



УДК 621.74

Поступила 08.04.2013

А. Н. ЧИЧКО, Д. М. КУКУЙ, В. Ф. СОБОЛЕВ, С. Г. ЛИХОУЗОВ, Т. В. МАТЮШИНЕЦ,
О. А. САЧЕК, О. И. ЧИЧКО, БНТУ

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНОЙ ФОРМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

Проведено исследование влияния изменения теплопроводности вакуумно-пленочной формы при получении чугуновой отливки «корпус». Рассмотрены три варианта литниковой системы с различной теплопроводностью λ , 0,6 λ и 0,4 λ . Установлены зависимости изменения скорости и ее проекций от времени заполнения в выделенных точках формы. Рассчитаны статистические распределения значений температур в отливке для различных моментов времени. Предложена методика формализации статистических распределений, характеризующая количественную оценку разных групп сеточных элементов от средней температуры объекта.

The influence of changes in the thermal conductivity of vacuum-film mold at production of cast iron castings «body» was studied. Three variants of the gating system with different thermal conductivity λ , 0,6 λ and 0,4 λ are considered. The dependencies of speed change and its projections on the time of filling in the allocated form points were established. Statistical distributions of temperatures in the casting for various moments of times are calculated. The technique of the formalization of statistical distributions characterizing the quantification of different groups of grid elements on the average temperature of the object was offered.

В работе [1] было проведено компьютерное моделирование процесса заполнения и кристаллизации чугуна для соотношений литников, рекомендуемых для литья металла в формы, изготовленные вакуумно-пленочным способом. Однако известно, что на процессы заполнения форм огромную роль оказывают теплофизические свойства материала формы. Это важно учитывать при разработке технологии изготовления отливок с помощью метода вакуумной формовки.

Целью настоящей работы является исследование влияния изменения теплопроводности вакуумно-пленочной формы при получении отливки «корпус» для соотношения сечений питателя, шлакоуловителя и стояка $F_{\Pi} : F_{Ш} : F_{С} = 5:7:10$, выбранного на предыдущих этапах по критерию минимизации объема недолива. На рис. 1 показано схематичное расположение точек в питателе (точка П), шлакоуловителе (точка Ш), стояке (точка С) для исследования зависимостей скоростей движения расплава от времени заливки.

На рис. 2 представлены зависимости значений скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугуновой отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопро-

водностью λ , 0,6 λ и 0,4 λ . Как видно из рис. 2, а, характер изменения значений одинаков для трех рассматриваемых вариантов, а именно резкое возрастание в начале заливки, затем небольшой период наибольших значений и резкое убывание до 0,2–0,4 м/с. Для областей шлакоуловителя и питателя характерен другой вид изменения кривых, а именно резкое возрастание до 0,5–0,6 м/с, затем постепенное снижение на 0,05–0,2 ед. и резкий спад до нуля в последние секунды заливки. Причем для всех рассматриваемых областей литниковой системы наблюдается следующее: чем больше теплопроводность, тем более резко происходит

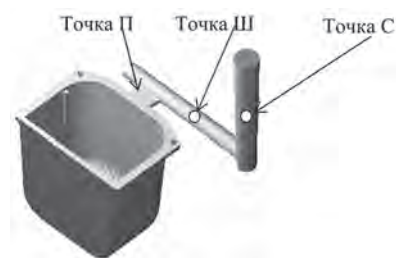


Рис. 1. Схематичное расположение точек для исследования зависимостей скорости движения расплава от времени заливки

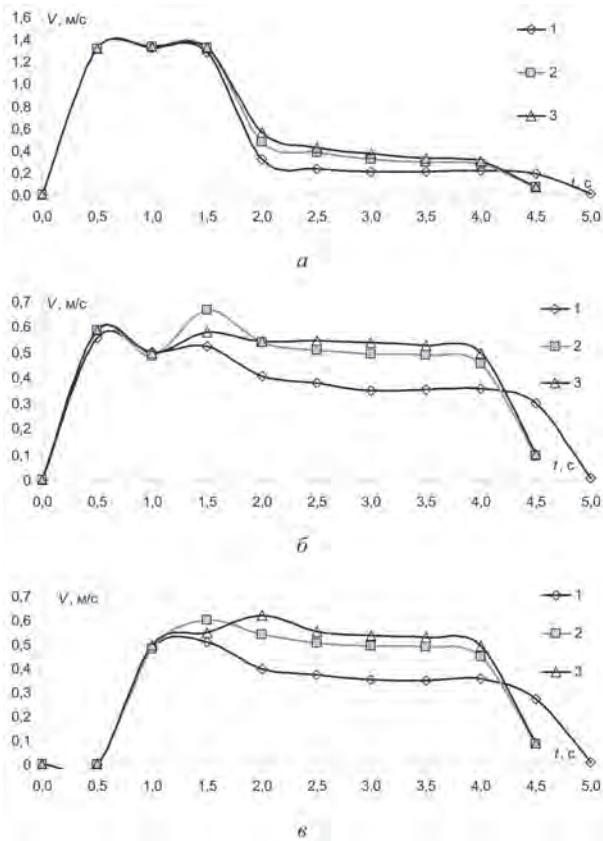


Рис. 2. Зависимость значений скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугушной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью (см. рис. 1): а – точка С (стояк); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель); 1 – λ ; 2 – $0,6\lambda$; 3 – $0,4\lambda$.

снижение значений скоростей, что особенно заметно для варианта с теплопроводностью λ , для которого характерны наиболее низкие значения скоростей и большее время заливки по сравнению с вариантами с более высокой теплопроводностью. Более резкое снижение скорости движения расплава для вариантов с большей теплопроводностью формы, вероятно, объясняется ростом вязкости расплава в связи с более интенсивным падением температуры, особенно на фронте волны.

На рис. 3 показаны зависимости значений проекции на ось X скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугушной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью λ , $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$. Как видно из рис. 3, а, для варианта с наименьшей теплопроводностью $0,4\lambda$ в момент времени заливки, равном 2 с, значения проекций скорости на ось X достигают величины 0,10 м/с, в то время как для остальных вариантов, абсолютные значения колеблются в узком диапазоне до 0,006 м/с. Как видно из рис. 3, в, в области питателя наиболее плавное изменение значений характерно для вариантов с более

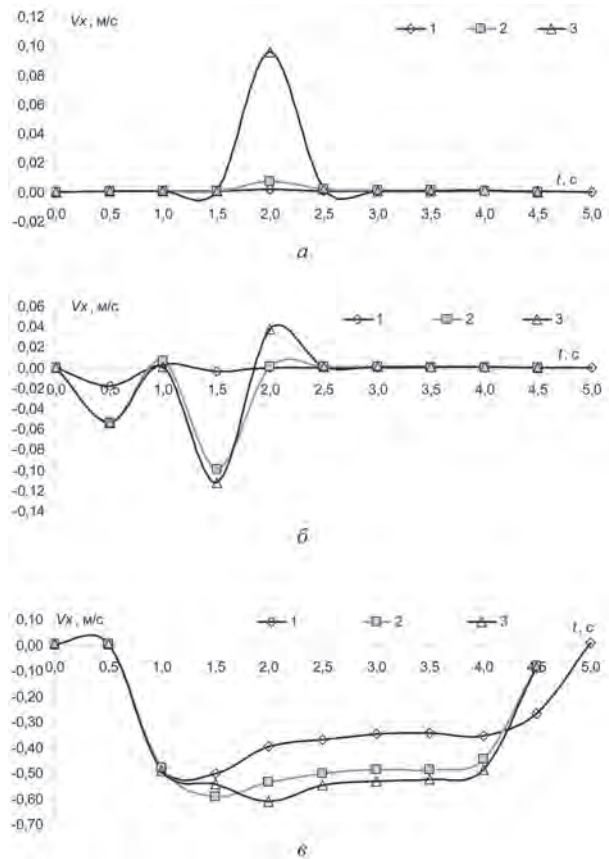


Рис. 3. Зависимость значений проекции на ось X скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугушной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью (см. рис. 1): а – точка С (стояк); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель); 1 – λ ; 2 – $0,6\lambda$; 3 – $0,4\lambda$.

низкой теплопроводностью $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$, наименее плавное – для варианта с теплопроводностью λ .

На рис. 4 представлены зависимости значений проекции на ось Y скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугушной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью λ , $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$. Как видно из рис. 4, а, в области стояка раньше всего происходит убывание значений для варианта с большей теплопроводностью λ , позже – для остальных вариантов с теплопроводностями $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$. Для области шлакоуловителя изменение значений для варианта с большей теплопроводностью λ носит более сглаженный (спокойный) характер по сравнению с остальными вариантами.

На рис. 5 показаны зависимости значений проекции на ось Z скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугушной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью λ , $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$. Как видно из рисунка, наибольшие абсолютные значения скоростей достигаются в шлакоуловителе, что связано с ориентацией литниковой системы в про-

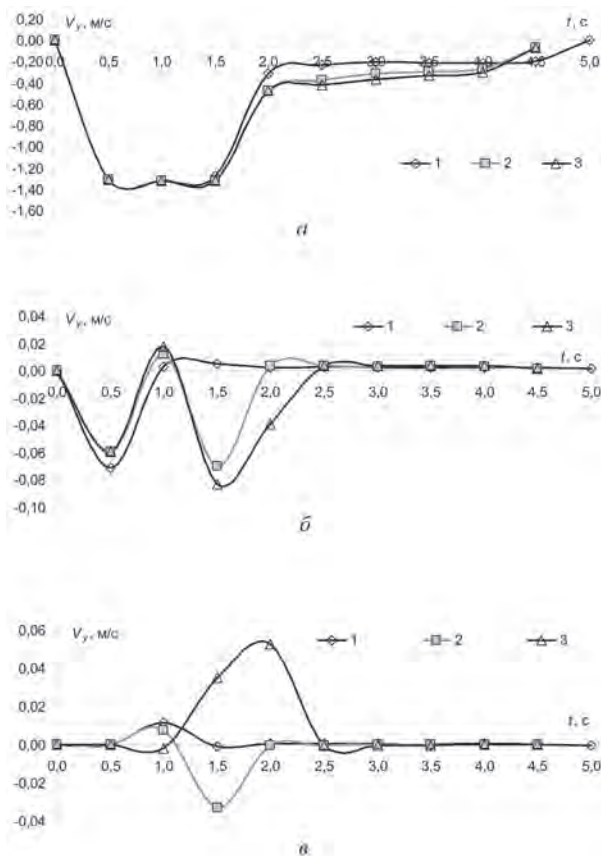


Рис. 4. Зависимость значений проекций на ось Y скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью (см. рис. 1): а – точка С (стойак); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель); 1 – λ ; 2 – $0,6\lambda$; 3 – $0,4\lambda$

странстве, причем максимальные значения скоростей характерны для варианта литниковой системы с теплопроводностью $0,6\lambda$, минимальные – для варианта с теплопроводностью λ .

Таким образом, проведено исследование влияния изменения теплопроводности вакуумно-пленочной формы при получении отливки «корпус». Рассмотрены три варианта литниковой системы с различной теплопроводностью λ , $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$ для варианта соотношения $F_{II} : F_{III} : F_C$ 5:7:10.

На рис. 6–8 приведены гистограммы статистических распределений значений температур в чугунной отливке «корпус» с теплопроводностью вакуумно-пленочной формы соответственно λ , $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$ для трех моментов времени $t = 1, 3$ и $4,5$ с.

Анализ рассчитанных распределений по температурам для различных моментов времени показывает, что для первой секунды заполнения максимальное число клеток характерно для наибольших температур отливки, в то время как для последующих моментов времени все большее количество клеток принимало наименьшие значения. Кроме того, следует отметить сходный характер изменения значений

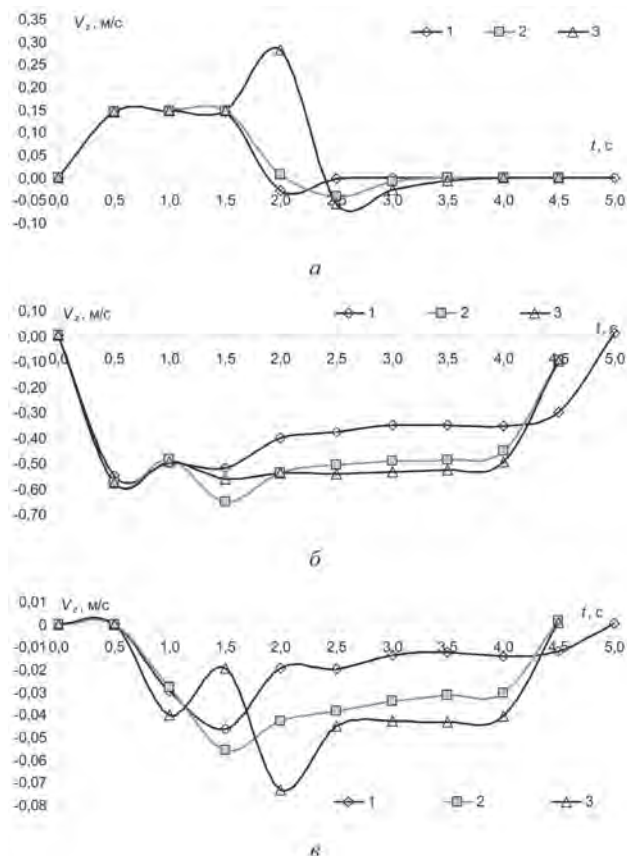


Рис. 5. Зависимость значений проекций на ось Z скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для трех вариантов с различной теплопроводностью (см. рис. 1): а – точка С (стойак); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель); 1 – λ ; 2 – $0,6\lambda$; 3 – $0,4\lambda$

диапазона температур отливки для вариантов с различной теплопроводностью. Так, для варианта с теплопроводностью λ диапазон температур отливки расширился с $1129\text{--}1393$ до $1053\text{--}1391$ °С, а затем до $1044\text{--}1391$ °С, для варианта с теплопроводностью $0,6\lambda$ – с $1156\text{--}1394$ до $1152\text{--}1394$ °С, а затем до $1108\text{--}1393$ °С, для варианта с теплопроводностью $0,4\lambda$ – с $1164\text{--}1394$ до $1156\text{--}1394$ °С, затем до $1131\text{--}1393$ °С. Минимальный диапазон значений температур в момент времени $t = 4,5$ с наблюдается в варианте с теплопроводностью $0,4\lambda$, что говорит о меньшей степени охлаждения металла к моменту окончания заливки и, следовательно, максимальной степени заполняемости формы и минимальной склонности отливки к такому дефекту, как недолив.

С целью более глубокого анализа распределения температур по объему отливок была предложена методика формализации статистических распределений:

$$P_1(t) = T_{cp}(t) - \frac{\sum_{i=1}^5 N_i(t, T_i) T_i}{\sum_{i=1}^5 N_i^t(T_i)} \quad (1)$$

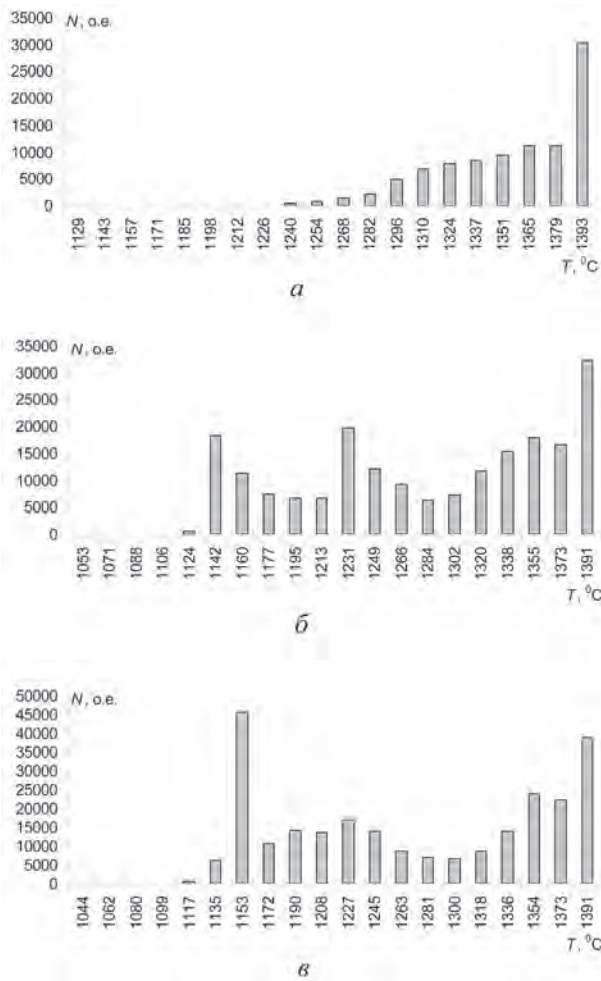


Рис. 6. Гистограмма распределения значений температур в чугунной отливке «корпус» с теплопроводностью вакуумно-пленочной формы λ для различных моментов времени: а – $t = 1$ с; б – 3; в – 4,5 с

$$P_2(t) = T_{cp}(t) - \frac{\sum_{i=6}^{10} N_i(t, T_i) T_i}{\sum_{i=6}^{10} N_i^t(T_i)} \quad (2)$$

$$P_3(t) = T_{cp}(t) - \frac{\sum_{i=11}^{15} N_i(t, T_i) T_i}{\sum_{i=11}^{15} N_i^t(T_i)} \quad (3)$$

$$P_4(t) = T_{cp}(t) - \frac{\sum_{i=16}^{20} N_i(t, T_i) T_i}{\sum_{i=16}^{20} N_i^t(T_i)} \quad (4)$$

где $T_{cp}(t)$ – среднее значение температуры в отливке для момента времени t ; $N_i(t, T_i)$ – число ячеек с температурой T_i для момента времени t ; T_i – среднее значение температуры для i -го интервала дискретизации, $i = 1, 20$.

Физический смысл этих параметров сводится к количественной оценке различных групп сеточ-

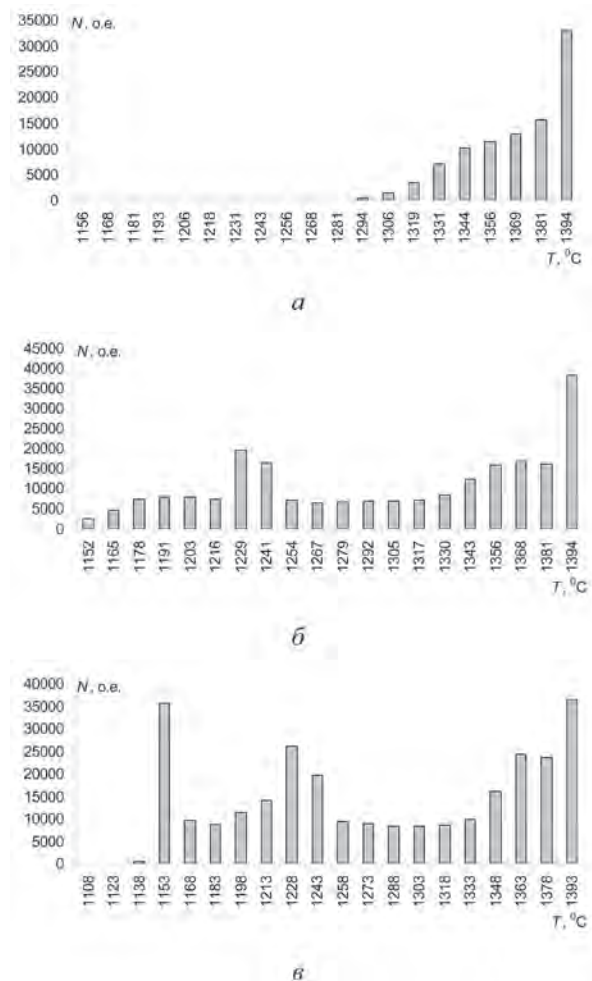


Рис. 7. Гистограмма распределения значений температур в чугунной отливке «корпус» с теплопроводностью вакуумно-пленочной формы $0,6\lambda$ для различных моментов времени: а – $t = 1$ с; б – 3; в – 4,5 с

ных элементов от средней температуры объекта. Последняя определяется по статистической функции распределения температур всего заполняемого объекта. Чем больше температурное различие между «холодными» и «горячими» сеточными элементами, тем больше склонность к появлению технологических дефектов отливки, например, недоливов. Таким образом, использование статистических функций распределения дает возможность оценки качества литниковых систем по формализованным параметрам.

По распределениям значений температур были рассчитаны параметры P_1, P_2, P_3, P_4 . На рис. 9–11 показано изменение рассчитанных значений параметров P_1, P_2, P_3, P_4 на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» с различными значениями теплопроводности вакуумно-пленочной формы. Как видно из рисунков, абсолютные значения параметров P_1, P_2, P_3 возрастают на начальном этапе заливки и достигают максимального абсолютного значения для момента времени, равного

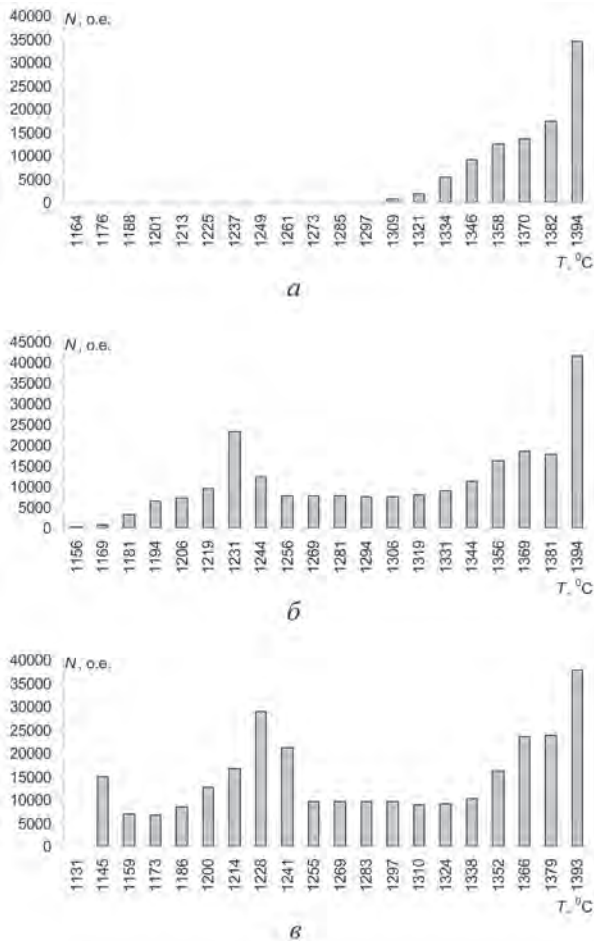


Рис. 8. Гистограмма распределения значений температур в чугунной отливке «корпус» с теплопроводностью вакуумно-пленочной формы 0,4λ для различных моментов времени: а – $t = 1$ с; б – 3; в – 4,5 с

1,5 с (значение теплопроводности λ), 2 с (значение теплопроводности 0,6λ). Для двух вариантов с большими значениями теплопроводности характер изменения кривых P_1, P_2, P_3 сходный. Так, для варианта с наибольшей теплопроводностью λ зависимость имеет следующий вид: резкое возрастание абсолютных значений до момента времени 1,5 с, затем резкий спад до момента времени 2 с и затем колебание в узком диапазоне значений от -170 до -145 °C для параметра P_1 , от -117 до -83 °C для параметра P_2 , от -28 до -5 °C для параметра P_3 . Для варианта с теплопроводностью 0,6λ зависимость имеет следующий вид: волнообразное возрастание абсолютных значений до момента времени 2 с, затем спад до момента времени 3 с и затем колебание в узком диапазоне значений от -132 до -119 °C для параметра P_1 , от -69 до -60 °C для параметра P_2 , от -1 до 8 °C для параметра P_3 . Параметр P_4 на протяжении всего процесса заполнения отливки возрастает для всех трех вариантов: от 11 до 102 °C для первого варианта с наибольшей теплопроводностью λ , от 7 до 91 °C для второго ва-

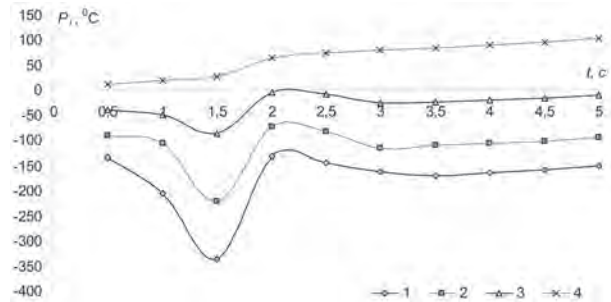


Рис. 9. Изменение значений параметров распределения температур P_1, P_2, P_3, P_4 на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» для варианта с теплопроводностью формы λ : 1 – P_1 ; 2 – P_2 ; 3 – P_3 ; 4 – P_4

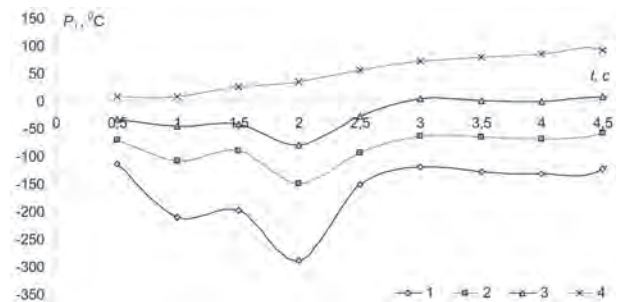


Рис. 10. Изменение значений параметров распределения температур P_1, P_2, P_3, P_4 на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» для варианта с теплопроводностью формы 0,6λ: 1 – P_1 ; 2 – P_2 ; 3 – P_3 ; 4 – P_4

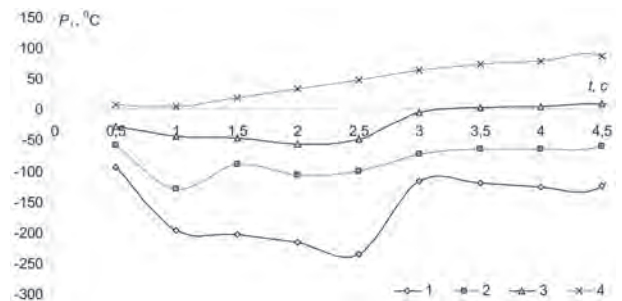


Рис. 11. Изменение значений параметров распределения температур P_1, P_2, P_3, P_4 на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» для варианта с теплопроводностью формы 0,4λ: 1 – P_1 ; 2 – P_2 ; 3 – P_3 ; 4 – P_4

рианта и от 7 до 86 °C для третьего варианта с наименьшей теплопроводностью 0,4λ. Причем заметно общее снижение значений данного параметра при уменьшении теплопроводности формы, что говорит о меньшем диапазоне изменения температур. Для варианта с наименьшей теплопроводностью 0,4λ характер изменения значений рассчитанных параметров P_1, P_2, P_3 различен. Так, значения параметра P_1 убывают до значения -236 °C (момент времени $t = 2,5$ с), затем происходит их резкое возрастание к следующей секунде процесса и незначительное убывание с -118 до -125 °C. Значения параметра P_2 колеблются в диапазоне от -129 до -59 °C, пик приходится на момент времени $t = 1$ с. Значения параметра P_3 до момента времени 3 с

принимают отрицательные значения, после – положительные.

Выводы

1. Проведено исследование влияния изменения теплопроводности вакуумно-пленочной формы при получении отливки «корпус». Рассмотрены три варианта литниковой системы с различной теплопроводностью λ , $0,6\lambda$ и $0,4\lambda$ для варианта соотношения $F_{II} : F_{III} : F_C$ 5:7:10. Для характерных областей литниковой системы установлено, что, чем больше теплопроводность, тем сильнее снижаются значения скоростей, что особенно заметно для варианта с теплопроводностью λ , для которого характерны наиболее низкие значения скоростей и большее время заливки по сравнению с вариантами с более высокой теплопроводностью.

2. Установлено, что минимальный диапазон значений температур в момент времени 4,5 с наблюдается в варианте с теплопроводностью $0,4\lambda$, что свидетельствует о меньшей степени охлаждения металла к моменту окончания заливки и, следовательно, максимальной степени заполняемости формы и минимальной склонности отливки к такому дефекту, как недолив. Аналогичный вывод получен при анализе распределений температур с помощью параметров P_1, P_2, P_3, P_4 . Минимальный градиент температур между параметрами P_1 и P_4 , достигается для варианта с наименьшей теплопроводностью $0,4\lambda$, что свидетельствует о наименьшей вероятности появления недолива и перспективности использования вакуумно-пленочной формовки с целью увеличения заполняемости формы.

Литература

1. Чичко А. Н., Кукуй Д. М., Лихозов С. Г. и др. Компьютерное моделирование характеристик течения расплава чугуна для отливок, изготавливаемых методом вакуумно-пленочной формовки // *Литье и металлургия*, 2013. № 1. С. 77–82.