

19. ДВИЖЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ РАСПЛАВА И ИХ ЗАДЕРЖАНИЕ

Неметаллические частицы в отливках можно разделить на две большие группы, хотя такое деление не является общепринятым:

1. Загрязнения, представляющие собой частицы шлаков, флюсов, продуктов разрушения огнеупорных материалов и формы. Размеры таких частиц колеблются от 1 мм до нескольких сантиметров.

2. Неметаллические включения, представляющие собой продукты взаимодействия компонентов сплавов с атмосферой, а также металлических компонентов с неметаллическими примесями. Размеры этих частиц измеряются микронами (в данном параграфе они не рассматриваются).

Неметаллические частицы отличаются по плотности от металлических сплавов и поэтому обладают способностью к самостоятельному движению.

В сплавах на основе железа, меди и титана шлаки, флюсы и окислы всех компонентов легче, чем жидкие сплавы, и их частицы всплывают на поверхность потоков. В сплавах на основе алюминия и магния их окислы тяжелее расплавов и тонут в потоках. Исключение составляют окислы натрия, которые образуются при модифицировании алюминиевых сплавов. Флюсы в алюминиевых сплавах плавают на поверхности как более легкие; в магниевых сплавах они находятся на дне плавильных тиглей (табл. 6.10). Таким образом, борьба с неметаллическими частицами в тяжелых и легких сплавах должна производиться различными методами. Эти различия должны быть учтены при конструировании литниковой системы.

Для частиц размером более 1 мм в железных сплавах скорость всплывания настолько велика, что происходит их всплывание при турбулентном режиме потока по закону Стокса:

$$W = 1,15 \sqrt{\frac{g}{c} \frac{(\rho_m - \rho_{ш})}{\rho_m}} d, \quad (6.46)$$

где ρ_m и $\rho_{ш}$ – плотность расплава и неметаллических частиц; d – диаметр частиц; g – ускорение силы тяжести; c – коэффициент, зависящий от критерия Re, а также соотношения размеров частиц и канала, в котором происходит их всплывание; по данным Б. В. Рабиновича его можно считать равным единице ($c = 1$).

При всплывании неметаллических частиц в вертикальном канале (стояке) литниковой системы их отделение возможно только в случае, когда скорость всплывания больше скорости потока расплава. Расчеты по W показывают, что для чугуновых отливок всплывать могут только крупные частицы (> 10 мм), а остальные уносятся с потоком в следующие элементы литниковой системы.

Таблица 6.10

Плотности основ сплавов и неметаллических загрязнений

Основа литейного сплава	Плотность, г/см ³			
	основы сплавов	шлака или флюса	окисла компонентов	
Fe	6,8	Шлаки 2,5–3,5	FeO Fe ₃ O ₄ Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cr ₂ O ₃	5,7 5,1 5,2 2,3 5,2
Cu	8,0	Уголь 2,2 Флюсы 2,5–4,0	Cu ₂ O CuO Al ₂ O ₃ SnO ₂	6,0 6,4 4,9 6,9
Ti	4,1	–	TiO ₂	3,8
Al	2,4	Флюсы 1,6–2,1	Al ₂ O ₃ MgO Na ₂ O	3,9 3,6 2,3
Mg	1,5	Флюсы 1,5–2,5	MgO Al ₂ O ₃	3,6 3,9

В горизонтальном потоке (рис. 6.20) траектория движения неметаллической частицы определяется скоростью всплывания W , направленной вверх, усредненной горизонтальной скоростью потока $V_{ш}$ и вертикальной составляющей движения турбулентного потока. Эта статистическая величина, определяющаяся вихревым характером движения, может быть направлена как вверх, так и вниз. Величина вертикальной составляющей V_v пропорциональна средней горизонтальной скорости потока $V_{ш}$:

$$V_v = \beta \cdot V_{ш}, \quad (6.47)$$

где β – коэффициент пропорциональности, равный примерно 0,2.

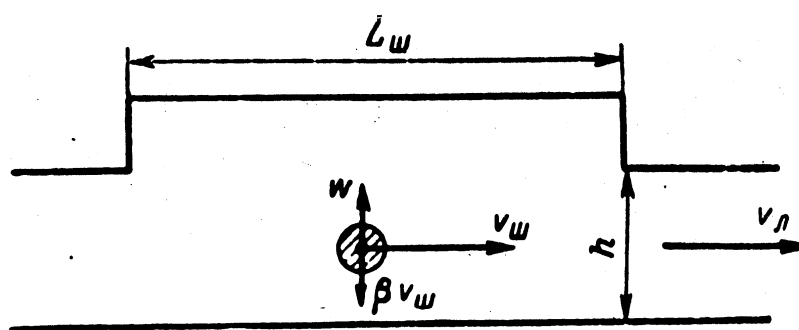


Рис. 6.20. Схема к расчету шлакоуловителя

Для того чтобы неметаллические частицы были задержаны, необходимо, чтобы за время прохождения потока по всей длине шлакоуловителя даже те из них, которые вначале находились на дне, всплывали на полную высоту канала.

Поскольку мы должны рассматривать наихудшие условия, будем считать, что вертикальная составляющая турбулентного потока все время будет направлена вниз. Обозначим длину шлакоуловителя через $L_{ш}$, а высоту литника через h . Тогда условие, обеспечивающее всплытие, имеет вид

$$\frac{L_{ш}}{V_{л}} \geq \frac{h}{W - \beta \cdot V_{ш}}. \quad (6.48)$$

Если скорость потока настолько же велика, насколько мала скорость всплытия, то это будет означать, что частицы соответствующего размера не будут задерживаться в шлакоуловителе. Они будут находиться в состоянии «витания».

Определим размеры шлакоуловителя, обеспечивающего задержание шлаковых частиц минимального размера $d_{\min}$ (см. рис. 6.20).

Металл из шлакоуловителя, имеющего сечение $F_{ш}$, текущий со скоростью $V_{ш}$, переходит в литник сечением $F_{л}$, в котором будет течь со скоростью $V_{л}$. Исходя из условий неразрывности потока, можно написать

$$\frac{F_{ш}}{F_{л}} = \frac{V_{л}}{V_{ш}}. \quad (6.49)$$

Как будет показано ниже, скорость течения металла через литник можно определить выражением

$$V_{л} = \frac{G}{\rho \cdot F_{л} \cdot \tau} = \frac{G^{1/6}}{\rho \cdot m \cdot n}, \quad (6.50)$$

где G – масса отливки; ρ – плотность металла; τ – время заполнения формы, определяемое из технологических соображений; m и n – коэффициенты.

Скорость течения в шлакоуловителе должна быть такой, чтобы поток металла не мог увлечь за собой частицы, уже всплывшие в его верхнюю часть. Это становится возможным, если скорость потока не превосходит некоторую предельную величину. В гидротехнических исследованиях установлено, что если скорость потока воды, текущей по ложу из мелкого песка, не превосходит 35 см/с, песок не будет размываться. Исследования Б. В. Рабиновича показали, что для шлаковых частиц диаметром $d_{\min} = 1$ мм в потоке из жидкого чугуна критическая скорость, не могущая их извлечь из пристеночного слоя, составляет 40 см/с. Обозначим эту критическую скорость через $V_{ш.кр}$. Тогда соотношение размеров сечений шлакоуловителя и литника, соответствующее условиям задержания шлаковых частиц, определится равенством

$$\frac{F_{ш}}{F_{л}} = \frac{G^{1/6}}{\rho \cdot m \cdot n \cdot V_{ш.кр}}. \quad (6.51)$$

Примем: $V_{ш.кр} = 40$ см/с; для жидкого чугуна $\rho = 0,0068$ кг/см³; $n = 1,35$ и $m = 2,0$. Тогда

$$\frac{F_{ш}}{F_{л}} = \frac{G^{1/6}}{0,0068 \cdot 1,35 \cdot 2,0 \cdot 40} = 1,0 \cdot G^{1/6}, \quad (6.52)$$

где G – масса отливки, кг.

Полагая, что в выражении (6.48) правая и левая части равны друг другу, и решая его относительно длины, получим

$$\frac{L_{ш}}{h} = \frac{V_{ш.кр}}{1,15 \sqrt{g \frac{\rho_m - \rho_{ш}}{\rho_m} d_{min} - \beta \cdot V_{ш.кр}}} . \quad (6.53)$$

Примем: $d_{min} = 1$ см; $\rho_m = 6,8$ г/см³; $\rho_{ш} = 2,6$ г/см³; $\beta = 0,2$; $V_{ш.кр} = 40$ см/с. Тогда

$$\frac{L_{ш}}{h} = \frac{40}{1,15 \sqrt{981 \frac{6,8 - 2,6}{6,8} 0,1 - 0,2 \cdot 40}} = 32 . \quad (6.54)$$

Таким образом, длина шлакоуловителя, на котором частицы диаметром больше 1 мм могут задерживаться, должна быть не меньше 32 высот.

Выражения (6.52) и (6.54) позволяют ориентировочно определить размеры шлакоуловителей. Практически применяемые размеры этого элемента имеют тот же порядок величин.

Конструкция литниковой системы для создания условий задержания неметаллических частиц

Наряду с выбором необходимых размеров шлакоуловителя условием задержания частиц является полное заполнение каналов литниковой системы. Литниковые системы, соответствующие этому требованию, называются **запертыми** (рис. 6.21, б и в). Если в каналах литниковой системы образуется свободная поверхность, шлаковые частицы будут транспортироваться по ней в полость формы. Литниковая система, в которой образуется свободная поверхность, называется **незапертой** (рис. 6.21, а).

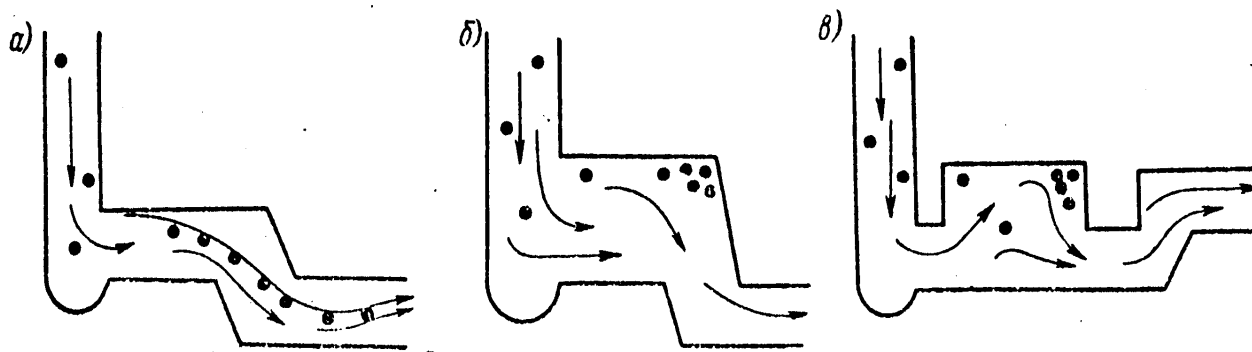


Рис. 6.21. Схемы незапертой, запертой обычной и запертой с нижним подводом литниковых систем

Считается, что для получения запертой литниковой системы необходимо, чтобы каждый последующий элемент имел сечение меньше предыдущего. Более надежно это условие может быть выполнено путем установки на пути

жидкого металла порога, обеспечивающего заполнение распределительного канала снизу (рис. 6.21, в).

При литье из легких цветных сплавов, в которых всплывание неметаллических частиц не происходит, основным требованием к литниковой системе является спокойный ввод металла в полость формы. Многие из компонентов (Al, Zn, Si и др.) этих сплавов легко окисляются; их интенсивное перемешивание усиливает окисление. Для обеспечения спокойного заполнения рекомендуется применение незапертых литниковых систем и расширение сечений их элементов от стояка к отливке.

При литье из стали заливка форм производится, как правило, из стопорного ковша. В этом случае шлаковые частицы легко отделяются от металла и не попадают в литниковую систему.

В табл. 6.11 представлены соотношения площадей сечения элементов литниковых систем, рекомендуемые для различных сплавов.

Таблица 6.11

*Отношение площадей сечения элементов литниковых систем
для различных сплавов*

Сплав	Литник	Шлакоуловитель	Стояк
Серый чугун	1	1,1	1,2
Сталь	1	1,1–1,2	1
Цветные сплавы, не склонные к окислению	1	0,8–1,5	1
Цветные сплавы, склонные к окислению	1	2–4	1

Кроме того, для отделения шлаковых частиц в литниковые системы встраивают специальные устройства. Основным принципом их работы является по возможности резкое снижение скорости потока жидкого металла на ограниченном участке, дающее возможность неметаллическим включениям всплыть и задержаться. Схемы специальных шлакоуловителей приведены на рис. 6.22.

Тормозящие и «поворотные» литниковые системы (рис. 6.22, а) разработаны В. И. Фундатором. Они представляют собой серию поворотов под углом 90° в распределительном канале с переходом элементов, следующих один за другим из верхней полуформы в нижнюю, и наоборот. Такие повороты являются средством резкого замедления скорости потока.

Дроссельная литниковая система (рис. 6.22, б), разработанная Б. В. Рабиновичем, позволяет осуществить торможение потока на небольшом участке, представляющем собой узкую вертикальную щель, следующую за местным расширением канала. Для площадей элементов дроссельной литниковой системы (стояк – дроссель – шлакоуловитель – литник) рекомендуется следующее соотношение: $F_{ст} / F_{др} / F_{шл} / F_{лит} = 1,8/1/1,6/1,04$.

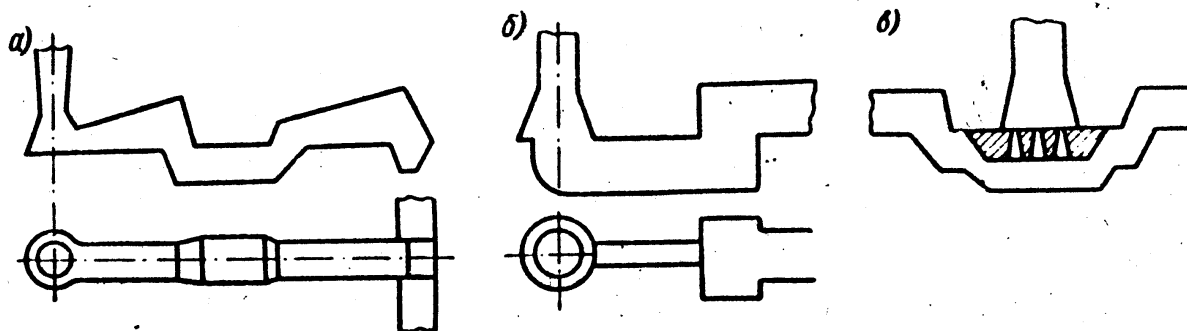


Рис. 6.22. Схемы специальных шлакоуловителей: *а* – тормозящие элементы; *б* – дроссель; *в* – фильтрующая сетка

Сетки, имеющие форму диафрагм с 3–10 отверстиями, диаметром 5–12 мм устанавливаются на пути потока металла. Такие сетки (рис. 6.22, *в*) не должны рассматриваться как обычные фильтры, так как размеры их отверстий много больше, чем обычные шлаковые частицы.

В отливках из легких сплавов отделение неметаллических частиц производят до заливки формы. Одним из наиболее надежных средств их отделения является фильтрация сплава при пропускании через слой размельченных материалов с размером частиц порядка 1 мм. В качестве материалов фильтра применяют магнезит и соли галогенов. Фильтрация происходит не столько за счет удерживания крупных частиц при прохождении расплава через каналы малых размеров, сколько за счет прилипания частиц окислов к материалам из фильтра.