

«сверху»; подогрев формы смещает интервал кристаллизации в область более высоких температур. Закрытая форма дает более равномерные скорости охлаждения по толщине плиток, что способствует получению более равномерных структур, хотя и с несколько большим размером зерна.

При литье в подогретые формы в ряде случаев наблюдается саморазогрев средней части плиток в результате интенсивной кристаллизации в условиях переохлаждения. Для выравнивания и уменьшения скоростей охлаждения при литье в открытые формы необходимо производить охлаждение изделий в специальной печи с плавным падением температуры.

Как показывает практика производства горнблендитовой плитки, удовлетворительные результаты получаются при скорости охлаждения в рабочем пространстве печи 10–150 град/ч, что способствует одновременно снятию температурных напряжений. Для устранения остеклования горнблендитовые изделия сразу же после заливки помещаются в кристаллизационную печь с температурой 850–870 °С. Это позволяет снизить скорость охлаждения изделий в период кристаллизации до 5–10 град/мин, что обеспечивает протекание достаточно полной кристаллизации. Температура в кристаллизационной печи соответствует температурному интервалу кристаллизации стекла «снизу», в связи с чем остеклованные вначале части изделий кристаллизуются.

Полученные в работе данные позволяют уточнить температурные режимы кристаллизации, увеличить скорость охлаждения изделий с 60–70 до 100–150 град/ч и производительность конвейера для заливки горнблендитовых изделий в песчаные формы.

**В.М. Карпов,
В.С. Балин**

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОУСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В КАМЕННЫХ ОТЛИВКАХ

Производство каменного литья требует решения многих специфических технологических задач: конструирование податливых стержней, устройство литниковых систем, обеспечивающих заполнение формы вязким силикатным расплавом за оптимальное время и др.

К одной из основных задач относится предупреждение образования объемных дефектов газоусадочного происхождения. Чисто усадочные или чисто газовые дефекты редко встречаются в каменных отливках.

Усадка камнелитейных расплавов – естественное явление, связанное с уменьшением объема при падении температуры или с кристаллизацией. Газовые дефекты могут иметь различное происхождение. Промышленные камнелитейные расплавы содержат ионизированные продукты растворения газов: OH^- , H^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и др. На поверхности усадочных раковин протекают процессы в направлении установления термодинамического равновесия, например $2(\text{OH})_{\text{расп}} \rightarrow (\text{O}^{2-})_{\text{расп}} + \text{H}_2\text{O}_{\text{газ}}$, в результате которых происходят молизация растворенных газов и формирование в усадочной раковине многокомпонентной газовой атмосферы (H_2O , H_2 , CO , CO_2 , SO_2 и др.). Если суммарное давление выделившихся газов $P_{\text{газ}}$ меньше внешнего $P_{\text{атм}}$ (атмосферного), то образовавшийся дефект относят к усадочным. При $P_{\text{газ}} > P_{\text{атм}}$ его часто классифицируют как газовую раковину. Не исключено также образование эндогенных, чисто газовых раковин на готовых твердых подложках (не растворившиеся частицы, кристаллы твердой фазы).

Кроме того, газоусадочные дефекты возникают из-за медленного затвердевания каменных отливок и малой высокотемпературной прочности появляющейся литейной корки. При интенсивном газообразовании в формочной или стержневой смеси под влиянием перепада давлений $P_{\text{атм}} - P_{\text{расп}}$ может происходить вдавливание поверхностного слоя отливки в глубину ее, что приводит к частичному переходу внутренней усадочной раковины в наружную газоусадочную. Такие «утяжины» могут образовываться не только на верхних, но и на боковых и даже нижних поверхностях массивных узлов изделий. При интенсивном газовыделении в подкорковом слое отливки могут возникнуть множественные раковины и газовая пористость.

Изучена объемная усадка типовых расплавов на основе горнблэндитовых отходов обогащения железной руды, которые длительное время используются для производства каменных отливок на Среднем Урале. В состав промышленных расплавов, получаемых в электродуговых или газопламенных печах, вводят (%): $49 \div 52 \text{ SiO}_2$, $12 \div 13 \text{ Al}_2\text{O}_3$, $12 \div 16 \text{ FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, $8 \div 10 \text{ CaO}$, $9 \div 12 \text{ MgO}$, что обеспечивает формирование в отливках преимущественно пироксеновых структур.

Кристаллизация горнблэндитовых расплавов начинается с выпадения сложных шпинелей (Mg , Fe^{2+}) [Al , Fe^{3+} Cr] $_2\text{O}_4$ или магнетита Fe^{2+} (Fe^{3+} O) $_4$ при температуре около 1300°C . Общее количество шпинелей в структуре невелико ($< 1,5\%$), и их выделение обычно не фиксируется на термограммах при охлаждении. Мало меняется и подвижность расплава. В связи с этим при рассмотрении усадки область жидкого состояния может быть распространена вплоть до температур массовой кристаллизации основной пироксеновой фазы.

В отличие от металлов, силикатные расплавы способны к глубокому переохлаждению. С увеличением скорости охлаждения температуры, при

которых происходит обособление отдельных кристаллических фаз, существенно снижаются, а формирующаяся структура становится все более метастабильной. Поэтому ширина и положение интервала кристаллизации зависят от скорости охлаждения расплава. В структуре каменных отливок обычно содержится межкристаллическое стекло, количество которого возрастает при повышении скорости охлаждения, вплоть до полного перехода материала в стеклообразное состояние (переохлажденная жидкость).

С учетом этого усадку силикатного расплава в жидком состоянии $\varepsilon_{V,ж}$ и при затвердевании $\varepsilon_{V,з}$ целесообразно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{V,ж} &= \alpha_{V,ж}(t_{зал} - t_{мк}); \\ \varepsilon_{V,з} &= k \varepsilon_{V,\phi} + \alpha_{V,ж}(t_{мк} - t_{кк}),\end{aligned}$$

где $\alpha_{V,ж}$ и $\alpha_{V,ж-т}$ – коэффициенты объемного сжатия в жидком и жидко-твердом состояниях, K^{-1} ;

$t_{зал}$ – температура заливки, $^{\circ}C$;

$t_{мк}$ – температура массовой кристаллизации, $^{\circ}C$;

k – степень закристаллизованности отливки;

$\varepsilon_{V,\phi}$ – сокращение объема при фазовом переходе;

$t_{кк}$ – температура конца кристаллизации, $^{\circ}C$.

Для оценки усадки в жидком состоянии были замерены плотности расплавов ρ по методу максимального давления в газовом пузырьке (рабочий агент – гелий). Полученные для типовых камнелитейных расплавов (табл. 1) температурные зависимости плотности приведены на рис. 1. Они практически линейны, что говорит об отсутствии существенных перестроек в расплаве, связанных с изменением объема. Рассчитанные коэффициенты $\alpha_{V,ж}$ и $\varepsilon_{V,ж}$ представлены в табл. 2.

Таблица 1

Типовые камнелитейные расплавы

Номер расплава	Массовое содержание, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	Прочие
1	47,6	11,8	6,3	9,0	14,3	2,8	2,5	5,7
2	50,0	11,2	6,0	8,6	13,0	2,7	2,4	1,4
3	53,0	10,3	5,6	8,1	12,9	2,5	2,2	5,4
4	57,6	9,7	5,2	7,4	11,8	2,3	2,1	3,9
5	47,6	9,5	15,0	7,3	11,6	2,3	2,0	4,7

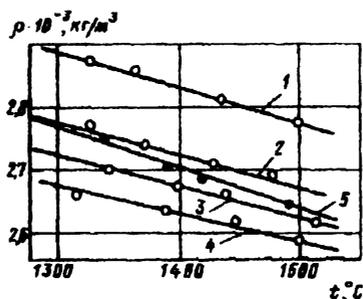


Рис. 1. Температурные зависимости плотности камнелитейных расплавов (номера кривых соответствуют номерам расплавов в табл. 1 и 2)

Таблица 2

Результаты расчетов величин коэффициентов

Номер расплава	$\alpha_{V,ж} \times 10^4, K^{-1}$	$t_{жк}, ^\circ C$	$t_{зал}, ^\circ C$	$\epsilon_{V,ж}, \%$
1	1,45	1150	1350	2,90
2	3,54	1210	1350	4,95
3	3,71	1250	1350	3,71
4	2,42	1170	1350	4,35
5	1,69	1210	1350	2,36

При этом величины $t_{жк}$ принимали по данным дифференциального термического анализа, а также по изломам на кривых $lg \lg \eta - t$, соответствующим интенсивному росту динамической вязкости расплава η при выпадении твердой фазы.

Величину усадки при затвердевании определяли, используя метод питаемой отливки К. Н. Милицина, который позволяет измерять суммарную объемную усадку расплава в жидком состоянии и при затвердевании. При этом, имея образцы, полученные при различных температурах заливки, можно выявить $\epsilon_{V,ж}$. Температуру заливаемых расплавов меняли от 1550 до 1250 °С. Тепловые условия получения проб обеспечивали достаточно полную их закристаллизованность. Результаты экспериментов приведены на рис. 2.

Для определения $\epsilon_{V,ж}$ кривые усадки экстраполировали до температуры 1200 °С, что близко к $t_{жк}$. Найденная таким образом величина усадки при затвердевании находится в пределах 7–10 %. Полученные данные говорят о том, что усадка горнблендитовых расплавов в жидком состоянии и при затвердевании больше, чем при литье высокоусадочных металлических сплавов, например сталей. Следует, однако, отметить, что при изготовлении промышленных изделий обычно достигается меньшая степень их

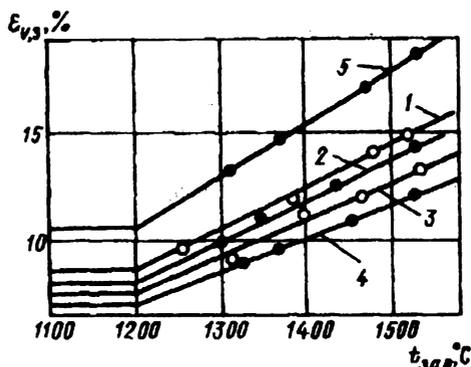


Рис. 2. Объемная усадка расплавов

закристаллизованности (до 10–25 % остаточного межкристаллического стекла), что несколько снижает $\varepsilon_{у,з}$, но не устраняет необходимость борьбы с возникновением усадочных раковин в отливках. Полученные данные и опыт производства ряда фасонных каменных отливок указывают на необходимость установки прибылей с целью ликвидации усадочных раковин либо уменьшения их размеров до минимума, без выхода на рабочую поверхность. Из-за трудности отделения прибылей от отливок механической резкой между отливкой и прибылью надо устанавливать разделительные диафрагмы.

Проведенные эксперименты показали, что для полного устранения усадочных раковин соотношение объемов прибыли и питаемого узла отливки должно быть $V_{пр} \geq 1,1 V_{отл}$. Для обеспечения нормального питания через диафрагму необходимо, чтобы соотношение диаметра отверстия в ней d_d и приведенного диаметра горизонтального сечения узла питания $d_{у.п}$ составляло $d_d / d_{у.п} \geq 0,5$.

Толщину диафрагмы (стержневая смесь) следует выбирать из условий ее прочности. При этом обеспечивается достаточно легкое отламывание прибылей от отливки.

Заливка закрытых металлических форм может быть осуществлена подачей металла из ковша в верхнюю часть полости формы или в открытую прибыль. Оболочковые формы (на основе терморепактивных смесей), а также керамические формы (литье по выплавляемым моделям) заполняют через литниковую систему. В рабочем интервале температур заливки (1300–1400 °C) камнелитейные расплавы имеют большую вязкость (2–10 Па·с). Течение таких расплавов в каналах литниковых систем характеризуется малыми числами Рейнольдса (<100). В этой области ламинарного течения потери напора на местных сопротивлениях пренебрежимо малы по сравнению с путевыми потерями, на которые расходуется большая часть дейст-

вующего напора. Даже простейшие литниковые системы при течении камнелитейных расплавов характеризуются низким коэффициентом расхода ($<0,1$). Поэтому целесообразно конструировать литниковые каналы увеличенного сечения с диафрагмированием их на входе в полость отливки. Практика производства показывает, что для каменного литья успешно могут применяться разветвленные и многорукие литниковые системы.

**В.М. Карпов,
В.С. Балин,
В.Л. Попов**

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ФУТЕРОВКИ ГОРНОРУДНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Предприятия черной металлургии характеризуются значительным количеством агрегатов, работающих в условиях активного воздействия агрессивных сред. Актуальной является задача продления межремонтных сроков эксплуатации таких узлов и агрегатов. При защите оборудования от абразивного и химического износа хорошо зарекомендовали себя камнелитевые футеровки. Структура подобных изделий в большинстве случаев, представляет собой силикаты пироксенового ряда, что обуславливает высокую твердость материала и стойкость кремнекислородного каркаса в химически агрессивных средах. Небольшая пористость и водопоглощение литого камня обеспечивают его высокую морозоустойчивость. Камнелитевые изделия плохо реагируют с газообразным хлором и галогенидными расплавами, что с учетом низкой электропроводности твердых силикатов позволяет применять их для футеровки течек, лотков, транспортеров, гидрориклонов и другого оборудования.

На Первоуральском заводе горного оборудования производится каменные отливки различных видов и типоразмеров. В качестве основного шихтового материала используются горнблендитовые отходы обогащения железных руд, представленные в основном роговой обманкой с небольшими примесями магнетита, пшинелей и др. Материал поставляется в виде готовых фракций от 5–10 до 40–70 мм, удобных для шлавки в электродуговых и пламенных печах.

Для крупного литья в качестве плавильного агрегата используется ванно-полочная регенеративная печь непрерывного действия, отапливаемая природным газом. Расплав из печи через систему сливных каналов по-