

И. А. Шалевская, Д. И. Мусбах, В. О. Шинский*

Восточно-украинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Интенсификация процессов затвердевания крупногабаритных отливок из железоуглеродистых сплавов при литье по газифицированным моделям

Рассмотрен вопрос изготовления массивных отливок способом литья по газифицированным моделям. С целью получения отливок с гарантированным качеством исследовали возможность интенсификации процесса затвердевания заготовок. Получили расчётные формулы для определения численных значений эффективного коэффициента теплопередачи от расплава к форме. Показано, что изменение теплоаккумулирующей способности литейной формы и стержней позволяет управлять температурным полем систем отливка-форма и отливка-стержень для повышения качества литых заготовок, их прочностных и пластических свойств.

Ключевые слова: литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ), массивные отливки, теплообмен, коэффициент теплопередачи, интенсификация процесса затвердевания

По мере развития современного производства всё большую актуальность приобретают проблемы разработки и внедрения мало- и безотходных технологий, обеспечивающих получение качественных отливок. Ускорение решения этой проблемы рассматривается как стратегическое направление в каждой отрасли народного хозяйства, как направление рационального использования природных ресурсов и коренное изменение отношения к окружающей среде [1].

Одним из вариантов малоотходной, прогрессивной и экологически безопасной технологии получения отливок является литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ). В основе литья по газифицируемым моделям лежит процесс получения отливок путём заполнения вакуумируемой формы с пенополистироловой моделью, которая под действием теплоты жидкого металла газифицируется [2].

Способ литья по газифицируемым моделям (Lost Foam) был запатентован в 1958 г. американским архитектором Г. Шроером и сразу же литейщики многих стран проявили к нему повышенный интерес и начали пробовать в производстве отливок. Он получил в разных странах такие наименования: Lost Foam Process, ЛМГ-процесс «Policast», «ГАМОЛИВ» и т. д. В качестве наполнителя используется сухой песок с применением вакуумирования, ферромагнитные сыпучие материалы с созданием магнитного поля, формовочные песчано-глинистые, жидкие самотвердеющие и холоднотвердеющие смеси. При этом в массовом и крупносерийном производстве метод ЛГМ используется в основном для отливок из черных и цветных сплавов массой до 50 кг, и только в единичном производстве до 2000 кг [3].

Одним из вариантов для производства крупных и тяжёлых отливок по газифицируемым моделям в ФТИМС НАН Украины предложено использовать в качестве наполнителя жидкоподвижные самотвердеющие смеси (ЖСС), не требующие динамического

уплотнения, что важно по причине невысокой прочности материала (пенополистирола) и легкой деформируемости модели под действием внешних нагрузок, которые во время формовки обычно не должны превышать 1 кг/см². Совместное применение ЖСС и ЛГМ усложняет процесс литья путём «наложения» факторов, свойственных обеим технологиям, создавая ряд особенных обстоятельств, которые предполагают выяснение закономерностей многофакторных взаимозависимых составляющих физико-химических, газо- и гидродинамических процессов с целью обеспечения стабильного качества получаемых отливок. При изготовлении отливок в формах со связующим собственный газовый режим формы (будь она полый) дополняется мощным источником газовой выделению (с подвижным фронтом) в виде продуктов газификации пенополистирола модели теплом заливаемого металла. Причём этот дополнительный источник газов может многократно превышать поток газов от формовочного материала [4].

В последние годы в США, Китае, европейских странах интенсивно внедряется литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ) как наиболее недорогой и малозагрязняющий окружающую среду способ получения точных отливок. Дженерал Моторс, Форд, БМВ, Фольксваген, Пежо-Ситроен, Рено Фиат и ряд других фирм автостроения полностью перешли в 1980-90 гг. на изготовление отливок блоков цилиндров, головок блока, коленвалов и ряда других деталей наиболее массовых двигателей методом ЛГМ [5].

В связи с этим необходимо максимально изучить процесс производства массивных деталей по ЛГМ в формах из песка с применением вакуума.

Основной задачей исследования является интенсификация процесса затвердевания массивных отливок с целью получения качественных отливок с высокими механическими свойствами.

С помощью системного анализа высокотемпературных процессов литья выявлены общие

особенности получения литых заготовок разного назначения, в том числе технологические, физико-химические и теплофизические [6-12], главные из которых:

– производственный цикл изготовления литых заготовок реализуется по двухступенчатой схеме фазовых переходов: твёрдое → жидкое → твёрдое, а смена агрегатных состояний чёрных и цветных металлов и сплавов регулируется фазовыми превращениями типа «плавление» и «затвердевание»;

– процесс плавления в расплаве твёрдых добавок или армирующей фазы, которые являются дискретными теплотокнами в температурном интервале «солидус-ликвидус», происходит при значительном теплоглощении в условиях внутреннего теплоотвода от жидкого металла к теплоаккумулирующим металлодобавкам;

– скорость отвода теплоты перегрева расплава и скрытой теплоты кристаллизации сплава из внутренних объёмов затвердевающей заготовки во внешнюю среду зависит от теплоаккумулирующей способности литейной формы и термического сопротивления теплоизоляционных покрытий;

– в зависимости от условий протекания процесса затвердевания возможен последовательный или объёмный характер кристаллизации сплава с контролем физической и химической неоднородности литых заготовок для улучшения их структуры и повышения уровня прочностных и пластических свойств литого металла.

Для получения литых конструкций разной массы и геометрии применяются формы с разной теплоаккумулирующей способностью и толщиной их стенок. Поэтому в зависимости от способа литья литейные формы и стержни могут иметь различные теплопроводность, температуропроводность или теплоаккумулирующую способность.

Термические условия формирования литого металла в поверхностных слоях и внутренних объёмах, в первую очередь крупных отливок, зависят от податливости, газопроницаемости и температурного состояния стенок литейных форм с контролем уровня теплофизических свойств, необходимым для получения бездефектных литых заготовок большой массы.

Поэтому в прогрессивных металло-, материало- и энергосберегающих технологиях получения литых изделий высокого качества целесообразно использовать литейные формы и стержни с оптимальным сочетанием механических и теплофизических свойств.

Для улучшения качества и эксплуатационных свойств литых изделий и повышения эффективности существующих и разрабатываемых технологий литья необходимо управлять температурным состоянием зоны термического контакта затвердевающих заготовок со стенками литейных форм и стержней.

Один из способов интенсификации внешнего теплообмена в системе «затвердевающая заготовка – форма – окружающая среда» является введение твердых добавок (литая дробь, лигатура, модификаторы, инокуляторы) в перегретый над температурой ликвидуса $T_{лик}$ жидкий металл. При введении твёрдых добавок следует учесть термическое сопротивление неметаллических прослоек

в виде окисных плёнок в зоне контакта твёрдых частиц с окружающим расплавом.

Для прогнозирования теплофизических процессов затвердевания литых заготовок и плавления твёрдых добавок используется основной параметр нестационарных задач теплообмена в исследуемых системах, каким является эффективный коэффициент теплопередачи $\alpha_э$ от затвердевающей заготовки к стенкам формы или изложницы и от расплава к твёрдым частицам.

Используя формулы тепловых сопротивлений [13] для тел разной геометрии, получим формулы эффективного коэффициента теплопередачи для условий неидеального термического контакта затвердевающего расплава со стенками формы, литейным стержнем или твёрдыми добавками:

– для отливок типа «плита» и литых слябов с защитным слоем огнеупорной краски на рабочей поверхности формы:

$$\alpha_э = \frac{\alpha_о}{1 + \alpha_о \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}}}, \quad (1)$$

– для сплошных и полых отливок типа «цилиндр» и кузнечных слитков с теплоизоляционным слоем краски на поверхности формы или изложницы:

$$\alpha_э = \frac{\alpha_о}{1 + \alpha_о \frac{R_{сп} \ln \frac{R_{сп} + \delta_{кр}}{R_{сп}}}{\lambda_{кр}}}, \quad (2)$$

– для сферических дробинки с окисной плёнкой на их поверхности:

$$\alpha_э = \frac{\alpha_о}{1 + \alpha_о \frac{\delta_{о.п.}}{\lambda_{о.п.}} \frac{R_x}{R_x + \delta_{о.п.}}}, \quad (3)$$

где: $\lambda_{кр.}, \lambda_{о.п.}$ – теплопроводность слоя краски или окисной плёнки, Вт/м·К; $\alpha_о$ – коэффициент теплопередачи от расплава к форме и изложнице при отсутствии на ней слоя краски или от расплава к литой дробинке при отсутствии на ней окисной плёнки, Дж/м²·с·К; $\delta_{кр.}, \delta_{о.п.}$ – толщина защитного слоя краски или окисной плёнки, м; $R_{сп}, R_x$ – радиус цилиндрической отливки или кузнечного слитка и дробинки-микрохолодильника, м.

При замене постоянных металлических форм (монокристаллических кокилей) разовыми формами из дисперсных металлических материалов (стальная или чугунная дробь, алюминиевые гранулы и др.) снижается интенсивность теплопередачи в зоне термического контакта затвердевающей отливки с более податливой и газопроницаемой формой. Это позволяет уменьшить вероятность образования горячих трещин в процессе усадки литого металла при затвердевании и последующем охлаждении отливок разной геометрии.

По интенсивности внешнего теплообмена в зоне термического контакта отливки с формой между

постоянными металлическими и разовыми песчаными формами находятся полупостоянные графитовые формы. Высокая теплопроводность графитовых форм позволяет применять их для получения ответственных изделий (фасонные отливки, литые слябы, электроды ЭШП).

Чтобы сравнить термические условия формирования литых заготовок в графитовой и песчаной формах, а также их тепловую работу в процессе затвердевания отливок, необходимо учесть специфику теплофизического взаимодействия кристаллизующейся расплава с рабочими слоями этих форм.

При этом следует отметить, что:

– из-за резкого повышения температуры рабочей поверхности песчаной формы охлаждение затвердевающей толстостенной отливки замедляется сильнее, чем охлаждение затвердевающей тонкостенной отливки;

– низкотеплопроводная песчаная форма в меньшей степени влияет на интенсивность выделения теплоты перегрева расплава и скрытой теплоты кристаллизации сплава, чем высокотеплопроводная графитовая форма;

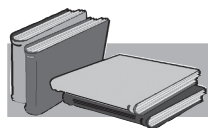
– более низкая теплоаккумулирующая способность песчаной формы по сравнению с графитовой формой не позволяет получить плотную корочку ли-

того металла для повышения герметичности отливок разной толщины.

Отмеченные особенности затвердевания и охлаждения толстостенных и тонкостенных отливок в металлических формах следует принимать во внимание при выборе рациональных тепловых режимов литья.

Изменяя рациональным образом теплоаккумулирующую способность литейной формы и стержней, можно эффективно управлять температурным состоянием систем отливка-форма и отливка-стержень для повышения качества литых заготовок и их прочностных и пластических свойств. Также важно отметить, что интенсификация процесса затвердевания отливки не увеличивает количественные показатели по выбросу вредных веществ в атмосферу, а за счёт сокращения скорости охлаждения уменьшается продолжительность выброса вредных веществ.

Полученные расчётные формулы для определения численных значений эффективного коэффициента теплопередачи α_3 от расплава к форме или к изложнице с учётом теплового сопротивления слоя краски толщиной $\delta_{кр}$ могут быть использованы при изучении нестационарных температурных полей в процессе затвердевания фасонных отливок и кузнечных слитков.



ЛИТЕРАТУРА

1. Шалевская И. А. Снижение вредного воздействия литейного производства на окружающую среду применением прогрессивных технологий / И. А. Шалевская // Литейщик России. – 2015. – № 1. – С.37-39.
2. Шалевская И. А. Экологический мониторинг образования вредных выбросов в цехе литья по газифицируемым моделям / И. А. Шалевская, А. В. Богдан, В. О. Шинский // Металл и литьё Украины. – 2015. – № 2. – С. 32-36.
3. Шуляк В. С. Литьё по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк - СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
4. Дорошенко В. С. Регулирование газового режима формы из ЖСС при получении крупных отливок по ЛГМ-процессу / В. С. Дорошенко, И. П. Чичкань // Металл и литьё Украины. – 2008. – № 11-12. – С. 35-38.
5. Рыбаков С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России / С. А. Рыбаков // Литейщик России. – 2009. – № 4. – С. 44-45.
6. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали / В. А. Ефимов – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
7. Вейник А. И. Теория затвердевания отливки / А. И. Вейник – М.: Машгиз, 1960. – 435 с.
8. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов / Б. Б. Гуляев – Л.: Машиностроение, 1976. – 214 с.
9. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки / Г. Ф. Баландин – М.: Машиностроение. Ч.1, 1976. – 328 с. и Ч.2, 1979. – 335 с.
10. Мамишев В. А. О теплофизическом взаимодействии слитка с изложницей и отливки с формой в процессе формирования литой структуры / В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская // Литьё и металлургия. – 2008. – № 3, (спецвыпуск). – С. 307-309.
11. Мамишев В. А. Методика расчета термовременных параметров затвердевания литых заготовок разной конфигурации / В. А. Мамишев // Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 43-49.
12. Мамишев В. А. Обобщенный алгоритм расчета нестационарных температурных полей при затвердевании слитков и отливок разной геометрии / В. А. Мамишев // Процессы литья. – 2008. – № 6. – С. 38-44.
13. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе – М.: Атомиздат, 1979. – 415 с.

Анотація

Шалевська І. А., Мусбах Д. І., Шинський В. О.

Інтенсифікація процесу твердіння великогабаритних виливків із залізовуглецевих сплавів при литті по моделях, що газифікуються

Розглянуто питання виготовлення масивних виливків способом лиття по моделям, що газифікуються. З метою отримання виливків з гарантованою якістю досліджували можливість інтенсифікації процесу твердіння заготовок. Отримали розрахункові формули для визначення чисельних значень ефективного коефіцієнта теплопередачі від розплаву до форми. Показано, що зміна теплоакumuлюючої здатності ливарної форми і стрижнів дозволяє управляти температурним полем систем виливок-форма і виливок-стрижень для підвищення якості литих заготовок та їх міцнісних і пластичних властивостей.

Ключові слова

лиття по моделях, що газифікуються (ЛГМ); масивні виливки; тепломасообмін; коефіцієнт теплопередачі; інтенсифікація процесу затвердіння

Summary

Shalevskaya I., Musbah J., Shinsky V.

Intensification of solidification processes for large iron-carbon alloy castings during Lost-foam process

The problem of large castings manufacture using Lost-foam process is considered in the paper. For obtaining the castings with guaranteed quality the possibility of intensification of performs solidification process was investigated. The calculating formulae for determining the numerical values of the effective coefficient of heat transfer from the melt to mould was obtained. It is shown that the change of the heat storage capacity of the mould and cores allows control of temperature field in systems casting-shape and casting-rod systems for improving the quality of castings and their strength and plastic properties.

Keywords

Lost-foam process (LFP), large castings, heat-weight transfer, heat transfer coefficient, intensification of solidification process

Поступила 26.06.2015