

рис. 2, б. Остальная часть пластинки оказалась герметичной. Различие полученных результатов объясняется, по-видимому, тем, что во втором случае модифицирование стронцием привело к снижению пористости (см. табл. 2).

Таким образом, выполненными исследованиями установлена возможность получения из частично закристаллизованного расплава АК9 отливок с высокими механическими свойствами. Однако для этого требуется предварительная комплексная обработка расплава, включающая наводороживание, модифицирование и термоскоростное охлаждение, а также интенсивное затвердевание отливки.

Частичная кристаллизация наводороженного расплава путем термоскоростного охлаждения с перемешиванием практически устраняет вредную всплывающую газовую пористость, сокращая при этом общий объем пористости в отливке. Тем не менее, в условиях низкой интенсивности теплоотвода этой пористости достаточно для компенсации усадки затвердевания сплава, что создает предпосылки реализации технологии безусадочного литья. Превышение объема пористости сверх необходимого приводит к необоснованному существенному снижению механических свойств и нарушению герметичности литого металла.



### Список литературы

1. Котлярский Ф. М., Белик В. И., Борисов Г. П. Влияние стронция на свойства наводороженного силумина АК9 // Процессы литья. – 2009. – № 5. – С 28-34.
2. Милицын К. Н. Усадка металлов и сплавов в жидком состоянии и методы ее определения // Усадочные процессы в металлах. – М.: АН СССР, 1960. – С. 65-73.
3. Бочвар А. А., Новиков Н. Н. О твердожидком состоянии сплавов разного состава в период их кристаллизации // Изв. АН СССР. ОТН. – 1952. – № 2. – С. 217-233.
4. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. – М.; Л.: Машгиз, 1960. – 416 с.
5. Бахтияров Р. А. О зависимости величины усадочной пористости в отливках от положения сплава на диаграмме состояния // Изв. АН СССР. ОТН. Metallургия и топливо. – 1962. – № 4. – С. 62-69.

Поступила 17.04.2009

УДК 621.74.04

**С. И. Репях, В. Е. Хрычиков\***

ООО «ИТЛ-Лассо», Днепропетровск

\*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

## ТОЧНОСТЬ МАССЫ ОТЛИВОК В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

*Установлено, что точность массы отливок особо ответственного назначения, изготавливаемых из жаропрочных никелевых сплавов методом литья по выплавляемым моделям, в основном, определяется их размерной точностью и возрастает с увеличением модуля охлаждения отливки.*

**Ключевые слова:** отливка, масса, точность, допуск, размер, усадка.

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

Встановлено, що точність маси виливків особливо відповідального призначення, що виготовляються з жароміцних нікелевих сплавів методом литва по моделях, що витоплюються, в основному, визначається їх розмірною точністю, яка зростає із збільшенням модуля охолодження виливка.

**Ключові слова:** виливок, маса, точність, допуск, розмір, усадка.

It is set that exactness of mass of foundings of especially responsible naznacheniya, made from heatproof nickel alloys the method of casting on the smelted models, mainly, their is determined size tochnost'yu and increases with the incre-se of the module of cooling of founding.

**Keywords:** casting, mass, exactness, tolerance, dimension, shrinkage.

*Постановка проблеми и состояние вопроса.* Погрешность массы отливок регламентируется соответствующими стандартами и при прочих равных условиях, в основном, определяется размерной точностью и стабильностью плотности металла отливки [1].

Для партии отливок допуск массы характеризуется следующей величиной, %:

$$T_m = 100 \cdot \frac{6 \cdot S_m}{\bar{m}},$$

где  $S_m$  – среднеквадратичное отклонение массы, кг;  $\bar{m}$  – среднее арифметическое значение массы, кг.

Среднеквадратичное отклонение массы является функцией объема и плотности металла отливки и может быть рассчитано по формуле [2]

$$S_m = \bar{m} \sqrt{\frac{S_V^2}{V^2} + \frac{S_\rho^2}{\rho^2} + \frac{1}{V \cdot \rho}},$$

где  $\bar{V}$  и  $\bar{\rho}$  – математические ожидания (среднеарифметические значения) соответственно объема и плотности материала отливки, м<sup>3</sup> и кг/м<sup>3</sup>;  $S_V$  и  $S_\rho$  – среднеквадратичские отклонения соответственно объема и плотности материала отливки, м<sup>3</sup> и кг/м<sup>3</sup>.

В свою очередь, погрешность объема отливки определяется погрешностью ее размеров, величиной волнистости и шероховатости поверхности, а плотность металла отливки – стабильностью химического состава сплава, величиной усадочной или газоусадочной пористости в отливке, количеством и составом неметаллических включений в сплаве. Каждый из указанных выше параметров характеризуется определенной степенью влияния на общую погрешность массы изготавливаемых отливок, значения которых не определены для отливок особо ответственного назначения из жаропрочных никелевых сплавов в литье по выплавляемым моделям.

*Постановка задачи исследования.* Задача исследований – определение степени влияния параметров отливок особо ответственного назначения из жаропрочных никелевых сплавов при литье по выплавляемым моделям на точность их массы.

*Основные результаты исследований.* Для решения поставленной задачи рассчитаем степень влияния плотности сплава (химического состава), величины усадочной (газоусадочной) пористости, содержания неметаллических включений, размерной точности и шероховатости поверхности на величину отклонения массы отливок из жаропрочных никелевых сплавов марок ЖС-6К и ВЖЗ6Л, химический состав которых приведен в табл. 1.

При этом можно предположить, что отливки из данных сплавов не имеют технологических ребер, непроливаемых полостей и отверстий, припусков на механическую

**Таблица 1. Химический состав жаропрочных никелевых сплавов ЖС-6К и ВЖ36Л**

Сплав	Массовая доля элементов, % (остальное – Ni)						
	Cr	C	Ti	Al	W	Mo	прочие
ЖС-6К	10,5–12,5	0,13–0,2	2,5–3,0	5–6	4,5–5,5	3,5–4,5	4–5 Co; Zr≤0,04; B≤0,015
ВЖ36Л	10–12	–	0,4–0,7	3,5–5,2	7–9	3,7–4,5	V ≤1,1; Fe≤1,5

обработку лезвийным инструментом, не окисляются при их термической обработке и подвергаются только полировке. При этом принимаем положение о том, что шероховатость литой поверхности одинакова на всех поверхностях отливок и высота микронеровностей может приобретать значения от  $l_{III} = 40$  мкм (Rz40) до  $l_{III} = 20$  мкм (Rz20).

Максимальную и минимальную плотность жаропрочных никелевых сплавов ЖС-6К и ВЖ36Л при 20 °С, не имеющих ни неметаллических включений, ни усадочной пористости, ни газовых раковин и других, рассчитывали по правилу аддитивности, используя формулу

$$\rho_{\text{спл}}^{20} = \frac{\%Ni}{100} \cdot \rho_{Ni}^{20} + \frac{\%C}{100} \cdot \rho_C^{20} + \frac{\%Cr}{100} \cdot \rho_{Cr}^{20} + \frac{\%Ti}{100} \cdot \rho_{Ti}^{20} + \frac{\%Al}{100} \cdot \rho_{Al}^{20} + \frac{\%W}{100} \cdot \rho_W^{20} + \frac{\%Mo}{100} \cdot \rho_{Mo}^{20} + \frac{\%Co}{100} \cdot \rho_{Co}^{20} + \frac{\%Zr}{100} \cdot \rho_{Zr}^{20} + \frac{\%B}{100} \cdot \rho_B^{20} + \frac{\%Fe}{100} \cdot \rho_{Fe}^{20} + \frac{\%V}{100} \cdot \rho_V^{20}, \quad (1)$$

где Ni, C, Cr, Ti, Al, W, Mo, Co, Zr, B, Fe, V – содержание элемента в сплаве, % (по массе);  $\rho_{Ni}^{20}, \rho_C^{20}, \rho_{Cr}^{20}, \rho_{Ti}^{20}, \rho_{Al}^{20}, \rho_W^{20}, \rho_{Mo}^{20}, \rho_{Co}^{20}, \rho_{Zr}^{20}, \rho_B^{20}, \rho_{Fe}^{20}, \rho_V^{20}$  – плотность соответственно

Ni, C, Cr, Ti, Al, W, Mo, Co, Zr, B, Fe и V при 20 °С, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность химических элементов, входящих в состав сплавов ЖС-6К и ВЖ36Л, при 20 °С указана в табл. 2 [3, 4].

**Таблица 2. Плотность химических элементов при 20 °С**

Элемент	$\rho^{20}$ , кг/м <sup>3</sup>	Элемент	$\rho^{20}$ , кг/м <sup>3</sup>	Элемент	$\rho^{20}$ , кг/м <sup>3</sup>	Элемент	$\rho^{20}$ , кг/м <sup>3</sup>
W	19300	Fe	7872	V	5960	B	2340
Mo	10200	Mn	7440	Ti	4500	C	2130
Ni	8897	Cr	7194	Al	2701,5	S	1957
Co	8790	Zr	6490	Si	2420	P	1857

Максимальную плотность сплавов рассчитывали при максимальных содержаниях в сплавах **W, Mo, Ni** и **минимальных содержаниях остальных элементов сплавов**. Соответственно, минимальную плотность сплавов рассчитывали при минимальных содержаниях в сплавах **W, Mo, Ni** и **максимальных содержаниях остальных элементов сплавов**.

В результате расчетов установлено, что максимальная плотность сплава ЖС-6К при 20 °С составляет  $\rho_{\text{ЖС-6К}}^{20(\text{max})} = 8916,2$  кг/м<sup>3</sup>, минимальная –  $\rho_{\text{ЖС-6К}}^{20(\text{min})} = 8670,8$  кг/м<sup>3</sup>,

для сплава ВЖ36Л максимальная плотность сплава составляет  $\rho_{\text{ВЖ36Л}}^{20(\text{max})} = 9487,2$  кг/м<sup>3</sup>,

минимальная –  $\rho_{\text{ВЖ36Л}}^{20(\text{min})} = 9058,4$  кг / м<sup>3</sup>.

Величину максимального отклонения плотности металла отливок от ее средней величины рассчитывали по формуле (%)

$$\Delta_{пл} = \pm 0,5 \frac{\rho_{спл}^{20(max)} - \rho_{спл}^{20(min)}}{\rho_{спл}^{20(max)} + \rho_{спл}^{20(min)}} \cdot 100. \quad (2)$$

Среднее значение плотности сплавов при 20 °С рассчитывали по формуле, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{спл}^{20(ср)} = 0,5 \left( \rho_{спл}^{20(max)} + \rho_{спл}^{20(min)} \right). \quad (3)$$

Расчет величин  $\Delta_{пл}$  и  $\rho_{спл}^{20(ср)}$  соответственно по формулам (2) и (3) дает следующие значения:

– для сплава ЖС-6К –  $\Delta_{пл} = \pm 0,698 \%$  и  $\rho_{спл}^{20(ср)} = 8793,5 \text{ кг/м}^3$ ;

– для сплава ВЖ36Л –  $\Delta_{пл} = \pm 1,156 \%$  и  $\rho_{ВЖ36Л}^{20(ср)} = 9272,8 \text{ кг/м}^3$ .

Полученные значения величин  $\Delta_{пл}$  для сплавов ЖС-6К и ВЖ36Л свидетельствуют о том, что при изменении химического состава сплавов в пределах их марки величина плотности изменяется в относительно широких пределах.

Величина усадочной (газоусадочной) пористости, допустимой для той или иной отливки, зависит от значительного числа факторов и, как правило, находится в пределах от 0,05 до 1,5 % [10]. В соответствии с этим абсолютная величина изменения массы отливки по причине присутствия в ней усадочной пористости составит  $\Delta_{уп} = \pm 0,5 (1,5-0,05) = \pm 0,5 \%$ .

Масса неметаллических включений в сплавах зависит от значительного числа технологических факторов и, как правило, составляет 0,01-0,15 % от массы отливки [5-12]. В соответствии с этим  $\Delta_{НВ} = \pm 0,5 (0,15-0,01) = \pm 0,07 \%$ .

Совокупное влияние непостоянства химического состава сплавов, величины усадочной или газоусадочной пористости в стенках отливки и количества неметаллических включений в сплаве ЖС-6К составляет

$$\Delta_{пл}^{ЖС-6К} + \Delta_{уп} + \Delta_{НВ} = 0,698 + 0,5 + 0,07 = \pm 1,268 \%,$$

в сплаве ВЖ36Л -

$$\Delta_{пл}^{ВЖ36Л} + \Delta_{уп} + \Delta_{НВ} = 1,156 + 0,5 + 0,07 = \pm 1,726 \%,$$

что соизмеримо, например, с величиной отклонений плотности металла в отливках при машинной формовке по металлическим моделям при литье в песчано-глинистые формы, которая для отливок из серого чугуна находится в пределах от 1,35 до 6,5 %, из ковкого чугуна – от 2,23 до 6,31 %, из стали – от 2,27 до 6,97 % [13].

Зависимость массы отливки от ее размерной точности оценим по величинам предельных отклонений размеров отливок, указанным в ГОСТе 26645 для отливок, получаемых в кварцевые оболочковые формы, изготовленные по выплавляемым моделям.

Вычисления проводили для плоских отливок из сплавов ЖС-6К и ВЖ36Л с номинальными размерами

отливка А:  $L_{A1} \times L_{A2} \times L_{A3} = 100 \times 10 \times 1 \text{ мм}$  (модуль охлаждения отливки  $R_A = 0,045 \text{ см}$ , масса – 0,0088 кг для ЖС-6К и 0,0093 кг - для ВЖ36Л);

отливка В:  $L_{B1} \times L_{B2} \times L_{B3} = 300 \times 30 \times 3 \text{ мм}$  ( $R_B = 0,135 \text{ см}$ , масса – 0,237 кг для ЖС-6К и 0,250 кг – для ВЖ36Л);

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

отливка С:  $L_{C1} \times L_{C2} \times L_{C3} = 500 \times 50 \times 5$  мм ( $R_c = 0,225$  см, масса – 1,099 кг для ЖС-6К и 1,159 кг – для ВЖЗ6Л).

Поскольку отливки из данных сплавов относятся к цветным тугоплавким сплавам, которые подвергаются термической обработке, класс их точности четвертый в соответствии с ГОСТом 26645. Для расчетов примем, что шероховатость поверхности отливок отсутствует (идеальная поверхность). Допуски отклонений линейных размеров рассматриваемых отливок от их номинальных значений в соответствии с 4-м классом точности по ГОСТу 26645 приведены в табл. 3.

**Таблица 3. Допуски отклонений номинальных линейных размеров отливок**

Номинальный размер отливки ( $L_n$ ), мм	10	30	50	100	300	500
Величина допуска линейных размеров отливок на сторону ( $\Delta_n$ ), мм	0,20	0,28	0,32	0,36	0,50	0,56

Величину отклонения толщин размеров стенок принимаем равной  $\pm 0,05$  мм для стенки номинальной толщины 1 мм и  $\pm 0,1$  мм - для стенок с номинальными толщинами 3 и 5 мм. Величину отклонения массы отливки по причине нестабильности ее размерной точности рассчитываем по следующей формуле, %:

$$\Delta_P = \pm 0,5 \frac{100 \cdot (\Delta_P^{\max} - \Delta_P^{\min})}{\Delta_P^{\max} + \Delta_P^{\min}}; \quad (4)$$

$$\Delta_P^{\max} = \rho_{\text{спл}}^{20(\text{ср})} \cdot U_{\text{отл}}^{\max}; \quad \Delta_P^{\min} = \rho_{\text{спл}}^{20(\text{ср})} \cdot U_{\text{отл}}^{\min},$$

где  $U_{\text{отл}}^{\max}$  и  $U_{\text{отл}}^{\min}$  – максимально и минимально допустимый объем отливки в соответствии с предельными отклонениями размеров по ГОСТу 26645, м<sup>3</sup> или

$$\Delta_P = \pm 0,5 \frac{100 \cdot (U_{\text{отл}}^{\max} - U_{\text{отл}}^{\min})}{U_{\text{отл}}^{\max} + U_{\text{отл}}^{\min}}; \quad (5)$$

$$U_{\text{отл}}^{\max} = (L_{H1} + 2 \cdot \Delta_{H1}) \cdot (L_{H2} + 2 \cdot \Delta_{H2}) \cdot (L_{H3} + 2 \cdot \Delta_{H3});$$

$$U_{\text{отл}}^{\min} = (L_{H1} - 2 \cdot \Delta_{H1}) \cdot (L_{H2} - 2 \cdot \Delta_{H2}) \cdot (L_{H3} - 2 \cdot \Delta_{H3}).$$

Отклонение массы отливок по причине их размерной неточности в соответствии с формулами (4) и (5) составляет  $\Delta_{PA} = \pm 4,85$  % – для отливки А;  $\Delta_{PB} = \pm 2,76$  % – для отливки В;  $\Delta_{PC} = \pm 1,75$  % – для отливки С.

Отклонение массы отливок по причине их различной шероховатости поверхности рассчитываем, исходя из следующих соображений. В соответствии со схемой, представленной на рис. 1, шероховатость поверхности (при отсутствии волнистости) при номинальном размере отливки  $L_H$  характеризуется только величиной  $l_{III}$  (Rz).

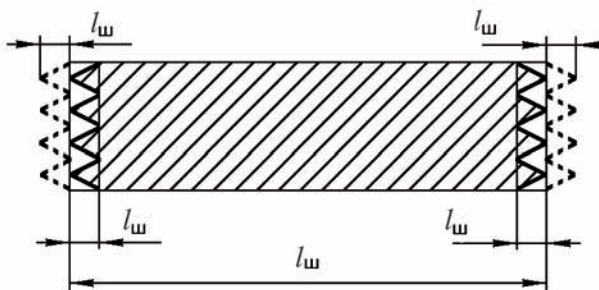


Рис. 1. Схема поверхности отливки

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

При этом величина  $l_{\text{ш}}$  ( $R_z$ ) постоянная по всей поверхности отливки, а объем металла, находящийся в этой зоне, равен

$$U_{\text{III}}(i, j) = l_{\text{III}} \cdot L_{\text{Hi}} \cdot L_{\text{Hj}}, \quad (6)$$

где  $R_z$  принимает только значения 20 или 40 мкм.

В этом случае погрешность массы отливки, обусловленная различной величиной шероховатости поверхности отливки, составит

$$\Delta_{\text{III}} = \pm 0,5 \frac{100 \cdot (U_{\text{отл(III)}}^{\text{max}} - U_{\text{отл(III)}}^{\text{min}})}{U_{\text{отл(III)}}^{\text{max}} + U_{\text{отл(III)}}^{\text{min}}}; \quad (7)$$

$$U_{\text{отл(III)}}^{\text{max}} = (L_{\text{H1}} + R_{Z40}) \cdot (L_{\text{H2}} + R_{Z40}) \cdot (L_{\text{H3}} + R_{Z40});$$

$$U_{\text{отл(III)}}^{\text{min}} = (L_{\text{H1}} + R_{Z20}) \cdot (L_{\text{H2}} + R_{Z20}) \cdot (L_{\text{H3}} + R_{Z20}); \quad R_{Z(40-20)} = R_Z 40 - R_Z 20.$$

Расчет по формуле (7) для рассматриваемых отливок дает следующие значения отклонений:  $\Delta_{\text{ША}} = 1,11 \pm \%$  – для отливки А,  $\Delta_{\text{ШВ}} = \pm 0,37 \%$  – для отливки В,  $\Delta_{\text{ШС}} = \pm 0,22 \%$  – для отливки С.

Степень влияния каждого из исследуемых факторов на точность массы отливок рассчитывали в %, приняв за 100 % следующую сумму:

$$\Delta_{\text{пл}} + \Delta_{\text{уп}} + \Delta_{\text{НВ}} + \Delta_{\text{Р}} + \Delta_{\text{ш}} = 100\%.$$

На рис. 2 и 3 представлены гистограммы степени влияния исследованных выше факторов на точность массы исследуемых отливок.

Анализ данных, представленных на диаграммах (рис. 2 и 3), показывает, что из числа исследованных факторов наиболее значимыми в отношении погрешности массы отливок являются плотность (химический состав) сплава и размерная точность отливок.

В цехах литья по выплавляемым моделям, где основным плавильным агрегатом является индукционная тигельная печь, вопрос по обеспечению стабильности химического состава отливок от плавки к плавке решается достаточно эффективно

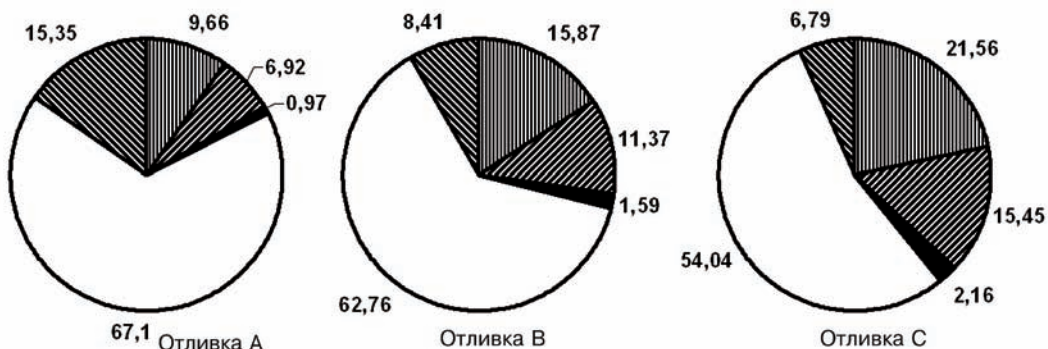


Рис. 2. Степень влияния факторов на точность массы отливок, изготавливаемых из сплава ЖС-6К (на гистограммах цифры обозначают проценты): – химический состав; – усадочная пористость; – неметаллические включения; – размерная точность; – шероховатость поверхности отливки



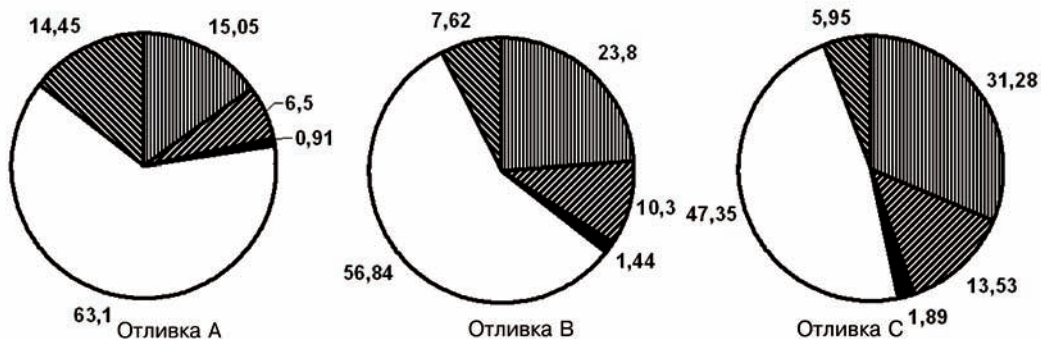


Рис. 3. Степень влияния факторов на точность массы отливок, изготавливаемых из сплава ВЖ36Л (на гистограммах цифры обозначают проценты): – химический состав; – усадочная пористость; – неметаллические включения; – размерная точность; – шероховатость поверхности отливки

за счет использования для всех плавков единой шихтовой заготовки требуемого и постоянного химического состава.

Исходя из этого, в реальных условиях производства отливок особо ответственного назначения из жаропрочных никелевых сплавов методом литья по выплавляемым моделям наиболее значимым параметром, определяющим точность массы отливок, является размерная точность отливок.

Следует отметить, что прямая и определяющая зависимости между размерной точностью отливок и точностью их массы наблюдаются не только в литье по выплавляемым моделям, но и в других видах литья [14].

Абсолютные значения отклонений массы рассматриваемых отливок, а также допустимые отклонения их массы, регламентированные в соответствии с ГОСТом 26645, приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Величины отклонений отливок по массе**

Условное обозначение отливки	Марка сплава отливки	Величина отклонения по массе, %	
		расчетное значение	по ГОСТу 26645 (не более)
А	ЖС-6К	7,228	4,0
	ВЖ36Л	7,682	
В	ЖС-6К	4,398	3,2
	ВЖ36Л	4,856	
С	ЖС-6К	3,238	2,4
	ВЖ36Л	3,696	

Зависимости абсолютной величины отклонения массы отливок от модуля их охлаждения представлены на рис. 4.

Как следует из хода кривых, представленных на рис. 4, с увеличением модуля охлаждения отливки величина погрешности ее массы понижается.

Следует отметить, что расчетные значения отклонений (см. табл. 4) превышают величины допустимых отклонений, указанных в ГОСТе 26645. Это объясняется недоработкой данного стандарта разработчиками по данному вопросу. Кроме этого, ГОСТ 26645 не определяет требования к точности отливок,

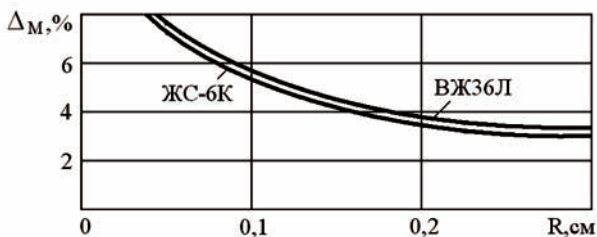


Рис. 4. Зависимость величины отклонения массы отливок по причине их размерной неточности и шероховатости поверхности от модуля охлаждения

изготавливаемых в литье по выплавляемым моделям в керамические оболочковые формы, изготовленные, например, из плавного кварца, белого электрокорунда, шамота, плавного магнезита и т. д. Все это можно отнести к негативной стороне ГОСТа 26645 как нормативного документа и причислить к числу замечаний, изложенных, в частности, в работе [15].

### Выводы

В литье по выплавляемым моделям точность массы отливок особо ответственного назначения из жаропрочных никелевых сплавов, в основном, зависит от их размерной точности и возрастает как с повышением размерной точности отливок, так и с увеличением модуля их охлаждения.



### Список литературы

1. Волкомич А. А., Трухов А. П., Сорокин Ю. А. Формирование точности отливок: Учебное пособие. – М.: Литаформ, 1996. – 82 с.
2. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. – М.: Гос. изд-во технико-теорет. лит-ры, 1955. – 358 с.
3. Гайсинский М., Адлов Ж. Радиохимический словарь элементов: Пер. с англ. Б. Ф. Мясеодова / Под ред. С. С. Родина. – М.: Атомиздат, 1968. – 256 с.
4. Баум Б. А. Металлические жидкости. – М.: Наука, 1979. – 120 с.
5. Леонтиев М. В. Практика использования керамических фильтров фирмы “LANIK” в литейном производстве и металлургии // Литье Украины. – 2004. – № 1. – С. 21–27.
6. Управление формированием качественных отливок / Э. Б. Тен, А. М. Бибииков, В. М. Гришин, Б. М. Киманов // Литейн. пр-во. – 2003. – № 6. – С. 5–8.
7. Шульте Ю. А. Пути совершенствования плавки стали для фасонного литья // Там же. – 1970. – № 4. – С. 8–11.
8. Шатов А. Я., Шагалов В. Л. Влияние неметаллических включений на трещиностойкость стали 30ХГСФЛ // Там же. – 1982. – № 4. – С. 14–15.
9. Репях С. И. Исследование влияния условий плавки на качество стали 08Х14Н7МЛ и усадочную пористость тонкостенных отливок // Литье Украины. – 2005. – № 3. – С. 17–24.
10. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.
11. Леви Л. И., Фролов М. М., Столяр Г. Ф. Влияние обработки сплава ЮНКД24 аргоном на содержание неметаллических включений // Литейн. пр-во. – 1970. – № 8. – С. 23–24.
12. Пупынин В. П., Путимцев В. Н., Панин В. В. Рафинирование жаропрочных сплавов // Там же. – 1971. – № 1. – С. 35.
13. Штанко М. Г. Материалоемкость продукции машиностроения. – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.
14. Размерная и весовая точность отливок, получаемых в формах, спрессованных под высоким давлением / Л. А. Кремнев, Д. П. Иванов, В. С. Крылов, Я. И. Медведев // Литейн. пр-во. – 1966. – № 3. – С. 1–4.
15. О нормировании точности отливок / В. Д. Богашев, Г. А. Белавин, Л. Б. Лазаренко, В. П. Петрухин // Там же. – 1989. – № 7. – С. 11–13.

Поступила 17.04.2009