

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОПИТЫВАЕМОСТЬ ПОРОШКОВОЙ НАМАЗКИ В ОТЛИВКУ ПРИ ЗАЛИВКЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ЛИТЕЙНУЮ ФОРМУ

Расулов Ф.Р.

Азербайджанский технический университет, г. Баку

Ключевые слова: композиционное покрытие, отливка, пропитка, литейная форма, порошковая намазка.

Аннотация. Изучено влияние технологических факторов на пропитываемость порошковой намазки в отливку при литье. Установлено, что процесс затвердевания и пропитываемость порошковой намазки зависит от температуры и величины давления. Кроме того, формирование структуры и свойств пропитанного композиционного покрытия зависит от химического и фракционного составов намазываемого порошкового материала.

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE IMPREGNATION OF POWDER PUTTY IN OLIVES PREPOURING LIQUID LINEAR INTO THE MOLD

Rasulov F.R.

Azerbaijan Technical University, Baku

Keywords: composite coating, casting, impregnation, mold, powder spread.

Abstract. Influences of technology factors on impregnability powder investigated are studied. It is established, that process of hardening and impregnability powder investigated depends on temperature and pressure size. In addition, the formation of the structure and properties of the absorbed composite coating depends on the chemical and fractional compositions of the spreadable powder material.

Введение

Способы повышения служебных свойств литых деталей машин с необрабатываемыми рабочими поверхностями – легирование, термическая и химико-термическая обработка – не всегда обеспечивают достижение желаемых результатов. Как правило, объемное легирование сплавов является неэкономичным. Поэтому в последние годы все большее внимание исследователей и производителей уделяется различным методом поверхностного упрочнения.

Большое внимание уделяется изысканию эффективных и экономичных способов, которые позволили бы повысить эксплуатационную стойкость рабочих поверхностей литых деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного износа, в активных и агрессивных средах. Одним из таких способов является способ поверхностного легирования отливок непосредственно в литейной форме композиционным составом. Сущность процесса поверхностного упрочнения чугуновых и стальных отливок с композиционным покрытием (ОКП) заключается в нанесении порошковой пористой намазки на рабочие поверхности полуформы и стержней, сушке, сборке и заливке формы расплавом, внутренняя полость которой соответствует конфигурации отливки.

Содержание и результаты работы

Быстротечность процесса затвердевания жидкого металла при пропитке порошковой намазки при обычном методе литья не позволяет в полной мере устранить пористость в композиционных покрытиях (КП) отливки. Исследовали влияние давления на глубину пропитки слоя пористой порошковой намазки и плотность металла в отливках и порошковой намазке из сплава “ХН80СРЗ–серый чугун” марки СЧ15, изготавливаемых в песчано-глинистой и центробежной формах.

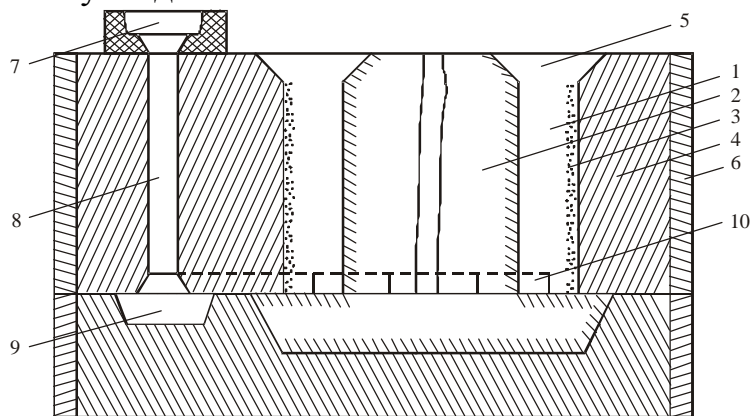
Гранулометрический состав частиц порошков соответствовал фракциям: +50-63; +63-100; +100-160; 160-200 и 200-315 мкм. В качестве связующего материала порошкообразной массы использовали жидкое стекло.

Пропитке подвергались намазки толщиной $x_0=3, 5, 10$ и 15 мм, шириной 90 мм и высотой 110 мм, которые были нанесены на боковые поверхности песчано-глинистой формы по высоте отливки. Сплав заливали при температуре – 1440°C ; при этом давление изменялось от $0,025 \cdot 10^5$ Па (при высоте стояка литниковой системы 110 мм) до $(1,4-1,6) \cdot 10^5$ Па (при высоте стояка 205 мм).

Известно [1,2] что за счет более высокого давления можно уменьшить пористость даже на 50% .

Методом пропитки порошковой намазки, нанесенной на рабочие поверхности литейной формы, при низком давлении могут быть изготовлены обычными способами формообразования от деталей насосов до сопел для пескоструйной обработки, а также детали очистных систем высокого давления.

На рис. 1. представлена схема пропитки порошковой намазки жидким металлом. При этом подвод металла ведется снизу и выбранная высота стояка обеспечивает пропитку жидким металлом намазки по всей ее высоте.



- 1- полость формы; 2- стержень; 3- слой порошковой намазки; 4- стенки формы;
5- полость для прибыли; 6- опока; 7- чаша; 8- стояк; 9- коллектор;
10- питатели литниковой системы

Рис. 1. Схема пропитки порошковой намазки жидким металлом

При этом возможно получать изделия с КП толщиной до 20 мм. При пропитке порошковой намазки под низким давлением глубину пропитки можно увеличивать до $2-5$ раз. Этот метод позволяет получать упрочненные поверхностные участки в отливках. Толщина отливки составляет $45-50$ мм.

Выявлено, что при литье биметаллических отливок с кристаллизацией под давлением межфазное взаимодействие компонентов в ходе технологического

процесса на формирование диффузионного слоя на границе биметаллических пар углубляется [3] и характер пропитки фронта кристаллизации между слоями затвердевающего металла зависят как от химического состава сплавов, так и величины давления.

Характеры процессов пропитки пористой порошковой намазки и питания фронта кристаллизации отливки из сплава с широким интервалом кристаллизации почти схожи; при этом определяющим фактором в механизме образования пористости как в моноотливке, так и в ОКП является фильтрация жидкой фазы через сетку растущих кристаллов (или через поры каркаса частиц порошка).

Несомненно, что на проникновение и фильтрацию жидкости в поры пористой намазки влияет поверхностное натяжение жидкой фазы. Глубина пропитки и плотность материала КП отливки в значительной степени также зависит от поверхностного натяжения между прослойкой жидкого чугуна, проникшей в поры и твердой поверхностью частиц порошка, а также связанным с ним свойством смачиваемости. При положительном значении угла смачивания θ проникновение жидкого чугуна в поры намазки будет тем больше, чем больше поверхностное натяжение:

$$P_{\sigma} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad (1)$$

где P_{σ} – давление, под которым сплав будет проникать в поры порошковой намазки, дин/см²; σ – поверхностное напряжение между жидкостью и твердой поверхностью частицы порошка, дин/см; r – радиус пор (капилляра) между частицами намазки, см.

Как видно из приведенного выражения при отрицательном значении $\cos \theta$ потребуется дополнительное давление P_{σ} в виде гидростатического напора для преодоления силы отталкивания и проталкивания жидкого чугуна в поры (капилляр) пористой порошковой намазки. Для жидких чугунов значение σ увеличивается с повышением температуры перегрева. Так для низколегированного белого чугуна (3,17% С, 0,54% Si, 0,72% Mn, 0,05 Р, 0,05 S, 0,36% Ni, 1,52% Cr) при повышении температуры с 1250⁰С до 1300, 1350 и 1420⁰С значения σ увеличивается с 846 до 880, 926 и 1340 дин/см соответственно.

Пропитку жидкой фазы в слой пористой намазки можно рассматривать как способность жидкого расплава протекать через каркас твердых частиц порошков пористой намазки до определенного момента, зависящего от конкретных условий формирования ОКП, а также от расстояния, которое может пройти зафиксированный объем расплава в рассматриваемых условиях. Экспериментально установлено, что кривые «вытекания», воспроизводящие фильтрацию жидкой фазы через сетку растущих кристаллов для кремнистых алюминиевых сплавов, имели экспонентный характер и это зависит от размеров и количества пор, температуры и жидкотекучести пропитываемого расплава.

Жидкая фаза, проникшая в поры порошковой намазки, способствует формированию структуры за счет снижения вязкости системы, более легкого межчастичного скольжения, перегруппировки и интенсификации массопереноса.

Известно, что бориды смачиваются хуже, чем карбиды; причем с повышением температуры взаимодействие на межфазных поверхностях и соответственно смачивание увеличивается. При прочих равных условиях, проникновение жидких прослоек по границам частиц порошковой намазки зависит от выполнения соотношения [4]:

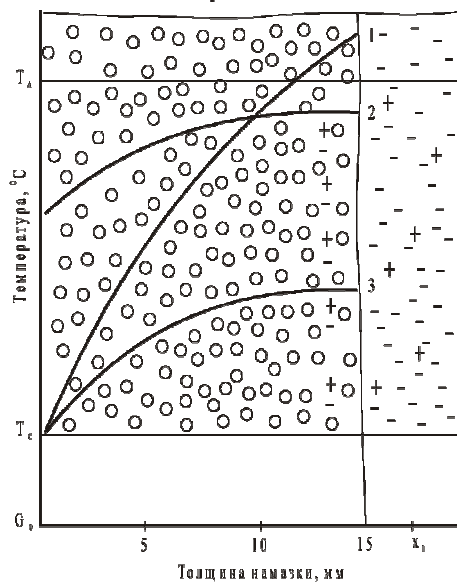
$$\sigma_{cp} \geq 2\sigma_{жж} \cos \psi / 2, \tag{2}$$

где σ_{cp} – межфазная энергия на границах частицы, $\sigma_{cp} \cong (0,3 \div 0,5)\sigma_{жж}$ [5]; $\sigma_{жж}$ – поверхностная энергия на границах твердое тело-жидкость; ψ – двугранный угол.

$$G_{\phi} = 1,63e^{0,107\Delta T}, \tag{3}$$

где G_{ϕ} – количество металла фильтрации; ΔT – перепад температуры по сечению отливки.

При литье ОКП так же, как и обычном процессе литья, питание пористой порошковой намазки будет определяться скоростью и временем течения жидкого чугуна в условиях переменного сопротивления, по которому течет расплав, или переменным коэффициентам проницаемости K , временем существования канала, которое зависит от скорости затвердевания расплаве $v_{зам}$ и величины давления P , действующего на расплав. На рис.2. представлен график, характеризующий затвердевания сплава и количество металла фильтрации (G_{ϕ}) в зависимости от температуры и величины давления для моментов времени τ окончания стояния ликвидуса жидкого чугуна в контактной зоне “порошковая намазка – отливка”.



1 – скорость затвердевания; 2 и 3 – скорость фильтрации жидкого чугуна при воздействии низкого ($P=0,025 \cdot 10^5$ Па) и относительно высокого ($P=0,1 \cdot 10^5$ Па) давления, соответственно

Рис. 2. График, характеризующий процесс затвердевания и количество чугуна G_{ϕ} , пропитавшегося в объем намазки в зависимости от температуры и величины давления до момента τ окончания стояния ликвидуса в контактной зоне «намазка-чугун»

Очевидно, что в любой момент времени τ будет осуществляться проникновение жидкого чугуна в межчастичные поры порошковой намазки по ее толщине. При этом главным является то, что с момента заливки до снятия

перегрева и понижения температуры в интервале кристаллизации эффективность питания пористой намазки под действием относительно большого напора на жидкий металл намного больше, чем при его низком значении. Так, повышение давления на жидкий чугун (СЧ15) с $1 \cdot 10^5$ Па до $(1,4 \dots 1,8) \cdot 10^5$ Па способствует увеличению количества расплава, пропитавшегося в порошковую пористую намазку из сплава ХН80СР3 (толщина намазки 15 мм, температура заливки 1450°C) в 1,8-2,0 раза. В случаях последовательного объемного и объемного затвердевания ОКП эта закономерность сохраняется.

По результатам обработки экспериментальных данных получены зависимости, характеризующие влияние давления на пропитку пористой порошковой намазки при условии постоянства скорости затвердевания ($c\Delta T/H = \text{const}$) и при условии увеличения скорости затвердевания.

$$\Delta p = \frac{20\beta\mu ac\Delta TL^2}{r^3 x_0(1-\beta)H} \cdot \frac{z^2}{x_0\sqrt{\pi n}}, \quad (4)$$

$$\Delta p = \frac{32\beta\mu\lambda^2 L^2}{r^4} \cdot \frac{z^2}{\pi n x_0^2}, \quad (5)$$

где β – коэффициент объемной усадки; μ – коэффициент динамической вязкости; a – коэффициент температуропроводности; c – удельная тепло-емкость сплава; λ – константа затвердевания; H – теплота плавления; L – длина канала питания; n – число каналов питания на единицу площади; z – извилистость канала питания; x_0 – толщины порошковой намазки; r – радиус канала питания.

Из уравнений (4) и (5) получены зависимости (6) и (7), по которым можно определить длину канала питания:

$$L_1 = \frac{x_0 r}{4z} \sqrt{\frac{\Delta p r H \sqrt{\pi n (1-\beta)}}{5\beta\mu a c \Delta T}}, \quad (6)$$

$$L_2 = \frac{x_0 r^2}{8\lambda^2} \sqrt{\frac{\Delta p \pi n}{2\beta\mu}}. \quad (7)$$

После подставки в выражения (6) и (7) теплофизических характеристик чугуна ($\beta=7,08$, $\mu=4,5 \cdot 10^{-3}$ Па·С; $c=0,26$ ккал/кг $^\circ\text{C}$; $a=0,83$ см 2 /с; $\lambda=0,05$ см/с $^{1/2}$; $H=93$ ккал/кг; $\Delta T=640^\circ\text{C}$), преобразуя их, и, приняв $z=2$, $x_0=1,5$ см и $n=10^4$ 1/см 2 , получим зависимости (8) и (9), которые позволяют, учитывая постоянство всех факторов кроме r и Δp , определять длину канала питания в зависимости от этих факторов:

$$L_1 = 2,25 \cdot 10^2 r \sqrt{r \Delta P}, \quad (8)$$

и

$$L_2 = 5,5 \cdot 10^4 r^2 \sqrt{\Delta P}. \quad (9)$$

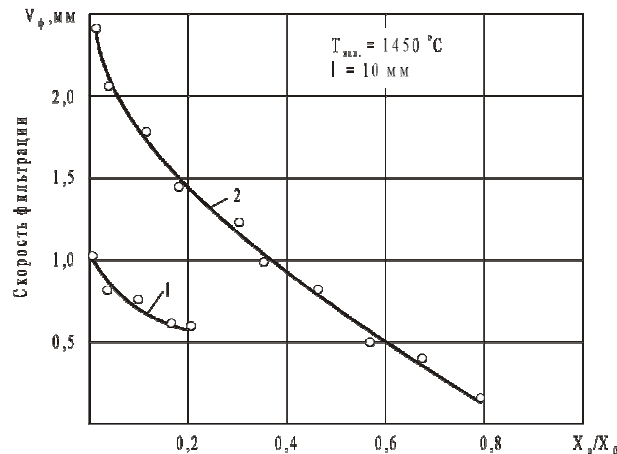
Числа в формулах (8) и (9) – коэффициенты, учитывающие теплофизические свойства сплавов порошка ХН80СР3 и жидкого чугуна, и их можно представить в виде $K_1=2,25 \cdot 10^2$ см $^{1/2}$ /кг $^{1/2}$ и $K_2=5,5 \cdot 10^4$ 1/кг $^{1/2}$

Неодинаковая размерность этих коэффициентов характеризует различный методический подход авторов формул (4) и (5) к вопросу пропитки и выбору

параметров для оценки этого явления, что привело, в частности к тому, что γ в формуле (4) имеет третью степень, а в формуле (5) – четвертую.

Расчеты по (8) и (9) для давления $\Delta p=0,1 \cdot 10^5$ Па и $1,4 \cdot 10^5$ Па при $r=0,06$ мм показывают, что длина канала питания находится в пределах $L_1=3,3$ мм и $L_2=19,8$ мм, соответственно. Аналогичными расчетами для порошковой намазки толщиной 15 мм получена длина канала питания 12 мм. При этом потребный объем жидкого металла, заполняющего поры в слое пористой намазки к моменту его полного затвердевания (даже при условии максимальной и постоянной, а не переменной фактически площади сечения F_{cer}), мало; ($G_\phi=0,003 \text{ м}^3$). При $r=0,006 \dots 0,01$, $v_n=1 \dots 3$ мм/с время затвердевания металла составляет 3-5с, а путь питания ~ 3 мм, т.е. при обычном литье при высоте стояка 110 мм поры в порошковой намазке будут подпитываться жидким металлом весьма незначительное время.

На рис. 3. представлен график, характеризующий скорость фильтрации V_ϕ жидкого чугуна отливки в порошковую намазку в зависимости от величины давления.



Отношение пропитавшейся части намазки X_n к ее толщине X_0

- 1 – скорость фильтрации жидкого чугуна при давлении $0,025 \cdot 10^5$ Па, без приложения избыточного давления; 2 – то же, при $P=0,1 \cdot 10^5$ Па

Рис. 3. График, характеризующий скорость фильтрации V_ϕ жидкого чугуна отливки в порошковую намазку в зависимости от величины давления

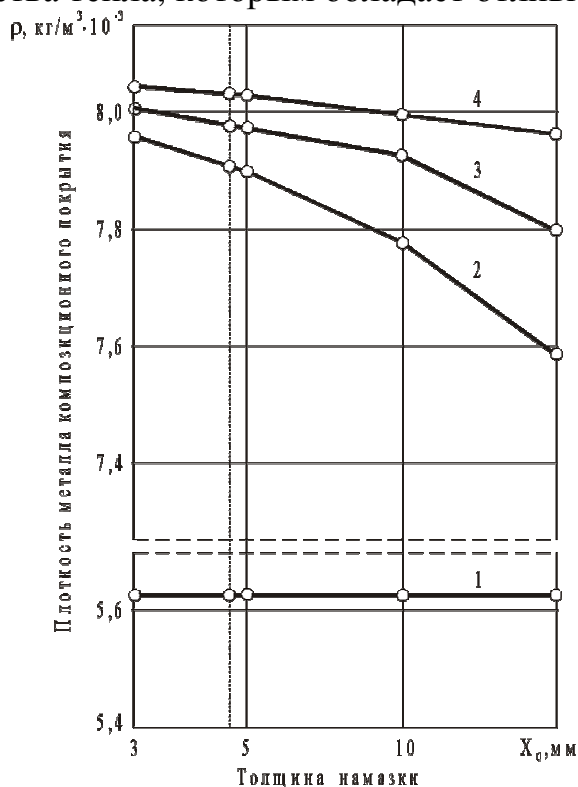
Проведенные выше расчеты показывают, что математические модели питания слоя порошковой намазки отличаются друг от друга (на 1,5-2 порядка). Можно предположить, что наиболее приближенной оценкой процесса питания слоя намазки и определения величины зоны питания будут расчеты на основе данных о пропитке жидкого металла в интервале кристаллизации с учетом изменения скоростей затвердевания отливки, особенно на последней стадии.

Результаты исследования влияния величины давления затвердевающего жидкого чугуна и толщины пористой порошковой намазки на плотность металла КП приведены на рис. 4. Так, при прочих равных условиях плотность образцов, вырезанных из нижних частей КП отливок (15 мм выше от нижней поверхности отливки, пропитавшейся под давлением величиной $P=1,4-1,6 \cdot 10^5$ Па), сформированных пропиткой намазок толщиной 3,5, 10 и 15 мм, изменяется незначительно (в пределах 1,0...1,01%). Тогда как плотность образцов,

вырезанных из аналогичных, но верхних зон отливок (95 мм выше от нижней поверхности – расчетное давление $P=0,024 \cdot 10^5 \text{ Па}$) с увеличением толщины КП с 3 до 5,10 и 5мм плотность уменьшается на 1,02, 1,04 и 1,92%. Независимо от толщины намазки повышение давления жидкого чугуна на пористую порошокую намазку с $0,024 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до $1,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ плотность материала КП опытных отливок повышается, а именно при толщине порошковых намазок 3 и 5 мм на $0,63 \text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-3}$, -10 и 15мм на $0,92$ и $1,93 \text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-3}$. Плотность материала КП центробежных отливок (рис. 4), сформировавшихся под давлением $P=1640 \text{ МПа}$, резко повышается, однако при увеличении толщины порошокой намазки с 3 до 15 мм она так же уменьшается и составляет $0,31 \text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-3}$.

Так, уменьшение толщины порошокой намазки из сплава ХН80СР3 с 15 до 5мм продолжительность затвердевания отливки толщиной стенки 50мм увеличивается на 19-23%. При этом уменьшение перегрева со 150 до 100°C (при толщине намазки 10мм) снижает продолжительность затвердевания на 16-18%.

При уменьшении толщины порошокой намазки до 5мм влияние перегрева чугуна на глубину пропитки имеет значительное влияние, но продолжительность затвердевания сокращается незначительно. Так, при толщине порошокой намазки 15мм из сплава ХН80СР3 повышение температуры заливки с 1360° до 1440°C увеличивает продолжительность затвердевания ОКП всего на 5-8%. Это объясняется тем, что при интенсифицированном затвердевании, т.е. при увеличении толщины порошокой намазки, доля тепла, вносимая в отливку за счет повышения температуры перегрева, представляет только небольшую часть от общего количества тепла, которым обладает отливка[5].



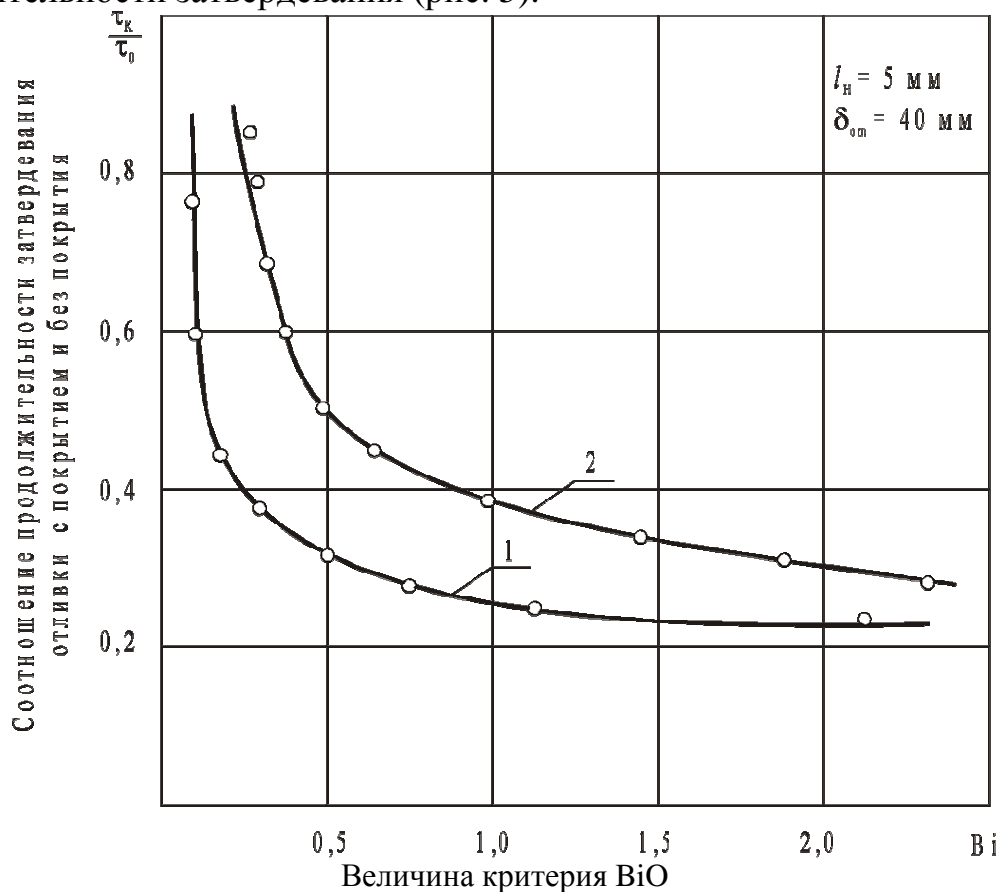
1 – пористость порошокой жидкостекольной намазки из сплава ХН80СР3; 2 – при $P=0,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$; 3 – при $P=(1,4-1,6) \cdot 10^5 \text{ Па}$; 4 – при центробежном давлении $P=1640 \text{ МПа}$
 Рис. 4. Зависимость между плотностью КП отливки «ХН80СР3- серый чугун, толщиной намазки и давлением на затвердевающий металл

Результаты исследования показали, что ни один из технологических факторов не имеет довлеющего влияния на изменение глубины пропитки жидким чугуном слоя порошковой намазки; важно лишь оптимальное сочетание всех основных факторов, которое было выражено через так называемый эффективный критерий Био (BiO) [6]:

$$Bi = \frac{R}{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \delta + \frac{\lambda_1}{\lambda_3}}, \tag{10}$$

где R – половина толщины стенки отливки; l – толщина порошковой намазки или глубина при сквозной пропитке; δ – толщина стенки песчано-глинистой формы; λ_1 , λ_2 и λ_3 – коэффициенты теплопроводности отливки, композиционной прослойки и формовочной смеси.

Это выражение достаточно хорошо характеризует различные сочетания технологических факторов и может служить критерием интенсивности теплообмена в системе “отливка – композиционная прослойка – форма”. Наиболее интенсивно продолжительность затвердевания понижается при $Bi=0,05-1,0$. Дальнейшее увеличение Bi почти не влияет на сокращение продолжительности затвердевания (рис. 5).



τ_k – продолжительность затвердевания ОКП; τ_0 – то же, без покрытия; 1–форма из песчано-глинистой смеси, $b_1=17\text{Ккал/м}^2 \cdot \text{град}\cdot\text{час}^{1/2}$; 2 – то же, с облицовкой из порошковой намазки, $b_2=40\text{Ккал/м}^2 \cdot \text{град}\cdot\text{час}^{1/2}$

Рис. 5. Влияние эффективности критерия BiO на продолжительность затвердевания

Выводы

1. Найдены оптимальные условия затвердевания чугуна в литейной форме с порошковой намазкой, позволяющие улучшить строение и свойства, а также установить особенности затвердевания ОКП.

2. Более точное значение толщины зоны питания можно получить по имеющимся данным при шаговым подсчете за малые промежутки времени Δt с учетом значений v_f . Здесь, однако, следует учесть то, что большинство данных по затвердеванию и питанию получено на отливках с толщиной порошковой намазки >5 мм, что объясняется быстротечностью процессов и их совмещенностью во времени.

Список литературы

1. Новрузов Г.Д., Расулов Ф.Р. Механизм и условия проникновения жидкого чугуна в межзеренное пространство порошковой обмазки и формирование композиционного слоя // Материалы докладов 47-й юбилейной учебно-методической и научно-технической конференции. Часть II. АзТУ, 2000. С. 366-368.
2. Piwonka T.S. Mikvoporosity can be Eliminated Foundry. 1986. №8. P.41-46.
3. Бабкин В.Г., Чернов Н.М., Савинов Ю.П. Изготовление биметаллических отливок по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением // Вестник Красноярского гос. техн. университета. 1999. № 15. С. 3-7.
4. Гаврилюк В.П., Шинский О.И., Ткачук И.В., Небожак И.А. Исследование возможности получения монолитных износостойких композиционных отливок и двухслойных отливок с износостойким композиционным слоем ЛГМ-процессу // Процессы литья. 2000. №3. С. 86-91.
5. Расулов Ф.Р., Абдуллаев З.М. Влияние порошковой намазки на наполняемость литейной формы // АГМА, Ученые записи. 2010. №1. С. 31-35.
6. Коцюбинский О.Ю., Фролова М.В. Оценка эффективности внешнего захлаживания крупных отливок при затвердевании / Инженерно-физический журнал. 1980. № 9. С.21-24.

Сведения об авторе:

Расулов Физули Расул оглы – к.т.н., доцент, АзТУ, г. Баку.