стали, маркировка

Сталь классифицируется по следующим признакам: способу производства, химическому составу, назначению, структуре и качеству.

По способу производства различают сталь: мартеновскую, конверторную, электросталь и т. п.; по химическому составу — сталь углеродистую и легированную.

По назначению сталь подразделяется на конструкционную, инструментальную и с особыми свойствами.

В группу конструкционной стали входят марки, применяемые при производстве деталей машин. К инструментальным относятся марки стали, применяемые при производстве режущего, измерительного и штампового инструментов.

Сталь с особыми свойствами используют главным образом в тех отраслях производства, где требуются особые физические или механические свойства материала. Например, нержавеющую сталь применяют в химическом машиностроении, жаропрочную — в паротурбостроении и т. д.

В основу классификации по структуре положена характеристика структуры стали, образующейся при нормализации образцов $\varnothing 25$ мм. По этому признаку сталь можно разделить на следующие классы: перлитный, аустенитный, ферритный; мартенситный; карбидный. Могут быть промежуточные классы.

К перлитному классу относится вся углеродистая сталь, а также легированная при суммарном содержании легирующих элементов до 6—7 %.

К аустенитному классу относятся сталь с большим количеством (до 30 %) легирующих элементов, снижающих критические точки, а также сложнолегированная сталь, содержащая никель, хром и другие элементы. Массовая доля углерода в такой стали колеблется в широких пределах.

К ферритному классу относится сталь, легированная большим количеством элементов, повышающих критические точки (хром, кремний и др.). Содержание в ней углерода незначительно.

К мартенситному классу относится сталь, легированная большим количеством различных элементов (хром, никель и др.). Массовая доля углерода в ней повышенная.

К карбидному классу относится сталь, содержащая большое количество элементов, образующих с углеродом стойкие карбиды (хром, вольфрам, ванадий и др.) при наличии большого (около 1 %) количества углерода. При затвердевании слитков такой стали в структуре образуются крупные первичные карбиды.

Для классификации нержавеющей стали по структуре с учетом суммарного воздействия легирующих элементов на рис. 12 приведена структурная диаграмма, предложенная Шеффлером. По горизонтальной оси откладывается массовая доля в стали хрома и других элементов в соответствующем эквиваленте к хрому; по вертикальной оси откладывается доля в стали никеля и других элементов в эквивалентах к никелю.

Пересечение перпендикуляров, восстановленных от процентных долей по горизонтальной и вертикальной осям, указывает на структуру

нержавеющей марки стали данного химического состава. Например, сталь, содержащая 8 % эквивалентов хрома и 18 % эквивалентов никеля, будет состоять из аустенита и мартенсита.

При классификации стали по качеству учитывается главным образом содержание в стали вредных примесей — серы и фосфора, а также метод выплавки.

Наименьшее количество вредных примесей содержит высококачественная сталь — серы и фосфора не более 0,05 %. В стали обыкновенного качества массовые доли серы и фосфора могут быть до 0,1 %. Высококачественная сталь обозначается буквой А (которая ставится в конце обозначения марки, например 20ХГСА). Особо высококачественная сталь обозначается буквой Ш, например 30ХГСШ. К особо высококачественной стали относят сталь электрошлакового переплава.

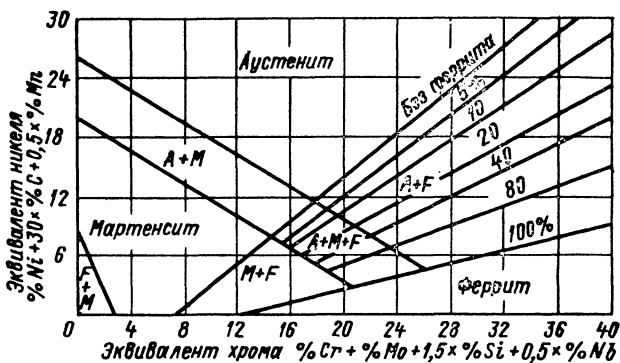


Рис. 12. Структурная диаграмма нержавеющей стали

Маркировка углеродистой стали. Сталь обыкновенного качества обозначается путем сочетания букв и цифр. Буква указывает группу поставки стали (табл. 40), цифра — порядковый номер стали.

40. Группы и основные марки стали обыкновенного качества (ГОСТ 380—71)

| Группа | Характеристика поставки | Марки стали |
|--------|---|--|
| А | По механическим свойствам | Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 |
| Б | По химическому составу | БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6 |
| В | По механическим свойствам и химическому составу | ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5 |

Пример. БСт3 — сталь группы Б, поставляемой по химическому составу.

При маркировке углеродистых качественных марок стали цифра обозначает среднюю массовую долю углерода в сотых долях процента.

Пример. Сталь 20 — качественная углеродистая сталь, содержащая в среднем 0,20 % углерода. Сталь 45 — качественная углеродистая сталь, содержащая в среднем 0,45 % углерода.

Маркировка инструментальной углеродистой стали отличается от маркировки качественных марок конструкционной стали. Перед цифровым обозначением у таких марок стоит буква У. Цифровое обозначение указывает на содержание углерода в десятых долях процента.

Пример. Сталь У7 — сталь инструментальная качественная с массовой долей углерода 0,7 %. Сталь У10 — сталь инструментальная качественная с массовой долей углерода 1 %.

Маркировка легированной стали. Марка стали согласно ГОСТу обозначается сочетанием букв и цифр. Буквы указывают наличие в стали легирующих элементов (табл. 41).

41. Условные обозначения химических элементов при маркировке стали

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|----------|----------|------|-------|----------|--------|-----|---------|-------|---------|----------|---------|------|----------|
| Азот | Нитрог | Вольфрам | Марганец | Медь | Селен | Молибден | Никель | Бор | Кремний | Титан | Ванадий | Алюминий | Кобальт | Хром | Цирконий |
| А | Б | В | Г | Д | Е | М | Н | Р | С | Т | Ф | Ю | К | Х | Ц |

Цифры, стоящие непосредственно после буквы, указывают на примерную процентную массовую долю соответствующего легирующего элемента в целых единицах, а цифра 1 после буквы или отсутствие цифры обозначает, что массовая доля соответствующего легирующего элемента составляет ~1 %. Цифра, стоящая перед буквами, указывает на массовую долю углерода в сотых долях процента. Если перед буквами нет цифры, это означает, что массовая доля углерода составляет ~1 %.

Пример. Сталь 20Х — хромистая сталь с массовой долей 0,20 % углерода, хрома ~1 %. Сталь 12ХН3 — хромоникелевая сталь с массовой долей углерода ~0,12 %, хрома ~1 %, никеля ~3 %. Сталь ХВГ — хромовольфрамомарганцовистая сталь с массовой долей углерода ~1 %, хрома ~1 %, вольфрама ~1 % и марганца ~1 %.

Высококачественная сталь маркируется дополнительной буквой А, например сталь 20ХН3А и т. д.

В зависимости от основных легирующих элементов, входящих в состав стали, легированная сталь делится на группы: хромистая, марганцовистая, хромомарганцовая, хромокремнистая, хромомолибденовая и хромомолибденованадиевая, хромованадиевая, никельмолибденовая, хромоникелевая и хромоникелевая с бором, хромокремнемарганцовая и хромокремнемарганцовоникелевая, хромомарганцовоникелевая и хромомарганцовоникелевая с титаном и бором, хромоникельмолибденовая, хромоникельмолибденованадиевая, хромоалюминиевая с молибденом.

К высоколегированной стали условно отнесены сплавы, содержание железа в которых более 45 %, а суммарное содержание легирующих элементов не менее 10 %, считая по верхнему пределу.

К сплавам на железоникелевой основе отнесены композиции, в которых сумма никеля и железа более 65 % при приблизительном отношении никеля к железу 1 : 1,5. К сплавам на никелевой основе отнесены сплавы, основная структура которых является твердым раствором хрома

и других легирующих элементов в никелевой основе (содержание никеля не менее 55 %).

При поставке легированной конструкционной стали концы или торцы прутков и штанг маркируются различной несмываемой краской в зависимости от группы стали, указанной в табл. 42.

42. Маркировка сортового проката с помощью окраски

| Группа стали | Цвет окраски прутков |
|--|---|
| Хромистая Марганцовистая Хромомарганцовая Хромокремнистая Хромомолибденовая и хромомолиб- денованадиевая Хромованадиевая Никельмолибденовая Хромоникелевая и хромоникелевая с бором Хромокремнемарганцовая Хромоникельмолибденовая Хромоалюминиевая и хромоалюми- ниевая с молибденом | Зеленый + желтый Коричневый + синий Синий + черный Синий + красный Зеленый + фиолетовый Зеленый + черный Желтый + фиолетовый Желтый + черный Красный + фиолетовый Фиолетовый + черный Алюминиевый |
| <p align="center">Примечание. Цвет краски для маркировки стали других групп устанавливается соглашением сторон.</p> | |

11. Химический состав марок стали

В табл. 43—47 приведен химический состав конструкционных, инструментальных, пружинных, нержавеющей, окалиностойких и жаропрочных марок стали.

12. Режимы термической обработки стали

Режимы предварительной термической обработки конструкционных и инструментальных марок стали с целью улучшения обрабатываемости при резании приведены в табл. 48—49. В табл. 50—61 приведены данные по режимам термической обработки стальных изделий.

13. Виды брака при термической обработке стали

Основным условием предотвращения брака при термической обработке является строгое соблюдение технологического процесса, который должен устанавливаться на основании опытных и литературных данных. Брак может быть исправимым и неисправимым. Неисправимый брак связан с нарушением химического состава поверхностных слоев металла при окислении, а также с нарушением структуры (пережогом) и сильным короблением изделия. Остальные виды брака могут быть исправлены, но высокое качество термической обработки после исправления брака получить затруднительно.

Виды брака и способы его предупреждения приведены в табл. 62.

43. Химический состав (массовая доля, %) конструкционных марок стали (ГОСТ 1050—74 и ГОСТ 4543—71)

| Марка стали | C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | Прочие |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|-----------|----------|--------------|
| | | | | не более | | | | |
| 10 | 0,07—0,14 | 0,17—0,37 | 0,35—0,65 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,15 | ≤ 0,25 | — |
| 20 | 0,17—0,24 | 0,17—0,37 | 0,35—0,65 | 0,040 | 0,035 | ≤ 0,25 | ≤ 0,25 | — |
| 40 | 0,37—0,45 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,040 | 0,035 | ≤ 0,25 | ≤ 0,25 | — |
| 45 | 0,42—0,50 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,040 | 0,035 | ≤ 0,25 | ≤ 0,25 | — |
| 50 | 0,47—0,55 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,040 | 0,035 | ≤ 0,25 | ≤ 0,25 | — |
| 20Г | 0,17—0,24 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — |
| 50Г | 0,48—0,56 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — |
| 15ХА | 0,12—0,17 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,025 | 0,025 | 0,70—1,00 | ≤ 0,30 | — |
| 20Х | 0,17—0,23 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,70—1,00 | ≤ 0,30 | — |
| 40ХН | 0,36—0,44 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,45—0,75 | 1,0—1,40 | — |
| 30ХРА | 0,27—0,33 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,025 | 0,025 | 1,00—1,30 | ≤ 0,30 | — |
| 40Х | 0,36—0,44 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤ 0,30 | — |
| 45Х | 0,41—0,49 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤ 0,30 | — |
| 50Х | 0,46—0,54 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤ 0,30 | — |
| 50Г2 | 0,46—0,55 | 0,17—0,37 | 1,40—1,80 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — |
| 18ХГ | 0,15—0,21 | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — |
| 18ХГТ | 0,16—0,23 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | 0,035 | 0,035 | 1,00—1,30 | ≤ 0,30 | 0,03—0,09 Ti |

| Марка стали | C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | Прочие |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|-----------|-----------|------------------------------|
| | | | | не более | | | | |
| 20ХГР | 0,18—0,24 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | 0,035 | 0,035 | 0,75—1,05 | ≤0,30 | — |
| 30ХГТ | 0,24—0,32 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | 0,035 | 0,035 | 1,00—1,30 | ≤0,30 | 0,03—0,09 Ti |
| 40ХС | 0,37—0,45 | 1,20—1,60 | 0,30—0,60 | 0,035 | 0,035 | 1,30—1,60 | ≤0,30 | — |
| 15ХМ | 0,11—0,18 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤0,30 | 0,40—0,55 Mo |
| 20ХМ | 0,15—0,25 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤0,30 | 0,15—0,25 Mo |
| 30ХМ | 0,26—0,34 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤0,30 | 0,15—0,25 Mo |
| 15ХФ | 0,12—0,18 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤0,30 | 0,06—0,12 V |
| 40ХФА | 0,37—0,44 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,025 | 0,025 | 0,80—1,10 | ≤0,30 | 0,10—0,18 V |
| 20Н2М | 0,17—0,25 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,035 | 0,035 | — | 1,50—1,90 | 0,20—0,30 Mo |
| 20ХН | 0,17—0,23 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | 0,035 | 0,035 | 0,45—0,75 | 1,00—1,40 | — |
| 40ХН | 0,36—0,44 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,45—0,75 | 1,00—1,40 | — |
| 50ХН | 0,46—0,54 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,035 | 0,035 | 0,45—0,75 | 1,00—1,40 | — |
| 12ХН3А | 0,09—0,16 | 0,17—0,37 | 0,30—0,60 | 0,025 | 0,025 | 0,60—0,90 | 2,75—3,15 | — |
| 12Х2Н4А | 0,09—0,15 | 0,17—0,37 | 0,30—0,60 | 0,025 | 0,025 | 1,25—1,65 | 3,25—3,65 | — |
| 18Х2Н4МА | 0,14—0,20 | 0,17—0,37 | 0,25—0,55 | 0,025 | 0,025 | 1,35—1,65 | 4,0—4,40 | — |
| 20Х2Н4А | 0,16—0,22 | 0,17—0,37 | 0,30—0,60 | 0,025 | 0,025 | 1,25—1,65 | 3,25—3,65 | — |
| 30ХГС | 0,28—0,35 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | 0,035 | 0,035 | 0,80—1,10 | ≤0,30 | — |
| 30ХГСН2А | 0,27—0,34 | 0,90—1,20 | 1,00—1,30 | 0,025 | 0,025 | 0,90—1,20 | 1,40—1,80 | — |
| 38ХГН | 0,35—0,43 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | 0,035 | 0,035 | 0,50—0,80 | 0,70—1,00 | — |
| 30ХН2МА | 0,27—0,34 | 0,17—0,37 | 0,30—0,60 | 0,025 | 0,025 | 0,60—0,90 | 1,25—1,65 | 0,20—0,30 Mo |
| 40ХН2МА | 0,37—0,44 | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | 0,025 | 0,025 | 0,60—0,90 | 1,25—1,65 | 0,15—1,25 Mo |
| 25Х2Н4МА | 0,21—0,28 | 0,17—0,37 | 0,25—0,55 | 0,025 | 0,025 | 1,35—1,65 | 4,00—4,40 | 0,30—0,40 Mo |
| 20ХН4ФА | 0,17—0,24 | 0,17—0,37 | 0,25—0,55 | 0,025 | 0,025 | 0,70—1,10 | 3,75—4,15 | 0,10—0,18 V |
| 38Х2МЮА | 0,35—0,42 | 0,20—0,45 | 0,30—0,60 | 0,025 | 0,025 | 1,35—1,65 | ≤0,30 | 0,15—0,25 Mo 0,70—1,10 Al |

44. Химический состав инструментальных марок стали (массовая доля, %) (ГОСТ 1435—74, ГОСТ 5950—73 и ГОСТ 19265—73)

| Марка стали | C | Si | Mn | Cr | Ni | W | V | Прочие |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|
| У7, У7А | 0,65—0,74 | 0,15—0,35 | 0,25—0,40 | 0,12—0,40 | — | — | — | 0,12—0,25 Ni 0,20—0,25 Cu |
| У8, У8А | 0,75—0,81 | 0,15—0,35 | 0,25—0,40 | 0,12—0,40 | — | — | — | 0,12—0,25 Ni 0,20—0,25 Cu |
| У9, У9А | 0,85—0,94 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | 0,12—0,40 | — | — | — | 0,12—0,25 Ni 0,20—0,25 Cu |
| У10, У10А | 0,95—1,04 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | 0,12—0,40 | — | — | — | 0,12—0,25 Ni 0,20—0,25 Cu |
| У12, У12А | 1,15—1,24 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | 0,12—0,40 | — | — | — | 0,12—0,25 Ni 0,20—0,25 Cu |
| 7ХФ | 0,63—0,73 | 0,15—0,35 | 0,30—0,60 | 0,40—0,70 | — | — | 0,15—0,30 | ≤0,35 Ni |
| 9ХФ | 0,80—0,90 | 0,15—0,35 | 0,30—0,60 | 0,40—0,70 | — | — | 0,15—0,30 | ≤0,35 Ni |
| Х | 0,95—1,10 | 0,15—0,35 | 0,15—0,40 | 1,30—1,65 | — | — | — | ≤0,25 Ni |
| 9ХС | 0,85—0,95 | 1,20—1,60 | 0,30—0,60 | 0,95—1,25 | — | — | — | — |
| ХВГ | 0,90—1,05 | 0,15—0,35 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | — | 1,20—1,60 | — | ≤0,25 N ≤0,30 Cu |
| Х12М | 1,45—1,65 | 0,15—0,35 | 0,15—0,40 | 11,0—12,5 | — | — | 0,15—0,30 | 0,40—0,60 Mo |
| Х12Ф1 | 1,25—1,45 | 0,15—0,35 | 0,15—0,40 | 11,0—12,5 | — | — | 0,70—0,90 | — |
| 7Х3 | 0,65—0,75 | 0,15—0,35 | 0,15—0,40 | 3,2—3,8 | — | — | — | — |
| 5ХНМ | 0,50—0,60 | 0,15—0,35 | 0,50—0,80 | 0,50—0,80 | 1,40—1,80 | — | — | 0,15—0,30 Mo |
| 5ХГМ | 0,50—0,60 | 0,25—0,60 | 1,20—1,60 | 0,60—0,90 | — | — | — | 0,15—0,30 Mo |
| 4Х2В5МФ | 0,30—0,40 | 0,15—0,35 | 0,15—0,40 | 2,20—3,00 | — | 4,50—5,50 | 0,60—0,90 | 0,60—0,90 Mo |
| 6ХС | 0,60—0,70 | 0,60—1,00 | 0,15—0,40 | 1,00—1,30 | — | — | — | — |
| P18 | 0,70—0,80 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 17,0—18,5 | 1,0—1,4 | ≤1,0 Mo |
| P9 | 0,85—0,95 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 8,5—10,0 | 2,0—2,6 | ≤1,0 Mo |
| P6M5 | 0,80—0,88 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 5,5—6,5 | 1,7—2,1 | 5,0—5,5 Mo |
| P6M3 | 0,85—0,95 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,0—3,6 | — | 5,5—6,5 | 2,0—2,5 | 3,0—3,6 Mo |
| P18Ф2 | 0,85—0,95 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 17,0—18,0 | 1,8—2,4 | ≤1,0 Mo |
| P6M5Ф3 | 0,96—1,05 | ≤0,4 | ≤0,4 | 3,8—4,3 | — | 5,7—6,7 | 2,2—2,6 | 5,5—6,0 Mo |
| P18Ф2K5 | 0,85—0,95 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 17,0—18,5 | 1,9—2,4 | ≤1,0 Mo |
| P12Ф4K5 | 1,25—1,40 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,7—4,2 | — | 12,5—14,0 | 3,2—3,9 | 5,0—6,0 Co 0,5—1,0 Mo |
| P9K5 | 0,90—1,00 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 9,0—10,5 | 2,0—2,6 | 5,0—6,0 Co ≤1,0 Mo |
| P9K10 | 0,90—1,00 | ≤0,5 | ≤0,4 | 3,8—4,4 | — | 9,0—10,5 | 2,0—2,6 | 9,0—10,5 Co ≤1,0 Mo |
| P9M4K8 | 1,0—1,1 | ≤0,4 | ≤0,4 | 3,0—3,6 | — | 8,5—9,6 | 2,1—2,5 | 7,5—8,5 Co 3,8—4,3 Mo |
| P6M5K5 | 0,80—0,88 | ≤0,4 | ≤0,4 | 3,8—4,3 | — | 6,0—7,0 | 1,7—2,2 | 4,8—5,3 Co 1,8—5,3 Mo |

45. Химический состав (массовая доля, %) пружинных марок стали общего назначения (ГОСТ 14959—79)

| Марка стали | C | Mn | Si | Cr | Ni | Прочие элементы | Примерное назначение |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|---|
| 65 | 0,62—0,70 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | Пружины механизмов и машин |
| 70 | 0,67—0,75 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | |
| 75 | 0,72—0,80 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | |
| 85 | 0,82—0,90 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | |
| У9А | 0,85—0,94 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤0,15 | ≤0,20 | — | |
| У10А | 0,95—1,04 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤0,15 | ≤0,20 | — | |
| У11А | 1,05—1,14 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤0,15 | ≤0,20 | — | |
| 60Г | 0,57—0,65 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | |
| 65Г | 0,62—0,70 | 0,90—1,20 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | |
| 70Г | 0,67—0,75 | 0,90—1,20 | 0,17—0,37 | ≤0,25 | ≤0,25 | — | |
| 55ГС | 0,52—0,60 | 0,60—0,90 | 0,50—0,80 | ≤0,30 | ≤0,25 | — | Рессоры автомобилей; пружины подвижного состава железнодорожного транспорта |
| 50С2 | 0,47—0,55 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | ≤0,30 | ≤0,25 | — | |
| 55С2 | 0,52—0,60 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | ≤0,30 | ≤0,25 | — | |
| 55С2А | 0,53—0,58 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | ≤0,30 | ≤0,25 | — | |
| 60С2 | 0,57—0,65 | 0,60—0,90 | 1,60—2,00 | ≤0,30 | ≤0,25 | — | |
| 70С3А | 0,60—0,74 | 0,60—0,90 | 2,40—2,80 | ≤0,30 | ≤0,25 | — | Пружины механизмов и машин |
| 50ХФА | 0,46—0,54 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,25 | 0,10—0,20 V | Пружины особо ответственного назначения; рессоры легковых автомобилей |
| 50ХГФА | 0,48—0,54 | 0,80—1,00 | 0,17—0,37 | 0,95—1,10 | ≤0,25 | 0,15—0,25 V | |
| 60С2ХА | 0,56—0,64 | 0,40—0,70 | 1,40—1,80 | 0,70—1,00 | ≤0,25 | — | Крупные пружины ответственного назначения |
| 60С2ХФА | 0,56—0,64 | 0,40—0,70 | 1,40—1,80 | 0,90—1,20 | ≤0,25 | 0,10—0,20 V | |
| 60С2Н2А | 0,56—0,64 | 0,40—0,70 | 1,40—1,80 | ≤0,30 | 1,40—1,70 | — | |
| 65С2ВА | 0,61—0,69 | 0,70—1,00 | 1,50—2,00 | ≤0,30 | ≤0,25 | 0,80—1,20 W | |

46. Химический состав (массовая доля, %) нержавеющей марок стали (ГОСТ 5632—72)

| Марка стали | C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | Ti |
|-------------|-----------|-------|------------|--------|--------|-----------|-----------|----------|
| 12X13 | 0,09—0,15 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,030 | 12,0—14,0 | ≤0,60 | — |
| 20X13 | 0,16—0,24 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,030 | 12,0—14,0 | ≤0,60 | — |
| 30X13 | 0,26—0,35 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,030 | 12,0—14,0 | ≤0,60 | — |
| 40X13 | 0,36—0,45 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,030 | 12,0—14,0 | ≤0,60 | — |
| 12X17 | ≤0,12 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,035 | 16,0—18,0 | ≤0,60 | — |
| 95X18 | 0,90—1,00 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,035 | 15,0—17,0 | ≤0,60 | — |
| 15X25T | ≤0,15 | ≤1,00 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,035 | 24,0—27,0 | ≤0,60 | 5 C—0,90 |
| 14X17H2 | 0,11—0,17 | ≤0,80 | ≤0,80 | ≤0,025 | ≤0,030 | 16,0—18,0 | 1,5—2,5 | — |
| 12X18H9 | ≤0,12 | ≤0,80 | ≤2,00 | ≤0,020 | ≤0,035 | 17,0—19,0 | 8,0—10,0 | — |
| 12X18H9T | ≤0,12 | ≤0,80 | ≤2,00 | ≤0,020 | ≤0,035 | 17,0—19,0 | 8,0—9,50 | 5.C—0,8 |
| 20X13H4Г9 | 0,15—0,30 | ≤0,80 | 8,00—10,00 | ≤0,025 | ≤0,050 | 12,0—14,0 | 3,70—4,70 | — |

47. Химический состав (массовая доля %) окалиностойких и жаропрочных марок стали и сплавов (ГОСТ 5632-72)

| Марка стали | C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | W | V | Mo | Прочие элементы |
|---------------|-----------|---------------|---------------|----------|-------|-----------|----------------|---------------|---------------|---------------|---|
| | | | | Не более | | | | | | | |
| 15X6CЮ | ≤0,15 | 1,20— 1,80 | ≤0,50 | 0,025 | 0,030 | 5,5—7,0 | — | — | — | — | 0,7—1,1 Al |
| 40X9C2 | 0,35—0,45 | 2,00—3,00 | ≤0,80 | 0,025 | 0,030 | 8,0—10,0 | — | — | — | — | — |
| 10X13CЮ | 0,07—0,12 | 1,20—2,00 | ≤0,80 | 0,025 | 0,030 | 12,0—14,0 | — | — | — | — | 1,00—1,80 Al |
| 10X23H18 | ≤0,10 | ≤1,00 | ≤2,00 | 0,020 | 0,035 | 22,0—25,0 | 17,0—20,0 | — | — | — | — |
| 40X10C2M | 0,35—0,45 | 1,90—2,60 | ≤0,80 | 0,025 | 0,030 | 9,0—10,5 | — | — | — | 0,7— 0,9 | — |
| 30X13H7C2 | 0,25—0,34 | 2,0—3,0 | ≤0,80 | 0,025 | 0,030 | 12,0—14,0 | 6,0—7,5 | — | — | — | — |
| 45X14H14B2M | 0,40—0,50 | ≤0,80 | ≤0,80 | 0,020 | 0,035 | 13,0—15,0 | 13,0—15,0 | 2,0— 2,8 | 1,5— 1,9 | 0,65— 0,95 | — |
| 40X15H7Г7Ф2МС | 0,38—0,47 | 0,90—1,40 | 6,00— 8,00 | 0,020 | 0,035 | 14,0—16,0 | 6,0—8,0 | — | 1,50— 1,90 | 0,65— 0,95 | — |
| 37X12H8Г8МФБ | 0,34—0,40 | 0,30—0,80 | 7,50— 9,50 | 0,030 | 0,035 | 11,5—13,5 | 7,0—9,0 | — | 1,25— 1,55 | 1,10— 1,40 | 0,25—0,45 Nb |
| ХН75МБТЮ | ≤0,10 | ≤0,80 | ≤0,40 | 0,012 | 0,020 | 19,0—22,0 | Осталь- ное | — | — | 1,80— 2,30 | 0,35—0,75 Al 0,35—0,75 Ti 0,90—1,30 Nb |
| Х38ВТ | 0,06—0,12 | ≤0,80 | ≤0,70 | 0,020 | 0,030 | 20,0—23,0 | 35,0—39,0 | 2,80— 3,50 | — | — | ≤0,07 Cu ≤3,0 Fe ≤0,50 Al 0,7—1,2 Ti |
| ХН70ВМТЮ | 0,10—0,16 | ≤0,60 | ≤0,50 | 0,012 | 0,015 | 14,0—16,0 | Осталь- ное | 4,0— 6,0 | — | 3,0— 5,0 | Остальное Fe 1,7—2,20 Al 1,0—1,4 Ti ≤0,07 Cu ≤3,0 Fe ≤0,01 B |
| ХН78Т | ≤0,12 | ≤0,80 | ≤0,70 | 0,012 | 0,015 | 19,0—22,0 | То же | — | — | — | 0,15—0,35 Ti ≤0,15 Al ≤6,0 Fe ≤0,01 B |
| ХН77ТЮР | ≤0,07 | ≤0,06 | ≤0,40 | 0,007 | 0,015 | 19,0—22,0 | » | — | — | — | 2,30—2,70 Ti 0,6—1,0 Al ≤0,4 Fe |

**48. Ориентировочные режимы предварительной термической обработки
конструкционных марок сталей**

| Марка стали | Операция термической обработки | Температура, °С | Способ охлаждения | Твердость НВ |
|-------------|---|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 10 | Нормализация | 900—940 | На воздухе | 111—143 |
| 20 | Нормализация Высокий отпуск | 890—920 680—700 | | 121—156 121—156 |
| 30 | Нормализация Высокий отпуск | 850—900 680—700 | | 170—207 187—217 |
| 40 | Нормализация Высокий отпуск | 830—860 680—700 | | 179—229 207—241 |
| 45 | Нормализация Высокий отпуск | 820—850 640—680 | | 179—241 170—207 |
| 50 | Нормализация Высокий отпуск | 810—840 620—660 | | 179—255 207—241 |
| 15Г | Нормализация Высокий отпуск | 900—930 680—700 | | 163—207 — |
| 50Г | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 820—840 680—700 840—870 | На воздухе » » С печью | 187—255 — 179—229 |
| 45Г2 | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 830—870 680—700 820—850 | На воздухе » » С печью | 207—255 — 187—229 |
| 50Г2 | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 820—850 680—700 810—830 | На воздухе » » С печью | 207—269 — 207—241 |
| 15Х | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 870—900 680—700 860—870 | На воздухе » » С печью | 131—163 187—229 131—156 |
| 20Х | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 870—900 680—700 860—870 | На воздухе » » Медленное | 156—187 — 143—179 |
| 40Х | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 850—860 620—680 830—850 | На воздухе » » С печью | 187—229 197—241 170—207 |
| 50Х | Нормализация Высокий отпуск Отжиг | 830—850 620—680 820—850 | На воздухе » » С печью | 187—241 — 170—229 |
| 20ХН | Нормализация Отжиг | 870—900 860—880 | На воздухе С печью | 187—229 170—207 |
| 40ХН | Нормализация Отжиг | 840—860 800—830 | На воздухе Медленное | 207—255 187—241 |

| Марка стали | Операция термической обработки | Температура, °С | Способ охлаждения | Твердость НВ |
|---|--|---|---|------------------------------------|
| 50ХН | Нормализация | 800—820 | На воздухе | 217—269 |
| 18ХГ | Нормализация Отжиг | 850—860 840—860 | На воздухе С печью | 207—241 170—207 |
| 30ХМ | Нормализация Отжиг | 840—860 830—850 | На воздухе Медленное | 207—255 187—229 |
| 40ХС | Нормализация | 870—890 | На воздухе | 229—30? |
| 15ХФ | Нормализация | 860—880 | | 156—187 |
| 40ХФА | Нормализация Закалка Высокий отпуск Отжиг | 870—890 870—890 630—660 830—850 | На воздухе В масле В воде Медленное | 197—241 — 229—255 187—229 |
| 30ХГС | Закалка Высокий отпуск | 860—880 640—670 | В масле На воздухе | — 217—241 |
| 12ХН3А | Нормализация | 860—900 | На воздухе | 156—229 |
| 40ХН | Закалка Высокий отпуск | 850—880 650—670 | В масле На воздухе | — 207—229 |
| 12Х2Н4А | Нормализация Высокий отпуск | 860—890 640—660 | На воздухе | 187—241 207—255 |
| 20Х2Н4А | Нормализация Высокий отпуск | 920—940 640—650 | | — 229—269 |
| 18ХГТ | Нормализация Высокий отпуск | 900—930 670—700 | | 187—229 — |
| 18Х2Н4МА | Нормализация Высокий отпуск | 850—870 650—670 | | 197—269 — |
| 38Х2МЮА | Закалка Высокий отпуск | 930—950 650—675 | В масле На воздухе | — 187—229 |
| 40ХФА | Отжиг | 800—820 | С печью | 187—241 |
| 18Х2Н4МА | Нормализация Высокий отпуск | 840—860 650—670 | На воздухе | 217—269 — |
| 60С2 | Отжиг | 740—760 | С печью до 600 °С | 197—229 |
| 12Х13 20Х13 30Х13 40Х13 12Х17 | Отжиг | 760—800 760—800 760—800 760—800 760—780 | С печью до 300 °С и далее на воздухе | 187—207 |

49. Температурные режимы предварительной термической обработки инструментальных марок стали для улучшения обрабатываемости резанием

| Марка стали | Режим отжига | | | Режим смягчающего отпуска | |
|----------------|-------------------------|---|---------------------|---------------------------|---------------------|
| | Температура нагрева, °C | Температура изотермической выдержки, °C | Твердость <i>HВ</i> | Температура нагрева, °C | Твердость <i>HВ</i> |
| У7 | 730—750 | 600—650 | 170—196 | 650—670 | — |
| У10, У10А | 740—750 | 600—650 | 166—192 | — | — |
| У11А—У13А | 750—780 | 620—660 | 166—192 | — | — |
| 7ХФ | 740—750 | 600—650 | 197—229 | 660—680 | — |
| 8ХФ, 9ХФ, 11ХФ | 750—790 | 670—700 | 170—196 | — | — |
| 6ХС, 7Х3 | 820—840 | 670—700 | 197—229 | 670—680 | — |
| 5ХНМ, 5ХНВ | 760—790 | — | 197—241 | 500—580 | 325—446 |
| 5ХНВС | 790—820 | — | 207—255 | 500—570 | 320—440 |
| 4Х3ВМФ | 810—830 | — | — | 700—720 | — |
| 3Х2В8Ф | — | — | — | 750—780 | — |
| 4Х5МФС | 840—860 | — | — | 730—760 | — |

50. Твердость углеродистых марок стали после закалки и отпуска

| Марка стали | Режим закалки | | Твердость после закалки <i>HRC</i> | Твердость <i>HRC</i> после отпуска при температуре, °C | | | | |
|-------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | Температура, °C | Охлаждающая среда | | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| 20 | 900—920 | Вода | 34—40 | 32—36 | 28—32 | 22—26 | 14—18 | 10—15 |
| 30 | 870—890 | | 42—48 | 40—44 | 34—38 | 28—32 | 20—24 | 14—18 |
| 40 | 840—860 | | 48—51 | 45—50 | 40—44 | 32—36 | 24—28 | 20—24 |
| 50 | 820—860 | | 54—60 | 52—56 | 46—50 | 38—42 | 30—34 | 24—28 |
| 60 | 800—820 | | 60—62 | 58—60 | 52—54 | 44—48 | 36—40 | 30—38 |
| У7 | 790—810 | | Через воду в масле | 62—64 | 60—62 | 52—56 | | |
| У8 | 780—800 | 63—65 | | 61—63 | 52—56 | | | |
| У9 | 770—790 | 63—65 | | 61—63 | 52—56 | | | |
| У10 | 770—790 | 62—64 | | 61—63 | 54—58 | 48—52 | — | — |
| У11 | 770—790 | 62—64 | | 61—63 | 54—58 | | | |
| У12 | 770—790 | 62—64 | | 61—63 | 54—58 | | | |
| У13 | 770—790 | 62—64 | | 61—63 | 54—58 | | | |

51. Влияние обработки холодом на свойства некоторых закаленных сталей

| Марка стали | Температура закалки, °С | Температура обработки холодом, °С | Приращение твердости HRC | Изменение длины, % |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| У8 | 780 | 0 | 0,6 | — |
| У10 | 780 | 0 | 1,5 | — |
| У12 | 780 | —20 | 0,3 | — |
| ХГ | 850 | —50 | 2,0 | 0,299 |
| ХВГ | 820 | —80 | 2,5 | 0,037 |
| ШХ15 | 850 | —30 | 2,5 | 0,050 |
| | 1050 | —60 | 1,5 | 0,050 |
| Х12Ф1 | 1100 | —70 | 4,5 | — |
| | 1150 | —90 | 18,0 | 0,588 |
| 18Х2Н4ВА (после цементации) | 850 | —85 | 3,8 | 0,211 |
| 12Х2Н4А (после цементации) | 790 | —50 | 1,3 | 0,088 |
| | 800 | —85 | 3,8 | 0,112 |

52. Режимы термической обработки изделий из конструкционных марок стали

| Группа стали | Марка стали | Термическая обработка | | | | |
|--------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | Закалка | | | Отпуск | |
| | | Температура, °С нагрева под | | Охлаждающая среда | Температура, °С | Охлаждающая среда |
| | | 1-ю закалку или нормализацию | 2-ю закалку | | | |
| Углеродистая | 30 | 870 | — | Вода | 250 | Воздух |
| | 40 | 840 | — | | | |
| | 45 | 830 | — | | 450 | |
| | | | | | 350 | |
| 50 | 810 | — | 160 | 500 | | |
| Хромистая | 15Х, 15ХА | 880 | 770—820 | Вода или масло | 180 | Воздух или масло |
| | 20Х | | | | | |
| | 30Х | 860 | — | Масло | 500 | Вода или масло |
| | 30ХРА | 900 * | 860 | | 200 | Воздух |
| | 35Х | 860 | — | | 500 | Вода или масло |
| | 38ХА | | | | 550 | |
| 40Х | 500 | | | | | |

| Группа стали | Марка стали | Термическая обработка | | | | |
|-------------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | Закалка | | | Отпуск | |
| | | Температура, °С нагрева под | | Охлаждающая среда | Температура, °С | Охлаждающая среда |
| | | 1-ю закалку или нормализацию | 2-ю закалку | | | |
| Хромистая | 45 X | 840 | — | Масло | 520 | Вода или масло |
| | 50 X | 830 | | | 520 | |
| Марганцовистая | 15Г | 880 | — | Воздух | — | — |
| | 20Г | | — | | | |
| | 25Г | | — | | | |
| | 30Г | 860 | — | Вода или воздух | 560 | Воздух |
| | 35Г | | — | | 600 | |
| | 40Г | | — | | | |
| | 45Г | 850 | — | Масло или воздух | 600 | |
| | 50Г | | — | | | |
| | 10Г2 | 920 | — | Воздух | — | |
| | 30Г2 | 880 | — | Масло или воздух | 600 | Воздух |
| | 35Г2 | 870 | — | | | |
| | 40Г2 | 860 | — | | 650 | |
| | 45Г2 | 850 | — | | | |
| | 50Г2 | 840 | — | | | |
| Хромо-марганцовая | 18 XГ | 880 | — | Масло | 200 | Воздух или масло |
| | 18 XГТ | 880—950 * | 870 | | | |
| | 20 XГР | 880 | — | | | Воздух |
| | 27 XГР | 870 | — | | | |
| | 25 XГТ | 880—950 * | 850 | | Вода или масло | |
| | 30 XГТ | | | | | — |
| | 40 XГТР | 840 | — | | | 550 |
| | 35 XГФ | 870 | — | | | 630 |
| 25 XГМ | 860 | — | — | 200 | Воздух | |

| Группа стали | Марка стали | Термическая обработка | | | | |
|--|---|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | Закалка | | | Отпуск | |
| | | Температура, °С нагрева под | | Охлаждающая среда | Температура, °С | Охлаждающая среда |
| | | 1-ю закалку или нормализацию | 2-ю закалку | | | |
| Хромокремнистая | 33ХС | 920 | — | Вода или масло | 630 | Вода или масло |
| | 38ХС | 900 | — | Масло | 630 | Масло |
| | 40ХС | | | | 540 | |
| | Изотермическая закалка при 900—910 °С в селитре при 330—350 °С, затем охлаждение на воздухе | | | | | |
| Хромо-молибденовая и хромо-молибденованадиевая | 15ХМ | 880 | — | Воздух | 650 | Воздух |
| | 20ХМ | | — | Вода или масло | 500 | |
| | 30ХМ | | — | Масло | 540 | Вода или масло |
| | 30ХМА | — | | | | |
| | 35ХМ | 850 | — | | 560 | Воздух |
| | 38ХМ | | — | | 580 | |
| | 30ХЗМФ | 870 | — | | 620 | Вода или масло |
| | 40ХМФА | 860 | — | 580 | Масло | |
| Хромо-ванадиевая | 15ХФ | 880 | 760—810 | Вода или масло | 180 | Воздух или масло |
| | 40ХФА | | — | Масло | 650 | Вода или масло |
| Никель-молибденовая | 15Н2М | 860 | 770—820 | Масло | 180 | Воздух |
| | 20Н2М | | — | | | |
| Хромо-никелевая и хромо-никелевая с бором | 20ХН | 860 | 760—810 | Вода или масло | 180 | Вода или масло |
| | 40ХН | | 820 | | — | |
| | 45ХН | 530 | | | | |
| | 50ХН | | | | | |

| Группа сталей | Марка стали | Термическая обработка | | | | |
|---|-------------|---|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | | Закалка | | | Отпуск | |
| | | Температура, °C нагр. ва под | | Охлаждающая среда | Температура, °C | Охлаждающая среда |
| | | 1-ю закалку или нормализацию | 2-ю закалку | | | |
| Хромоникелевая и хромоникелевая с бором | 20XPH | 930—950 * | 780—830 | Масло | 200 | Воздух или масло |
| | 12XH2 | 860 | 760—810 | Вода или масло | 180 | |
| | 12XH3A | | | | | |
| | 20XH3A | 820 | — | Масло | 500 | Вода или масло |
| | 12X2H4A | 860 | 760—800 | | 180 | Воздух или масло |
| | 20X2H4A | | 780 | | | |
| | 30XH3A | 820 | — | | 530 | Вода или масло |
| Хромокремнемарганцовая и хромокремнемарганцово-никелевая | 20XГСА | 880 | — | Масло | 500 | Вода или масло |
| | 25XГСА | | — | | 480 | |
| | 30XГС | | — | | 540 | |
| | 30XГСА | | — | | | |
| | 35XГСА | Изотермическая закалка при 880 °C в смеси калиевой и натриевой селитры, имеющей температуру 280—310 °C, охлаждение на воздухе | | | | |
| | | 950 * | 890 | Масло | 230 | Воздух или масло |
| | | 700 * | | | | |
| 30XГСН2А | 900 | — | | 260 | | |
| Хромомарганцово-никелевая и хромомарганцово-никелевая с титаном и бором | 15XГН2ТА | 960 * | 840 | Масло | 180 | Воздух или масло |
| | 20XГНР | 930—950 | 780—830 | | 200 | |
| | 20XГНТР | — | 850 | | | Масло |
| | 38XГН | 850 | — | | 570 | Вода или масло |

| Группа стали | Марка стали | Термическая обработка | | | | |
|--|-------------|------------------------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Закалка | | Охлаждающая среда | Отпуск | |
| | | Температура, °С нагрева под | | | Температура, °С | Охлаждающая среда |
| | | 1-ю закалку или нормализацию | 2-ю закалку | | | |
| Хромоникельмолибденовая | 14X2H3MA | 880 | 770 | Масло | 180 | Воздух |
| | 20XH2M | 860 | 780 | | 200 | Вода или масло |
| | 30XH2MA | | — | | 530 | Воздух |
| | 38X2H2MA | 870 | — | | 580 | Воздух или масло |
| | 40XH2MA | 850 | — | | 620 | Вода или масло |
| | 40X2H2MA | 870 | — | | 600 | |
| | 38XH3MA | 850 | — | | 590 | Воздух |
| | 18X2H4MA | 950 | 860 | | Воздух или масло | 200 |
| | 25X2H4MA | 850 | — | Масло | 560 | Масло |
| Хромоникельмолибденовая и хромоникельванадиевая | 30XH2MФА | 860 | — | Масло | 680 | Воздух |
| | 36X2H2MФА | 850 | — | | 600 | |
| | 38XH3MФА | | — | | 460 | Масло |
| | 45XH2MФА | 860 | — | | 630 | Вода |
| | 20XH4ФА | 850 | — | | | |
| Хромоалюминиевая и хромоалюминиевая с молибденем | 38X2Ю | 930 | — | Вода или масло | 630 | Вода или масло |
| | 38X2MЮА | 940 | — | | 640 | |

* Закалка на воздухе.

**53. Режимы термической обработки изделий
из конструкционных цементируемых марок сталей**

| Марка стали | Операция | Температура нагрева, °С |
|-------------|---|-------------------------------|
| 10 | Цементация Закалка в воде Отпуск | 900—920 780—800 180—200 |
| 20 | Цементация Закалка в воде Отпуск | 900—920 780—800 180—200 |
| 15Г | Цементация Закалка в масле Отпуск | 880—900 780—800 180—200 |
| 20Г | Цементация Закалка в масле Отпуск | 880—900 780—800 180—200 |
| 15Х | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—920 790—820 150—180 |
| 18ХГ | Цементация Закалка в масле Отпуск | 880—900 800—820 180—200 |
| 15ХФ | Цементация Закалка в масле Отпуск | 920—940 850—860 180—200 |
| 20ХГР | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—930 830—850 180—200 |
| 18ХГТ | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—920 800—820 180—200 |
| 18Х2Н4МА | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—920 850—870 180—200 |
| 12ХН2 | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—920 790—800 180—200 |
| 12ХН3А | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—920 790—800 180—200 |
| 12Х2Н4А | Цементация Закалка в масле Отпуск | 900—920 780—800 180—200 |
| 20Х2Н4А | Цементация Закалка в масле Отпуск | 920—930 780—800 150—160 |

54. Режимы изотермической закалки конструкционной стали

| Марка стали | Максимальная толщина или диаметр изделий, мм | Температура нагрева при изотермической закалке, °С | Температура закалочной ванны, °С | Выдержка в ванне, мин |
|-------------|---|--|----------------------------------|-----------------------|
| 25ХГН2ТА | Для изделий типа труб и пластин — 15; для цилиндрических изделий — 30 | 870—880 | 200—260 | 30—40 |
| 40Х2Н2МА | | | 315—325 | 20—30 |
| 38Х2Н2МА | Для изделий типа труб и пластин — 25; для цилиндрических изделий — 30 | | 300—325 | 30—40 |
| 30ХГСА | Не более 15 | 870—890 | 370—400 * 360—390 | 15—20 |
| 30ХГСН2А | 80—100 | 890—910 | 280—320 270—300 240—280 | 60 |

* Чем больше сечение изделия, тем ниже температура закалочной ванны.

55. Зависимость твердости закаленной стали от температуры отпуска

| Марка стали | Температура отпуска, °С | Твердость | Примечание |
|-------------|-------------------------|-------------------|--|
| 30 | 400 | <i>НВ</i> 153—189 | Закалка с 860 °С Диаметр изделия 60 мм |
| | 500 | <i>НВ</i> 150—175 | |
| | 600 | <i>НВ</i> 138—158 | |
| 35 | 200 | <i>НВ</i> 226 | Закалка с 850 °С в воде Диаметр изделия 60 мм |
| | 300 | <i>НВ</i> 212 | |
| | 400 | <i>НВ</i> 200 | |
| | 500 | <i>НВ</i> 189 | |
| | 600 | <i>НВ</i> 175 | |
| | 700 | <i>НВ</i> 162 | |
| 40 | 200 | <i>НВ</i> 267 | Закалка с 850 °С в масле |
| | 300 | <i>НВ</i> 247 | |
| | 400 | <i>НВ</i> 225 | |
| | 500 | <i>НВ</i> 208 | |
| | 600 | <i>НВ</i> 188 | |
| | 700 | <i>НВ</i> 170 | |
| 50 | 400 | <i>НВ</i> 217 | Закалка с 840 °С в воде Диаметр изделия 60 мм |
| | 500 | <i>НВ</i> 200 | |
| | 600 | <i>НВ</i> 180 | |
| 55 | 400 | <i>НВ</i> 234—266 | Закалка с 840 °С в воде Диаметр изделия 60 мм |
| | 500 | <i>НВ</i> 210—239 | |
| | 600 | <i>НВ</i> 190—210 | |

| Марка стали | Температура отпуска, °С | Твердость | Примечание |
|-------------|-------------------------|------------------|--|
| 40X | 200 | <i>HB</i> 552 | Закалка с 850 °С в воде Охлаждение после отпуска в воде |
| | 300 | <i>HB</i> 498 | |
| | 400 | <i>HB</i> 417 | |
| | 500 | <i>HB</i> 326 | |
| | 600 | <i>HB</i> 265 | |
| | 700 | <i>HB</i> 226 | |
| 20XГР | 200 | <i>HRC</i> 45 | Закалка с 860 °С в масле Охлаждение после отпуска в масле |
| | 300 | <i>HRC</i> 45 | |
| | 400 | <i>HRC</i> 41 | |
| | 500 | <i>HRC</i> 31 | |
| | 600 | <i>HRC</i> 25 | |
| 12XН3А | 200 | <i>HB</i> 400 | Закалка с 860 °С в масле |
| | 300 | <i>HB</i> 380 | |
| | 400 | <i>HB</i> 375 | |
| | 500 | <i>HB</i> 280 | |
| | 600 | <i>HB</i> 230 | |
| 30XГСА | 540 | <i>HB</i> 255 | Закалка с 870 °С в масле. Охлаждение после отпуска в воде или масле |
| | 560 | <i>HB</i> 241 | |
| 20XГНР | 200 | <i>HRC</i> 45 | Закалка с 860 °С в масле. Охлаждение после отпуска в масле |
| | 300 | <i>HRC</i> 45 | |
| | 400 | <i>HRC</i> 41 | |
| | 550 | <i>HRC</i> 31 | |
| | 600 | <i>HRC</i> 25 | |
| 40XН2МА | 200 | <i>HB</i> 525 | Закалка с 850 °С в масле |
| | 300 | <i>HB</i> 475 | |
| | 400 | <i>HB</i> 420 | |
| | 500 | <i>HB</i> 350 | |
| | 600 | <i>HB</i> 275 | |
| 40XФА | 100 | <i>HRC</i> 51—54 | |
| | 200 | <i>HRC</i> 49—51 | |
| | 300 | <i>HRC</i> 47—48 | |
| | 450 | <i>HRC</i> 44—46 | |
| | 500 | <i>HRC</i> 41—42 | |
| 60С2 | 400 | <i>HB</i> 477 | Закалка с 860 °С в масле |
| | 500 | <i>HB</i> 364 | |
| | 550 | <i>HB</i> 364 | |
| 95X18 | 150 | <i>HRC</i> 58—63 | Закалка с 1050 °С в масле |
| | 200 | <i>HRC</i> 57—61 | |
| | 300 | <i>HRC</i> 54—58 | |
| | 400 | <i>HRC</i> 55—58 | |
| | 500 | <i>HRC</i> 50—53 | |
| | 600 | <i>HRC</i> 39—42 | |

**56. Режимы термической обработки изделий
из пружинных марок стали общего назначения**

| Марка стали | Режим термической обработки | | | |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----|
| | Температура закали, °С | Охлаждающая среда при закатке | Температура отпуска, °С | |
| 65 | 840 | Масло | 480 | |
| 70 | 830 | | | |
| 75 | 820 | | | |
| 85 | | | | |
| У9А * | 760—790 | Масло или вода | 300—420 | |
| У10А, У12А * | 770—810 | | | |
| 60Г | 840 | Масло | 480 | |
| 65Г | 830 | | | |
| 70Г | | | | |
| 55ГС | 820 | | | |
| 50С2 | 870 | Масло или вода | 460 | |
| 55С2, 55С2А | | | | |
| 60С2 | | Масло | 420 | |
| 60С2А | | | 460 | |
| 70С3А | 860 | Масло | 520 | |
| 50ХФА | 850 | | | |
| 50ХГФА | | | | |
| 60С2ФА | | | | 410 |
| 65С2ВА | | | | 420 |
| 60С2Н2А | 880 | | | |
| 70С2ХА | 870 | | | |

* При закатке в воде температуру принимают по нижнему пределу, при закатке в масле — по верхнему.

57. Температура рекристаллизационного отжига стали

| Обработка давлением, после которой выполняется отжиг | Марка стали | Температура отжига, °С |
|--|---|--|
| Холодная прокатка | 08, 08кп, 15, 20 10Г2 12Х17 12Х18Н9Т | 680—700 550—570 800—850 1050—1150 |
| Холодная вытяжка (штамповка) | 08, 10, 15, 20 | 600—650 |
| Холодное волочение труб | 10, 15, 25, 30, 35, 40, 45, 50, У7, 15Х, 20Х, 15ХМ, 40Х, 30ХГСА 38Х2МЮА 10Г2 12Х18Н9Т | 600—650 750—770 620—640 1100—1150 |
| Холодная протяжка (калибровка) прутков | У7, У8, У9, У10, У12, У13 Х, 9Х, 9ХС, ХГС, ХВГ, 30ХГСА 40Х Р18, Р9, Х12, Х12Ф1, 12Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13 12ХН3А, 30ХН3А, 40ХН2МА | 700 730 760 670 |
| Холодное волочение проволоки | БСт0, БСт1, БСт3 | 690—710 |

58. Режимы термической обработки нержавеющей кислотостойкой и окалиностойкой стали

| Марка стали | Термическая обработка | | | | Твердость HRC | Размер сечения, мм |
|-------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|--------------------|
| | Закалка | | Отпуск | | | |
| | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Температура, °С | Охлаждающая среда | | |
| 12Х13 | 950—1050 | Масло | 500—550 | Воздух | — | — |
| 20Х13 | | | 550—600 | | — | — |
| 30Х13 | 1000—1050 | | 500 | | 48—50 | — |
| 40Х13 | | | 200—225 | | 50—55 | До 60 |
| 95Х18 | 1000—1075 | | 200—300 | | 57—60 | — |
| 14Х17Н2 | | | 550—600 | | 52—55 | — |
| | | | 200—225 | | | |
| | | | 250—300 | | 36—42 | До 100 |
| | | | 540—560 | | 30—35 | |

| Марка стали | Термическая обработка | | | | Твердость HRC | Разм. сечения, мм |
|-------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Закалка | | Отпуск | | | |
| | Температура нагрева, °C | Охлаждающая среда | Температура, °C | Охлаждающая среда | | |
| 17X18H9 | 1000—1050 1050—1100 | Воздух | — | Воздух | — | — |
| 12X18H9T | 1100—1150 | Вода | — | — | 18 | До 100 |
| 06X18H11 | 1050—1100 | | — | — | | — |
| 08X18H12T | | | — | — | | — |
| 10X23H18 | | | — | — | | 60 |
| 36X18H25C2 | | | Воздух | — | | — |
| 45X14H14B2M | 1150—1200 | Вода | — | — | — | — |
| 40X9C2 | 1000—1050 | Масло | 800—830 | Воздух | — | — |
| 40X10C2M | 1100—1150 | Вода | 750—780 | | — | — |

59. Режимы термической обработки теплостойкой стали

| Марка стали | Режимы термической обработки | | | |
|-------------|---|-------------------|---|-------------------|
| | Закалка, нормализация, отжиг | | Отпуск или старение | |
| | Температура нагрева, °C | Охлаждающая среда | Температура нагрева, °C | Охлаждающая среда |
| 12MX | Нормализация 910—930 | Воздух | 670—690 | Воздух |
| 12X1MФ | Нормализация 960—980 | | 700—750 | |
| 20X1M1Ф1ТР | Закалка 970—990 | Масло | 680—720 | |
| 20X1M1Ф1БР | Нормализация 1030—1050 | Воздух | Ступенчатый отпуск 600—3 ч, 700—720—6 ч | |
| 25X1MФ | Закалка вариант I — 880—900, вариант II — 930—950 | Масло | 640—660 620—660 | |

| Марка стали | Режимы термической обработки | | | |
|-------------|--|-------------------|-------------------------|-------------------|
| | Закалка, нормализация, отжиг | | Отпуск или старение | |
| | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда |
| 25Х2М1Ф | Нормализация вариант I — 1030—1050, вариант II — 950—970 | Воздух | 680—720 | Воздух |
| 18Х3МВ | Закалка 950—970 | Масло | 660—680 | |
| 20Х3МВФ | Закалка 1030—1060 | Масло | 660—700 | |
| 15Х5 | Отжиг 840—860 | С печью | — | — |
| 15Х5М | | | | |
| 15Х5ВФ | | | | |
| 12Х8ВФ | | | | |

60. Типовые режимы термической обработки заготовок из сортового проката и штамповок, изготовленных из жаропрочной стали и сплавов

| Группа стали | Марка стали или сплава | Операция термической обработки | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда |
|--------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------|
| Перлитные | 15ХМ | Нормализация Отпуск | 920—930 630—650 | С | Воздух |
| | 12ХМФ | Нормализация Отпуск | 960—980 740—760 | | |
| | 25Х2М1Ф | Нормализация Отпуск | 1030—1050 650—670 | С 6 | |
| | | Двойная нормализация | 1030—1050 + + 950—970 | С | |
| | | Отпуск | 650—680 | 6 | |
| Мартенситные | 15Х11МФ | Закалка | 1030—1100 | — | Масло |
| | | Нормализация | | | Воздух |
| | | Отпуск | 700—740 | 2—3 | |

| Группа стали | Марка стали или сплава | Операция термической обработки | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда |
|--|------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|
| Мартенситные | 11X11H2B2MФ | Закалка | 1050 | — | Масло |
| | | Отпуск | 680—700 | 2—5 | Воздух |
| Аустенитные | 09X14H19B2BP | Закалка | 1120—1150 | 1 | Воздух |
| | | Отпуск | 750 | 5 | |
| | 31X19H9MBBT | Закалка | 1150—1180 | 1—2 | Воздух |
| | | Отпуск | 750—800 | 15 | |
| ХН35ВТ | Закалка | 1080—1100 | 1 | Вода | |
| | Отпуск | 700 | 25—50 | | Воздух |
| | | Закалка | 1080—1100 | 1 | Вода |
| | | Двойной отпуск | 850—900 | 10 | |
| Примечание. С — выдержка в зависимости от размера садки. | | | | | |

61. Типовые режимы термической обработки отливок лопаток газовых турбин из жаропрочных марок стали и сплавов

| Группа стали или сплава | Марка стали или сплава | Операция термической обработки | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждение |
|--|------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| Ферритно-мартенситные | 1X11MФБЛ | Отжиг | 750—800 | С | С печью |
| | | Закалка | 1050 | 1 | На воздухе |
| | Отпуск | 730 | 2 | » » | |
| | 1X12ВНМФЛ | Отжиг | 700—750 | С | С печью |
| Закалка | | 1000 | 1 | В масле | |
| | | Отпуск | 680 | 5 | На воздухе |
| Аустенитные | ХН35ВТЮЛ | Закалка | 1050—1100 | 4 | На воздухе |
| | | Отпуск | 800 | 16 | |
| Никель-хромовые сплавы | ХН80ТБЮЛ | Закалка | 1100 | 5 | В воде |
| | | Ступенчатый отпуск | 1000 | 2 | С печью до 900 °С |
| | | | 900 | 1 | С псчью до 800 °С |
| | | | 800 | 2 | На воздухе |
| | 750 | 20 | | | |
| | | 650—700 | 48 | | |
| ХН70ВМЮТЛ | Закалка | 1150 | 3 | В масле или на воздухе | |
| | Отпуск | 800 | 20 | На воздухе | |
| Примечание. С — выдержка в зависимости от размера садки. | | | | | |

62. Классификация брака при термической обработке стали

| Вид брака | Причина | Меры предупреждения |
|---|---|---|
| Внешние и внутренние трещины (разрывы металла) | <p>Неправильный выбор закалочной среды</p> <p>Несвоевременный отпуск</p> <p>Резкая закалка</p> <p>Недостаточная защита опасных мест при закалке изделия с различным сечением и сложной конфигурацией</p> <p>Нерациональная конструкция изделий (резкие переходы, острые углы)</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> <p>Сокращение промежутка времени между закалкой и отпуском</p> <p>Применение ступенчатой закалки. Применение прерывистого охлаждения в двух охладителях</p> <p>Изолирование асбестом отверстий у краев и уменьшение или ликвидация резких переходов</p> <p>При конструировании изделий избегать острых углов и резких переходов</p> |
| Сильное окисление (значительный слой окалины на поверхности детали) | <p>Нагрев в окислительной атмосфере</p> <p>Завышенное время выдержки при нагреве</p> | <p>Проведение нагрева в контролируемой атмосфере</p> <p>Соблюдение технологического процесса</p> |
| Обезуглероживание (выгорание углерода с поверхности) | <p>Завышенное время выдержки при нагреве</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> |
| Оплавление | <p>Слишком высокая температура нагрева и завышенное время выдержки при нагреве</p> <p>Неисправность оборудования, нагревательных и регулирующих устройств</p> <p>Неправильная укладка изделий в печи (близко к нагревателям)</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> <p>Ремонт оборудования</p> <p>Не располагать изделия близко к спиральям или электродам (в соляной ванне)</p> |
| Крупнозернистая микроструктура | <p>Перегрев выше заданной температуры и завышенное время выдержки</p> <p>Неисправность оборудования, нагревательных и регулирующих устройств</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> <p>Ремонт оборудования</p> |
| Камневидный излом | <p>Перегрев выше установленной температуры</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> |
| Нафталиновый излом (крупнокристаллический излом с блестящими) | <p>Вторичная закалка без предварительного отжига</p> | <p>Проведение отжига перед второй закалкой</p> |

| Вид брака | Причина | Меры предупреждения |
|--|--|--|
| Межкристаллитная коррозия (разрушение по границам зерен металла) | Неправильно задан температурный режим нагрева | Корректирование технологического процесса |
| Повышенная твердость (отклонение от ТУ) | Заниженная температура нагрева (при отпуске). Недостаточное время выдержки (при отпуске) Повышенная скорость охлаждения | Корректирование технологического процесса |
| Пониженная твердость (отклонение от ТУ) | Неправильный выбор закалочной среды Нагрев ниже заданной температуры (при закалке). Нагрев выше заданной температуры (при отпуске) Недостаточное время выдержки (при закалке) | |
| Неравномерная твердость | Неправильное погружение в закалочную среду. Недостаточное движение деталей Местное обезуглероживание. Неоднородность исходной структуры | Устранить причину Применение безокислительного нагрева |
| Несоответствие механических свойств требованиям ТУ | Нарушение режима термической обработки. Несоответствие металла требованиям ГОСТ или ТУ Неправильный отбор и изготовление образцов для испытаний | Соблюдение технологического процесса и требований ТУ |
| Деформация детали (искривление, коробление, прогиб и т. п.) | Неравномерный нагрев. Неравномерное охлаждение. Неправильная укладка изделий в печи Неисправность оборудования Неправильное погружение в закалочную среду | Устранить причину Ремонт оборудования Изделия следует погружать в закалочную среду в строго вертикальном положении |
| Оплавление поверхностного слоя при нагреве т. в. ч. | Завышенное время выдержки при нагреве. Слишком высокая температура нагрева | Соблюдение технологического процесса |
| Точечное оплавление | Соприкосновение с поверхностью индуктора | Изоляция поверхности индукторов и применение центрирующих приспособлений |

Г Л А В А IV

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

14. Общие вопросы

Химико-термическая обработка стали широко применяется в промышленности благодаря эффективности процесса, позволяющего создавать в детали рабочий поверхностный слой, обладающий высокой твердостью, износостойкостью при относительно мягкой и непрочной сердцевине из малоуглеродистой стали.

Химико-термическая обработка заключается в поверхностном насыщении изделий специальными веществами в области повышенных или высоких температур. Обычно этот процесс дополняется упрочняющей термической обработкой.

В качестве веществ, применяемых для насыщения поверхностных слоев стальных изделий, используются углерод, азот, алюминий, кремний, хром, бор и др. Соответственно такие процессы обработки называются цементацией, азотированием, алитированием, силицированием, хромированием, борированием и т. д.

Иногда при химико-термической обработке насыщение поверхности осуществляется двумя и более веществами. В качестве примера можно привести цианирование (насыщение поверхности стали углеродом и азотом), сульфоцианирование (насыщение поверхности стали углеродом, азотом и серой).

Вещества, в среде которых происходит насыщение изделий, называются *диффузантами* или *карбюризаторами*. Различают карбюризаторы твердые, жидкие и газообразные. Поэтому и процессы химико-термической обработки называют газовой цементацией, жидкостным цианированием, цементацией в твердом карбюризаторе и т. п.

15. Цементация

Цементация может производиться в твердом и газообразном карбюризаторах *. Местная защита отдельных поверхностей изделий от цементации обеспечивается припусками *металла* на механическую обработку или слоем меди, нанесенным гальваническим способом, а также специальными пастами.

Толщина медного слоя, гарантирующая защиту от науглероживания, должна быть при глубине слоя цементации 0,8—1,2 мм 30—40 мкм, а при глубине более 1,2 мм — 50—70 мкм. Медное покрытие должно быть плотным, без пузырей и пористости **.

Внутренние полости изделий и отверстия обычно защищают от цементации забивкой смесью кварцевого песка и окалины (в соотношении 1 : 1) или смесью шамотного порошка и окалины (в соотношении 1 : 2). Смесью плотно утрамбовывают, а концы отверстий тщательно забивают асбестовыми пробками.

* Цементация в твердом карбюризаторе имеет ограниченное применение и используется только для деталей, которые не могут обрабатываться в среде газового карбюризатора.

** При применении медного покрытия максимальная температура цементации не должна превышать 1050 °С во избежание расплавления омедненного слоя (температура плавления меди 1083 °С).

63. Составы паст, применяемых для защиты поверхностей изделий от цементации

| Составляющие | Массовая доля, % | Способ изготовления |
|---|-------------------------------|---|
| Тальк Белая глина Вода | 50 25 25 | Добавляют жидкое стекло до сметанообразного состояния и перемешивают |
| Одноклористая медь Свинцовый сурик | 70 30 | Замешивают на канифольном лаке до сметанообразного состояния |
| Песок Глина Бура Натриевая селитра Оксид свинца | 41 43 10 3 3 | Все составляющие перемешивают и разводят на жидком стекле |
| Тальк Оксид алюминия Свинцовый сурик | 58 28 14 | Разводят на жидком стекле (одна часть смеси и три части жидкого стекла) |
| Песок Глинозем Оксид железа » титана » магния | 60 35 3 0,25 1,75 | Разводят на жидком стекле (три части смеси и одна часть жидкого стекла). Пасту наносят в два слоя |
| Глина молотая Песок сеяный Бура Нитрид натрия | 40 45 12 3 | Разводят на жидком стекле до сметанообразного состояния. Паста наносится в один слой |

В табл. 63 приведены составы паст, применяемых для защиты поверхностей изделий от цементации.

Перед цементацией изделия необходимо тщательно очистить от грязи, ржавчины, масла и других загрязнений. Цементацию рекомендуется производить при 900—950 °С. Для цементации изделий в твердом карбюризаторе рекомендуется применять карбюризаторы, приведенные в табл. 64.

При цементации каждой новой партии изделий карбюризатор составляет из 50—80 % отработанного, предварительно просеянного карбюризатора, и 20—50 % свежего. Смесь свежего и отработанного карбюризатора необходимо тщательно перемешать.

Для упаковки изделий применяется металлическая тара различных размеров и форм (круглая, квадратная, с внутренним отверстием и др.). Тара для цементации (ящики и крышки) изготавливается из стали, чугуна и жаростойких сплавов. Стойкость сварных ящиков равна 150—200 ч, литых (стальных и чугунных) — 250—500 ч, из жаростойкого сплава — 4000—6000 ч. Стойкость стальных ящиков, применяемых для цементации, может быть повышена алитированием.

Изделия следует упаковывать в ящики следующим образом. На дно ящика насыпают слой карбюризатора толщиной 30—40 мм и слегка утрамбовывают его, постукивая по стенкам ящика. Затем укладывают

64. Составы карбюризаторов

| Составляющие | Массовая доля, % |
|---|---|
| Углекислый барий Углекислый кальций Летучие вещества Вода Древесный уголь | 20—25 3,5—5,0 Не более 10 » » 5 Остальное |
| Углекислый барий Углекислый кальций Вода Полукокс | 10—15 3,5 Не более 6,0 Остальное |
| Углекислый натрий Древесный уголь | 10 90 |
| Углекислый барий Древесный уголь | 10 90 |
| Углекислый натрий Торфяной кокс | 6—10 90—94 |
| Древесный уголь Костяная мука | 40 60 |
| Углекислый натрий Древесные опилки | 5—8 92—95 |

изделия и образцы-свидетели, по которым определяется глубина и качество слоя цементации, соблюдая расстояние между ними и от стенок ящика в 20—25 мм, насыпают слой карбюризатора толщиной 20—25 мм и утрамбовывают его. Так поступают до тех пор, пока все изделия не будут упакованы. Верхний ряд изделий следует покрыть слоем карбюризатора 20—35 мм и окончательно плотно утрамбовать во избежание оголения деталей при цементации. На верхний слой карбюризатора кладут лист асбеста, ящик закрывают крышкой и обмазывают ее смесью огнеупорной глины с песком. После естественной сушки глины ящики загружаются в печь, причем между ними соблюдается расстояние не менее 30—50 мм.

Время выдержки ящиков в печи (с момента достижения температуры цементации) ориентировочно определяется из расчета: 0,15 мм/ч при глубине слоя менее 1,0 мм; 0,1 мм/ч при глубине слоя цементации более 1,0 мм. Разборка ящиков после цементации осуществляется при температуре не выше 100 °С. Остывшие детали после цементации должны иметь светло-серую поверхность.

Газовая цементация более производительна и менее энергоемка по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе, так как не затрачивается время на упаковку, расход энергоресурсов на прогрев ящиков, а также улучшаются условия труда рабочих. Процесс газовой цементации осуществляется смесью природного газа и газа-разбавителя (обычно эндогаза). Для получения заданной концен-

65. Глубина цементированного слоя при газовой цементации

| Выдержка, ч | Глубина цементированного слоя (мм) при температуре, °С | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | 820 | 850 | 875 | 900 | 925 | 950 | 975 | 1000 |
| 1 | 0,30 | 0,38 | 0,45 | 0,53 | 0,63 | 0,75 | 0,85 | 1,00 |
| 2 | 0,42 | 0,53 | 0,63 | 0,76 | 0,90 | 1,00 | 1,22 | 1,42 |
| 3 | 0,53 | 0,63 | 0,80 | 0,94 | 1,10 | 1,30 | 1,50 | 1,70 |
| 4 | 0,60 | 0,74 | 0,89 | 1,07 | 1,27 | 1,50 | 1,75 | 2,00 |
| 5 | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,42 | 1,68 | 1,96 | 2,25 |
| 6 | 0,76 | 0,91 | 1,09 | 1,32 | 1,55 | 1,83 | 2,13 | 2,46 |
| 7 | 0,78 | 1,00 | 1,19 | 1,42 | 1,68 | 1,98 | 2,30 | 2,55 |
| 8 | 0,86 | 1,04 | 1,27 | 1,52 | 1,80 | 2,10 | 2,46 | 2,80 |
| 9 | 0,90 | 1,12 | 1,35 | 1,60 | 1,90 | 2,23 | 2,55 | 3,00 |
| 10 | 0,96 | 1,17 | 1,42 | 1,70 | 2,00 | 2,36 | 2,80 | 3,20 |
| 11 | 1,02 | 1,22 | 1,50 | 1,78 | 2,11 | 2,46 | 2,80 | 3,35 |
| 12 | 1,04 | 1,30 | 1,55 | 1,85 | 2,21 | 2,50 | 3,05 | 3,55 |
| 13 | 1,09 | 1,35 | 1,62 | 1,93 | 2,29 | 2,54 | 3,06 | 3,56 |
| 14 | 1,14 | 1,40 | 1,68 | 2,00 | 2,39 | 2,80 | 3,30 | 3,80 |
| 15 | 1,20 | 1,45 | 1,73 | 2,10 | 2,47 | 2,80 | 3,38 | 3,92 |
| 16 | 1,22 | 1,50 | 1,80 | 2,13 | 2,54 | 2,85 | 3,50 | 4,05 |
| 17 | 1,27 | 1,52 | 1,85 | 2,20 | 2,55 | 3,05 | 3,55 | 4,17 |
| 18 | 1,30 | 1,57 | 1,90 | 2,29 | 2,69 | 3,17 | 3,72 | 4,32 |
| 19 | 1,35 | 1,62 | 1,96 | 2,34 | 2,70 | 3,30 | 3,81 | 4,40 |
| 20 | 1,37 | 1,68 | 2,00 | 2,39 | 2,80 | 3,31 | 3,89 | 4,55 |
| 21 | 1,40 | 1,70 | 2,06 | 2,46 | 2,90 | 3,41 | 3,98 | 4,62 |
| 22 | 1,42 | 1,75 | 2,10 | 2,51 | 2,96 | 3,50 | 4,06 | 4,73 |
| 23 | 1,47 | 1,77 | 2,15 | 2,54 | 3,05 | 3,55 | 4,17 | 4,83 |
| 24 | 1,50 | 1,83 | 2,20 | 2,62 | 3,10 | 3,65 | 4,29 | 5,00 |
| 25 | 1,52 | 1,85 | 2,23 | 2,66 | 3,16 | 3,70 | 4,33 | 5,10 |

Примечание. Время выдержки отсчитывается с момента достижения цементируемыми изделиями заданной температуры.

66. Средние значения скорости газовой цементации
при различных температурах

| Глубина слоя, мм | Скорость цементации (мм/ч) при температуре, °С | | | | |
|---------------------|---|------|------|------|------|
| | 900 | 925 | 950 | 975 | 1000 |
| До 0,5 | 0,45 | 0,55 | 0,75 | — | — |
| 0,5—1,0 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,75 | 0,95 |
| 1,0—1,5 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,75 |
| 1,5—2,0 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,35 | 0,55 |
| 2,0—2,5 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,40 |

67. Скорость подачи различных карбуризаторов при газовой цементации

| Тип печи | Объем рабочего пространства печи, м ³ | Расход карбуризатора | | | |
|---------------------|--|---|----------|----------------------------------|----------|
| | | Керосин, пиробензол, синтин, капель в 1 мин | | Природный газ, м ³ /ч | |
| | | Нагрев | Выдержка | Нагрев | Выдержка |
| СШЦ-04.06/10 (Ц-35) | 0,04 | 25—35 | 60—70 | — | — |
| СШЦ-04.09/10 (Ц-75) | 0,14 | 35—45 | 70—90 | 0,3—0,5 | 0,9—1,2 |
| СШЦ-06 12/10 (Ц-90) | 0,25 | 50—75 | 120—150 | 0,4—0,6 | 1,2—1,6 |
| Ц-105 | 0,35 | 50—75 | 120—150 | 0,4—0,6 | 1,2—1,6 |
| ШЦН-20 | 0,03 | 25—35 | 40—60 | — | — |
| ШЦН-45А | 0,10 | 35—45 | 60—90 | 0,3—0,5 | 0,9—1,2 |
| ШЦН-65А | 0,14 | 35—45 | 70—90 | 0,3—0,5 | 0,9—1,2 |
| ШЦН-95А | 0,34 | 50—75 | 120—150 | 0,4—0,6 | 1,2—1,6 |

68. Рекомендуемые допуски при цементации на различную глубину, мм

| Глубина цементации | Допуск на глубину слоя |
|--------------------|------------------------|
| 0,5 | 0,10 |
| 0,5—1,3 | 0,15 |
| 1,6—2,0 | 0,20 |

69. Состав паст для цементации (массовая доля, %)

| Сажа | Углекислый натрий или углекислый барий | Желтая кровяная соль | Щавелево-кислый натрий | Мазут | Декстрин | Разжижители | Скорость цементации |
|---|--|----------------------|------------------------|-------|----------|-------------------|--|
| 30—60 50 | 20—40 40 | 10—15 — | 5—10 10 | — | — | Канцелярский клей | При 930 °С за 4 ч образуется слой толщиной 1,2—1,5 мм |
| 30 | 10 | — | — | 40 | 20 | Керосин | При 1110—1150 °С за 50 мин образуется слой толщиной 1,3 мм |
| Примечание. Консистенция пасты сметанообразная. | | | | | | | |

70. Виды брака при цементации и способы его устранения

| Вид брака | Причины | Меры предупреждения |
|---|--|---|
| <p>Чрезмерно большая глубина цементованного слоя</p> | <p>Завышенное время выдержки при цементации Применение активного карбюризатора Высокая температура цементации Неравномерная температура в печи</p> | <p>Устранить причины, вызывающие брак (при завышенной глубине цементации брак неисправим)</p> |
| <p>Заниженная глубина цементованного слоя</p> | <p>Недостаточное время выдержки при цементации Заниженная температура цементации Применение недостаточно активного карбюризатора Неравномерная температура в печи Недостаточная подача газа или керосина в случае газовой цементации</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> <p>Тщательная дозировка цементирующих веществ</p> |
| <p>Повышенная концентрация углерода в цементованном слое</p> | <p>Применение активного карбюризатора и завышенное время выдержки при цементации</p> | <p>Соблюдение технологического процесса</p> |
| <p>Пониженная концентрация углерода в цементованном слое</p> | <p>Применение недостаточно активного карбюризатора</p> | <p>Тщательная дозировка цементирующих веществ</p> |
| <p>Неравномерная глубина цементованного слоя</p> | <p>Зажиренная и грязная поверхность изделия</p> <p>Неправильная упаковка цементационных ящиков</p> <p>Отложение сажи при газовой цементации</p> | <p>Очистка поверхности изделия перед цементацией от жировых веществ, грязи, окалины и ржавчины</p> <p>Тщательная герметизация цементационных ящиков</p> <p>Утрамбовка карбюризатора в цементационных ящиках</p> <p>Тщательная дозировка цементирующих веществ</p> |
| <p>Отслаивание закаленного цементованного слоя</p> | <p>Резкий переход от цементованного слоя к сердцевине, наличие цементитной сетки</p> | <p>Уменьшение процентного содержания свежего карбюризатора</p> |
| <p>Хрупкость (выкрашивание поверхностного цементованного слоя)</p> | <p>Применение активного карбюризатора Завышенное время выдержки</p> | <p>Снижение активности карбюризатора Соблюдение технологического процесса</p> |
| <p>Стекловидные наплывы на поверхности изделий</p> | <p>Наличие кварцевого песка в карбюризаторе</p> | <p>Не допускать попадания кварцевого песка в карбюризатор</p> |

трации углерода в цементированном слое (обычно 0,8 % С) чаще используют эндотермическую контролируемую атмосферу, в которую добавляют природный газ (92—95 % эндогаза и 5—8 % природного газа). Однако на ряде отечественных предприятий применяется газовая цементация неразбавленным природным газом. Для этой цели применяются вертикальные печи типа Ц (Ц-25, Ц-105 и др.), оборудованные дополнительными приборами для регулирования и контроля технологических параметров. При газовой цементации средства защиты поверхности деталей, применяемые при цементации в твердом карбюризаторе, являются неэффективными — через защитный слой (в том числе и омедненный) проникает активный углерод. В последнее время разработана и внедрена антицементационная паста для местной защиты деталей от насыщения углеродом и азотом при химико-термической обработке в газовых средах.

Пасту наносят на зачищаемую поверхность детали методом окуна-ния, мягкой кистью или пульверизатором. Толщина покрытия 0,3—0,5 мм. После закалки деталей паста полностью остается на деталях, не загрязняя закалочное масло. В соответствии с технологией паста легко удаляется на операции промывки. Процесс нанесения пасты состоит из двух операций и длится недолго. Трудоемкость нового процесса меньше, чем при омеднении, при этом не требуется нейтрализация сточных вод. Экономия на 1 м² покрытия составляет 6—7 руб.

Состав защитной пасты, %:

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Оксид бора | 35 |
| Карбид кремния | 15 |
| Эпоксидная смола | 1 |
| Канифоль | Остальное |
| Разбавитель — толуол | Вводится |
| | в соотношении 1 : 1 |

В табл. 65—68 приведены сведения, необходимые для выполнения процессов газовой цементации.

Цементация может производиться при помощи специальных паст путем обмазки мест, подлежащих цементации. В табл. 69 приведено два состава цементационных паст. Все составляющие части необходимо превратить в порошок, затем перемешать и развести разжижителями. Для получения цементированного слоя глубиной 1,0—1,5 мм на поверхность изделия наносят кистью пасту толщиной в 3—4 мм; пасту можно также наносить окунанием детали. После затвердевания пасты изделия упаковывают в ящики, закрывают крышками и тщательно обмазывают смесь огнеупорной глины с песком. Цементация осуществляется при 880—920 °С.

Виды брака при цементации и способы его устранения даны в табл. 70.

16. Азотирование

Для упрочнения стальных и чугунных изделий — повышения предела усталости и износостойкости, — а также повышения коррозионной стойкости применяют азотирование в электрических печах.

Азотирование является процессом многоцелевого назначения, с помощью которого упрочняются стальные изделия, изготовленные из конструкционных, инструментальных, коррозионноустойчивых и жаропрочных сталей и сплавов. Получающиеся при азотировании слои, состоящие из поверхностной нитридной зоны и диффузионного под-

слоя, так называемой зоны внутреннего азотирования, обеспечивают широкий диапазон физико-механических свойств азотированных изделий. Следует помнить, что увеличение твердости азотированного слоя не всегда влечет за собой повышение износостойкости. Например, азотированный слой на углеродистых марках стали имеет относительно низкую твердость, но обладает повышенной износостойкостью.

Азотирование производится в широком интервале температур и в различных насыщающих средах. Азотирование ниже 600 °С принято называть *низкотемпературным* азотированием, выше — *высокотемпературным*.

При низкотемпературном азотировании стали в различных насыщающих средах — в аммиаке, смеси аммиака и азота, аммиака и углероживающих газов (природного газа, пропана, эндогаза, экзогаза и др.) — имеет место преимущественная диффузия азота. При высокотемпературном азотировании в качестве насыщающей среды используется только смесь азота и аммиака. Наибольшее распространение в промышленности получил процесс газового азотирования в атмосфере частично диссоциированного аммиака.

Интенсификацию процесса азотирования можно достигнуть повышением температуры процесса, регулированием активности насыщающей атмосферы и применением электростатических полей и разрядов.

Долгое время считали, что высокая активность аммиака при азотировании определяется образующимся атомарным азотом при его диссоциации. Однако, как показали исследования, диссоциация аммиака является ионным процессом, сопровождающимся образованием в рабочем пространстве печи отрицательных ионов. Применение электростатических полей, искрового или тлеющего разряда и других стимуляторов интенсифицирует процесс азотирования.

Промышленностью серийно выпускаются шахтные электропечи, двухстендовые электропечи с передвижной камерой типа СНА, а также вакуумные печи для ионного азотирования.

Предварительно перед азотированием производится подготовительная термическая обработка стали (для сердцевин). Температура отпуска при этом должна быть на 30—50 °С выше температуры последующего азотирования. В табл. 71 приведены режимы подготовительной термической обработки.

Азотирование производится в смеси аммиака и азота. Так как теплота испарения аммиака весьма значительная, баллоны во избежание падения в них давления следует в процессе азотирования подогревать в специальных ваннах; более безопасно для этого использовать испарители от установок ДА-60. К работе с газовыми баллонами допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж.

Аммиак, поставляемый в баллонах, обычно содержит в своем составе механические примеси и масло. Очистка аммиака от механических примесей и тяжелых фракций масла производится металлокерамическими фильтрами, устанавливаемыми на пути движения жидкого аммиака из баллонов в испаритель. Часть паров масла уходит из испарителя вместе с газообразным аммиаком. Для очистки аммиака от легких фракций масла за испарителем устанавливается маслоотделитель — герметичный сварной сосуд с водоохлаждаемыми стенками, в который газ вводится через сопло. Масло конденсируется и стекает в маслоотборник. Если аммиак имеет большую влажность, его необходимо предварительно осушить. Осушитель представляет собой герметичный бак, заполненный активным поглотителем влаги (силикагель, каустическая сода и др.), через который снизу вверх подходит газ. Периодически производят регенерацию поглотителя, пропуская через него горячий

71. Режимы термической обработки перед азотированием

| Марка стали | Закалка, °C | Отпуск, °C | Твердость НВ |
|-------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 38Х2МЮА | 940 ± 10 в масле или теплой воде | 600—670 в масле или воде | 302—341 285—321 |
| 30Х3МФ | 880 ± 10 в масле | 580—620 на воздухе | 302—341 |
| 40ХН2МА | 850 ± 10 » » | 530—600 на воздухе | 302—341 |
| 30ХН2МА | 850 ± 10 » » | 540—560 на воздухе | 302—341 |
| 30ХН2МФА | 900 ± 10 » » | 580—650 на воздухе | 302—341 |
| 18Х2Н4МА | 850—870 в масле или на воздухе | 530—550 на воздухе | 302—341 |
| 12Х13 | 1000—1050 в масле | 680—780 в масле | 179—241 |
| 20Х13 | 1000—1050 в масле | 600—700 в масле или в воде | 241—341 |
| 11Х11Н2В2МФ | 1000—1020 в масле или на воздухе | 660—710 на воздухе | 269—321 |
| 10Х11Н20ТЗР | 1000 ± 10 в масле | 750 на воздухе | 302—388 |
| 45Х14Н14В2М | Нормализация 3—5 ч на воздухе | — | 179—269 |

воздух. Поэтому для непрерывно работающих печей целесообразно устанавливать два осушителя — на прямой и запасной линиях.

Очищенный и осушенный газообразный аммиак следует подавать в печь под постоянным избыточным давлением, но перед этим он поступает на газовый щит с ручным или автоматическим регулированием степени диссоциации.

Газовые щиты с ручным контролем и регулированием входят в комплект поставки выпускаемых промышленностью печей.

Для получения заданной глубины слоя в наименьшее время для каждой температуры процесса и для каждой марки стали существует оптимальная степень диссоциации аммиака. Увеличение подачи аммиака (уменьшение продолжительности пребывания аммиака в печи) уменьшает степень его диссоциации и наоборот.

Периодический контроль и регулирование степени диссоциации аммиака при помощи ручных диссоциометров и вентиляей требует внимательного отношения и точного соблюдения заданного технологического режима в течение длительного процесса азотирования. Следствием несоблюдения степени диссоциации может явиться брак изделий. Поэтому очень важное значение имеет непрерывный автоматический контроль и регулирование степени диссоциации в ходе технологического процесса.

В настоящее время разработано несколько схем автоматического контроля и регулирования степени диссоциации аммиака в печах газового азотирования. Принцип автоматического поддержания заданной степени диссоциации изменением расхода принят во всех схемах щитов. Отличаются эти схемы способом контроля степени диссоциации отходящего от печи газа.

Для повышения качества азотирования (уменьшения вредного воздействия водорода), снижения издержек производства и уменьшения взрывоопасности целесообразно применять азотирование в разбавленном аммиаке.

Возможны следующие способы разбавления аммиака.

1. Использование частично диссоциированного аммиака на выходе из печи. Доказано, что азотирующая способность смеси сохраняется при температуре азотирования, если степень диссоциации аммиака не превышает 60 %. Этот способ наиболее простой и дешевый.

2. Разбавление аммиака молекулярным азотом (азотным газом). Термодинамические расчеты и опыт заводов показали, что целесообразно производить азотирование в смеси, содержащей 20—25 % аммиака и 75—80 % азота.

При небольшом расходе азота можно использовать баллоны с техническим азотом, при большей потребности в азоте целесообразно применять азотную контролируемую атмосферу (азот + 5 % водорода), изготавливаемую при сжигании аммиака в смеси с воздухом, или азот, получаемый на заводских кислородных станциях.

Для большей эффективности работы участков для газового азотирования целесообразно значительно сократить продолжительность охлаждения изделий. В двухстендовых с передвижной камерой и колпачковых печах ускоренное охлаждение достигается тем, что по окончании выдержки при заданной температуре колпак (камера) перемещается на другой стенд, а изделия охлаждаются в муфеле.

При использовании малых и средних шахтных муфельных печей (диаметр до 1 м, глубина до 1,5 м) целесообразно предусмотреть охлаждаемый колодец, расположенный вблизи печи. По окончании цикла нагрева и выдержки муфель с изделиями помещают в охлаждаемый колодец, а подготовленный второй муфель устанавливают в шахту печи, не давая ей остыть. Изделия охлаждаются при непрерывной подаче аммиака и постоянно работающем вентиляторе. При применении крупных шахтных муфельных печей (со стационарным муфелем) ускоренное охлаждение можно обеспечить посредством непрерывной подачи охлаждающего воздуха в пространство между муфелем и шахтой. В безмуфельных печах скорость охлаждения можно увеличить, пропуская циркулирующий в печи газ (или часть его) через холодильник.

При азотировании нержавеющей стали с высоким содержанием хрома возникает необходимость депассивации плотной окисной пленки, которая препятствует проникновению азота в сталь, значительно удлиняя цикл азотирования, что может явиться причиной пониженной твердости, недостаточной глубины и пятнистости азотированного слоя. Поэтому при азотировании изделий из нержавеющей и жаропрочных сталей на дно муфеля помещают смесь просушенного хлористого аммония (100—150 г на 1 м³ муфеля) с предварительно прокаленным песком, который добавляется для замедления процесса выноса хлористого аммония. При азотировании с хлористым аммонием необходимо применять сетчатые поддоны или корзины.

Процесс жидкого азотирования заключается в диффузионном насыщении поверхности изделий одновременно азотом и углеродом в температурном интервале 560—580 °С в солевых расплавах. Азотирование в жидких средах позволяет получать высокую скорость нагрева, уменьшать деформацию изделий и достигать высокого качества слоя азотирования. Однако токсичность метода, обусловливаемая применением цианистых солей, препятствует широкому использованию в промышленности. Газовое азотирование в тлеющем разряде (нонное азотирование) в настоящее время наиболее распространенный и перспективный метод азотирования.

Ионное азотирование по сравнению с печным имеет следующие преимущества:

1) ускорение процесса в 1,5—2 раза;

72. Средняя скорость азотирования в зависимости от температуры процесса и глубины слоя

| Глубина слоя, мм | Скорость азотирования (мм/ч) при температуре, °С | | |
|------------------|--|-------|------|
| | 500 | 550 | 600 |
| До 0,2 | 0,020 | 0,040 | — |
| 0,2—0,4 | 0,015 | 0,030 | 0,06 |
| 0,4—0,6 | 0,010 | 0,020 | 0,03 |
| 0,6—0,8 | — | 0,015 | 0,02 |

73. Рекомендуемые режимы прочностного азотирования конструкционных и нержавеющей марок стали

| Марка стали | Температура азотирования, °С | Выдержка, ч | Глубина слоя, мм | Твердость азотированного слоя HV |
|---------------------------------|------------------------------|-------------|------------------|----------------------------------|
| 38Х2МЮА | 500—520 | 48—60 | 0,40—0,50 | 1000—1100 |
| | 510 для первой ступени | 15 | 0,5—0,6 | 850—1000 |
| | 550 для второй ступени | 25 | 0,5—0,6 | 850—1000 |
| 18Х2Н4МА | 490—510 | 40—50 | 0,35—0,40 | 750—850 |
| 40ХН2МА | 510 для первой ступени | 25 | 0,5—0,6 | 600 |
| | 540 для второй ступени | 35 | | |
| 30Х3МФ | 560 | 24 | 0,5 | 900—950 |
| 30ХН2МФА | 510 для первой ступени | 25 | 0,5—0,6 | 750 |
| | 540 для второй ступени | 35 | | |
| 40ХН2МА 38Х2Н2МА 38ХН3МФА | 500—520 | 50—60 | 0,5—0,6 | 640—700 |
| 40ХН2МА 30ХН2МФА 38ХН3МФА | 510 для первой ступени | 25 | 0,6—0,7 | ≥640 |
| | 540 для второй ступени | 30 | | ≥700 |
| | | 30 | | ≥700 |
| 30Х3МФ | 500—525 | 60—80 | 0,35—0,55 | 750—800 |
| 10Х13 | 500 | 48 | 0,14—0,16 | 1000—1050 |
| | 550 | | 0,25—0,30 | 900—950 |
| | 600 | | 0,35—0,40 | 800—850 |
| 20Х13 | 500 | 48 | 0,10—0,12 | 1000—1050 |
| | 550 | | 0,25—0,30 | 900—950 |
| | 600 | | 0,30—0,40 | 780—830 |
| 15Х11МФ | 530 для первой ступени | 10 | 0,35—0,40 | 900—950 |
| | 580 для второй ступени | 20 | | |
| 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т | 560 | 50—60 | 0,2—0,25 | 1000—1100 |

74. Степень диссоциации аммиака при азотировании стали

| Конструкционные марки стали | | Нержавеющие и жаропрочные марки стали | |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Температура, °С | Степень диссоциации, % | Температура, °С | Степень диссоциации, % |
| 500—520 | 20—40 | 500 | 15—25 |
| 520—540 | 30—50 | 560 | 25—40 |
| 540—560 | 40—60 | 600 | 35—50 |
| | | 650 | 50—70 |
| | | 700—750 | 80—90 |

75. Режимы антикоррозионного азотирования стали

| Группа стали | Азотируемые детали | Режимы азотирования | | | |
|---------------------------------------|--|---------------------|------------------------|--------------------------------|--|
| | | Температура, °С | Продолжительность, мин | Степень диссоциации аммиака, % | Охлаждение |
| Мало- и среднеуглеродистая * | Тяги, штыри, болты, вентили, мелкие детали приборов и аппаратов, резак, сварочные горелки, детали арматуры паровых котлов и др | 600 ** | 60—120 | 35—50 | С печью, в воде, в масле или муфелье, вынужтом из печи *** |
| | | 650 | 45—90 | 45—65 | |
| | | 700 | 15—30 | 55—75 | |
| Высокоуглеродистая и малолегированная | Шестерни, валики, золотники, оси, гайки, болты, штифты и т. д. | 770—850 **** | 5—10 | До 80 | В масле или воде в зависимости от марки стали |

* Среднеуглеродистые стали перед азотированием обычно подвергают улучшению, поэтому температура азотирования не должна превышать 650 °С.

** При повышении температуры время выдержки уменьшают.

*** Для получения вязкого азотированного слоя желательно быстрое охлаждение.

**** Температура окончательного нагрева совпадает с температурой закалки стали. Азотирование происходит во время нагрева под закалку в процессе выдержки.

76. Способы местной защиты от азотирования

| Способ защиты | Толщина наносимого слоя, мм |
|--|---------------------------------|
| Гальваническое лужение | 0,01—0,02 |
| Гальваническое никелирование | 0,05—0,06 |
| Гальваническое цинкование | 0,04—0,05 |
| Гальваническое биметаллическое покрытие: свинец—цинк, медь—свинец никель—свинец | 1-й металл 0,005 1-й * 0,015 |
| Обмазки: свинцово-оловянистая пыль (60 : 40) разбавляется на смеси: пять частей растительного масла, одна часть стеарина, две части свиного сала, две части пульверизованной смолы, одна часть хлористого цинка, жидкое стекло (двукратное нанесение на поверхность) с последующей сушкой при 100—120 °С | 1—2 |

77. Рекомендуемые режимы азотирования инструментальной стали

| Марка стали | Температура, °С | Продолжительность, мин | Глубина слоя, мм | Твердость HV 200 | Область применения |
|-------------|-----------------|------------------------|------------------|------------------|---|
| P18 | 560—580 | 5—15 | 0,030—0,060 | 1250—1400 | Для режущего инструмента |
| P6M3 | | 30—60 | 0,065—0,095 | 1350—1400 | |
| 3X2B8Ф | 560 | 120—180 | 0,105—0,140 | 1185—1260 | Для прессформ литья под давлением и штампов |
| 4X4BMФС | 580—600 | 60—120 | 0,100—0,150 | 1150—1310 | |
| X12M | 560 | 60—120 | 0,080—0,095 | 1075—1110 | |

78. Виды брака при азотировании и способы его устранения

| Вид брака | Причины | Меры предупреждения |
|---|---|---|
| Пониженная поверхностная твердость при нормальной толщине азотированного слоя | Повышенная температура процесса, высокая степень диссоциации аммиака, перерыв в подаче аммиака | Соблюдение технологического процесса |
| Пятнистая (неравномерная) твердость азотированного слоя | Затеки олова на поверхность, подлежащую азотированию Плохое обезжиривание изделий Неполное выполнение процесса | После лужения и зачистки границ покрытия производить фосфатирование Тщательное обезжиривание изделий Соблюдение технологического процесса |
| Шелушение и растрескивание азотированного слоя | Высокая концентрация азота в поверхностном слое Внутреннее напряжение в азотируемом слое | После окончания заданного технологического процесса дополнительно выдерживать изделия в атмосфере аммиака для ускорения диффузии азота в глубь изделия. Удаление хрупкого поверхностного слоя, имеющего высокую концентрацию азота Выполнение стабилизирующих отпусков |
| Деформация азотируемых изделий | Неравномерный нагрев азотируемых изделий Наличие остаточных напряжений в изделии после механической обработки, перед азотированием | Проверить распределение температур в печи. Принять меры по ликвидации перепада температур Выполнение стабилизирующих отпусков для снятия напряжений в изделиях перед азотированием |

2) возможность получения диффузионных слоев регулируемого состава и строения;

3) незначительные деформации и высокий класс чистоты азотируемых изделий;

4) экономичность процесса за счет уменьшения расхода электроэнергии и насыщающих газов.

Азотирование в тлеющем разряде производят в разреженной азотсодержащей атмосфере с подключением азотируемых изделий к отрицательному электроду (катоду). Анодом является контейнер установки (печи). Между катодом (изделием) и анодом возбуждается тлеющий разряд; ионы газа, бомбардируя поверхность изделия, нагревают ее до температуры насыщения. Процесс ионного азотирования выполняется в две стадии: первая — очистка изделий катодным распылением; вторая — собственно насыщение. Катодное распыление производится в течение 5—60 мин при напряжении 1100—1400 В и давлении 13—26 Па. При катодном распылении температура поверхности азотируемого изделия не превышает 250 °С. Собственно азотирование выполняют при 470—580 °С при разрежении 130—1300 Па и рабочем напряжении 400—1100 В; продолжительность процесса составляет от нескольких минут до 24 ч. При ионном азотировании для защиты поверхностей от насыщения азотом используют гальванические покрытия (например, никелевые толщиной 10—15 мкм) и экраны.

Отечественная промышленность выпускает печи ионного азотирования типа НШВ-28.7/6.

В табл. 72—78 приведены сведения, необходимые для установления режимов, связанных с азотированием.

17. Цианирование и нитроцементация

Цианированием и нитроцементацией называют совместное насыщение поверхностных слоев изделий углеродом и азотом. Наибольшее распространение получило жидкостное цианирование. Применяется также цианирование в твердом карбюризаторе. Различают три вида цианирования: низкотемпературное (540—560 °С), среднетемпературное (820—860 °С) и высокотемпературное (920—960 °С).

Недостатком цианирования является высокая стоимость, ядовитость цианистых солей и необходимость применения по этой причине специальных мер предосторожности.

В табл. 79—89 приведены сведения, необходимые для выполнения процесса цианирования.

С развитием и совершенствованием технологии химико-термической обработки наибольшее развитие получили процессы одновременного насыщения поверхностных слоев изделий углеродом и азотом в газовых средах. Эти процессы в настоящее время получили название — *нитроцементация*. Различают два вида нитроцементации — высокотемпературную и низкотемпературную.

Процесс высокотемпературной нитроцементации иногда называют *азотонауглероживание, карбонитрирование*. Под этим процессом понимается химико-термическая обработка с целью диффузионного насыщения поверхности стальных изделий в газовой среде одновременно углеродом и азотом при 800—950 °С. Наибольшее распространение получил способ высокотемпературной нитроцементации с использованием эндотермической атмосферы, к которой добавляется аммиак.

В табл. 90—91 приведены режимы высокотемпературной нитроцементации стали.

79. Высокоцианатные ванны на основе мочевины (карбамида), применяемые для цианирования

| Состав ванны в исходном состоянии в момент загрузки (массовая доля, %) | Рабочий состав ванны (массовая доля, %) | Состав регенерирующей смеси при освежении ванны (массовая доля, %) | Температура устойчивой работы ванны, °С | Область применения |
|--|--|--|---|--------------------------------------|
| 55 (NH ₂) ₂ CO 45 K ₂ CO ₃ | 65—75 KCNO 25—35 K ₂ CO ₃ До 1 KCN | 45 K ₂ CO ₃ 55 (NH ₂) ₂ CO Освежение производят при 350—360 °С | 560—580 | — |
| 55 (NH ₂) ₂ CO 45 Na ₂ CO ₃ | 20—40 NaCNO 12—20 NaCN 50—60 Na ₂ CO ₃ | 15 % свежей смеси карбамида и соды в соотношении 55 : 45 или 10 % цианата натрия (через каждые 8 ч работы) или 4 % карбамида через каждые 2 ч работы | 560—580 | Для обработки конструкционных сталей |
| 40 (NH ₂) ₂ CO 48 Na ₂ CO ₃ 12 NaCl | — | 4 % карбамида или 3 % цианата натрия через каждые 2 ч работы | — | Для обработки быстрорежущей стали |
| 25—35 NaCNO 28—40 KCl 25—35 Na ₂ CO ₃ | — | — | — | — |
| 60—75 KCNO 25—40 K ₂ CO ₃ | 60—75 KCNO 25—40 K ₂ CO ₃ До 1 KCN | — | — | Для обработки конструкционных сталей |

Примечание. (NH₂)₂CO — карбамид; K₂CO₃ — углекислый калий (поташ); Na₂CO₃ — углекислый натрий; NaCNO, KCNO — цианаты.

80. Составы ванн для низкотемпературного цианирования

| № состава | Массовая доля активных солей, % | | Массовая доля неактивных солей, % | | | Температура плавления, °С | Скорость истощения активной соли, %/ч |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------|-----|---------------------------|---------------------------------------|
| | NaCN | K ₄ Fe(CN) ₆ | Na ₂ CO ₃ | NaCl | KOH | | |
| 1 | 50 | — | 32 | 18 | — | 515 | 0,60 |
| 2 | 30 | — | 45 | 25 | — | 535 | 0,50 |
| 3 | — | 90 | — | — | 10 | 500 | 1,25 |
| 4 | — | 75 | — | — | 25 | 490 | 0,50 |

81. Составы ванн для среднетемпературного цианирования

| № состава | Массовая доля активных солей, % | | Массовая доля неактивных солей, % | | | | Примечание |
|-----------|---------------------------------|----------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|---|
| | NaCN | Цианплав | NaCl | BaCl ₂ | CaCl ₂ | Na ₂ CO ₃ | |
| 1 | 55—60 | — | 25 | — | — | 15 | Поставляется в виде готового состава — Допускается применять технический NaCN — — |
| 2 | 30 | — | 70 | — | — | — | |
| 3 | 30 | — | 40 | — | — | 30 | |
| 4 | — | 10 | 35 | — | 55 | — | |
| 5 | — | 10 | 45 | 45 | — | — | |

82. Составы ванн для высокотемпературного цианирования

| № состава | Массовая доля активных солей, % | | Массовая доля неактивных солей, % | | | |
|-----------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| | NaCN | Цианплав (ГИПХ) | NaCl | CaCl ₂ | BaCl ₂ | Na ₂ CO ₃ |
| 1 | 50 | — | 15 | — | 35 | — |
| 2 | 45 | — | 8 | — | 17 | — |
| 3 | 10—15 | — | 25—30 | — | 55—60 | 1,0—1,5 |
| 4 | 12—20 | — | 5—7 | — | 75—80 | — |
| 5 | — | 10 | 40 | 50 | — | — |

83. Зависимость глубины слоя от времени выдержки и состава ванны низкотемпературного цианирования

| Выдержка, мин | Глубина слоя (мм) при массовой доле NaCN, % | | |
|---------------|---|-------|-------|
| | 90 | 50 | 30 |
| 5 | 0,008 | 0,006 | 0,006 |
| 15 | 0,020 | 0,018 | 0,015 |
| 30 | 0,035 | 0,030 | 0,030 |
| 45 | 0,037 | 0,035 | 0,035 |
| 60 | 0,045 | 0,043 | 0,040 |

84. Зависимость глубины слоя от времени выдержки при среднетемпературном цианировании в ваннах с цианистым натрием и цианплавом

| Температура ванны, °С | Выдержка, мин | Глубина слоя (мм) в ваннах | |
|-----------------------|---------------|----------------------------|--------------|
| | | с NaCN | с цианплавом |
| 840 | 30 | 0,15—0,20 | 0,15—0,25 |
| | 60 | 0,20—0,25 | 0,25—0,30 |
| 870 | 30 | 0,20—0,25 | 0,20—0,30 |
| | 60 | 0,25—0,35 | 0,35—0,45 |

**85. Зависимость глубины слоя от времени выдержки
в высокотемпературных цианистых ваннах**

| Температура ванны, °С | Выдержка, мин | Глубина слоя, мм |
|-----------------------|---------------|------------------|
| 900 | 25 | 0,20—0,25 |
| | 45 | 0,30—0,50 |
| | 90 | 0,50—0,80 |
| 950 | 120 | 0,80—1,00 |
| | 180 | 1,00—1,20 |
| | 300—360 | 1,40—1,60 |

**86. Состав смесей (массовая доля, %) для низкотемпературного
цианирования в твердом карбюризаторе**

| № смеси | Древесный уголь | Желтая кровяная соль | Карбонаты бария, натрия и калия | Животный уголь, роговая или костяная мука |
|---------|-----------------|----------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 60—80 | 20—40 | — | — |
| 2 | 40—50 | 15—20 | 15—20 | 20—30 |
| 3 | 40—60 | 20—25 | — | 20—40 |
| 4 | 50—70 | 20—40 | 5—15 | — |
| 5 | 40—60 | — | 20—25 | 20—40 |

**87. Состав паст, применяемых при цианировании
конструкционной стали**

| Составляющие | Номер пасты | | | | |
|---|------------------|-------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Массовая доля, % | | | | |
| Голландская сажа или мелкозернистый торфяной кокс | 40—50 | 30—60 | 35 | 45 | 40 |
| Карбонаты: | | | | | |
| бария | — | — | 15 | 20 | 15 |
| натрия или калия | 20—40 | 20—40 | 20 | 20 | 20 |
| Желтая кровяная соль | 5—10 | 5—10 | 15 | 15 | 20 |
| Щавелевокислый натрий или калий | — | 5—10 | — | — | — |
| Цианплав | 5—10 | 5—10 | — | — | — |
| Муравьинокислый никель или щавелевокислый кобальт | — | 5—10 | — | — | — |
| Феррохром | — | — | 15 | — | — |
| Кварцевый песок | — | — | — | — | 5 |

88. Время выдержки при цианировании деталей пастами
(температура 920—930 °С)

| Паста 1 | | Паста 2 | |
|-------------|------------------|-------------|------------------|
| Выдержка, ч | Глубина слоя, мм | Выдержка, ч | Глубина слоя, мм |
| 0,75 | 0,85 | 0,50 | 0,70 |
| 1,00 | 1,25 | 0,75 | 0,80 |
| 1,50 | 1,65 | 1,00 | 0,90 |
| 2,00 | 1,80 | 1,50 | 1,25 |
| 3,00 | 2,00 | 2,00 | 1,60 |
| 4,00 | 2,50 | 2,00 | 1,60 |

89. Режимы термической обработки изделий
после цементации и цианирования

| Марка стали | Температура, °С | | | | | Твердость после термической обработки | |
|-------------|------------------|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------------------------------------|--|
| | высокого отпуска | нормализации | нагрева при предварительной закалке | нагрева при окончательной закалке | отпуска | сердцевины НВ | цементированного или цианированного слоя HRC |
| 10 | — | 890—910 | — | 760—780 в масле | 150—170 | — | ≥ 56 |
| 15ХА | — | 900—940 | 850—870 в масле | 780—810 в масле | | 170—302 | ≥ 58 |
| 12ХН3А | 650—670 | 880—920 | 850—870 в масле | 780—800 в масле | | 263—363 | |
| 12Х2Н4А | | | | | | 295—355 | |
| 18Х2Н4МА | 600—630 | 940—960 | — | 850—870 на воздухе | | 363—388 | |
| 15Х2ГН2ТА | 650—670 | 900—950 | | 800—850 | | 321—388 | |
| 25Х2Н4МА | | | | 820—850 в масле | | 388—514 | |
| 14Х17Н2 | 670—690 | — | — | 1000—1050 | 160—180 | 321—415 | |

Примечание. Сталь марки 14Х17Н2 перед цементацией или цианированием подлежит закалке при 1030 °С в масле и отпуску при 670—690 °С с охлаждением на воздухе.

90. Приближенные значения средней скорости нитроцементации (мм/ч) при различных температурах процесса

| Глубина слоя, мм | Температура процесса, °С | | |
|------------------|--------------------------|------|------|
| | 860 | 930 | 950 |
| До 0,5 | 0,20 | 0,40 | 0,50 |
| 0,5—1,0 | 0,15 | 0,30 | 0,40 |
| 1,0—1,5 | 0,12 | 0,20 | 0,30 |

91. Режимы высокотемпературной нитроцементации стали

| Насыщающая среда | Температура, °С | Глубина слоя, мм | Примечание |
|---|-----------------|--------------------|--|
| Эндогаз (20% CO, 40% H ₂ , 40% N ₂) + 3—5% природного газа + 3—5% аммиака * | 860 | 0,25—1,0 | Процесс осуществляется в безмуфельных методических печах. Углеродный потенциал регулируется по точке росы или содержанию CO ₂ . Приборы для регулирования потенциала азота не разработаны |
| Маловодородный экзоэндогаз (20% CO, 20% H ₂ , 60% N ₂) + 0,5—0,8% природного газа + 2—4% аммиака | 860 | 0,5—0,8 | То же. Применение маловодородной эндотермической атмосферы менее пожароопасно, а также устраняет возможность возникновения водородной хрупкости |
| Маловодородный эндогаз + 1,5% природного газа + 4—6% аммиака | 820—860 | 0,2—0,5 | |
| Природный газ + 20—25% аммиака | 860 | 0,6—0,9 | Процесс ведется в вертикальных печах типа Ц |
| Триэтаноламин + 10% воды | 860—930 | 0,2—1,0 0,8—1,5 | Процесс осуществляется в вертикальных и ретортных шнековых печах. Дозированную подачу триэтанол*мина в печь осуществляют с помощью топливного насоса |
| Синтин, керосин, спирт и т. п. + 5—50% аммиака от общего объема ** | 860—930 | 0,4—1,5 | Процесс ведется в вертикальных печах |

* Из-за отсутствия приборов автоматического регулирования азота подача аммиака в атмосферу печи должна строго регулироваться.
 ** Рекомендуется подавать в печь азот для лучшей циркуляции газа в рабочем объеме печи. В печь Ц-60 рекомендуется вводить 43—49% керосина (0,5 л/мин), 14—17% аммиака (2,0 см³/мин) и 34—43% технического азота (150 см³/мин).

Процесс низкотемпературной *нитроцементации* иногда называют *нитротрирование*. Он осуществляется при 560—580 °С в атмосфере аммиака с добавками углеродосодержащих газов (табл. 92). Низкотемпературная нитроцементация повышает твердость на поверхности изделий, сопротивление износу и задиру, обеспечивает хорошую прирабатываемость и высокую износостойкость. Процесс рекомендуется вести в герметизированных камерных печах с загрузочным тамбуром и встроеным масляным закалочным баком.

92. Режимы низкотемпературной нитроцементации

| Насыщающая среда | Температура, °С | Продолжительность процесса, ч |
|---|-----------------|-------------------------------|
| Эндогаз (40% H ₂ , 20% CO, 40% N ₂) + 25% аммиака | 570 | 0,5—3 |
| Экзо-эндогаз (20% H ₂ , 20% CO, 60% N ₂) + 50% аммиака | | |
| Экзогаз (90% N ₂ , 10% CO ₂) + 50% аммиака | 570 | 1—6 |
| 50% продуктов пиролиза керосина, спирта или синтина + 50% аммиака | | |

Примечания: 1. При применении эндогаза ниже 700 °С возможен взрыв. Для предотвращения взрыва рекомендуется следующая технология: у передней дверцы создается пламенный затвор, печь нагревают до 800 °С, подают при этой температуре эндогаз и аммиак, далее снижают температуру до 620 °С, печь постоянно продувают газом, загружают детали и выполняют процесс при 570 °С. 2. После окончания процесса ускоренное охлаждение в светлокалящем масле или потоке защитного газа.

18. Хромирование

Хромирование — вид химико-термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стальных изделий хромом, как правило, при 900—1200 °С в соответствующей среде (табл. 93).

Хромированные изделия обладают повышенной окалинностью до температуры 800 °С, высокой коррозионной стойкостью, а при содержании хрома в поверхностном слое 0,3—0,4 % — повышенной твердостью и износостойкостью. Хромированию можно подвергать изделия, изготовленные из любых марок стали.

Термодиффузионному хромированию подвергаются изделия после механической обработки. При этом необходимо учитывать приращение размеров в течение процесса насыщения, которое составляет 0,03 мм на диаметр.

Для определения качества хромированного слоя используются образцы-свидетели размерами 20×10×5 мм. С целью снижения деформаций изделия подвергаются между операциями механической обработки

93. Состав хромирующих смесей

| Материал | Состав хромирующей смеси (массовая доля, %) | Температура хромирования, °С | Выдержка, ч | Глубина хромированного слоя, мм |
|--|---|------------------------------|-------------|---------------------------------|
| Среднеуглеродистая легированная теплостойкая сталь (пружины, лабиринтные уплотнения) | 60% металлического хрома, 39% глинозема, 1% йодистого аммония | 1020—1050 | 8 | Не менее 0,01 |
| Малоуглеродистая легированная сталь (детали узлов парораспределения турбин) | | 1020—1080 | 8—10 | Не менее 0,025 |
| Жаропрочные сплавы (уплотнительные кольца, втулки, клапаны, гайки, шпильки) | 70% металлического хрома, 29% глинозема, 1% йодистого аммония | 1100—1150 | 5—10 | 0,02—0,03 |

одному или нескольким стабилизирующим отжигам на снятие напряжений.

Тара для хромирования изготавливается из нержавеющей стали. Крупные изделия хромируются в ящиках, изготовленных для одной детали по ее форме и размерам, мелкие детали хромируются в ящиках партиями.

Хромирующая смесь может иметь различный состав по процентному содержанию отдельных составляющих в зависимости от материала изделий, подлежащих хромированию, и требуемой глубины хромированного слоя.

Приготовление хромирующей смеси осуществляется следующим образом: взвешиваются отдельные составляющие смеси, взвешенное количество хрома и окиси алюминия (глинозема) смешивается и просушивается при 60—100 °С в течение 1—2 ч, затем тщательно перемешиваются все составляющие вместе (металлический хром, получаемый в кусках, размельчается в шаровой мельнице до порошка). Хромирующая смесь может быть использована многократно при условии добавки 10 % свежей смеси. Хранение смеси — в сухом месте, в ящиках с крышками. При упаковке изделий в ящики расстояние между стенками ящика и изделиями должно быть не менее 25 мм. Перед укладкой изделий на дно ящика насыпается хромирующая смесь слоем 20—30 мм. После укладки изделий и свидетелей засыпается слой хромирующей смеси 30—40 мм. Поверхность закрывается листовым асбестом, затем надевается крышка. Герметизация осуществляется посредством заполнения герметизирующего желоба сухим песком или шамотным порошком.

Ящики загружаются в печь при температуре не выше 400 °С. До температуры 600 °С нагрев осуществляется со скоростью 100 °С/ч. Дальнейший нагрев — по мощности печи.

После процесса хромирования производят нейтрализацию остатков хромирующей смеси, остающейся на изделиях. Для этого изделия протираются чистыми концами и затем промываются в 10-процентном водном горячем растворе кальцинированной соды и в чистой воде. Промытые изделия должны быть хорошо просушены.

19. Алитирование

Алитированием называется процесс химико-термической обработки, выполняющийся с целью диффузионного насыщения поверхности стальных изделий алюминием, как правило, при 700—1100 °С в соответствующей среде (табл. 94).

94. Методы алитирования

| Метод алитирования | Насыщающая среда | Температура, °С | Продолжительность, ч | Глубина слоя, мм | Примечание |
|------------------------------------|---|-----------------|----------------------|------------------|---|
| В порошкообразных смесях | а) 49,5% порошка алюминия + 49,5% окиси алюминия + 1,0% хлористого аммония б) 99% ферроалюминия + 1% хлористого аммония в) 48% ферроалюминия + 48% кварцевого песка + 4% хлористого аммония | 950—1050 | 6—12* | 0,25—0,6 | Алитирование проводят в железных или никромовых ящиках. Упаковка ведется так же, как при цементации в твердом карбюризаторе. Смесь употребляют многократно с добавкой 10—15% свежей смеси |
| В ваннах с расплавленным алюминием | Расплавленный алюминий + 8—12% железа (во избежание растворения металла изделий) | 720—750 | 0,25—1,0* | 0,1—0,3 | На поверхности расплава рекомендуется создавать слой флюса для очистки деталей, удаления налипшего металла и уменьшения разъедания поверхности деталей |
| Металлизация с последующим отжигом | На поверхности изделий напыляют слой алюминия толщиной 0,7—1,2 мм, на который наносится обмазка (50% серебристого графита, 20% огнеупорной глины, 20% кварцевого песка, 10% жидкого стекла) | 900—950 | 2—4 | 0,2—0,4 | Толщина обмазки 0,8—1,5 мм. Обмазка просушивается при 80—100 °С |

* Для снижения содержания алюминия в слое и уменьшения его хрупкости алитированные изделия отжигают при 900—1050 °С в течение 4—5 ч. Глубина слоя при этом возрастает на 20—40%.

Стальные изделия при алитировании приобретают высокую окислительную стойкость, так как при нагреве на поверхности алитированных изделий образуется плотная пленка окиси алюминия, защищающая металл от окисления. Алитированный слой обладает хорошим сопротивлением коррозии в атмосфере и морской воде. Твердость алитированного слоя до *HV* 500, износостойкость низкая.

20. Силицирование

Силицирование — один из видов химико-термической обработки, при котором происходит диффузионное насыщение поверхностных слоев стальных изделий кремнием при нагреве в интервале температур 800—1100 °С в соответствующей среде (табл. 95).

Силицированный слой обладает повышенной стойкостью против коррозии в морской воде и кислотах, а также повышенной износостойкостью при сравнительно низкой твердости (*HV* 200—250).

95. Методы силицирования стальных изделий

| Насыщающая среда | Температура, °С | Продолжительность, ч | Глубина слоя, мм | Примечание |
|--|-----------------|----------------------|------------------|---|
| <i>Силицирование в порошкообразных смесях</i> | | | | |
| 75% ферросилиция + 20% шамота (или окиси алюминия) + 5% хлористого аммония | 1100—1200 | 6—12 | 0,15—0,8 | = |
| <i>Газовое силицирование</i> | | | | |
| Газовая фаза, образующаяся при пропуске хлора в среду загруженных изделий и ферросилицием (или карбидом кремния) | 950—1050 | 2—5 | 0,4—0,8 | Процесс ведется в муфельных печах. Количество карбида кремния или ферросилиция — 1/10 массы деталей |

21. Борирование

Борирование применяют для повышения износостойкости изделий, в том числе работающих при повышенных температурах или в агрессивных средах. Борированию могут быть подвергнуты любые марки стали.

При борировании в процессе нагрева происходит диффузионное насыщение поверхности стальных изделий бором в соответствующей среде (табл. 96).

22. Сульфидирование

Процесс сульфидирования заключается в диффузионном насыщении поверхности изделий серой, однако почти все операции, именуемые сульфидированием (и соответственно составы для них), являются операциями сульфационирования, так как в них в насыщении поверхности изделий всегда участвуют, кроме серы, углерод и азот.

96. Методы борирования стали *

| Насыщающая среда | Температура, °С | Продолжительность, ч | Глубина слоя, мм | Примечание |
|---|-----------------|----------------------|------------------|---|
| <i>Борирование в порошковых смесях</i> | | | | |
| Порошки аморфного бора, карбида бора или ферробора + 30—40% глинозема + 1—3% хлористого аммония | 950—1050 | 3—6 | 0,1—0,3 | Изделия упаковывают в ящики, заполненных боризатором. Применяют борирование в среде водорода и при вакууме. |
| <i>Электролизное борирование</i> | | | | |
| Расплавленная бора | 900—950 | 2—6 | 0,1—0,4 | Плотность тока на катоде (изделие) 0,15—0,2 А/см ² , анод — графитовый стержень; напряжение 6—24 В |
| Расплавленная бора + 40—60% борного ангидрида | 900—950 | 2—4 | 0,15—0,35 | |
| <i>Жидкостное борирование</i> | | | | |
| Расплавленная бора + 30—40% карбида бора или ферробора | 950—1000 | 3—5 | 0,15—0,40 | Рекомендуется для изделий сложной формы |
| Расплавленная смесь (50% хлористого бария + 40% хлористого натрия) + 10% карбида бора или 20% ферробора | 900—1000 | 1—3 | 0,05—0,25 | |
| <i>Газовое борирование</i> | | | | |
| Диборан, разбавленный водородом (от 1:25 до 1:150) | 800—850 | 2—4 | 0,05—0,20 | Позволяет выполнить процесс при низких температурах (500—550 °С). Недостаток — токсичность и взрывоопасность. |
| Треххлористый бор | 750—950 | 3—6 | 0,05—0,25 | |

* Повышение температуры борирования выше 950 °С увеличивает хрупкость слоя.

97. Составы ванн жидкостного сульфидирования (массовая доля, %)

| № состава | Калий хлористый | Натрий сернокислый | Тиосульфат натрия | Натрий цианистый |
|-----------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 25 | 25 | — | 50 |
| 2 | 20 | 25 | 5 | 50 |
| 3 | — | — | 4—5 | 95—96 |

Примечание. Температура процесса сульфидирования 540—570 °С

При сульфидировании повышается износостойкость, улучшается адсорбция масла на поверхности трущихся изделий, предотвращается схватывание и задиры при резании, улучшается приработка трущихся частей. Различают сульфидирование в жидких средах (расплавах солей), твердых смесях (порошках и пастах), газовых средах. По температуре процесса различают низко-, средне- и высокотемпературное сульфидирование.

В табл. 97 приведены три состава ванн жидкостного сульфидирования.

Наряду с приведенными в табл. 97 составами смесей для сульфидирования, содержащими цианистые соли, применяются и бесцианистые составы смесей для расплавов. Приводим два таких состава (массовая доля, %):

1) карбамид (мочевина) — 36, углекислый калий — 24, железистосинеродистый калий — 30, тиосульфат натрия — 10;

2) калий железистосинеродистый — 86, едкий натр — 9, пирит (серный колчедан) — 5.

Г Л А В А V

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУНА

23. Классификация, маркировка

Чугун — это сплав железа с углеродом (более 2 %) и другими компонентами. В зависимости от состава, условий затвердевания и скорости охлаждения углерод в чугуне может находиться в химически связанном состоянии в виде цементита или в структурно-свободном состоянии в виде графита.

По химическому составу чугуны разделяются на нелегированные и легированные.

Нелегированные чугуны содержат кремний, марганец, серу и фосфор. Легированные чугуны (табл. 98), кроме того, специально вводятся хром, никель, марганец и другие элементы.

98. Группы легированных чугунов

| Вид чугуна | Массовая доля специальных легирующих элементов, % |
|--------------------|---|
| Низколегированный | 2,5 |
| Среднелегированный | 2,5—10 |
| Высоколегированный | >10 |

Примечание. К легирующим элементам относятся: марганец более 2%; кремний более 4%, фосфор более 1,5%; остальные элементы более 0,5%.

По структуре чугуны можно укрупненно разделить на следующие группы:

1) белые чугуны (с белым изломом), в которых углерод находится в виде цементита и перлита;

2) серые чугуны (с серым изломом), содержащие углерод главным образом в виде графита.

Чугуны подразделяются на обычные серые, ковкие и высокопрочные.

Маркировка чугунов осуществляется путем сочетания букв и цифр. Приняты следующие буквенные обозначения: Ч — чугун; С — серый; К — ковкий; В — высокопрочный. Цифрами обозначаются механические свойства чугуна.

В марках серого чугуна первые две цифры после букв указывают предел прочности при растяжении, вторые — предел прочности при изгибе. Например, СЧ 15-32 — серый чугун с пределом прочности при растяжении ~ 150 МПа и пределом прочности при изгибе ~ 320 МПа.

В ковком и высокопрочном чугунах первые две цифры означают предел прочности разрыву при растяжении, вторые — относительное удлинение. Например, ВЧ 60-2 — высокопрочный чугун с пределом прочности разрыву ~ 600 МПа и относительным удлинением 2 %; КЧ 37-12 — ковкий чугун с пределом прочности разрыву ~ 370 МПа и относительным удлинением 12 %.

Серые чугуны классифицируют по структуре основной металлической массы (по аналогии со сталью):

а) ферритный (высокопрочный или ковкий) имеет структуру основной металлической массы в виде феррита;

б) перлитный имеет структуру основной металлической массы в виде перлита;

99. Химический состав (массовая доля, %) марок чугуна (ГОСТ 1412—79, ГОСТ 7293—79 и ГОСТ 1215—79)

| Марка чугуна | С | Si | Mn | Cr | P | S |
|----------------------------|---------|---------|-----------------|------------------|----------|------|
| | | | | | не более | |
| <i>Серый чугун</i> | | | | | | |
| СЧ 15-32 | 3,5—3,7 | 2,0—2,4 | 0,5—0,8 | — | 0,30 | 0,15 |
| СЧ 18-36 | 3,4—3,6 | 1,7—2,1 | 0,5—0,7 | | 0,30 | 0,15 |
| СЧ 21-40 | 3,3—3,5 | 1,4—1,7 | 0,6—0,9 | | 0,30 | 0,12 |
| СЧ 28-48 | 3,1—3,4 | 1,2—1,5 | 0,6—0,9 | | 0,30 | 0,12 |
| СЧ 32-52 | 3,0—3,2 | 1,0—1,3 | 0,7—1,0 | | 0,30 | 0,12 |
| СЧ 40-60 | 2,5—2,7 | 2,5—2,9 | 0,2—0,4 | | 0,02 | 0,02 |
| <i>Высокопрочный чугун</i> | | | | | | |
| ВЧ 42-12 | 3,4—3,8 | 2,1—2,8 | Не более 0,4 | Не более 0,1 | 0,1 | 0,02 |
| ВЧ 50-2 | 3,2—3,6 | 1,9—2,2 | 0,5—0,8 | | | |
| ВЧ 80-3 | 3,2—3,6 | 2,6—2,8 | 0,6—0,9 | | | |
| ВЧ 100-4 | 3,2—3,6 | 3,4—3,8 | 0,6—0,9 | | | |
| <i>Ковкий чугун</i> | | | | | | |
| КЧ 30-6 | 2,6—3,0 | 0,9—1,3 | 0,3—0,6 | Не более 0,8 | 0,18 | 0,20 |
| КЧ 35-10 | 2,4—2,8 | 0,9—1,5 | 0,3—0,5 | Не более 0,06 | 0,12 | 0,12 |
| КЧ 50-4 | 2,4—3,0 | 0,9—1,6 | 0,3—1,2 | Не более 0,08 | 0,12 | 0,12 |
| КЧ 63-2 | | | | | | |

в) перлитно-ферритный содержит более 50 % перлита, остальное — феррит;

г) феррито-перлитный содержит около 50 % феррита, остальное — перлит.

Форма графитовых включений у серых чугунов может быть различной и классифицируется по соответствующим стандартам.

Химический состав наиболее распространенных марок чугуна приведен в табл. 99.

24. Термическая обработка чугуна

Термическая обработка изделий из чугуна находит все большее распространение. Одной из особенностей термической обработки чугуна в отличие от стали и цветных сплавов является более строгая необходимость учета структуры и физико-механических свойств материала в исходном состоянии. При термической обработке чугунные детали необходимо нагревать и охлаждать с такой скоростью, которая гарантировала бы от образования наружных и внутренних трещин и деформаций. В изделиях большого сечения и сложной конфигурации особенно рекомендуется пониженная скорость нагрева и охлаждения. Опасной является повышенная скорость нагрева и охлаждения в температурной области упругого состояния. Для чугуна этот интервал находится в области температур от комнатной до 500 °С. В области более высоких температур, когда имеют место пластические деформации, скорость нагрева и охлаждения может быть увеличена. Следует также учитывать, что малая скорость нагрева способствует графитизации цементита. Поэтому допустимые скорости нагрева и охлаждения устанавливаются обычно опытным путем в зависимости от состава и структуры чугуна, сечения и конфигурации изделий и имеющегося оборудования для нагрева и охлаждения изделий.

Продолжительность выдержки чугунных изделий должна определяться с учетом диффузионных процессов и структурных превращений, происходящих в чугуне в области высоких температур. Продолжительность выдержки чугунных изделий после достижения заданной температуры должна быть возможно минимальной, достаточной для протекания превращений; излишняя выдержка ведет к разложению перлита и ухудшению механических свойств.

При низкотемпературном отжиге отливок из серого чугуна, его иногда называют старением, стабилизирующим отжигом (эта операция, наиболее распространенная для чугунных отливок), производится снижение или полное снятие остаточных напряжений. Анализ режимов термической обработки, применяемых на практике, показывает, что скорость нагрева при низкотемпературном отжиге колеблется от 30 до 180 °С/ч. При этом, чем крупнее и сложнее отливки, тем скорость нагрева должна быть ниже. Для большинства корпусных деталей скорость нагрева принимается в пределах 100—150 °С/ч. Чем выше температура нагрева при низкотемпературном отжиге, тем полнее снимаются остаточные напряжения. Особенно этот процесс интенсифицируется при температурах более 500 °С. Следует отметить, что с повышением прочности чугуна для достижения одинакового эффекта, температуру нагрева и выдержки увеличивают.

В табл. 100—104 приведены сведения, необходимые при выполнении операций термической обработки чугунных изделий.

В последние годы в отечественной промышленности (особенно в дизелестроении) получила распространение изотермическая закалка

100. Виды термической обработки отливок из серого чугуна

| Термическая обработка | Технологические параметры процесса | | | | Назначение термической обработки |
|---|--|-------------------------|---|---|--|
| | Скорость нагрева, °С/ч | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждение | |
| Отжиг низкотемпературный (искусственное старение) | 70—100 (медленный прогрев) | 500—600 | Достаточная для прогрева всех частей изделий, 1—8 (в зависимости от конфигурации и массивности изделий) | Медленное с печью 20—50 °С/ч до 250 °С, далее охлаждение на воздухе | Снятие напряжений, исключение деформаций и трещин при механической обработке и в эксплуатации |
| Отжиг низкотемпературный графитизирующий | До 550 °С медленно для сложных изделий, ускоренно для изделий простой конфигурации | 680—750 | 1—4 (в зависимости от требуемой структуры) | Медленное до 250 °С для сложных изделий | Снижение твердости и прочности, улучшение обрабатываемости; повышение пластичности, ударной вязкости |
| Отжиг высокотемпературный графитизирующий | До 550 °С медленно для сложных изделий | 850—950 | 0,5—5,0 | Медленно с печью | Уменьшение твердости, улучшение обрабатываемости |
| Нормализация | | | | На воздухе | Повышение твердости, прочности, износостойкости |
| Закалка | | 850—930 | 0,5—3,0 | В воде, масле | Повышение твердости до <i>HV</i> 500, повышение прочности, износостойкости |
| Изотермическая закалка | Простые изделия ускоренно, сложные до 550 °С, замедленно | 830—900 | 0,2—1,5 | В закалочной среде с температурой ванны 250—450 °С | Повышение твердости до <i>HV</i> 500, повышение прочности, резкое увеличение износостойкости |

| Термическая обработка | Технологические параметры процесса | | | | Назначение термической обработки |
|-----------------------|--|--|--|-------------------------------|--|
| | Скорость нагрева, °С/ч | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждение | |
| Поверхностная закалка | Быстрый нагрев поверхностного слоя газовым пламенем, т. в. ч., в электролите и т. п. | 840—950 | Достаточная для прогрева заданного слоя (6—10 с) | В воде, масле и других средах | Повышение поверхностной твердости до HRC 55, резкое увеличение износостойкости |
| Отпуск | Сложные изделия замедленно | 250—600 в зависимости от требуемой твердости | 1—3 | На воздухе | Снятие термических напряжений, повышение вязкости, пластичности |

101. Виды термической обработки отливок из высокопрочного чугуна

| № п/п | Вид термической обработки | Режим термической обработки | Назначение термообработки | Область применения |
|-------|---------------------------|--|---|---|
| 1 | Снятие напряжений | Медленный нагрев до 500 °С, выдержка 2—3 ч, охлаждение с печью до 200 °С | Снятие внутренних напряжений на 80—90 % | Отливки сложной конфигурации |
| 2 | Отжиг графитизирующий | Нагрев до 900—950 °С, выдержка 2—5 ч, охлаждение с печью | Улучшение обрабатываемости резанием | Для отливок, имеющих в литом состоянии структурно-свободный цементит |
| 3 | Отжиг * | Нагрев до 900 °С, выдержка 2 ч, охлаждение с печью до 740 °С, выдержка 2—5 ч, охлаждение с печью до 680 °С, дальнейшее охлаждение на воздухе | | Для всех отливок из чугуна ВЧ 45-5 и других отливок |
| 4 | Нормализация и отпуск | Нагрев до 900—950 °С, выдержка 2—3 ч **, охлаждение на воздухе. Отпуск по режиму: нагрев до 550—600 °С, охлаждение с печью | Повышение предела прочности и износостойкости | Для отливок, требующих повышенной прочности и износостойкости (например, коленчатые валы) |

| № п/п | Вид термической обработки | Режим термической обработки | Назначение термообработки | Область применения |
|-------|-----------------------------|---|---|---|
| 5 | Закалка *** | Нагрев до 900 °С, закалка в масле | Повышение твердости и износостойкости | Области применения весьма ограничены в связи со склонностью к образованию закалочных трещин |
| 6 | Изотермическая закалка | Нагрев до 850—880 °С, выдержка 30—45 мин, передача в ванну, нагретую до 300—350 °С, выдержка 60 мин | Значительное повышение предела прочности, повышение износостойкости | Мелкие изделия простой конфигурации, работающие в тяжелых условиях |
| 7 | Поверхностная **** т. в. ч. | Закалка с 950—1100 °С в зависимости от структуры исходного чугуна | Повышение усталостной прочности, резкое повышение износостойкости | Высоконагруженные изделия, требующие повышенной износостойкости |

* При наличии в отливке структурно-свободного цементита термические обработки № 2 и 3 объединяются.
 ** Выдержку увеличивают до 5 ч в случаях наличия в отливке структурно-свободного цементита.
 *** Применение отпуска после закалки вызывает заметное изменение структуры и твердости при повышении температуры отпуска до 600 °С и выдержке 3 ч. В последнем случае механические свойства приобретают значения, аналогичные имевшимся в литом состоянии.
 **** В ряде случаев может быть использована также и поверхностная пламенная закалка.

102. Режимы термической обработки изделий из серого чугуна

| Изделие | Толщина стенок отливки, мм | Режим термической обработки | Твердость НВ |
|---|----------------------------|---|--------------|
| Гильзы цилиндров, тормозные барабаны, волоочильные матрицы, вырезные штампы | 20—50 | Отжиг при 680 °С, закалка с 850 °С с охлаждением на воздухе | 400—450 |
| Шестерни с нарезным зубом | До 50 | Закалка с 840 °С в масле, отпуск при 200—300 °С | 450—550 |
| Малые штампы для высадки и горячей штамповки | До 250 | Закалка с 850 °С в масле, отпуск при 350 °С | 350—400 |
| Гильзы цилиндров грузовиков и автобусов | 10—12 | Нормализация, закалка с 850 °С в масле, отпуск при 180—230 °С | 420—520 |

103. Режимы низкотемпературного отжига крупногабаритных изделий

| Масса отливки, кг | Конфигурация отливки | Класс точности отливки | Температура загрузки в печь, °С (не более) | Скорость нагрева, °С/ч (не более) | Температура выдержки отливок из чугуна, °С | | | | Выдержка, ч | Скорость охлаждения, °С/ч (не более) | Температура выгрузки, °С (не более) | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|------------------------|--|-----------------------------------|--|----------------------|----------|----------|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------|-----|-------------|--------|--------|-----|----------|-----|
| | | | | | СЧ 32-56 | СЧ 32-52 СЧ 28-48 | СЧ 21-40 | СЧ 15-32 | | | | | | | | | | | |
| До 500 | Простая | Н П | 200 | 200 150—200 | — 620±15 | 570±15 | 550±15 | 520±15 | 2—3 | 50 10—20 | 200 | | | | | | | | |
| | Сложная | Н П | 150—200 150 | 100—150 | — 620±15 | | | | | 30 10—20 | 200 150 | | | | | | | | |
| 2000 | Простая | Н П | 150—200 | 150 | — 620±15 | | | | | 570±15 | 550±15 | 520±15 | 2—3 | 30 10—20 | 150 | | | | |
| | Сложная | Н П | 150 | 100 | — 620±15 | | | | | | | | | 30 10—15 | 150 | | | | |
| 2000— 7000 | Простая | Н П | 150 | 100 | 620±15 | | | | | | | | | 570±15 | 550±15 | 520±15 | 2—3 | 30 10 | 150 |
| | Сложная | Н П | 100 | 50—100 | — 620±15 | | | | | | | | | | | | | 30 10 | 100 |

Примечания: 1. Н — отливки нормальной точности; П — отливки повышенной точности (прецизионные). 2. Скорость охлаждения, начиная с 300—350 °С, можно увеличить до 100—200 °С/ч.

чугуна. Этот способ обработки чугунных изделий по сравнению с известными способами значительно улучшает комплекс механических свойств материала, что открывает новые возможности применения чугунных изделий в качестве ответственных деталей машин. Подтверждением этому могут служить данные табл. 105 иллюстрирующие уровень механических свойств высокопрочного чугуна при некоторых видах термической обработки.

Следует отметить, что чугун, подвергнутый изотермической закалке, имеет преимущество по сравнению с нормализованным и улучшенным чугуном по твердости и износостойкости. Это преимущество,

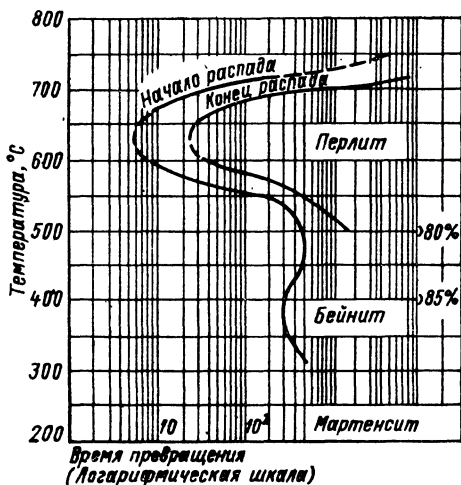


Рис. 13. Диаграмма изотермического превращения аустенита в доэвтектическом сером чугуне

улучшая конструктивные свойства чугунного изделия, однако, ухудшает его обрабатываемость при резании.

Сущность изотермической закалки чугуна заключается в аустенизации с последующим изотермическим распадом аустенита в промежуточной области С-образной диаграммы (рис. 13), при этом образуется преимущественно структура бейнита. Наличие в бейните остаточного аустенита создает резерв для улучшения механических свойств посредством последующей обработки холодом.

Изотермическая закалка чугуна состоит из двух этапов: 1) аустенизация, нагрев до 820—870 °C, выдержка при этой температуре; 2) переохлаждение аустенита с последующим его распадом в изотермических условиях при температуре от 250—300 до 450—500 °C (как показал опыт изотермической закалки чугуна, наиболее удачное сочетание механических характеристик и износостойкости достигается в процессе изотермического охлаждения при 350 °C).

Изотермическая закалка как технологическая операция отличается простотой и доступна к осуществлению в условиях термического цеха. Нагрев под закалку может производиться в вертикальных, камерных, конвейерных и толкательных печах. Можно применять также

**104. Типовой режим отжига чугунных отливок
с целью улучшения структуры и обрабатываемости**

| Операция | Сечение отливки, мм | | Операция | Сечение отливки, мм | |
|--|---------------------|--------|--|---------------------|--------|
| | до 50 | 50—100 | | до 50 | 50—100 |
| Посадка в печь при температуре (не выше), °С | 250 | 250 | Выравнивание температуры по сечению, ч | 1—1,5 | 2—2,5 |
| Выдержка при температуре посадки, ч | 1 | 1,5 | Выдержка после выравнивания температуры, ч | 1,2 | 3,4 |
| Нагрев до 700 °С со скоростью, °С/ч | 50—60 | 40—50 | Охлаждение до 600 °С со скоростью, °С/ч | 50—60 | 40—50 |
| Выдержка при 700 °С, ч | 1,5—2 | 2,5—3 | Охлаждение до 150 °С со скоростью, °С/ч | 30 | 25—30 |
| Нагрев до 920—940 °С со скоростью, °С/ч | 70—90 | 70—80 | Выдача на воздух | — | — |

**105. Механические свойства высокопрочного чугуна
при различных видах термической обработки**

| Вид термической обработки | Предел прочности при растяжении, МПа | Ударная вязкость a_{II} , кДж/м ² |
|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Нормализация | 785—883 | 195—392 |
| Улучшение | 980 | 392—588 |
| Изотермическая закалка | 1470—1570 | 1176—1372 |

**106. Составы и некоторые характеристики рабочих сред ванн
для изотермической закалки чугуна**

| Состав (массовая доля, %) | Температура плавления, °С | Температура применения, °С |
|--|---------------------------|----------------------------|
| NaOH | 328 | 350—700 |
| KOH | 360 | 400—650 |
| 35% NaOH + 65% KOH 20% NaOH + 80% KOH + 6% H ₂ O * | 155 | 180—500 |

* При добавлении воды в расплавы едких щелочей заметно увеличивается скорость охлаждения закаливаемых изделий (до 100—200 °С/с)

107. Влияние температуры отпуска после изотермической заковки на механические свойства отливок из серого чугуна (выдержка 1—2 ч)

| Температура изотермической выдержки, °С | Температура отпуска, °С | Механические свойства | | |
|---|-------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|
| | | σ_B , МПа | a_H , кДж/м ² | Твердость HRC |
| 300 | 200 | 490 | 39,2 | 32 |
| | 300 | 471 | 39,2 | 38 |
| | 400 | 412 | 34,3 | 39 |
| | 450 | 392 | 27,4 | 34 |
| | 500 | 373 | 24,5 | 30 |
| | 600 | 353 | 27,4 | 24 |
| 350 | 200 | 392 | 68,6 | 26 |
| | 300 | 412 | 39,2 | 26 |
| | 400 | — | — | 28 |
| | 450 | 343 | 19,6 | 34 |
| | 500 | 353 | 24,5 | 27 |
| | 600 | 363 | 24,5 | — |
| 450 | 200 | 343 | 21,6 | 38 |
| | 300 | 392 | 19,6 | 37 |
| | 400 | 333 | 17,6 | 36 |
| | 450 | 333 | 17,6 | 34 |
| | 500 | 274 | 17,6 | 32 |
| | 600 | 333 | 19,6 | 25 |

108. Влияние времени отпуска после изотермической заковки на твердость чугуновых деталей

| Вид чугуна | Режим изотермической заковки, °С | Температура отпуска, °С | Твердость HRC при времени отпуска, ч | | | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------|--|---------|-------|-------|-------|-------|----|
| | | | 0 | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 |
| | | | Серый легированный (хромоникельмолибденовый) | 850→350 | 150 | 28—29 | 28—30 | 32—34 | 32 |
| Серый легированный (хромоникельмолибденовый) | 850→350 | 200 | 32 | 34 | 35 | 36—37 | 36—37 | 36—37 | 33 |
| Серый легированный (хромоникельмолибденовый) | 850→350 | 300 | 32 | 33 | 34 | 35 | 32—33 | — | — |
| Высокопрочный | 820→350 | 150 | 29 | 32 | 32—34 | 34—35 | 36 | 32 | — |
| Высокопрочный легированный (хромоникельмолибденовый) | 820→350 | 150 | 32 | 32 | 32—34 | 34—35 | 36—38 | 34—36 | — |
| Высокопрочный | 820→350 | 300 | 28—29 | 34—36 | 36—38 | 36—38 | 32—33 | — | — |
| Высокопрочный легированный (хромоникельмолибденовый) | 820→350 | 300 | 32—33 | 33—34 | 35—36 | 35—36 | 35—36 | 36—37 | 34 |

109. Влияние обработки холодом после изотермической закалки на механические свойства серого чугуна *

| Температура обработки холодом, °С (после закалки 820 → 350 °С) | Механические свойства | | | Массовая доля остаточного аустенита, % |
|--|-----------------------|----------------------------|---------------|--|
| | σ_B , МПа | a_H , кДж/м ² | Твердость HRC | |
| Без обработки холодом | 686 | 137,2 | 28 | 22 |
| —20 | 686 | 137,2 | 30 | 20 |
| —40 | 784 | 98,0 | 34 | 14 |
| —60 | 745 | 98,0 | 36 | 13 |

* Выдержка при обработке холодом — до «прогрева» всего изделия.

110. Влияние продолжительности разрыва между изотермической закалкой и обработкой холодом на стабилизацию аустенита

| Продолжительность разрыва между изотермической закалкой и обработкой холодом, ч | Обработка холодом — 60 °С | |
|---|--|-----------------------|
| | Массовая доля превратившегося аустенита, % | Прирост твердости HRC |
| 1 | 50 | 9 |
| 24 | 50 | 5 |
| 240 | 20 | 1—2 |

111. Режимы термической обработки чугунных отливок после заварки дефектов

| Средства нагрева | Режим термической обработки |
|--------------------|---|
| Печи | Нагрев до 700 °С (быстрый); выдержка 1—1,5 ч; охлаждение с печью |
| Горны | Нагрев до 650—700 °С; выдержка 1—1,5 ч при включенных горелках; выдержка 1 ч при выключенных горелках |
| Переносные горелки | Нагрев до 650—700 °С; выдержка 1—1,5 ч; медленное охлаждение |

для нагрева соляные ванны. При проведении второй стадии изотермической выдержки широкое распространение получили ванны с расплавами едких щелочей*.

В табл. 106—110 приведены данные, которые могут быть использованы при выполнении изотермической заковки чугуна.

Термическая обработка чугунных отливок после заварки дефектов (отпуск на снятие сварочных напряжений) производится, как правило, с использованием тех же средств, с помощью которых осуществляется подогрев под заварку. В качестве нагревательных средств применяются камерные печи с выкатным подом, печи ямного типа, горны различных конструкций, переносные горелки и др.

Рекомендуемые режимы термической обработки заваренных чугуновых отливок приведены в табл. 111.

25. Химико-термическая обработка чугуна

С целью повышения поверхностной твердости чугунные изделия подвергают азотированию. Азотированию подвергаются серые чугуны, легированные хромом, никелем, молибденом и другими нитридообразующими элементами, а также высокопрочный чугун.

Рекомендуется для азотирования применять легированные серые чугуны с отбеленной коркой. Такой чугун предварительно подвергают отжигу с целью разложения цементита при 950—1000 °С с выдержкой 4—12 ч в зависимости от толщины стенки отливки. Для того чтобы придать металлической основе чугуна высокие механические свойства, после отжига производят термоулучшение чугуновых деталей по режиму: заковка с 800—850 °С в масле; кратковременный отпуск при 600 °С.

Процесс азотирования чугуна осуществляется обычно при 550—580 °С. Продолжительность процесса зависит от требуемой глубины слоя азотирования (см. гл IV). При азотировании чугуновых изделий в тлеющем разряде диффузионный слой нехрупок и хорошо сцеплен с нижележащим диффузионным подслоем.

Общая глубина слоя при азотировании в тлеющем разряде значительно выше, чем при обычном печном нагреве при одинаковых температуре и времени режима. При ионном азотировании выше 600 °С глубина слоя уменьшается. По сравнению с обычным газовым азотированием максимум твердости при ионном азотировании достигается при более низких температурах, а поверхностная твердость имеет большую величину.

В результате азотирования чугуна в тлеющем разряде значительно улучшается стойкость при трении и износе, а также усталостная прочность при знакопеременном изгибе.

Силицирование чугуновых изделий производится для повышения кислотостойкости и твердости. Наилучшие результаты получаются после силицирования ковкого чугуна, удовлетворительные — при силицировании серого чугуна. Силицирование может осуществляться как в твердых, так и в газообразных карбюризаторах при 1000—1100 °С. Для получения слоя толщиной 0,5—0,8 мм на отливках из ковкого чугуна требуется выдержка 20—25 ч. За это же время на отливках из серого чугуна получается слой 0,1 мм.

* Применение для охлаждения в цеховых условиях селитры, перегретого масла, а также металлических сплавов нецелесообразно; селитры взрывоопасны, а использование металлических сплавов связано с налипанием на детали и большими потерями металла.

**112. Процессы химико-термической обработки отливок
из серого чугуна**

| Химико-термическая обработка | Технологические параметры процесса | | | | Назначение |
|------------------------------|--|-------------------------|---|------------------------|---|
| | Скорость нагрева, °С/ч | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждение | |
| Азотиrowание | Медленный нагрев в среде аммиака | 500—580 | 50—70 | С печью | Повышение твердости <i>HV</i> 600—1000, износостойкости, коррозионной стойкости в воздушной среде |
| Азотиrowание антикоррозийное | | 500—700 | Кратковременная 0,5—1 | | |
| Алтитрование | Медленный нагрев до 500 °С в средах, содержащих алюминий | 900—1050 | Достаточная для получения требуемого слоя 2—6 | С печью или на воздухе | Повышение жаростойкости |
| Хромирование | Медленный нагрев в средах, содержащих хром | 950—1000 | В твердой среде 10—12, в газовой — 5 | | Резкое повышение поверхностной твердости до <i>HV</i> 1600, жаростойкости, антикоррозионных свойств |
| Сульфидирование | Медленный нагрев в средах, содержащих серу | 550—600 | Для получения слоя 0,3 мм — 3 | На воздухе | Улучшение обрабатываемости, исключение задиров |

А л и т и р о в а н и е чугунных изделий осуществляется с целью повышения их жаростойкости. Алитирование может производиться теми же способами, что и алитирование стали (см. гл. IV). Наиболее распространено алитирование чугуна в порошкообразной смеси ферроалюминия, окиси алюминия при 950—1000 °С в течение 5—8 с.

Технологические данные процессов химико-термической обработки чугуна приведены в табл. 112.

Г Л А В А VI

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

26. Маркировка сплавов

Приняты следующие обозначения: А — алюминий; Б — бериллий; Бр — бронза; Ж — железо; К — кадмий; Л — латунь; Мц — марганец; Н — никель и никелевые сплавы; О — олово; С — свинец; Ф — фосфор; Ц — цинк.

В марках латуней первое число обозначает среднюю массовую — долю меди в процентах, остальные числа — массовые доли других элементов в той последовательности, в которой стоят буквы. Например, ЛМцС58-2-2 — латунь марганцовосвинцовая, содержащая 57—60 % меди, 1,5—2,5 % марганца и 1,5—2,5 % свинца, остальное — цинк.

В бронзах обозначается содержание только добавочных элементов. Например, БрОЦ4-3 — бронза оловянноцинковая с содержанием 3,5—4 % олова, 2,7—3,3 % цинка, остальное — медь.

Таким же образом маркируются никелевые сплавы. Например, НМц 2,5 — никелевый сплав с 2,5 % марганца.

А л ю м и н и е в ы е с п л а в ы (основой является алюминий) разделяются на две группы: деформируемые алюминиевые сплавы, поставляемые в виде проката (листы, трубы, прутки и др.) и литейные алюминиевые, поставляемые в виде отливок.

Деформируемые алюминиевые сплавы условно обозначаются буквами Д, АК, АВ, ВД и В, после которых стоит номер сплава, например Д16, АК6 и т. д.

Литейные алюминиевые сплавы обозначаются буквами АЛ, после которых указывается номер сплава, например, АЛ1, АЛ3 и т. п.

Магние в ы е с п л а в ы (основой является магний) также разделяются на две группы: деформируемые и литейные.

Деформируемые магниевые сплавы обозначаются буквами МА, за ними следует номер сплава, например МА3, МА8 и т. п.

Литейные магниевые сплавы обозначаются буквами Мл; за ними указывается номер сплава, например Мл5, Мл6 и т. п. Буква М после марки материала означает отожженное состояние, буква Т — термообработанное состояние.

27. Составы и термическая обработка латуней, бронз и никелевых сплавов

Наиболее распространенными сплавами на основе меди * являются латуни (сплавы с цинком) и бронзы (сплавы с оловом, свинцом, алюминием и другими элементами). Режимы термической обработки этих и других сплавов приведены в табл. 113—115.

28. Составы и термическая обработка деформируемых алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы подвергают закалке с целью получения пересыщенного твердого раствора, из которого при последующем старении выделяется мелкодисперсная фаза, упрочняющая сплав. Температуру нагрева под закалку выбирают с учетом особенностей каждого сплава.

Верхним пределом температуры нагрева под закалку является температура, выше которой может быть пережог сплава, т. е. местное оплавление границ зерен.

Нижний предел температуры нагрева под закалку определяется необходимостью обеспечения условий для получения твердого раствора.

Изделия из сплавов Д1, Д6, Д16 приобретают наилучшее сочетание механических и коррозионных свойств после старения при 10—40 °С (естественное старение). Изделия из сплавов АВ, АК6, АК8, АК4, АК4-1 применяют после старения при повышенных температурах (искусственное старение). Сплавы АВ, АК6 и АК8 могут применяться после естественного старения; их коррозионная стойкость при этом будет выше, чем после искусственного старения.

Химический состав деформируемых алюминиевых сплавов приведен в табл. 116.

В табл. 117 приведена температура нагрева деформируемых алюминиевых сплавов под закалку. При нагреве под закалку полуфабрикатов из сплавов Д16, АК8 толщиной более 50 мм рекомендуется пользоваться нижним пределом температуры нагрева. Деформируемые полуфабрикаты (особенно листы) толщиной до 5 мм следует нагревать под закалку при температуре, близкой к верхнему пределу. Продолжительность выдержки при нагреве под закалку необходимо устанавливать исходя из характеристик изделия (вида изделия, способа изготовления, максимальной толщины), а также из условий нагрева (в соляной ванне, воздушной среде).

Продолжительность выдержки при нагреве под закалку характеризуется данными табл. 118. В табл. 119—126 приведены режимы старения и отжига сплавов, а также другие сведения, необходимые при термической обработке деформируемых алюминиевых сплавов.

В последнее время находят широкое применение упрочняемые сплавы АД31 системы алюминий—магний—кремний и 1915 и 1925 системы алюминий—цинк—магний. Из этих сплавов изготавливаются прессовые полуфабрикаты, профили, трубы и прутки. Из сплава АД31 изготавливаются холоднотянутые трубы, подвергнутые термомеханической обработке. Указанные сплавы обладают хорошими технологическими свойствами, коррозионной стойкостью. Изделия из этих сплавов

* Время выдержки при термической обработке медных сплавов обычно определяется опытным путем в зависимости от толщины детали. Практически оно составляет 4—6 мин на 1 мм диаметра или толщины детали.

113 Состав и режимы термической обра-
(ГОСТ 493—79, ГОСТ 613—79,

| Марка сплава | Состав основных компонентов (массовая доля, %) | | | | | | | |
|------------------|--|-------------|-------------|----------------|-------------|--------------|---------------|-------------|
| | Sn | Zn | Pb | Cu | Ni | P | Al | Fe |
| <i>Бр. н. в.</i> | | | | | | | | |
| БрОЗЦ12С5 | 2,0— 3,5 | 8—15 | 3—6 | Осталь- ное | — | — | — | — |
| БрОЗЦ7С5Н1 | 2,5— 4,0 | 6,0— 9,5 | 3,0— 6,0 | То же | 0,5— 2,0 | — | — | — |
| БрО5Ц5С5 | 4,0— 6,0 | 4,0— 6,0 | 4,0— 6,0 | » | — | — | — | — |
| БрО10Ц2 | 9—11 | 1,0— 3,0 | — | » | — | — | — | — |
| БрОФ 6,5-0,15 | 6—7 | — | — | » | — | 0,1— 0,25 | — | — |
| БрО10Ф1 | 9—11 | — | — | » | — | 0,4— 1,1 | — | — |
| БрА9ЖЗЛ | — | — | — | » | — | — | 8—10,5 | 2—4 |
| БрА9Мц2Л | — | — | — | » | — | — | 8—9,5 | — |
| БрА10ЖЗМц2 | — | — | — | » | — | — | 9—11 | 2—4 |
| БрА10Ж4Н4Л | — | — | — | » | 3,5— 5,5 | — | 9,5— 11,0 | 3,5— 5,5 |
| Бр11Ж6Н6 | — | — | — | » | 5,0— 6,5 | — | 10,5— 11,5 | 5,0— 6,5 |

| Термическая обработка | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|-------------|-------------------|
| Мп | Назначение | Вид обработки | Температура нагрева, °С | Среда нагрева | Выдержка, ч | Охлаждающая среда |
| — | Гомогенизация | Отжиг | 700—800 | — | 4—5 | Воздух |
| — | » | » | 650—700 | — | 1—5 | » |
| — | Снятие напряжений | » | 300—350 | Воздух | 1—5 | » |
| — | Гомогенизация | » | 600—650 | — | 2—4 | » |
| — | Снятие напряжений | » | 300—350 | — | 0,5—2 | » |
| — | Гомогенизация | » | 650—750 | — | 2—3 | » |
| — | Снятие напряжений | » | 300—350 | Воздух | 2—5 | » |
| — | Снижение твердости | » | 450—550 | » | 2—5 | » |
| — | Гомогенизация | » | 650—700 | » | 2—4 | » |
| — | Повышение пластичности | Закалка | 830—860 | — | 3—6 | Вода |
| — | Повышение прочности | Отпуск (после закалки) | 300—350 | — | 3—6 | Воздух |
| 1,5—2,5 | Гомогенизация | Отжиг | 650—750 | — | 2—6 | » |
| — | Повышение пластичности | Закалка | 800—850 | — | 0,5—5 | Вода |
| — | Повышение прочности (после закалки) | Отпуск | 350—450 | — | 2—5 | Воздух |
| — | Гомогенизация | Отжиг | 650—750 | — | 2—6 | » |
| 1—3 | Повышение пластичности | Закалка | 830—860 | — | 3—6 | Вода |
| — | Повышение прочности (после закалки) | Отпуск | 300—350 | — | 3—6 | Воздух |
| — | Гомогенизация | Отжиг | 650—750 | — | 2—6 | » |
| — | Повышение пластичности | Закалка | 850—920 | Воздух | 1—2 | Вода |
| — | Повышение прочности (после закалки) | Отпуск | 580—620 | » | 2—3 | Воздух |
| — | Повышение пластичности | Закалка | 875—925 | » | 1—5 | Вода |
| — | Повышение прочности (после закалки) | Отпуск | 400—650 | » | 2—5 | Воздух |

| Марка сплава | Состав основных компонентов (массовая доля, %) | | | | | | | |
|----------------------------------|--|-----------|---------|-----------|----|---|---------|----|
| | Sn | Zn | Pb | Cu | Ni | P | Al | Fe |
| Мц-5 | — | — | — | Остальное | — | — | — | — |
| <i>Латуни</i> | | | | | | | | |
| ЛМцА 57-3-1 | — | — | — | 55—58,5 | — | — | 0,5—1,5 | — |
| ЛС59-1 | — | Остальное | 0,8—1,9 | 57—60 | — | — | — | — |
| ЛК80-3 | — | То же | — | 79—81 | — | — | — | — |
| Л90 | — | » | — | 88—91 | — | — | — | — |
| <i>Сплавы на цинковой основе</i> | | | | | | | | |
| ЦАМ4-1 | — | Остальное | — | 0,75—1,25 | — | — | 3,5—4,3 | — |
| ЦАМ9-1,5 | — | То же | — | 1—2 | — | — | 9—11 | — |
| ЦАМ10-5 | — | » | — | 4—5,5 | — | — | 10—12 | — |

Примечания: 1. Химический состав сплавов приводится в соответствии с ГОСТ 19424—74 и ГОСТ 21437—75. 2. Содержание прочих компонентов

114. Режимы отжига никелевых и медно-никелевых сплавов

| Сплав | Марка сплава | Температура отжига, °С | Твердость НВ |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------|
| Никельмарганцовый | НМц 2,5 | 900 | — |
| | НМц 5 | 800—850 | 147 |
| Алюмель | НМцАК 2-2-1 | 900—950 | 120—130 |
| Хромаль | НХ 9,5 | 850—900 | 150—200 |
| Монель-металл | НМЖМц 28-2,5-1,5 | 800—850 | 120—130 |
| Ферронихром | НЖХМц 16-15-1,5 | 750—850 | 160 |
| Копель | НМ 56,5 | 800—850 | 85—90 |
| Константа | НММц 58,5-1,5 | 800—850 | 75—90 |
| Мельхиор | МН 19 | 650—750 | 60—70 |
| Мельхиор | МН 70 | 780—810 | 60—70 |
| Нейзильбер | МНЦ 15-20 | 700—750 | 70 |
| Манганин | МНМц 3-12 | 700—750 | 120 |

| Мп | Термическая обработка | | | | | |
|-----------------|---|---------------|-------------------------|---------------|-------------|-------------------|
| | Назначение | Вид обработки | Температура нагрева, °С | Среда нагрева | Выдержка, ч | Охлаждающая среда |
| 4,5—5,5 | Повышение прочности | Закалка | 1000—1020 | — | 1—1,5 | Вода |
| | | Отпуск | 470—490 | — | 4 | Воздух |
| 2,5—3,5 | Снятие напряжений | Отжиг | 300—500 | Воздух | 2—3 | » |
| — | То же | » | 300—400 | » | 2—3 | » |
| 2,5—4,0 | » Гомогенизация Снятие напряжений | » | 350—450 | — | 1—3 | » |
| — | | » | 750—760 | — | 1—1,5 | » |
| — | | » | 300—400 | Воздух | 2—3 | » |
| Mg 0,02—0,06 | Стабилизация размеров | » | 100—120 | » | 8—10 | » |
| Mg 0,03—0,06 | То же | » | 80—100 | » | 3—6 | » |
| Mg 0,03—0,06 | » | » | 80—100 | » | 3—6 | » |

ветствии с ГОСТ 493—79, ГОСТ 613—79, ГОСТ 5017—74, ГОСТ 15527—70, в сплавах не указано.

115. Режимы отжига для снятия внутренних напряжений деталей из цветных сплавов

| Материал | Температура отжига, °С | Выдержка, ч |
|--|------------------------|-------------|
| Медь | 150 | 0,5 |
| Специальные латуни ЛА77-2, ЛАН59-3-2, ЛН65-5 | 350 | 1 |
| Мельхиор | 250 | 1 |
| Оловянные бронзы (с содержанием 5 и 10% олова) | 200 | 1 |
| Никель и монель-металл | 300 | 1—3 |
| Нихром и ферронихром | 370—480 | 1—3 |

116. Химический состав (массовая доля, %) деформированных алюминиевых сплавов
(ГОСТ 4784-74)

| Марка сплава | Основные компоненты | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-----------|---------------------|---------|---------|------------|-----------|-----------|--------------|
| | Cu | Mg | Mn | Fe | Si | Zn | Ti | Cr | Br |
| ММ | — | 0,2—0,5 | 1,0—1,4 | — | — | — | — | — | — |
| АМц | — | — | 1,0—1,6 | — | — | — | — | — | — |
| АМг1 | — | 0,4—1,7 | — | — | — | — | — | — | — |
| АМг2 ¹ | — | 1,8—2,6 | 0,2—0,6 | — | — | — | — | — | — |
| АМг3 | — | 3,2—3,8 | 0,3—0,6 | — | 0,5—0,8 | — | — | — | — |
| АМг4 | — | 3,8—4,6 | 0,5—0,8 | — | — | — | 0,02—0,10 | 0,05—0,25 | 0,0002—0,005 |
| АМг5 | — | 4,8—5,8 | 0,5—0,8 | — | — | — | 0,02—0,10 | — | 0,0002—0,005 |
| АМг6 | — | 5,8—6,8 | 0,5—0,8 | — | — | — | 0,02—0,10 | — | 0,0002—0,005 |
| АВ | 0,1—0,5 | 0,45—0,90 | 0,15—0,35 или Cr | — | 0,5—1,2 | — | — | — | — |
| Д1 | 3,8—4,8 | 0,4—0,8 | 0,4—0,8 | — | — | — | — | — | — |
| Д16 | 3,8—4,9 | 1,2—1,8 | 0,3—0,9 | — | — | — | — | — | — |
| Д18 | 2,2—3,0 | 0,2—0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| АК4 | 1,9—2,5 | 1,4—1,8 | — | 0,8—1,3 | 0,5—1,2 | 0,8—1,3 Ni | — | — | — |
| АК4-1 | 1,9—2,7 | 1,2—1,8 | — | 0,8—1,4 | — | 0,8—1,4 Ni | 0,02—0,10 | — | — |
| АК6 | 1,8—2,6 | 0,4—0,8 | 0,4—0,8 | — | 0,7—1,2 | — | — | — | — |
| АК8 | 3,9—4,8 | 0,4—0,8 | 0,4—1,0 | — | 0,6—1,2 | — | — | — | — |
| В95 | 1,4—2,0 | 1,8—2,8 | 0,2—0,6 | — | — | 5,0—7,0 | — | 0,1—0,25 | — |

Примечание. Al — основа.

117. Температура нагрева алюминиевых сплавов под закалку, °С

| Марка сплава | Температура нагрева под закалку | Температура начала отсчета продолжительности нагрева |
|--------------|---|--|
| Д1 | 505 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -10 \end{smallmatrix}$ | 490 |
| Д16 | 500 ± 5 | 490 |
| АК4, АК4-1 | 535 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -10 \end{smallmatrix}$ | 520 |
| АВ | 520 ± 10 | 505 |
| АК6 | 510 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$ | 500 |
| АК8 | 500 ± 5 | 490 |

118. Продолжительность выдержки при нагреве под закалку

| Вид полуфабриката | Толщина, мм | Выдержка, мин | |
|--|---------------------|---------------------|---|
| | | в селитровых ваннах | в электропечах с принудительной циркуляцией воздуха |
| Плакированные листы или нагартованные после отжига | До 0,8 | 5 | 10—12 |
| | 1,0—1,2 | 7 | 15—20 |
| | 1,5—1,8 | 10 | 20—25 |
| | 2,0—4,0 | 15 | 25—30 |
| | 5,0—7,0 | 20 | 35—40 |
| | 7,0—10,0 | 25 | 45—50 |
| Холоднодеформированные отожженные трубы | До 1,0 | 15 | 20 |
| | 1,1—2,0 | | 30 |
| | 2,0 | | 40 |
| Холоднодеформированные неплакированные листы, горячекатаные плиты, горячепрессованные прутки, полосы, втулки | До 2,5 | 10 | 30 |
| | 2,6—5,0 | 15 | 45 |
| | 5,1—10,0 | 20 | 60 |
| | 10,1—15,0 | 25 | 75 |
| | 15,1—30,0 | 30 | 90 |
| | 31—50 | 40 | 120 |
| | 51—75 | 50 | 150 |
| | 76—100 | 70 | 180 |
| | 101—150 | 80 | 210 |
| | Штамповки и поковки | До 2,5 | 10 |
| 2,6—5,0 | | 10 | 45 |
| 5,1—30 | | 40 | 60 |
| 31—50 | | 50 | 120 |
| 51—75 | | 60 | 150 |
| 76—100 | | 90 | 180 |
| 101—150 | | 120 | 210 |

Примечание. При толщине изделия более 150 мм минимальное время выдержки устанавливается 1 мин на 1 мм максимальной толщины изделия при нагреве в селитровой ванне и 1,5 мин на 1 мм максимальной толщины при нагреве в воздушной печи.

119. Режимы старения

| Марка сплава | Вид старения | Температура, °С | Продолжительность, ч |
|-------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------|
| Д1, Д16, АВ, АК6, АК8 | Естественное | Комнатная | 96 |
| АВ АК6, АК8 АК4-1 | Искусственное | 150—165 150—165 180—190 | 12—15 6—15 10 |

120. Режимы промежуточного отжига полуфабрикатов из листа для снятия нагартовки (наклепа)

| Марка сплава | Температура отжига, °С | Толщина материала, мм | Выдержка при температуре отжига, мин | | | Охлаждение |
|--------------|------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| | | | Селитровая ванна | Воздушная печь с циркуляцией воздуха | Воздушная печь без принудительной циркуляции воздуха | |
| Д1, Д16 | 390—430 | 0,3—2,0 2,1—4,0 4,1—6,0 6,1—10,0 | — | 40 50 60 90 | 60 80 90 120 | Скорость охлаждения не выше 30 °С/ч до 250—270 °С для сплавов типа дуралюмина; далее охлаждение на воздухе |
| Д1, Д16, АВ | 350—370 | 0,3—2,0 2,1—4,0 4,1—6,0 6,1—10,0 | 30 40 50 60 | 40 50 60 90 | 60 80 90 120 | При отжиге в селитровой ванне охлаждение на воздухе до температуры выше 200 °С, а затем в воде с последующей протиркой изделия мягкими салфетками |

121. Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов после термической обработки

| Марка сплава | Режим термической обработки | Вид полуфабриката | Механические свойства | | |
|--------------|---------------------------------|----------------------|--|----------------------------|--------------|
| | | | Предел прочности при растяжении σ, МПа | Относительное удлинение, % | Твердость НВ |
| Д1 | Закалка и естественное старение | Штамповка Поковка | 373 353 | 12 10 | 95 |

| Марка сплава | Режим термической обработки | Вид полуфабриката | Механические свойства | | |
|--------------|----------------------------------|----------------------|--|----------------------------|--------------|
| | | | Предел прочности при растяжении σ , МПа | Относительное удлинение, % | Твердость НВ |
| АК4 | Закалка и искусственное старение | Штамповка Поковка | 373 353 | 4 3 | 100 |
| АК4-1 АК6 | | Штамповка и поковка | 392 | 5 | 117 |
| | | Штамповка Поковка | 382 363 | 10 8 | 100 95 |
| АВ | Штамповка Поковка | 294 274 | 12 10 | 85 | |

122. Режимы термической обработки заклепок из алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Диаметр заклепок, мм | Закалка | | Старение | |
|--------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|----------|
| | | Температура, °С | Выдержка, мин (селитровая ванна) | Температура, °С | Выдержка |
| Д18, Д1П | 2—5 6—9,5 | 500±5 | 20 30 | Комнатная | 4 сут |
| В65 | 2—5 6—9,5 | 525±5 | 30—40 40—50 | 75±5 | 24 ч |
| Д16П | 2—5 6—9,5 | 495±5 | 20 30 | Комнатная | 4 сут |
| В94 | 2—5 6—9,5 | 470±5 | 30—40 40—50 | 100±5 °С+168±5 °С | 3 ч |

123. Режимы термической обработки труб из сплавов Д1 и Д16

| Вид термической обработки | Д1 | Д16 |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| Отжиг под прокатку и волочение | 420—450 °С; 2 ч | 420—450 °С; 2 ч |
| Отжиг под осадку после прокатки | 380—400 °С; 1,5 ч | 300—400 °С; 1,5 ч |
| Окончательный отжиг | 400—430 °С; 2 ч | 400—430 °С; 2 ч |
| Закалка * | 505±5 °С | 500±5 °С |
| Искусственное старение | — | — |

* Время выдержки при закалке зависит не от марки сплава, а от толщины стенки трубы. Для труб с толщиной стенки <1; 1,1—2; 2,1—5; 5,1—10 мм необходимы соответственно выдержки 20, 30, 60 и 75 мин.

124. Режимы отжига листов и рулонов из сплавов А1—Мg

| Марка сплава | Состояние перед отжигом | Температура отжига, °С |
|------------------|-------------------------------------|------------------------|
| АМg2, АМg3, АМg4 | Горячекатаное, толщина 5—7 мм | 350—420 |
| АМg5, АМg6 | То же, перед холодной прокаткой | 330—350 |
| АМg2, АМg3 | Холоднокатаное, всех толщин | 350—420 |
| АМg4 | То же | 300—350 |
| АМg5, АМg6 | » | 310—335 |
| АМg4 | Горячекатаное (окончательный отжиг) | 300—350 |
| АМg5, АМg6 | То же | 310—335 |

Примечание. Время нагрева до указанных температур 3—5 ч, время выдержки 0,5—3 ч.

125. Влияние времени переноса из нагревательного устройства в закалочный бак на механические свойства листов из сплава В95

| Время переноса, с | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | δ , % | Время переноса, с | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | δ , % |
|-------------------|------------|----------------|--------------|-------------------|------------|----------------|--------------|
| | МПа | | | | МПа | | |
| 5 | 524 | 493 | 11,2 | 30 | 451 | 378 | 12,0 |
| 10 | 514 | 476 | 10,7 | 40 | 419 | 347 | 11,5 |
| 20 | 507 | 452 | 10,3 | 60 | 396 | 310 | 11,0 |

126. Влияние скорости охлаждения на механические свойства и коррозионную стойкость сплава В95
(толщина листа 1,6 мм)

| Охлаждающая среда | Средняя скорость охлаждения (°C/с) в интервале 400—290 °C | Механические свойства | | | Тип коррозии |
|-------------------------------|---|-----------------------|----------------|--------------|--|
| | | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | $\delta, \%$ | |
| | | МПа | | | |
| Вода, 20 °C | 1390 | 578 | 502 | 12,8 | Питтинговая |
| Легкое масло, 20 °C | 890 | | | | |
| Масло средней вязкости, 20 °C | 150 | 574 | 490 | 13,0 | |
| Тяжелое масло, 30 °C | 70 | 558 | 365 | | |
| Спирт, 20 °C | 55 | 560 | 360 | | |
| Кипящая вода | 25 | 526 | 420 | 12,9 | Питтинговая или питтинговая + межкристаллитная |
| Струя воздуха | 7 | 365 | 290 | 13,0 | Межкристаллитная |
| Спокойный воздух | 2 | 310 | 164 | 15,3 | Питтинговая или питтинговая + межкристаллитная |

127. Химический состав (массовая доля, %) сплавов системы алюминий—магний—кремний и алюминий—цинк—магний (ГОСТ 4784—74)

| Марка сплава | Легирующие элементы | | | | | | Примеси (не более) | | | | | | | |
|--------------|---------------------|---------|---------|-----------|----------|---------|--------------------|-----|------|----|------|------|-----|-----|
| | Mg | Mn | Zn | Zr | Cr | Si | Ti | Mn | Cu | Mg | Si | Fe | Zn | Cr |
| АД31 | 0,4—0,9 | — | — | — | — | 0,3—0,7 | 0,15 | 0,1 | 0,1 | — | — | 0,5 | 0,2 | — |
| 1915 | 1,3—1,8 | 0,2—0,6 | 3,4—4,0 | 0,15—0,22 | 0,08—0,2 | — | 0,1 | — | 0,1 | — | 0,3 | 0,4 | — | — |
| 1925 | 1,3—1,8 | 0,2—0,7 | 3,4—4,0 | 0,1—0,2 | — | — | 0,1 | — | 0,80 | — | 0,70 | 0,70 | — | 0,2 |

Примечание. Al — основа.

128. Режимы термической обработки сплавов системы
алюминий—магний—кремний и алюминий—цинк—магний

| Марка сплава | Вид обработки | Термическая обработка | | |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|------------------|---|
| | | Температура, °C | Время | Скорость охлаждения |
| АД31 | Отжиг | 380—420 | 10—60 мин | До 260 °C со скоростью 30 °C/ч, далее на воздухе |
| | Закалка | 520—530 | 1—2 ч | В воде |
| | Естественное старение | — | 10 сут | — |
| | Закалка | 520—530 | 1—2 ч | В воде |
| | Искусственное старение | 160—170 | 10—12 ч | На воздухе |
| | Отжиг | 380—420 | 1—3 ч | До 150 °C со скоростью не более 30 °C/ч, далее на воздухе |
| 1915 | Закалка | 440—460 | 1—2 ч | В воде |
| 1925 | Естественное старение | — | 30 сут | — |
| 1915 | Закалка | 440—460 | 1—2 ч | В воде |
| | Искусственное старение | 95—105 Далее 145—155 | 20 ч 10 ч | На воздухе |
| 1915 (для сварных конструкций) | Закалка | 440—460 | 1—2 ч | В воде |
| | Искусственное старение | 95—105 Далее 170—180 | 10—20 ч 3—5 ч | На воздухе |

Примечание. Для тонкостенных профилей ≤ 10 мм допускается закалка с охлаждением на воздухе.

рекомендуется использовать в ограждающих и малонагруженных конструкциях (АДЗ1) и несущих конструкциях (1915 и 1925).

Химический состав упомянутых сплавов приведен в табл. 127, а режимы термической обработки в табл. 128.

29. Составы и термическая обработка литейных алюминиевых сплавов

Химический состав литейных алюминиевых сплавов приведен в табл. 129.

Условные обозначения методов литья и режимов термической обработки:

для способов литья: З — литье в песчаные формы; К — литье в кокиль; Д — литье под давлением; М — модифицирование сплава; О — литье в оболочковые формы; В — литье по выплавляемым моделям;

для режимов термической обработки: Т1 — искусственное старение; Т2 — отжиг; Т4 — закалка; Т5 — закалка и частичное искусственное старение; Т6 — закалка и полное искусственное старение; Т7 — закалка и стабилизирующий отпуск; Т8 — закалка и смягчающий отпуск.

Термическая обработка литых изделий из алюминиевых сплавов повышает прочность, коррозионную стойкость, а также улучшает обрабатываемость резанием.

Как и для всех изделий из цветных сплавов, термическая обработка изделий из алюминиевых литейных сплавов должна производиться с особой тщательностью с применением термических печей с малым перепадом температур в рабочем пространстве и точных указывающих и регулирующих приборов теплового контроля. При несоблюдении этих условий может произойти пережог металла в процессе нагрева под термическую обработку и как следствие окончательный брак, приводящий к значительным издержкам производства. Изделия, изготовленные из сплавов АЛ8 и АМЗ, следует нагревать в электрических печах. Нагрев подобных изделий в селитровых ваннах может привести к взрыву, так как селитра энергично реагирует с магнием, содержащимся в этих сплавах.

Для нагрева под термическую обработку несложных и мелких изделий из сплавов АЛЗ, АЛ5, АЛ6, АЛ7 и АЛ9 целесообразно применять селитровые ванны.

Мелкие изделия, подлежащие термической обработке, следует группировать в одну садку, используя для этой цели специальные корзины и приспособления. Крупногабаритные изделия при наличии больших партий рекомендуется нагревать в методических печах.

Изделия из сплавов, склонных к окислению при нагреве, рекомендуется помещать в ящики с сухой окисью алюминия или мелкой сухой шамотной глиной.

Для получения наибольшего эффекта закалки изделия следует передавать из печи в закалочный бак с наибольшей скоростью (время переноса не более нескольких секунд). Этого можно достигнуть при механизированной передаче нагретых изделий из печи в закалочный бак и удалении закалочного бака от печи на расстояние не более 1,5 м.

При нагреве изделий в селитровых ваннах после закалки необходимо промывать их в горячей (30—50 °С) воде для удаления следов селитры. Промывку следует производить быстро, чтобы не допустить процесса старения.

Режимы термической обработки приведены в табл. 130 и 131. Искусственное старение изделий из алюминиевых сплавов может

129. Химический состав (массовая доля, %) некоторых литейных алюминиевых сплавов
(ГОСТ 2685-75)

| Марка сплава | Основные компоненты | | | | | | | | |
|--------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| | Mg | Si | Mn | Cu | Ni | Ti | Fe | Zr | Прочие компоненты |
| АЛ1 | 1,25—1,75 | — | — | 3,75—4,50 | 1,75—2,25 | — | — | — | — |
| АЛ2 | — | 10—13 | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ3 | 0,35—0,60 | 4,5—5,5 | 0,6—0,9 | 1,5—3,0 | — | — | — | — | — |
| АЛ4 | 0,17—0,30 | 8,0—10,5 | 0,2—0,5 | — | — | — | — | — | — |
| АЛ5 | 0,35—0,60 | 4,5—5,5 | — | 1,0—1,5 | — | — | — | — | — |
| АЛ6 | — | 4,5—6,0 | — | 2,0—3,0 | — | — | — | — | — |
| АЛ7 | — | — | — | 4,0—5,0 | — | — | — | — | — |
| АЛ8 | 9,5—10,0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ9 | 0,2—0,4 | 6,0—8,0 | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ11 | 0,1—0,3 | 6,0—8,0 | — | — | — | — | — | — | 7,0—12,0 Zn |
| АЛ19 | — | — | 0,6—1,0 | 4,5—5,3 | — | 0,15—0,35 | — | — | — |
| АЛ21 | 0,8—1,3 | — | 0,15—0,25 | 4,6—6,0 | 2,6—3,6 | — | — | — | 0,1—0,2 Cr |
| АЛ22 | 10,5—13,0 | 0,8—1,2 | — | — | — | 0,05—0,15 | 0,03—0,07 | — | — |
| АЛ23 | 6,0—7,0 | — | — | — | — | 0,05—0,15 | 0,02—0,10 | 0,05—0,20 | — |
| АЛ23-1 | 6,0—7,0 | — | — | — | — | 0,05—0,15 | 0,02—0,10 | 0,05—0,20 | — |
| АЛ24 | 1,5—2,0 | — | 0,2—0,5 | — | — | 0,10—0,20 | — | — | 3,5—4,5 Zn |
| АЛ25 | 0,8—1,3 | 11,0—13,0 | 0,3—0,6 | 1,5—3,0 | 0,8—1,3 | 0,05—0,20 | — | — | — |
| АЛ27 | 9,5—10,5 | — | — | — | — | 0,05—0,15 | 0,05—0,15 | 0,05—0,20 | — |
| АЛ30 | 0,8—1,3 | 11,0—13,0 | — | 0,8—1,5 | 0,8—1,3 | — | — | — | — |

Примечание. А1 — основа.

130. Режимы термической обработки некоторых марок литейных алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Обозначение термической обработки | Закалка | | | Старение | | | Примечание |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--|
| | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда и температура, °С | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда | |
| АЛ1 | T5 | 515±5 | 2—5 | Вода 20—100 | 175±5 | 3—5 | Воздух | Для деталей, несущих средние нагрузки |
| | T7 | | | | 230±10 | | | |
| АЛ2 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2—4 | | Для деталей, несущих малые нагрузки |
| АЛ3 | T1 | — | — | — | 175±5 | 3—5 | | Воздух или вместе с печью |
| | T2 | — | — | — | 300±10 | 2—4 | | |
| | T5 | Ступенчатый нагрев: 515±5 525±5 | 2—4 | — | 175±5 | 3—5 | Воздух | Для крупных деталей, несущих средние нагрузки и работающих при температуре до 175 °С |
| | T7 | 515±5 | 3—6 | Вода 20—100 | 230±10 | | | Для деталей, работающих при повышенных температурах |
| | T8 | | | | 330±5 | | | Для повышения пластичности мелких деталей |

| Марка сплава | Обозначение термической обработки | Закалка | | | Старение | | | Примечание |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|---|
| | | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда и температура, °С | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда | |
| АЛ4 | T1 | — | — | — | 175±5 | 5—17 | Воздух | Для деталей, несущих средние нагрузки |
| | T6 | 535±5 | 2—6 | Вода 20—100 | | 10—15 | | Для крупных деталей, несущих большие нагрузки |
| АЛ5 | T1 | — | — | — | 180±5 | 5—10 | Воздух | Для деталей, несущих средние нагрузки |
| | T5 | 525±5 | 3—5 | Вода 20—100 | 175±5 | | | Для деталей, несущих большие нагрузки |
| | T6 | | | | 200±5 | | | Для деталей, работающих при повышенной температуре |
| | T7 | Ступенчатый нагрев: 515±5 525±5 | 3—5 1—3 | | 230±10 | | | 3—5 |
| 525±5 | | 3—5 | | | | | | |
| АЛ6 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2—4 | | Для устранения остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей |

| Марка сплава | Обозначение термической обработки | Закалка | | | Старение | | | Примечание |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|---|---|
| | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда и температура, °С | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда | |
| АЛ7 | T4 | 515±5 | 10—15 | Вода 80—100 | — | — | — | Для повышения предела прочности и пластичности деталей |
| | T5 | | | | 150±5 | 2—4 | Воздух | Для повышения предела текучести и твердости деталей |
| АЛ8 | T4 | 430±5 | 15—20 | Масло 40—50 | — | — | — | Для повышения предела прочности и коррозионной стойкости деталей |
| АЛ9 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2—4 | — | Для устранения остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей |
| | T4 | 535±5 | 2—6 | Вода 20—100 | — | — | — | Для получения повышенной пластичности деталей |
| | T5 | | | | 150±5 | 1—3 | | Воздух |
| | T6 | | | 200±5 | 2—5 | Воздух | Для получения максимального предела прочности деталей | |
| | T7 | | | 225±10 | 3—5 | | Для обеспечения стабильности размеров деталей | |

| Марка сплава | Обозначение термической обработки | Закалка | | | Старение | | | Примечание | | |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--|---|--|
| | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда и температура, °С | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда | | | |
| АЛ9 | T8 | 535±5 | 2—6 | Вода 80—100 | 250±10 | 3—5 | Воздух | Для повышения пластичности и стабильности размеров деталей | | |
| АЛ11 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2—4 | | | | |
| АЛ19 | T4 | Ступенчатый нагрев: 530±5 545±3 | 5—9 | Вода 20—100 | — | — | — | Для повышения пластичности и предела прочности | | |
| | | 545±3 | 10—12 | | | | | | | |
| | T5 | Ступенчатый нагрев: 530±5 545±3 | 5—9 | | 175±5 | 3—5 | Воздух | | Для повышения предела текучести деталей | |
| | | 545±3 | 10—12 | | 175±5 | 3—5 | | | | |
| | T7 | Ступенчатый нагрев: 530±5 545±3 | 5—9 | | 250±10 | 3—10 | | | | Для уменьшения внутренних напряжений в деталях |
| | | | | | | | | | | |

| Марка сплава | Обозначение термической обработки | Закалка | | | Старение | | | Примечание |
|--------------|-----------------------------------|--|---------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|---|
| | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда и температура, °С | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда | |
| АЛ21 | T2 | — | — | — | 300±10 | 5—10 | Воздух | Для сложных по конфигурации деталей, работающих при 300—350 °С |
| | T7 | Ступенчатый нагрев: с 300 до 500 500±5 525±5 | 2 2 2—5 | Вода 80—100 | | 3—10 | | |
| АЛ22 | T2 | — | — | — | — | 2—4 | Воздух или с печью | Для снятия остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей |
| | T4 | 425±5 | 15—20 | Вода, 100 или масло 40—50 | | — | | |
| АЛ24 | T5 | 580±5 | 4—6 | Вода, 100 или воздух | 120±5 | 8—10 | Воздух | Для деталей, несущих большие нагрузки |
| АЛ23 | T4 | 435±5 | 10 | Вода 80—100 | — | — | — | Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей |
| | | Ступенчатый нагрев: 435±5 455±5 | 4 | | | | | |

| Марка сплава | Обозначение термической обработки | Закалка | | | Старение | | | Примечание |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|---|
| | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда и температура, °С | Температура, °С | Выдержка, ч | Охлаждающая среда | |
| АЛ23-1 | Т4 | 435±5 | 10 | Вода 80—100 | — | — | — | Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей |
| | | Ступенчатый нагрев: 435±5 455±5 | 4 | | | | | |
| АЛ25 | Т1 | — | — | — | 210±10 | 10—12 | Воздух | Для обеспечения максимальной стабильности деталей |
| АЛ26 | Т2 | | | | 230±10 | | | |
| АЛ30 | Т1 | | | | 200±5 | | | |
| АЛ27 | Т4 | 435±5 | 10 | Вода 80—100 | — | — | — | Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей |
| | | Ступенчатый нагрев: 435±5 455±5 | 4 | | | | | |
| АЛ27-1 | Т4 | 435±5 | 10—20 | Вода 80—100 | — | — | — | Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей |
| | | Ступенчатый нагрев: 435±5 455±5 | 4 | | | | | |

Примечания: 1. Одноступенчатый нагрев под закалку сплава АЛ19 рекомендуется для тонкостенных (до 30 мм) и несложных по конфигурации изделий при условии нагрева в печах, обеспечивающих повышенную точность выполнения температурного режима. 2. Для уменьшения внутренних напряжений крупногабаритных сложных по конфигурации изделий из сплавов АЛ1, АЛ5, АЛ7 рекомендуется закаливать их в воде с температурой 80—100 °С.

**131. Режимы отжига для снятия внутренних напряжений
в изделиях**

| Материал | Температура отжига, °С | Выдержка, ч |
|---|------------------------|-------------|
| Алюминий Алюминиевые литейные сплавы | 150 280—340 | 0,5 2—5 |

**132. Рекомендуемые составы солей при нагреве
в селитровых ваннах**

| Вид термической обработки | Составляющие смеси | Содержание, % | Температура, °С | |
|---------------------------|--------------------|---------------|-----------------|------------|
| | | | плавления | применения |
| Отжиг | Калиевая селитра | 56 | 153 | 175—500 |
| | Натриевая селитра | 44 | | |
| | Калиевая селитра | 100 | 220 | 245—540 |
| Нагрев под закалку | Натриевая селитра | 65—35 | | |
| | Калиевая селитра | 35—65 | 153—230 | 260—540 |

Примечание. Для увеличения стойкости селитровой ванны и улучшения поверхности термообрабатываемого изделия в ванну вводят 2—3% хромпика в виде смеси, состоящей из пяти частей селитры и одной части сухого хромпика.

**133. Виды брака при термической обработке
литейных алюминиевых сплавов**

| Вид брака | Причины | Меры предупреждения |
|------------|---|---|
| Коробление | Неравномерный и быстрый нагрев Неудовлетворительная укладка изделий на поддопы нагревательной печи Деформация под действием остаточных напряжений при длительном хранении изделий на складе | Применение фиксирующих приспособлений для нагрева и закалки изделий Правильная укладка изделий; для крупных отливок создание крестовин и скрепляющих планок Изменение способа закалки; закалка холодным воздухом, туманом или струями воды, в масле и т. д. Рихтование перед старением |

| Вид брака | Причины | Меры предупреждения |
|---|---|---|
| Неполная за- калка | Недостаточная выдерж- ка изделий в печи. По- ниженная температура на- грева. Пониженная ско- рость закалки | Повторная термическая обработка |
| Неравномер- ная закалка | Неравномерный про- грев и охлаждение от- дельных частей изделий | Повторная закалка с увеличением времени вы- держки изделий в печи и более быстрое их охла- ждение (закалка) |
| Образование трещин после закалки | Несоответствие по хи- мическому составу Сложность configura- ции и разностенность из- делий Повышенная скорость нагрева и охлаждения Повышенная скорость нагрева и охлаждения | Проверка химического состава изделий, подбор оптимальных соотношений компонентов Увеличение радиусов закруглений в переход- ных местах стенок изде- лия Изменение скорости на- грева и охлаждения (за- калка в масле при 180— 200 °С) Перераспределение вну- тренних напряжений из- менением сечений стенок изделий, образованием ре- бер жесткости. Изотерми- ческий режим термической обработки |
| Пережог | Увеличение содержания легкоплавкой примеси Наличие крупных сече- ний изделий и недоста- точно равномерный подь- ем температуры Неравномерность темпе- ратуры в различных зонах печи | Не допускать попадания в шихту легкоплавких примесей Нагрев изделий вместе с печью не меньше 2 ч до температуры выдержки под закалку Периодическая провер- ка температуры в разных зонах печи |
| Коррозия | Повышенное количе- ство хлоридов в селитре Следы селитры в кана- лах и отверстиях изделий | Систематическая про- верка состава селитры с целью определения коли- чества ионов хлора Тщательная промывка изделий после закалки |
| Неудовлетво- рительные меха- нические свой- ства | Отклонение от химиче- ского состава сплава Нарушение режима тер- мической обработки | Уточнение химического состава сплава Повторная термическая обработка |

134. Влияние охлаждающей среды при закалке на деформацию изделий

| Марка сплава | Величина деформации (мм) при охлаждении | | |
|--------------|---|-------------------|-------------------|
| | в воде при 20 °С | в воде при 100 °С | в масле при 20 °С |
| АЛ4 | 0,24 | 0,15 | 0,07 |
| АЛ5 | 0,35 | 0,30 | 0,10 |
| АЛ7 | 0,32 | — | 0,08 |
| АЛ8 | 0,23 | 0,17 | 0,07 |
| АЛ9 | 0,33 | 0,17 | 0,09 |
| АЛ19 | 0,70 | 0,10 | — |

135. Величина деформации колец из сплава АЛ9 в зависимости от температуры и длительности выдержки при изотермической закалке

| Температура расплава солей при изотермической закалке, °С | Деформация (мм) при длительности выдержки в закалочной среде, ч | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|
| | 1,3 | 1,5 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 150 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| 175 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,02 |
| 200 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |

136. Величина деформации колец из сплава АЛ19 в зависимости от температуры и длительности искусственного старения

| Температура старения, °С | Температура воды в закалочном баке, °С | Деформация (мм) при длительности выдержки при старении, ч | | | | | |
|--------------------------|--|---|------|------|------|------|------|
| | | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 |
| 150 | 20 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,20 |
| | 100 | 0,13 | 0,04 | 0,03 | — | — | 0,03 |
| 175 | 20 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,30 |
| | 100 | 0,08 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | — | 0,06 |
| 200 | 20 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,15 | 0,15 |
| | 100 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,04 |
| 225 | 20 | 0,20 | 0,13 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,04 |
| | 100 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 250 | 20 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | 100 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |

производиться в селитровых ваннах, составы которых зависят от температуры старения (табл. 132). Характеристика дефектов, обнаруживаемых при термической обработке литейных алюминиевых сплавов, причины их образования и способы устранения приведены в табл. 133. Сведения по деформациям, возникающим в процессе термической обработки изделий, изготовленных из алюминиевых сплавов, приведены в табл. 134—136.

Для термической обработки изделий, изготовленных из литых алюминиевых сплавов, применяют в основном электрические печи (см. гл. XIII), обеспечивающие перепад температур в рабочем пространстве в пределах не более 10 °С. Наиболее перспективными установками для термической обработки являются печи аэродинамического подогрева (ПАП), оборудованные специальными закалочными устройствами.

При нагреве в селитровых ваннах достигается более равномерный нагрев, однако селитровые ванны взрывоопасны при попадании органических веществ в ванну и при перегреве соли.

Нагревательные элементы в селитровой ванне следует располагать по внутренним стенкам. Жидкой селитры в ванне должно быть такое количество, которое обеспечивает понижение температуры при опускании в нее изделий не более, чем на 5 °С.

Закалочные баки с охлаждающей жидкостью необходимо располагать не далее 1,5 м от нагревательных устройств.

30. Составы и термическая обработка магниевых сплавов

Целью термической обработки изделий из магниевых сплавов является улучшение механических свойств. Особенностью поведения магниевых сплавов при нагреве является медленное протекание диффузионных процессов и как следствие длительные режимы нагрева при закалке и старении. Вследствие медленного протекания диффузионных процессов закалка многих марок сплавов может производиться в спокойном воздухе. Закалка в струе сжатого воздуха и особенно в воде значительно повышает прочностные свойства сплавов.

Химический состав литейных магниевых сплавов приведен в табл. 137. Виды и назначение термической обработки отливок из магниевых сплавов приведены в табл. 138.

Рассмотрим некоторые особенности термической обработки магниевых сплавов. Наиболее ответственной операцией термической обработки является закалка, так как при этой операции нагрев производится в области температур, близких к началу оплавления. Двух- или трехступенчатый нагрев под закалку снижает возможность оплавления и пережога изделий и поэтому может быть рекомендован, особенно в тех случаях, когда скорость подъема температуры печи высока и перепады температур по рабочему пространству печи превышают ± 5 °С. При одноступенчатом нагреве рекомендуется, чтобы продолжительность нагрева изделий до температуры закалки была не менее 2—3 ч.

Увеличение длительности нагрева способствует общему выравниванию механических свойств. Длительность нагрева под закалку можно сократить при обработке в печах с малым перепадом температур, например в печах типа ПАП, обеспечивающих перепад температур ± 2 °С, это позволяет повысить температуру нагрева до максимально возможной.

Для термической обработки изделий из магниевых сплавов применяются камерные, вертикальные (шахтные) и методические электрические печи. Наиболее совершенными являются печи типа ПАП, обеспечивающие перепад температуры в рабочем пространстве печи не более

137. Химический состав (массовая доля, %) литейных магниевых сплавов (ГОСТ 2856—79)

| Марка сплава | Основные компоненты | | | | |
|--------------|---------------------|-----------|---------|---------|----------------------|
| | Al | Mn | Zn | Zr | Прочие компоненты |
| Мл2 | — | 1,0—2,0 | — | — | — |
| Мл3 | 2,5—3,5 | 0,15—0,5 | 0,5—1,5 | — | — |
| Мл4 | 5,0—7,0 | 0,15—0,5 | 2,0—3,5 | — | — |
| Мл5 | 7,5—9,0 | 0,15—0,5 | 0,2—0,8 | — | — |
| Мл6 | 9,0—10,2 | 0,10—0,50 | 0,6—1,2 | — | — |
| Мл8 | — | — | 5,5—6,6 | 0,7—1,1 | 0,2—0,8 Cd |
| Мл9 | — | — | — | 0,4—1,0 | 0,2—0,8 In |
| Мл10 | — | — | 0,1—0,7 | 0,4—1,0 | — |
| Мл11 | — | — | 0,2—0,7 | 0,4—1,0 | Сумма РЗМ 2,5—4,0 |
| Мл12 | — | — | 4,0—5,0 | 0,7—1,1 | 0,6—1,2 La |
| Мл15 | — | — | 4,0—5,0 | 0,7—1,1 | 0,6—1,2 La |

Примечание. Mg — остальное.

138. Виды и назначение термической обработки отливок из магниевых сплавов

| Обозначение термической обработки | Вид термической обработки | Назначение |
|-----------------------------------|--|--|
| T1 | Старение | Повышение механических свойств |
| T2 | Отжиг | Повышение механических свойств. Снижение внутренних напряжений |
| T4 | Гомогенизация | Повышение механических свойств |
| T6 | Гомогенизация, закалка на воздухе и старение | Повышение механических и особенно упругих свойств сплава |
| T61 | Гомогенизация, закалка с охлаждением в воде и старение | Максимальное повышение механических свойств |

$\pm 2^\circ\text{C}$. Во избежание взрыва при пожаре категорически запрещается нагрев изделий из магниевых сплавов в жидких селитровых или цианистых ваннах.

С учетом склонности магниевых сплавов к окислению при повышенных температурах к термическим печам предъявляются следующие требования:

1) максимальные перепады температур по зонам печи не должны превышать $\pm 5^\circ\text{C}$;

2) ликвидация прямого нагрева изделий (путем лучеиспускания нагревателей); применять экраны;

3) создание максимальной герметичности и ликвидация подсосов воздуха;

139. Режимы термической обработки отливок из магниевых сплавов

| Марка сплава | Закалка | | | | Охлаждающая среда | Старение | | Отжиг | |
|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | Первая ступень | | Вторая ступень | | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч |
| | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | | | | | |
| Мл2, Мл3 | — | — | — | — | — | — | — | 350 | 2—3 |
| Мл4 | — | — | — | — | Воздух | — | — | 350 | 2—3 |
| | 380 360—415 | 8—16 3—24 | 420 | 21—29 | Воздух | 175 или 200 | 8 или 16 | — | — |
| Мл5 | 360 | 3 | 410 | 21—29 | Воздух | — | — | — | — |
| | 360 | 3 | 410 | 21—29 | Воздух | 190 | 4—8 | — | — |
| Мл6 | 360 | 3 | 410 | 21—29 | Вода, 90 °С | 190 | 4—8 | — | — |
| Мл8 | 490 | 5 | — | — | Обдувка сжатым воздухом; вода, 90 °С | 165 | 24 | — | — |
| Мл9 | 540 | 8—12 | — | — | Обдувка сжатым воздухом | 200 | 6—12 | — | — |
| Мл10 | 540 | 8—12 | — | — | | 205 | 12—18 | — | — |
| Мл11 | — | — | — | — | Обдувка сжатым воздухом | — | — | 325 | 3—5 |
| | 570 | 4—6 | — | — | То же | 200 | 12—16 | — | — |
| Мл12 | — | — | — | — | — | 300 | 4—6 | — | — |
| Мл15 | — | — | — | — | — | 300 | 2—6 | — | — |

Примечания: 1. Температуру нагрева выдерживать в пределах не более ± 5 °С. 2. Охлаждающая среда при отжиге и старении — воздух. 3. Длительность выдержки указана без учета времени, необходимого для нагрева до заданной температуры; при двухступенчатом нагреве время подъема температуры до верхнего предела второй ступени входит в общую длительность нагрева второй ступени.

140. Ориентировочные режимы отжига для снятия внутренних напряжений

| Материал | Температура отжига, °С | Выдержка, ч |
|--|------------------------|-------------|
| Магниевого литые сплавы: Мл3, Мл4, Мл5, Мл6 | 170—250 | 3—5 |
| Магниевого деформируемые сплавы: прессованные МА1, МА2, МА3 | 260 | 0,25 |
| » МА5 | 200 | 0,25 |
| холоднокатаные МА1 | 200 | 1 |
| » МА2 | 150 | 1 |

141. Печи, применяемые для термической обработки изделий из магниевых сплавов

| Вид термической обработки | Тип печи | Способ нагрева | Атмосфера печи | Характеристика печи |
|---------------------------|--------------------------------------|---|----------------|--|
| Отжиг, старение | Вертикальная, камерная, методическая | Любой (наиболее широко применяются электрические печи сопротивления) | Воздух | Печь должна обеспечивать распределение температур с перепадом не более $\pm 5^\circ\text{C}$ |
| Закалка | | Электрический (печи сопротивления) | | |
| | Рециркуляционная печь типа ПАП | За счет механической энергии вентилятора, создающего поток воздуха или газа, движущегося с определенной скоростью по замкнутому контуру, достигается нагрев изделий | | Печь герметизирована, обеспечивает перепад температур в рабочем пространстве в пределах не более $\pm 2^\circ\text{C}$ |

142. Виды брака при термической обработке магниевых сплавов

| Вид брака | Внешний вид | Способ определения | Причины | Меры предупреждения |
|---|---|---|--|--|
| Низкие механические свойства | — | Определение механических свойств. Просмотр микроструктуры | Низкая температура нагрева при закалке или недостаточная продолжительность выдержки | Контроль за работой печи. Повторная термическая обработка при строгом соблюдении режима |
| Местное оплавление | Выделение на поверхности сильно окислившихся металлических коррозий Мелкие раковины на поверхности и микропустоты во внутренних частях изделия | Внешний осмотр. Исследование микроструктуры | Грубая литая структура Быстрый подъем температуры при закалке Неравномерная температура в печи | Нагрев с предварительным подогревом Проверка пирометров, обслуживающих печь Понижение температуры нагрева на 5—10 °С при термической обработке |
| Окисление при нагреве | Порошок на поверхности детали от серого до черного цвета. После обдувки песком на поверхности остаются мелкие раковины | Внешний осмотр | Перегрев или неравномерная температура в печи. Подсос воздуха. Попадание в печь паров воды | Создание защитной атмосферы |
| Рост зерна в литых сплавах в процессе термической обработки | Светлые пятна на механически обработанных поверхностях до и после оксидирования | Внешний осмотр | Нарушение технологического процесса литья | Перед закалкой предварительный нагрев до 300 °С в течение 1—2 ч |

4) применение инертной атмосферы в рабочем пространстве печи. Изделия перед укладкой в печь тщательно очищают от магниевой пыли, заусенцев, опилок, стружки и масла. Не разрешается загружать в печь влажные изделия.

Режимы термической обработки магниевых сплавов приведены в табл. 139—140. Характеристика печей, применяемых для термической обработки изделий из магниевых сплавов, приведена в табл. 141. Виды брака при термической обработке магниевых сплавов приведены в табл. 142.

31. Составы и термическая обработка титановых сплавов

Титан был открыт еще в 1780 г. Он долго не находил практического применения в промышленности. Первая промышленная партия титана массой в 2 т была получена только в 1948 г., этим было положено начало использованию титана. В настоящее время темпы роста производства титана и его сплавов самые высокие, каких не претерпевал ни один новый металл. Столь широкое применение титана объясняется его весьма ценными свойствами: небольшой плотностью ($4,505 \text{ г/см}^3$), большой удельной прочностью, необычайно высокой коррозионной стойкостью, значительной прочностью при повышенных температурах. Перспективность титана и сплавов на его основе определяется также распространенностью его в природе. По распространенности среди конструкционных металлов титан занимает четвертое место, уступая лишь алюминию, железу и магнию.

Использование титана в промышленности сдерживается пока еще его высокой стоимостью. Однако по мере разработки и промышленного внедрения более дешевых способов производства титана и его сплавов применение их в промышленности должно возрасти.

В табл. 143—145 приведен состав титановых сплавов.

Для изделий из титана и его сплавов применяют следующие виды термической обработки: отжиг, закалку и старение. Титан и α -титановые сплавы подвергают обычно отжигу на снятие нагартовки после пластической деформации, температура нагрева при отжиге титана из α -титановых сплавов представлена в табл. 146. Данные по отжигу ($\alpha + \beta$)-титановых сплавов приведены в табл. 147.

Для снятия внутренних напряжений, образующихся в результате механической обработки изделий, применяют неполный отжиг продолжительностью 0,5—2,0 ч с последующим охлаждением на воздухе (температура нагрева при неполном отжиге — см. табл. 147). Для снятия напряжений, возникающих при сварке, продолжительность неполного отжига составляет 3—16 ч.

В последнее время для ($\alpha + \beta$)-титановых сплавов все шире применяют упрочняющую термическую обработку, состоящую из закалки и старения (табл. 148).

Из применяющихся в настоящее время видов химико-термической обработки для титана и его сплавов наиболее перспективно азотирование. Его проводят в среде очищенного азота или смеси азота с аргоном при $850\text{—}950^\circ\text{C}$ в течение 10—50 ч. При азотировании на поверхности изделий образуется тонкий нитридный слой, обогащенный азотом, — твердый раствор толщиной 0,1—0,15 мм. Для уменьшения хрупкости азотированного слоя рекомендуется производить отжиг в вакууме или среде инертных газов при $800\text{—}900^\circ\text{C}$.

143. Химический состав α -титановых сплавов
(ГОСТ 19807—74)

| Марка сплава | Основные компоненты (массовая доля, %) | | |
|--------------|--|---------|---------------------------------------|
| | Al | Mn | Прочие компоненты |
| BT5 | 4,3—6,2 | — | — |
| BT5-1 | 4,3—6,0 | — | 2,0—3,0 Sn |
| OT4-0 | 0,2—1,4 | 0,2—1,3 | — |
| OT4-1 | 1,0—2,5 | 0,7—2,0 | — |
| OT4 | 3,5—5,0 | 0,8—2,0 | — |
| BT20 | 5,5—7,5 | — | 1,5—2,5 Zr 0,5—2,0 Mo 0,8—1,8 V |

Примечание. Ti — остальное.

144. Химический состав ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов *
(ГОСТ 19807—74)

| Марка сплава | Основные компоненты (массовая доля, %) | | | | | |
|--------------|--|---------|----|---------|-----------|------------|
| | Al | V | Cr | Mo | Si | Fe |
| BT6-C | 5,3—6,8 | 3,5—5,0 | — | — | — | — |
| BT9 | 5,8—7,0 | — | — | 2,8—3,8 | 0,20—0,35 | 0,3—2,0 Zr |
| BT14 | 3,5—6,3 | 0,9—1,9 | — | 2,5—3,8 | — | — |
| BT16 | 1,8—3,8 | 4,0—5,5 | — | 4,5—5,5 | — | — |

Примечание. Ti — остальное.

* Классификация групп титановых сплавов производится по структуре α - и β -фаз, наблюдаемых в микроструктуре.

145. Химический состав β -титановых сплавов (ГОСТ 19807—74)

| Марка сплава | Основные компоненты (массовая доля, %) | | | | | | |
|--------------|--|---------|---------|---------|-----|----|---------|
| | Al | Cr | Mo | V | Sn | Fe | Zr |
| BT20 | 5,5—7,5 | 11 | 0,5—2,0 | 0,8—1,8 | — | — | 1,5—2,5 |
| BT22 | 4,4—5,9 | 0,5—2,0 | 4,0—5,5 | 4,0—5,5 | 4,5 | — | 5,5 |

Примечание. Ti — остальное.

146. Режимы отжига титана и α -титановых сплавов

| Марка титана или сплава | Температура полного отжига, °С | | Температура неполного отжига, °С |
|-------------------------|--|-------------------------|----------------------------------|
| | прутков, поковок, штамповок, труб, профилей и изделий из них | листов и изделий из них | |
| BT1-00 | 670—690 | 520—540 | 445—485 |
| BT1-0 | 670—690 | 520—540 | 445—485 |
| BT5 | 800—850 | — | 550—600 |
| BT5-1 | 800—850 | 700—750 | 550—600 |
| OT4-0 | 690—710 | 500—610 | 480—520 |
| OT4-1 | 740—760 | 640—660 | 520—560 |
| OT4 | 740—760 | 660—680 | 545—585 |
| BT20 | 700—800 | 650—750 | 600—650 |

147. Режимы отжига ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов (прутки, поковки, штамповки, профили, трубы и изделия из них)

| Марка сплава | Температура отжига, °С | | Изотермический отжиг | | |
|--------------|------------------------|---------|-------------------------|---|-------------|
| | неполного | полного | Температура нагрева, °С | Температура изотермической выдержки, °С | Выдержка, ч |
| BT6-C | 600—650 | 750—800 | 800 | 750 или 500 | 0,5 |
| BT9 | 530—620 | — | 950—980 | 530 | 6 |
| BT14 | 550—650 | 740—760 | 790—810 | 640—660 | 0,5 |
| BT16 | — | — | 770—790 | 500 * | — |

* Охлаждение до температуры изотермической выдержки производится со скоростью 2—4 °С/мин. После изотермической выдержки охлаждение на воздухе.

148. Режимы упрочняющей термической обработки ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов (прутки, поковки, штамповки, профили, трубы и изделия из них)

| Марка сплава | Температура нагрева под закалку, °С | Старение | |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------|
| | | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч |
| BT6-C | 830—930 | 450—500 | 2—4 |
| BT9 | 920—940 | 500—600 | 1—6 |
| BT14 | 870—910 | 480—560 | 8—16 |
| BT16 | 820—840 | 570—590 | 8—10 |

Титан при высоких температурах активно взаимодействует с газами: кислородом, азотом, водородом, окисью углерода, двуокисью углерода, водяным паром, аммиаком и др.

Технический титан при температурах свыше 700 °С особенно интенсивно взаимодействует с кислородом воздуха (скорость поглощения титаном азота значительно меньше). Поэтому при нагреве на воздухе при высоких температурах происходит окисление с образованием дефектного слоя на поверхности изделий.

Нагрев изделий из титана и его сплавов следует выполнять в вакуумных печах или в среде инертных газов. Желательно также в вакууме выполнять те переходы термической обработки, при которых изделие находится в области высоких температур. Применение газовых и электрических печей с воздушной атмосферой при нагреве титановых сплавов не рекомендуется.

Г Л А В А VII

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА *

32, Общие вопросы

Ниже перечисляются отличия термической обработки групп инструментальной стали.

Углеродистые марки стали. Время выдержки при аустенизации углеродистых марок стали выбирают из расчета 50—70 с на 1 мм сечения при нагреве в печи и 35—40 с/мм — при нагреве в ванне. Продолжительность отпуска, как правило, составляет 1—2 ч плюс 1—1,5 мин на 1 мм сечения крупногабаритного инструмента.

Низколегированные инструментальные марки стали. К особенностям термической обработки этих марок следует отнести необходимость использования резких охлаждающих сред (водные растворы солей или щелочей). Для инструментов сложной конфигурации целесообразно использование неполной изотермической (выдержка в горячих средах при 180—250 °С, длительность 30—60 мин) или ступенчатой (охлаждение в горячих средах с температурой 150—220 °С с последующим переносом на воздух) закалок. Продолжительность выдержки при аустенизации и отпуске такая же, как для углеродистых сталей.

Штамповые марки стали для холодного деформирования (X12M, X12Ф1, X6Ф4М и др.). В связи с низкой теплопроводностью этой группы высоколегированных марок стали рекомендуется медленный двухступенчатый нагрев под закалку. Время выдержки при аустенизации: 50—70 с на 1 мм сечения при печном нагреве и 35—40 с/мм — при нагреве в ванне. Продолжительность низко- и среднетемпературного отпуска составляет 1,5—2,5 ч; при проведении термической обработки на вторичную твердость трех- и четырехкратные выдержки составляют 1—1,5 ч.

Эффективная защита от обезуглероживания в ваннах обеспечивается использованием в качестве раскислителей буры (4—5 % от массы

* Вопросы, касающиеся термической обработки стали, в том числе и инструментальной, рассмотрены в гл. II и III.

расплавленной соли) или фтористого магния (2—4 %). При печном нагреве защита от обезуглероживания достигается применением контролируемых атмосфер или упаковкой в герметичной железной таре и отработанном карбюризаторе. В этом случае время выдержки надо увеличивать в соответствии с размером муфлей.

Для уменьшения деформации инструмента сложной конфигурации целесообразно проведение перед окончательной термической обработкой высокого отпуска для снятия напряжений, вызванных механической обработкой.

Штамповые марки стали для горячего деформирования (7ХЗ, 5ХНМ, 5ХГН и др.). Штамповые инструменты нагревают под закалку в соляных электродных ваннах или камерных электрических и газовых печах в зависимости от габаритных размеров и масс инструмента. При нагреве инструмента в камерных печах весьма важной является операция упаковки. Упаковочные материалы должны предотвращать окисление и обезуглероживание рабочей поверхности штампов.

Рекомендуется применять следующие упаковочные материалы:

1) для марок стали с температурой закалки выше 900 °С бумага (два-три слоя) и сухой древесный уголь, а также карбюризатор, предварительно обработанный при температуре, превышающей температуру закалки на 50 °С;

2) для марок стали с температурой закалки ниже 900 °С — измельченный, просеянный и просушенный древесный уголь, а также отработанный (при температуре не ниже 930 °С) карбюризатор или смесь свежей и пережженной чугушной стружки (не допускается применение цветной и замасленной стружки).

Время выдержки при нагреве в соляных ваннах выбирают из расчета на 1 мм толщины инструмента: при подогреве в интервале 650—850 °С и при окончательном нагреве в интервале 800—900 °С 18—24 с; при окончательном нагреве в интервале 1000—1150 °С 15—60 с в зависимости от вида и степени легирования стали.

При нагреве в камерных печах время выдержки (без учета времени прогрева упаковки) принимают из расчета 50—70 с на 1 мм сечения. Продолжительность выдержки при отпуске рекомендуется брать из расчета 2 ч ± 1,5 мин на 1 мм толщины при загрузке инструмента в один ряд.

Для повышения сопротивления штампов ударным нагрузкам крепежную (хвостовую) часть штампа обрабатывают на меньшую твердость, чем рабочую часть. С этой целью крепежную часть дополнительно отпускают при 600—700 °С.

После закалки и отпуска штампы, изготовленные из вторично твердеющих марок стали, можно подвергать азотированию или цинкованию на глубину 0,1—0,3 мм, что значительно повышает их стойкость. В последнее время применяют борирование и диффузионное хромирование с целью повышения стойкости штампов.

Марки стали для ударных инструментов (4ХС, 6ХС, 5ХВ2С и др.). Нагрев инструментов под закалку производят в соляных ваннах, камерных электрических или газовых печах в зависимости от массы и габаритных размеров.

При нагреве инструментов в камерных печах упаковочные материалы для сохранения поверхности от окисления и обезуглероживания аналогичны описанным выше для штамповых марок стали.

Охлаждение после нагрева под закалку производится в масле или расплавленной соли. Продолжительность выдержки при нагреве в соляных ваннах составляет 20—30 с на 1 мм толщины детали, в камерных печах 50—70 с на 1 мм толщины без учета времени прогрева упа-

ковки. Время выдержки при отпуске определяется из расчета 2 ч + 1—1,5 мин на 1 мм толщины.

Быстрорежущие стали. В зависимости от химического состава и уровня основных физико-механических свойств быстрорежущие марки стали подразделяют на две группы: нормальной и повышенной производительности. Марки стали, легированные вольфрамом и молибденом, при содержании ванадия не выше 2 %, относят к стали нормальной производительности (P18, P12, P6M5). Марки стали с более высоким содержанием ванадия, а также дополнительно легированные кобальтом, относят к стали повышенной производительности (P18Ф2, P12Ф3, P6M5Ф3, P18K5Ф2, P9M4K8, P6M5K5 и др.). По сравнению с марками стали нормальной производительности, высокованадиевые марки стали повышенной производительности обладают более высокой износостойкостью, а инструмент, изготовленный из них, обладает, следовательно, более высокой производительностью. Для того чтобы изделия, изготовленные из быстрорежущих марок стали, в процессе нагрева не окислялись и не обезуглероживались применяют соляные ванны, раскисленное фтористым магнием (в количестве 3 %), а также печи с защитной атмосферой (при отжиге). В зависимости от сложности инструмента нагрев под закалку производят с одним или двумя подогревами. Время выдержки при нагреве определяют из расчета 10—15 с на 1 мм толщины (диаметра) инструмента.

Охлаждение после закалки производят на воздухе, в масле или в расплаве солей, имеющих температуру 500—600 °С.

Отпуск быстрорежущих марок стали дву-, трехкратный по одному часу производят в соляных ваннах или электрических печах с принудительной циркуляцией воздуха. Охлаждение после отпуска на воздухе. Для повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости инструмента после шлифования и заточки производят цианирование, азотирование, сульфидирование и обработку паром.

Цианирование производят при 550—570 °С в течение 5—30 мин (в жидких средах) и 1,5—3,0 ч (в газовой атмосфере).

Азотирование инструментов производят при 550—560 °С продолжительностью 10—40 мин в атмосфере аммиака; степень диссоциации 35—40 %. Рекомендуется производить азотирование в разбавленном аммиаке (20 % аммиака и 80 % азота).

Сульфидирование производят при 450—560 °С продолжительностью от 45 мин до 3 ч в жидких расплавах солей, содержащих сернистые соединения.

При обработке паром инструменты, изготовленные из быстрорежущей стали, помещают в герметически закрывающуюся печь и при 300—350 °С подают в печь пар (под давлением 10—30 кПа) в течение 20—30 мин для удаления из печи воздуха. Затем повышают температуру до 550—570 °С, выдерживают 30—60 мин и охлаждают в атмосфере пара до 300—350 °С, после чего прекращают подачу пара, заканчивают охлаждение в печи или на воздухе и немедленно промывают инструмент в горячем веретенном масле.

33. Термическая обработка режущего и мерительного инструмента

Температура нагрева. При нагреве под закалку режущий и мерительный инструмент из углеродистой и легированной стали необходимо предварительно подогреть до 300—500 °С. Быстрорежущие марки стали подвергают двухступенчатому подогреву при 400—500 и 840—

860 °С; применяется также трехступенчатый подогрев быстрорежущих марок стали в пределах 300—500, 840—860 и 1050—1100 °С.

Нагревающие среды. Режущий, а также мерительный инструмент рекомендуется нагревать в соляных ваннах во избежание окисления и обезуглероживания поверхности инструмента. При нагреве инструмента, изготовленного из быстрорежущих и высокохромистых марок стали, применяются высокотемпературные соляные ванны (1000—1300 °С) с расплавом хлористого бария.

В среднетемпературных соляных ваннах (750—950 °С) для нагрева инструмента из углеродистых и легированных марок стали обычно применяется смесь солей, содержащая 78 % хлористого бария и 22 % хлористого натрия (массовые доли). При светлой закалке среднетемпературные ванны загружаются смесью солей, состоящей из 56 % хлористого калия и 44 % хлористого натрия; при взаимодействии с едкими щелочами, в которых охлаждается инструмент, в данной смеси осадок не образуется.

В процессе работы расплавленные соли взаимодействуют с кислородом воздуха, нагреваемым инструментом, электродами, огнеупорной кладкой и насыщаются газами и оксидами металлов. Эти вещества, находясь в расплаве солей, могут вызывать окисление и обезуглероживание поверхности нагреваемого инструмента. Для предотвращения окисления и обезуглероживания инструмента в соляные ванны вводят различные ректификаторы, очищающие расплав.

Охлаждение при закалке. Охлаждение инструмента из углеродистых марок стали производится через воду в масле, а инструмента из легированной стали — в масле или на воздухе. Для предотвращения образования трещин и уменьшения закалочных деформаций инструмент из быстрорежущих и легированных марок стали, а также инструмент небольшого сечения из углеродистой стали (толщиной менее 8 мм) подвергаются ступенчатой закалке.

В качестве промежуточных охлаждающих сред при закалке быстрорежущей стали используются безводные расплавы калиевой селитры (KNO_3) или едкого натра (NaOH), а также их смеси, содержащие 70 % KNO_3 и 30 % NaOH . При закалке инструмента из углеродистых легированных марок стали для промежуточного охлаждения применяется смесь, содержащая 50 % KNO_3 и 50 % NaNO_2 ; при светлой закалке используется расплав едких щелочей, содержащий 80 % KOH и 20 % NaOH с 6 % воды к общему составу. Инструмент из углеродистой стали охлаждают в 5—10-процентном водном растворе NaCl или NaOH . Во избежание образования трещин инструмент иногда переносят в подогретое масло или селитровую ванну.

Рекомендуемые закалочные среды приведены в гл. II.

Отпуск закаленного инструмента. Отпуск закаленного инструмента производится в жидких и воздушных средах. Жидкие среды обеспечивают быстрый и равномерный нагрев, более точное регулирование температуры, но в ряде случаев они могут быть взрывоопасными (например, селитровые ванны при температуре более 600 °С). Для отпуска инструмента в воздушной атмосфере используются шахтные электрические печи с принудительной циркуляцией воздуха.

В последние годы при термической обработке инструмента применяется кратковременный двукратный отпуск быстрорежущей стали с режимом: температура 580 °С, выдержка 30 мин или температура 600 °С, выдержка 10—15 мин. Установлено, что по твердости, количеству остаточного аустенита, красностойкости и режущим свойствам кратковременный отпуск дает такие же результаты, как и обычный дву-, трехкратный отпуск при 560 °С.

Очистка закаленного инструмента. Для удаления с поверхности закаленного инструмента солей, масла, окалины и других загрязнений и предотвращения коррозии применяют разнообразные способы очистки: выварку в горячей воде, растворах щелочей и кислот, мойку в моечных машинах; пассивирование в содово-нитритных растворах; гидрополирование; ультразвуковую очистку и др. Для удаления грубой окалины применяется очистка металлическим песком (фракции 0,3 мм), корундовой крошкой, дробью, мокрым кварцевым песком и др. Очистка инструмента сухим кварцевым песком не допускается, так как это вредно для здоровья обслуживающего персонала.

Обработка инструмента после шлифования и заточки. С целью повышения стойкости инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, производится низкотемпературное цианирование в жидкой или в газообразной среде при 550—560 °С на глубину 0,01—0,03 мм. Для повышения коррозионной стойкости инструмента и улучшения его товарного вида применяется обработка паром.

Контроль качества термической обработки инструмента. Качество термической обработки инструмента контролируется по твердости на приборах типа ТК или тарированным напильником. Для ответственного инструмента применяется выборочный контроль по микроструктуре.

Широкое применение находят приборы, основанные на магнитном методе контроля, при помощи которых проверяется твердость, количество остаточного аустенита и другие свойства закаленной стали.

Для предотвращения обезуглероживания инструмента при нагреве под закалку необходимо периодически контролировать обезуглероживающую активность соляных ванн. Для этого применяется метод фольги. Контроль ванн методом фольги осуществляется при помощи образцов, изготовленных в виде тонкой ленты (0,08—0,16 мм) из высокоуглеродистой стали У13А или 13Х, которые после нагрева в ванне закаливаются в воде. По изменению содержания углерода в этих образцах оценивается состояние ванны. В случае необходимости в ванну дополнительно вводятся раскислители.

34. Термическая обработка штампов

Термическая обработка штампов имеет ряд особенностей, с которыми необходимо считаться при выборе технологического режима. Большая масса штампов, сложная конфигурация рабочих полостей, необходимость отсутствия повышенных деформаций в процессе упрочняющей термической обработки — все это требует принятия дополнительных мер, обеспечивающих получение заданных механических свойств, отсутствие трещинообразования и деформаций.

Выбор температуры нагрева штампа под закалку определяется данными по критическим точкам данной марки стали, из которой изготовлен штамп (см. гл. II), а также данными, приведенными в табл. 155.

Допускается посадка штампов в печь при температуре до 400 °С. Нагрев до температуры 650 °С производится со скоростью 80 °С/ч. При этой температуре выполняется выдержка:

- для штампов массой до 500 кг — 2,5 ч;
- » » » 1000 кг — 3—4 ч;
- » » » свыше 1000 кг — 4—5 ч.

Дальнейший нагрев производится со скоростью 100 °С/ч (штампы с резкими переходами поверхностей следует нагревать

149. Режимы термической обработки инструментальных марок стали

| Марка стали | Закалка | | | | Отпуск | | | Отжиг или высокий отпуск | | |
|-------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|-------------------------|-------------------|----------------|--------------------------|--|-------------------------|
| | Температура посадки в печь, °С | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Твердость HRC | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Твердость HRC | Температура нагрева, °С | Режим охлаждения | Твердость HB (не более) |
| У7; У7А | 600 | 800—820 | Вода | 63—65 | 150—160 200—220 | Воздух | 61—63 57—59 | 730—750 | 50 °С/ч до 500—600 °С, воздух | 187 |
| У8; У8А | 600 | 780—800 | » | 63—65 | 150—160 200—220 | » | 61—63 57—59 | 730—750 | То же | 187 |
| У10; У10А | 600 | 760—780 | » | 64—66 | 150—160 200—250 | » | 62—63 58—59 | 740—750 | 50 °С/ч до 600—650 °С, воздух | 197 |
| У12; У12А | 600 | 760—780 | » | 64—66 | 150—160 200—250 | » | 62—63 58—59 | 750—780 | 50 °С/ч до 620—660 °С, воздух | 207 |
| 7ХФ | 600—650 | 820—840 800—820 | Масло Вода | 62—64 | 200—220 | » | 58—60 | 780—800 | 50 °С/ч до 640—680 °С, выдержка 2 ч; 50 °С/ч до 550 °С, воздух | 229 |
| 9ХФ | 600—650 | 850—880 820—840 | Масло Вода | 61—64 | 200—250 | » | 58—60 55—58 | 760—790 | 50 °С/ч до 640—680 °С, выдержка 2—3 ч; 50 °С/ч до 550 °С, воздух | 255 |
| X | 650 | 840—860 | Масло | 62—63 | 130—150 170—210 | » | 62—65 | 770—800 | 50 °С/ч до 670—720 °С, выдержка 2—3 ч; 50 °С/ч до 550 °С, воздух | 229 |
| 9ХС | 650—700 | 840—860 | » | 62—63 | 180—250 | » | 58—62 | 790—810 | То же | 241 |
| ХВГ | 650—700 | 830—850 | » | 62—63 | 150—200 200—300 | » | 63—62 62—58 | 780—800 | » | 255 |
| X12M | 650—700 | 1000—1030 | » Селитра | 63—65 | 190—210 320—350 | » | 60—62 57—58 | 850—870 | 40 °С/ч до 700—720 °С, выдержка 3—4 ч; 50 °С/ч до 550 °С, воздух | 255 |
| X12Ф1 | 650—670 | 1030—1050 | Масло Селитра | 62—64 | 180—200 400—420 | » | 60—62 57—58 | 850—870 | То же | 255 |
| 7Х3 | 700—750 | 850—880 | Масло | 54 | 480—520 | » | 38—44 | 790—810 | 40—50 °С/ч до 600 °С, воздух | 229 |

| Марка стали | Закалка | | | | Отпуск | | | Отжиг или высокий отпуск | | |
|-------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------|----------------|--------------------------|--|-------------------------|
| | Температура посадки в печь, °С | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Твердость HRC | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Твердость HRC | Температура нагрева, °С | Режим охлаждения | Твердость HB (не более) |
| 5XHM | 700—750 | 840—860 | Масло | 56 | 500—550 400—480 | — | 38—41 | 700—720 | 50 °С/ч до 500 °С, воздух | 241 |
| 5XGM | 700—750 | 820—850 | » | 50 | 480—540 410—440 | — | 38—41 42—46 | 680—700 | То же | 241 |
| 3X2B8 | 700—750 | 1130—1150 | » | 49—52 | 640—660 | — | 42—46 | 840—860 | 40—50 °С/ч до 600 °С, воздух | 241 |
| 4XC | 700—750 | 850—900 | » | 47 | 240—270 | Воздух | 52—55 | 820—840 | То же | 217 |
| 6XC | 700—750 | 840—860 | » | 55—59 | 240—270 | » | 52—55 | 820—840 | » | 229 |
| 5XB2C | 700—750 | 860—900 | » | 55 | 200—250 430—470 | » | 53—58 | 800—820 | » | 255 |
| P18 | 800—850 | 1270—1290 | Масло, расплавленные соль или щелочь | — | 560—570 | » | 62—65 | 840—860 | 40 °С/ч до 720—730 °С, выдержка 3—4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 255 |
| P9 | 800—850 | 1210—1240 | То же | — | 550—570 | » | 62—64 | 840—860 | 40 °С/ч до 720—730 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 255 |
| P6M5 | 800—850 | 1200—1230 | » | — | 540—560 | » | 63—65 | 840—860 | То же | 255 |
| P6M3 | 850—850 | 1200—1230 | » | — | 540—560 | » | 62—64 | 840—860 | 40 °С/ч до 700—720 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 255 |
| P18Ф2 | 800—850 | 1260—1290 | » | — | 560—580 | » | 63—66 | 840—860 | 40 °С/ч до 720—730 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 269 |

| Марка стали | Закалка | | | | Отпуск | | | Отжиг или высокий отпуск | | |
|-------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|--|-------------------------|
| | Температура посадки в печь, °С | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Твердость HRC | Температура нагрева, °С | Охлаждающая среда | Твердость HRC | Температура нагрева, °С | Режим охлаждения | Твердость HB (не более) |
| P6M5Ф3 | 800—850 | 1200—1230 | Масло, расплавленные соль или щелочь | — | 540—560 | Воздух | 63—66 | 840—860 | 40 °С/ч до 720—730 °С, выдержка 4 ч, до 600 °С, воздух | 269 |
| P18K5Ф2 | 800—850 | 1260—1290 | То же | — | 560—580 | » | 64—67 | 840—860 | 40 °С/ч до 720—730 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 285 |
| P9K5 | 800—850 | 1210—1240 | » | — | 560—580 | » | 63—66 | 840—860 | 40 °С/ч до 700—720 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 269 |
| P9K10 | 820—850 | 1210—1240 | » | — | 560—580 | » | 63—67 | 860—880 | 40 °С/ч до 730—740 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 269 |
| P9M4K8 | 800—850 | 1210—1240 | » | — | 550—570 | » | 65—68 | 840—860 | 40 °С/ч до 720—730 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 285 |
| P6M5K5 | 800—850 | 1210—1240 | » | — | 540—560 | » | 64—66 | 840—860 | 40 °С/ч до 730—740 °С, выдержка 4 ч, 50 °С/ч до 600 °С, воздух | 269 |

150. Рекомендуемые закалочные среды при термической обработке инструмента

| Инструмент или группа инструмента (по классификатору) | Способ нагрева под закалку | Закалочные среды | | | | Охлаждение до 20 °С | Примечание |
|---|----------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|---|---|
| | | Основная | | Заменяющая | | | |
| | | Марка или состав (массовая доля, %) | Температура применения, °С | Марка или состав (массовая доля, %) | Температура применения, °С | | |
| <p><i>Режущий инструмент</i></p> <p>Инструменты из углеродистой стали диаметром или толщиной не более 8 мм (метчики диаметром ≤12 мм)</p> | | 55% KNO ₃ + +45% NaNO ₂ | 150— 170 | 75% КОН+ +25% NaOH, 6% H ₂ O к общему количеству щелочи | 150—170 | При закалке в расплаве 55% KNO ₃ + +45% NaNO ₂ на воздухе. При закалке в расплаве 75% КОН+ +25% NaOH на воздухе до 80—100 °С, а затем промывка в горячей воде и пассивирование | В случае закалки на автоматизированном агрегате основная и заменяющая среды охлаждения меняются местами |
| <p>Инструменты из углеродистой стали диаметром или толщиной < 8 мм (метчики диаметром ≤14 мм, после нагрева в соляных ваннах)</p> | В расплаве солей | Водный раствор 5—10% NaCl | 18—35 | Водный раствор 5—10% NaOH | 18—35 | Инструменты простой конфигурации охлаждаются в закалочной жидкости. Инструменты сложной конфигурации при наличии острых надрезов охлаждаются в закалочной жидкости до температуры начала мартенситного пре- | — |

| | | | | | | | | |
|---|------------------|----------------------------|---------|---|---------|------------|---|--|
| | | | | | | | вращения, а затем переносятся в расплав смеси солей 55% KNO_3 + 45% $NaNO_2$ при температуре 160—180 °С и после 10—20 мин выдержки охлаждаются на воздухе | |
| Метчики из стали У12 диаметром ≥ 14 мм, закаливаемые на установке т. в. ч. | Т. в. ч. | Водный раствор 5—10% NaCl | 18—35 | — | — | — | При спрейном охлаждении на установке т. в. ч. применяется вода при 18—25 °С | |
| Инструменты (сверла, метчики, развертки) из легированной стали | В расплаве солей | 55% KNO_3 + 45% $NaNO_2$ | 160—180 | 75% KOH + 25% NaOH, 6% H_2O к общему количеству щелочей | 160—180 | — | Расплав смеси щелочей (75% KOH + 25% NaOH) целесообразно применять для светлой закалки инструмента из легированной стали, нагреваемого в расплаве солей, не содержащих хлористого бария | |
| Протяжки из стали ХВГ | | Масло индустриальное 12 | 100—120 | — | — | На воздухе | — | |
| Плашки из стали 9ХС, нагреваемые в защитной атмосфере на установке т. в. ч. | Т. в. ч. | Масло авиационное МС-20 | 20 | — | — | — | — | |

| Инструмент или группа инструмента (по классификатору) | Способ нагрева под закалку | Закалочные среды | | | | Охлаждение до 20 °С | Примечание |
|--|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|---------------------|--|
| | | Основная | | Заменяющая | | | |
| | | Марка или состав (массовая доля, %) | Температура применения, °С | Марка или состав (массовая доля, %) | Температура применения, °С | | |
| Инструменты из быстрорежущих и высокохромистых марок стали (за исключением особых видов инструмента) | В расплаве солей | 70% KNO ₃ + +30% NaOH | 300— 550 | 55% KNO ₃ + +45% NaNO ₂ ; 100% NaOH | 200—300 350—550 | На воздухе | При закалке на агрегате основной состав 70% KNO ₃ + 30% NaOH. Охлаждение до 20 °С водо-воздушной смесью |
| Протяжки из стали P18, подвергающиеся правке в интервале температур мартенситного превращения | | Масло индустриальное 45 (машинное С) | Не более 150 | Масло индустриальное 20 | Не более 150 | | — |
| Сегменты из стали P9, нагреваемые на установке т. в. ч. | Т. в. ч. | Воздух (струя от вентилятора) | 20 | — | — | — | — |
| Мелкий инструмент из быстрорежущей стали диаметром или толщиной не более 3 мм (инструмент | | Воздух | 20 | — | — | — | — |

для часовой промышленности)

Прорезные фрезы из быстрорежущей стали, которые правятся в процессе закалки под прессом в пакетированном виде

Крупногабаритные инструменты из быстрорежущей стали с резкими переходами сечений, требующие очень медленного охлаждения в интервале температур мартенситного превращения для предотвращения образования трещин (например, угловые модульные фрезы диаметром 200—300 мм)

Резьбонакатный инструмент

Ролики резьбонакатные из высокохромистой стали

Ролики к резьбонакатным головкам со шлифовым профилем

В расплаве солей

| | | | | | | |
|--|-------------|--|--------------------|------------|--|--|
| | | | | | | |
| 33,3% KCl+ +33,3% NaCl+ +33,3% BaCl ₂ | 600— 650 | Воздух под давлением (допускается при высоте пакетов не более 20 мм) | 70 | На воздухе | — | |
| Масло цилиндрическое легкое 11 | 150— 160 | Масло индустриальное 50 | 150—160 | — | Инструмент охлаждается в горячем масле до температуры масла, а затем вместе с маслом замедленно со скоростью 20—40°C/ч до 40—50°C, после чего немедленно отпускается в воздушной электropечи при 560°C | |
| 55% KNO ₃ + +45% NaNO ₃ | 200— 300 | 100% NaOH | 350—550 | На воздухе | — | |
| | | 70% KNO ₃ + +30% NaOH 100% NaOH | 300—550 350—550 | | — — | |

| Инструмент или группа инструмента (по классификатору) | Способ нагрева под закалку | Закалочные среды | | | | Охлаждение до 20 °С | Примечание |
|---|----------------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------|------------|
| | | Основная | | Заменяющая | | | |
| | | Марка или состав (массовая доля, %) | Температура применения, °С | Марка или состав (массовая доля, %) | Температура применения, °С | | |
| <p><i>Слесарно-монтажный инструмент</i></p> <p>Гаечные ключи, отвертки и др. из стали марок 45, 50</p> <p>Отвертки, молотки из стали марок У7, У8</p> | Печной или т. в. ч. | Водный раствор 5—10% NaCl | 18—35 | Водный раствор 5—10% NaOH | 18—35 | — | — |
| Инструменты охлаждаются в закалочной жидкости до температуры начала мартенситного превращения, затем переносятся в расплав смеси солей 55% KNO ₃ + 45% NaNO ₂ при 140—160 °С и после 10—20-минутной выдержки охлаждаются на воздухе | | — | — | — | — | — | — |
| Молотки, гаечные ключи из стали 40Х | | 55% KNO ₃ + 45% NaNO ₂ | 140—160 | Масло индустриальное 20 | 20 | На воздухе | — |

**151. Время выдержки при температуре отпуска
в зависимости от сечения инструмента**

| Тип печи или ванны | Максимальный диаметр или толщина инструмента, мм | Выдержка, ч |
|---|--|-------------|
| Масляная или селитровая ванна Электрическая шахтная печь типа ПН-32, СШО-10.1С/7 | До 20 | 1,0 |
| | 21—40 | 1,5 |
| | 41—60 | 2,0 |
| | 61—80 | 2,5 |

**152. Режимы ступенчатой закалки
инструментальных марок стали**

| Марка стали | Температура закалки, °С | Температура изотермической выдержки в соляной ванне, °С | Твердость HRC |
|-------------|-------------------------|---|---------------|
| У7А | 800—820 | 150—180 | 59—61 |
| У8А, У9А | 780—790 | | 60—62 |
| У10А, У12А | 790—810 | | 61—62 |
| Х06 | 810—830 | | 62—64 |
| ХВ | 820—840 | | |
| У13Х | 810—830 | | |
| 85ХФ | 820—850 | | |
| 9ХС | 870—880 | 160—200 | 62—64 |
| ХГСВ | 860—875 | | 62—63 |
| ХГС | 860—870 | 160—180 | 61—63 |
| ХВГ | 830—850 | 160—200 | |
| Х | 845—855 | 160—180 | 61—64 |
| 6ХС | 860—875 | 250—300 | 45—50 |
| Р9 | 1280—1300 | 400—500 (250—350) | 60—61 |
| Р18 | 1240—1250 | 400—500 (250—350) | |

153. Режимы азотирования инструментальных марок стали

| Марка стали | Режим азотирования | | Глубина слоя, мм | Твердость слоя <i>HV</i> | Примечание |
|-----------------------|--------------------|----------|------------------|--------------------------|--|
| | Температура, °C | Время, ч | | | |
| P9, P18 | 510—520 | 0,25—1,0 | 0,01—0,025 | 1340—1460 | Для повышения вязкости первый отпуск выполнять при 350 °C, последующие при 560 °C |
| X12M, X12Ф1 | 510—520 | 8—12 | 0,08—0,12 | 1100—1200 | — |
| 3X2B8Ф, 4X5B2ФС и др. | 530—540 | 12—16 | 0,2—0,25 | 1100 | Лучшей прочностью, вязкостью и разгаростойкостью обладают азотированные штампы после закалки с температуры 1000—1050 °C и отпуска при 560—600 °C |

154. Продолжительность выдержки инструментов из быстрорежущей стали при азотировании в смеси (20—40%) аммиака и (60—80%) науглероживающего газа при 550—560 °С

| Наименование инструмента | Диаметр или толщина инструмента, мм | Выдержка, ч | |
|---|-------------------------------------|-------------|---------|
| Сверла, зенкеры, развертки | До 15 | 1,0—1,5 | |
| | 15—25 | 1,5—2,0 | |
| | 25—30 | 2,0—3,0 | |
| Метчики | До 15 | 0,5—1,0 | |
| | 15—25 | 1,0—1,5 | |
| | 25—50 | 1,5—2,0 | |
| Резьбовые фрезы: с шлифованным зубом | 25—50 | 1,0—1,5 | |
| | Св. 50 | 1,5—2,0 | |
| | с нешлифованным зубом | 25—50 | 1,5—2,0 |
| | | Св. 50 | 2,0—2,5 |
| Фрезы цилиндрические, фасонные и торцовые | До 50 | 1,0—1,5 | |
| | 50—75 | 1,5—2,0 | |
| | Св. 75 | 2,0—2,5 | |
| Резцы: дисковые | До 10 | 1,0—1,5 | |
| | Св. 10 | 1,5—2,0 | |
| | круглые | До 5 | 1,0—1,5 |
| | | 5—15 | 1,5—2,0 |
| | тангенциальные | 10×10 | 1,5 |
| | | 25×25 | 2,0 |

155. Режимы термической обработки штампов горячей штамповки

| Марка стали | Температура закалки, °С | Твердость после закалки HRC | Температура отпуска, °С | Твердость после отпуска | |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| | | | | HB | HRC |
| 5ХНТ | 830—850 | 53—58 | 475—485 * | 387—430 | 41—45 |
| | | | 485—510 ** | 364—402 | 39—43 |
| 5ХНМ | 830—860 | 54—58 | 520—540 * | 387—430 | 41—45 |
| 5ХНВ | | | 530—550 ** | 364—402 | 39—43 |
| | | | 560—580 *** | 321—364 | 35—39 |
| 5ХНС | 850—870 | 55—59 | 500—520 * | 387—430 | 41—45 |
| | | | 510—530 ** | 364—402 | 39—43 |
| | | | 520—540 *** | 321—364 | 35—39 |
| 5ХГМ | 820—840 | 53—58 | 490—520 * | 387—444 | 41—44 |
| | | | 530—560 ** | 363—397 | 36—48 |
| 5ХНСВ | 850—870 | 55—59 | 520—540 * | 387—430 | 41—45 |
| | | | 530—550 ** | 364—402 | 39—43 |
| | | | 550—570 *** | 321—364 | 35—39 |
| 3Х2В8 | 1050—1100 | 49—52 | 600—620 | 402—474 | 42—48 |

| Марка стали | Температура закалки, °С | Твердость после закалки HRC | Температура отпуска, °С | Твердость после отпуска | | |
|--|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------|
| | | | | HB | HRC | |
| 4ХВ2С | 870—900 | 52—59 | 240—270 * 420—450 ** | 512—540 430—460 | 53—55 46—48 | |
| 4Х5В2ФС | 1060—1080 | 52—54 | 570—600 * | — | 45—50 | |
| 4Х5В4ФСМ | 1060—1070 | 54—56 | 600—620 ** | | | |
| 3Х2В8Ф | 1120—1140 | | 600—610 * 610—650 ** | | | 50 45 |
| 4Х3В2ФМ2 | 1090—1110 | | 610—620 * 650—660 ** | | | 50 45 |
| * Для мелких штампов. ** » средних » *** » крупных » | | | | | | |

медленнее). Ориентировочное время выдержки при температуре закалки:

для штампов массой до 500 кг — 5,5 ч;
 » » » » 1000 кг — 8—9 ч;
 » » » » свыше 1000 кг — 10—11 ч.

Перед загрузкой в печь боковые поверхности штампа необходимо смазать огнеупорной глиной с асбестом, а зеркало штампа — фигуру засыпать отработанным карбуризатором или прокаленной чугушной стружкой, а затем обмазать глиной с асбестом. Малые штампы (до 500 кг) следует укладывать фигурой вниз на поддон с отработанным карбуризатором, толщиной слоя 30—40 мм. Перед закалкой штамп необходимо тщательно очистить от защитной смеси.

В закалочных ваннах, предназначенных для штампов, должна быть обеспечена принудительная циркуляция закалочной среды. Более эффективно охлаждение при подаче закалочной среды под давлением на фигуру штампа. Применяется также охлаждение водо-воздушной смесью.

После закалки штампы подвергаются отпуску с целью снятия внутренних напряжений и получения заданных механических свойств. Температура отпуска зависит от размеров штампа и его назначения. Скорость нагрева до температуры отпуска не более 50 °С/ч. После проведения общего отпуска дополнительно отпускаются хвостовики штампа на специальных плитах или в специально приспособленных для этой цели печах. Для повышения стойкости штампы подвергаются поверхностной химико-термической обработке.

Режимы термической обработки инструмента. В табл. 149—155 приведены данные, необходимые при назначении режимов термической обработки инструмента,

Г Л А В А VIII

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

35. Общие вопросы

Проведение термической обработки сварных конструкций преследует две основные цели: снятие остаточных напряжений; восстановление свойств металла в зоне термического воздействия сварочного источника тепла.

Снятие остаточных напряжений. Релаксация остаточных напряжений протекает наиболее интенсивно при температурах выше 600 °С. При этом уже после часовой выдержки уровень остаточных напряжений резко снижается. Дальнейшее увеличение выдержки неэффективно. Таким образом, если изделие выдерживается после прогрева при 580—620 °С более 1 ч, исходные остаточные напряжения практически снимаются.

Следует учесть, что при неравномерном охлаждении изделий в процессе термической обработки могут образовываться дополнительные остаточные напряжения, не связанные с технологическим процессом сварки. Наибольшую опасность с этой точки зрения представляет период охлаждения от 600 до 300 °С. Если в этот период в изделии возникают перепады температур более 50 °С, то после охлаждения возможно образование значительных остаточных напряжений порядка 0,4—0,6 от предела текучести основного металла. После 300 °С, когда материал обладает достаточными упругими свойствами, охлаждение изделия может протекать с большей скоростью.

Восстановление свойств металла в зонах термического влияния. Для сварных конструкций из низко- и среднелегированных марок стали большое значение имеет устранение закаленных зон в районе сварного шва, образующихся при сварке. Восстановление свойств металла в этих зонах происходит во время отпуска при 620—680 °С. Минимальная температура отпуска для различных марок стали может существенно отличаться. С другой стороны, для различных марок стали существует верхняя температурная граница отпуска, выше которой может происходить падение исходных прочностных свойств. Таким образом, температура изделия в процессе высокого отпуска должна находиться в весьма узких пределах, обеспечивающих отпуск закаленной зоны основного металла и сварного шва и отсутствие падения прочностных свойств основного металла.

На сопротивление усталости сварных соединений и, следовательно, их работоспособность термическая обработка может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние. Эффективность ее в основном определяется результирующим влиянием двух факторов: уменьшением неблагоприятных остаточных напряжений, вызванных сваркой; разупрочнением металла шва и околшовной зоны. Вопрос о целесообразности термической обработки должен решаться также с учетом окисления поверхности при нагреве, изменения формы и размеров сварной конструкции, вида металла, технологического процесса сварки, характера распределения остаточных напряжений, условий эксплуатации.

После оценки указанных выше положительных и отрицательных факторов, связанных с термической обработкой сварных конструкций,

принимается решение о необходимости и целесообразности выполнения термической обработки.

В табл. 156 приведены данные о влиянии термической обработки на усталостную прочность сварных конструкций.

156. Влияние термической обработки на усталостную прочность сварных конструкций

| Концентрация сварочных напряжений в опасной зоне конструкции | Вид остаточных напряжений в опасной зоне | Вероятный эффект от термической обработки |
|--|--|--|
| Отсутствует | Растягивающие Сжимающие | Незначительный |
| Умеренная | Растягивающие Сжимающие | Небольшой, положительный Небольшой, отрицательный |
| Большая | Растягивающие Сжимающие | Большой, положительный Отрицательный |
| Очень большая | Растягивающие Сжимающие | Весьма большой, положительный Отрицательный |

Технология изготовления сварных конструкций обуславливает два основных способа выполнения термической обработки: объемную и местную. В первом случае изделия помещают в печь и подвергают термической обработке целиком, по всему объему; во втором — термической обработке подвергается отдельный участок изделия, в то время как остальная его часть находится при комнатной температуре. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки и рациональные границы применения.

К преимуществам объемной термической обработки перед местной следует отнести в первую очередь отсутствие по термообработываемому изделию заметного перепада температур, что позволяет избавиться от возникновения при нагреве дополнительных остаточных напряжений. Объемная термическая обработка является единственно возможным методом снятия сварочных напряжений, когда компактная сварная конструкция состоит из большого количества сварных соединений, затрудняющих или делающих невозможным применение местной термической обработки. Недостатками объемной термической обработки является потребность в специальных дорогостоящих печах с длительным периодом цикла термической обработки и значительным расходом энергоресурсов; кроме того термические печи требуют дополнительной производственной площади.

Местная термическая обработка имеет ряд преимуществ перед объемной термической обработкой: не требуется громоздкого и дорогостоящего печного оборудования, возможность применения (особенно

в монтажных условиях) высокоэффективных нагревательных устройств, которые экономичны в части расхода энергоресурсов и обеспечивают быстрый и равномерный нагрев зоны сварки на изделии.

Недостатками местной термической обработки является неизбежное появление дополнительных остаточных термических напряжений * и ухудшение свойств металла изделия в зонах перепада температур от температуры отпуска до комнатной.

Особый интерес представляет выполнение высокого отпуска на снятие сварочных напряжений с помощью щитообразных (плоских) инфракрасных электроннагревателей, выполненных из специальных пластин, которые со стороны, обращенной к нагреваемому сварному соединению, покрыты металлическим окисным соединением с высокой излучающей способностью (коэффициент лучеиспускания 0,9). Нагрев осуществляется инфракрасным излучением, обладающим большой проникающей способностью, благодаря чему уменьшается перепад температуры по толщине стенки; при этом удельная мощность электроннагревателей составляет 25 Вт/см². Данный способ нагрева для выполнения высокого отпуска на снятие сварочных напряжений весьма перспективен.

36. Термическая обработка сварных конструкций на снятие напряжений

При термической обработке сварных конструкций необходимо иметь в виду следующее.

1. Во избежание деформации изделий температура печи при посадке изделий должна быть не выше 350 °С.

2. Допустимые скорости нагрева изделия зависят от вида термической обработки (общей или местной), типа конструкций и ее материала, толщины свариваемых элементов и мощности нагревательных устройств.

При общей термической обработке изделий средней сложности (сосудов, работающих под давлением) максимальная скорость нагрева не должна превышать 200 °С/ч при толщине элементов до 25 мм и 100 °С/ч при большей толщине. В отдельных случаях, например при термической обработке узлов из теплостойких хромомолибденованадиевых и жаропрочных аустенитных стабилизированных сталей, должны ограничиваться скорости нагрева в опасном для этих сталей интервале температур. Температуры нагрева двух любых участков изделия не должны отличаться друг от друга более чем на 50 °С.

3. Для сварки узлов из термически упрочняемых марок стали температура отпуска должна быть на 20—40 °С ниже температуры отпуска свариваемых заготовок. При этом свойства материала конструкции должны оцениваться по результатам испытания образцов, прошедших полный цикл термической обработки с изделием.

4. При использовании марок стали, подверженных при сварке закалке с образованием хрупких структур, термическая обработка должна производиться либо непосредственно после окончания свароч-

* Опыт проведения местной термической обработки труб показывает, что при индукционном варианте нагрева токами промышленной частоты (частота тока 50 Гц) перепад температур по сечению нагреваемой трубы с толщиной стенки 45—60 мм может составлять 10—50 °С, при индукционном нагреве токами повышенной частоты (частота тока 2500 Гц) он достигает 20—100 °С, при электроточном нагреве — 30—200 °С и газопламенном нагреве — 50—200 °С.

**157. Рекомендуемые режимы термической обработки
сварных конструкций**

| Марка стали | Режим термической обработки после сварки | Время перерыва между сваркой и термической обработкой, ч | Примечание | |
|------------------------------|--|--|---|----|
| 20, 15Г, 20Г, 30Г2 | Отпуск 600—660 °С | Не ограничено | При отсутствии концентраторов в сварных соединениях возможен отказ от термической обработки после сварки для изделий толщиной до 60 мм. Для стали 30Г2 отказ от термической обработки для изделий толщиной менее 35 мм возможен при сварке с подогревом до температуры 250—300 °С | |
| 15ХН2 | Отпуск 630—640 °С | | | |
| 15ХМ | Отпуск 660—700 °С | | | |
| 15ХМ | Отпуск 660—700 °С | | | 48 |
| 12Х1МФ | Отпуск 700—750 °С | | | 72 |
| 20ХМЛ | Отпуск 700—720 °С | | | 48 |
| 25Х2МФ | Отпуск 660—700 °С | Без перерыва | Температура печи при посадке изделий не ниже 450 °С | |
| 12Х13, 20Х13, 15Х12ВНМФ | Отпуск 720—760 °С | | | |
| 12Х18Н9, 0Х16Н10Т, 12Х18Н12Т | Аустенизация при 1050 °С или стабилизация при 900 °С | — | Аустенизация проводится только для конструкций, работающих при 550 °С, или для снятия напряжений с целью исключения деформаций при последующей механической обработке изделий | |

158. Режим отжига для снятия напряжений сварных конструкций, изготовленных из углеродистых марок стали

| Операция | Параметры режима |
|--|---------------------------|
| Посадка изделий в печь при температуре (не более), °С Нагрев до 450—600 °С со скоростью (не более), °С/ч Выдержка при 450—600 °С, ч Охлаждение на спокойном воздухе | 450—500 80 4—8 — |

159. Режимы отпуска сварных конструкций

| Масса, т | | Температура печи при посадке, °С | Продолжительность, ч | | | | Температура выгрузки из печи, °С |
|----------|-------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|------------|----------------------------------|
| садки | наиболее тяжелой детали | | нагрева | выравнивания по длине | выравнивания по сечению | охлаждения | |
| 245 | 30 | 250 | 11 | 3 | 1 | 8 | 300 |
| 130 | 20 | 250 | 8 | 3 | — | 7 | 300 |
| 150 | 30 | 310 | 9 | 4 | 2 | 13 | 250 |
| 250 | 100 | 250 | 11 | 5 | 2 | 12 | 250 |
| 130 | 40 | 250 | 14 | 6 | 4 | 9 | 300 |
| 180 | 45 | 250 | 12 | 4 | 1 | 13 | 250 |
| 250 | 45 | 250 | 11 | 5 | 2 | 13 | 250 |
| 180 | 40 | 250 | 10 | 3 | 2 | 8 | 300 |
| 230 | 80 | 250 | 14 | 11 | 2 | 14 | 300 |
| 140 | — | 250 | 9 | — | 1 | 9 | 250 |
| 280 | 115 | 140 | 12 | 5 | 3 | 16 | 250 |
| 350 | 40 | 250 | 14 | 5 | 2 | 22 | 250 |

Примечание. Выдержка — 3 ч.

160. Время нагрева сварных соединений труб из углеродистых и низколегированных марок стали при местном отпуске

| Номинальная толщина стенки свариваемых труб, мм | Время нагрева от 20 °С до температуры отпуска, мин | | |
|---|--|----------------------------|------------------------------------|
| | для индукционного способа нагрева токами: | | для электропечного способа нагрева |
| | промышленной частоты 50 Гц | повышенной частоты 2500 Гц | |
| До 20 | 30—90 | 40—90 | 60—120 |
| 21—30 | 45—90 | 60—120 | 90—120 |
| 31—45 | 45—90 | 60—120 | 120—180 |
| 46—60 | 60—120 | — | — |
| Более 60 | 80—140 | — | — |

161. Режимы термической обработки узлов паровых турбин

| Наименование свариваемого изделия | Сочетание марок стали | Марка электродов | Вид термической обработки | Временной режим термической обработки, ч | | |
|--|------------------------|------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|
| | | | | Нагрев до температуры от пуска | Выдержка при температуре от пуска | Охлаждение до 200 °С |
| Корпус клапана автоматического затвора К-300-240 | 15X11МФБ | КТИ-10 | Общая | 12—13 | 12—13 | 18—19 |
| | | | Местная | 2—3 | 5—6 | 10—11 |
| | 15X11МФБ+ +15X1M1Ф. | ЦЛ-27 | Общая | 9—10 | 12—13 | 18—19 |
| | | | Местная | 1—2 | 5—6 | 10—11 |
| Сопловая и боковая паровые коробки ПВК-200 (исправление дефектов) | 15X1M1Ф | ЦЛ-27 | Общая | 9—10 | 16—18 | 18—19 |
| | | | Местная | 1—2 | 5—6 | 10—11 |
| Сопловая и верхняя паровые коробки ВПТ-50-2 (исправление дефектов) | 20ХМФ | ЦЛ20М | Общая | 8—9 | 16—17 | 17—18 |
| | | | Местная | 1—2 | 3—4 | 9—10 |

162. Оптимальная и предельная толщина стенки индуктора, применяемой при местной термической обработке

| Толщина стенки, мм | Частота тока, Гц | | | | | |
|--------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | 50 | 500 | 1000 | 2500 | 8000 | 70 000 |
| Оптимальная | 16 | 5 | 3,6 | 2,3 | 1,3 | 0,4 |
| Предельная | 12—28 | 3,7—8,4 | 2,9—6,5 | 1,8—4,0 | 1,0—2,3 | 0,35—0,8 |

ных работ, либо не позднее определенного периода времени, установленного экспериментом.

В остальных случаях время проведения термической обработки может не регламентироваться.

5. Длительность выдержки изделия при температуре отпуска должна обеспечивать полноту протекания релаксационных процессов, структурных превращений и равномерный прогрев изделия. Перепад температур не должен превышать $\pm 20^\circ\text{C}$.

6. Скорость охлаждения изделия должна исключать возможность образования новых остаточных напряжений и деформации конструкции. Для изделий средней сложности максимальная скорость охлаждения не должна превышать $200^\circ\text{C}/\text{ч}$ при толщине элементов до 25 мм и $100^\circ\text{C}/\text{ч}$ при большей их толщине.

Охлаждение может осуществляться в печи до 350°C , дальнейшее охлаждение — на воздухе.

7. При отпуске изделий из стали, подверженной отпускной или тепловой хрупкости, а также при высокотемпературной обработке узлов из высоколегированных марок стали, склонных к охрупчиванию, должны быть ограничены минимальные скорости охлаждения в опасном интервале температур.

8. При местной термической обработке необходимо стремиться уменьшить перепад температуры по сечению обрабатываемого изделия, так как могут возникнуть дополнительные остаточные напряжения. Для улучшения перепада температуры целесообразно применять термоизоляция.

9. При местной термической обработке сосудов и трубопроводов следует обеспечить ширину зоны равномерного разогрева не менее $1,25\sqrt{Rs}$ на каждую сторону от шва (R — средний радиус; s — толщина стенки).

10. Для тех случаев, когда требуется термическая обработка после сварки, режимы термической обработки должны выбираться в зависимости от состава основного металла и металла шва, толщины и конфигурации свариваемых изделий, требований, предъявляемых к сварным конструкциям исходя из условия эксплуатации.

Режимы термической обработки приведены в табл. 157—162.

37. Термическая обработка сварных конструкций, изготовленных электрошлаковой сваркой

Процесс электрошлаковой сварки коренным образом изменяет структуру металла свариваемого шва и околшовной зоны, вызывая необходимость проведения последующей термической обработки с нагревом выше верхней критической точки. Заготовки, свариваемые электрошлаковой сваркой, подвергают нормализации с отпуском и реже закалке с отпуском.

Проведение общей термической обработки с нагревом в печи всего изделия не всегда возможно и целесообразно. Поэтому вместо общей часто выполняется местная термическая обработка. Для местной термической обработки заготовок после электрошлаковой сварки применяют стационарные или переносные печи с газовыми горелками, индукционный нагрев токами промышленной и повышенной частоты, переносные электрические печи.

При местной термической обработке производят нагрев сварного шва и прилегающих к нему зон термовлияния величиной 400—500 мм

163. Режимы термической обработки литых деталей из стали марок 25Л и 35Л после электрошлаковой сварки

| Группа сложности изделия | Режим нормализации | | | | | | | | Режим отпуска | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|-------------|--|----------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|---------------------|-------------|--|---|--------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Посадка в печь | | Нагрев до 650—670 °С со скоростью (не более), °С/ч | Выдержка при 650—670 °С, ч | Нагрев до температуры нормализации со скоростью (не более), °С/ч | Выдержка для выравнивания, ч | Выдержка после выравнивания, ч | Охлаждение на воздухе до температуры, °С | Посадка в печь | | Нагрев до 620—650 °С со скоростью (не более), °С/ч | Выдержка при 620—650 °С после выравнивания, ч | Охлаждение в печи | | Дальнейшее охлаждение |
| | При температуре, °С | Выдержка, ч | | | | | | | При температуре, °С | Выдержка, ч | | | До температуры, °С | Со скоростью (не более), °С/ч | |
| I | 800 | — | — | — | По мощности печи | 1,2 | 1—2 | 450—500 | — | — | По мощности печи | 3—4 | На воздухе | На воздухе | На спокойном воздухе |
| II | 400 | — | 80 | 1—2 | 100 | — | 2—4 | 450—500 | — | — | 80 | 6—8 | 450 | 60 | До температуры цеха |
| III | 300 | 1—2 | 50 | | 80 | — | 4—6 | | 450—500 | — | 60 | 10—12 | 300 | 40 | |
| IV | 250 | | | 2—3 | 60 | — | 8—10 | — | 400—450 | 2 | | | 250 | 30 | |

164. Примерные режимы местного отпуска крупногабаритных изделий, изготовленных методом электрошлаковой сварки

| Изделие | Марка стали | Температура печи, °С | Скорость нагрева, °С/ч | Температура нагрева, °С | Выдержка, ч | Скорость охлаждения, °С/ч |
|------------------------|---------------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|
| Станина—цилиндр | 34ХМ; 25ГС | ≥50 | ≤50 | 500— 550 | 8—12 | ≤100 |
| Станина стана «3600» | 30ЛШ | ≥100 | ≤50 | 500— 550 | 20—25 | ≤100 |
| Бандажи обжиговой печи | 35 | ≥100 | ≤50 | 550— 600 | 8—10 | ≤100 |
| Скоба прессы | 20Х2МА | — | 100— 150 | 600— 650 | 13—15 | ≤30 |

по каждую сторону от его оси. В табл. 163 и 164 приведены режимы термической обработки сварных конструкций, изготовленных электрошлаковой сваркой.

Г Л А В А IX

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАГРЕВА

38. Термическая обработка с применением индукционного нагрева

Для поверхностной термической обработки широко применяется скоростной индукционный нагрев с использованием т. в. ч. Этот вид термической обработки изделий позволяет получать повышенные механические свойства в поверхностном слое изделий, благодаря образуемому мелкому зерну и сжимающим остаточным напряжениям. Поверхностная термическая обработка с применением нагрева т. в. ч. снижает деформации в закаливаемых изделиях. К преимуществам поверхностной индукционной термической обработки следует отнести: возможность выполнения местной термической обработки изделий, бесшумность, малое окалинообразование и высокую культуру производства.

При поверхностной термической обработке с нагревом т. в. ч. достигается увеличение твердости до $HRC\ 6-8$ (по сравнению с закалкой аналогичных изделий при печном нагреве). Так называемая сверхтвердость объясняется не особенностями фазовых превращений при индукционном нагреве, а охлаждением стали в мартенситном интервале с большими скоростями, что предотвращает отпуск мартенсита в процессе закалки и фиксирует большую массовую долю углерода в твердом растворе. Мелкое зерно получаемого мартенсита также способствует повышению механических свойств поверхностного закаленного слоя.

В последнее время начинает применяться совмещение индукционного нагрева с химико-термической обработкой. При этом достигается

значительное ускорение процесса химико-термической обработки за счет сокращения времени нагрева изделий до температуры насыщения и увеличения скорости диффузии за счет повышения температуры. Так, при цементации при повышенной температуре 1050 °С за 45 мин достигается глубина слоя 0,8—1,0 мм.

На заводах используются различные способы поверхностной закалки с нагревом т. в. ч. (с учетом взаимного перемещения индуктора, спреера и поверхности нагреваемого изделия).

О д н о в р е м е н н ы й способ закалки, при котором происходит одновременный нагрев и охлаждение всей закаливаемой поверхности изделия (сквозная закалка венца зубчатых колес с модулем до 10 мм, звездочек и других изделий).

При одновременной закалке зазор между закаливаемой поверхностью и индуктором не должен превышать 5—10 % диаметра закаливаемой детали и не должен быть больше 10—15 % ширины закаливаемого слоя. Увеличение зазора уменьшает к. п. д. и коэффициент мощности индуктора. Ширина индуктора выбирается на 10—20 % больше ширины закаливаемого слоя. Толщина трубки индуктора, если отсутствует постоянное охлаждение, должна быть в 2,5—4 раза больше требуемой глубины закаленного слоя, но не свыше 12 мм.

Индукторы с магнитопроводом применяются в целях вытеснения тока в сторону открытого паза, главным образом, при закалке внутренних или плоских поверхностей, а также в случаях, когда требуется неодинаковая степень нагрева. Магнитопровод изготавливают из пластин трансформаторной стали.

О д н о в р е м е н н о - п о с л е д о в а т е л ь н ы й способ закалки предусматривает последовательный нагрев и закалку аналогичных частей изделий, например, рабочих поверхностей каждого зуба шестерни, каждого шлица валика и т. п. Этим способом закаливаются цилиндрические (модули от 8 мм и выше) и конические (модули от 16 мм и выше) зубчатые колеса и подобные изделия.

Н е п р е р ы в н о - п о с л е д о в а т е л ь н ы й способ закалки — непрерывное взаимное перемещение индуктора и спреера (душа) и закаливаемого изделия, как правило, закаливаемое изделие вращается. Этим способом закаливаются валики, рифленые цилиндры, крупномодульные шестерни по рабочим поверхностям зуба, галтелям и впадинам. Непрерывно-последовательный способ закалки позволяет закалить большие поверхности при сравнительно малых мощностях генератора т. в. ч.

Для импульсной индукционной закалки в отличие от обычной индукционной закалки характерна подача в процессе нагрева большой удельной энергии на единицу площади изделия за короткие промежутки времени. Если при обычной индукционной закалке удельный расход энергии составляет $\sim 0,2$ кВт/см² при продолжительности нагрева 0,1—5 с, то при импульсной закалке характерны расходы энергии 10—30 кВт/см². Соответственно при импульсной закалке образуются очень тонкие закаленные слои до 0,05 мм, что значительно снижает деформацию закаливаемых изделий.

Для закаленной зоны при импульсной закалке характерна специфическая мелкозернистая структура, обладающая повышенной износостойкостью с сохранением достаточной пластичности. Отпуск закаленного слоя при этом способе закалки не производится. Основной областью применения импульсной индукционной закалки является упрочнение режущего инструмента.

С развитием индукционного метода нагрева при термической обработке сплавов большое распространение получил способ охлаждения

165. Химический состав (массовая доля, %) стали, применяемой при поверхностной индукционной закалке

| Тип стали | Марка стали | С | Si | Mn | Cr | Ni | Cu | Ti | P | S | Прочие компоненты |
|------------------------------------|-------------|-----------|---------------|---------------|---------------|----------|---------------|--------------------|----------|--------|-------------------|
| | | | | | | Не более | | | Не более | | |
| Пониженной прокаливаемости | ЭИ937 | 0,45—0,53 | 0,17—0,37 | Не более 0,20 | Не более 0,15 | 0,25 | 0,20 | 0,10—0,30 | 0,04 | 0,04 | — |
| | 55ПП | 0,55—0,63 | 0,10—0,30 | | | | | | | | |
| | 58ПП | 0,54—0,62 | Не более 0,3 | 0,20 | | 0,10 * | | 0,035 | 0,035 | | |
| | У6 | 0,52—0,58 | Не более 0,25 | | | | | | | 0,25 | 0,03 |
| | 110ПП | 1,05—1,15 | 0,1—0,3 | 0,06 | | 0,04 | | 0,04 | | | |
| Регламентированной прокаливаемости | 47ГТ | 0,44—0,51 | Не более 0,17 | | 1,0—1,2 | | Не более 0,25 | | 0,25 | 0,10 * | 0,02 |
| | ШХ4РП | 0,95—1,05 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | 0,35—0,50 | 0,30 | 0,25 | Сu+Ni не более 0,5 | | | |

* Содержание Ti не регламентируется.

душем. Эффективность его зависит от различных параметров как самого душа (расхода, скорости истечения и температуры жидкости), так и охлаждающего устройства — спреера (количество, размер и конфигурация отверстий, угол их наклона к поверхности охлаждения, зазор между спреером и закаливаемым изделием).

Важнейшим параметром душа является расход охлаждающей жидкости; с увеличением расхода повышается скорость охлаждения. Интенсивность душевого охлаждения зависит также от длины каналов спреера (оптимальное соотношение длины канала l к диаметру канала $d = 2 \div 3$, так как при малой длине каналов отдельные струи сливаются в поток. Минимально допустимая длина каналов $l = d$). Увеличение зазора между спреером и деталью снижает интенсивность охлаждения. Предельные зазоры для душевого охлаждения 150—200 мм.

На интенсивности охлаждения влияет наклон отверстий. При наклоне у поверхности охлаждения в 75° интенсивность теплоотвода резко снижается и уменьшается вдвое при угле наклона 30° . Оптимальным углом между струей жидкости и охлаждаемой поверхностью следует считать 90° . Для изделий, изготовленных из легированных марок стали, склонных к образованию трещин, применение водяного душа нецелесообразно. В этом случае следует использовать масляный душ, который в верхнем температурном интервале превращения охлаждает примерно в два раза быстрее, а в нижнем в два раза медленнее, чем водяная ванна, но в три-четыре раза быстрее, чем масляная ванна. Масляный душ ($5\text{—}7$ отверстий $\varnothing 2$ мм на 1 см²) по своей охлаждающей способности является совершенно особым закалочным средством, обеспечивающим весьма высокую интенсивность охлаждения.

Закаленные с нагревом т. в. ч. изделия подлежат, как правило, отпуску. Особенности проведения отпуска после закалки с нагревом т. в. ч. заключаются в том, что значительная часть превращений, свойственных отпуску, происходит в ходе непрерывного охлаждения при закалке и после нее. В связи с этим во всех случаях нагрева с помощью т. в. ч. под закалку температура и продолжительность нагрева при отпуске должны быть сокращены. Исследованиями многих авторов установлено, что структурное состояние материала изделий, получаемое после высокочастотной термической обработки, ближе к отпущенному, чем к закаленному при обычном нагреве. Таким образом, сокращение режима отпуска после закалки с нагревом т. в. ч. способствует росту производительности труда и улучшает качество термической обработки.

Сейчас широко используется электроотпуск после закалки с применением т. в. ч. Этот процесс обеспечивает высокую производительность, хорошее качество и высокую степень автоматизации термической обработки.

Для поверхностной индукционной закалки применяется сталь пониженной и регламентированной прокаливаемости. В табл. 165 приведен химический состав этих марок стали.

39. Режимы поверхностной индукционной закалки

В табл. 166—171 представлены сведения, необходимые для выбора режимов поверхностной индукционной закалки стали. Виды брака, образующегося при индукционной закалке, приведены в табл. 172.

На рис. 14—16 приведены некоторые зависимости времени нагрева (t) и удельной мощности (P_0) при нагреве деталей т. в. ч. от частоты тока и глубины закаленного слоя. Пользуясь такими графиками, можно оптимизировать процесс высокочастотного нагрева.

166. Глубина проникновения тока различной частоты в проводники из меди и стали при вихревом нагреве

| Частота тока, Гц | Глубина проникновения тока (мм) в проводники | | |
|------------------|--|-------------|------------|
| | из красной меди | из стали 40 | |
| | | При 15 °С | При 850 °С |
| 50 | 10,0 | 4,00 | 90,0 |
| 2 000 | 1,5 | 1,00 | 15,0 |
| 10 000 | 0,7 | 0,30 | 6,0 |
| 100 000 | 0,2 | 0,10 | 2,0 |
| 300 000 | 0,1 | 0,04 | 1,0 |

167. Частоты тока, рекомендуемые для вихревого закалочного нагрева на заданную глубину

| Параметры | Глубина закалочного слоя, мм | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|--|--|-----------------|----------|----------------|--------|
| | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 6,0 | 10,0 |
| Наибольшая частота тока, Гц | 250 000 | 100 000 | 60 000 | 30 000 | 15 000 | 8 000 | 2 500 |
| Наименьшая частота тока, Гц | 15 000 | 7 000 | 4 000 | 15 000 | 1 000 | 500 | 150 |
| Типы генераторов | Ламповый | Ламповый или машинный 8 000—10 000 Гц | Ламповый или машинный 8 000—10 000 Гц | Машинный | | | |
| | | | | 8 000—10 000 Гц | 2 500 Гц | 2 500—1 000 Гц | 500 Гц |

168. Температура нагрева некоторых марок стали при поверхностной закалке, °С

| Марка стали | Предварительная термическая обработка | Температура при печном нагреве, °С | Температура (°С) при суммарном времени аустенизации, с | | |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| | | | 10 | 3 | 1 |
| 35 | Отжиг Нормализация | 840—860 | 880—900 860—880 | 900—940 880—920 | 940—980 920—960 |
| 45 | Отжиг | 810—830 | 850—870 | 870—910 | 910—950 |
| 50 | Нормализация Улучшение | | 830—850 810—830 | 850—890 830—870 | 890—930 870—910 |
| 35Г2 | Нормализация | 840—860 | 880—920 | 910—960 | 950—980 |
| | Улучшение | | 860—990 | 780—940 | 920—980 |

| Марка стали | Предварительная термическая обработка | Температура при печном нагреве, °С | Температура (°С) при суммарном времени аустенизации, с | | |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| | | | 10 | 3 | 1 |
| 45Г2 | Нормализация | 820—840 | 840—860 | 860—900 | 900—940 |
| 50Г | Улучшение | | 800—820 | 820—850 | 850—900 |
| 45Х | Нормализация | 830—850 | 880—920 | 920—960 | 940—980 |
| 40ХНМ | Улучшение | | 840—860 | 860—900 | 880—920 |
| 40ХН | Нормализация | 810—830 | 860—880 | 900—940 | 920—960 |
| 45ХН | Улучшение | | 820—840 | 840—880 | 860—900 |
| 35ХГС | Нормализация | 880—900 | 920—940 | 940—980 | 960—1000 |
| 40ХС | Улучшение | | 880—900 | 920—960 | 940—980 |
| ШХ15 | Отжиг Улучшение | 830—850 | 890—930 850—870 | 920—960 880—920 | 950—1000 920—960 |

169. Зависимость температуры высокочастотного нагрева при закалке от его скорости

| Марка стали | Температура нагрева в печи, °С | Температура (°С) при скорости нагрева, °С/с | | | |
|-------------|--------------------------------|---|---------|---------|----------|
| | | 100 | 250 | 400 | 500 |
| 40 | 840—860 | 850—900 | 880—920 | 930—980 | 960—1020 |
| 45 | 810—830 | 830—880 | 860—910 | 900—950 | 930—1000 |
| 50 | 820—840 | 810—850 | 830—880 | 870—920 | 900—960 |
| У8 | 790—820 | 780—820 | 780—850 | 780—860 | 820—920 |
| У12 | 760—780 | 780—820 | 780—850 | 780—860 | 820—920 |
| 40Х | 850—870 | 830—880 | 860—920 | 900—960 | 950—1000 |
| 50Г | 820—840 | 810—850 | 830—880 | 870—920 | 900—960 |
| 45Г2 | 830—850 | 810—850 | 830—880 | 870—920 | 900—960 |
| 50ХГ | 830—850 | 810—850 | 830—880 | 870—920 | 900—960 |
| 35ХГ2 | 840—860 | 830—880 | 860—910 | 900—950 | 930—1000 |
| ХВГ | 800—830 | 830—870 | 860—900 | 880—920 | 900—950 |

170. Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах
(душевое охлаждение, кроме сред № 11 и 20)

| № среды | Охлаждающая среда | Температура, °С | Скорость охлаждения, °С/с | |
|---------|---|-----------------|---------------------------|------------|
| | | | при 250 °С | при 600 °С |
| 1 | Вода | 15 | 2270 | 1400 |
| 2 | | | 2030 | 1600 |
| 3 | | | 1900 | 1450 |
| 4 | | | 1750 | 1270 |
| 5 | 10-процентный водный раствор поваренной соли | 40 | 1400 | 3250 |
| 6 | | 30 | 1180 | 2370 |
| 7 | 30% глицерина | 15 | 1400 | 1130 |
| 8 | 20% глицерина | | 1250 | 800 |
| 9 | 0,025-процентный водный раствор поливинилового спирта | | 1000 | 1250 |
| 10 | Вода | | 860 | 610 |
| 11 | | | 560 | 180 |
| 12 | 10-процентный водный раствор поваренной соли | 15 | 430 | 2160 |
| 13 | Вода | 20 | 410 | 1110 |
| 14 | | 30 | 330 | 890 |
| 15 | 0,3-процентный водный раствор поливинилового спирта | 15 | 320 | 900 |
| 16 | Вода | 40 | 270 | 650 |
| 17 | 0,1-процентный водный раствор поливинилового спирта | 15 | 240 | 800 |
| 18 | Вода | 60 | 210 | 510 |
| 19 | 0,05-процентный водный раствор поливинилового спирта | 15 | 55 | 730 |
| 20 | Масло | — | 10 | 65 |

Примечание. Среды № 1—12 обладают высокой охлаждающей способностью, среды № 13—20 — низкой охлаждающей способностью в мартенситной области.

171. Твердость некоторых марок стали, подвергаемых закалке с нагревом т. в. ч., в различных охлаждающих средах

| Марка стали | Охлаждающая среда | Твердость <i>HRC</i> |
|-----------------------|-------------------|----------------------|
| 15 (после цементации) | Вода | 55—60 |
| 20 » » | | 55—60 |
| 40 | | 37—55 |
| 45 | | 40—56 |
| 50 | Вода | 40—58 |
| | Масло | 40—50 |
| 40X | Масло | 40—56 |
| | Эмульсия | 40—58 |
| | Глицерин | 40—55 |
| | Вода | 40—58 |
| 40XH | Эмульсия | 52—56 |
| | Глицерин | 50—55 |
| 38XГН | Вода | 40—55 |
| | Масло | 32—52 |
| | Глицерин | 40—55 |
| 12XН3А | Вода | 40—55 |
| 20X2Н4А | Вода | 40—55 |
| | Масло | 35—42 |
| 9X | Вода | 46—60 |
| | Масло | |
| | Эмульсия | |
| 30Г, 40Г, 65Г | Эмульсия | 40—60 |
| 30XГС | | 45—50 |

**172. Виды брака, образующегося при закалке
с применением поверхностного индукционного нагрева**

| Вид брака | Причина | Меры предупреждения |
|--|--|--|
| Продавливание закаленного слоя детали | Чрезмерно малая глубина закаленного слоя | Увеличение глубины закаленного слоя |
| Откол кромок закаленной детали | Наличие острых кромок (без фасок) на детали. Перегрев кромок | Предварительно перед закалкой снять фаски на детали. Не допускать перегрева кромок |
| Трещины и микротрещины на закаленной поверхности детали | Перегрев, завышенная или неравномерная скорость охлаждения. Наличие на закаливаемой детали тонких сечений, резких переходов, грубых рисок на поверхности. Завышенное содержание углерода | Не допускать перегрева поверхности при нагреве под закалку. Отверстия в детали забивать медными заглушками или сырым асбестом. Не прерывать закаленный слой в опасных сечениях детали. Не завышать скорость охлаждения. Детали на закалку должны поступать без грубых рисок. Проверить перед закалкой сертификат состава стали |
| Деформации, выходящие за пределы допуска на механическую обработку | Неравномерная глубина закаленного слоя Наличие остаточных напряжений в детали — отсутствие необходимой предварительной термической обработки Неравномерное охлаждение | Выдерживать равномерную глубину закаленного слоя Перед поверхностной закалкой выполнять отпуск на снятие остаточных напряжений после механической обработки Охлаждение в процессе закалки должно быть равномерным |
| Отслаивание закаленного слоя | Наличие повышенных напряжений в переходных сечениях детали | Технологией закалки предусмотреть широкую переходную зону. После закалки детали немедленно подвергнуть низкому отпуску |
| Шелушение | Нарушение режима шлифования закаленного слоя | Уменьшить подачу при шлифовании |
| Отклонение глубины закаленного слоя от нормы | Неправильно выбрана частота генератора Нарушен оптимальный технологический зазор между закаливаемой деталью и индуктором Нарушение технологического и электрического режима | Правильно выбрать частоту генератора Стабилизировать технологический зазор в процессе закалки между индуктором и деталью Стабилизировать электрический режим при закалке. Ужесточить контроль технологического режима |

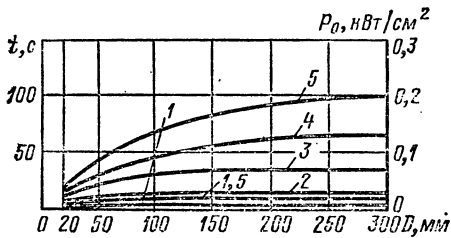


Рис. 14. Зависимость времени нагрева t и удельной мощности P_0 , сообщаемой детали, от диаметра D нагреваемого цилиндра при частоте тока 250—440 кГц: 1—5 — глубина закаленного слоя, мм

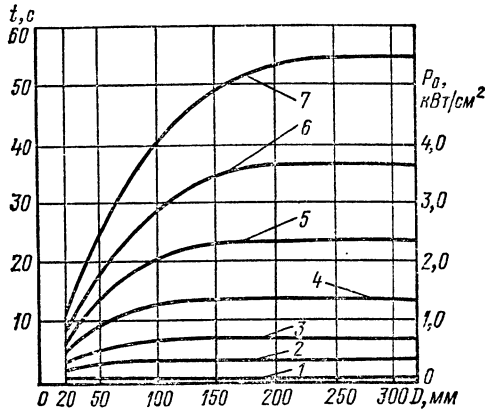


Рис. 15. Зависимость времени нагрева t и удельной мощности P_0 , сообщаемой детали, от диаметра D нагреваемого цилиндра при частоте тока 2500 Гц: 1—7 — глубина закаленного слоя, мм

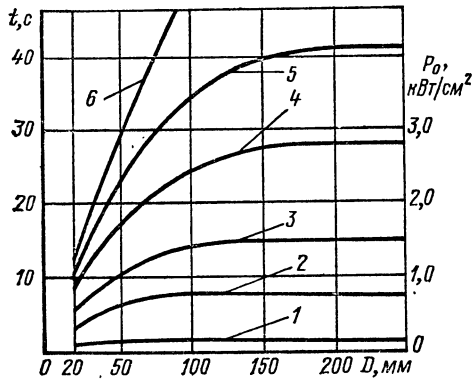


Рис. 16. Зависимость времени нагрева t и удельной мощности P_0 , сообщаемой детали, от диаметра D нагреваемого цилиндра при частоте тока 8000 Гц: 1—6 — глубина закаленного слоя, мм

Несколько слов следует сказать о химико-термической обработке, выполняемой при помощи индукционного нагрева. Этот способ не получил еще широкого распространения в промышленности, несмотря на ряд преимуществ, главным из которых является сокращение длительности процесса. Имеются примеры использования индукционного нагрева при цианировании в жидких и газообразных средах, местной химико-термической обработке при помощи обмазки пастами и т. п. Однако опыт применения индукционного нагрева для химико-термической обработки показал, что при использовании этого процесса приходится преодолевать значительные трудности при подборе состава диффузанта, преодолению роста зерна стали, поддержанию постоянной температуры в зоне протекания процесса и т. д. По-видимому, требуется еще время для широкого внедрения в промышленность этого прогрессивного процесса.

40. Местная газопламенная термическая обработка

Во многих случаях при изготовлении машиностроительных конструкций целесообразно применять местную термическую обработку с использованием в качестве источника теплоты газопламенного нагрева. Местный газопламенный нагрев применяется при следующих термических операциях:

- 1) поверхностная закалка;
- 2) местный отжиг, нормализация, отпуск для улучшения структуры и свойств металла изделий (в частности, сварных соединений) и создания возможности для последующей механической обработки;
- 3) местный отпуск — для снятия или перераспределения внутренних напряжений (чаще в сварных конструкциях);
- 4) поверхностная очистка полуфабрикатов, изделий или конструкций.

Наибольшее распространение получила закалка при газопламенном нагреве, которую мы рассмотрим более подробно.

Сущность процесса заключается в нагреве поверхностного слоя изделия до температуры выше критической с последующим охлаждением со скоростью большей, чем критическая скорость охлаждения стали, из которой изготовлено изделие.

Для достижения необходимой глубины закаленного слоя требуется его прогрев до заданной температуры аустенизации в зависимости от

173. Диаметр отверстий, расход газа и скорости истечения, применяемые в закалочных горелках

| Диаметр отверстия, мм | Расход, м ³ /ч | | Скорость истечения газовой смеси, м/с |
|-----------------------|---------------------------|-----------|---------------------------------------|
| | ацетилена | кислорода | |
| 0,6 | 30 | 35 | 70 |
| 0,7 | 45 | 55 | 80 |
| 0,9 | 90 | 110 | 95 |
| 1,2 | 210 | 250 | 115 |

174. Влияние химического состава материала закаливаемой детали на основные показатели режима заковки

| Необходимая глубина слоя заковки, мм | Сталь с содержанием углерода 0,35—0,6% | | Сталь с содержанием углерода более 0,6% и чугуны | |
|--------------------------------------|--|--|--|--|
| | Скорость перемещения, мм/мин | Удельная интенсивность пламени, дм ³ /см ² | Скорость перемещения, мм/мин | Удельная интенсивность пламени, дм ³ /см ² |
| 2 | 180 | 0,46 | 210 | 0,40 |
| 3 | 160 | 0,52 | 180 | 0,46 |
| 4 | 130 | 0,64 | 150 | 0,55 |
| 6 | 90 | 0,92 | 95 | 0,87 |
| 8 | 45 | 1,80 | 60 | 1,30 |

состава стали с последующим быстрым охлаждением в струе воды или воздуха.

В качестве источника нагрева при газопламенной заковке применяется ацетилено-кислородное пламя (могут применяться заменители ацетилена). Газопламенной заковке могут подвергаться изделия, изготовленные из углеродистых и низколегированных сталей, а также чугуны. Твердость поверхностного закаленного слоя при данном виде заковки выше твердости, получаемой при объемной заковке.

В табл. 173 и 174 приведены некоторые данные, необходимые для назначения режима газопламенной заковки.

Г Л А В А X

БЕЗОКСИЛИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕРАХ

41. Общие вопросы

При нагреве в атмосфере воздуха или среде газов поверхность стальных изделий взаимодействует с окружающей средой, вызывая процессы окисления и обезуглероживания. Эти процессы, изменяя поверхностный состав стали, ухудшают качество изделий, приводят к безвозвратным потерям металла и дополнительным трудоемким очистным операциям.

Окисление стали, заключающееся в химическом взаимодействии кислорода и кислородсодержащих газов с железом и легирующими элементами, начинается уже при появлении цветов побежалости (>200 °С). Повышение температуры нагрева усиливает процесс окисления и сопровождается окалинообразованием.

Обезуглероживание, которое начинается при температуре выше 700 °С, характеризуется обеднением поверхностных слоев изделия углеродом, ухудшает свойства изделий при эксплуатации.

В табл. 175 приведены данные о влиянии обезуглероживания на предел усталости стали, которые показывают, что повреждение поверхности изделия из-за обезуглероживания значительно ухудшает качество готовых изделий. Такое же влияние на качество изделий оказывает окисление.

175. Влияние обезуглероживания на предел усталости стали

| Сталь | Температура термической обработки, °С | | Предел усталости образца при изгибе, МПа | |
|-------------------|---------------------------------------|--------|--|--------------------|
| | Закалка | Отпуск | полированного | обезуглерожженного |
| Кремнемарганцовая | 950 | 500 | 460 | 270 |
| Хромованадиевая | 850 | 600 | 425 | 320 |

Применение контролируемых атмосфер, защищающих поверхность изделий от окисления и обезуглероживания, повышает усталостную прочность и долговечность на 15—30 %, а достигаемая экономия металла ввиду отсутствия окалинообразования составляет до 3 % от массы садки. Таким образом, защита поверхности изделий в процессе нагрева под термическую обработку, а также при переносе в охлаждающую среду при закалке необходима.

42. Характеристика и способы приготовления контролируемых атмосфер

Контролируемая эндотермическая атмосфера*. Она получается в результате сложных химических реакций посредством частичного сжигания метана при большом недостатке воздуха и распаде (конверсии) остальной части метана без доступа воздуха. Исходным продуктом для получения эндогаза является природный газ или сжиженная пропан-бутановая смесь. Преимуществом эндотермической атмосферы является то, что в зависимости от точки росы или содержания двуокиси углерода она может воздействовать на сталь одного и того же состава: может ее науглеродить, обезуглеродить или находиться с ней в состоянии равновесия. К числу преимуществ эндотермической атмосферы (эндогаза) можно отнести возможность автоматической регулировки ее состава.

Эндогаз обычно имеет состав: 20—40—40 (20 % окиси углерода, 40 % водорода и 40 % азота). В последние годы, особенно за рубежом,

* Реакция получения эндогаза идет с поглощением теплоты (о чем говорит приставка «эндо»), в отличие от экзогаза, получение которого сопровождается выделением теплоты (приставка «экзо»),

получил распространение эндогаз состава: 20—20—60 (20 % окиси углерода, 20 % водорода и 60 % азота).

Экзотермическая контролируемая атмосфера. Она получается при неполном или почти полном сгорании природного газа или сжиженных пропанбутановых смесей. Сжигание газа при недостатке воздуха ($\alpha = 0,5 \div 0,6$) дает богатую экзотермическую атмосферу по содержанию в ней водорода и окиси углерода. При сжигании газа с большим количеством воздуха ($\alpha = 0,9 \div 0,95$) получается бедная экзотермическая атмосфера (табл. 176).

Богатая и бедная экзотермические атмосферы ввиду сравнительно низкого содержания окиси углерода и водорода имеют умеренную взрывоопасность и воспламеняемость.

Для повышения качества экогаза его пропускают через адсорбер (сосуд, наполненный адсорбирующим влагу веществом — силикагелем или алюмогелем), в котором газ осушается до точки росы — $40 \div 50^\circ\text{C}$.

Контролируемая атмосфера из диссоциированного аммиака. Диссоциированный аммиак применяется для безокислительного нагрева деталей, изготовленных преимущественно из высокохромистых нержавеющей марок стали, под закалку и отжиг с нагревом не выше 1050°C . Диссоциированный аммиак получают из жидкого аммиака по технологической схеме, приведенной на рис. 19.

Для уменьшения взрывоопасности диссоциированный аммиак подвергают предварительному частичному сжиганию в смеси с воздухом, в результате чего содержание водорода снижается с 75 до 20 % и более. После сжигания водорода производят осушку продуктов сгорания в адсорбере, и далее газ используют как защитную атмосферу.

Технический азот. Азотные контролируемые атмосферы наиболее перспективные и должны найти в будущем широкое применение в промышленности. Эти атмосферы относятся к категории взрывобезопасных и сравнительно дешевых атмосфер.

Для придания азотной атмосфере равновесного углеродного потенциала при нагреве под термическую обработку изделий из среднеуглеродистых и легированных сталей в состав атмосферы вводят добавку природного газа (до 2 %) или пропанбутановой смеси (0,3—0,4 %). Этим достигается отсутствие обезуглероживания поверхности изделий. В качестве исходного продукта для получения азотной атмосферы используют продукты полного сгорания диссоциированного аммиака или отходы технического азота на кислородных станциях предприятий. Выход азотной атмосферы при сжигании 1 кг аммиака с воздухом составляет примерно 4 м^3 .

Инертные газы. Инертные газы — аргон и гелий после соответствующей очистки и осушки применяют в качестве защитной атмосферы при нагреве деталей, изготовленных из жаропрочных, титановых и других сплавов. Инертные газы не вступают в реакции даже с самыми активными веществами, бесцветны и не имеют запаха.

В настоящее время инертные газы, используемые в качестве защитной атмосферы при нагреве под различные операции термической обработки, находят ограниченное применение — преимущественно в точном машиностроении и приборостроении.

Вакуум. Вакуум в настоящее время широко используют при термической обработке в качестве среды, обеспечивающей сохранение поверхности изделий без изменений. Вакуумный нагрев применяется для изделий, изготовленных из жаропрочных, титановых и других сплавов. При использовании вакуума возможно удаление из металлов и сплавов растворенных газов. Допускается в остаточном воздухе после создания вакуума содержание водяных паров по объему 70 %. В ряде

176. Составы экзотермических атмосфер

| Тип атмосферы | | Содержание компонентов, % | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
| | | CO | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ | N ₂ | H ₂ O |
| Богатая экзотермическая атмосфера | без осушки и очистки | 9—12 | 13—15 | 0—1,5 | 4,5—5,5 | 55—60 | 1,68—3,52 |
| | осушенная и очищенная | 10—13 | 16—18 | | 0—0,2 | 69—73 | 0,004—0,013 |
| Бедная экзотермическая атмосфера | без осушки и очистки | 1,0—2,0 | 1,0—2,0 | — | 8,8—10,5 | 68—74 | 1,68—3,52 |
| | осушенная и очищенная | | | | 0—0,2 | 95—96 | 0,004—0,013 |

177. Классификация газов по действию на сталь

| Газ | Действие на сталь | Газ | Действие на сталь |
|---|--------------------|-------------------------|-------------------|
| Кислород Углекислый газ Водяной пар | Окисляющее | Окись углерода Метан | Науглероживающее |
| Окись углерода Водород Метан | Восстанавливающее | Аммиак | Азотирующее |
| Углекислый газ Водяной пар | Обезуглероживающее | Азот Аргон Гелий | Нейтральное |

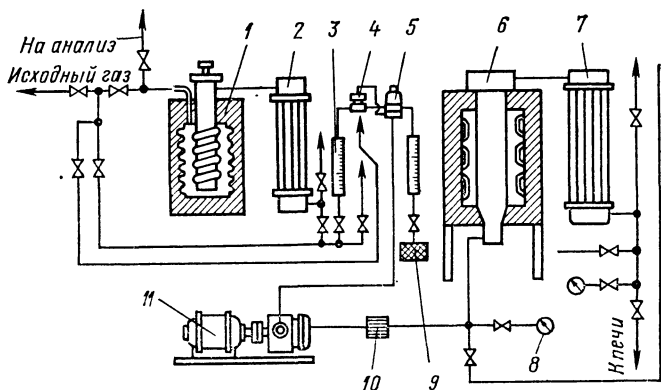


Рис. 17. Схема получения контролируемой атмосферы типа эндогаза; 1 — камера сероочистки; 2 — холодильник; 3 — ротаметр; 4 — регулятор нулевого давления; 5 — клапан смешительно-пропорционирующий; 6 — генератор; 7 — холодильник; 8 — тягонапорометр; 9 — фильтр; 10 — заслонка; 11 — газодувка

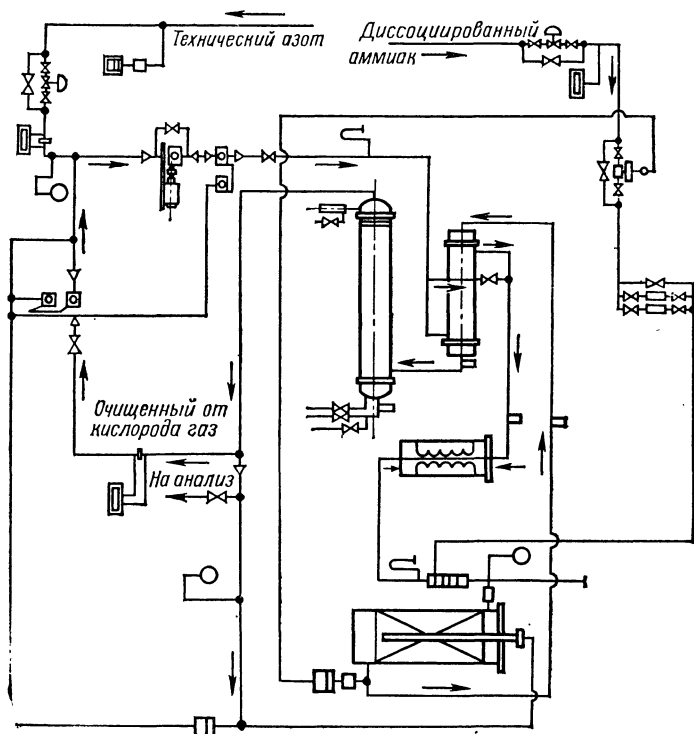


Рис. 18. Схема получения контролируемой атмосферы на основе использования технического азота

случаев производят комбинированную термическую обработку в условиях вакуума с последующим заполнением вакуумированного пространства печи контролируемой атмосферой, например очищенным аргоном или гелием.

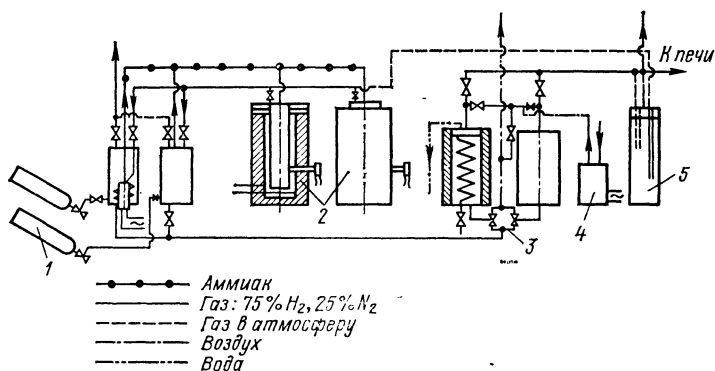


Рис. 19. Схема получения контролируемой атмосферы на основе аммиака: 1 — испарители аммиака; 2 — диссоциаторы; 3 — адсорбер; 4 — воздухонагреватель; 5 — гидравлический (масляный) затвор

Недостатком высокого вакуума при высокотемпературном нагреве является возможность обеднения легирующими компонентами сплавов за счет их испарения.

На рис. 17—19 приведены схемы получения наиболее распространенных контролируемых атмосфер.

43. Классификация и свойства контролируемых атмосфер

В табл. 177 приведены окисляющие и восстанавливающие газы, которые могут находиться в атмосфере печи. Из этих газов можно составить нейтральные газовые смеси или газовые смеси противоположного действия. Эти газы будут нейтрализовать друг друга при определенных температурах и составе стали, поверхность которой необходимо защищать от окисления и обезуглероживания.

Атмосфера печи с такими газами будет нейтральна к поверхности нагреваемых изделий. Подобные атмосферы называют *контролируемыми*.

Классификация и назначение контролируемых атмосфер представлены в табл. 178, а некоторые их свойства — в табл. 179 и 180.

В табл. 181 и 182 даны ориентировочные сведения о применении эндотермических и экзотермических атмосфер.

44. Регулирование контролируемых атмосфер по точке росы

Как известно, регулирование состава контролируемой атмосферы может осуществляться по точке росы. В табл. 183—185 приведены различные сведения о температуре точки росы контролируемых атмосфер.

178. Классификация и назначение контролируемых атмосфер

| Класс | Тип | Характеристика | Объемная доля, % | | | | | | | Точка росы, °С | Назначение |
|-------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------|----------------|----------------|---------|-------|-------|----------|----------------|--|
| | | | Исходный материал | Окись углерода | Углекислый газ | Водород | Метан | Азот | Кислород | | |
| Вакуум | Вакуум | Вакуум | — | — | — | — | — | — | — | — | Отжиг углеродистых и легированных марок стали и сплавов |
| Газы в баллонах | Аргон | — | — | — | — | 0,001 | — | 0,1 | 0,001 | —50 | Отжиг, отпуск и нагрев под закалку углеродистых и легированных марок стали |
| | Гелий | — | — | — | — | 0,01 | — | — | — | —50 | |
| | Водород | Торговый Чистый | — | — | — | 99,8 | — | 0,2 | — | —30 | |
| | | | — | — | — | 100 | — | — | — | —50 | |
| | Азот | Торговый Чистый | — | — | — | — | — | 99,8 | 0,2 | —30 | |
| | | | — | — | — | 1—3 | — | 99—97 | — | —50 | |
| Специально приготовленный газ | — | — | — | — | 10—30 | — | 90—70 | — | —50 | | |
| Диссоциированный аммиак | — | Аммиак | — | — | 75 | — | 25 | — | —40 | | |
| Диссоциированный аммиак | Диссоциированный и полностью или частично сожженный аммиак | Сожженный диссоциированный аммиак | Аммиак | — | — | 1—24 | — | 99—76 | — | От +20 до —25 | Нагрев под термическую обработку нежелезистых и жаропрочных марок стали |

| Класс | Тип | Характеристика | Объемная доля, % | | | | | | | Точка росы, °С | Назначение |
|---------------------|---|-----------------------|--|----------------|----------------|---------|---------|-----------|----------|----------------|--|
| | | | Исходный материал | Окись углерода | Углекислый газ | Водород | Метан | Азот | Кислород | | |
| Эндотермический газ | Метан, пропан или бутан, крекированные с воздухом | Эндогаз | Метан, пропан, бутан | 18—24 | 0,5—0 | 32—50 | 1,5—0,1 | 48—29,5 | Следы | От +20 до —25 | Нагрев под закалку и отжиг углеродистых и легированных марок стали; цементация с добавкой метана, пропана или бутана |
| | Крекированный метанол | Крекированный метанол | Метанол | 31 | 2 | 65 | 2 | — | — | —30 | |
| | Эжекция жидкости в печи | — | Спиртовые смеси | 5—25 | 0—0,3 | 30—50 | 5—25 | Остальное | 0—1 | — | |
| | Древесно-угольный газ | Древесно-угольный газ | Древесный уголь | 30—35 | Следы | 0,5—1,5 | Следы | 69,5—63,5 | Следы | — | |
| | Сжигание с различной степенью осушки | Экзогаз I, II, III | Городской, природный, коксовый промышленный газы | 0,5—15 | 10—3 | 0,5—2,5 | 0—1 | 89—56 | 0—0,01 | От +20 до —10 | |

| Класс | Тип | Характеристика | Объемная доля, % | | | | | | | Точка росы, °С | Назначение |
|---------------------|--|----------------|-----------------------------------|----------------|----------------|---------|-------|------------|----------|----------------|--|
| | | | Исходный материал | Оксид углерода | Углекислый газ | Водород | Метан | Азот | Кислород | | |
| Эндотермический газ | Сжигание и удаление CO_2 и H_2O | Моногаз I | Метан, бутан, пропан | 0,5—1,5 | 0,5—0 | 0,5—2,5 | 0—1 | 98,5—95 | 0—0,01 | От +13 до -50 | Нагрев под закалку и отжиг углеродистых и легированных марок стали; цементация с добавкой метана, пропана или бутана |
| Экзотермический газ | Сжигание, конверсия CO и удаление CO_2 и H_2O | Моногаз II | Нефть, керосин, дизельное топливо | 0,5—2 | 0,5—0 | 0,5—2,5 | 0—1 | 98,5—94,5 | 0—0,01 | От +13 до -50 | Отпуск углеродистых и легированных марок сталей |
| | Сжигание и полное удаление CO , CO_2 и H_2O | Моногаз III | Нефтяное масло | Следы | Следы | 0,5—2,5 | 0—1 | 99,5—96,5 | 0—0,01 | От +13 до -50 | |
| РТС-газ | После удаления CO_2 , O_2 и H_2O из городского и природного газа | — | Городской и природный газ | 10—20 | 0—0,2 | 40—60 | 15—25 | Остаточное | 0—0,1 | — | — |

179. Взрывоопасность газовых компонентов

| Газ | Воспламеняемость при содержании газа в смеси воздух—газ, % | | Температура воспламенения, °С |
|----------------|--|--------|-------------------------------|
| | низшая | высшая | |
| Метан | 5,0 | 15,0 | 650—705 |
| Пропан | 2,87 | 9,50 | 518 |
| Водяной пар | 6,40 | 37,7 | — |
| Окись углерода | 12,50 | 74,20 | 643—658 |
| Водород | 4,0 | 74,20 | 580—590 |

180. Свойства контролируемых атмосфер

| Контролируемые атмосферы | Плотность | Теплопроводность | Взрывоопасность |
|---|------------------------|------------------|-----------------|
| | по отношению к воздуху | | |
| Воздух | 1,000 | 1,000 | — |
| Экзогаз, полученный при полном сжигании природного газа | 1,030 | 0,994 | — |
| То же с удалением CO_2 и H_2O | 0,954 | 1,118 | — |
| Экзогаз, полученный при частичном сжигании ($\alpha = 0,6$) | 0,858 | 1,878 | + |
| То же с удалением CO_2 и H_2O | 0,825 | 1,929 | + |
| Эндогаз ($\alpha = 0,35$) | 0,798 | 2,663 | + |
| » ($\alpha = 0,24$) | 0,622 | 3,228 | + |
| Диссоциированный аммиак | 0,295 | 5,507 | + |
| То же после частичного сжигания с воздухом | 0,755 | 2,442 | + |
| То же после полного сжигания с воздухом | 0,963 | 1,059 | — |
| Высоководородный газ | — | — | + |
| Очищенный водород | 0,069 | 7,01 | + |
| » азот | 0,972 | 0,999 | — |
| » аргон | 1,379 | 0,745 | — |
| » гелий | 0,137 | 6,217 | — |

Примечание. Знак плюс указывает на наличие взрывоопасности, знак минус — на ее отсутствие.

181. Области применения эндотермических атмосфер,
получаемых в промышленных установках типа ЭН

| Вид термической обработки | Обрабатываемый материал | Диапазон температур, °С | Требования к качеству | |
|-----------------------------|---|-------------------------|------------------------------|---|
| | | | поверхностных слоев | поверхности |
| Отжиг (при коротких циклах) | Средне-, высокоуглеродистые стали | 650—800 | Отсутствие обезуглероживания | Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) |
| | Легированная сталь | 700—870 | | Чистая поверхность (потерявшая первоначальный цвет) |
| | Быстрорежущая сталь | 800—900 | | |
| Нормализация | Среднеуглеродистая, высокоуглеродистая и легированная стали | 810—1100 | | Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) |
| Закалка | Средне-, высокоуглеродистая и цементированная стали | 760—950 | | |

Примечания: 1. Приведенные требования к качеству поверхности действительны для режимов термической обработки, выполняемых без контакта изделий с воздухом. 2. Коэффициент избытка воздуха — 0,25.

**182. Области применения экзотермических атмосфер,
получаемых в промышленных установках типа ЭК**

| Вид термической обработки | Обрабатываемый материал | Диапазон температур, °С | Характеристика защитной атмосферы | Требования к качеству | |
|---------------------------|---|-------------------------|---|------------------------------|---|
| | | | | поверхностных слоев | поверхности |
| Отжиг | Малоуглеродистая сталь | 650—730 | Неочищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | — | Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) |
| | Средне-, высокоуглеродистая и легированная стали | 650—870 | Очищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | Отсутствие обезуглероживания | Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) или чистая (потерявшая первоначальный цвет) |
| | Нержавеющая сталь | 980—1150 | Неочищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | — | Чистая поверхность (потерявшая первоначальный цвет) |
| | Быстрорежущая сталь | 800—900 | Очищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | Отсутствие обезуглероживания | |
| | Медь | 260—650 | Неочищенная $\alpha = 0,9 \div 0,95$ | — | Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) |
| | Медно-никелевые сплавы | 430—760 | Неочищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | — | |
| | Латунь и бронза | 430—760 | Неочищенная $\alpha = 0,9 \div 0,95$ | — | Чистая поверхность (потерявшая первоначальный цвет) |
| Нормализация | Малоуглеродистая сталь | 870—1000 | Неочищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | — | Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) или чистая (потерявшая первоначальный цвет) |
| | Легированная, средне- и высокоуглеродистая стали | 810—1100 | Очищенная $\alpha = 0,7 \div 0,8$ | Отсутствие обезуглероживания | |
| Закалка | Средне-, высокоуглеродистая, цементированная и легированная стали | 760—950 | Очищенная $\alpha = 0,6 \div 0,7$ | | |

Примечание. Приведенные требования к качеству поверхности действительны для режимов термической обработки, выполняемых без контакта изделий с воздухом.

183. Значения температуры точки росы для различного объемного содержания Н₂О в газах

| Температура точки росы, °С | Объемная доля влаги, % | Температура точки росы, °С | Объемная доля влаги, % | Температура точки росы, °С | Объемная доля влаги, % |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| -20 | 0,102 | 1 | 0,652 | 12 | 1,40 |
| -15 | 0,164 | 2 | 0,701 | 13 | 1,50 |
| -10 | 0,257 | 3 | 0,753 | 14 | 1,60 |
| -8 | 0,306 | 4 | 0,810 | 15 | 1,71 |
| -6 | 0,364 | 5 | 0,868 | 16 | 1,82 |
| -5 | 0,397 | 6 | 0,930 | 17 | 1,95 |
| -4 | 0,432 | 7 | 0,998 | 18 | 2,08 |
| -3 | 0,471 | 8 | 1,070 | 19 | 2,22 |
| -2 | 0,512 | 9 | 1,140 | 20 | 2,36 |
| -1 | 0,558 | 10 | 1,220 | | |
| -0 | 0,605 | 11 | 1,310 | | |

184. Допустимые пределы колебания температуры точки росы в эндотермических атмосферах

| Температура, °С | Пределы колебания при массовой доле углерода в стали, % | | | | | | | |
|-----------------|---|------|---------|-----|---------|-------|---------|-------|
| | 0,3—0,4 | | 0,4—0,5 | | 0,5—0,6 | | 0,6—0,7 | |
| | От | До | От | До | От | До | От | До |
| 770—840 | +18 | +27 | +14 | +18 | +13 | +16 | +12 | +14 |
| 840—900 | +10 | +16 | +8 | +12 | +4 | +8 | +2,5 | +4,5 |
| 900—955 | +4 | +10 | +2 | +4 | 0 | +2 | -2 | 0 |
| 955—1010 | 0 | +4 | -2 | +1 | -3,5 | -1,5 | -6 | -4 |
| 1010—1065 | -2 | +1 | -4 | -2 | -6 | -4 | -7 | -5 |
| 1065—1120 | -4 | -2 | -6 | -4 | -7 | -5 | -8,5 | -7 |
| 1120—1180 | -6 | -4 | -7 | -5 | -9 | -7 | -9 | -7 |
| 1180—1230 | -9 | -7 | -9 | -7 | -10 | -8,5 | -10 | -9 |
| Температура, °С | Пределы колебания при массовой доле углерода в стали, % | | | | | | | |
| | 0,7—0,8 | | 0,8—0,9 | | 0,9—1,0 | | 1,0—1,1 | |
| | От | До | От | До | От | До | От | До |
| 770—840 | +10 | +12 | +8,5 | +10 | +7 | +8,5 | +6,5 | +7,5 |
| 840—900 | 0 | +2,5 | -2 | 0 | -4 | -2 | -5 | -4 |
| 900—955 | -4 | -2 | -6 | -4 | -7 | -5 | -9 | -7 |
| 955—1010 | -7 | -5 | -9 | -7 | -9 | -7 | -9 | -8 |
| 1010—1065 | -8,5 | -7 | -9 | -7 | -10 | -9 | -10,5 | -10 |
| 1065—1120 | -9 | -8,5 | -10 | -9 | -10,5 | -10 | -11 | -10,5 |
| 1120—1180 | -9 | -8 | -10 | -9 | -11 | -10,5 | -11,5 | -11 |
| 1180—1230 | -10 | -9 | -10,5 | -10 | -11,5 | -11 | -12 | -11,5 |

185. Влияние температуры печи на точку росы и состав атмосферы

| Компоненты атмосферы * | Объемная доля компонентов атмосферы до ввода в печь (из генератора), % | Объемная доля компонентов атмосферы в печи (%) при температуре, °С | | | |
|----------------------------|--|--|------|------|-------|
| | | 760 | 870 | 980 | 1000 |
| Оксид углерода | 20,2 | 20,2 | 20,4 | 20,4 | 20,6 |
| Водород | 41,4 | 41,2 | 41,9 | 42,3 | 42,4 |
| Метан | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| Температура точки росы, °С | -6,7 | -3,9 | -5,0 | -8,9 | -10,6 |

Примечание. Количество углекислого газа и кислорода — незначительное.

* Азот — остальное.

186. Зависимость состава эндогаза от соотношения воздух—газ в исходной смеси

| Соотношение воздух—газ | Состав эндогаза (объемная доля, %) * | | | | | Температура точки росы, °С |
|------------------------|--------------------------------------|----------------|------|-----------------|------------------|----------------------------|
| | CO ₂ | H ₂ | CO | CH ₄ | H ₂ O | |
| 2,6 | 0,2 | 39,0 | 19,4 | 0,4 | 0,226 | -12,5 |
| 2,65 | 0,4 | 38,6 | 18,5 | 0,4 | 0,450 | -4,0 |
| 2,75 | 0,6 | 38,4 | 17,4 | 0,3 | 0,747 | +3,0 |

* Азот — остальное.

187. Влияние атмосферы в печи на скорость нагрева изделий

| Изделие | Температура печи, °С | Время нагрева до 700 °С, мин | | Время охлаждения до 250 °С, мин | |
|---------|----------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | в атмосфере воздуха | в атмосфере защитного газа | в атмосфере воздуха | в атмосфере защитного газа |
| Труба | 850 | 2,5 | 3,75 | 13,0 | 19,0 |
| Цилиндр | 850 | 8,65 | 12,3 | 25,0 | 25,0 |

Примечание. Объемный расход газа или воздуха 2,3 м³/ч.

188. Технические характеристики литых труб, применяемых для эндогенераторов

| Параметры | Наружный диаметр, мм | |
|--------------------------------|----------------------------|-----------|
| | до 140 | 200—300 |
| Длина, мм | 1600—1900 | 3150—4660 |
| Минимальная толщина стенки, мм | 15 | 30 |
| Внутренний диаметр, мм | Не менее 50 % от наружного | |

Зависимость состава эндогаза от соотношения воздух—газ в исходной смеси приведена в табл. 186.

Среди многих факторов, влияющих на эффективность нагрева лучеиспусканием, следует выделить состояние поверхности нагреваемого металла. При нагреве в контролируемых атмосферах сталь со светлой поверхностью воспринимает почти в два раза меньше лучистой энергии, чем сталь с окисленной поверхностью. Поэтому при прочих равных условиях изделия в среде контролируемых атмосфер нагреваются дольше, чем в печах с окислительной атмосферой. Это иллюстрируется данными табл. 187, где указано влияние атмосферы в печи на время нагрева стальных изделий с различной поверхностью (в зависимости от состава атмосферы).

189. Основные технические характеристики ротаметров

| Обозначение | Наибольшее допустимое рабочее давление, МПа | | Пределы измерения | | | | Длина шкалы, мм | Материал поплавка | Габаритные размеры, мм | |
|-------------|---|------|-------------------|------|---------------|-------|-----------------|---|------------------------|---|
| | жидкости | газа | воды, л/ч | | воздуха, м³/ч | | | | | |
| | | | от | до | от | до | | | | |
| РС-3 | 0,6 | 0,4 | — | — | 0,04 | 0,35 | 200 | Эбонит Дюралюминий Сталь 1X18H9T | ∅ 24 × 400 | |
| | | | 1,6 | 14 | 0,10 | 0,63 | — | | | |
| РС-5 | 0,6 | 0,4 | — | — | 0,63 | 4,00 | 250 | Эбонит Дюралюминий То же » Сталь 1X18H9T | ∅ 95 × 460 | |
| | | | 16,0 | 100 | — | — | | | | — |
| | | | 25,0 | 160 | — | — | | | | — |
| | | | — | — | 1,60 | 10,10 | | | | — |
| РС-7 | 0,5 | 0,3 | — | — | 6,30 | 25,00 | 350 | Эбонит Дюралюминий | ∅ 150 × 640 | |
| | | | 160,0 | 1000 | — | — | — | | | |

190. Огнеупоры, имеющие удовлетворительную стойкость в углеродистых средах (эндогаз, экзогаз, цементационная среда)

| Материал | Рекомендуемая температура и область применения | Огнеупорность, °С | Пористость, % | Температура отжига, °С |
|-------------------------------|---|-------------------|---------------|------------------------|
| Корундовый легковес | До 1300 °С. Для огнеупорного слоя в печах с любыми углеродсодержащими средами | — | 68,2—72,0 | 1460 |
| Ультралегковес БЛ-04 | До 1100 °С. Для огнеупорного и теплоизоляционного слоев в печах | 1690 | 80—81 | 1250 |
| Ультралегковес с тальком | | 1670 | 80 | 1270 |
| Кордиерит | До 1400 °С. Детали для крепления нагревателей в печах | 1500 | 23—32 | — |
| Доменный шамот, класс А | 800—1200 °С | 1730 | 18—20 | 1420 |
| Перлиталь | 20—750 °С Для теплоизоляции печей | — | — | — |
| Перлит на керамической связке | | | | |

Технические характеристики труб центробежного литья для реторт из стали марки X18H25C2, применяемых для эндогенераторов, приведены в табл. 188. Основные характеристики ротаметров даны в табл. 189, данные по стойкости огнеупоров в различных атмосферах приведены в табл. 190.

Г Л А В А XI

БЕЗДЕФОРМАЦИОННАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

45. Источники деформации изделий

При изготовлении деталей машин деформации неизбежны. Они образуются главным образом из-за внутренних напряжений, возникающих при формообразовании отливок, горячей и холодной штамповке, механической обработке и сварке. Деформации образуются также при транспортировании изделий. Наибольшие деформации имеют место при термической обработке как в результате собственных напряжений (термических и структурных), так и за счет релаксации ранее имевшихся в изделии напряжений, возникших на различных технологических этапах при изготовлении детали до выполнения термической обработки.

Внутренние напряжения. К ним следует отнести временные (структурные и термические) напряжения, возникающие в процессе термической обработки, и остаточные, образующиеся в изделии на предыдущих этапах его изготовления, главным образом при формообразовании (литье, штамповке, механической обработке и др.).

При термической обработке наиболее опасными напряжениями, приводящими к деформациям, являются структурные, возникающие в процессе фазовых превращений вследствие разных удельных объемов исходных и образующихся фаз.

Фазовые превращения в стали вызывают следующие изменения объема (%) при переходе:

| | |
|--|--------------------|
| сфероидизированного перлита в аустенит | 4,64 + 2,21 × (%C) |
| аустенита в мартенсит | 4,64 — 0,53 × (%C) |
| сфероидизированного перлита в мартенсит | 1,68 × (%C) |
| аустенита в нижний бейнит | 4,64 — 1,43 × (%C) |
| сфероидизированного перлита в нижний бейнит | 0,78 × (%C) |
| аустенита в верхний бейнит | 4,64 — 2,21 × (%C) |
| сфероидизированного перлита в верхний бейнит | 0 |

Из приведенных данных нетрудно видеть возможность возникновения значительных напряжений в процессе фазовых превращений при термической обработке. Указанное положение подтверждается практикой термической обработки. При закалке изделий из среднеуглеродистых марок стали увеличение объема составляет 0,85—1,0 %, а для высокоуглеродистых — эта цифра снижается до 0,1—0,3 %. Увеличение объема при закалке изделий из среднелегированных марок стали составляет 0,3—0,5 %.

Неравномерность нагрева и охлаждения изделий. Неравномерность нагрева имеет место при неправильной конструкции или плохом изготов-

лени газовых или электрических печей, в которых поверхности изделий нагреваются неравномерно с большим перепадом температур.

При закалке неравномерность нагрева и охлаждения нередко приводит к браку по деформациям вследствие нарушения одновременности охлаждения по сечению изделия. Например, в процессе закалки при погружении плашмя в охлаждающую среду изделий типа стержней (сверла, ножи и др.).

Действие собственной массы изделий при нагреве и выдержке. В области высоких температур сталь становится настолько пластичной, что может деформироваться под действием собственной массы или массы вышележащих изделий. Изделия большой протяженности и малого сечения при нагреве печи вследствие неровности пода могут в области высоких температур провисать под действием собственной массы. Чтобы избежать этого, подобные изделия нагревают в шахтных печах или ваннах в вертикальном положении. Однако при нагреве изделий сложной конфигурации с выступами консольного типа или при загрузке изделий в печь в несколько рядов такие деформации неизбежны. Провисание деталей под действием собственной массы усиливается при переходе через критические точки вследствие явления сверхпластичности материала.

Выше были рассмотрены основные источники, вызывающие деформации в процессе термической обработки. Следует также рассмотреть некоторые факторы, уменьшающие или усиливающие деформации.

Прочность материала изделий влияет на образующиеся деформации как при нагреве, так и при охлаждении. Изделие, изготовленное из более прочного материала, менее склонно к деформациям при прочих равных условиях, чем изделие, изготовленное из менее прочного материала.

Размер зерна, образующегося в изделии при нагреве под термическую обработку, влияет на возникающие деформации. Крупное зерно приводит к повышенной деформации, что связано, по-видимому, с двумя обстоятельствами — увеличением прокаливаемости и снижением прочности материала. Результаты систематических наблюдений за сталью марки 20ХНМ показывают, что при изготовлении конических шестерен со спиральным зубом ведущего моста автомобиля ГАЗ-51 наибольшие деформации после термической обработки имели место при применении стали крупнозернистых плавок, когда за предел допуска по деформациям вышло 36 % шестерен, тогда как шестерен из стали с мелким зерном аустенита отсеивалось 3,6 %, т. е. в десять раз меньше.

Форма изделий оказывает существенное влияние на деформации, которые образуются при термической обработке. Изделия сложной несимметричной формы с выступами склонны к деформациям и делают нередко невыполнимым получение заданных механических свойств. Для создания технологичной формы изделий с целью получения минимальных деформаций при термической обработке должны учитываться следующие основные требования: необходимо избегать в изделиях острых углов, резких переходов, большой разницы в сечении, консольных выступов и глухих отверстий; для выравнивания или уменьшения напряжений приходится вводить дополнительные симметричные отверстия, шпоночные канавки, выступы и т. п.

Скорость охлаждения при термической обработке должна быть оптимальной или незначительно превышать критическую. Значительное превышение критической скорости охлаждения приводит к возрастанию термических напряжений и к усиленным деформациям, а иногда и трещинам. Поэтому подбор оптимальных закалочных сред приобретает важное значение.

46. Методы преодоления деформаций

Деформации при термической обработке неизбежны. В зависимости от многих обстоятельств, рассмотренных выше, они отличаются лишь величиной. При бездеформационной термической обработке деформации также будут, но они настолько малы, что не имеют практического значения, поэтому и применяется термин «бездеформационная термическая обработка».

Многолетним опытом машиностроительных заводов разработаны способы и приемы предупреждения или уменьшения деформаций в процессе термической обработки изделий. Для удобства изложения эти способы разделим на две группы: способы, предупреждающие деформации, и способы, уменьшающие или ликвидирующие деформации.

К первой группе относятся:

- 1) создание технологичных форм изделий;
- 2) применение легированных и специальных марок стали, не требующих резкого охлаждения при закалке;
- 3) увеличение припусков на механическую обработку.

При создании технологичной формы изделий деформации можно значительно снизить. Однако во многих случаях конструкторы пресекают детали без участия технологов-термистов, что нередко приводит к созданию нетехнологичных конструкций изделий.

В тех случаях, когда с целью уменьшения деформаций невозможно создать технологичную форму изделия, применяют легированные марки стали с малой критической скоростью закалки, которые позволяют получать заданные физико-механические свойства в процессе закалки при небольших скоростях охлаждения — в масле или на воздухе. В последнее время широко применяются высоколегированные мартенситостареющие марки стали. Ввиду того, что максимальное упрочнение такой стали достигается в процессе старения при 450—500 °С, изделия, изготовленные из этих марок стали, не склонны к деформации.

Увеличение припусков на изделиях при термической обработке позволяет уложиться с деформациями в пределы припуска на последующую механическую обработку, при этом сопротивляемость деформации в процессе термической обработки возрастает, так как изделие из-за увеличенных припусков становится более «жестким». Этот простой и давно применяемый технологами способ, однако, нельзя назвать удовлетворительным, так как увеличение припусков сдерживает широкое внедрение в промышленность прогрессивных способов формообразования изделий — точного литья, точной штамповки и др. При увеличении припусков возрастает трудоемкость механической обработки и снижается качество и долговечность изделий, так как в стружку удаляются наиболее качественные слои металла, переходящие из слитка в деталь. Поэтому, при наличии других более прогрессивных способов предупреждения деформаций увеличения припусков на механическую обработку деталей следует избегать.

Ко второй группе относятся способы, уменьшающие или ликвидирующие деформации.

Закалка под давлением. Этот способ находит широкое применение в условиях массового и крупносерийного производства. Он требует применения специализированного закалочного оборудования — закалочных прессов, предусматривает фиксирование формы изделия при закалке в прессе с одновременным охлаждением в соответствующей закалочной среде. Закалка под давлением применяется для шестерен, дисков, распределительных валов и др. Форма при закалке может

фиксируются одновременно по различным плоскостям в зависимости от конструкции применяемого штампа; например, при закалке шестерен форма фиксируется одновременно по зубу, внутреннему диаметру и торцу.

В табл. 191 приведены типы и характеристика закалочных прессов, применяемых для закалки под давлением.

Закалка в горячих средах. Еще основоположники научного металлостроения П. П. Аносов и Д. К. Чернов показали, что выдержка закаливаемой стали при температуре около 200 °С с дальнейшим охлаждением на воздухе снижает деформации и улучшает механические свойства. Этот вид термической обработки, получивший в дальнейшем название *изотермической* или *ступенчатой закалки*, получил широкое распространение. В практике термической обработки чаще применяется ступенчатая закалка с промежуточным охлаждением в расплавленных щелочах или солях.

Применение изотермической закалки не всегда удобно из-за длительности процесса. Скорость охлаждения после изотермической выдержки влияет на величину образующихся деформаций. Наилучшие результаты достигаются при охлаждении на воздухе, несколько худшие — при охлаждении в масле; охлаждение в воде не рекомендуется из-за возникающих значительных напряжений. Закалка в горячих маслах требует применения специальных масел с повышенной температурой вспышки применительно к данному оборудованию и деталям. При этом закалочные баки должны быть укомплектованы индивидуальными маслоохладительными установками.

Как показала практика заводов, при закалке в горячих маслах наилучшие результаты по деформациям получаются при температуре масла 110—130 °С для термоулучшаемых марок стали и 50—80 °С для цементируемых марок стали.

Совмещение термической обработки с вращением. Этот способ широко применяется для изделий типа валов. Рассмотрим в качестве примера азотирование коленчатых валов, совмещенное с их вращением в течение всего процесса. Крупногабаритные коленчатые валы длиной до 4 м устанавливаются на специальных стендах, смонтированных в печи типа СНА с размерами рабочего пространства 3 × 4,5 × 2 м. На каждый стенд устанавливается три коленчатых вала. Стенд имеет механизм вращения, обеспечивающий вращение валов в течение всего процесса азотирования, продолжающегося 90 ч. Вращение валов при азотировании почти полностью исключает деформации. После азотирования и легкого полирования шеек коленчатые валы устанавливаются на дизеле. Широко применяется вращение распределительных валов в роликовой машине при закалке их в масле, при этом возникают незначительные деформации.

Холодная и горячая правки. Этот способ уменьшения или полной ликвидации деформации после термической обработки нельзя назвать прогрессивным. Правка — трудоемкая операция, она нередко приводит к поломке изделий. Холодная правка изделий снижает предел усталости до 20 %. После правки снижается также пластичность металла. Говоря о недостатках правки, следует отметить, что изделия после холодной правки в процессе последующего нагрева на снятие напряжений деформируются. Таким образом, правка изделий не может быть рекомендована для широкого внедрения в производство.

Применение промежуточных отжигов. Этот способ уменьшения деформаций, возникающих в процессе термической обработки, весьма радикален и в настоящее время находит все большее применение. При механической обработке (перед термической обработкой) в поверхно-

191. Типы и характеристика закалочных прессов, применяемых для закалки под давлением

| Закалочный пресс | Техническая характеристика | | | | | | | | | | | | Назначение |
|------------------|----------------------------------|------------|--|-----------------|--|------------------------------------|------------|-------------------------|------------------|--|------------------------|----------|--|
| | Диаметр закаливаемых изделий, мм | | Наименьший диаметр отверстия изделия, мм | | Наибольшая толщина закаливаемого изделия, мм | Продолжительность цикла закалки, с | | Максимальное усилие, кН | Ход пуансона, мм | Расстояние между опорными плоскостями в закрытом положении, мм | Габаритные размеры, мм | Масса, т | |
| | наибольший | наименьший | с расширителем | без расширителя | | наибольшая | наименьшая | | | | | | |
| Модель 5770 | 320 | 140 | 95 | 45 | 100 | 95 | 10 | 250 | 350 | 260 | 2,9×1,7×2,4 | 6,0 | Закалка зубчатых колес |
| » 5771 | 635 | 500 | — | — | 75 | — | — | 60 | — | — | 2,1×1,2×2,3 | 6,5 | Закалка конических и цилиндрических зубчатых колес и других плоских изделий |
| » 5771А | 500 | 200 | 125 | 60 | 75 | 360 | 10 | 69 | 300 | 215 | 2,1×1,4×2,0 | 3,3 | Закалка конических (тарельчатого типа), цилиндрических зубчатых колес, колец и плоских изделий |
| » 5772 | 800 | 300 | 150 | 55 | 200 | 1020 | 60 | 300 | 500 | 215 | 3,0×2,3×3,0 | 10,0 | Закалка цилиндрических и конических зубчатых колес плоского типа |

стном слое возникают пластические деформации, вызывающие наклеп, сопровождаемый остаточными внутренними напряжениями. При нагреве (под термическую обработку) вследствие релаксации напряжений изделия могут деформироваться. Применение промежуточных отжигов в процессе механической обработки позволяет ликвидировать образующиеся деформации, укладываемые в пределах припуска на обработку: таким образом, перед последней операцией механической обработки (перед термической обработкой) обрабатываемое изделие практически будет без внутренних напряжений, тем самым будет ликвидирован возможный источник деформаций при термической обработке.

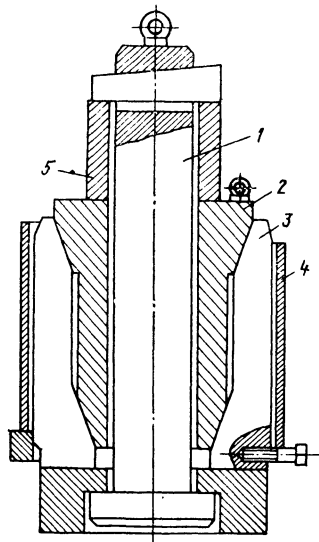


Рис. 20. Оправка с автономным осаживающим устройством

Горячая правка методом термического натяжения. Этот способ может с успехом применяться для полых изделий сравнительно небольшого сечения. В качестве примера приведем правку листовых обечайек из стали марки Х18Н9Т, диаметром 300—500 мм, толщиной стенки 6—8 мм. Использование для этой цели оправки с раздвижными секторами и автономным устройством для создания усилия при нагреве (рис. 20) обеспечивает достаточную радиальную деформацию в процессе отжига и практически исправляет любую эллиптичность обечайек указанного типа.

Оправка состоит из центрального стержня 1, изготовленного из стали марки Х17Н2 с низким коэффициентом термического расширения, промежуточной втулки 2 с наружными конусами, втулки 5 и раздвижных секторов 3, изготовленных из стали марки Х18Н9Т с высоким коэффициентом термического расширения. При нагреве промежуточная втулка 2 и втулки 5, удлиняясь больше стержня, разжимают секторы 3, сprofilированные по диаметру обечайки 4, и, устраняя эллиптичность, придают изделию правильную форму.

При высоте осаживающего устройства 1 м, температуре отжига 750 °С и конусе промежуточной втулки 70° радиальная раздача секторов составляет 8 мм, т. е. оправка может устранить эллиптичность 16 мм.

Таким образом, отжиг обечайек на оправках с раздвижными секторами и с автономным источником радиального усилия, основанного на различиях коэффициента линейного расширения материалов оправки, эффективно уменьшает эллиптичность обечайек, изготовленных из листовой стали. Изложенный способ горячей правки можно применять для изделий широкой номенклатуры.

Термоправка тонкостенных цилиндрических изделий. Этот способ позволяет совместить процессы термической обработки (отжиг, закалку) с фиксированием требуемой формы. Если нагретое изделие надеть на оправку и продолжать совместно нагревать до требуемой температуры, то при коэффициенте линейного расширения материала оправки больше коэффициента линейного расширения материала изде-

ля зазор между оправкой и изделием исчезнет. При охлаждении (со скоростью, соответствующей данному виду термической обработки) одновременно с термической обработкой происходит процесс правки изделия, так как находящееся снаружи изделие охлаждается быстрее (рис. 21), кроме того, масса изделия значительно меньше массы оправки.

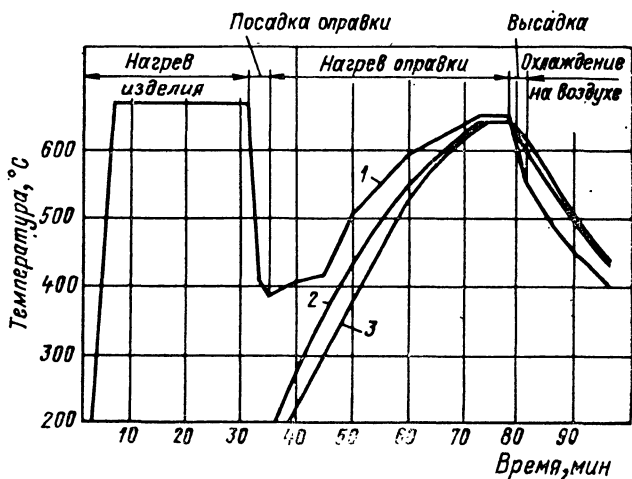


Рис. 21. Изменение температуры изделия и оправки при термоправке: 1 — температура изделия; 2 — температура внутренней поверхности оправки; 3 — температура тела оправки.

Если производится высокий отпуск, то после того, как температура охлаждения достигнет 200—300°C, изделие с оправкой помещают в воду. Изделие охлаждается быстрее оправки и образующийся зазор между ними позволяет легко их разъединить. Оправки изготавливаются из стали (марки 20) или чугуна. При применении чугуна марки СЧ 12-28 количество допустимых правок без переточки во время термоправки, совмещенной с отжигом, достигает 50.

47. Преодоление деформаций с использованием явления сверхпластичности сплавов

Рассматривая способы бездеформационной термической обработки, следует особо остановиться на т е р м о ф и к с а ц и и, которая сравнительно давно применяется в специальных видах производств, например, при закалке рессор автомобиля с фиксированием нужной формы в процессе этой операции, при фиксировании формы спиральных пружин на оправках при среднем отпуске, при создании требуемого зазора в замке поршневых колец при 500—550°C и др. В основе перечисленных способов термофиксации, дающих весьма хорошие результаты, лежит использование явления сверхпластичности, кратковременно возникающей в стали (и других сплавах) в процессе фазовых превращений при термической обработке. В настоящее время это явление подробно исследовано

и имеется реальная возможность сознательного его использования для бездеформационной термической обработки. Теперь возможно управлять процессом термофиксации, т. е. знать, в какой момент операции и какой величины прикладывать нагрузку. Известно, что пластичность стали в процессе фазовых превращений (сопутствующих операциям термической обработки) возрастает от 3 до 20 раз в зависимости от вида фазовых превращений, химического состава стали и других причин. Аномальное увеличение пластичности происходит, как правило, в интервале времени и температур фазового превращения, что позволяет использовать сверхпластичность стали для практических целей.

Наибольшее увеличение пластичности происходит при закалке во время превращения аустенита в мартенсит (до 20 раз), при превращении остаточного аустенита в мартенсит (при обработке холодом) пластичность возрастает до 10 раз,

в процессе перлитного распада аустенита (отжиг, нормализация) пластичность возрастает в четыре-пять раз и в процессах при отпуске — в два-три раза. Следует отметить, что пластичность в температурном интервале фазового превращения увеличивается неравномерно. Максимальный эффект возрастания пластичности имеет место, как правило, в начальный период фазового превращения.

Таким образом, использование сверхпластичности решает задачу преодоления деформаций в процессе изготовления изделий при их

термической обработке. При этом достигаются следующие преимущества:

1) создаются предпосылки для термической обработки изделий в окончательно изготовленном виде, в результате чего достигаются повышение конструктивной прочности и улучшение эксплуатационных качеств изделий;

2) создаются условия для внедрения в производство прогрессивных методов формообразования изделий (точного литья, точной штамповки и др.), так как отпадает необходимость предохранения изделий от деформации за счет увеличенных припусков на механическую обработку;

3) снижаются издержки производства изготовления изделий за счет уменьшения трудоемкости механической обработки и экономии металла; улучшается качество изделий за счет ликвидации правочных операций;

4) создаются условия автоматизации процессов термической обработки при поточном производстве.

Прогрессивный метод бездеформационной термической обработки с использованием явления сверхпластичности сплавов используется на отечественных заводах и за рубежом. Приведем несколько примеров. Зубчатые колеса, коробки переключения передач трактора Т-100М изготавливаются из стали марки 20ХГНР и имеют шлицевое отверстие (рис. 22), шлицы эвольвентные с модулем 4,25 и 3,5 мм.

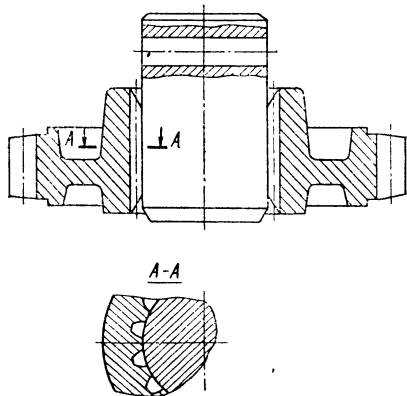


Рис. 22. Зубчатое колесо с оправкой

При обычной термической обработке (без оправок) при цементации в твердом карбюризаторе и закалке по диаметру отверстия возникали значительные деформации, в два-три раза превышающие допустимые.

Ликвидацию деформации удалось достигнуть применением гладких жестких оправок, на которые надевались шестерни после нагрева под закалку перед погружением в масло. В процессе фазовых превращений стали шестерни фиксировались на оправке на нужный размер. Вследствие того, что оправка касается изделия в отверстии по ограниченному плоскостям шлицев, закалочная жидкость свободно поступает в шлицевые пазы, создавая равномерную закалку по отверстию. После охлаждения оправка выпрессовывается на гидравлическом прессе.

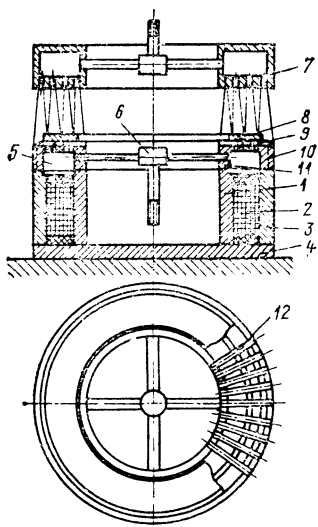


Рис. 23. Закалочное устройство с электромагнитной плитой

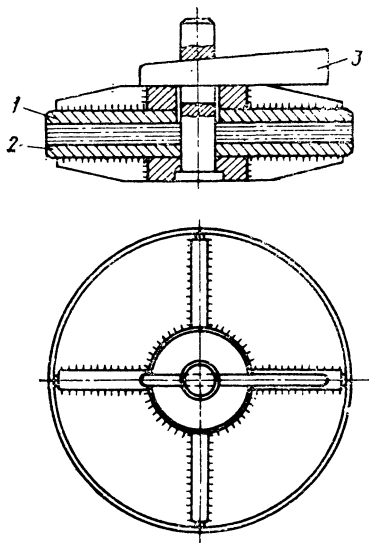


Рис. 24. Приспособление для правки плоского инструмента:

1 — прижим; 2 — основание; 3 — клин

Хорошие результаты дает закалка на электромагнитной плите плоских деталей типа дисков муфты трения (сталь марки 30ХГСА, наружный диаметр 380 мм, внутренний — 300 мм, толщина 4—6 мм, твердость HRC 28—35). На рис. 23 представлено закалочное устройство с электромагнитной плитой. Это кольцевой электромагнит с внешним притягивающимся якорем, в качестве которого служит закаливаемая деталь. Корпус магнита состоит из стальных колец 1 и 3, соединенных снизу основанием 4, а в верхней части — немагнитной вставкой 5. Между кольцами помещается обмотка 2. К корпусу прикреплены полоса в виде стальных колец 10 и 11. В зазор между полосами зачеканена латунная полоса 9. Внутри полюсов образуется кольцевой канал для подачи охлаждающей жидкости. Сверху на торцевой поверхности просверлены отверстия и профрезерованы радиальные пазы 12. Нагретую до закалочной температуры деталь 8 укладывают на включенную электромагнитную плиту. В кольцевую полость через патрубков 6 подается масло, которое затем через вертикальные отверстия и радиаль-

ные пазы поступает к закаливаемой детали. Одновременно деталь поливается маслом через спреер 7.

В процессе закалки немагнитная вначале деталь (в аустенитном состоянии) по достижении температуры мартенситного превращения притягивается плитой, что обеспечивает эффективное преодоление деформаций в интервале, когда сталь обладает сверхпластичностью. По окончании закалки в обмотку плиты на короткое время (1,5—2 с) подается обратный ток, что позволяет размагнитить закаливаемую деталь.

Маслоохлаждаемая электромагнитная плита должна найти широкое применение в промышленности как простое и в то же время надежное устройство для бездеформационной закалки плоских деталей.

При работе с маслоохлаждаемой электромагнитной плитой возможно довольно просто и в широких пределах изменять условия закалки (усилие заневоливания, длительность его приложения и другие характеристики) путем регулирования электрических параметров.

В последние годы осуществляется механизированная правка спиральных цилиндрических сверл в процессе закалки. После нагрева под закалку сверла подвергаются промежуточному охлаждению в жидкой среде при 300—650 °С, затем они поступают в многопозиционный автоматический правильный станок, где их зажимают между валками, вместе с которыми они вращаются под струей эмульсии, и, находясь в таком положении в течение мартенситного превращения, сверла остаются прямыми. Их биение обычно не превышает 0,03—0,08 мм, что допустимо.

Некоторые плоские инструменты из быстрорежущей стали (дисковые пилы, отрезные и прорезные фрезы, ножовочные полотна и др.) подвергают релаксационной правке при отпуске после закалки, их зажимают между двумя планшайбами (рис. 24), которые стягивают болтами или клином и помещают в отпускную печь. После каждого отпуски гайки зажимного приспособления подвертывают до отказа или подтягивают клин, что позволяет постепенно уменьшить деформацию инструмента.

Г Л А В А XII

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

48. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб

При изготовлении ответственных изделий предусматриваются механические испытания с целью контроля качества металла и термической обработки. Для этого из партии (садки) изделий, подвергавшихся термической обработке по одному режиму в одной и той же печи, выбирается некоторое количество изделий, из которых изготавливают стандартные образцы для исследования в лаборатории. * Количество испытываемых изделий и образцов оговаривается технологическим процессом.

* Иногда от изделия или полуфабриката отрезается часть металла без повреждения изделия, из которой изготавливают образцы для испытаний.

Испытание на растяжение при комнатной температуре. Испытания на растяжение проводятся на разрывных испытательных машинах, состоящих из следующих основных частей: механизма для нагружения (деформации) образца; механизма для передачи растягивающей силы; механизма для измерения растягивающей силы. Обычно применяются машины с разрывным усилием 20, 40, 50, 300 и 500 кН.

На рис. 25 показана универсальная машина с небольшим разрывающим усилием 50 кН, а на рис. 26 — схема этой машины. Нагружение в этой машине осуществляется вручную вращением рукоятки или от электромотора.

Вращение гайки 1 создает поступательное движение ходового винта 2 с захватом 3. Движение захвата вниз приводит к растяжению образца 4. Измерение растягивающего усилия осуществляется через захват 5, тягу 6, систему рычагов и маятник 7. Угловое перемещение маятника с помощью зубчатой рейки 8, и шестерни приводит к отклонению стрелки на шкале 9. Деления шкалы соответствуют различным нагрузкам. Машина снабжена диаграммным прибором 10 для автоматической записи кривой нагружения.

На рис. 27 показаны применяемые при испытании на разрыв типы образцов — круглый и плоский; размеры этих образцов даны в табл. 192. Утолщения на концах образцов сделаны для лучшего зажатия их в захватах машины. В процессе непрерывного нагружения при испытании на разрывной машине образец сначала растягивается (деформируется), а затем разрушается.

На рис. 28 показана кривая деформации образца под действием растягивающих усилий. По вертикальной оси отложена нагрузка, по горизонтальной — удлинение. До точки *a* образец деформируется упруго; после снятия нагрузки образец возвращается в первоначальное состояние. На участке *ab* при постоянной нагрузке P_s материал образца «течет». Затем для дальнейшей деформации образца нагрузка должна быть увеличена. После достижения в точке *c* максимального значения нагрузка уменьшается и в точке *d* происходит разрушение образца.

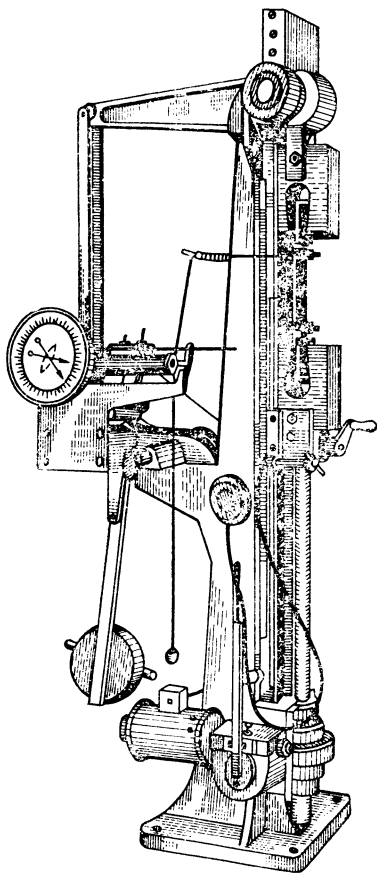


Рис. 25. Общий вид испытательной машины с разрывным усилием 50 кН

192. Основные размеры образцов (рис. 27), мм

| Круглый образец | | | Плоский образец | | | |
|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| Диаметр | Расчетная длина образца | | Ширина b_0 | Толщина a_0 | Расчетная длина образца | |
| | длинного l_0 | короткого l_0 | | | длинного l_0 | короткого l_0 |
| 25 | 250 | 125 | 30 | 25 | 310 | 155 |
| 20 | 200 | 100 | 30 | 20 | 270 | 140 |
| 15 | 150 | 75 | 30 | 15 | 240 | 120 |
| 10 | 100 | 50 | 30 | 10 | 200 | 100 |
| 8 | 80 | 40 | 30 | 8 | 170 | 85 |
| 5 | 50 | 25 | 20 | 5 | 120 | 60 |

По характеристикам деформации в зависимости от приложенного растягивающего усилия определяются механические свойства испытуемого металла.

Предел текучести (условный) * σ_{02} определяется как отношение нагрузки P_{02} к площади начального поперечного сечения образца F_0

$$\sigma_{02} = \frac{P_{02}}{F_0} .$$

Предел прочности σ_B определяется как

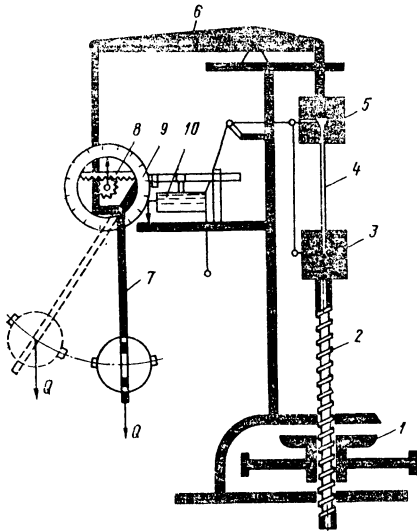


Рис. 26. Схема испытательной машины

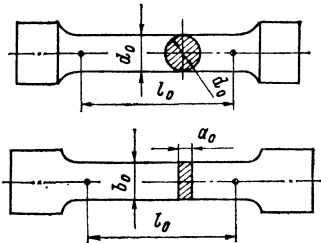


Рис. 27. Образцы для испытания на разрыв — круглый и плоский

отношение максимальной нагрузки P_{\max} к площади начального поперечного сечения образца F_0

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0} .$$

* Предел текучести (условный) определяется при условном напряжении, при котором остаточная деформация образца достигает 0,2 % от начальной расчетной длины образца. Применяется при исследовании материалов, у которых на диаграмме отсутствует площадка текучести.

Относительное удлинение δ определяется как отношение приращения длины образца $l_k - l_0$ после разрыва к первоначальной расчетной длине l_0 . Обычно это отношение умножают на 100 и получают значение относительного удлинения в процентах:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100.$$

Для определения относительного удлинения в средней части образца намечается рисками расчетная длина l_0 . Для определения l_k после разрыва складывают разорванные части образца (рис. 29) и измеряют расстояние между рисками.

Относительное сужение площади поперечного сечения ψ определяется как отношение уменьшения площади поперечного сечения образца $F_0 - F_k$ к первоначальной площади поперечного сечения. Обычно это отношение умножают на 100 и получают значение относительного сужения в процентах:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100,$$

где F_k — площадь поперечного сечения в месте разрыва (в шейке), для расчета которой штангенциркулем измеряют наименьший диаметр шейки d .

Испытание на растяжение при повышенной температуре. * Для исследования качества металла и термической обработки изделий, работающих в условиях высоких температур (например, изделий газовых и паровых турбин, котлов высокого давления и т. д.), механические

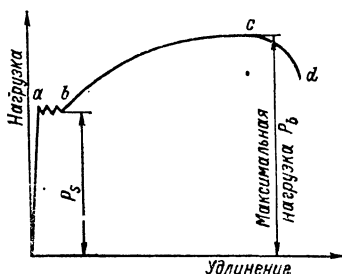


Рис. 28. Кривая деформации образца

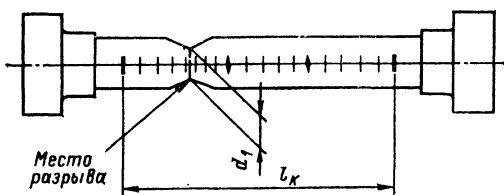


Рис. 29. Схема измерения длины l_k и наименьшего диаметра шейки d_1 после разрыва образца

свойства материала при растяжении проверяются при повышенных температурах. Испытания на растяжение при повышенных температурах бывают кратковременные и длительные.

При кратковременных испытаниях применяют такое же оборудование, как и для испытаний при комнатной темпера-

* Подобные испытания производятся и при отрицательных температурах, однако из-за ограниченного объема они в справочнике не рассматриваются.

туре. Цилиндрические образцы в захватах машины крепятся при помощи резьбового соединения. Надежное крепление плоских образцов достигается просверливанием отверстий в головках. Для поддержания необходимой температуры на образец надевается миниатюрная муфельная печь; температура в печи контролируется и регулируется термопарой и потенциометром. После того как образец прогревается до заданной температуры, производят растяжение и разрыв образца и определяют предел прочности σ_b , предел текучести $\sigma_{0.2}$, относительное удлинение δ и сужение площади поперечного сечения ψ .

При длительных испытаниях определяют способность материала переносить продолжительное нагружение в условиях повышенных температур. При этом измеряют предел длительной прочности и ползучесть, т. е. способность материала разрушаться и деформироваться при повышенных температурах в течение длительного времени. Испытания проводятся на специальных машинах с приложением к образцу постоянной нагрузки. Нагрев образца, укрепленного в резьбовых захватах, осуществляется в круглой муфельной печи, надетой на образец; температура в печи автоматически поддерживается постоянной.

Пределом длительной прочности при заданной температуре называется максимальное напряжение, которое выдерживает материал, не разрушаясь, при заданном времени испытания; время испытания называется *базой*.

Испытание на сжатие. Этот вид испытания применяется для материалов с повышенной хрупкостью (серый чугун и др.). Для проведения испытаний применяются специальные машины, а также обычные разрывные машины (см. рис. 25); в последнем случае применяют реверсоры. * В качестве образцов чаще всего используют цилиндры с отношением высоты к диаметру 1,0—2,0. Торцевые поверхности образцов должны быть строго параллельны. Для уменьшения трения об опорные площадки их покрывают специальной смазкой. При сжатии так же, как и при растяжении, можно полностью определить все характеристики механических свойств материала; однако чаще всего определяется только предел прочности (например, для чугунных изделий).

Испытание на изгиб. Этот вид испытания проводится главным образом для определения механических свойств хрупких материалов (чугуна). При изгибе устраняется существенный недостаток метода испытания на растяжение — перекося образца, что приводит к его преждевременному разрушению. Испытание проводится на специальных или на универсальных разрывных машинах, которые снабжены раздвигающимися опорами. Образцы для испытания имеют цилиндрическую форму. При испытании серого чугуна применяют образцы (палки) двух типов: \varnothing 30 мм и длиной 680 мм; \varnothing 30 мм и длиной 340 мм. Расстояние между опорами должны быть соответственно 600 и 300 мм.

49. Испытание на ударную вязкость

При определении вязкости стали наибольшее распространение получил способ испытания квадратных надрезанных образцов на ударный изгиб, который хорошо выявляет склонность стали к хрупкому разрушению. Схема расположения образца на копре приведена на рис. 30.

* Реверсор — приспособление, преобразующее растягивающее усилие в сжимающее.

Испытания проводятся на маятниковых копрах (рис. 31), при помощи которых определяется работа, затраченная на разрушение или изгиб образца. Отношение затраченной работы A_H к площади поперечного

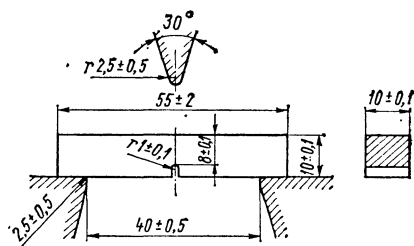


Рис. 30. Расположение образца на копре

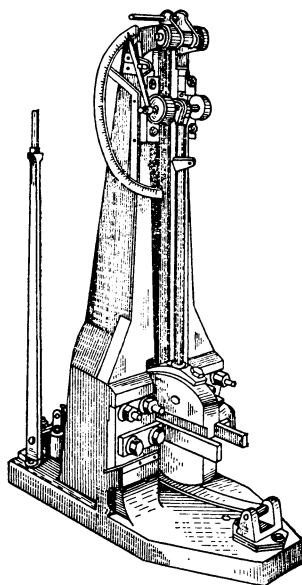


Рис. 31. Общий вид маятникового копра

сечения образца в месте надреза F называется *ударной вязкостью* материала:

$$a_H = \frac{A_H}{F},$$

где a_H — ударная вязкость, кДж/м².

50. Испытание на твердость

Под твердостью понимают сопротивление испытуемого металла вдавлению в него твердого металлического или алмазного наконечника. На этом основан принцип действия большинства приборов для определения твердости. Испытание на твердость — самый распространенный способ определения механических свойств материала и имеет широкое применение. Время, затрачиваемое на этот вид испытания, незначительно, а испытуемое изделие не повреждается.

Определение твердости методом вдавливания стального шарика (способ Бринелля). Число твердости по Бринелю H_B рассчитывается как среднее напряжение на единицу площади поверхности шарового отпечатка диаметром d и глубиной t , получаемого вдавливанием шарика диаметром D при нагрузке (силе) P (рис. 32).

Таким образом, HV определяется по формуле

$$HV = \frac{P}{F},$$

где P — сила, Н; F — поверхность шарового отпечатка, мм².

Для облегчения подсчета заранее составляются таблицы зависимости числа твердости от диаметра отпечатка d при определенных нагрузке и диаметре шарика. Диаметр отпечатка измеряется обычно при помощи лупы, вмонтированной в трубу компаратора вместе с прозрачной шкалой. Расчетные таблицы прилагаются к прибору.

На приборах типа Бринеля применяются сменные шарики из закаленной стали диаметром 10; 5, 2,5 мм. При стандартном испытании изделий применяется шарик диаметром 10 мм и нагрузка 29 420 Н. Для испытания на твердость изделий небольших размеров применяют шарики меньшего диаметра и при этом нагрузку уменьшают так, чтобы сохранилось соотношение $P = 30D^2$. Для цветных металлов $P = 10D^2$. На приборе Бринеля не рекомендуется испытывать металлы с твердостью выше HV 450 во избежание погрешности из-за деформации шарика.

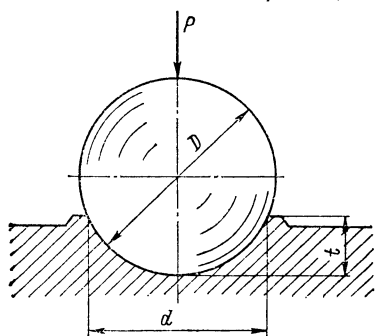


Рис. 32. Схема измерения твердости при вдавливании стального шарика

В основном способом приложения нагрузки — механическим (вручную или от электромотора) или гидравлическим. На рис. 33 показан наиболее распространенный прибор типа ТШ*.

Испытуемое изделие укладывают на опорный стол 3, а затем при помощи маховика 2 и подъемного винта 1 поднимают до соприкосновения с шариком 4, вставленным в шпиндель 5, и поджимают до упора. Шпиндель опирается на пружину 6, который создает предварительное нагружение до 10000 Н, что предотвращает смещение образца во время испытания. Полная нагрузка достигается посредством рычажной системы с грузами 8—10. Нагружение производится от электромотора 11, установленного на станине 7, через червячную передачу 13 и шатун 12.

Для получения правильного отпечатка необходимо, чтобы толщина образцов была равна десятикратной глубине отпечатка. Кроме того, центр отпечатка должен быть удален от края образца не менее чем на расстояние, равное диаметру шарика, а от центра соседнего отпечатка — на расстояние, равное двум диаметрам шарика.

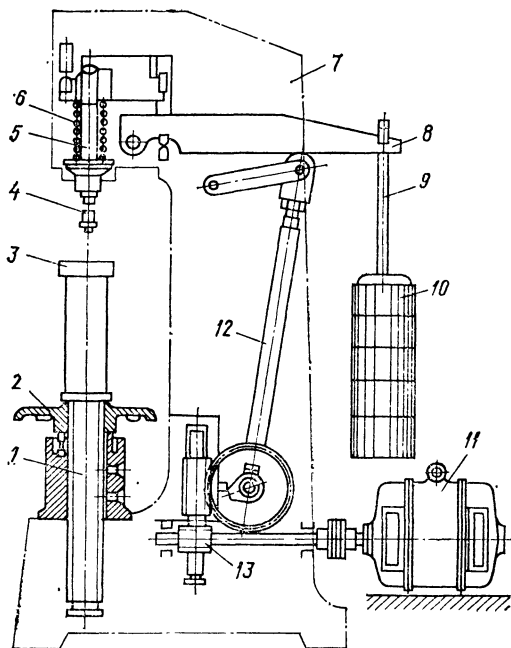
В табл. 193 приведены условия определения твердости по Бринелю для различных материалов.

При измерении твердости на образцах или изделиях с криволинейной поверхностью ширина подготовленной лыски должна быть:

| Диаметр шарика, мм | Ширина лысок, мм |
|--------------------|------------------|
| 10 | 20 |
| 5 | 10 |
| 2,5 | 5 |

* Твердомер с шариковым наконечником,

Рис. 33. Схема прибора ТШ для определения твердости методом вдавливания стального шарика



193. Условия определения твердости по Бринелю (ТШ)

| Материал | Твердость <i>НВ</i> | Толщина в месте проверки твердости, мм | Диаметр шарика, мм | Нагрузка, Н | Выдержка под нагрузкой, с |
|---|---------------------|--|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| Черные металлы | 140—150 | > 6 6—3 < 3 | 10 5 2,5 | 2 942 6 350 1 838 | 10 |
| | До 140 | > 6 6—3 < 3 | 10 5 2,5 | 29 420 6 350 1 838 | 30 |
| Твердые цветные металлы и сплавы (медь, латунь; бронза, магниевые сплавы и др.) | 32—130 | > 6 6—3 < 3 | 10 5 2,5 | 9 806 2 452 613 | 30 |
| Мягкие цветные металлы и сплавы (алюминий, подшипниковые сплавы и др.) | 8—35 | > 6 6—3 < 3 | 10 5 2,5 | 2 452 613 153 | 60 |

Диаметр отпечатка должен измеряться в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяться как среднеарифметическое из двух измерений.

Определение твердости по Роквеллу. При измерении твердости по Роквеллу определяется глубина проникновения в металл алмазного или стального наконечника.

На рис. 34 показан прибор ТК *. Маховик 11 служит для подъема столика 10 с испытуемым изделием до соприкосновения последнего с алмазным конусом 9, имеющим угол у вершины 120° . При подъеме столика

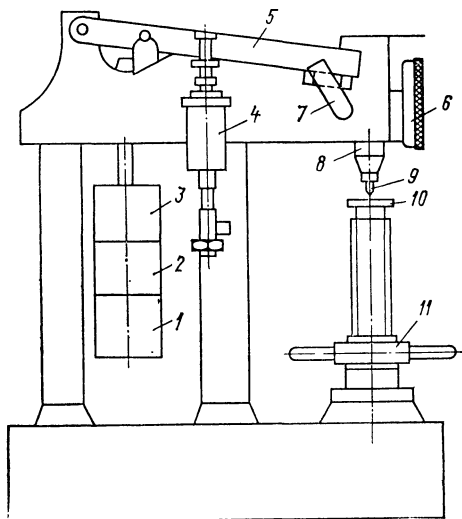


Рис. 34. Схема прибора ТК для определения твердости методом вдавливания алмазного конуса

пружина шпинделя 8 поджимается до получения предварительной нагрузки 100 Н, что фиксируется малой стрелкой индикатора 6. После приложения предварительной нагрузки циферблат индикатора поворачивают так, чтобы большая стрелка установилась на нуль шкалы. Окончательное нагружение производится поворотом рукоятки 7, освобождающей рычаг 5, что позволяет грузам 1—3 опускаться вниз и создавать на шпинделе 8 нужное усилие. Амортизатор 4 обеспечивает плавное нагружение шпинделя. После того как рычаг с грузами опустится до нижнего предельного положения, рукояткой 7 поднимают груз. Со шпинделя снимается нагрузка и алмазный наконечник немного поднимается вверх вследствие упругости испытуемого металла. В результате при погружении наконечника в изделие фиксируется глубина остаточной деформации. Эта глубина отмечается на круговой шкале индикатора прибора в условных единицах, называемых числом твердости по Роквеллу. Угловое перемещение стрелки на одно деление (единица твердости) соответствует 2 мкм глубины вдавливания.

* Твердомер с алмазным конусом.

На рис. 35 показаны четыре стадии (I—IV) внедрения алмазного конуса в испытуемый материал. В зависимости от твердости металла применяются два вида наконечника — закаленный стальной шарик диаметром ~1,6 мм для испытания твердых материалов и алмазный конус для испытания твердых материалов. На приборе имеются три шкалы А, В и С. Условия применения этих шкал и поправки на показания прибора приведены в табл. 194 и 195.

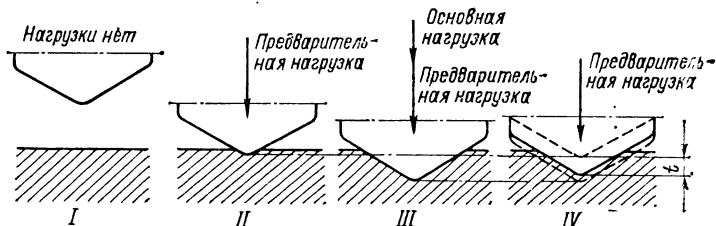


Рис. 35. Положения алмазного конуса при определении твердости с предварительным нагружением

194. Условия определения твердости на приборе Роквелла (ТК)

| Твердость <i>HRC</i> | Вид наконечника | Нагрузка, Н | Шкала | Обозначение твердости | Допустимые пределы измерений по шкале |
|----------------------|---|-------------|----------|-----------------------|---------------------------------------|
| Менее 24 | Стальной шарик диаметром ~1,6 мм | 980 | <i>B</i> | <i>HRB</i> | 25—100 |
| 20—67 | Алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,2 мм | 1471 | <i>C</i> | <i>HRC</i> | 20—67 |
| Св. 66 | | 588 | <i>A</i> | <i>HRA</i> | 70—85 |

195. Поправки на показания прибора Роквелла (ТК) при измерении твердости на цилиндрических поверхностях

| Диаметр образца, мм | Твердость <i>HRC</i> | Величина поправки | Диаметр образца, мм | Твердость <i>HRC</i> | Величина поправки |
|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 18 | 40—45 | +1 | 35 | 35—40 | +2 |
| 16 | 40—45 | +2 | 30 | 35—40 | +2,5 |
| 12 | 40—45 | +2 | 20 | 35—40 | +3,0 |
| 10 | 40—45 | +2 | 15 | 35—40 | +3,0 |
| 8 | 40—45 | +3 | 10 | 35—40 | +3,5 |
| 35 | 25—30 | +2 | 8 | 35—40 | +4,0 |
| 30 | 25—30 | +3,5 | 35 | 18—24 | +2 |
| 20 | 25—30 | +4 | 25 | 18—24 | +3,5 |
| 15 | 25—30 | +4 | 20 | 18—24 | +4 |
| 10 | 25—30 | +4 | 15 | 18—24 | +4 |
| 8 | 25—30 | +5 | 10 | 18—24 | +5 |
| | | | 8 | 18—24 | +6 |

В случаях, когда необходимо измерить твердость в тонких поверхностных слоях, не продавливая их, применяются шкала А и нагрузка 600 Н. например, при определении твердости цементованного слоя небольшой глубины, цианированного слоя и т. п.

При определении твердости по Роквеллу следует хорошо подготовить поверхность изделия, так как наличие окалины, грубых рисок и других дефектов будет искажать результаты измерений. Испытуемую поверхность изделия перед проверкой твердости необходимо зачистить на точильном круге или шлифовать, а также зачистить и опорную поверхность изделия. Опорная и испытуемая поверхности должны быть параллельны.

Для испытания твердости тонких поверхностных слоев (толщиной 0,03—0,3 мм), полученных при азотировании, цианировании и других процессах химико-термической обработки, применяют приборы типа ТКС («Суперроквелл») при нагрузках 147, 394 и 441 Н (табл. 196).

196. Условия определения твердости тонких слоев, полученных при химико-термической обработке

| Глубина слоя, мм | Нагрузка, Н | | |
|------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|
| | по «Суперроквеллу» (ТКС) | по Роквеллу ТК, шкалы А, С | по Виккерсу (ТП) |
| 0,1—0,3 | 147 | 588 | 98 |
| 0,3—0,5 | 394 | 588 | 98 |
| Св. 0,5 | — | 1471 | 394 |

При измерении стальным закаленным шариком диаметром ~1,6 мм твердость обозначается R_{15T} ; R_{30T} ; R_{45T} , а при измерении алмазным конусом — R_{15N} ; R_{30N} ; R_{45N} .

Принцип действия и конструкция приборов «Суперроквелл» такие же, как и приборов Роквелла.

При измерении твердости на образцах или изделиях диаметром менее 8 мм необходимо зачищать лыску. Ширина подготовленной лыски должна быть при измерении твердости алмазным конусом 4 мм; стальным шариком 6 мм.

В зависимости от формы и размеров испытуемых изделий применяются опорные столики различных типов. На рис. 36 приведены конструкции универсальных, на рис. 37 — конструкции специальных опорных столиков.

Определение твердости по Виккерсу (ТП)*. Определение твердости по Виккерсу производится вдавливанием в испытуемый металл четырехгранной алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями 136° (рис. 38). Числом твердости HV называется условное напряжение на единицу поверхности отпечатка. Площадь поверхности отпечатка определяется по диагонали b отпечатка, которая измеряется под микроскопом. Для удобства расчета твердости составлены таблицы зависимости твердости от величины диагонали.

Прибор Виккерса (ТП) отличается большой точностью по сравнению с описанными выше приборами. На этом приборе при небольших нагрузках можно определять твердость очень тонких поверхностных слоев деталей (табл. 197).

* ТП — твердомер пирамидальный.

До сих пор были рассмотрены стационарные способы и приборы измерения твердости изделий. Однако при термической обработке крупногабаритных изделий возникает необходимость в пользовании переносными приборами.

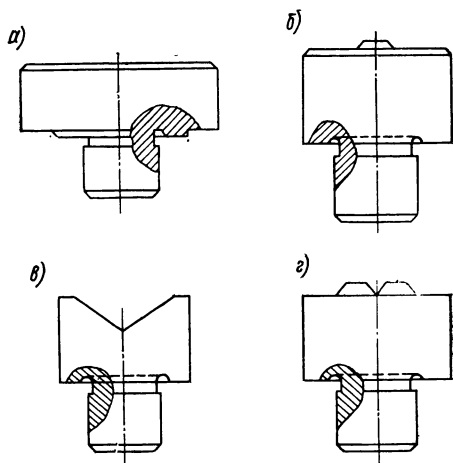


Рис. 36. Универсальные опорные столики прибора ТК для испытания изделий: а — плоских; б — мелких и тонких; в и г — цилиндрических

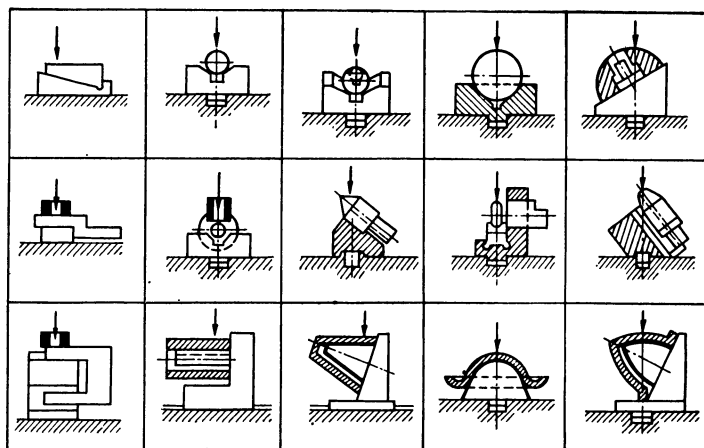


Рис. 37. Специальные опорные столики для прибора ТК

Прибор переносный типа ТШП - 4 предназначен для измерения твердости металлов по методу Бринеля непосредственно на рабочем месте или в складских помещениях. Прибор применяется для измерения твердости рельсов непосредственно на железнодорожном полотне, круглых поковок, отливок и других крупногабаритных де-

197. Условия определения твердости по Виккерсу (ТП)

| Толщина образца или слоя, мм | Нагрузка (Н) при твердости HV | | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------|---------|---------|
| | 20—50 | 50—100 | 100—300 | 300—900 |
| 0,3—0,5 | — | — | — | 49—98 |
| 0,5—1,0 | — | — | 49—98 | 98—196 |
| 1—2 | 49—98 | 98—245 | 98—196 | — |
| 2—4 | 98—196 | До 394 | 196—490 | 196—490 |
| >4 | ≥196 | ≥394 | ≥490 | — |

талей на металлорежущих станках. Прибор обеспечивает измерение твердости на поверхностях, повернутых относительно горизонтальной плоскости на угол не более 90°. Прибор состоит из испытательной головки, струбины с держателем, цепного захвата, рельсового захвата, конуса Морзе № 5 с упором.

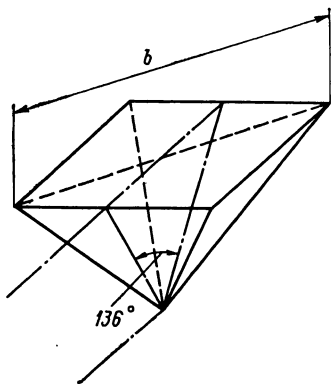


Рис. 38. Схема отпечатка при вдавливании алмазной пирамиды прибора ТП

Испытательная головка (рис. 39) предназначена для приложения испытательных нагрузок. Она состоит из соединенных между собой корпусов 2 и 4, между которыми расположена пластина 3, которая воспринимает на себя испытательную нагрузку, червячного колеса 8, втулки 9, нагружающего винта 7, втулки 6, упорных подшипников 5 и рукоятки 10, закрепленной на червяке. Нагружающий винт соединен с упругой скобкой 1, в нижней части которой установлен испытательный наконечник 14. Внутри скобы смонтирована стойка 15, рычаг 13 и индикатор 12. В верхний корпус 4 ввернута крышка 11 с ручкой.

Измерение твердости производится испытательной головкой, которую крепят к приспособлению (струбине, цепному или рельсовому захвату), установленному на изделии. Приложение нагрузки производится вращением рукоятки 10 через червячную 8 и винтовые передачи и далее через упругую скобу 1 на испытательный наконечник 14.

Под действием приложенной силы скоба 1 деформируется и через передаточный механизм перемещение передается индикатору 12.

Техническая характеристика прибора ТШП-4

| | |
|---|-------------------------|
| Диапазон измерения твердости | 8—450 |
| Испытательные нагрузки, Н | 29420, 9806, 6350, 2452 |
| Погрешность испытательных нагрузок, % | ±1 |
| Диаметр стального шарика, мм | 10; 5 |
| Отклонение среднего значения числа твердости от образцовой меры, %, не более: | |
| при нагрузках 29 420 и 9806 Н | ±4 |
| » » 6350 и 2452 Н | ±5 |
| Свободный ход шпинделя с наконечником, мм | 12±1,5 |
| Усилие на рукоятке при нагрузке 29 420 и более, Н | 54 |
| Габаритные размеры испытательной головки, мм | 155 × 290 × 340 |
| Масса, кг | 10 |

Прибор переносный ТКП-1 предназначен для измерения твердости различных деталей по методу вдавливания алмазного конуса или стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм.

В комплект прибора входят следующие узлы: а) испытательная головка (рис. 40) со сменными нагрузочными стаканами применяется для приложения и снятия предварительной и общей нагрузки и замера твердости по шкале индикатора;

б) струбцина (рис. 41) с подъемным винтом и сменными столами, с ее помощью поджимают испытуемое изделие;

в) кронштейн (рис. 41), служащий для закрепления струбцины с испытательной головкой на столе или на верстаке.

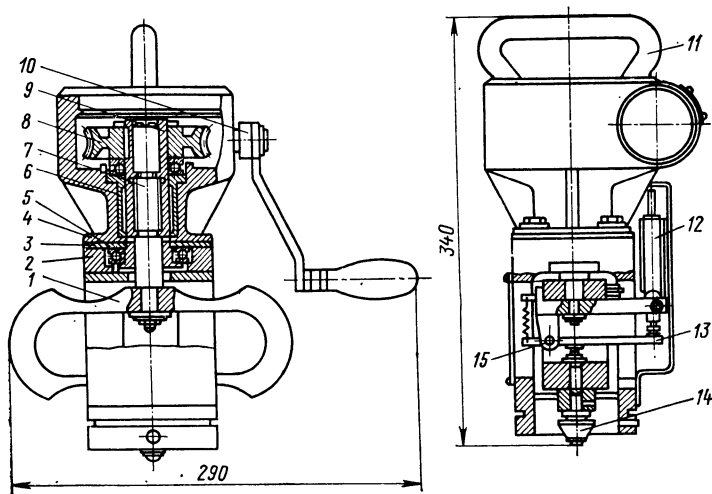


Рис. 39. Схема переносного прибора ТШП-4

В корпусе 6 (рис. 40) имеется кулачковый валик 8, при помощи которого прикладывают и снимают основную и предварительную нагрузки. Средний кулачок предназначен для приложения и снятия предварительной нагрузки, два крайних — для приложения и снятия основной нагрузки. В шпинделе 5 винтом 3 крепят алмазный или шариковый наконечник 1. Во втулке 9 закреплена пружина 10 предварительной нагрузки, усилие ее можно регулировать гайкой, которая служит опорной поверхностью для узла измерения.

Чтобы уменьшить силы трения, шпиндель прибора помещен в шариковые направляющие. Прикладывают и снимают нагрузки поворотом рукоятки. При приложении предварительной нагрузки рукоятку фиксируют шариковые фиксаторы 7.

Для предохранения алмазного наконечника от повреждения применяют ограничитель 2. При помощи его и гайки 4 между торцом ограничителя и вершиной наконечника специальным шаблоном выставляют зазор 0,1—0,2 мм.

Нагрузочный стакан служит для установки в него пружин 11 для создания основной нагрузки. В комплект прибора входят три сменных нагрузочных стакана для воспроизведения нагрузок 588, 988 и 1471 Н. Величину нагрузки регулируют стаканом 16 и винтом 17.

Узел измерения состоит из стаканов 18 и 13, втулки 15, держателя 12, гайки 19, удлинителя 14, рычажка с монеткой, гайкой и регулировочным винтом. Микроиндикатор 20 закреплен в держателе 12 гайкой. Гайка 19 приводит индикатор в исходное положение.

Рычажок с монеткой, гайкой и регулировочным винтом служит для юстировки прибора по мерам твердости. При помощи регулировочного винта монетка смещается относительно оси симметрии головки. Чехол предохраняет микроиндикатор от случайных повреждений.

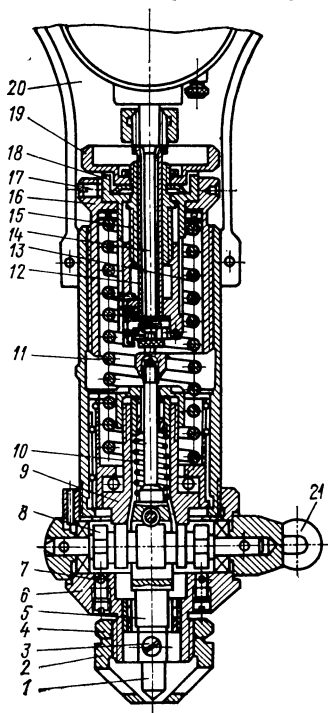


Рис. 40. Схема испытательной головки переносного прибора ТКП-1

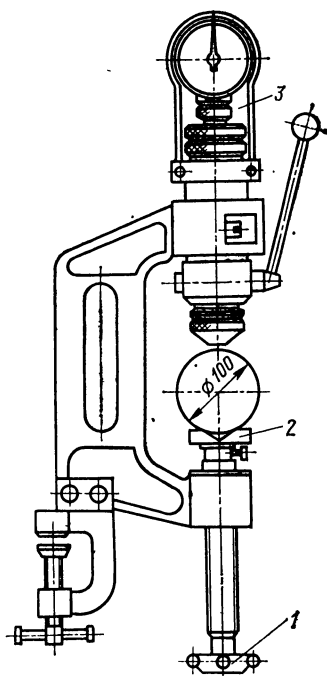


Рис. 41. Схема струбцины с подъемным винтом и кронштейном переносного прибора ТКП-1

При начале работы вращением кнопки 1 (рис. 41) испытуемое изделие крепят между столом 2 и испытательной головкой 3; поворотом рукоятки 21 (см. рис. 40) на 90° прикладывают предварительную нагрузку; вращением гайки 19 большую стрелку индикатора устанавливают на нуль, а малую — на вертикальную риску; поворачивая рукоятку в ту же сторону на 90° до упора, плавно прикладывают общую нагрузку в течение 2,5—3 с; делается выдержка 3—4 с; поворотом рукоятки на 90° в обратную сторону снимают основную нагрузку с индикатора, считывают величину твердости; поворачивая рукоятку на 90° до упора, снимают предварительную нагрузку. Поворотом кнопки 1 (см. рис. 41) освобождают испытуемый образец. Весь цикл испытания повторяется, так как первый замер твердости считается недействитель-

ным. При необходимости испытание проводится четыре-пять раз. За величину твердости берут среднюю величину последних замеров (двух-трех), так как во время первых замеров испытательная головка и струбцина обжимаются.

Техническая характеристика прибора ТКП-1

| | |
|---|-------------------------------|
| Испытательные нагрузки, Н: | |
| предварительная | 98 |
| общие | 588, 986, 1471 |
| Допускаемые погрешности нагрузок, %: | |
| предварительной | ± 3 |
| общих | ± 1 |
| Отклонение среднего значения числа твердости, полученного на проверяемом приборе, от средней твердости образцовой меры: | |
| HRC 25 ± 5 | $\pm 2,0$ |
| HRC 45 ± 5 | $\pm 2,0$ |
| HRC 65 ± 5 | $\pm 1,5$ |
| HRA 75 ± 5 | $\pm 2,0$ |
| HRB 90 ± 10 | $\pm 2,0$ |
| Вариации по нагрузкам в пределах допускаемой погрешности, %: | |
| по предварительной | 3 |
| по общим | 1 |
| Вариации показаний прибора при проверке его образцовыми мерами, не более: | |
| HRC 25 ± 5 | 2,0 |
| HRC 45 ± 5 | 2,0 |
| HRC 65 ± 5 | 1,5 |
| HRA 75 ± 5 | 2,0 |
| HRB 90 ± 10 | 2,0 |
| Наибольший угол наклона прибора от вертикальной плоскости, град | 90 |
| Испытательная головка: | |
| габаритные размеры, мм | 155 \times 125 \times 315 |
| масса, кг | 2,850 |
| Струбцина малая с испытательной головкой в сборе, мм: | |
| расстояние от центра испытательного наконечника до стенки струбцины | 70 |
| расстояние от нижнего торца ограничителя до поверхности плоского стола в крайнем нижнем положении | Не менее 100 |
| габаритные размеры, мм | 225 \times 130 \times 680 |
| Масса, кг: | |
| струбины малой с испытательной головкой в сборе | 7,1 |
| с комплектом принадлежностей и футляром | 1,5 |

Определение твердости методом упругой отдачи (по Шору). При определении твердости методом упругой отдачи измеряется высота отскокивания от испытуемого металла стандартного бойка, свободно падающего с постоянной высоты. Боек изготавливается из закаленной стали или стали с алмазом на конце с определенной массой. Высота отскокивания автоматически отмечается стрелкой на круговой шкале, показывающей значение твердости. Если испытуемый металл имеет большую твердость, а следовательно, и упругость, то затрачивается только небольшая часть силы удара на деформацию испытуемого металла, остальная часть силы удара передается бойку и подбрасывает его высоко вверх. Если же испытуемый металл мягкий, боек отскакивает от испытуемого металла на небольшую высоту. Таким образом, показателем твердости, которая фиксируется на шкале, будет высота подъема бойка после удара об испытуемый металл.

При работе на приборах типа Шора перед испытанием целесообразно проверить показания, даваемые прибором по образцовому бруску или плитке, имеющим твердость, близкую к твердости испытуемой детали.

Определение твердости изделий тарированными напильниками.

Для приближенного определения твердости пользуются тарированными напильниками. Для этой цели выбирают обычные личные напильники плоской, квадратной или треугольной формы. Тарированные напильники подвергают термической обработке на различную твердость насечки с интервалом 3—5 единиц по Роквеллу. Тарирование напильников производят по специальным эталонным плиткам, твердость которых точно определена на приборе. Твердость насечки напильника обычно обозначена на его нерабочей части (*HRC 56*, *HRC 60* и т. п.). При контроле твердости подбирают такую пару напильников с минимальным интервалом по твердости, чтобы напильник с меньшей твердостью скользил по изделию, а напильник с большей твердостью слегка царапал изделие. Например, тарированный напильник с твердостью *HRC 52* скользит по изделию, а тарированный напильник с твердостью *HRC 55* слегка царапает изделие, следовательно, твердость исследуемого изделия будет находиться в пределах *HRC 52—55*. Тарированные напильники могут быть изготовлены в цехе путем отпуска стандартных напильников в масляной и селитровых ваннах.

В табл. 198 приведены сравнительные данные, получаемые при измерении твердости различными методами. Эти данные могут быть применены для углеродистых марок стали, чугуна и цветных сплавов. Для легированных и высоколегированных марок стали и сплавов следует дополнительно пользоваться специальными таблицами или кривыми. В качестве примера приведены данные табл. 199.

51. Металлографическое исследование

Механические испытания деталей или образцов не могут дать полного представления о качестве термической обработки. Для лучшего выявления свойств металла после термической обработки производят металлографическое исследование строения металла методом макро- или микроанализа.

Макроскопический анализ производится путем изучения структуры или излома невооруженным глазом, а также через лупу с небольшим увеличением. Макроанализ позволяет видеть структуру металла на большой площади, выявлять направления волокон и металлургические дефекты (трещины, волосовины, газовые пузыри, ликвацию и т. п.). Для макроанализа поверхность детали или образца, подлежащего изучению, шлифуют и травят специальным реактивом (табл. 200). Изломы получают без специальной подготовки поверхности. Обычно после макроанализа производится микроанализ.

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры с помощью оптического или электронного микроскопа при больших увеличениях.

○ Если при испытании применяется обычный оптический микроскоп, структуру металла можно изучать и фотографировать при увеличении до 2000 раз. Микроскопический анализ позволяет изучать размеры и расположение зерен отдельных составляющих структуры металла, определять глубину слоя после химико-термической обработки, характер мелких дефектов, посторонних включений и т. п.

Для микроанализа требуется изготовление специальных микрошлифов — образцов, вырезанных из детали. Поверхности образцов должны быть отполированы до зеркального блеска и протравлены специальными реактивами. Шлифование образцов производят специальной шлифовальной бумагой (табл. 201) и при этом постепенно переходят от грубой бумаги к более тонкой.

198. Перевод значений твердости, определяемой различными методами

| Твердость | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-------------------------------------|------|--|------|------|--|----------------|
| по Бринеллю шарик $D = 10$ мм | | по Роквеллу с алмазным наконечником | | по «Суперроквеллу» с алмазным наконечником | | | по Роквеллу с шариковым наконечником В | по Виккерсу HV |
| Диаметр отпечатка, мм | HB | Шкалы | | | | | | |
| | | A | C | 15N | 30N | 45N | | |
| 2,25 | 745 | 83,0 | 70,0 | — | — | — | — | — |
| 2,30 | 712 | 82,0 | 68,0 | — | — | — | — | — |
| 2,35 | 682 | 81,0 | 66,0 | 93,0 | 82,5 | 73,0 | — | — |
| 2,36 | 688 | 84,5 | 65,0 | 92,5 | 82,0 | 72,0 | — | — |
| 2,37 | 670 | 83,5 | 64,0 | 92,0 | 81,0 | 71,0 | — | — |
| 2,39 | 659 | 83,0 | 63,0 | 91,5 | 80,0 | 70,0 | — | — |
| 2,40 | 653 | 82,5 | 62,0 | 91,0 | 79,0 | 69,0 | — | — |
| 2,45 | 627 | 82,5 | 62,0 | 91,0 | 79,0 | 68,0 | — | — |
| 2,46 | 621 | 82,0 | 61,0 | 90,5 | 78,0 | 67,0 | — | 832 |
| 2,48 | 611 | 81,5 | 60,0 | 90,0 | 77,5 | 66,5 | — | 800 |
| 2,50 | 601 | 81,0 | 59,0 | 89,5 | 77,0 | 66,5 | — | 773 |
| 2,52 | 502 | 80,5 | 59,0 | 89,0 | 77,0 | 65,0 | — | 756 |
| 2,54 | 502 | 80,0 | 58,0 | 89,0 | 76,0 | 64,0 | — | 728 |
| 2,55 | 578 | 80,0 | 57,0 | 88,5 | 75,0 | 63,5 | — | 704 |
| 2,58 | 564 | 79,5 | 56,5 | 88,0 | 74,0 | 62,0 | — | 693 |
| 2,60 | 555 | 79,0 | 56,0 | 88,0 | 74,0 | 61,5 | — | 672 |
| 2,62 | 547 | 79,0 | 55,0 | 87,5 | 73,5 | 61,0 | — | 653 |
| 2,64 | 538 | 78,5 | 55,0 | 87,5 | 73,0 | 60,5 | — | 635 |
| 2,65 | 534 | 78,0 | 54,0 | 87,0 | 72,5 | 60,0 | — | 626 |
| 2,68 | 522 | 78,0 | 53,0 | 86,5 | 71,5 | 59,0 | — | 610 |
| 2,70 | 514 | 77,5 | 52,5 | 86,5 | 70,0 | 58,0 | — | 594 |
| 2,72 | 507 | 77,0 | 52,0 | 86,0 | 70,0 | 57,0 | — | 586 |
| 2,75 | 496 | 76,0 | 51,0 | 86,0 | 70,0 | 56,5 | — | 570 |
| 2,78 | 485 | 76,0 | 50,0 | 85,0 | 69,0 | 55,0 | — | 563 |
| 2,80 | 477 | 76,0 | 49,5 | 85,0 | 68,0 | 54,0 | — | 542 |
| 2,82 | 470 | 76,0 | 49,0 | 84,5 | 68,0 | 54,0 | — | 531 |
| 2,84 | 464 | 75,0 | 48,0 | 84,0 | 67,5 | 53,5 | — | 521 |
| 2,85 | 461 | 75,0 | 48,0 | 84,0 | 67,0 | 53,0 | — | 514 |
| 2,88 | 451 | 74,5 | 47,5 | 83,5 | 66,5 | 52,5 | — | 508 |
| 2,90 | 444 | 74,0 | 47,0 | 83,5 | 66,0 | 52,0 | — | 495 |
| 2,92 | 438 | 73,5 | 46,0 | 83,5 | 65,5 | 51,9 | — | 484 |
| 2,94 | 432 | 73,0 | 45,5 | 83,0 | 64,5 | 50,0 | — | 477 |
| 2,95 | 429 | 73,0 | 45,5 | 82,5 | 64,0 | 49,0 | — | 468 |
| 2,98 | 420 | 73,0 | 44,0 | 82,5 | 64,0 | 49,0 | — | 457 |
| 3,00 | 415 | 73,0 | 44,0 | 82,0 | 63,5 | 48,5 | — | 449 |
| 3,02 | 409 | 72,0 | 43,0 | 81,5 | 63,0 | 47,5 | — | 442 |
| 3,04 | 404 | 72,0 | 43,0 | 81,5 | 62,5 | 47,5 | — | 434 |
| 3,05 | 401 | 72,0 | 42,0 | 81,5 | 62,5 | 47,5 | — | 427 |
| 3,08 | 393 | 72,0 | 42,0 | 81,0 | 62,0 | 46,5 | — | 419 |
| 3,10 | 388 | 71,0 | 41,0 | 80,5 | 61,0 | 45,0 | — | 413 |
| 3,12 | 383 | 71,0 | 41,0 | 80,5 | 61,0 | 45,0 | — | 406 |
| 3,14 | 378 | 71,0 | 40,0 | 80,0 | 60,0 | 44,0 | — | 401 |
| 3,16 | 373 | 70,5 | 40,0 | 80,0 | 60,0 | 44,0 | — | 395 |
| 3,15 | 375 | 70,0 | 39,5 | 79,5 | 59,0 | 43,0 | — | 389 |
| 3,20 | 363 | 70,0 | 39,0 | 79,5 | 59,0 | 43,0 | — | 383 |
| 3,22 | 359 | 70,0 | 39,0 | 79,5 | 59,0 | 43,0 | — | 377 |
| 3,24 | 354 | 69,0 | 38,0 | 79,0 | 58,0 | 42,0 | — | 372 |
| 3,25 | 362 | 69,0 | 38,0 | 79,0 | 58,0 | 42,0 | — | 366 |
| 3,28 | 345 | 60,0 | 37,5 | 78,5 | 57,5 | 40,5 | — | 361 |
| 3,30 | 341 | 69,0 | 37,0 | 78,5 | 57,5 | 40,5 | — | 356 |
| 3,32 | 337 | 68,5 | 36,5 | 78,0 | 57,0 | 39,5 | — | 351 |
| 3,35 | 331 | 68,0 | 36,0 | 78,0 | 57,0 | 39,5 | — | 347 |
| 3,36 | 329 | 68,0 | 36,0 | 78,0 | 57,0 | 39,5 | — | 342 |
| 3,38 | 325 | 68,0 | 35,0 | 77,5 | 56,0 | 38,0 | — | 337 |
| 3,40 | 321 | 68,0 | 35,0 | 77,5 | 56,0 | 38,5 | — | 332 |
| 3,42 | 313 | 67,0 | 34,0 | 77,0 | 55,0 | 37,5 | — | 328 |
| 3,44 | 313 | 67,0 | 34,0 | 77,0 | 55,0 | 37,5 | — | 323 |
| 3,45 | 311 | 67,0 | 33,5 | 76,5 | 54,0 | 36,5 | — | 319 |
| | | | | | | | — | 315 |

| Твердость | | | | | | | | |
|--|-----|-------------------------------------|------|--|------|------|--|----------------|
| по Бринеллю шарик $D = 10 \text{ мм}$ | | по Роквеллу с алмазным наконечником | | по «Суперроквеллу» с алмазным наконечником | | | по Роквеллу с шариковым наконечником В | по Виккерсу HV |
| Диаметр отпечатка, мм | HB | Шкалы | | | | | | |
| | | A | C | 15N | 30N | 45N | | |
| 3,48 | 306 | 67,0 | 33,0 | 76,5 | 54,0 | 36,0 | — | 311 |
| 3,50 | 302 | 67,0 | 33,0 | 76,5 | 54,0 | 36,0 | — | 307 |
| 3,52 | 298 | 67,0 | 32,0 | 76,5 | 54,0 | 36,0 | — | 302 |
| 3,54 | 295 | 66,0 | 31,5 | 76,0 | 53,0 | 35,0 | — | 299 |
| 3,56 | 292 | 66,0 | 31,0 | 76,0 | 52,5 | 34,5 | — | 296 |
| 3,58 | 288 | 66,0 | 31,0 | 75,5 | 52,0 | 34,0 | — | 292 |
| 3,60 | 285 | 66,0 | 30,0 | 75,0 | 51,5 | 33,5 | — | 288 |
| 3,62 | 282 | 66,0 | 30,0 | 75,0 | 51,0 | 32,5 | — | 285 |
| 3,64 | 278 | 66,0 | 29,0 | 74,5 | 51,0 | 32,0 | — | 281 |
| 3,66 | 275 | 65,0 | 29,0 | 74,5 | 50,5 | 31,5 | — | 278 |
| 3,68 | 272 | 65,0 | 28,0 | 74,0 | 50,0 | 30,5 | — | 274 |
| 3,70 | 269 | 65,0 | 28,0 | 74,0 | 50,0 | 30,5 | — | 271 |
| 3,72 | 266 | 65,0 | 28,0 | 73,5 | 49,0 | 29,5 | — | 268 |
| 3,74 | 263 | 64,0 | 27,0 | 73,0 | 49,0 | 29,0 | — | 265 |
| 3,76 | 260 | 64,0 | 27,0 | 73,0 | 48,0 | 28,5 | — | 262 |
| 3,78 | 257 | 64,0 | 26,0 | 73,0 | 48,0 | 28,0 | — | 259 |
| 3,80 | 255 | 64,0 | 26,0 | 72,5 | 48,0 | 27,0 | — | 259 |
| 3,82 | 252 | 63,5 | 25,5 | 72,0 | 47 | 26,5 | — | 253 |
| 3,84 | 249 | 63,0 | 25,0 | 72,0 | 46,0 | 26,5 | — | 250 |
| 3,86 | 246 | 63,0 | 25,0 | 72,0 | 46,0 | 26,0 | — | 247 |
| 3,88 | 244 | 63,0 | 24,5 | 71,5 | 45,5 | 25,0 | — | 244 |
| 3,90 | 241 | 63,0 | 24 | 71,0 | 45,0 | 24,0 | 100,0 | 242 |
| 3,92 | 239 | 62,0 | 23,5 | 71,0 | 44,5 | 24,0 | 100,0 | 239 |
| 3,94 | 236 | 62,0 | 23,0 | 70,5 | 44,0 | 23,5 | 99,0 | 236 |
| 3,96 | 234 | 62,0 | 23,0 | 70,5 | 43,5 | 23,0 | 99,0 | 234 |
| 3,98 | 231 | 62,0 | 22,5 | 70,0 | 43,0 | 22,5 | 99,0 | 231 |
| 4,00 | 229 | 62,0 | 22,0 | 70,0 | 43,0 | 22,0 | 98,0 | 229 |
| 4,02 | 226 | 61,5 | 21,5 | — | — | — | 98,0 | 226 |
| 4,04 | 224 | 61,5 | 21,5 | — | — | — | 98,0 | 224 |
| 4,06 | 222 | 61,0 | 21,0 | — | — | — | 97,0 | 222 |
| 4,08 | 219 | 61,0 | 20,0 | — | — | — | 97,0 | 219 |
| 4,10 | 217 | 61,0 | 20,0 | — | — | — | 97,0 | 217 |
| 4,12 | 215 | 61,5 | 19,5 | — | — | — | 96,0 | 215 |
| 4,14 | 213 | 61,0 | 19,5 | — | — | — | 96,0 | 213 |
| 4,16 | 211 | 60,0 | 19,0 | — | — | — | 95,0 | 210 |
| 4,18 | 209 | 60,0 | 18,5 | — | — | — | 95,0 | 208 |
| 4,20 | 207 | 60,0 | 18,0 | — | — | — | 95,0 | 206 |
| 4,22 | 204 | 60,0 | — | — | — | — | 94,0 | 203 |
| 4,24 | 202 | 59,0 | — | — | — | — | 93,0 | 201 |
| 4,26 | 200 | 59,0 | — | — | — | — | 93,0 | 199 |
| 4,28 | 198 | 58,5 | — | — | — | — | 93,0 | 197 |
| 4,30 | 197 | 58,0 | — | — | — | — | 93,0 | 196 |
| 4,32 | 195 | 58,0 | — | — | — | — | 92,0 | 194 |
| 4,34 | 193 | 58,0 | — | — | — | — | 92,0 | 192 |
| 4,36 | 191 | 58,0 | — | — | — | — | 91,0 | 190 |
| 4,38 | 189 | 57,0 | — | — | — | — | 91,0 | 188 |
| 4,40 | 187 | 57,0 | — | — | — | — | 91,0 | 186 |
| 4,42 | 185 | 56,5 | — | — | — | — | 90,0 | 184 |
| 4,44 | 184 | 56,0 | — | — | — | — | 90,0 | 183 |
| 4,46 | 182 | 56,0 | — | — | — | — | 89,0 | 181 |
| 4,48 | 180 | 56,0 | — | — | — | — | 89,0 | 179 |
| 4,50 | 179 | 56,0 | — | — | — | — | 88,0 | 179 |
| 4,52 | 177 | 56,0 | — | — | — | — | 88,0 | 176 |
| 4,54 | 174 | 55,0 | — | — | — | — | 87,0 | 173 |
| 4,56 | 173 | 55,0 | — | — | — | — | 87,0 | 172 |
| 4,58 | 172 | 55,0 | — | — | — | — | 87,0 | 171 |
| 4,60 | 170 | 55,0 | — | — | — | — | 87,0 | 169 |
| 4,62 | 169 | 55,0 | — | — | — | — | 86,0 | 168 |

| Твердость | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|-------------------------------------|-----|--|-----|-----|--|------------------|
| по Бринелю шарик $D = 10$ мм | | по Роквеллу с алмазным наконечником | | по «Суперроквеллу» с алмазным наконечником | | | по Роквеллу с шариковым наконечником B | по Виккерсу HV |
| Диаметр отпечатка, мм | HB | Шкалы | | | | | | |
| | | A | C | 15N | 30N | 45N | | |
| 4,64 | 167 | 54,0 | — | — | — | — | 85,0 | 166 |
| 4,66 | 166 | 54,0 | — | — | — | — | 85,0 | 165 |
| 4,68 | 164 | 53,5 | — | — | — | — | 85,0 | 163 |
| 4,70 | 163 | 53,0 | — | — | — | — | 84,0 | 162 |
| 4,72 | 161 | 53,0 | — | — | — | — | 84,0 | 160 |
| 4,74 | 159 | 53,0 | — | — | — | — | 83,0 | 159 |
| 4,76 | 158 | 53,0 | — | — | — | — | 83,0 | 157 |
| 4,78 | 157 | 52,5 | — | — | — | — | 83,0 | 157 |
| 4,80 | 156 | 52,0 | — | — | — | — | 82,0 | 155 |
| 4,82 | 154 | 52,0 | — | — | — | — | 81,0 | 152 |
| 4,84 | 153 | — | — | — | — | — | 81,0 | 152 |
| 4,86 | 152 | 52,0 | — | — | — | — | 81,0 | 152 |
| 4,88 | 150 | 51,0 | — | — | — | — | 80,0 | 150 |
| 4,90 | 149 | 51,0 | — | — | — | — | 80,0 | 149 |
| 4,92 | 148 | 51,0 | — | — | — | — | 79,0 | 147 |
| 4,94 | 146 | 50,0 | — | — | — | — | 78 | 147 |
| 4,96 | 145 | 50,0 | — | — | — | — | 78 | 145 |
| 4,98 | 144 | 50,0 | — | — | — | — | 78 | 144 |
| 5,00 | 143 | 50,0 | — | — | — | — | 77 | 143 |
| 5,02 | 141 | — | — | — | — | — | 77 | — |
| 5,04 | 140 | — | — | — | — | — | 77 | — |
| 5,06 | 139 | — | — | — | — | — | 76 | — |
| 5,08 | 138 | — | — | — | — | — | 76 | — |
| 5,10 | 137 | — | — | — | — | — | 75 | — |
| 5,12 | 135 | — | — | — | — | — | 74 | — |
| 5,14 | 134 | — | — | — | — | — | 74 | — |
| 5,16 | 133 | — | — | — | — | — | 73 | — |
| 5,18 | 132 | — | — | — | — | — | 73 | — |
| 5,20 | 131 | — | — | — | — | — | 72 | — |
| 5,22 | 129 | — | — | — | — | — | 72 | — |
| 5,24 | 128 | — | — | — | — | — | 71 | — |
| 5,26 | 127 | — | — | — | — | — | 71 | — |
| 5,28 | 126 | — | — | — | — | — | 71 | — |
| 5,30 | 126 | — | — | — | — | — | 70 | — |
| 5,32 | 125 | — | — | — | — | — | 70 | — |
| 5,34 | 124 | — | — | — | — | — | 69 | — |
| 5,36 | 123 | — | — | — | — | — | 69 | — |
| 5,38 | 122 | — | — | — | — | — | 68 | — |
| 5,40 | 121 | — | — | — | — | — | 68 | — |
| 5,42 | 119 | — | — | — | — | — | 68 | — |
| 5,44 | 119 | — | — | — | — | — | 67 | — |
| 5,46 | 118 | — | — | — | — | — | 67 | — |
| 5,48 | 117 | — | — | — | — | — | 66 | — |

| Твердость | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|--|---|--|-----|-----|--|------------------------|
| по Бринеллю шарик $D = 10$ мм | | по Роквеллу с алмазным наконечни- ком | | по «Суперроквеллу» с алмазным нако- нечником | | | по Рок- веллу с шариком наконеч- ником В | по Вик- керсу HV |
| Диаметр отпечат- ка, мм | HB | Шкалы | | | | | | |
| | | A | C | 15N | 30N | 45N | | |
| 5,50 | 116 | — | — | — | — | — | 65 | — |
| 5,52 | 115 | — | — | — | — | — | 65 | — |
| 5,54 | 114 | — | — | — | — | — | 64 | — |
| 5,56 | 113 | — | — | — | — | — | 64 | — |
| 5,58 | 112 | — | — | — | — | — | 63 | — |
| 5,60 | 111 | — | — | — | — | — | 63 | — |
| 5,62 | 110 | — | — | — | — | — | 62 | — |
| 5,64 | 109 | — | — | — | — | — | 61 | — |
| 5,66 | 109 | — | — | — | — | — | 61 | — |
| 5,68 | 108 | — | — | — | — | — | 60 | — |
| 5,70 | 107 | — | — | — | — | — | 59 | — |
| 5,72 | 107 | — | — | — | — | — | 59 | — |
| 5,74 | 106 | — | — | — | — | — | 59 | — |
| 5,76 | 105 | — | — | — | — | — | 58 | — |
| 5,78 | 104 | — | — | — | — | — | 58 | — |
| 5,80 | 103 | — | — | — | — | — | 57 | — |
| 5,82 | 102 | — | — | — | — | — | 56 | — |
| 5,84 | 101 | — | — | — | — | — | 56 | — |
| 5,86 | 101 | — | — | — | — | — | 56 | — |
| 5,88 | 100 | — | — | — | — | — | 55 | — |
| 5,90 | 99 | — | — | — | — | — | 54 | — |
| 5,92 | 98 | — | — | — | — | — | 54 | — |
| 5,94 | 98 | — | — | — | — | — | 54 | — |
| 5,96 | 97 | — | — | — | — | — | 53 | — |
| 6,00 | 96 | — | — | — | — | — | 52 | — |
| 6,05 | 94 | — | — | — | — | — | 51 | — |
| 6,10 | 92 | — | — | — | — | — | 49 | — |
| 6,15 | 90 | — | — | — | — | — | 48 | — |
| 6,20 | 87 | — | — | — | — | — | 46 | — |
| 6,25 | 85 | — | — | — | — | — | 44 | — |
| 6,30 | 83 | — | — | — | — | — | 43 | — |
| 6,40 | 81 | — | — | — | — | — | 42 | — |
| 6,50 | 79 | — | — | — | — | — | 39 | — |
| 6,60 | 77 | — | — | — | — | — | 37 | — |

199. Перевод значений твердости, определенных по Роквеллу и Бринелю для специальных марок стали

| HRC | HRA | d _{Отп} | HRC | HRA | d _{Отп} | HRC | HRA | d _{Отп} | HRC | HRA | d _{Отп} | HRC | HRA | d _{Отп} |
|--------|------|------------------|------|------|------------------|---------|------|------------------|----------|------|------------------|---------|------|------------------|
| 30ХГСА | | | 38ХА | | | 40ХН2МА | | | ХН70ВМТЮ | | | 14Х17Н2 | | |
| 35,3 | 67,7 | 3,20 | 33,0 | 66,5 | 3,30 | 36,5 | 68,5 | 3,15 | 34,0 | 67,0 | 3,3 | 36,0 | 68,5 | 3,15 |
| 35,0 | 67,5 | 3,22 | 32,7 | 66,1 | 3,32 | 36,0 | 68,5 | 3,18 | 33,7 | 66,5 | 3,22 | 35,8 | 68,5 | 3,16 |
| 34,5 | 67,0 | 3,24 | 32,3 | 65,8 | 3,34 | 35,5 | 68,0 | 3,20 | 33,3 | 66,5 | 3,34 | 35,5 | 68,5 | 3,18 |
| 34,0 | 66,5 | 3,26 | 32,0 | 65,5 | 3,36 | 35,0 | 67,5 | 3,22 | 33,0 | 66,0 | 3,36 | 34,8 | 68,0 | 3,20 |
| 33,5 | 66,5 | 3,28 | 31,5 | 65,5 | 3,88 | 34,5 | 67,0 | 3,24 | 32,5 | 66,0 | 3,38 | 34,5 | 67,5 | 3,22 |
| 33,0 | 66,5 | 3,30 | 31,0 | 65,5 | 3,40 | 34,0 | 66,5 | 3,26 | 32,0 | 66,0 | 3,40 | 34,0 | 67,0 | 3,24 |
| 32,7 | 66,2 | 3,32 | 30,5 | 65,0 | 3,42 | 33,5 | 66,5 | 3,28 | 31,5 | 65,5 | 3,42 | 33,5 | 66,5 | 3,26 |
| 32,3 | 65,8 | 3,34 | 30,0 | 64,5 | 3,44 | 33,0 | 66,5 | 3,30 | 31,0 | 65,0 | 3,44 | 33,2 | 66,5 | 3,28 |
| 32,0 | 65,5 | 3,36 | 29,5 | 64,5 | 3,46 | 32,7 | 66,2 | 3,32 | 30,5 | 65,0 | 3,46 | 32,5 | 66,5 | 3,30 |
| 31,5 | 65,5 | 3,38 | 29,0 | 64,5 | 3,48 | 32,3 | 65,8 | 3,34 | 30,0 | 65,0 | 3,48 | 32,1 | 66,2 | 3,32 |
| 31,0 | 65,5 | 3,40 | 28,7 | 64,2 | 3,50 | 32,0 | 65,5 | 3,36 | 29,7 | 64,8 | 3,50 | 31,8 | 65,8 | 3,34 |
| 30,5 | 65,0 | 3,42 | 28,3 | 64,0 | 3,52 | 31,5 | 65,5 | 3,38 | 29,3 | 64,3 | 3,52 | 31,5 | 65,5 | 3,36 |
| 30,0 | 64,5 | 3,44 | 28,0 | 63,8 | 3,54 | 31,0 | 65,5 | 3,40 | 29,0 | 64,5 | 3,54 | 31,2 | 65,5 | 3,38 |
| 29,5 | 64,5 | 3,46 | 27,5 | 63,5 | 3,56 | 30,5 | 65,0 | 3,42 | 28,5 | 64,3 | 3,56 | 30,5 | 65,5 | 3,40 |
| 29,0 | 64,5 | 3,48 | 27,0 | 63,5 | 3,58 | 30,0 | 64,5 | 3,44 | 28,0 | 64,0 | 3,58 | | | |
| 28,7 | 64,2 | 3,50 | 26,3 | 63,5 | 3,6 | 29,5 | 64,5 | 3,46 | 27,5 | 64,0 | 3,60 | | | |
| 28,3 | 64,2 | 3,52 | | | | 29,0 | 64,5 | 3,48 | 27,0 | 64,0 | 3,62 | | | |
| 28,0 | 64,0 | 3,54 | | | | 28,6 | 64,3 | 3,50 | 26,5 | 64,0 | 3,64 | | | |
| 27,5 | 63,7 | 3,56 | | | | 28,3 | 64,0 | 3,52 | 26,0 | 63,5 | 3,66 | | | |
| 27,0 | 63,5 | 3,58 | | | | 28,0 | 64,0 | 3,54 | 25,5 | 63,0 | 3,68 | | | |
| 26,5 | 63,5 | 3,60 | | | | 28,0 | 64,0 | 3,55 | 25,0 | 62,5 | 3,70 | | | |
| 26,0 | 63,5 | 3,62 | | | | | | | | | | | | |
| 25,5 | 63,2 | 3,64 | | | | | | | | | | | | |
| 25,0 | 62,8 | 3,66 | | | | | | | | | | | | |
| 24,7 | 62,5 | 3,68 | | | | | | | | | | | | |
| 23,7 | 62,0 | 3,70 | | | | | | | | | | | | |
| 23,3 | 62,0 | 3,72 | | | | | | | | | | | | |
| 22,7 | 61,5 | 3,74 | | | | | | | | | | | | |
| 22,0 | 61,0 | 3,76 | | | | | | | | | | | | |
| 21,5 | 60,5 | 3,78 | | | | | | | | | | | | |

| HRC | HRA | $d_{отп}$ | HRC | HRA | $d_{отп}$ | HRC | HRA | $d_{отп}$ | HRC | HRA | $d_{отп}$ |
|---------|------|-----------|-------|------|-----------|----------|------|-----------|--------------|------|-----------|
| 12X2H4A | | | 12H3A | | | 18X2H4MA | | | 37X12H8Г8МФБ | | |
| 38,0 | 68,2 | 3,10 | 36,8 | 68,5 | 3,20 | 38,0 | 70,0 | 3,10 | 28,5 | 64,2 | 3,5 |
| 37,5 | 67,7 | 3,12 | 35,3 | 68,0 | 3,22 | 37,5 | 69,5 | 3,12 | 28,2 | 64,0 | 3,52 |
| 37,0 | 67,7 | 3,14 | 34,8 | 67,5 | 3,24 | 37,0 | 69,5 | 3,14 | 28,2 | 64,0 | 3,52 |
| 37,0 | 67,7 | 3,16 | 34,3 | 67,0 | 3,26 | 36,5 | 69,5 | 3,18 | 27,5 | 63,8 | 3,56 |
| 36,5 | 67,7 | 3,18 | 33,8 | 67,0 | 3,28 | 36,0 | 69,0 | 3,20 | 27,0 | 63,5 | 3,58 |
| 36,0 | 67,2 | 3,20 | 33,3 | 67,0 | 3,30 | 35,5 | 68,5 | 3,22 | 26,9 | 63,5 | 3,60 |
| 35,5 | 66,7 | 3,22 | 32,8 | 66,5 | 3,32 | 35,0 | 68,0 | 3,24 | 26,0 | 63,5 | 3,62 |
| 35,0 | 66,2 | 3,24 | 32,8 | 66,5 | 3,34 | 34,5 | 67,5 | 3,26 | 25,5 | 63,0 | 3,64 |
| 34,5 | 65,7 | 3,26 | 32,3 | 66,0 | 3,36 | 34,0 | 67,5 | 3,28 | 25,0 | 62,5 | 3,66 |
| 34,0 | 65,7 | 3,28 | 31,8 | 66,0 | 3,38 | 33,5 | 67,5 | 3,30 | 24,7 | 62,5 | 3,68 |
| 33,5 | 65,7 | 3,30 | 31,3 | 66,0 | 3,40 | | | | 23,8 | 62,0 | 3,70 |
| 33,0 | 65,2 | 3,32 | 30,8 | 65,5 | 3,42 | | | | 35,3 | 68,7 | 3,20 |
| 33,0 | 65,2 | 3,34 | 30,3 | 65,0 | 3,44 | | | | 35,0 | 68,5 | 3,22 |
| 32,5 | 64,7 | 3,36 | 29,8 | 65,0 | 3,45 | | | | 34,5 | 68,0 | 3,24 |
| 32,0 | 64,7 | 3,38 | 29,3 | 65,0 | 3,48 | | | | 34,0 | 67,5 | 3,26 |
| 31,5 | 64,7 | 3,40 | 28,8 | 64,5 | 3,50 | | | | 33,5 | 67,5 | 3,28 |
| 31,0 | 64,2 | 3,42 | 28,8 | 64,5 | 3,52 | | | | 33,0 | 67,5 | 3,30 |
| 30,5 | 63,7 | 3,44 | 28,3 | 64,5 | 3,54 | | | | 32,7 | 67,3 | 3,32 |
| 29,5 | 68,7 | 3,48 | 27,8 | 64,3 | 3,56 | | | | 32,3 | 66,8 | 3,34 |
| 29,0 | 63,2 | 3,50 | 27,3 | 64,0 | 3,58 | | | | 32,0 | 66,5 | 3,37 |
| 29,0 | 63,2 | 3,52 | 26,8 | 64,0 | 3,60 | | | | 31,5 | 66,5 | 3,38 |
| 28,5 | 63,2 | 3,54 | 26,3 | 64,0 | 3,62 | | | | 31,0 | 66,5 | 3,40 |
| | | | 25,8 | 63,5 | 3,64 | | | | 31,0 | | |
| | | | 25,3 | 63,5 | 3,66 | | | | | | |
| | | | 24,8 | 63,0 | 3,68 | | | | | | |
| | | | 24,3 | 62,5 | 3,69 | | | | | | |
| | | | 23,8 | 62,5 | 3,70 | | | | | | |

200. Наиболее употребительные реактивы для травления шлифов при макроанализе

| Материал | Состав реактива для травления | Режим травления |
|---|--|--|
| Сталь углеродистая, марганцовая, хромовая, хромомолибденовая, хромованадиевая | 50 мл HCl (плотность 1,19) + 50 мл воды или 3—5-процентный спиртовой раствор HNO ₃ (плотность 1,48) | 60—70 °С, 15—20 мин; 20 °С, 1—10 с |
| Прочие марки легированной конструкционной и инструментальной стали | | 60—70 °С, 25—35 мин; 20 °С, 5—30 с |
| Нержавеющие стали | 1000 мл HCl (плотность 1,19) + 100 мл HNO ₃ (плотность 1,48) + 250 г двухромовокислого калия + 1000 мл воды | 60—70 °С, 30—40 мин |
| Литейные алюминиевые сплавы | 0,5 % HF + 1,5 % HCl + + 2,5 % HNO ₃ + 95,5 % воды | 20 °С, 15 с |

После шлифования на горизонтальных или вертикальных станках осуществляется полирование образцов. Частота вращения диска (об/мин) устанавливается в зависимости от обрабатываемого металла:

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Для чугуна и стали | 400—600 |
| » алюминиевых сплавов | 150—200 |
| » магниевых сплавов | 700—800 |
| » тяжелых цветных металлов и сплавов | 700—1000 |

На диске закрепляют фетр, тонкое сукно, фланель или бархат. Полировальный диск смачивают водой со взмученным тонким порошком абразивного материала. Абразивным материалом служат порошки окиси хрома, алюминия или магния. При полировании черных металлов можно применять пасту ГОИ. Помимо механического полирования применяется электрополирование шлифов.

Некоторые реактивы, применяемые для травления микрошлифов, приведены в табл. 202.

201. Номера шлифовальной бумаги для приготовления микрошлифов

| № шлифовальной бумаги | Размер абразивного зерна, мк | № шлифовальной бумаги | Размер абразивного зерна, мк |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 12 | 2000—1700 | 120 | 125—105 |
| 16 | 1400—1200 | 150 | 105—85 |
| 20 | 1000—850 | 180 | 85—75 |
| 24 | 850—700 | 220 | 75—63 |
| 30 | 700—600 | 240 | 63—53 |
| 36 | 600—500 | 280 | 53—42 |
| 46 | 420—355 | 320 | 42—28 |
| 60 | 300—250 | M28 | 28—20 |
| 80 | 210—180 | M20 | 20—14 |
| 100 | 150—125 | | |

202. Реактивы для микроскопических исследований сплавов

| Материал | Состав реактива | Режим травления |
|---|--|--|
| Углеродистые, низко- и среднеуглеродистые стали и чугун | 1—5 мл HNO_3 (плотность 1,42) + 100 мл спирта-ректификата | Травление при 20 °С. Продолжительность от нескольких секунд до минуты |
| Хромистые и высокохромистые стали | 1 мл концентрированной HNO_3 + 2 мл HCl и 3 мл глицерина | Травление при 20 °С. Продолжительность 10—30 с. Применяется в свежеприготовленном виде |
| Нержавеющие стали и сплавы | Три части HCl (плотность 1,19) + одну часть HNO_3 (плотность 1,48) | Травление при 20 °С. Перед употреблением реактив выдержать 20—30 ч |
| Жаропрочные стали и сплавы | 20 мл HCl (плотность 1,19) + 20 мл воды + 4 г медного купороса | Травление при 20 °С. Продолжительность 1—4 мин |
| Сплавы меди, латуни и бронзы | 5 г хлористого железа + 50 мл соляной кислоты и 100 мл воды | Травление погружением или протиранием |
| Литейные и деформируемые алюминиевые сплавы | 20 мл HCl + 20 мл HNO_3 + 5 мл фтористоводородной кислоты + 55 мл воды | Травление при 20 °С. Продолжительность 5—30 с |

52. Определение марки сплава

Состав стали или цветных сплавов определяют химическим анализом в лаборатории. Однако количественный химический анализ не всегда удобен, так как длительность его составляет в среднем 4—8 ч. В последние годы получили широкое распространение качественный и количественный спектральные анализы металла. Марку стали можно определять также пробой на искру.

Спектральный анализ. Этот анализ основан на том, что при нагреве металла до температуры в несколько тысяч градусов при дуговом или искровом электрическом разряде виден характерный спектр излучения. По характеру излучения можно определить наличие элемента, а по интенсивности излучения — количество элемента в сплаве. Спектральный метод отличается высокой скоростью и высокой чувствительностью, что позволяет определять малые концентрации элементов в металле. Для проведения анализа не требуется отбора специальных проб; анализу может быть подвергнута сама деталь, которая затем используется по назначению.

Качественный анализ применяют при разработке деталей или заготовок в тех случаях, когда требуется установить, соответствует ли испытываемая деталь или заготовка определенной марке стали.

При качественном анализе применяют стилоскоп стационарного или переносного типа, при помощи которого марку стали можно определить в течение 1 мин.

Количественный анализ производят специальными приборами — спектрографами. При помощи искры или вольтовой дуги получают спектр исследуемого металла, который фотографируют на фотопластинку. Затем на фотометре по интенсивности линий определяют содержание искоемых элементов. Средняя продолжительность количественного спектрального анализа равна 30 мин.

Определение марки стали по искре. При соприкосновении стали с вращающимся абразивным камнем получается пучок искр. Характер и цвет искр зависят от химического состава стали и позволяют приближенно определять марку стали.

203. Характер пучка искр для различных сталей

| Наименование стали | Характеристика пучка искр |
|--|--|
| Нелегированная (менее 0,15 % С) | Короткий темный пучок искр, принимающих форму полосок и становящихся более светлыми в зоне сгорания; мало звездообразных разветвлений |
| То же (0,15—1 % С) | При повышении содержания углерода образуется более плотный и более светлый пучок искр с многочисленными звездочками и ответвлением лучей |
| » (>1 % С) | Очень плотный пучок искр с многочисленными звездочками. При увеличении содержания углерода уменьшается яркость и укорачивается пучок искр |
| Углеродистая с повышенным содержанием марганца | Широкий плотный ярко-желтый пучок искр, внешняя зона линий искр особенно яркая. Многочисленные разветвления лучей |
| Марганцовая (12 % Мп) | Преобладание зонтообразных искр |
| Конструкционная (до 5 % Ni) | Яркие линии искр в виде язычков, расщепленные на конце; увеличение яркости в зоне сгорания. При повышении содержания углерода на концах искр появляются звездочки |
| Никелевая (высоколегированная) | При содержании ~35 % красно-желтое окрашивание пучка. При более высоком содержании никеля (более 47 %) яркость искр значительно ослабевает |
| Хромовая | При низком содержании углерода и хрома линии искр более тонкие и более темные, чем в углеродистой стали |
| Хромовая с низким содержанием углерода и высоким содержанием хрома | Короткий темно-красный пучок искр без звездочек, слабоветвильный; искры прилипают к поверхности шлифовального круга |
| Хромоникелевая (конструкционная) | Желто-красные искры с более яркими полосками в зоне сгорания. При повышенном содержании хрома и никеля пучок искр более темный |
| Хромоникелевая высоколегированная (аустенитная) | Темный широкий пучок; концы искр копьсообразные |
| Вольфрамовая | Красные короткие искры; линии искр отчетливо загибаются книзу. Разветвления звездочек углерода отсутствуют. Чем выше содержание вольфрама, тем слабее образование искр |
| Молибденовая | Ярко-желтые искры в виде язычков. При низком содержании язычки видны перед звездочками углерода. При повышенном содержании кремния — за звездочками углерода |

Малоуглеродистая сталь, а также сильно обезуглероженный поверхностный слой стальных деталей дают длинный желтый пучок искр, почти не имеющих звездочек; пучок искр среднеуглеродистой стали имеет значительное количество светлых звездочек; у инструментальной высокоуглеродистой стали короткий широкий пучок искр с большим количеством светлых звездочек.

Легированные стали в зависимости от химического состава образуют искры различного цвета с разным количеством и характером звездочек. Например, вольфрамовая сталь с содержанием вольфрама около 1 % дает слабо-красную искру и красноватые звездочки, по количеству которых можно определить содержание углерода в стали. Быстрорежущая сталь марки P18 дает небольшое количество темно-красных длинных искр без звездочек, оканчивающихся красным утолщением. Быстрорежущая сталь марки P9 дает примерно такие же искры, как и сталь P18, но с небольшим количеством ярких звездочек в конце пучка.

Контроль марки стали по искре дает надежные результаты в условиях одинакового освещения и применения абразивных камней равной твердости, а также при наличии эталонов.

Характеристика пучка искр для различных сталей приведена в табл. 203.

53. Физические методы выявления дефектов после термической обработки

Для обнаружения дефектов в металле применяют различные физические методы контроля. Наибольшее распространение имеет магнитный метод, с помощью которого контролируются детали, изготовленные из ферромагнитных материалов (интенсивно притягивающихся магнитом). Приборы, предназначенные для выявления дефектов, называются *дефектоскопами*.

Магнитный метод контроля заключается в следующем. Исследуемые детали намагничиваются на специальных установках — магнитных дефектоскопах, затем поверхность деталей смачивается суспензией (взмученной смесью, состоящей из 50 г порошка окиси железа и 1 л трансформаторного масла). В местах несплошности металла осаждаются частицы окиси железа, рельефно выделяя дефект. После контроля детали размагничиваются в соленоиде. При магнитном методе контроля деталей обнаруживаются дефекты термической обработки (трещины, надрывы и т. п.) и дефекты материала (волосовины, группы шлаковых включений и др.) в поверхностных слоях детали.

Дефекты, выходящие на поверхность детали (трещины, раковины и т. п.), определяются капиллярным методом контроля. Он заключается в следующем. Контролируемая деталь погружается в специальную жидкость, содержащую флюороль (вещество, светящееся под действием ультрафиолетовых лучей), затем изделие промывается водой; при этом жидкость удаляется только с гладкой поверхности, а в дефектных местах она остается. После этого на поверхность детали насыпается мелкий порошок, обычно силикогель. Порошок впитывает жидкость из полостей и прилипает по краям дефекта, обнаруживая его при последующей обдувке поверхности изделия. Если обработанную таким образом деталь осветить в темном помещении ультрафиолетовыми лучами, места дефектов будут светиться сине-голубым светом. Дефекты, находящиеся на значительном расстоянии от поверхности детали, обнаруживают проникающим излучением или ультразвуковым методом.

Г Л А В А XIII

ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

54. Классификация оборудования

К основному оборудованию термического цеха относятся нагревательные печи, установки индукционного нагрева, приготовления защитных атмосфер, обработки холодом, закалочные баки и другое подобное оборудование, с помощью которых выполняются основные технологические операции.

К вспомогательному оборудованию относятся контрольно-измерительная аппаратура, правильные прессы, оборудование очистного отделения и т. п.

Печи, используемые в термическом цехе, классифицируются следующим образом:

1) по технологическим признакам: универсальные печи для отжига, нормализации, закалки и высокого отпуска; цементационные; печи специального назначения для однотипных деталей;

2) по применяемой температуре: низкотемпературные, среднетемпературные, высокотемпературные;

3) по характеру загрузки и выгрузки: печи с неподвижным подом, с выдвижным подом, элеваторные, колпаковые, со съемным сводом, камерные, многокамерные, вертикальные (шахтные);

4) по источнику получения теплоты: мазутные, газовые, электрические *.

Печное оборудование следует выбирать по действующим каталогам, выпускаемых отечественной промышленностью.

55. Термические печи и ванны

Типы и основные характеристики печного оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью, приведены в табл. 204—215.

204. Удельная производительность печей при различных режимах нагрева

| Тип печи | Производительность, кг/м ² ·ч | | | |
|---------------------------------|--|-----------------------|---------|--------------------|
| | Отжиг | Закалка, нормализация | Отпуск | Газовая цементация |
| Камерная горизонтальная | 40—60 | 120—160 | 100—140 | 20—30 |
| Камерная с выдвижным подом | 35—50 | 60—80 | 50—70 | — |
| Толкательная | 50—70 | 150—200 | 140—180 | 40—50 |
| Конвейерная | — | 180—220 | 150—180 | — |
| Карусельная с вращающимся подом | — | 180—220 | 150—180 | — |

Примечание. Производительность дается только для нагреваемых изделий, без поддонов, приспособлений и т. д.

* Печи, работающие на твердом топливе, в настоящее время применяются ограниченно.

205. Техническая характеристика толкательных электропечей сопротивления непрерывного действия *

| Тип печи | | Размеры рабочего пространства, дм | | | Максимальная температура, °С | Атмосфера в рабочем пространстве | Максимальная производительность, кг/ч | Установленная мощность, кВт | Продолжительность термической обработки, ч | Назначение |
|---------------------|----------------|-----------------------------------|-------|--------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|---|
| | | Ширина | Длина | Высота | | | | | | |
| Низкотемпературные | СТО-6.35.4/3 | 6 | 35 | 4 | 350 | Окислительная | 300 | 35—45 | 3—6 | Низкотемпературный отпуск стальных деталей |
| | СТО-6.48.5/3 | 6 | 48 | | | | 450 | 45—55 | | |
| | СТО-12.48.4/3 | 12 | 48 | | | | 900 | 90—110 | | |
| | СТО-12.105.4/3 | 12 | 105 | | | 1800 | 150—170 | | | |
| Среднетемпературные | СТО-8.48.6/5 | 8 | 48 | 6 | 550 | Окислительная | 200 * | 80—110 | 3—6 | Термическая обработка деталей из алюминиевых сплавов |
| | СТО-16.70.6/5 | 16 | 70 | | | | 600 * | 200—240 | | |
| | СТЗ-6.35.4/7 | 6 | 35 | 4 | 750 | Защитная | 300 | 70—90 | 3—8 | Высокотемпературный отпуск стальных деталей, термическая обработка деталей из цветных сплавов |
| СТЗ-6.48.4/7 | 6 | 48 | 450 | | | | 100—130 | | | |
| СТЗ-12.48.4/7 | 12 | 48 | 900 | | | | 190—200 | | | |
| СТЗ-12.105.4/7 | 12 | 105 | 1800 | | | | 290—320 | | | |
| | СТО-6.48.4/7 | 6 | 48 | 4 | 750 | Окислительная | 450 | 100—130 | 3—8 | |
| | СТО-12.48.4/8 | 12 | 48 | | | | 900 | 190—200 | | |

| Тип печи | Размеры рабочего пространства, дм | | | Максимальная температура, °С | Атмосфера в рабочем пространстве | Максимальная производительность, кг/ч | Установленная мощность, кВт | Продолжительность термической обработки, ч | Назначение | |
|---------------------|---|--------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|------------|---|
| | Ширина | Длина | Высота | | | | | | | |
| Высокотемпературные | СТЗ-6.24.4/10 СТЗ-6.35.4/10 СТЗ-12.35.4/10 СТЗ-12.70.4/10 | 6 6 12 12 | 24 35 35 70 | 4 | 1000 | Защитная | 300 450 900 1800 | 90—120 140—170 250—290 500—560 | 2,5—5 | Закалка и нормализация стальных деталей |
| | СТЗ-8.70.4/10 СТЗ-16.105.4/10 | 8 16 | 70 105 | 4 | 1000 | | 500 1500 | 210—240 520—580 | 8—15 | Отжиг стальных деталей |
| | СТЗ-6.35.4/10 СТЗ-12.48.4/10 | 6 12 | 35 48 | 4 | 1000 | Окислительная | 450 1200 | 140—170 340—380 | 2,5—5 | Отжиг точного литья |
| | СТЦ-6.70.4/11 СТЦ-6.95.4/11 СТЦ-12.70.4/11 СТЦ-12.105.4/11 | 6 6 12 12 | 70 95 70 105 | 4 | 1100 | Цементационная | 450 600 900 1200 | 200—240 250—300 350—400 500—550 | 4—18 | Цементация и нитроцементация стальных деталей |

Примечание Буква «С» — нагрев сопротивлением; «Т» — толкательная печь; «З» — защитная атмосфера; «О» — окислительная атмосфера; «Ц» — цементационная атмосфера Цифры после букв: в числителе — размеры рабочего пространства, дм (ширина, длина, высота), в знаменателе — температура рабочего пространства, сотни °С

* Производительность по изделиям из алюминиевых сплавов.

206. Конвейерные закалочные и отпускные электропечи для термической обработки мелких и средних изделий

| Обозначение агрегата | Производительность, кг/ч | Закалочные электропечи | | | | | Отпускные печи | | | | |
|----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------------|---------------|---------------------|--------------------------------------|
| | | Обозначение | Максимальная температура, °C | Мощность, кВт | Рабочая площадь пода, дм | Объемный расход защитного газа, м³/ч | Обозначение | Максимальная температура, °C | Мощность, кВт | Рабочая площадь, дм | Объемный расход защитного газа, м³/ч |
| СКЗА-1/3 | 50—80 | СКЗ-02.20.01/9 | $\frac{900}{2}^*$ | 30—40 | 2×20 | 5 | СКО-03.35.04/3 | $\frac{350}{2}^*$ | 15 | 3×35 | — |
| СКЗА-17 | 50—80 | СКЗ-02.20.01/9 | $\frac{900}{2}$ | 30—40 | 2×20 | 5 | СКЗ-02.20.01/7 | $\frac{700}{2}$ | 20—30 | 2×20 | 5 |
| СКЗА-2/3 | 100—160 | СКЗ-04.20.01/9 | $\frac{900}{2}$ | 55—70 | 4×20 | 10 | СКО-06.35.04/3 | $\frac{350}{2}$ | 35 | 6×35 | — |
| СКЗА-2/7 | 100—160 | СКЗ-04.20.01/9 | $\frac{900}{2}$ | 55—70 | 4×20 | 10 | СКЗ-04.20.01/7 | $\frac{700}{2}$ | 40—55 | 4×20 | 10 |
| СКЗА-3/3 | 150—240 | СКЗ-04.30.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 80—100 | 4×30 | 15 | СКО-08.35.04/3 | $\frac{350}{2}$ | 45 | 8×35 | — |
| СКЗА-3/7 | 150—240 | СКЗ-04.30.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 80—100 | 4×30 | 15 | СКЗ-04.30.01/7 | $\frac{700}{3}$ | 60—80 | 4×30 | 15 |
| СКЗА-4/3 | 225—360 | СКЗ-06.30.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 120—150 | 6×30 | 20 | СКО-08.55.04/3 | $\frac{350}{2}$ | 55 | 8×55 | — |

| Обозначение агрегата | Производительность, кг/ч | Закалочные электропечи | | | | | Отпускные печи | | | | |
|----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------------|---------------|---------------------|--------------------------------------|
| | | Обозначение | Максимальная температура, °С | Мощность, кВт | Рабочая площадь пода, дм | Объемный расход защитного газа, м³/ч | Обозначение | Максимальная температура, °С | Мощность, кВт | Рабочая площадь, дм | Объемный расход защитного газа, м³/ч |
| СКЗА-4/7 | 225—360 | СКЗ-06.30.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 120—150 | 6×30 | 20 | СКЗ-6.30.1/7 | $\frac{700}{3}$ | 100—120 | 6×30 | 15 |
| СКЗА-5/3 | 300—480 | СКЗ-08.38.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 150—200 | 8×30 | 30 | СКО-12.55.04/3 | $\frac{350}{3}$ | 75 | 12×55 | — |
| СКЗА-5/7 | 300—480 | СКЗ-08.30.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 150—200 | 8×30 | 30 | СКЗ-08.30.01/7 | $\frac{700}{3}$ | 140—160 | 8×30 | 25 |
| СКЗА-6/3 | 400—640 | СКЗ-08.40.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 210—270 | 8×40 | 40 | СКО-12.75.04/3 | $\frac{350}{4}$ | 110 | 12×75 | — |
| СКЗА-6/7 | 400—640 | СКЗ-08.40.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 210—270 | 8×40 | 40 | СКЗ-08.40.01/7 | $\frac{700}{3}$ | 170—220 | 8×40 | 30 |
| СКЗА-7/3 | 500—800 | СКЗ-10.40.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 250—320 | 10×40 | 50 | СКО-14.75.01/3 | $\frac{350}{4}$ | 130 | 14×75 | — |
| СКЗА-7/7 | 500—800 | СКЗ-10.40.01/9 | $\frac{900}{3}$ | 250—320 | 10×40 | 50 | СКЗ-10.40.01/7 | $\frac{700}{3}$ | 200—250 | 10×40 | 40 |

| Обозначение агрегата | Производительность, кг/ч | Закалочные электропечи | | | | | Отпускные печи | | | | |
|----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|---|-----------------|------------------------------|---------------|---------------------|---|
| | | Обозначение | Максимальная температура, °С | Мощность, кВт | Рабочая площадь пода, дм | Объемный расход защитного газа, м ³ /ч | Обозначение | Максимальная температура, °С | Мощность, кВт | Рабочая площадь, дм | Объемный расход защитного газа, м ³ /ч |
| СКЗА-8/3 | 700—1100 | СКЗ-08.70.01/9 | $\frac{900}{5}$ | 350—420 | 8×70 | 50 | СКО-16.95.04/3 | $\frac{350}{5}$ | 150 | 16×95 | — |
| СКЗА-8/7 | 700—1100 | СКЗ-08.70.01/9 | $\frac{900}{5}$ | 350—420 | 8×70 | 50 | СКЗ-08.70.01/7 | $\frac{700}{5}$ | 250—320 | 8×70 | 40 |
| СКЗА-9/3 | 1000—1700 | СКЗ-12.70.01/9 | $\frac{900}{5}$ | 500—620 | 12×70 | 60 | СКО-20.115.04/3 | $\frac{350}{7}$ | 250 | 20×115 | — |
| СКЗА-9/7 | 1000—1700 | СКЗ-12.70.01/9 | $\frac{900}{5}$ | 500—620 | 12×70 | 60 | СКЗ-12.70.01/7 | $\frac{700}{5}$ | 400—500 | 12×70 | 50 |
| СКЗА-10/3 | 1500—2400 | СКЗ-12.100.01/9 | $\frac{900}{7}$ | 650—850 | 12×100 | 70 | СКО-20.155.04/3 | $\frac{350}{9}$ | 350 | 20×155 | — |
| СКЗА-10/7 | 1500—2400 | СКЗ-12.100.01/9 | $\frac{900}{7}$ | 650—850 | 12×100 | 70 | СКЗ-12.100.01/7 | $\frac{700}{7}$ | 500—700 | 12×100 | 60 |

Примечания: 1. Буква «С» — нагрев сопротивлением; «К» — конвейерный агрегат; «З» или «О» — соответственно защитная или окислительная атмосфера; «А» — агрегат. Цифры после букв для агрегата: в числителе — номер компоновки агрегата, в знаменателе — температура отпускной электропечи, сотни °С, для печей: в числителе — ширина, длина и высота рабочего пространства печей, дм, в знаменателе — температура рабочего пространства, сотни °С. 2. В состав каждого агрегата входят закалочная и отпускная печи и моечная машина. 3. В графе со звездочкой везде в знаменателе указано количество зон.

207. Камерные электропечи сопротивления широкого назначения с металлическими нагревателями

| Тип печи | Размеры рабочего пространства, мм | | | Температура применения, °С |
|---------------------|-----------------------------------|-------|--------|----------------------------|
| | Ширина | Длина | Высота | |
| СНО-2,0.4,0.1,4/7 | 200 | 400 | 140 | 700 |
| СНЗ-2,0.4,0.1,4/10 | 200 | 400 | 140 | 1000 |
| СНЗ-2,0.4,0.1,4/12 | 200 | 400 | 140 | 1250 |
| СНО-2,5.5,0.1,7/7 | 250 | 500 | 170 | 700 |
| СНЗ-2,5.5,0.1,7/10 | 250 | 500 | 170 | 1000 |
| СНЗ-2,5.5,0.1,7/12 | 250 | 500 | 170 | 1250 |
| СНО-3,0.6,5.2,0/7 | 300 | 650 | 200 | 700 |
| СНЗ-3,0.6,5.2,0/10 | 300 | 650 | 200 | 1000 |
| СНЗ-3,0.6,5.2,0/12 | 300 | 650 | 200 | 1250 |
| СНО-4,0.8,0.2,6/7 | 400 | 800 | 260 | 700 |
| СНЗ-4,0.8,0.2,6/10 | 400 | 800 | 260 | 1000 |
| СНЗ-4,0.8,0.2,6/12 | 400 | 800 | 260 | 1250 |
| СНО-5,0.10.3,2/7 | 500 | 1000 | 320 | 700 |
| СНЗ-5,0.10.3,2/10 | 500 | 1000 | 320 | 1000 |
| СНЗ-5,0.10.3,2/12 | 500 | 1000 | 320 | 1250 |
| СНО-6,5.13.4,0/7 | 650 | 1300 | 400 | 700 |
| СНЗ-6,5.13.4,0/10 | 650 | 1300 | 400 | 1000 |
| СНЗ-6,5.13.4,0/12 | 650 | 1300 | 400 | 1250 |
| СНО-8,5.17.5,0/7 | 850 | 1700 | 500 | 700 |
| СНЗ-8,5.17.5,0/10 | 850 | 1700 | 500 | 1000 |
| СНЗ-8,5.17.5,0/12 | 850 | 1700 | 500 | 1250 |
| СНО-11.22.7,0/7 | 1100 | 2200 | 700 | 700 |
| СНЗ-11.22.7,0/10 | 1100 | 2200 | 700 | 1000 |
| СНЗ-11.22.7,0/12 | 1100 | 2200 | 700 | 1250 |
| СНО-14.28.9,0/7 | 1400 | 2800 | 900 | 700 |
| СНЗ-14.28.9,0/10 | 1400 | 2800 | 900 | 1000 |
| СНЗ-14.28.9,0/12 | 1400 | 2800 | 900 | 1250 |
| СНО-18.36.12/7 | 1800 | 3600 | 1200 | 700 |
| СНЗ-18.36.12/10 | 1800 | 3600 | 1200 | 1000 |
| СНЗ-18.36.12/12 | 1800 | 3600 | 1200 | 1250 |
| СНО-23.46.15/7 | 2300 | 4600 | 1500 | 700 |
| СНЗ-23.46.15/10 | 2300 | 4600 | 1500 | 1000 |
| СНЗ-23.46.15/12 | 2300 | 2600 | 1500 | 1250 |
| СНЗА-3,0.6,5.2,0/10 | 300 | 650 | 200 | 1000 |
| СНЗА-4,0.8,0.2,6/10 | 400 | 800 | 260 | 1000 |
| СНЗА-5,0.10.3,2/10 | 500 | 1000 | 320 | 1300 |
| СНЗА-6,5.13.4,0/10 | 650 | 1300 | 400 | 1000 |
| СНЗА-8,5.22.5,0/10 | 850 | 2200 | 500 | 1000 |

Примечание. Буква «С» — нагрев сопротивлением; «Н» — камерная нагревательная электропечь; «З» или «О» — соответственно защитная или окислительная атмосфера; «А» — агрегат. Цифры после букв: в числителе — ширина, длина и высота рабочего пространства, дм, в знаменателе — температура рабочего процесса сотн. °С.





210. Электроды сопротивления периодического действия для газового азотирования

| Тип печи | | Размеры рабочего пространства, дм | | | Мощность, кВт | Максимальная температура, °С | Максимальная масса одновременноной загрузки, кг |
|--|------------------|-----------------------------------|-------|--------|---------------|------------------------------|---|
| | | Диаметр или ширина | Длина | Высота | | | |
| Шахтные электроды | США-2.3/6 | 2 | — | 3 | 12 | 650 | 50 |
| | США-3.2.4.8/6 | 3,2 | — | 4,8 | 20 | 650 | 150 |
| | США-5.7.5/6 | 5 | — | 7,5 | 50 | 650 | 400 |
| | США-8.12/6 | 8 | — | 12 | 100 | 650 | 1200 |
| | США-12.5.20/6 | 12,5 | — | 20 | 150 | 650 | 2000 |
| | США-15.22,5/6 | 15 | — | 22,5 | 180 | 650 | 2500 |
| | США-20.30/6 | 20 | — | 30 | 220 | 650 | 3000 |
| США-25.37.5/6 | 25 | — | 37,5 | 300 | 650 | 3500 | |
| Двухстендовые контейнерные электроды с передвижной камерой | СНА-7.5.24.10/6М | 7,5 | 24 | 10 | 100 | 650 | 1200 |
| | СНА-10.32.13/6М | 10 | 32 | 13 | 200 | 650 | 2000 |
| | СНА-13.45.16/6М | 13 | 45 | 16 | 400 | 650 | 3500 |

Примечание. Буква «С» — нагрев сопротивлением; «Ш» или «Н» — соответственно шахтная или камерная печь; «А» — печь азотирования. Цифры после букв: в числителе — размеры рабочего пространства (диаметр, высота или ширина, длина, высота), дм, в знаменателе — температура рабочего пространства, сотни °С. Буква «М» — механизированная печь.

211. Техническая характеристика установок для ионного азотирования конструкции ВНИИЭТО

| Тип установки | Мощность, кВт | Размеры рабочего пространства, мм | | Габаритные размеры, мм | | | Масса садки, кг | Количество рабочих камер |
|----------------|---------------|-----------------------------------|--------|------------------------|--------|--------|-----------------|--------------------------|
| | | Диаметр | Высота | Длина | Ширина | Высота | | |
| НГВ-6.6/6-И1 | 67 | 600 | 600 | 5 000 | 6000 | 2200 | 50 | 1 |
| ОКБ-1566 | 170 | 960 | 1200 | 6 000 | 5000 | 4200 | 500 | 2 |
| НШВ-20.24/6-И1 | 350 | 2000 | 2400 | 10 700 | 6200 | 8000 | 2500 | 1 |
| НШВ-28.7/6-И1 | 680 | 2800 | 700 | 17 700 | 6000 | 3860 | 1000 | 1 |

212. Техническая характеристика безмуфельных агрегатов с газовым обогревом

| Параметры | Однорядные агрегаты | | | | | Двухрядные агрегаты | |
|--|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|---------|
| | 9 | 12 | 17 | 18 | 21 | 44 | 48 |
| Количество поддонов в безмуфельной печи | | | | | | | |
| Производительность, кг/ч: | | | | | | | |
| при закалке | 300 | 250—300 | 350—400 | — | 500—600 | — | — |
| при нитроцементации на глубину 0,5—0,7 мм | 170 | 150—200 | 300—350 | 300—350 | 400—450 | 700—800 | 750—850 |
| при цементации на глубину 0,9—1,1 мм | — | 100—120 | 150—200 | 150—200 | 200—250 | 500—600 | 550—650 |
| Температура применения, °С: | | | | | | | |
| в безмуфельной печи | 800—950 | 800—950 | 800—950 | 800—950 | 800—950 | 800—950 | 800—950 |
| в отпускной печи | 180—600 | 160—200 | 160—200 | — | 160—200 | 160—200 | 160—200 |
| масла в закалочном баке | 40—60 | 170—190 | 170—190 | — | 170—190 | 170—190 | 170—190 |
| Мощность, кВт | 52,4 | 84,0 | 34,4 | 81,5 | 84,0 | 95,0 | 90,2 |
| Расход газа на обогрев, м ³ /ч | 40—50 | 60—75 | 75 | 75 | 90—120 | 70 | 120—180 |
| Расход воздуха на обогрев, м ³ /ч | 400 | 600—750 | — | — | — | 2 100 | 4 000 |
| Расход технологических газов, м ³ /ч: | | | | | | | |
| эндогаз | 25 | 25 | 25—30 | 25—30 | До 60 | До 60 | 60—70 |
| городской газ | 1,0—1,5 | 1,0—1,5 | 1,0—2,0 | 1,0—2,0 | 1,0—2,0 | 1,5—2,5 | 1,5—2,5 |
| аммиак | 0,5—1,0 | 0,8—1,0 | 0,8—1,0 | 0,8—1,0 | 0,8—1,0 | 1,0—1,5 | 0,5—1,5 |
| азот | 0,5—1,0 | 0,5—1,0 | 0,5—1,0 | 0,5—1,0 | 1,0—1,5 | — | 0,5—1,5 |
| Расход воды, м ³ /ч | 3,0 | 10,0 | 8,5 | 12,5 | 5,0 | — | 12,0 |
| Расход пара, кг/ч | 300 | 300 | 350 | — | 350—400 | 400—450 | 500 |
| Габаритные размеры, мм: | | | | | | | |
| длина | 14 900 | 16 000 | 14 600 | 16 800 | 16 250 | 28 405 | 19 500 |
| ширина | 5 300 | 5 500 | 5 000 | 4 100 | 4 980 | 6 300 | 8 800 |
| высота | 6 410 | 6 500 | 6 210 | 6 210 | 6 500 | 4 300 | 6 000 |

Примечание. Размер поддона для всех агрегатов 650×405 мм.

213. Вакуумные электрические печи для термической обработки

| Класс печей | Тип печи | Температура применения, °C | Материал основных элементов печи | | Остаточное давление, Па | Размер рабочего пространства, м | | | Примечание |
|--------------------|------------------|----------------------------|--|--|-------------------------|---------------------------------|-------|--------------------------|-----------------------------------|
| | | | нагревателей | теплоизоляции | | Диаметр или ширина | Длина | Высота | |
| Низкотемпературные | СЭВ-3.3/11,5ФМ2 | 1150 | Сплавы сопротивления | Шамот | 10^{-1} | 0,3 | — | 0,2 | Возможна закалка в газе и в масле |
| | СЭВ-5.5/11,5Ф | | | | | — | 0,5 | Возможна закалка в газе | |
| | СНВ-5.10.5/11,5Ф | | | | | 1 | | Возможна закалка в масле | |
| | СНВ-5.15.5/11,5 | | | | | 1,5 | | — | |
| | СШВ-8.8/9Э | 900 | Экраны из нержавеющей сталей | — | 10^{-2} | 0,3 | — | 0,8 | — |
| | СНВ-22.90,4,5/9Э | | | | 10^{-1} | 2,2 | 9 | 0,45 | |
| | ОКБ-1371А | 900 | Сплавы сопротивления вне рабочего пространства | Шамот вне рабочего пространства | 10^{-2} | 0,27 | 10 | — | Муфельная, камерная |
| | 1СШВ-3.100/9 | | | | | 0,3 | — | 10 | Муфельная, шахтная |
| | ОКБ-8039 | 800 | Молибден | Экраны из молибдена и нержавеющей сталей | 10^{-7} | 0,3 | 0,7 | — | Сверхвысоковакуумная |

| Класс печей | Тип печи | Температура применения, °С | Материал основных элементов печи | | Остаточное давление, Па | Размер рабочего пространства, м | | | Примечание |
|---------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|
| | | | нагревателей | теплоизоляции | | Диаметр или ширина | Длина | Высота | |
| Среднетемпературные | СШВ-3.3/13Г | 1300 | Графит | Графит | 10^{-1} | 0,3 | — | 0,3 | Возможна закалка в газе |
| | СНВ-3.6.3/13Г | | | | | | 0,6 | | Возможна закалка в газе и в масле |
| | СГВ-2.4/15 | 1500 | Молибден | Экраны из молибдена и нержавеющей сталей | 10^{-2} | 0,2 | — | 0,4 | — |
| | СНВ-1.3.1/16Э | 1600 | Вольфрам | | | 0,1 | 0,3 | 0,1 | |
| | СЭВ-8.8/16ЭМ1 | | Молибден | | 10^{-3} | 0,8 | — | 0,8 | |
| | СШВ-15.15/13ЭМ2 | 1300 | | | 10^{-3} | 1,5 | — | 1,5 | |
| СЭВ-5.10/13Э | $6 \cdot 10^{-5}$ | | 0,5 | | — | 1 | Сверхвысоковакуумная | | |
| Высокотемпературные | СШВ-1.2,5/25ЭМ1 | 2500 | Вольфрам | | Экраны из вольфрама и молибдена | 10^{-2} | 0,1 | — | 0,25 |
| | СЭВ-1.2/22Э | 2200 | | — | | 0,2 | | Сверхвысоковакуумные | |
| | СЭВ-2,5.5/22Э | | | 10^{-6} | | 0,25 | — | | 0,5 |
| | СШВ-2.20/20 | 2000 | | 10^{-2} | | 0,2 | — | 2 | |
| | СЭВ-3.6/22ГМ3 | 2200 | Графит | Графит | 10^{-1} | 0,3 | — | 0,6 | — |
| | СЭВ-8.8/22М02 | | | | 10^{-2} | 0,5 | — | 0,5 | |

214. Электрованны с наружным обогревом тигля

| Тип электрованны | Мощность, кВт | Диаметр тигля, дм | Глубина тигля, дм | Вместимость тигля, дм ³ |
|------------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| СВГ-10/8,5 | 10 | 2 | 3,5 | 10 |
| СВГ-20/8,5 | 20 | 3 | 5,3 | 34 |
| СВГ-30/8,5 | 30 | 4 | 5,5 | 60 |

Примечания: 1. Буква «С» — нагрев сопротивлением; «В» — ванна; «Г» — ванна с наружным обогревом тигля. Цифры после букв: в числителе — мощность электрованны, кВт, в знаменателе — максимальная температура, сотни °С. 2. Ванны могут быть использованы для нагрева под термическую обработку в расплавленном свинце

215. Электродные ванны

| Тип электродной ванны | Мощность электродной группы, кВт·А | Число электродных групп | Сечение электрода, мм | Температура применения, °С | Назначение |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|--|
| СВС-35/6,5 | 35 | 1 | ∅ 45 | 160—650 | Подогрев инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-60/8,5 | 60 | 1 | ∅ 60 | 550—850 | Подогрев инструмента из быстрорежущей стали (вторая ступень) |
| СВС-35/13 | 35 | 1 | ∅ 45 | 850—1300 | Окончательный нагрев инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-35-2/6,5 | 35 | 2 | ∅ 45 | 160—650 | Первая ступень нагрева инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-35.2/8,5 | 35 | 2 | ∅ 45 | 550—850 | Вторая ступень нагрева инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-60/13 | 60 | 1 | ∅ 60 | 850—1300 | Окончательный нагрев инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-35.2/6,5 | 35 | 2 | ∅ 45 | 160—650 | Первая ступень нагрева инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-35.2/8,5 | 35 | 2 | ∅ 45 | 550—850 | Вторая ступень нагрева инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-100/13 | 100 | 1 | ∅ 75 | 850—1300 | Окончательный нагрев инструмента из быстрорежущей стали |
| СВС-35.2/13 | 35 | 2 | ∅ 45 | 850—1300 | Нагрев под закалку инструмента средней длины |
| СВС-20/13 | 20 | 1 | ∅ 30 | 850—1300 | Термическая обработка изделий приборов |
| СВС-100/8,5 | 100 | 3 | 55×55 | 550—850 | Нагрев под закалку и цинкование |
| СВС-100.2/13 | 100 | 2 | ∅ 75 | 850—1300 | Нагрев крупных изделий |
| СВС-100.3/13 | 100 | 3 | ∅ 75 | 850—1300 | То же |
| СВС-100.8/13 | 100 | 8 | ∅ 75 | 850—1300 | » |

Примечание Первая буква «С» — нагрев сопротивлением; «В» — ванна; третья буква «С» — электродная ванна. Цифры после букв означают в числителе мощность, кВт, в знаменателе — максимальную температуру, сотни °С.

По возможности необходимо применять термические печи, футерованные новыми волокнистыми огнеупорными материалами, так как эта футеровка обеспечивает:

- а) качественный нагрев изделий под термическую обработку;
- б) повышение производительности печей на 30—40 %;
- в) уменьшение расхода энергоресурсов при нагреве и выдержке под операции термической обработки на 15—20 %;
- г) уменьшение расхода огнеупоров в восемь—десять раз.

Удельная производительность печей при различных режимах нагрева приведена в табл. 204.

По сравнению с выпускавшимися ранее камерными электропечами серии «Н» приведенные в табл. 207 типы печей отличаются конструктивными усовершенствованиями (количество типоразмеров дополнено более крупными и высокопроизводительными печами, помимо существующих среднетемпературных электропечей типаж дополнен номенклатурой низко- и высокотемпературных электропечей, температура группы среднетемпературных электропечей повышена с 850 до 1000 °С и др.).

Вертикальные (шахтные) электропечи сопротивления широкого назначения с металлическими нагревателями (см. табл. 208) применяются для различных видов термической обработки изделий: отжига, закалки, нормализации, отпуска, термической обработки изделий из цветных сплавов. Электропечи выпускаются промышленностью для широкого диапазона температур в пределах 350—1250 °С.

В комплект установки помимо электропечи входят щиты с аппаратурой управления и приборами теплового контроля, механизмы поворота крышек электропечей, газоприотводительные установки защитной атмосферы, печные понижающие трансформаторы (в необходимых случаях).

По сравнению с обычными вертикальными электропечами, безмуфельные электропечи (см. табл. 209) имеют следующие преимущества:

- а) отсутствие жароупорного муфеля, что позволяет ускорить процесс нагрева и выдержки и снизить стоимость печи;
- б) введение процесса химико-термической обработки при 1050 °С вместо применяемой ранее 950 °С.

В комплект поставки безмуфельных печей помимо электропечи входят герметичный колодец для безокислительного охлаждения садки после химико-термической обработки, автотрансформатор и щит с аппаратурой управления.

В комплект электропечей для газового азотирования входят понижительный трансформатор (для печей малых размеров), щиты управления и автоматического регулирования температуры, щиты для приборов анализа и контроля состава газа. Электропечи могут быть дополнительно укомплектованы силикогелиевым осушителем, а также ваннами для подогрева аммиачных баллонов.

Соляные электрованны широкого назначения подразделяются на электрованны с наружным обогревом тигля (табл. 214) и электродные ванны (табл. 215).

56. Установки для приготовления контролируемых атмосфер

Исходным сырьем для приготовления контролируемых атмосфер могут быть широко распространенные природные углеводородные газы, сжиженные пропан-бутановые смеси, жидкий аммиак, технический азот и другие газы.

216. Типы и характеристика установок для приготовления контролируемых атмосфер

| Установка и ее модификация | Состав контролируемой атмосферы (объемная доля, %) | Производительность, м ³ /ч | Мощность электрооборудования, кВт | Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м ³ | Объемный расход исходного газа, м ³ /ч | Габаритные размеры, мм | | | Масса, т |
|--|---|--|--|--|--|---|--|--|---|
| | | | | | | Длина | Ширина | Высота | |
| ЭН-16М02 ЭН-16ГМ03 ЭН-30М2 ЭН-60М1 ЭН-60ГМ1 ЭН-125М2 ЭН-250ГМ3 | Эндогаз (20 % CO; 40 % H ₂ ; до 1 % CH ₄ ; до 1 % CO ₂ ; остальное — азот). Точка росы 5—11 °С | 16 16 30 60 60 125 250 | 12 1,8 29 37 9 53 22 | 0,40 0,09 0,32 0,33 0,08 0,32 0,09 | 3,30 3,30 6,20 12,4 12,4 25,6 51,2 | 1 300 1 500 2 835 2 835 3 000 3 030 8 150 | 1050 1250 1600 1600 1685 1750 2500 | 2135 2135 3090 3090 3090 3340 3820 | 1,15 1,15 3,27 3,60 3,60 4,30 19,40 |
| ЭК-8М1 ЭК-60М1 ЭК-125М03 ЭК-250М2 | Эндогаз (4—12 % CO ₂ ; 2—12 % CO; 2—20 % H ₂ ; 0,5—1,0 % CH ₄ ; остальное — азот). Точка росы 25—30 °С | 8 60 125 250 | 0,6 3,0 3,0 7,5 | 0,060 0,082 0,030 0,030 | 0,94—1,14 7,0—8,6 14,7—17,9 29,4—35,7 | 1 170 2 900 3 800 4 700 | 1010 1250 1650 1850 | 2205 2300 2660 2250 | 0,53 1,41 3,34 5,4 |
| ЭК-8М2 ЭК-60М2 | Осушенный экзогаз (4—12 % CO ₂ ; 2—12 % CO; 2—20 % H ₂ ; 0,5—1,0 % CH ₄ ; остальное — азот). Точка росы 25—30 °С | 8 60 | 9,7 15,4 | 0,50 0,26 | 0,94—1,14 7,0—8,6 | 2 210 2 900 | 1370 3650 | 2205 2405 | 1,40 3,97 |
| ЭК-80М2 ЭК-1250М2 | Очищенный экзогаз (2—12 % CO; 2—20 % H ₂ ; 0,5—1 % CH ₄ ; <0,05 % CO ₂). Точка росы 50—60 °С | 8 125 | 36 88 | 0,63 0,50 | 1,07—1,23 16,7—19,2 | 5 000 10 200 | 2400 4000 | 1600 3200 | 3,73 21,30 |
| ДА-30С ДА-60С | Диссоциированный аммиак с дожиганием (4—20 % H ₂ ; остальное — азот). Точка росы 40—50 °С | 30 60 | 25,2 48 | 0,5 0,53 | 7,6 кг/ч 15,2 кг/ч | 3 400 4 200 | 3400 3810 | 2030 2600 | 4,68 7,56 |

| Установка и ее модификация | Состав контролируемой атмосферы (объемная доля, %) | Производительность, м ³ /ч | Мощность электрооборудования, кВт | Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м ³ | Объемный расход исходного газа, м ³ /ч | Габаритные размеры, мм | | | Масса, т |
|----------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------------|--|--|------------------------|--------|--------|----------|
| | | | | | | Длина | Ширина | Высота | |
| ОКБ-1174 | Диссоциированный метанол (33,3 % СО: 66,6 % Н ₂) Точка росы 40—60 °С | 2 | 10 | 2,2 | 0,95 кг/ч | 1 780 | 1220 | 1945 | 1,03 |
| ВО-6 | Очищенный водород (99,999 % Н ₂). Точка росы 40—50 °С | 6 | 1 | 0,17 | 6 | 906 | 850 | 2150 | 0,36 |
| АЗ-6М1 | Очищенный азот (99,999 % N ₂) | 6 | 14,5 | 1,58 | 6 | 1 650 | 1200 | 1800 | 1,07 |
| АЗ-125М1 | Азот (90—96 % N ₂ : 4—10 % Н ₂) | 125 | 50 | 0,3 | 110—120 N ₂ 7,6 кг/ч NH ₃ | 5 300 | 3900 | 2500 | 6,75 |
| ИО-6М2 | Очищенный аргон (99,996—99,999 % Ar). Точка росы 60 °С | 6 | 29 | 2,5 | 6 | 2 800 | 1900 | 1200 | 2,2 |
| 1ЭН-62/ЭК-62 | Эндогаз + экзогаз | $\frac{62,5 *}{62,5}$ | 12 | 0,08 | $\frac{13 *}{7}$ | 3 500 | 2250 | 2740 | 4,0 |

* В числителе приведены данные для эндогаза, в знаменателе — для экзогаза

В табл. 216 приведены типы и характеристики установок. Установки поставляются комплектно.

Автоматические приборы для регулирования углеродного потенциала при цементации и нитроцементации серийно выпускаются промышленностью.

Ниже в качестве примера приведены данные по установке регулирования процесса газового цианирования.

Установка ОНМ-11 предназначена для автоматического регулирования углеродного потенциала печной атмосферы при ведении процессов химико-термической обработки. Установка позволяет одновременно вести контроль и регулирование содержания CO_2 в трех печах с различными технологическими режимами. В основу работы установки положен оптико-акустический метод анализа отходящих газов с помощью газоанализатора типов ОА-2209 (по CO_2) и ОА-2309 (по CH_4). Принцип работы указанных приборов основан на способности различных газов поглощать инфракрасную радиацию в том или другом спектре.

В качестве карбюризатора при ведении процесса высокотемпературного газового цианирования используется газовая смесь, состоящая из эндогаза, природного газа и аммиака. Газы в определенных количествах подаются через смесительный коллектор в цементационную печь.

Отбор газовой пробы из печи на анализ осуществляется через специальный газоотборник. Необходимое содержание CO_2 в печной атмосфере достигается добавкой природного газа в определенных количествах, установленных экспериментально. Для подачи регулируемой добавки в печь служит блок подачи, представляющий собой сварную раму, на которой смонтированы вентили ручной регулировки, ротаметр для контроля подачи добавки в печь и электропневмоклапан, автоматически регулирующий подачу.

Конструктивно установка ОНМ-11 выполнена в виде аппаратного шкафа, в котором смонтированы приборы и оборудование, необходимое для автоматического регулирования углеродного потенциала печной атмосферы по CO_2 . Установка позволяет обеспечить оптимальную концентрацию углерода в диффузионном слое в диапазоне 0,8—1,0 %.

Техническая характеристика установки ОНМ-11

| | |
|---------------------------|----------------|
| Число обслуживаемых печей | 1—3 |
| Напряжение, В | 127/220/380 |
| Цикл работы | Автоматический |
| Габаритные размеры, мм | 1560×700×1850 |

Автоматическая установка ОНМ-11 внедрена в производство.

57. Оборудование для индукционного нагрева

В табл. 217—220 приведены технические характеристики оборудования для индукционного нагрева.

Среднечастотные индукционные установки типа ИЗ предназначены для поверхностной закалки стальных и чугуновых изделий. Типовое обозначение установки: И — индукционная; З — закалочная; номер после ИЗ — обозначение модификации, цифра после тире — мощность средней частоты, кВт, в знаменателе — рабочая частота кГц.

Универсальные полуавтоматические станки (КУ-190 и КУ-198) используются для непрерывно-последовательной закалки гладких и шлицевых валов, валов-шестерен и шестерен, а также могут применяться для закалки косозубых и шевронных шестерен.

217. Технические характеристики установок типа ИЗ

17*

| Параметры | ИЗ1-30/8 | ИЗ1-100/2,4 | ИЗ2-100/8 | ИЗ1-200/2,4 | ИЗ2-200/8 |
|---|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| Напряжение питающей сети, В | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Число фаз | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Частота питающей сети, Гц | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Мощность, потребляемая от сети, кВт | 50 | 140 | 140 | 280 | 280 |
| Мощность средней частоты, кВт | 30 | 100 | 100 | 200 | 200 |
| Частота рабочая, Гц | 8000 | 2400 | 8000 | 2400 | 8000 |
| Напряжение, В: | | | | | |
| среднечастотной сети | 400 | 800 | 800 | 800 | 800 |
| на индукторе (максимальное) | 74 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Величина поверхности закаливаемой детали (максимальная) при одно-временной закалке, см ² | 25 | 200 | 200 | 400 | 400 |
| Глубина вакаливаемого слоя, мм | 1,3—2,5 | 2,5—10 | 1,3—5,0 | 2,5—10 | 1,3—5,0 |
| Диаметр нагреваемой детали (минимальный), мм | 17 | 35 | 19 | 35 | 19 |
| Расход воды на охлаждение, м ³ /ч * | 2,58 | 7,2 | 7,2 | 10,2 | 10,2 |
| Расход закалочной жидкости, л/мин | 83 | До 200 | До 200 | До 200 | До 200 |
| Давление закалочной жидкости, МПа | 0,4—0,6 | 0,4—0,6 | 0,4—0,6 | 0,4—0,6 | 0,4—0,6 |
| Габаритные размеры (суммарные), мм: | | | | | |
| в плане | 3750×1300 | 5200×2000 | 5200×2000 | 7000×2400 | 7000×2400 |
| высота | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Масса установки, кг | 2170 | 4500 | 4500 | 7000 | 7000 |

* Вода должна быть чистой, без механических примесей (количество примесей не должно превышать 40 мг/л); жесткость воды не должна превышать 3 мг·экв/л, температура охлаждающей воды на входе не должна превышать 25 °С, на выходе — 50 °С.

218. Техническая характеристика преобразователей типа ВПЧ

| Тип | Генератор | | | | | Двигатель | | | Масса преобразователя, кг | Расход воды на охлаждение, л/мин |
|--|------------------------------|---------------|---------------|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Частота, Гц | Мощность, кВт | Напряжение, В | Ток, А | Мощность, кВт (не более) | Мощность, кВт (не более) | Ток, А (не более) | Коэффициент (не менее) | | |
| ВПЧ12-8000 | 8000 | 12 | 200/100 | 66,7/133,4 | 0,4 | 16 | 29/50 | 0,85 | 650 | 12 |
| ВПЧ20-8000 ВПЧ20-2400 | 8000 2400 | 20 | 400/200 | 55,6/111,2 | 0,45 | 30 | 54/93 | 0,85 | 870 750 | 25 |
| ВПЧ30-8000 ВПЧ30-2400 | 8000 2400 | 30 | 400/200 | 83,3/166,6 | 0,5 | 41 | 73/126 | 0,85 | 1030 800 | 30 |
| ВПЧ50-8000 ВПЧ50-2400 | 8000 2400 | 50 | 400/200 | 139/278 | 0,7 | 76 | 136/235 | 0,85 | 1870 1660 | 35 |
| ВПЧ50-8000 ВПЧ50-2400 | 8000 2400 | | 800/400 | 69,5/139 | | | | | 1870 1660 | |
| ВПЧ100-8000 ВПЧ100-2400 ВПЧ100-8000 ВПЧ100-2400 | 8000 2400 8000 2400 | 100 | 400/200 | 278/556 | 1,0 | 138 | 233/405 | 0,9 | 2610 2240 2610 2240 | 40 |

Примечания. 1. ВПЧ означает вертикальный преобразователь частоты, первое число — мощность, кВт, второе — частота, Гц. 2. Пересоединение обмотки генератора производится на панели выводов.

**219. Техническая характеристика
высоочастотных установок и генераторов на частоту 66 кГц**

| Параметры | ВЧИ2-100/0,066 | ВЧИ3-160/0,066 | ВЧГ1-60/0,066 | ВЧГ4-60/0,066 | ВЧГ1-100/0,066 |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Напряжение питающей сети, В | 380 | 380 | 380 | 380; 400; 415; 440 | 380 |
| Число фаз питающей сети | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Частота тока питающей сети, Гц | 50 | 50 | 50 | 50; 60 | 50 |
| Колебательная мощность, кВт | 100 | 160 | 60 | 60 | 100 |
| Расход охлаждающей воды, м ³ /ч | 7,5 | 7,0 | 2,2 | 2,5 | 3,5 |
| Габаритные размеры, мм | | | | | |
| в плане | 2900× ×1420 | 4300× ×1400 | 2900× ×1420 | 2900× ×1920 | 2900× ×1420 |
| высота | 2200 | 2200 | 2200 | 2200 | 2200 |
| Масса, кг | 2600 | 3300 | 2050 | 2260 | 2360 |

Примечание. Буква ВЧ — высокоочастотная, И — индукционная, Г — генератор. Цифра после букв — модификация, цифра после тире — колебательная мощность, кВт, цифра в знаменателе — рабочая частота МГц.

220. Техническая характеристика станков серии КУ

| Детали, закаливаемые на станке | КУ-198 | КУ-199 | КУ-200 | КУ-202 |
|--|--------|--------|----------|----------|
| Зубчатые колеса с наружным зубом: | | | | |
| диаметр начальной окружности, мм | — | — | 300—1200 | 300—4000 |
| модуль, мм | — | — | 8—16 | 10—50 |
| длина зуба при одно-временной закалке | — | — | До 200 | 60—100 |
| мм | | | | |
| Зубчатые колеса с внутренним зубом (обоймы): | | | | |
| диаметр начальной окружности, мм | — | — | 380—1000 | 500—2500 |
| модуль, мм | — | — | 8—16 | 8—12 |
| длина зуба, мм | — | — | До 200 | До 200 |
| Конические прямозубые колеса: | | | | |
| наружный диаметр, мм | — | — | 300—1000 | 300—1000 |
| угол начального конуса, град | — | — | 5—45 | 5—85 |
| модуль, мм | — | — | 10—20 | 10—50 |
| Вал и вал-шестерня: | | | | |
| максимальная длина детали, мм | 300 | 5 000 | — | — |
| максимальный диаметр закаливаемой части, мм | 600 | 800 | — | — |

| Детали, закаляемые на станке | К У-198 | К У-199 | К У-200 | К У-202 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Максимальный диаметр начальной окружности, мм | 1600 | 800 | — | — |
| Минимальный диаметр начальной окружности, мм | 300 | 300 | — | — |
| Модуль, мм | 10—50 | 10—50 | — | — |
| Максимальная масса детали, кг | 6000 | 10 000 | 1500 | 7000 |

Универсальные полуавтоматические станки (КУ-200 и КУ-202) предназначены для одновременной закалки зуба прямозубых и косозубых шестерен, втулок и обоем крупномодульных зубчатых муфт, а также могут применяться для закалки конических шестерен.

58. Оборудование для низкотемпературной термической обработки (обработки холодом)

Низкотемпературные установки отечественного производства выпускаются в виде термокамер (ТК) или термобарокамер (ТКБ) в комплекте с холодильной машиной и приборами автоматического регулирования. Отечественные термокамеры изготавливаются двух типов: сундучковые (ТКСИ) с загрузкой сверху и шкафные (ТКШ). Первая цифра в шифре установки указывает полезный объем камеры (м³), вторая — низшую температуру в камере. Некоторые модели установок имеют электроннагреватели, которые позволяют автоматически поддерживать плюсовые температуры (до 150 °С). Термобарокамеры имеют вакуумнасосы, обеспечивающие вакуум до 260 Па.

Для охлаждения камер до температур от —50 до —70 °С применяются двухступенчатые машины, работающие на фреоне-22. Эти машины (с агрегатами ФДС-03А; ФДС-1,2; ФДС-2,5) поставляются также без камер, так как в ряде случаев предприятия-потребители сами изготавливают камеры с учетом специфики своего производства.

В табл. 221 и 222 приведены характеристики холодильных агрегатов, выпускаемых отечественными заводами.

59. Тепловой контроль

Высокие требования, предъявляемые к термической обработке, и точный технологический режим не могут быть выполнены без применения непрерывного контроля температуры. Тепловой контроль осуществляется при помощи контрольно-измерительных, регулирующих и регистрирующих приборов.

В табл. 223—226 приведены сведения по приборам теплового контроля.

60. Аппаратура для неразрушающего контроля качества термической обработки изделий

В последние годы стали широко применяться неразрушающие методы контроля для оценки качества термической обработки изделий. Эти методы основаны главным образом на измерении магнитных свойств

| Основные показатели | Термокамеры | | | | Термобарокамеры | |
|----------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | ТКСИ-0,1-70 | ТКСИ-0,2-80 | ТКШ-0,15-100 | ТКШ-1-100 | ТБК-0,15-70 | ТБК-0,4-70А |
| <i>Камера</i> | | | | | | |
| Полезный объем, м ³ | 0,1 | 0,2 | 0,15 | I | 0,15 | 0,4 |
| Внутренние размеры, мм | 450×600×350 | 600×1050×350 | 540×540×540 | 1000×1000×1000 | 540×540×540 | 730×730×730 |
| Температура в рабочем объеме, °С | От -70 до +100 | От -80 до +20 | От -100 до +100 | От -100 до +155 | От -70 до +100 | От -70 до +100 |
| Установленная мощность, кВт | 12,35 | 6,3 | 11,6 | — | 16 | 19 |
| Габаритные размеры, мм | 2130×1060×970 | 2800×1125×995 | 1740×1710×2075 | 2010×1940×2360 | 1970×1970×2295 | 1770×1710×2075 |
| Масса, кг | 350 | 1120 | 1200 | 2250 | 2300 | 1700 |
| <i>Холодильная машина</i> | | | | | | |
| Тип | Двухступенчатая | | | Каскадная | | |
| Компрессоры (марка): | | | | | | |
| нижняя ветвь | — | 13ФВС-6 | 13ФУС-12 | 13ФУУС-25 | 13ФВС-6 | 13ФВС-6 |
| верхняя часть | 22ФУС-12 | 22ФВС-6 | 22ФВС-6 | 22ФУС-12 | 22ФВС-6 | 22ФВС-6 |

222. Характеристика оборудования для обработки холодом

| Оборудование | Тип | Назначение оборудования | Диапазон температур применения, °С | Размеры рабочего пространства, мм | Габаритные размеры, мм | Мощность электрооборудования, кВт | Примечание |
|--|--------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|
| Термокамера | ТКСН-01-70 | Для обработки изделий холодом | От -70 | 450×600×350 | 2130×1063× | 12,35 | — |
| | ТКСИ-02-80 | | до +100 От -80 до +20 | 600×1050×350 | ×975 2800×1125× ×995 | 6,30 | |
| Термошкаф | ТКШ-0,15-100 | Для обработки и испытания изделий при низких температурах | От -100 до +100 | 540×540×540 | 1740×1710× ×2075 | 11,6 | Точность регулирования температуры ±2°С |
| Термобарокамеры | ТБК-0,15-70 | Для испытания изделий в интервале давлений от 1·10 ⁶ до 135—270 Па | От -70 до +100 | 540×540×540 | 1970×1970× ×2295 | 16 | |
| Низкотемпературная холодильная установка | ФДС-0,3А | Для создания и поддержания низких температур в термокамерах | От -20 | — | 1400×1100× | 5,6 | Термокамера изготовляется заказчиком |
| | ФДС-1,2-70В | | до -70 | — | ×1100 | 6,05 | |
| | ФДС-2,5-70В | | От -65 до +100 | — | — | 5,85 | |
| | СФДС-04-70В | | От -70 до +25 От -65 до +25 | — | — | — | |

223. Классификация приборов теплового контроля

| Приборы | Физическое явление, положенное в основу действия прибора | Пределы измерения температуры, °С |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Жидкостные стеклянные термометры | Расширение тела при нагреве | От +200 до +500 |
| Манометрические термометры | Изменение давления в замкнутой системе при нагреве воспринимающей части термометра, заполненной жидкостью, паром или газом | От -50 до +500 |
| Термоэлектрические пирометры | Возникновение электродвижущей силы при нагреве спая двух различных металлов | От -50 до +200 |
| Термометры сопротивления | Изменение электрического сопротивления проводника при измерении его температуры | От -200 до +500 |
| Пирометры излучения: оптические | Измерение яркости (интенсивности излучения) нагретого тела при изменении его температуры | От +800 до +2500 и выше |
| радиационные | Измерение полной величины энергии, излучаемой нагретым телом при изменении его температуры | От +400 до +4000 |

224. Техническая характеристика термопар

| Тип и марка термопары | | Назначение | Пределы измерения, °С | Градуировка | Длина, мм | |
|----------------------------|--|--|-----------------------|-------------|-----------|--|
| | | | | | общая | монтажная |
| Хромель-алюмелевые | ТХА-200Т | Измерение температуры жидких и газообразных сред | 0—600 | ХА | 280—480 | 120—320 |
| | ТХА-210Т | | 0—900 | | 500—3200 | 320—2500 |
| | ТХА-080Т ТХА-090Т ТХА-150Т ТХА-160Т | | 0—1000 | | 320—1410 | 160—1250 |
| | ТХА-420 ТХА-430 | Измерение температуры жидкостн, а также пара под давлением | От —50 до +600 | ХА | — | 173—325 |
| | ТХА-П (коленчатая) | Измерение температуры жидких и газообразных сред | 0—800 | — | — | 500 |
| | ТХА-591 (трехзонная) | Измерение температуры дымовых газов | 0—900 | ХА | — | Первая зона — 15 160 Вторая — 16 210 Третья — 17 960 |
| Хромель-копелевые | ТХК-040Т, ТХК-050Т | Измерение температуры жидких и газообразных сред | 0—600 | ХК | 500—3200 | 320—2500 |
| | ТХК-200Т, ТХК-210Т | | | | 280—480 | 120—320 |
| | ТХК-420, ТХК-430 | Измерение температуры жидкости, пара под давлением | От —50 до +600 | | — | 175—325 |
| | ТХК-834 | Измерение температуры поверхностей | 0—400 | | 9000 | — |
| | ТХКП-711 | | 0—350 | | — | 365; 610 |
| Платино-, платино-родневые | ТПП-II | Измерение температуры в промышленных условиях и лабораториях | 0—1300 | ПП-1 | 500—2000 | 320—500 |
| | ТПП-IV (переносная) | | | | 800 | 400 |
| | ТПП-V (переносная) | | | | 600 | 200 |
| | ТПП-320Т, ТПП-330Т | Измерение температуры в газообразных и окислительных средах | 0—1300 | ПП-1 | 500—2000 | 320—500 |

225. Фотоэлектрические пирометры

| Назначение прибора | Марка прибора | Область применения | Диапазон измерения температур, °С | Конструктивные и эксплуатационные особенности |
|---|---------------|---|-----------------------------------|---|
| Измерение температуры | ФП-10 | Термическая обработка неповоротных стыков | 500—900 | Фотодатчик устанавливается на индукторе |
| Изменение, запись и трехпозиционное регулирование температуры | ФП-8 | Термическая обработка деталей из черных и цветных металлов | 600—1200 | Фотодатчик устанавливается на поворотное устройство |
| | ФП-11 | Местная термическая обработка деталей на установках с ламповыми генераторами | | Фотодатчик имеет водоохлаждаемый корпус; устанавливается на штативе |
| | ФП-14 | Термическая обработка деталей из легких сплавов, местная термическая обработка на установках с ламповыми генераторами | 200—600 | |
| Измерение, запись и непрерывное регулирование температуры | ФПР-8 | Местная термическая обработка сварных швов | 600—1200 | Фотодатчик устанавливается на поворотное устройство |
| | ФПР-10 | Термическая обработка неповоротных стыков | 500—900 | Фотодатчик устанавливается на нагреватель |
| | ФПР-14 | Термическая обработка деталей из легких сплавов | 200—600 | Фотодатчик имеет водоохлаждаемый корпус; устанавливается на поворотное устройство |

226. Техническая характеристика термометров

| Тип термометров | Характеристика | Шкала, °С | | Длина, мм | | | Назначение |
|--------------------------------|---|--|---|---------------|-----------|---|---|
| | | От | До | верхней части | | рабочей части | |
| | | | | Прямые | Изогнутые | | |
| Технические с вложенной шкалой | Прямые и изогнутые под углом 90, 120 и 135° | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | +50 +100 +150 +200 +250 +300 +350 +400 +500 | 200 | 250±15 | 85 130 180 230 280 330 430 530 1000 | Измерение температуры в закалочных баках и масляных отпускных ваннах |
| Контактные | С одним контактом, прямые и изогнутые под углом 90° | 0 | +50 | 135±5 | 160±5 | 85 | Автоматическое регулирование температуры в закалочных баках |
| | С одним контактом, прямые и изогнутые под углом 20, 35 и 45° | 0 | +100 | | | 130 | |
| | С одним контактом, прямые и изогнутые под углом 75 или 150° | 0 | +150 | | | 230 | Автоматическое регулирование температуры и закалочных баках |
| | С двумя контактами, прямые и изогнутые под углом 50, 60 и 80° | 0 | +200 | | | 330 | |
| Жидкостные с метиловым спиртом | Термометры состоят из термобаллонов, капилляра, трубчатой пружины, сальпишущего механизма и указывающей шкалы | -46 | +150 | - | - | 20 | Регулирование температуры в закалочных баках, в масляных и соляных печах-ваннах |
| Ксилоловые | — | -40 | +400 | | | 22 | |
| Ртутные | — | -30 | +500 | | | 10—20 | |

227. Приборы для неразрушающего контроля

| Прибор | Назначение | Принцип действия | Техническая характеристика |
|---|--|--|--|
| <p>Универсальный магнитный дефектоскоп УМД-9000</p> | <p>Для обнаружения на поверхности изделий трещин, волосовин, флокенов и других дефектов; обнаруживают дефекты на глубине 2 мм от поверхности</p> | <p>Магнитно-порошковый. Дефект обнаруживается по оседанию крокуса в зоне дефекта</p> | <p>Питание от сети переменного тока: напряжение 220/380 В, частота 50 Гц Максимальный намагничивающий ток 10 000 А; максимальная напряженность при продольном намагничивании 500 Э. Максимальный размер контролируемых изделий: длина до 1600 мм, диаметр до 800 мм Габаритные размеры 2500×1000××1000 мм</p> |
| <p>Магнитный дефектоскоп ЦНВ-3 (дефектоскоп состоит из средств намагничивания, испытания и размагничивания изделий)</p> | <p>Для контроля изделий (прутков, труб) из ферромагнитных металлов</p> | <p>Магнитно-порошковый</p> | <p>Длина контролируемых деталей до 1200 мм, контроль может производиться по участкам Питание от сети трехфазного переменного тока: напряжение 220 В; частота 50 Гц; потребляемая мощность 8 кВт</p> |
| <p>Переносный магнитный дефектоскоп 77ПМД-3М (прибор смонтирован в металлическом чемодане)</p> | <p>Для контроля стальных изделий, для обнаружения поверхностных дефектов, залегающих на глубине до 2 мм</p> | | <p>Питание от сети постоянного тока: напряжение 24 В; мощность 220 Вт. Питание от сети переменного тока: напряжение 220 В; частота 50 Гц; мощность 700 Вт Габаритные размеры 638×300×210 мм Масса прибора с приспособлениями не более 30 кг</p> |

| Прибор | Назначение | Принцип действия | Техническая характеристика |
|---|---|---|--|
| Аустенометры (магнитные анализаторы) МА1-5; МА5-15; МА15-52 | Для контроля качества термической обработки концевго инструмента из быстрорежущей стали (сверл, метчиков, концевых фрез, разверток и т. п.) | Измерение магнитной проницаемости стали | Диаметр контролируемого инструмента 1—52 мм. Измерение в сравнении с эталоном, напряжение переменного тока 220 В, потребляемая мощность 0,4 кВт Габаритные размеры 360×440×230 мм Масса 16 кг |
| Козрцитиметр с приставными электромагнитами | Для контроля качества термической и химико-термической обработки стальных изделий | Связь коэрцитивной силы со структурой металла. По результатам измерения коэрцитивной силы металла определяют качество термической обработки, твердость и глубину слоя насыщения | Питание от сети переменного тока: напряжение 220 В; частота 50 Гц Габаритные размеры 340×490×210 мм Масса 22 кг |
| Козрцитиметр КИФМ-1 | Для контроля качества термической обработки изделий, изготовленных из ферромагнитной стали | Основан на наличии однозначной зависимости между коэрцитивной силой стали и ее твердостью | Диапазон измерения 1,5—44 А/см; погрешность — 5 %; питание от сети 36 или 220 В; частота 50 Гц; мощность 150 Вт |
| Автоматический прибор ТАМ-6 | Для контроля любой твердости мелких изделий в массовом производстве | Контролируемые изделия под действием собственной массы опускаются в поле намагничивающей катушки; в зависимости от магнитных свойств изделия сортируются по твердости | Питание от сети переменного тока: напряжение 220 В; частота 50 Гц Размеры контролируемых изделий: длина 5—70 мм; диаметр 6—18 мм Производительность контроля 2000—25 000 шт/ч |

| Прибор | Назначение | Принцип действия | Техническая характеристика |
|---|---|---|--|
| Дифференциальный магнитный прибор ПМПК-2 | Для контроля структуры и твердости изделий после термической обработки. Определяет недогрев, перегрев и мягкие пятна в термически обрабатываемых изделиях | Измерение магнитной проницаемости стали | Питание от сети переменного тока через стабилизатор напряжения. Стабильное напряжение 120 В, мощность 35 Вт, частота 50 Гц Габаритные размеры 350×200×200 мм Масса 10 кг Производительность св. 1000 шт/ч |
| Альфа-фазомстр | Для определения количества альфа-фазы в нержавеющей стали после термической обработки | Измерение магнитной проницаемости стали, которая зависит от количества магнитной составляющей (альфа-фазы), входящей в состав нержавеющей стали | Количество альфа-фазы определяется в % к объему испытуемого образца. Питание от сети переменного тока: напряжение 220 В, частота 50 Гц |
| Электромагнитный индуктивный дефектоскоп ЭМИД-3 | Для контроля марки стали, структуры, глубины слоя химико-термической обработки и твердости | Измерение магнитных и электрических характеристик стали в поле вихревых токов | Размеры контролируемых деталей 9—95 мм Питание от сети переменного тока: напряжение 220 В; частота 50 Гц Точность измерения твердости <i>HRC</i> 1,0 Масса 20 кг |
| Люминесцентный дефектоскоп ЛД-2 | Для выявления поверхностных дефектов на изделиях | Введение в полость дефектов люминесцирующего вещества, которое при облучении детали ультрафиолетовыми лучами обладает способностью светиться | Напряжение сети переменного тока 220 В, потребляемая мощность 3 кВт Габаритные размеры 600×1000×1400 мм Масса 400 кг |

228. Характеристика аустинометров

| Параметры | Тип прибора | | |
|-------------------------|--------------------|--------|---------|
| | МА1-5 | МА5-15 | МА15-52 |
| Принцип действия | Магнитный | | |
| Измеряемые диаметры, мм | 1—5 | 5—15 | 15—52 |
| Измерение | С помощью эталонов | | |
| Напряжение сети, В | 220 | 220 | 220 |
| Мощность, кВт | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Габаритные размеры, мм | 360×440×230 | — | — |
| Масса, кг | 16 | 16 | 16 |

229. Техническая характеристика универсальных магнитных дефектоскопов

| Параметры | Тип прибора | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------|---------|---------|--------------------------|
| | УМД-2500 | УМД-9000 | УМД-10000 | М-217 | АЕС-3 | МДА-3 |
| Принцип действия | Магнитно-порошковый метод | | | | | |
| Напряжение сети, В | 380 | 220/380 | 220/380 | 220/380 | 220 | 220/380 |
| Мощность, кВт | 20 | — | — | — | 9 | — |
| Максимальный намагничивающий ток, А | 4000 | 10 000 | 12 000 | 1500 | — | 6000 |
| Максимальное напряжение, В | 400 | 500 | — | — | — | — |
| Размер контролируемых деталей, мм: | | | | | | |
| диаметр | До 370 | До 800 | До 1 000 | — | До 200 | До 400 |
| длина | До 900 | До 1 600 | До 7 000 | До 500 | До 2000 | До 900 |
| Габаритные размеры, мм | 1800× ×1500× ×800 | 2 500× ×1 000× ×1 000 | — | — | — | 1000× ×1000× ×2000 |

230. Техническая характеристика нагревателей (сплавов сопротивления)

| Класс нагревателей | Марка сплава | Основные компоненты, массовая доля, % | | | | Предельная температура для эксплуатации, °С | Рекомендуемая среда для эксплуатации | Агрессивные (недопустимые среды) |
|----------------------|--------------|---------------------------------------|--------------------|---------|---------|---|--|---|
| | | Cr | Ni | Al | Ti | | | |
| Нихромы | X20H80-H | 20—23 | 75—78 | 0,2 | 0,4 | 1100 | Воздух, вакуум, защитные среды (водород, диссоциированный аммиак, эндогаз) | Сернистая |
| | X20H80T3 | 19—23 | Остальное | 0,4—1,1 | 2,0—2,9 | 1100 | Воздух, вакуум, водород, диссоциированный аммиак | Сернистая, углеродсодержащая |
| | X15H60-H | 15—18 | 55—61 | 0,2 | 0,4 | 1000 | | Сернистая |
| Нихромы с алюминием | XH70Ю | 26,0—29,0 | Остальное 56—61 | 2,6—3,5 | — | 1200 | Воздух, вакуум, защитные среды (водород, диссоциированный аммиак, эндогаз) | Сернистая |
| | X15H60Ю3А | 15—18 | | 3,2—4,0 | — | 1200 | | |
| Железохромоникелевые | X25H20 | 24—27 | 17—20 | — | — | 1000 | | |
| Железохромониевые | 0X27Ю5А | 26—28 | 0,6 | 5,0—5,8 | — | 1300 | Воздух, сернистые среды, вакуум не выше 1350—135 Па | Щелочная среда и среда, содержащая галлоиды |
| | 0X23Ю5А | 21,5—23,5 | 0,6 | 4,5—5,2 | — | 1200 | | |
| | X13Ю4 | 12,0—15,0 | 0,6 | 3,5—5,5 | — | 800 | Воздух, допускаются сернистые среды | |

231. Характеристика гидравлических прессов для правки деталей

| Тип пресса | Номинальное усилие, кН | Размеры стола, мм | Габаритные размеры, мм | Мощность, кВт | Масса, т |
|------------|------------------------|-------------------|------------------------|---------------|----------|
| П6320 | 100 | 1250×300 | 1250×1982 | 3,0 | 1,208 |
| П6322 | 160 | 1250×300 | — | — | — |
| П6324 | 250 | 1600×300 | 1600×2235 | 7,5 | 1,850 |
| П6326 | 400 | 1600×360 | 1600×2340 | 17,0 | 3,190 |
| П6328 | 650 | 1600×360 | 1600×2342 | 22,0 | 3,525 |
| П6330 | 1000 | 2000×420 | 2000×2700 | 22,0 | 6,390 |
| П6332 | 1600 | 200×500 | 2000×3060 | 44,0 | 8,270 |
| П6334 | 2500 | 2500×600 | 2500×3070 | 44,0 | 12,826 |

232. Характеристика заточных станков

| Наименование и модель станка | Рабочие размеры, мм | Габаритные размеры, мм | Мощность, кВт | Масса, т |
|--|---------------------------------------|------------------------|---------------|----------|
| Точильный двусторонний ЗБ633 (332Б) | Диаметр круга 300 | 810×610×1380 | 1,7 | 0,28 |
| Обдирочно-шлифовальный 8Б634 (8И634) | » » 400 | 1000×665×1280 | 3,9 | 0,35 |
| Обдирочно-шлифовальный передвижной с гибким валом ЗА382 (3382) | Диаметр круга 200, длина вала 2500 | 725×530×738 | 3,0 | 0,19 |

233. Характеристика моечных машин

10*

| Тип машины | Размеры рабочего пространства, мм | Габаритные размеры, мм | Мощность, кВт | Масса, т |
|--|---|--|----------------------|-----------------------|
| Конвейерные: МКП-06.20.M01 МКП-10.20.M01 ОКБ-714 | 600×2000×500 1000×2000×250 920×3500×250 | 1990×3250×2295 1990×3520×2295 1880×4560×2200 | 5,5 5,5 5,5 | 2,0 2,6 2,6 |
| Автоматические: С3140.02 030-696А Двухкамерные С3046.01 | 500×100 900×800×650 1500×630×1000 | 1968×3650×2382 1500×2350×2050 2330×6045×2970 | 99,27 40 163,2 | 2,68 1,772 6,07 |

234. Характеристика оборудования для очистки деталей

275

| Наименование и тип оборудования | Рабочие размеры, мм | Габаритные размеры, мм | Мощность, кВт | Масса, т |
|--|--|---|----------------------------|------------------------------|
| Стол очистной: 345 353 | Диаметр стола 1600 » » 3200 | 1 955×2 000×3 750 3 870×3 700×6 975 | 11,6 40,5 | 2,453 12,0 |
| Камера очистная: ДК-10М 372М 367М 374С | Диаметр круга 1900 » » 2500 — — | 6 700×6 530×9 050 15 500×6 580×9 200 16 750×10 500×11 610 21 000×1 400×12 000 (общая высота над полом 7350) | 35,9 63,0 180 200 | 22,0 25,0 120,0 130 |

материала изделий (коэрцитивной силы, магнитной проницаемости и др.). В табл. 227—229 приведены технические характеристики приборов для неразрушающего контроля качества термической обработки изделий.

В табл. 230 приведены данные по сплавам сопротивления для изготовления нагревателей, а в табл. 231—234 — данные по вспомогательному оборудованию термических цехов.

Г Л А В А XIV

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

61. Общие вопросы

При соприкосновении поверхностей изделий с окислительной газовой средой (обычно с воздухом) в области повышенных и особенно высоких температур происходит окисление и обезуглероживание изделий, причем толщина поврежденного слоя с течением времени и повышением температуры увеличивается.

Окалинообразование, распространяясь в глубь поверхности изделий, ухудшает качество, увеличивает общую трудоемкость изготовления изделий за счет очистных операций. Появление окалины на поверхности металла приводит к безвозвратным потерям металла. При нагреве изделий в пламенных печах потери на окалину составляют 2—3 %, а нагрев в электрических печах приводит к еще большим потерям металла. Наряду с этим обезуглероживание также недопустимо. Обезуглероживание точных пружин приводит к неисправимому браку, инструмент теряет режущие свойства, изделия с обезуглероженным слоем имеют пятнистую, неравномерную твердость.

В настоящее время широко применяется нагрев в контролируемых и нейтральных атмосферах (эндо- и экзогазе, аргоне и др.), в соляных и свинцовых ваннах, индукционный нагрев и другие способы безокислительного нагрева. Однако эти способы полностью не обеспечивают отсутствие контакта изделий с окисляющей средой. Так, при переносе изделий из печи в закалочную ванну образуется небольшой налет окалины. Небольшое окисление поверхности происходит также при нагреве в соляных ваннах и индукционном нагреве. Поэтому несмотря на то, что потребность в очистке изделий и инструмента благодаря безокислительному нагреву резко снизилась, полностью ликвидировать очистку не удалось, и она все еще применяется в термических цехах.

До недавнего времени в термических цехах применялась очистка сухим кварцевым песком. Этот вид очистки ввиду опасности профессионального заболевания рабочих-пескоструйщиков силикозом запрещен. В отдельных случаях разрешается очистка сухим кварцевым песком по согласованию с санэпидстанцией, при этом должно быть исключено соприкосновение пескоструйщика с кварцевой пылью, а запыленность атмосферы должна удовлетворять нормам Государственной санитарной инспекции СССР. В соответствии с этими нормами допускается следующая запыленность воздуха у рабочих мест (мг/м³):

| | |
|--|------|
| Пыль, содержащая более 70% кварцевого песка | 1,0 |
| Пыль, содержащая 10—70% кварцевого песка | 2,0 |
| Пыль искусственных абразивов (корунда, карборунда) | 5,0 |
| Прочие виды пыли | 10,0 |

62. Очистка металлическим песком

Непрерывное совершенствование способов очистки изделий дало возможность производить до 90 % всех очистных операций без применения сухого кварцевого песка. Одним из способов, заменяющих очистку кварцевым песком, является очистка металлическим песком, причем запыленность воздуха металлической пылью на рабочих местах в этом случае обычно находится в пределах норм, установленных Государственной санитарной инспекцией, а производительность очистки не ниже, чем при использовании сухого кварцевого песка. Оборудование для очистки металлическим песком можно применять такое же, как при очистке кварцевым песком, без существенной его модернизации. Однако очистка металлическим песком создает и некоторые трудности, а именно:

а) изменение первоначальных физических свойств материалов вследствие внедрения или осаждения металлических частиц на поверхности изделий, в результате чего нарушаются магнитные свойства немагнитных материалов, понижается коррозионная стойкость нержавеющей сталей и сплавов и т. п.;

б) при очистке металлическим песком образуется более шероховатая поверхность, чистота которой снижается на один-два класса; это создает ряд трудностей, например при последующем гальваническом покрытии поверхности деталей.

Наилучшие результаты очистки достигаются тогда, когда металлический песок изготовлен из такого же материала, как очищаемое изделие. Для очистки металлических изделий наиболее часто применяется чугунный песок, получаемый путем размола чугунной дробы с последующим просеиванием. Полученный таким образом песок с острыми гранями имеет твердость *HRC* 51—56 при плотности 7 кг/м³. Песок сортируется по фракциям на вибрационных ситах. Режим очистки изделий чугунным металлическим песком приведен в табл. 235.

235. Режимы очистки изделий металлическим песком

| Изделие | Средний размер зерен песка, мм | Давление сжатого воздуха, кПа |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Чугунные отливки, кг: | | |
| 1—5 | 1,0 | 400—500 |
| 5—20 | 1,5 | 500—600 |
| 20—60 | 2,0 | 600 |
| св. 100 | 2,5 | 600 |
| Стальные отливки, кг: | | |
| до 20 | 1,0 | 500—600 |
| 50—100 | 1,5—2 | 600 |
| св. 100 | 2—2,5 | 600 |
| Бронзовые отливки, кг: | | |
| до 10 | 0,8 | 400—500 |
| 10—30 | 1,0 | 600 |

| Изделие | Средний размер зерен песка, мм | Давление сжатого воздуха, кПа |
|--|--------------------------------|-------------------------------|
| Бронзовые отливки св. 30 кг | 1,5 | 600 |
| Алюминиевые отливки, кг: | | |
| до 1 | 0,3 | 250 |
| 1—5 | 0,5 | 300—350 |
| 5—15 | 0,8 | 350—400 |
| 15—30 | 1,0 | 400—450 |
| св. 30 | 1,5 | 500 |
| Поковки, штамповки, изделия после термической обработки, кг: | | |
| до 0,5 и изделия с резьбой | 0,3 | 200—250 |
| 0,5—3 | 0,5 | 250—300 |
| 3—15 | 0,8 | 300—400 |
| 15—35 | 1,0 | 400—500 |
| 35—60 | 1,5 | 600 |
| св. 60 | 1,5—2,0 | 600 |
| Прокат диаметром, стороной квадрата или шириной полки, мм: | | |
| до 35 | 0,8—1,0 | 300—450 |
| св. 35 | 1—15 | 600 |
| Листовой металл толщиной, мм: | | |
| до 1,5 | 0,3—0,5 | 200—250 |
| 1,5—4 | 0,5—0,8 | 250—400 |
| св. 4 | 0,8—1,5 | 400—600 |
| Поверхности изделий под электролитическое покрытие | 0,3—0,5 | 350 |

63. Очистка корундовой крошкой

Для очистки мелких, а также резьбовых изделий и инструмента может применяться корундовая крошка. Она представляет собой регенерированные абразивные зерна электрокорунда из перемолотых отходов и использованных абразивных кругов с размером зерен 36. Корундовая крошка при очистке почти не изменяет геометрию изделия, поэтому она вполне приемлема для очистки точных изделий (особенно резьбовых) и различных видов инструмента. Изделия, очищенные корундовой крошкой, имеют темно-серый цвет. Очистка может производиться в обычных установках эжекционного типа.

Очистка корундовой крошкой позволяет исключить те недостатки, которые имеют место при очистке металлическим песком; физические свойства поверхности изделий почти не изменяются, т. е. не нарушаются магнитные, коррозионные и другие свойства.

Запыленность воздушной среды в районе установки при работе с корундовой крошкой 1,0—2,0 мг/м³ при норме 5 мг/м³.

64. Гидроабразивная очистка

Преимущество гидроабразивной очистки заключается почти в полном отсутствии пылевыведения. Недостатком ее является необходимость применения специальных герметизированных аппаратов и дополнительных операций коррозионной защиты изделий. При гидроабразивной очистке, кроме того, снижается производительность труда примерно на 10 % (по сравнению с пескоструйной очисткой), а гидроабразивная смесь и влага в ряде случаев оказывают вредное воздействие на рабочих.

Эффективность гидроабразивной очистки зависит от выбора абразивного материала. В качестве абразивного материала применяется речной или горный песок в просеянном и просушенном виде.

Для очистки стальных изделий применяется смесь, содержащая 30 % воды и 70 % песка, для очистки чугунных изделий — 60—50 % воды и 40—50 % песка, для цветных металлов и сплавов — 80 % воды и 20 % песка. Зернистость применяемых абразивов колеблется в пределах 16—200. При очистке от окислов применяют кварцевый песок зернистостью 24—36. Расстояние от распылителя до обрабатываемого изделия следует изменять в пределах 80—150 мм. Оптимальный угол наклона сопла 45°. Для предохранения от коррозии в смесь добавляется 0,8—1,0 % кальцинированной соды или 0,5—1,0 % нитрита натрия. После очистки изделия должны подвергаться промывке и дополнительной антикоррозионной обработке.

65. Очистка с использованием ультразвука

Очистку металла в ультразвуковом поле, где действуют упругие механические колебания с частотой свыше 16—20 кГц, начали применять в промышленности сравнительно недавно. Сущность ультразвуковой очистки заключается в следующем. При распространении ультразвуковых колебаний в жидкости возникают поочередно сжатия и разрежения. В момент разрежения происходят местные разрывы жидкости и образуются пузырьки (полости), которые заполняются парами жидкости и растворенными в ней воздухом и другими газами. В момент сжатия пузырьки сплющиваются, что сопровождается сильными гидравлическими ударами. Эти удары приводят к очистке поверхности изделий от загрязнений и других дефектов.

Окалину при ультразвуковой очистке удаляют следующим образом. При предварительном травлении изделий в кислоте (до ультразвуковой обработки или в процессе обработки) окалина разрыхляется, в ее порах и трещинах накапливаются мелкие пузырьки водорода, образующие в дальнейшем центры гидравлических ударов; при последующей ультразвуковой обработке пузырьки, сплющиваясь, создают местные взрывы, в результате чего окалина удаляется с поверхности металла.

В зависимости от сочетания приведенных выше обстоятельств, определяются технологические режимы ультразвуковой очистки.

В табл. 236 приведена классификация загрязнений на поверхности изделий.

В качестве моющих сред при ультразвуковой очистке используется вода, водные растворы щелочей и поверхностно-активные вещества (ПАВ), растворы кислот, органические растворители, эмульсионные составы. Температура моющего раствора имеет решающее значение для повышения эффективности ультразвуковой очистки. С повышением температуры увеличивается жидкотекучесть загрязнений, что облегчает

| Загрязнения | Кавитационная стойкость | Химическое взаимодействие с моющей средой | Прочность связи с очищаемой поверхностью |
|-----------------------------------|-------------------------|---|--|
| Масляные | Стойкие | Взаимодействуют | Слабая |
| Неорганические типы частиц и пыли | | Не взаимодействуют | |
| Продукты коррозии | Нестойкие | Не взаимодействуют | Прочная |
| Окалина, окисные пленки | Стойкие | | |
| Нагар, смолистые осадки | | | |

их удаление. Слишком высокая температура моющего раствора повышает агрессивность среды по отношению к материалу изделий.

В табл. 237 приведен состав некоторых моющих средств для удаления масляных, жировых и им подобных загрязнений.

При удалении стойких загрязнений ультразвуком (окисные пленки, окалина и др.) существует два способа: 1) ультразвуковые колебания вводятся непосредственно в травильную ванну; 2) изделия травятся без приложения поля ультразвука, а удаление шлама производится с применением ультразвука.

При травлении стали применяются серная, соляная, фосфорная, плавиковая, азотная и другие кислоты. При травлении можно применять и смеси кислот.

Для ослабления воздействия кислот на основной металл и предотвращения проникновения водорода в металл изделия используются ингибиторы («тормозящие агенты»). В качестве ингибиторов чаще всего применяют органические вещества (жиры, отходы сахарного производства, сульфидные щелока, клей и др.). Ингибиторы должны хорошо растворяться, не вызывать загрязнения поверхности протравленного металла и легко удаляться при промывке. Расход ингибитора обычно составляет 0,05—0,2 кг на 1 т протравленного металла, количество вводимого ингибитора — 0,05—2,5 % от объема травильного раствора.

В табл. 238 приведены состав водных травильных растворов, а в табл. 239 — режимы ультразвуковой очистки.

После ультразвуковой очистки производится промывка (обычно в воде) для удаления следов моющей среды и оставшихся загрязнений.

237. Состав моющих средств

| Компоненты | Содержание компонентов в моющих средствах, % | | | |
|-----------------------|--|-------|-----------|---------|
| | МЛ-51 | МЛ-52 | Тракторин | Деталин |
| Кальцинированная сода | 44 | 50 | 32 | 8 |
| Тринатрийфосфат | — | — | 11 | — |
| Триполифосфат | 34,5 | 30 | — | 12 |
| Жидкое стекло | 20 | 10 | 53 | 5 |
| Сульфонол | — | 1,8 | — | 10 |
| ДС-РАС | — | — | 1—1,5 | — |
| Смачиватель ДБ | 1,5 | 8,2 | — | — |
| Вода | — | — | До 100 | До 100 |

238. Состав водных травильных растворов при ультразвуковом травлении

| Материал | Основные компоненты (массовые доли, %) | | | | | | | Температура, °С | Продолжительность травления (максимальная), мин |
|----------------------------------|--|------|--------------------|---------|----------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------------|---|
| | HCl * | NaCl | HNO ₃ * | HF * | H ₂ SO ₄ * | Cr ₂ O ₃ | Уротропин | | |
| Углеродистые стали | 5—6 | 4—5 | — | — | — | — | 0,8—1 | 25—35 | 3 |
| Среднелегированные стали | 21—22 | — | — | — | — | — | — | 40—45 | 6 |
| Хромистые нержавеющие стали | — | — | 4,5—5 | — | — | — | — | 40—45 | 6 |
| Хромоникелевые нержавеющие стали | — | — | 8—9 | 1,8—2,1 | — | — | — | 40—50 | 10 |
| Сплавы на медной основе | — | — | — | — | 10—30 | 5—6 | — | 20—30 | 3 |
| Латуни | — | — | — | — | 10 | 3 | — | 15—20 | 0,5 ** |

* Концентрированные кислоты.
** С предварительным травлением в том же растворе 1,5 мин.

239. Режимы ультразвуковой очистки

| Вид очистки | Режим | Оборудование | Примечание |
|---|---|--|---|
| Очистка изделий сложной формы от продуктов коррозии и других дефектов перед гальванопокрытиями | Травление: серная кислота 100 мг/л, соляная кислота 50 мг/л, контакт Петрова 30 г/л; 60 °С; выдержка 2 мин Промывка | Генератор УЗГ-10М. Ванна из винипласта | Травление в ванне производится одновременно с обезжириванием и удалением дефектов |
| Очистка изделий из нержавеющей стали после термической обработки | Обезжиривание в бензине. Предварительное травление: азотная кислота 8—10 %, фтористый натрий 45 г/л; выдержка 20 мин Промывка Ультразвуковая очистка: сода — 3 %; 50—60 °С; выдержка 3 мин | Генератор УЗГ-10М. Обычная ванна с преобразователем ПМС-6 | Между операциями не должно быть разрыва |
| Очистка от окислов термически обработанных изделий из конструкционной стали перед гальванопокрытием | Травление: серная кислота 100 мг/л, соляная кислота 50 мг/л, поваренная соль 5 г/л, контакт Петрова 30 г/л; 60 °С; выдержка 0,5—5 мин Промывка | Генератор УЗГ-10М Ванна из винипласта | Травление можно производить без ультразвука, но с последующим снятием шлама в воде ультразвуком |

После очистки и промывки поверхность металлических изделий склонна к окислению. Для сохранения поверхности металла неокисленной, необходимо ее пассивировать.

Мощные акустические поля в ультразвуковых ваннах очистки создаются при помощи магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей. Наибольшее применение в установках для очистки нашли частоты от 16 до 44 кГц. Диапазон мощностей ультразвуковых преобразователей для очистки находится в пределах от 0,04 до 4,0 кВт.

Г Л А В А Х V

ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХАХ

66. Требования, предъявляемые к зданиям и помещениям

Здания, в которых находятся термические цеха, отделения, участки, должны располагаться по отношению к ближайшим жилым и общественным зданиям с подветренной стороны по отношению к господствующим в летнее время ветрам.

Термические цеха и другие подразделения термического производства, как правило, должны располагаться в одноэтажных, отдельно стоящих зданиях. Допускается в исключительных случаях размещать термические подразделения в верхнем этаже многоэтажных зданий.

Стены помещений термических цехов должны быть окрашены огнеупорной краской. В отделениях жидкостного цианирования, травильном и свинцовых ванн стены на высоту 2 м от пола должны быть облицованы кафельными или стеклянными плитками.

Полы термических цехов должны быть огнестойкими, ровными, нескользкими и легко очищаемыми от загрязнений, при применении в производстве химически активных веществ полы должны быть изготовлены из материала, устойчивого против химического воздействия.

67. Требования к охране окружающей среды

В термических цехах (отделениях, участках) производственные процессы сопровождаются выделением большого количества теплоты, пыли, паров и газов и загрязнением сточных вод, указанные выделения с точки зрения охраны окружающей среды недопустимы. Тепловыделения происходят при работе печей, ванн и других нагревательных агрегатов. Пыль выделяется при дробеметно-дробеструйной очистке, обработке деталей абразивным инструментом и т. п. Выделение происходит в процессе нагрева изделий в соляных ваннах, при закалке в водяных или масляных ваннах, при промывке в горячих растворах и т. п. Выделение газов имеет место при нарушении нормальной работы пламенных печей, газоприготовительных установок и печей для химико-термической обработки.

Сточные воды загрязняются маслами, солями, щелочами, моющими растворами и т. п. Для уменьшения и полной ликвидации загрязнения воздушного бассейна и сточных вод следует предусматривать:

- 1) замену сухих способов очистки мокрыми;
- 2) замену твердого и жидкого топлива для печей газовым или электрическим;
- 3) применение горелок, обеспечивающих полное сжигание окиси углерода;
- 4) автоматическую сигнализацию о ходе операций, связанных с возможностью выделения вредностей;
- 5) герметизацию оборудования и аппаратуры;
- 6) полное улавливание и утилизацию вредностей (паров масла, солей, щелочей, частиц пыли и т. д.);
- 7) очистные сооружения по нейтрализации и полной очистке сточных вод.

68. Оборудование

Оборудование термических цехов должно располагаться в соответствии с общим направлением основного грузопотока. Расстояние между оборудованием и стенами цеха должно быть не менее 1 м.

Оборудование, при работе которого возникает шум, превышающий санитарные нормы, должно шумоизолироваться или устанавливаться в изолированном помещении.

Производственные процессы, сопровождающиеся загрязнением воздуха рабочей зоны вредными выделениями различных паров, газов и пыли, если они расположены вне потока, должны быть отделены от

других участков (отделений, цехов) термической обработки, а оборудование должно быть снабжено местными отсосами или другими устройствами для удаления выделяющихся вредных веществ непосредственно у мест выделения (участки травления, жидкостного азотирования, борирования и др.).

Экранированные высокочастотные индукционные установки для нагрева допускается размещать как в отдельных, так и общих помещениях, включая расположение в потоке.

Установки приготовления защитного газа следует размещать в одном помещении с печами, потребляющими защитные атмосферы, или в отдельном помещении. Охлаждение нагретых в процессе термической обработки изделий при нормализации, высоком отпуске, аустенизации и других подобных операциях, необходимо выполнять в специально оборудованных охладительных устройствах (камерах, колодцах и т. п.).

Для промывки изделий после термической обработки должны применяться пожаробезопасные жидкости. Закалочные и отпускные масляные ванны должны иметь сборные емкости для слива всего масла. Соединительные маслопроводы должны быть рассчитаны из условия возможности слива масла из закалочных баков в случае аварии не более чем за 10 мин. Закалочные масляные ванны должны быть оборудованы установками пожаротушения.

Для удаления паров масла от закалочных баков, ванн старения и закалочных прессов должны предусматриваться бортовые отсосы или шкафные укрытия. Пары расплавов солей и щелочей от соляных ванн, а также пары моющих растворов от промывных ванн и машин должны удаляться через бортовые отсосы и шкафные укрытия.

Загрузочные и разгрузочные проемы печей (камерных и проходных) должны быть оборудованы специальными вытяжными зонтами. Удаление пыли от очистных установок должно производиться специальными пылеулавливающими устройствами (циклонами, ротоклонами и др.). Погрузка и разгрузка изделий массой более 16 кг на транспортные средства должна осуществляться погрузо-разгрузочными устройствами.

Камерные печи с площадью пода более 1 м² должны иметь загрузочно-разгрузочные механизмы. Для обслуживания вертикальных печей должны быть предусмотрены специальные подъемно-транспортные средства (краны мостовые, подвесные, консольные и др.).

240. Рекомендуемые расстояния между видами оборудования

| Оборудование | Расстояние, м |
|--|--------------------|
| Крупное оборудование: толкательные и конвейерные печи | 3,0 |
| Крупные камерные печи с выдвижным подом, с шарами и т. п. (для обработки штампов, отливок, поковок и т. д.) | 1,5—3,0 |
| Некрупное универсальное печное оборудование для термической обработки изделий в инструментально-термических цехах и отделениях | 1,0—1,5 |
| Высокочастотные установки при размещении их в потоке механической обработки | 1,5 |
| Закалочные ванны (масляные, водяные) для охлаждения мелких изделий | 1,0 (от печей) |
| Закалочные ванны для охлаждения крупных изделий | 1,5—2,5 (от печей) |

В табл. 240 приведены допустимые расстояния между резервуарами сжиженного газа, оборудованными различными видами оборудования. Размещение резервуаров сжиженного газа на газораздаточных станциях предприятий может быть наземным и подземным. Установка резервуаров в помещениях запрещается. Расстояние между резервуарами сжиженного газа, зданиями и сооружениями, относящимися к газораздаточной станции, должно устанавливаться в зависимости от общего объема резервуаров и их размера, но не менее указанного в табл. 241.

241. Нормы расстояний между резервуарами для хранения сжиженного газа

| Общий объем резервуаров, м ³ | Максимальный объем одного резервуара, м ³ | Расстояние, м | |
|---|--|---------------|-----------|
| | | Резервуары | |
| | | наземные | подземные |
| До 200 | 25 | 100 | 50 |
| » 500 | 50 | 200 | 100 |
| » 1000 | 100 | 300 | 150 |
| Св. 1000 до 2000 | 100 | 400 | 150 |
| » 2000 » 8000 | Св. 100 | 500 | 200 |

69. Отопление и вентиляция

Системы отопления и вентиляции должны обеспечивать в производственных помещениях условия в соответствии с действующими нормативами, а также снижение содержания в воздухе вредных выделений паров, газов и пыли до минимальных концентраций, но не выше предельно допустимых величин.

Входные двери и ворота производственных помещений термических цехов должны иметь отопливаемые тамбуры и шлюзы. При не-

242. Допустимая температура в производственных помещениях

| Помещение | Расчетная температура, °С | |
|---|-----------------------------------|--|
| | в холодный период года (не менее) | в теплый период года |
| Склады металла | Не регламентируется | |
| Печные залы | +15 | На 5 °С выше наружной, но не выше +28 °С |
| Травильные отделенния | +18 | |
| Отделения очистки металла | +18 | |
| Кабины крановщиков | +20 | |
| <p>Примечания. 1. В нерабочее время температура в отопляемых помещениях должна быть не ниже +5 °С. 2. При наличии оборудования с гидроприводами температура на складах металла должна быть не ниже +5 °С.</p> | | |

243. Предельно допустимые содержания ядовитых газов, паров и пыли в воздухе рабочих помещений

| Вещество | Содержание |
|---|------------|
| <i>Газы и пары</i> | |
| Аммиак | 0,02 |
| Ацетон | 0,2 |
| Бензин-растворитель | 0,3 |
| Бензин топливный (сланцевый, крекинг и т. д.) | 0,1 |
| Бензол | 0,02 |
| Диметиламин | 0,001 |
| Керосин (в пересчете на углерод) | 0,3 |
| Мышьяковистый водород | 0,0003 |
| Окислы азота (в пересчете на N_2O_5) | 0,005 |
| Оксись углерода | 0,02 |
| Оксись этилена | 0,001 |
| Металлическая ртуть | 0,00001 |
| Серная кислота, серный ангидрид | 0,001 |
| Сернистый ангидрид | 0,01 |
| Сероуглерод | 0,01 |
| Сероводород | 0,01 |
| Спирт: | |
| амиловый | 0,1 |
| бутиловый и пропиловый | 0,2 |
| метиловый | 0,5 |
| этиловый | 1,0 |
| Толуол | 0,05 |
| Уайт-спирит | 0,3 |
| Углеводороды (в пересчете на углерод) | 0,3 |
| Фтористый водород | 0,01 |
| Хлористый водород и соляная кислота (в пересчете на хлористый водород) | 0,01 |
| Цианистый водород и соли синильной кислоты (в пересчете на HCN) | 0,0003 |
| Четыреххлористый углерод | 0,02 |
| <i>Пыль и другие аэрозоли</i> | |
| Пыль, содержащая более 70 % окиси кремния в ее кристаллической модификации (кварца) | 1,0 |
| Пыль, содержащая больше 10 % и до 70 % окиси кремния | 2,0 |
| Пыль искусственных абразивов (корунды, карборунды) | 5,0 |
| Угольная пыль, содержащая более 10 % окиси кремния | 2,0 |
| Угольная пыль, содержащая до 10 % окиси кремния | 4,0 |
| Угольная пыль, не содержащая окиси кремния | 10,0 |
| Марганец (в пересчете на MnO_2) | 0,3 |
| Мышьяковистый и мышьяковый ангидриды | 0,3 |
| Свинец и его неорганические соединения | 0,01 |
| Хромовый ангидрид, хроматы, бихроматы (в пересчете на Cr_2O_3) | 0,1 |
| Щелочные аэрозоли (в пересчете на $NaOH$) | 0,5 |
| <p>П р и м е ч а н и е. Значения предельно допустимого содержания для газов и паров даны в мг/л, для пыли и аэрозолей в мг/м³.</p> | |

возможности устройства тамбуров и шлюзов у входных проемов должны устанавливаться воздушные завесы. Производственное оборудование и агрегаты термических цехов должны быть обеспечены местной вытяжной вентиляцией. Местные отсосы должны быть применены и в других видах оборудования, при работе которых выделяются пыль, пары или газы.

С целью недопущения образования цианистого водорода, отсос загрязненного воздуха от цианистых и травильных ванн через общие воздуховоды и вентиляторы запрещается.

Системы отопления и вентиляции должны обеспечивать в производственных помещениях температуру согласно данным табл. 242. Предельное содержание в воздухе вредных выделений (пыли, паров и газов) приведено в табл. 243

70. Условия безопасного труда

1. Приготовление твердого карбюризатора и очистка от пыли отработанного карбюризатора должны производиться в изолированном пожаробезопасном помещении. В этом помещении запрещается курение, применение открытого огня, а также производство таких работ, которые могут вызвать искрообразование.

2. Рабочее пространство печей для газовой цементации и цианирования должно быть герметичным. Во избежание взрыва газообразные карбюризаторы должны подаваться в печь при температуре печи не ниже 800 °С. Печи должны быть оборудованы специальным устройством для отвода отходящих газов и их дожигания.

3. К работе с цианистыми солями должны допускаться только лица в соответствующей спецодежде и спецобуви, имеющие удостоверения на право выполнения этих работ. Способы хранения цианистых солей должны соответствовать «Временным санитарным правилам оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ», утвержденным Главной государственной санитарной инспекцией СССР. Изделия, прошедшие термическую обработку в расплавленных цианистых солях, должны быть обезврежены и промыты в горячей воде. Прием пищи и курение в местах хранения и работы с цианистыми солями запрещаются. На участках работ с цианистыми солями должны быть аптечки первой помощи.

4. Соляные ванны следует загружать только предварительно просушенными солями. Уровень расплавленных солей не должен превышать 3/4 высоты ванны. Загрузку изделий в ванны необходимо производить с учетом возможного выплеска солей.

5. При работе с селитровыми ваннами во избежание опасности взрыва перегрев селитры выше 550—600 °С не допускается. Селитровые ванны должны быть оборудованы светозвуковым устройством, сигнализирующим о превышении максимально допустимой температуры нагрева. Во избежание взрыва запрещается нагревать в селитровых ваннах изделия из сплавов, содержащих более 10 % магния, а также изделий, покрытых маслом, бензином, пылью алюминия и другими органическими веществами. Не допускается обработка в селитровых ваннах изделий после нагрева в цианистых солях.

6. При азотировании аммиачные баллоны должны быть снабжены стальными редукторами. Применение редукторов, изготовленных из цветных сплавов, не допускается. Баллоны следует устанавливать под вытяжным колпаком и плотно закреплять. Печи азотирования должны быть оборудованы специальным устройством для отвода и дожигания отходящих из печи газов и поглощения неразложившегося аммиака.

7. При работе с маслом особенно при повышенных температурах возможны вспышки и возгорание масла от внесения в закалочный бак больших масс нагретых до высокой температуры изделий. При интенсивном кипении масло выплескивается на пол и очаг пламени может распространиться на значительное расстояние. В целях предосторожности рекомендуется не перегревать закалочное масло до температуры вспышки. В случае загорания прекратить закалку и накрыть масляный бак плотной, не пропускающей воздух крышкой. Масляные закалочные ванны должны быть оборудованы средствами пожаротушения и специальными спускными кранами для отвода попавшей в них воды, а также и аварийным устройством слива масел. Максимальная температура нагрева масла при закалке не должна превышать 80—85 °С. Для закалки надо применять масло с температурой вспышки не ниже 165 °С. Температура вспышки закалочных масел приведена в табл. 244.

244. Температура вспышки масел

| Масло | Температура вспышки, °С | Масло | Температура вспышки, °С |
|----------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| Индустриальное | 165 | Дизельное | 210 |
| Машинное | 180 | Солярное | 125 |
| Цилиндровое 24 | 310 | Касторовое | 275 |
| Льняное | 240 | Цилиндровое | 300 |

8. При поверхностной закалке изделий с применением газопламенного нагрева должны соблюдаться действующие «Правила техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилен, кислорода и газопламенной обработки металлов».

Рабочие места должны быть оборудованы местной механической вытяжной вентиляцией. Вытяжные патрубки должны обеспечить максимальный забор выделяющихся вредных газов от мест их образования. Рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы рабочие во все время работы занимали положение лицом ко входному отверстию вытяжных устройств. Помещение, в котором производится пламенная поверхностная закалка изделий, должно быть оборудовано общеобменной вентиляцией.

9. Очистка изделий после термической обработки должна производиться в гидроджетоструйных камерах, а также в дробеструйных, дробеметных установках и установках для очистки металлическим песком и корундовой крошкой. Использование пескоструйных аппаратов с применением сухой пескочистки деталей кварцевым песком запрещается.

71. Правила техники безопасности при термической обработке изделий из магниевых сплавов

Изделия из магниевых сплавов при определенных условиях являются огнеопасными вследствие высокой химической активности и большого сродства к кислороду магния. В виде компактных изделий при комнатной температуре магниевые сплавы практически неогнеопасны. Степень пожарной опасности увеличивается по мере повышения температуры нагрева к степени раздробления частиц металла, т. е. увеличения поверхности соприкосновения частиц магния и его сплавов

с окружающей средой. Температура возможного загорания изделий из магниевых сплавов и магния приведена в табл. 245.

Данные по оснащению помещений средствами тушения приведены в табл. 246.

245. Температура возможного загорания изделий из магниевых сплавов

| Марка сплава | Температура возможного загорания, °С | Марка сплава | Температура возможного загорания, °С |
|-----------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| Мл4 | 400 | Мл9, Мл10 | 550 |
| Мл6 | 415 | Мл11 | 580 |
| Мл3, Мл5 | 430 | Магний | 650 |
| Мл8, Мл12, Мл15 | 500 | | |

246. Примерные нормы оснащения помещений средствами тушения загоревшихся изделий из магниевых сплавов

| Термическое подразделение | Расчетная единица | Норма оснащения средствами пожаротушения |
|---------------------------|------------------------------------|---|
| Цех, отделение, участок | 1. Нагревательная печь | Сухой плавильный флюс-ящик емкостью до 50 кг. Общее количество противопожарных запасов флюса должно быть не менее 10 % емкости нагревательных печей. При ящике должна быть лопата или совок |
| | 2. 100 м ² площади пола | Сухой песок — ящик емкостью до 0,5 м ³ . При ящике должна быть лопата или совок |

72. Другие данные

Некоторые дополнительные данные по характеристике горючих и взрывоопасных материалов, применяемых в термических цехах, приведены в табл. 247—252.

247. Горючие пыли или волокна с нижним пределом воспламенения выше 65 г/см³

| Наименование вещества | Нижний предел воспламенения, г/м ³ |
|------------------------------|---|
| Каменноугольная пыль Торф | 110—114 100 |

248. Вещества, способные взрываться при контакте друг с другом

| Наименование газа | Контактирующие вещества, вызывающие взрыв |
|----------------------|---|
| Аммиак | Ртуть, хлор, бром, фтористоводородная кислота, гипохлорит кальция |
| Ацетилен | Хлор, бром, фтор, медь, серебро, ртуть, соединения меди |
| Водород | Хлор, бром, фтор |
| Бутан, метан, пропан | Бром, хлор, фтор, озон, окислы азота |
| Сероводород | Безводная фтористоводородная кислота |

249. Вещества, способные взрываться и гореть при контакте друг с другом

| Наименование вещества | Вещества, при контакте с которыми может произойти взрыв |
|---|--|
| Калий азотнокислый (калиевая селитра) Калий марганцевокислый Азотная кислота Серная кислота Углеводороды (бутан, пропан, бензол, бензины и т. п.) Активированный уголь Сероводород Сера Триэтиламин | Горючие порошки, сера, уголь, горючие жидкости Органические вещества, глицерин, этиленгликоль, бензальдегид, серная кислота Уксусная кислота, анилин, синильная кислота, легковоспламеняющиеся жидкости и горючие газы Хлорат калия, хлорнокислый калий, перангонат и другие соединения с одноярдными легкими металлами (натрий, литий и др.) Фтор, хлор, бром, хромовая кислота Гипохлорит кальция, все окислители Азотная (дымящая) кислота Хлорат магния, калий азотнокислый (калиевая селитра) Органические перекиси |

250. Взрывоопасные газы с нижним пределом воспламенения

| Наименование газа | Предел воспламенения (массовая доля в одном кубическом метре, г/м ³) | |
|-------------------|--|---------|
| | нижний | верхний |
| Ацетилен | 3,2 | 102 |
| Бутан | 3,9 | 22 |
| Водород | 0,4 | 7 |
| Изобутан | 4,7 | 22 |
| Метан | 3,0 | 11 |
| Пропан | 4,5 | 19 |
| Сероводород | 6,5 | 69 |

251. Пределы воспламенения аммиака при различных температурах

| Температура аммиака, °С | Пределы воспламенения | |
|-------------------------|-----------------------|---------|
| | нижний | верхний |
| 20 | 15,5 | 27,0 |
| 120 | 14,0 | 32,4 |
| 200 | 12,6 | 37,2 |

252. Вещества, способные взрываться и гореть при ударах, сильных толчках и встряхивании

| Наименование вещества | Условия взрыва или горения |
|---|--|
| Барий азотнокислый Калий азотнокислый (калиевая селитра) Калий хлорноватокислый (бертолетова соль) Перекись водорода (концентрированная) Ацетилен озон, гидрозин, аммиачная селитра | Взрывается при ударах и сильных толчках Взрывается при ударах и нагревании Взрывается при ударах и сильных толчках Взрывается при встряхивании Склонны к взрыву при разложении |

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. Термины и их определения, применяемые при термической обработке сплавов

| Термин | Определение |
|---------------------------------|---|
| Адсорбция | Поглощение газов, паров и растворенных веществ поверхностью изделий |
| Активированный уголь | Мелкопористый древесный уголь, освобожденный от углеводородов и других примесей и обладающий большой свободной поверхностью и адсорбционной способностью. Является продуктом обработки обычного древесного угля водяным паром при высокой температуре |
| Аммиак | Простейшее соединение азота с водородом, газ с резким запахом. Применяется при химико-термической обработке стальных изделий для насыщения поверхностных слоев изделий азотом |
| Анизотропия свойств | Неодинаковость всех или некоторых свойств сплава в различных направлениях |
| Асбест | Огнестойкий щелочноупорный волокнистый минерал; используется в виде листов, шнуров и других модификаций, как теплоизолятор и для других целей при термической обработке |
| Атмосфера контролируемая | Защитная газовая среда, применяемая в термических печах для предохранения поверхностей стальных изделий от окисления и обезуглероживания |
| Аустенизация | Получение аустенитной структуры нагревом до температуры выше верхней критической точки и выдержка при этой температуре, необходимая для получения однородного твердого раствора |
| Балл зерна | Характеристика размера зерна металла, наблюдаемого при увеличении под микроскопом; определяется по стандартной шкале |
| Бронза алюминиевая | Сплав меди с алюминием на основе меди. Марки алюминиевой бронзы содержат дополнительные примеси никеля, марганца, железа и др. |
| Бронза оловянная | Сплав меди с оловом. Марки оловянной бронзы содержат дополнительно фосфор, свинец, цинк и др. |
| Быстрорежущая сталь | Инструментальная высоколегированная сталь, отличающаяся после термической обработки высокой твердостью и прочностью, которые сохраняются при температуре до 600 °С |
| Вакуум | Состояние газа при давлении значительно ниже атмосферного |
| Видманштеттова структура | Структура стали с прямолинейным расположением составляющих. Наблюдается в крупнозернистой, неотоженной ковальной или прокатанной стали при ее перегреве. Такая сталь имеет низкие механические свойства |
| Волокнистость | Волокнистое строение стали, сплавов, выявляемое макротравлением. Неоднородность химического состава, распределения примесей и мелких включений в слитке в процессе последующего проката обуславливает образование волокнистого строения стали |
| Волосовины | Тонкие трещины различной длины от одного до нескольких десятков миллиметров; получаются при раскатке дефектов слитка (раковин, плен и т. п.) |

| Термин | Определение |
|--|--|
| Восприимчивость к закалке (закаливаемость) | Способность стали, чугуна и других сплавов к резкому повышению твердости после закалки |
| Вторичная твердость | Твердость, получающаяся при вторичном отпуске при более высокой температуре |
| Выдержка при нагреве | Промежуток времени от достижения изделием заданной температуры до начала охлаждения |
| Выдержка при охлаждении | Промежуток времени от внесения изделия в охлаждающую среду до извлечения из нее |
| Галтование | Очистка, шлифование или полирование металлических изделий в вращающемся барабане, куда они загружаются вместе с абразивными материалами |
| Галтовочный барабан | Устройство для галтования. Галтование осуществляется в горизонтальном металлическом вращающемся барабане |
| Горячее механическое испытание | Испытание механических свойств материала при повышенных температурах. Во время испытания образец нагревается в специальной печи до заданной температуры |
| Граница зерна | Пограничная часть объема зерна, прилегающая к другим зернам. Состав и свойства границ зерен обуславливают физико-механические свойства металла |
| Графитизация чугуна | Нагрев до температуры выше нижней критической точки и выдержка при этой температуре до полного распада цементита с выделением графита |
| Дендриты | Древовидные кристаллы, образующиеся при кристаллизации в условиях направленного отвода тепла |
| Дефектоскопия | Методы выявления поверхностных и скрытых дефектов на деталях |
| Деформация | Изменение формы и размеров тела. Существуют два вида деформации: пластическая, после которой не восстанавливается первоначальная форма тела при снятии нагрузки; упругая, исчезающая после снятия нагрузки |
| Диаграмма состояния сплавов | Графическое изображение зависимости состояния сплавов от температуры, давления и концентрации входящих в них компонентов. Диаграмма позволяет определять температуру начала и конца плавления сплавов, их структуру при различных температурах превращения, которые сплавы претерпевают при охлаждении и нагреве и т. п. |
| Динамические испытания | Механические испытания материала с быстрым приложением нагрузки, например испытание на удар |
| Дислокация | Линейное несовершенство кристаллической решетки в металлах |
| Диссоциация | Распад молекул на более простые молекулы, атомы, атомные группы или ионы |
| Дифференцированная закалка | Закалка с разными режимами на отдельных участках изделия |
| Диффузия | Процесс проникновения одного вещества в другое. Скорость диффузии зависит от температуры и свойств материала |

| Термин | Определение |
|----------------------------------|--|
| Длительная прочность | Сопrotивление материала механическому разрушению под действием постоянной нагрузки, приложенной в течение длительного времени. Длительная прочность испытывается обычно при повышенных температурах (300—1000 °C) |
| Долговечность | Свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния. Время работы изделия до предельного состояния называется ресурсом |
| Дозвтектоидные стали | Железоуглеродистые сплавы с массовой долей углерода до 0,83 % |
| Дробеструйная обработка | Обработка поверхностей изделий чугунной или стальной дробью $\varnothing 0,1-2$ мм для очистки от окалины. в частности после термической обработки. При дробеструйной обработке на поверхностях стальных изделий образуется деформированный упрочненный слой |
| Дробеструйный наклеп | Наклеп потоком стальной, чугунной или другой дробью, ударяющейся с большой скоростью о поверхность изделия |
| Жаростойкость (окалиностойкость) | Сопrotивляемость металла окислению при высоких температурах |
| Жаропрочность | Способность металлов и сплавов сохранять при повышенных температурах прочность и сопротивляемость деформированию |
| Железо | Блестящий серебристо-белый вязкий металл; применяется в сплавах с другими элементами в стали, чугуна или специальных сплавах |
| Жидкое стекло | Растворимое стекло — водный раствор силиката натрия или калия, обладающий клеящим свойством |
| Закалочная среда | Среда, обеспечивающая резкое охлаждение сплавов при закалке. К закалочным средам относятся: вода, водные растворы солей, кислот и щелочей, минеральные и растительные масла, эмульсии. Закалочные среды должны иметь повышенную охлаждающую способность в интервале температур 650—550 °C и пониженную при температуре 300 °C и ниже |
| Завзтектоидная сталь | Сталь с массовой долей углерода 0,83—1,7 % |
| Зерно действительное | Зерно, наблюдаемое в металле при комнатной температуре |
| Зерно наследственное | Зерно аустенита, получившееся при затвердевании стали. Размер зерна зависит от условий плавки и оценивается после нагрева стали до 930 °C |
| Излом | Внешний вид поверхности в месте разрушения металла. По характеру излома можно определить качество металла или условия, вызвавшие его разрушение. Различают два основных типа излома: кристаллический (хрупкий излом) и волокнистый (вязкий излом) Лучшие механические свойства имеет металл с волокнистым изломом |
| Излом камневидный | Излом в конструкционной стали, перегретой при прокате или ковке; имеет грубые матовые выколы на аморфно-волокнистом фоне |
| Излом нафталинистый | Излом крупнозернистого строения с характерными блестящими; обнаруживается чаще всего у быстрорежущей стали при неправильной ковке или вторичной закалке без промежуточного отжига |

| Термин | Определение |
|-----------------------------------|---|
| Излом черный | Излом стали, содержащей свободный углерод в виде графита |
| Излом усталостный | Вид излома при разрушении изделий под действием знакопеременных нагрузок; характеризуется наличием концентрических (дуговых) линий |
| Износостойкость | Свойство материала оказывать сопротивление поверхностному износу |
| Изотермические превращения | Превращения в сплавах, протекающие при постоянной температуре |
| Карбид железа | Химическое соединение железа с углеродом; обладает высокой твердостью и низкой пластичностью |
| Карбидная неоднородность | Степень неоднородности карбидов в заэвтектоидной стали. Балл карбидной неоднородности оценивается по соответствующим шкалам |
| Карбидная строчечность | Расположение карбидов цепочкой или в строчку в направлении проката у заэвтектоидной стали |
| Карбюризатор (диффузант) | Вещество, применяемое для насыщения поверхности стали углеродом при цементации |
| Красноломкость или горячеломкость | Снижение пластичности при высоких температурах; наблюдается у стали, недостаточно раскисленной или загрязненной серой и другими примесями |
| Коагуляция | Собирательный рост карбидов при средне- и высокотемпературном отпуске за счет поглощения мелких карбидов крупными |
| Контактная прочность | Способность материала детали сопротивляться разрушению при контактировании поверхности в процессе работы. Различают контактное смятие и разрушение вследствие образования питтинга—точечного разрушения с поверхности |
| Коробление (поводка) | Вид брака, характеризующийся изменением формы изделий при термической обработке |
| Коррозия | Разрушение металла вследствие воздействия на его поверхность агрессивной среды (ржавление, разъедание кислотами и т. п.) |
| Корциметр | Прибор для неразрушающего контроля твердости и микроструктуры деталей. Принцип действия основан на измерении остаточной намагниченности |
| Кристаллизация | Образование зародышей кристаллов и их рост до видимых размеров |
| Кристаллическая решетка | Упорядоченное расположение атомов вещества (металла) в виде пространственной решетки, в узлах которой располагаются атомы |
| Критическая скорость охлаждения | Величина, характеризующая наименьшую скорость охлаждения стали, при которой аустенит превращается только мартенситное превращение |
| Критическая точка | Температура, при которой металл или сплав из одного структурного состояния переходит в другое. При закалке — это переход структуры металла из одной системы кристаллического строения (или фазы) в другую |
| Латунь | Сплав меди с цинком и другими металлами |
| Легированная сталь | Сталь, содержащая один или несколько элементов, специально введенных в нее для придания определенных свойств |

| Термин | Определение |
|---------------------------|---|
| Легирующий элемент | Элемент, вводимый в состав сплава, для получения требуемых свойств |
| Ликвация | Неоднородность химического состава сплавов по объему, возникающая при кристаллизации |
| Ликвация карбидная | Неравномерное скопление карбидов в высокоуглеродистых (при массовой доле углерода $>0,8\%$) и инструментальных сталях; оценивается в баллах по шкале, составленной на данный вид стали |
| Люминесцентный контроль | Вид дефектоскопии; применяется для обнаружения поверхностных дефектов. Контроль основан на способности некоторых жидкостей, проникающих в поры или трещины изделия, светиться при облучении ультрафиолетовым светом |
| Магнитный контроль | Контроль качества изделий для обнаружения трещин, волосовин и подобных дефектов посредством намагничивания и окунания в специальные суспензии, твердые составляющие которых осаждаются у места дефекта |
| Макроструктура | Структура металла, видимая невооруженным глазом или с помощью лупы. Макроструктура выявляется травлением шлифованного изделия, называемой макрошлифом |
| Металловедение | Учение о строении (структуре) и свойствах металлов. На базе научного металловедения создана теория термической обработки металлов |
| Металлография | Отрасль металловедения, изучающая внутреннее строение (структуру) металлов и сплавов |
| Микроструктура | Структура металла или металлического сплава, видимая с помощью микроскопа на специальных полированных и протравленных шлифах, называемых микрошлифами |
| Микротвердость | Твердость отдельных микроучастков металла; определяется специальными приборами |
| Нагрев | Процесс повышения температуры изделия |
| Наклеп | Поверхностное упрочнение металла при пластической деформации в холодном состоянии, в результате которого изменяются его прочностные свойства, повышаются пределы текучести и прочности, увеличивается твердость и уменьшается вязкость |
| Напряжения внутренние | Напряжения, возникающие внутри детали при различных технологических операциях, например при резании, литье, термической обработке. Внутренние напряжения могут быть временные и остаточные |
| Неметаллические включения | Мелкие включения неметаллических веществ в стали: оксиды, сульфиды, силикаты и др. Количество и характер распределения неметаллических включений определяют сравнением вида поверхности микрошлифа (при увеличении в 100 раз) со специальными шкалами |
| Непосредственная закалка | Закалка, выполняемая непосредственно после цементации или цианирования с подсуживанием до температуры выше критической точки или без него |
| Обезуглероживание | Выгорание углерода в поверхностном слое стали при нагреве до высоких температур в окислительной атмосфере |

| Термин | Определение |
|--------------------------------|---|
| Окалина | Продукт окисления железа, образующийся на его поверхности преимущественно при нагреве |
| Остаточный аустенит | Нераспавшийся в процессе термической обработки аустенит, существующий в стали при комнатной температуре. Последующая обработка холодом способствует распаду остаточного аустенита и повышению твердости |
| Отдых (возврат) | Операция термической обработки, заключающаяся в устранении искажений кристаллической решетки в деформированном металле при его нагреве до низких температур. В результате отдыха понижается твердость и прочность металла и возрастает его пластичность |
| Отпуская хрупкость | Снижение пластичности некоторых марок легированной стали при высоком отпуске с замедленной скоростью охлаждения; выявляется при испытании образцов на удар |
| Охлаждение | Процесс понижения температуры изделия |
| Перегрев металла | Вид брака, возникающий вследствие нагрева металла выше заданной температуры. При перегреве наблюдаются значительный рост зерна и снижение механических свойств. Дефект исправимый |
| Пережог металла | Вид брака, образующийся при нагреве металла в окислительной среде до высокой температуры, близкой к температуре плавления. На границах зерен появляются окислы. Дефект неисправимый |
| Перекристаллизация | Изменение строения (структуры) сплава с образованием в процессе нагрева или охлаждения новых структурных составляющих |
| Пластичность | Свойство твердых тел менять свою форму и размеры при разрушении под действием внешних сил |
| Плотность | Физическая величина, измеряемая отношением массы тела к его объему |
| Ползучесть | Свойство металла медленно и непрерывно деформироваться (ползти) в течение длительного времени при постоянной нагрузке и повышенных температурах |
| Полиморфные превращения | Процессы изменения кристаллической решетки в некоторых металлах наступающие при достижении определенных температур |
| Полиморфизм | Способность некоторых веществ при различных условиях образовывать различные кристаллические формы при одном и том же химическом составе |
| Потенциометр | Прибор для измерения электродвижущей силы в термопаре; применяется для контроля, регулирования и записи температуры в печах |
| Предел прочности | Напряжение, равное отношению наибольшей нагрузки, предшествовавшей разрушению образцов, к первоначальной площади сечения образца |
| Предел текучести | Напряжение, при котором деформация материалов происходит без возрастающей нагрузки |
| Прерывистый многократный отжиг | Отжиг, в процессе которого производится 2 — 4-кратный нагрев с охлаждением каждый раз до комнатной температуры |
| Продолжительность подогрева | Время от начала нагрева до момента достижения заданной температуры поверхностью изделия |

| Термин | Определение |
|---|---|
| Продолжительность прогрева (продолжительность выравнивания температуры) | Время от момента достижения заданной температуры поверхностью изделия до момента достижения этой температуры сердцевиной |
| Продолжительность нагрева (общее время нагрева) | Время, затраченное на подогрев, прогрев и выдержку при заданной температуре |
| Продолжительность отпуска | Время от момента достижения изделием температуры отпуска до начала его охлаждения |
| Прокаливаемость | Способность стали воспринимать закалку на определенной глубине. Прокаливаемость зависит от размера зерна, степени легирования стали и скорости охлаждения |
| Рекристаллизация | Процесс роста одних зерен однофазного поликристаллического тела за счет других. После рекристаллизации деформированный металл восстанавливает структуру и исходные пластические свойства |
| Рост зерна | Увеличение размера зерен в процессе нагрева сплавов в области повышенных и высоких температур |
| Самоотпуск | Отпуск за счет теплоты, остающейся в изделиях после закалки. Широко применяется при высокочастотной закалке изделий, так как теплота, остающаяся в сердцевине изделия, способствует отпуску поверхностно-закаленного слоя |
| Синеломкость | Хрупкость, возникающая при нагреве стали в интервале температур синего цвета побежалости (200—300 °С) |
| Скорость нагрева | Величина, характеризующая нагрев изделия за единицу времени |
| Скорость охлаждения | Величина, характеризующая охлаждение изделия за единицу времени |
| Спектральный анализ | Метод определения химического состава металла по спектру без разрушения или повреждения изделия; позволяет быстро определять малые концентрации элементов |
| Сталь | Сплав железа с углеродом и другими элементами; массовая доля углерода не более 2,0 % |
| Старение естественное | Изменение структуры сплава вследствие выделения из твердого раствора дисперсной фазы во время вылеживания изделий при комнатной температуре |
| Старение искусственное | То же, но при выдержке изделий в области повышенных и высоких температур |
| Статические испытания | Механические испытания материала с приложением постепенно возрастающей нагрузки. Например, испытание образцов на растяжение, испытание твердости методом вдавливания стального шарика и т. п. |
| Стилоскоп | Аппарат для качественного или полуколичественного спектрального экспресс-анализа; позволяет быстро определить марку стали и произвести разбраковку изделий по материалу |

| Термин | Определение |
|-------------------------------------|---|
| Строчечная структура | Вид структуры стали. Вытянутые строчки образуются при деформировании во время проката участков слитка с неравномерным распределением неметаллических включений, карбидов и примесей |
| Структура металла | Характер и взаимное расположение кристаллических зерен в макроструктуре, фаз в микроструктуре, атомов в кристаллической решетке, зависящие от химического состава, способа получения, условий кристаллизации, условий обработки давлением и термической обработки |
| Структурные превращения (в металле) | Процессы изменения структуры металла, происходящие при изменении условий, например температуры. Различают диффузионные и бездиффузионные структурные превращения |
| Сфероидизация | Режим термической обработки, при котором карбиды в стали приобретают сфероидную (шаровидную) форму |
| Твердость | Способность материала противодействовать вдавлению в него более твердого металлического или алмазного наконечника |
| Температура закали | Температура нагрева изделия при закалке |
| Температура отпус | Температура, до которой закаленное изделие нагревается при отпуске. Она должна быть не выше нижней критической точки |
| Тепловое излу | Тепловая радиация — электромагнитные волны, вызванные тепловыми колебаниями молекул и переходящие в теплоту при поглощении |
| Теплоемкость | Количество теплоты, которое необходимо для повышения температуры тела на 1 °С |
| Теплопровод | Способность вещества проводить теплоту при его нагреве и охлаждении |
| Тепловое расши | Способность твердых тел увеличивать свои размеры при нагреве |
| Термическая об | Процесс обработки сплава в твердом состоянии путем термического воздействия, сочетаемого в ряде случаев с химическим, деформационным или иным воздействием с целью изменения структуры и свойств сплава |
| Термическая усталость | Склонность металла к образованию сетки трещин в результате чередования нагрева и охлаждения |
| Термостойкость | Сопротивление металла термической усталости |
| Термопара | Прибор для измерения температуры в печах, состоящий из двух спаренных разнородных проводников |
| Травильная хрупкость | Хрупкость металла, возникающая вследствие длительного травления, при котором металл поглощает имеющийся в кислотах водород. Способ удаления водорода — длительный нагрев при 100—300 °С |
| Травление | Химическая обработка поверхности металлических изделий с целью удаления окислов или выявления структуры металлов |

| Термин | Определение |
|-------------------------------|---|
| Трещины закалочные | Нарушение сплошности изделий после закалки. Трещины имеют вид тонких зигзагообразных линий или черточек различной протяженности. Образуются обычно в местах резких переходов сечений изделия при охлаждении в процессе закалки или при длительном вылеживании закаленных и неотпущенных изделий |
| Трещины шлифовочные | Вид брака, связанный с нарушением режима шлифования закаленных изделий. Поверхность изделия имеет вид сетки трещин, распространяющихся на небольшую глубину от поверхности |
| Углеродистая сталь | Сталь, которая не содержит специально вводимых легирующих элементов |
| Ударная вязкость | Способность металла оказывать сопротивление действию ударных нагрузок. Ударная вязкость измеряется количеством работы, затраченной на единицу площади сечения образца стандартного размера с надрезом |
| Ультразвук | Механические колебания упругой среды, например воздуха, с частотами свыше 20 000 Гц, не воспринимаемыми человеческим ухом. Ультразвук может использоваться для ускорения процессов термической и химико-термической обработок, а также для целей дефектоскопии и очистки металлических изделий |
| Усталость металла | Разрушение металла, наступающее после большого числа повторно-переменных нагрузок |
| Фазы | Структурные составляющие сплавов, однородные по строению и свойствам |
| Флокены | Металлургический дефект металла. Флокены представляют собой очень тонкие трещины овальной или круглой формы размером от сотых долей миллиметра до десятков миллиметров в поперечнике. Встречаются в катаных и кованных прутках |
| Хладноломкость | Способность некоторых металлов при пониженных температурах переходить из вязкого состояния в хрупкое. К хладноломким металлам прежде всего относится железо и большинство его сплавов |
| Хрупкость | Состояние материала, при котором разрушение происходит без заметной пластической деформации |
| Цвет побежалости | Тонкие пленки окислов различных цветов на полированной поверхности стали; образуются при 150—600 °С |
| Цементитная (карбидная) сетка | Выделение структурно-свободного цементита по границам зерен. Сетка образуется в процессе цементации в активном карбюризаторе, ухудшает качество слоя цементации |
| Чугун | Сплав железа с углеродом, массовая доля углерода 1,7—4,5 %. Кроме углерода чугун содержит кремний, марганец и другие примеси |
| Шлиф | Образец для исследования структуры металла, отполированный и протравленный специальным раствором. Различают макрошлифы, предназначенные для исследования невооруженным глазом или под лупой, и микрошлифы, исследуемые под микроскопом |

| Термин | Определение |
|------------------------|--|
| Щелочное обезжиривание | Обезжиривание путем погружения в водные растворы щелочей, например едкого натра, едкого кали, соды, поташа и др. |
| Эвтектоидные стали | Железоуглеродистые сплавы с массовой долей углерода 0,83 % |
| Электроотпуск | Отпуск стальных изделий при скоростном нагреве с помощью электрического тока |
| Электротермия | Область науки и техники, занимающаяся промышленным использованием электрического нагрева |

II. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

| Множитель | Приставка | Обозначение приставки | |
|------------|-----------|-----------------------|---------|
| | | международное | русское |
| 10^{18} | экса | E | Э |
| 10^{15} | пета | P | П |
| 10^{12} | тера | T | Т |
| 10^9 | гига | G | Г |
| 10^6 | мега | M | М |
| 10^3 | кило | k | к |
| 10^2 | гекто | h | г |
| 10^1 | дека | da | да |
| 10^{-1} | деци | d | д |
| 10^{-2} | санти | c | с |
| 10^{-3} | милли | m | м |
| 10^{-6} | микро | μ | мк |
| 10^{-9} | нано | n | н |
| 10^{-12} | пико | p | п |
| 10^{-15} | фемто | f | ф |
| 10^{-18} | атто | a | а |

Примечание. Присоединение к наименованию единицы двух или более приставок подряд не допускается.

III. Таблица соотношений между некоторыми единицами физических величин, подлежащими изъятию, и единицами СИ

| Наименование | Единица | | | | Соотношение единиц |
|---|--|---------------------|---------------------------|------------------|--|
| | подлежащая изъятию | | СИ | | |
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | |
| Сила, вес | килограмм-сила | кгс | ньютон | Н | $1 \text{ кгс} = 9,80665 \text{ Н} \approx 10 \text{ Н}$ |
| | тонна-сила | тс | | | $1 \text{ тс} = 9,80665 \cdot 10^3 \text{ Н} \approx 10 \text{ кН}$ |
| | грамм-сила | гс | | | $1 \text{ гс} = 9,80665 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \approx 10 \text{ мН}$ |
| Линейная нагрузка | килограмм-сила на метр | кгс/м | ньютон на метр | Н/м | $1 \text{ кгс/м} \approx 10 \text{ Н/м}$ |
| Поверхностная нагрузка | килограмм-сила на квадратный метр | кгс/м ² | ньютон на квадратный метр | Н/м ² | $1 \text{ кгс/м}^2 \approx 10 \text{ Н/м}^2$ |
| Давление | килограмм-сила на квадратный сантиметр | кгс/см ² | паскаль | Па | $1 \text{ кгс/см}^2 = 980\,665 \text{ Па} \approx 10^6 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$ |
| | миллиметр водяного столба | мм вод. ст. | | | $1 \text{ мм вод. ст.} = 9,80665 \text{ Па} \approx 10 \text{ Па}$ |
| | миллиметр ртутного столба | мм рт. ст. | | | $1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133,3 \text{ Па}$ |
| Напряжение (механическое) | килограмм-сила на квадратный миллиметр | кгс/мм ² | паскаль | Па | $1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,80665 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 10^7 \text{ Па} \approx 10 \text{ МПа}$ |
| Модуль продольной упругости; модуль сдвига; модуль объемного сжатия | килограмм-сила на квадратный сантиметр | кгс/см ² | | | $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$ |

| Наименование | Единица | | | | Соотношение единиц |
|------------------------------|---|---------------|-----------------------------|-------------|---|
| | подлежащая изъятию | | СИ | | |
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | |
| Момент силы; момент пары сил | килограмм-сила-метр | кгс·м | ньютон-метр | Н·м | $1 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 9,80665 \text{ Н}\cdot\text{м} \approx 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ |
| Работа (энергия) | килограмм-сила-метр | кгс·м | джоуль | Дж | $1 \text{ кгс}\cdot\text{м} \approx 10 \text{ Дж}$ |
| Количество теплоты | калория килокалория | кал ккал | джоуль | Дж | $1 \text{ кал} \approx 4,2 \text{ Дж}$ $1 \text{ ккал} \approx 4,2 \text{ кДж}$ |
| Мощность | лошадиная сила | л. с. | ватт | Вт | $1 \text{ л. с.} \approx 735,5 \text{ Вт}$ |
| Удельная теплоемкость | калория на грамм-градус Цельсия | кал/(г·°С) | джоуль на килограмм-кельвин | Дж/(кг·К) | $1 \text{ кал}/(\text{г}\cdot^\circ\text{С}) \approx 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
| | килокалория на килограмм-градус Цельсия | ккал/(кг·°С) | | | $1 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{С}) \approx 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
| Теплопроводность | калория в секунду на сантиметр-градус Цельсия | кал/(с·см·°С) | ватт на метр-кельвин | Вт/(м·К) | $1 \text{ кал}/(\text{с}\cdot\text{см}\cdot^\circ\text{С}) \approx 420 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ |
| | килокалория в час на метр-градус Цельсия | ккал/(ч·м·°С) | | | $1 \text{ ккал}/(\text{ч}\cdot\text{м}\cdot^\circ\text{С}) \approx 1,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алюминиевые сплавы:** Справочник/Под ред. В. А. Ливанова. М.: **Металлургия**, 1974. 432 с.
2. **Баскаков А. П.** Нагрев и охлаждение металлов в кипящем слое. М.: **Металлургия**, 1974. 230 с.
3. **Бернштейн М. Л.** Термомеханическая обработка металлов и сплавов. М.: **Металлургия**, 1968. 1171 с.
4. **Блантер М. Е.** Металловедение и термическая обработка. М.: **Машгиз**, 1963. 360 с.
5. **Бобров Ю. Г., Пивоваров В. М.** Изотермическая закалка чугуна. Харьков: **Прапор**, 1968. 109 с.
6. **Вайнштейн В. Д., Канторович В. Н.** Низкотемпературные холодильные установки. М.: **Пищевая промышленность**, 1972. 350 с.
7. **Воронков Б. Д., Виноградов Ю. М., Лазарев Г. Е.** Износостойкие материалы в химическом машиностроении: Справочник/Под ред. Ю. М. Виноградова. Л.: **Машиностроение**, 1977. 256 с.
8. **Вязников Н. Ф.** Термист. М.: **Металлургиздат**, 1957. 264 с.
9. **Геллер Ю. А.** Инструментальные стали. М.: **Металлургия**, 1975. 584 с.
10. **Глазунов С. Г., Моисеев В. Н.** Конструкционные титановые сплавы. М.: **Металлургия**, 1974. 368 с.
11. **Гочник А. Дж., Веббер Х. М.** Защитные атмосферы. М.: **Машгиз**, 1959. 360 с.
12. **Гуляев А. П.** Термическая обработка стали. М.: **Машгиз**, 1960. 496 с.
13. **Гуляев А. П.** Металловедение. 5-е изд., перераб. М.: **Металлургия**, 1978. 646 с.
14. **Гуляев А. П., Малинина К. И., Саверина С. М.** Инструментальные стали: Справочник. М.: **Машиностроение**, 1975. 270 с.
15. **Дитятковский Я. М., Фиргер И. В.** Очистка деталей металлическим песком. Л.: **ЛДНТП**, 1961. 5 с.
16. **Земзин В. Н., Шрон Р. З.** Термическая обработка и свойства сварных соединений. Л.: **Машиностроение**, 1978. 367 с.
17. **Калинин А. Г.** Применение контролируемых атмосфер при термической обработке. М.: **ЦНИИТмаш**, 1961. 100 с.
18. **Каменичный Н. С.** Краткий справочник термиста. Москва — Киев. **Машгиз**, 1957. 280 с.
19. **Каменичный Н. С.** Практика термической обработки инструмента. Москва — Киев, **Машгиз**, 1959. 224 с.
20. **Келлер О. К., Кратыш П. С., Лубяницкий Г. Д.** Ультразвуковая очистка. Л.: **Машиностроение**, 1977. 184 с.
21. **Козловский Н. С.** Химико-термическая обработка шестерен. М.: **Машиностроение**, 1970. 232 с.
22. **Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. Н.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., **Металлургия**, 1972. 480 с.
23. **Колобнев Н. Ф., Крымов В. В., Мельников А. В.** Справочник литейщика. 2-е изд., перераб. и доп. М.: **Машиностроение**, 1974. 415 с.
24. **Копытов В. Ф.** Нагрев стали в печах. М.: **Металлургиздат**, 1955. 184 с.
25. **Ланская К. А.** Высокохромистые жаропрочные стали. М.: **Металлургия**, 1976. 216 с.
26. **Ляхтин Ю. М., Коган Я. Д.** Азотирование стали. М.: **Машиностроение**, 1976. 255 с.
27. **Липницкий А. М., Морозов Н. В.** Справочник рабочего-литейщика. Л.: **Машиностроение**, 1976. 343 с.
28. **Марочник стали и сплавов.** 3-е изд., исправл. и доп. М.: **НПО ЦНИИТмаш**, 1977. 515 с.

29. Майергойз И. И., Петрук А. П. Контролируемые атмосферы в электрических печах. М.: Энергия, 1971. 111 с.
30. Меськин В. С. Основы легирования стали. М.: Металлургиздат, 1959. 654 с.
31. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник. Т. II. М.: Металлургиздат, 1962. 1625 с.
32. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1966. 491 с.
33. Нормативы времени на термическую обработку изделий в печах. М.; Центрального бюро промышленных нормативов по труду, 1965. 65 с.
34. Петров Н. П., Трошкин Н. Т., Веселов Б. П. Термическая обработка стали в контролируемых атмосферах. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.
35. Петров П. Л., Буров И. П., Абрамович В. Р. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1978. 277 с.
36. Петраш Л. В. Закалочные среды. М. — Л.: Машгиз, 1959. 250 с.
37. Поздня Л. А., Тишаев С. Н. Инструментальные стали: Справочник. М.: Металлургия, 1977. 167 с.
38. Попилов Л. Я. Советы заводскому технологу. Л.: Лениздат, 1975. 263 с.
39. Попов А. А., Попова Л. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. М.: Машгиз, 1961. 430 с.
40. Правила по технике безопасности промышленной санитарии при термической обработке металлов. М.: НИАТ, 1970. 87 с.
41. Правила по технике безопасности и производственной санитарии при термической обработке металлов. М.: Машгиз, 1961. 52 с.
42. Приходько В. С. Современное термическое оборудование для серийного производства. М.: НИИмаш, 1973. 86 с.
43. Райсес В. Б. Технология химико-термической обработки на машиностроительных заводах. М.: Машиностроение, 1965. 295 с.
44. Рекомендации по стандартизации РС 2256—69. Термическая обработка стали. Классификация, терминология, обозначение. М.: Изд-во отдела стандартизации СЭВ, 1970. 73 с.
45. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Конора А. Н. Лазерная обработка материалов. М.: Машиностроение, 1975. 296 с.
46. Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. Ч. I. М.: Энергия, 1975. 384 с.
47. Склюев П. В. Термическая обработка крупных поковок. М.: Машиностроение, 1976. 60 с.
48. Скринг С. Очистка поверхностей металлов/Пер. с англ. М.: Мир, 1966. 304 с.
49. Смирнов А. В., Белоручев Л. В. Контролируемые атмосферы и их применение для термической и химико-термической обработки металлов. Л.: ЛДНТП, 1960. 76 с.
50. Смольников Е. А. Термическая обработка инструментов в соляных ваннах. М.: Машиностроение, 1981. 271 с.
51. Соломина О. П., Глазунов С. Г. Жаропрочные титановые сплавы. М.: Металлургия, 1976. 448 с.
52. Справочник металлста. Т. 2. М.: Машиностроение, 1976. 717 с.
53. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Эффективность разработки и внедрения на предприятиях тракторного и сельскохозяйственного машиностроения новых закалочных сред на водной основе». Волгоград: НИИТмаш, 1976. 59 с.
54. Типаж электротермического оборудования на 1961—1970 гг. М.: Изд-во Гос. комитета по электротехнике при Госплане СССР, 1961—1965.
55. Филинов С. А., Фиргер И. В. Справочник термиста, 4-е изд., доп. и перераб. Л.: Машиностроение, 1975. 352 с.
56. Хелоглу Ю., Захариевич К., Карташевская Н. Краткий металлургический справочник. Кишинев: Карта молдовеняскя, 1969. 166 с.
57. Хромченко Ф. А., Корольков П. М. Технология термической обработки сварных соединений. М.: Информэнерго, 1974. 41 с.
58. Хромченко Ф. А. Термическая обработка сварных соединений труб электростанций. М.: Энергия, 1972. 224 с.
59. Шапов А. Н., Бодажков В. А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1974. 280 с.
60. Шубин Р. П., Приходько В. С. Технология и оборудование термического цеха. М.: Машиностроение, 1971. 280 с.
61. Шубин Р. П., Гринберг М. Л. Нитроцементация деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 207 с.
62. Эстрин Б. М. Производство и применение контролируемых атмосфер. М.: Металлургиздат, 1963. 296 с.
63. Юргенсон А. А. Быстроазотируемые стали. — НИИинформтяжмаш, 1975, № 5, с. 15—20.