

Теплофизические аспекты интенсификации затвердевания отливок из стали и чугуна в формах из кварцевого песка. Сообщение 3

Выявлены пути ускорения процесса затвердевания стальных и чугунных отливок в песчаных формах с помощью системного анализа теплофизических процессов литья

Ключевые слова: сталь, чугун, отливка, затвердевание, песчаная форма, теплообмен

В разовых неметаллических формах из кварцевого песка процесс затвердевания отливок разной геометрии из стали и чугуна происходит [1-6] при более низких скоростях охлаждения кристаллизующегося расплава по сравнению с процессом затвердевания отливок в многофазовых металлических формах (кокили, изложницы, кристаллизаторы МНЛЗ). Из-за медленного охлаждения расплава в песчаной форме в теле затвердевающей отливки формируется крупнозернистое (крупнокристаллическое) строение литого металла с низким уровнем физико-механических (прочность и пластичность) и служебных (коррозионная стойкость, износостойкость, герметичность и др.) свойств литых изделий разного назначения.

Для измельчения первичной и вторичной кристаллической структуры литого металла во внутренних объёмах стальных и чугунных отливок разной толщины, которые затвердевают в формах из кварцевого песка, целесообразно использовать теплофизические возможности технологии суспензионного литья [7-9]. Это позволяет интенсифицировать процесс внутреннего теплообмена в жидком и кристаллизующемся металле за счёт быстрого снятия начального перегрева расплава введёнными в него микрохолодильниками [10, 11].

При реализации технологии суспензионного литья высокотемпературных железоуглеродистых сплавов (стали и чугуны) в податливые газопроницаемые песчаные формы кристаллическая структура литого металла формируется в поверхностных слоях и внутренних объёмах затвердевающих отливок в условиях быстрого снятия перегрева расплава над температурой ликвидуса сплава. При этом широко применяется [8, 12], мудрое правило литейщиков – «плавь горячо, а лей холодно», которое в металлургии и литейном производстве позволяет реализовать [13] эффективные режимы термовременной обработки жидкого металла для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств стальных и чугунных отливок.

По сравнению с низкотеплопроводной песчаной формой рабочие слои высокотеплопроводной металлической формы (кокиля) разогреваются жидким ме-

таллом в меньшей степени. Из-за высокой теплопроводности кокиля по толщине его стенок температура распределена равномернее, чем по толщине стенок песчаной формы [2, 4, 6]. В поверхностных слоях стальной или чугунной отливки, которая затвердевает в полости кокиля, расплав кристаллизуется более интенсивно [6]. Это приводит к резкому повышению вязкости температурно-неоднородного расплава, что в условиях суспензионного литья препятствует хорошей заполняемости полости кокиля охлаждённым микрохолодильниками расплавом стали и чугуна с низкой температурой заливки металлических форм.

Целесообразно сопоставить разные способы интенсификации процесса затвердевания отливок из железоуглеродистых сплавов в низкотеплопроводных формах из кварцевого песка, которые обладают необходимой податливостью для предотвращения условий образования горячих трещин в отливках, а также достаточной газопроницаемостью стенок песчаных форм для отвода газов, образующихся в кристаллизующемся расплаве формирующейся отливки.

Так как высокотемпературный расплав стали или чугуна очень быстро нагревает рабочие слои песчаных форм и стержней до высоких температур порядка 1000 °С, то затвердевание отливок резко замедляется. Это способствует нежелательному укрупнению структуры литого металла. Для ускорения процесса затвердевания отливок и возникновения твёрдой корочки рабочие слои сухих песчаных форм целесообразно охлаждать до отрицательных температур между -20 и -60 °С, а рабочие и внутренние слои сырых песчаных форм целесообразно охлаждать за счёт их предварительного замораживания при низких [14] температурах формы (или стержня).

Взаимодополняющими методами интенсификации теплообмена в системе затвердевающая отливка – низкотемпературная песчаная форма – окружающая среда в современных технологиях суспензионного литья могут быть: способы ускорения внутреннего теплоотвода от кристаллизующегося расплава к обломкам дендритов в жидкой сердцевине затвердевающей отливки или от жидкого металла к дисперсным частицам-микрохолодильникам; способы ускорения внешнего теплоотвода от затвердевающей отливки

к внутренней (рабочей) поверхности низкотемпературной песчаной формы и от наружной поверхности теплоаккумулирующей формы в окружающую среду.

Поэтому для ускорения внешнего теплообмена между затвердевающей отливкой, песчаной формой и окружающей средой следует применять [14, 15] низкотемпературные формы из кварцевого песка, которые получены при предварительном охлаждении сухих или замораживании сырых форм.

Чтобы интенсифицировать процесс внешнего теплообмена в системе затвердевающая отливка – песчаная форма – окружающая среда необходимо оказывать управляющее теплофизическое воздействие на температуру рабочих слоёв традиционных и низкотемпературных форм и на перепады температуры по их толщине для ускорения процесса кристаллизации железоуглеродистых сплавов в поверхностных слоях отливок разной геометрии. Для уменьшения степени разогрева жидким металлом рабочих слоёв сухих песчаных форм целесообразно понизить температуру их внутренней (рабочей) поверхности в зоне теплового контакта с отливкой за счёт предварительного охлаждения [14] полости формы холодным воздухом или сжиженным газом (азотом).

Чтобы интенсифицировать процесс внутреннего теплообмена в стальных и чугунных отливках разной геометрии, необходимо оказывать управляющее теплофизическое воздействие на температуру заливки расплава в полость формы из кварцевого песка по схемам суспензионного литья. Для уменьшения степени разогрева рабочих слоёв сырых песчаных форм целесообразно увеличить их теплоаккумулирующую способность за счёт частичного [15] или полного замораживания влажных форм из кварцевого песка с образованием межзёрненных прослоек льда в стенках песчаной формы, на расплавление которых расходуется теплота перегрева расплава затвердевающей отливки.

Совмещая процессы внутреннего и внешнего теплообмена в условиях суспензионного литья сплавов в низкотемпературные песчаные формы, можно учесть [16] эффекты тепловыделения и теплопоглощения при затвердевании отливок в традиционных и замороженных формах. В объёме формирующейся отливки реализуются эффекты выделения теплоты перегрева расплава, скрытой теплоты кристаллизации сплава и физической теплоты охлаждения корочки затвердевающей отливки в сочетании с эффектами поглощения физической теплоты нагрева частиц-микрохолодильников до температуры их солидуса и скрытой теплоты плавления микрохолодильников в окружающем расплаве.

При нагреве замороженной песчаной формы тепловым потоком от затвердевающей отливки в стенках

формы реализуются эффекты поглощения физической теплоты нагрева зёрен кварцевого песка, скрытой теплоты плавления межзёрненных прослоек льда и испарения образующихся плёнок воды. Это способствует повышению эффективной теплоаккумулирующей способности низкотемпературных песчаных форм и стержней по сравнению с традиционными сухими и сырыми песчаными формами. Поэтому учёт дополнительных тепловых эффектов в системе затвердевающая отливка – замороженная форма позволяет интенсифицировать процессы внутреннего и внешнего теплообмена при суспензионном литье металлических сплавов в низкотемпературные формы из кварцевого песка.

Если снизить температуру рабочей поверхности формы из кварцевого песка, то можно синхронно понизить температуру поверхностных слоёв кристаллизующегося расплава, что ускоряет процесс затвердевания отливок в низкотемпературных песчаных формах за счёт интенсификации теплообмена в контактной зоне отливка-форма. При этом в наружных слоях затвердевающей отливки повышаются градиенты температуры и скорости охлаждения, что способствует измельчению литого зерна в поверхностных слоях отливок разной геометрии [17, 18] из стали, чугуна и других сплавов.

С точки зрения теплофизики процессов литья низкотеплопроводные песчаные формы больше приспособлены для реализации прогрессивной технологии суспензионного литья, чем высокотеплопроводные металлические кокили. Преимущество низкотемпературной формы из кварцевого песка по сравнению с кокилем состоит в том, что при заполнении полости песчаной формы расплавом её рабочие слои

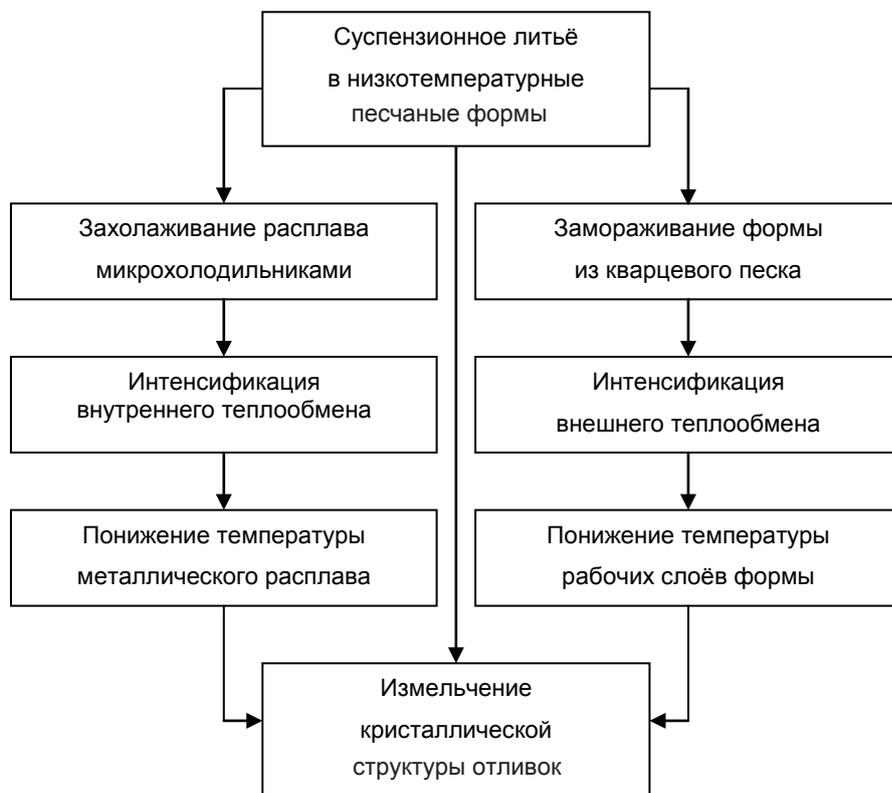


Схема управления температурным состоянием системы затвердевающая отливка – низкотемпературная форма

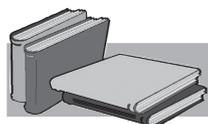
после быстрого нагрева жидким металлом до высоких температур выполняют роль теплового барьера в контактной зоне отливка-форма. Поэтому при суспензионном литье в низкотемпературные песчаные формы интенсивность теплообмена между затвердевающей отливкой, стенками формы и окружающей средой меньше, чем при кокильном литье, что улучшает заполняемость полости формы расплавом с низким перегревом жидкого металла над температурой ликвидуса стали или чугуна.

На длительность технологического цикла изготовления отливок разной массы и конфигурации в разовых формах из кварцевого песка влияет выбор температуры выбивки затвердевшей отливки из разрушаемой песчаной формы. Если назначить высокую температуру выбивки отливок из разовой песчаной формы, то можно повысить производительность технологического процесса литья в низкотеплопроводные песчаные формы. Однако при этом ухудшается качество отливок из-за возможности появления горячих трещин в литом металле, так как механические свойства стали, чугуна и других литейных сплавов при предсолидусных температурах имеют [19] более низкие значения. После выбивки отливок из песчаной формы процесс их охлаждения на воздухе происходит значительно интенсивнее, чем процесс охлаждения отливок в полости высоконагретой песчаной формы.

Итак, при суспензионном литье в низкотемпературные песчаные формы можно улучшить качество стальных и чугунных отливок, формирующихся в податливых газопроницаемых формах из кварцевого

песка, за счёт быстрого снятия перегрева расплава. Способствует этому интенсификация процессов внутреннего и внешнего теплообмена в системе затвердевающая отливка – песчаная форма – окружающая среда. Для ускорения внутреннего теплообмена между расплавом и объёмно распределёнными в металлической суспензии микрохолодильниками в виде обломков ветвей дендритов, железного порошка, стальной или чугунной дроби, инокуляторов, модификаторов, легирующих добавок и других дисперсных частиц необходимо кристаллизующийся расплав интенсивно перемешивать [11]. Для повышения качества отливок необходимо обеспечить относительно равномерное распределение теплоаккумулирующих частиц-микрохолодильников в объёме расплава, затвердевающего в полости низкотемпературных литейных форм из кварцевого песка.

В результате системного анализа температурных условий суспензионного литья в разовые неметаллические и постоянные металлические формы получен важный для практики вывод – технологические схемы литья сталей и чугунов в низкотемпературные песчаные формы могут быть более эффективными, чем технологические схемы суспензионного литья железоуглеродистых сплавов в кокиль, так как при заливке песчаных форм расплавом с введёнными в него микрохолодильниками обеспечивается хорошая заполняемость полости формы, а при заливке кокилей металлической суспензией их заполняемость хуже из-за очень быстрого теплоотвода от затвердевающего расплава в стенки кокиля.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефимов В. А.* Специальные способы литья: Справочник / Под. общ. ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. *Нехендзи Ю. А.* Стальное литье / Ю. А. Нехендзи. – М.: Metallurgizdat, 1948. – 766 с.
3. *Василевский П. Ф.* Технология стального литья / П. Ф. Василевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.
4. *Гиршович Н. Г.* Чугунное литьё / Н. Г. Гиршович. – М.-Л.: Metallurgizdat, 1949. – 708 с.
5. *Захарченко Э. В.* Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Э. В. Захарченко, Ю. Н. Левченко, В. Г. Горенко, П. А. Вареник. – К.: Наукова думка, 1986. – 248 с.
6. *Бураков С. Л.* Литьё в кокиль / С. Л. Бураков, А. И. Вейник, Н. П. Дубинин и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 415 с.
7. *Мадянов А. М.* Суспензионная разливка / А. М. Мадянов. – М.: Metallurgiya, 1969. – 184 с.
8. *Затуловский С. С.* Суспензионная разливка / С. С. Затуловский. – К.: Наукова думка, 1981. – 259 с.
9. *Кириевский Б. А.* Особенности суспензионного литья / Б. А. Кириевский, В. Л. Черкасский // Литейное производство, 1978. – № 8. – С. 25-27.
10. *Соколовская Л. А.* О возникновении дополнительных центров кристаллизации при введении дроби в расплав / Л. А. Соколовская, В. А. Мамишев // Металл и литьё Украины, 2014. – № 7. – С. 35-38.
11. *Мамишев В. А.* Системный анализ затвердевания литых заготовок с переменной кривизной границ двухфазной зоны // Процессы литья, 2014. – № 1. – С. 19-26.
12. *Баландин Г. Ф.* Основы теории формирования отливки / Г. Ф. Баландин. – М.: Машиностроение. – Ч.2. – 1979. – 335 с.
13. *Баум Б. А.* Термовременная обработка жидких сплавов и стали / Б. А. Баум, Г. В. Тягунов, Е. Е. Барышев, В. С. Цепелев // Сталь, 1996. – № 6. – С. 16-19.
14. *Грузман В. М.* О судьбе и перспективах применения замороженных форм / В. М. Грузман // Литейное производство, 2009. – № 7. – С. 14-17.
15. *Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А.* Системный анализ процесса затвердевания литых заготовок разной массы и назначения / В. А. Мамишев // Процессы литья, 2010. – № 1. – С. 20-24.
16. *Мамишев В. А.* О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка-форма-окружающая среда // Металл и литьё Украины, 2012. – № 11. – С. 31-35.
17. *Мамишев В. А.* Физико-технологические аспекты затвердевания фасонных отливок в песчаной форме / В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская // Металл и литьё Украины, 2014. – № 9. – С. 28-30.

18. *Мамишев В. А.* Физико-математические аспекты затвердевания отливок разной геометрии в песчаной форме / В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская // *Металл и литьё Украины*, 2014. – № 11. – С. 21-24.
19. *Скок Ю. Я.* Механические свойства стали при температурах вблизи солидуса: Препринт /Ю. А. Скок. – К.: ИПЛ АН УССР, 1983. – 66 с.

Анотація

Мамишев В. А., Шинський О. Й., Соколовська Л. А.
Термофізичні аспекти інтенсифікації тверднення виливків із сталі і чавуну в формах із кварцевого піску. Повідомлення 3

Виявлено ефективні шляхи прискорення процесу тверднення сталевих і чавунних виливків в піщаних формах за допомогою системного аналізу теплофізичних процесів лиття.

Ключові слова

сталь, чавун, вилівок, тверднення, піщана форма, теплообмін

Summary

Mamishev V., Shinskiy O., Sokolovska L.
Thermophysical aspects of intensification for solidification of steel and cast iron castings in siliceous sand moulds. Announcement 3

The effective ways for acceleration of solidification process for steel and cast iron castings in the sand moulds were found out using the system analysis of thermophysical casting process.

Keywords

steel, cast iron, casting, solidification, sand mould, heat transfer

Поступила 05.03.2015