

Физико-технологические аспекты затвердевания фасонных отливок в песчаной форме. Сообщение 1

Проведен системный анализ характерных особенностей затвердевания фасонных отливок из железоуглеродистых сплавов в песчаной форме

Ключевые слова: сплав, отливка, форма, процесс затвердевания

Литье железоуглеродистых сплавов (стали и чугуны) в неметаллические разовые формы из кварцевого песка является [1] наиболее распространенным способом получения отливок разной номенклатуры (от мелких отливок массой в десятки граммов до крупногабаритных отливок массой в десятки тонн).

В литейных технологиях реализуется девять последовательных этапов получения отливок в податливых газопроницаемых песчаных формах. К их числу относятся: изготовление моделей, форм и стержней, плавка металла, выпечная обработка металла, заливка металла, охлаждение отливок, выбивка отливок, обрубка литников и прибылей, очистка литья, термическая обработка отливок. Однако к наиболее важным технологическим операциям, которые влияют на формирование физико-механических (прочностных и пластических) свойств литого металла, относятся лишь пять операций: плавка металлического сплава, выпечная обработка расплава, заливка расплава в полость формы, охлаждение затвердевающих отливок, термообработка затвердевших отливок.

Теоретической базой для исследования плавки и выпечной обработки сплавов является теория металлургических процессов, а теоретической базой для исследования кристаллизации сплавов и термической обработки отливок – литейное металловедение [2, 3]. Синтез фундаментальных положений теории металлургических процессов, литейной формы и литейного металловедения образует теорию литейных процессов [4, 5]. Это теоретическая база для изучения новых технологий литейного производства.

Физико-химический процесс кристаллизации сплава в полости литейной формы протекает синхронно с теплофизическим процессом затвердевания отливки. Эти процессы относятся к взаимосвязанным самоорганизующимся процессам литья, на которые существенно влияет температурный режим охлаждения отливки в форме [6, 7]. Неправильно выбранный режим охлаждения фасонных отливок может привести к появлению в литом металле высоких температурных напряжений, горячих и холодных трещин, концентрированных усадочных раковин, газовой пористости, дендритной и зональной ликвации и других литейных дефектов, которые ухудшают качество литых изделий [8].

Поэтому необходим рациональный подход к выбору сплава для литой детали по его эксплуатационным и литейным свойствам. С этой целью следует учитывать преимущества и недостатки железоуглеродистых сплавов – высокий уровень прочности литого металла при плохой заполняемости формы и большой объемной усадке сталей и высокопрочных чугунов с шаровидной и вермикулярной формой графита [8, 9], что отличает их от обычных серых чугунов с пластинчатой формой графита с низким уровнем прочности литого металла, но хорошей заполняемостью формы и меньшей объемной усадкой.

Кроме того, к отливкам предъявляется требование технологичности [10], согласно которому конструкция литой детали должна быть удобной для получения фасонной отливки в форме. Поэтому при конструировании литых деталей разной конфигурации используется геометрически простая форма тел с преобладанием плоских, цилиндрических или сферических поверхностей. Простая геометрия сопряженных частей сложной детали позволяет получить фасонную отливку без резких переходов от толстых стенок к тонким с целью уменьшить вероятность появления температурных, усадочных и структурных напряжений, внутренних и поверхностных трещин, газоусадочной пористости и рыхлости в тепловых узлах затвердевающей отливки.

Согласно классификации геометрических форм отливок [1] к отливкам простой геометрии типа стенка относятся отливки (или фрагменты отливок) с плоскостным размещением основной массы металла при условии, что у них один размер (толщина) намного меньше двух других размеров. К отливкам типа цилиндр относятся отливки (или их фрагменты), у которых основная масса металла сосредоточена вдоль оси отливки, причем ее продольный (осевой) размер превосходит поперечные размеры в 2-3 раза. Предложенная в [1] классификация геометрических форм отливок является достаточно общей. Она дополнена [5] небольшой группой отливок типа шар.

Большинство фасонных отливок можно расчленивать [1, 10] на простые фрагменты, которые приближаются к плоским, цилиндрическим и сферическим телам. Пренебрегая взаимным влиянием друг на друга разных частей отливки сложной геометрии при ее затвердевании и охлаждении в низкотемпературной песчаной форме, можно рассчитать

температурные поля тех частей фасонной отливки, которые лимитируют длительность ее пребывания в полости формы до момента времени, когда поверхность формирующейся отливки достигнет технологически заданной температуры ее выбивки. При этом температурные кривые охлаждения наружной поверхности отливки и температурные кривые нагрева внутренней поверхности песчаной формы в зоне их термического контакта постепенно приближаются к среднекалориметрической температуре системы отливка-форма, при которой затвердевшую отливку можно извлекать из формы, не опасаясь образования в литом металле горячих трещин.

При затвердевании отливок из стали и чугуна в высокотеплопроводных металлических формах (кокили для простых отливок, изложницы для слитков, пресс-формы для литья под давлением, кристаллизаторы для непрерывного литья) между отливкой и стенкой формы образуется газовый зазор из-за усадки затвердевающего металла. При этом кинетику затвердевания отливки на $2/3$ ее полутолщины или радиуса можно описать законом квадратного корня [5, 11], согласно которому толщина корки, образующейся на внутренней поверхности металлической формы, пропорциональна корню квадратному из времени:

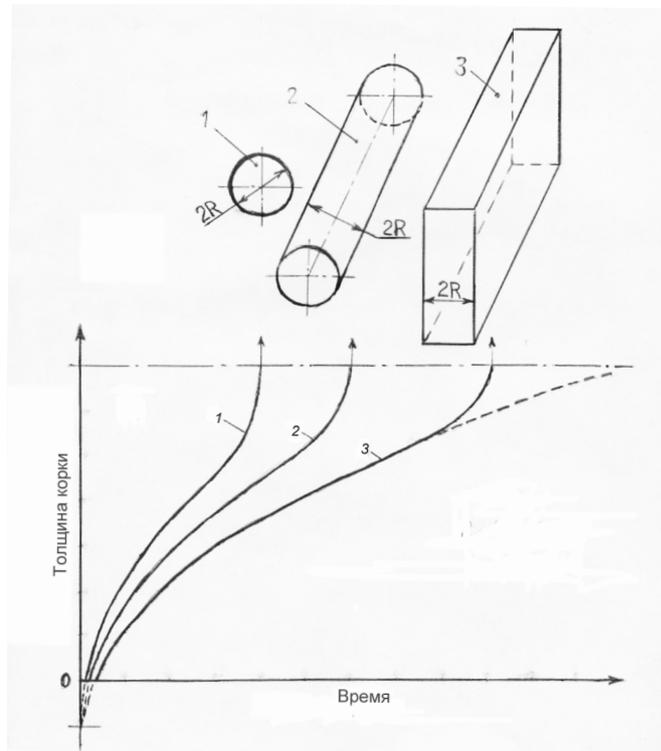
$$\xi = k_3 \sqrt{t} - K_{\text{пер}} \delta T_{\text{пер}},$$

где: ξ – толщина корочки, мм; t – текущее время, мин; k_3 – коэффициент затвердевания, мм/мин^{0,5}; $\delta T_{\text{пер}}$ – перегрев расплава, °С; $K_{\text{пер}}$ – коэффициент влияния перегрева на корочку литого металла, мм/град.

Второй член в правой части формулы учитывает возможную задержку появления твердой корочки на рабочей поверхности высокотеплопроводной металлической формы в период снятия начального перегрева расплава.

Из тепловой теории литья следует [5, 6], что на заключительной стадии затвердевания отливок разной геометрии в металлических формах происходит значительное ускорение кинетики продвижения фронта солидус двухфазной зоны отливки к ее тепловому центру. По сравнению с кинетикой затвердевания отливок типа стенка [5] кинетика затвердевания отливок типа шар ускоряется в большей степени, чем ускоряется кинетика затвердевания отливок типа цилиндр (рисунок). Поэтому необходимо получить количественную оценку времени затвердевания отливок разной геометрии (плоских, цилиндрических и сферических) для теоретически обоснованного повышения производительности традиционных и новых технологий литья.

Тепловое воздействие высокотемпературного металлического расплава (сталь или чугун) на внутреннюю поверхность низкотеплопроводной песчаной формы интенсивно разогревает ее рабочие слои. При резком повышении температуры рабочих слоев формы в зоне ее контакта с отливкой происходит тепловое расширение зерен кварцевого песка. Аллотропическое превращение кристаллических модификаций кварца при температуре 573 °С в зернах



Схематическое сопоставление кинетики затвердевания отливок разной геометрии: сферические, цилиндрические и плоские элементы отливок (а); кинетические кривые продвижения фронта затвердевания (изотерма солидус) отливок типа сфера, цилиндр и стенка в высокотеплопроводной литейной форме (б); 1 – шар; 2 – цилиндр; 3 – стенка

кварцевого песка сопровождается [10] превращением тригональной α -фазы в гексагональную β -фазу с увеличением объема зерен. При аллотропическом превращении кварцевого песка рабочие слои формы расширяются настолько, что препятствуют возникновению газового зазора между затвердевающей отливкой и песчаной формой при усадке кристаллизующегося металла отливки.

При получении стальных и чугунных отливок в низкотеплопроводной песчаной форме кинетические кривые их затвердевания нельзя описать законом квадратного корня, так как перепад температуры между тепловым центром отливки и ее поверхностью значительно меньше [1], чем перепад температуры между рабочей поверхностью песчаной формы и ее наружной поверхностью, а перегретый над температурой ликвидуса стали или чугуна жидкий металл очень быстро нагревает рабочие слои песчаной формы до высоких температур. Поэтому процесс снятия начального перегрева расплава в наружных слоях затвердевающей отливки затормаживается, что задерживает появление твердой корочки на высоконагретой рабочей поверхности песчаной формы. Это является главной причиной, из-за которой кинетика затвердевания отливок разной массы в формах из кварцевого песка с низкой теплоаккумулирующей способностью не подчиняется классическому закону квадратного корня [5, 6].

С математической точки зрения процесс затвердевания отливки в песчаной форме аналогичен процессу затвердевания отливки в металлической

форме (кокиле) и процессу затвердевания слитка в чугунной изложнице. Однако с физической точки зрения из-за отсутствия газового зазора между затвердевающей отливкой и стенкой песчаной формы и небольших градиентов температуры [13] по толщине отливки, кинетические кривые затвердевания отливок в песчаной и металлической формах могут значительно различаться.

Получить в общем виде аналитическое решение теплофизической задачи о тепловом взаимодействии отливки сложной конфигурации с литейной формой методами современной математики невозможно [5, 6], так как нестационарные процессы распространения теплоты в телах сложной геометрии относятся к наиболее трудным для исследования проблемам теории теплопроводности [12]. Для решения важных в практике литья задач затвердевания отливок разной конфигурации следует применять эффективные методы численного моделирования [14] нестационарных температурных полей в сложных теплотехнических системах отливка-форма-окружающая среда.

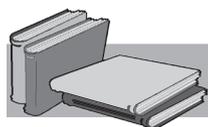
Чтобы выявить наиболее существенные теплофизические закономерности процесса затвердевания отливок разной массы и геометрии из стали и чугуна в литейных формах из кварцевого песка, необходимо разработать методику численного исследования на персональных компьютерах нестационарных температурных полей в системе затвердевающая отливка-песчаная форма.

При формулировке задач затвердевания отливок разной геометрии целесообразно учесть параметр кривизны [15] подвижной изотермы солидус кристаллизующегося сплава, которая совпадает с криволинейным фронтом затвердевания отливки. Урав-

нения нестационарной теплопроводности следует дополнить начальными условиями распределения температуры в системе отливка-форма и адекватными граничными условиями внешнего теплообмена на поверхности охлаждения отливки, на внутренней (рабочей) поверхности нагрева песчаной формы и на наружной поверхности охлаждения формы.

В отличие от процесса затвердевания отливок в кокилях, изложницах и других металлических формах, когда между отливкой и формой образуется газовый зазор, при затвердевании отливок в формах из кварцевого песка между отливкой и песчаной формой сохраняется плотный контакт, так как в системе отливка-форма газовый зазор не образуется. Поэтому – в теплофизической постановке задачи затвердевания стальных и чугунных отливок разной геометрии в металлической форме из кварцевого песка следует учитывать лишь тепловое сопротивление тонкого слоя противопригарной краски, являющейся термическим барьером между отливкой и формой. Так как с наружной поверхности песчаной формы теплоотвод осуществляется излучением и конвекцией, то для выбора коэффициента теплоотдачи от песчаной формы в окружающую среду в зависимости от температуры поверхности формы можно воспользоваться табличными данными работы [6].

Таким образом, с помощью системного анализа температурных условий теплового взаимодействия стальных и чугунных отливок с песчаной формой можно выявить теплофизические особенности их затвердевания с учетом того, что градиенты температуры по толщине затвердевающей отливки и скорости охлаждения кристаллизующегося сплава существенно влияют [16] на процессы формирования литых изделий разной массы и геометрии.



ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. – М. – Л.: Машгиз, 1960. – 416 с.
2. Грачев А. В., Расулов С. А. Металлургия литейного производства. – Ташкент: Укитувчи, 1987. – 303 с.
3. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.
4. Пржибыл Й. Теория литейных процессов. – М.: Мир, 1967. – 328 с.
5. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. – М. – Л.: Машиностроение, 1976. – 214 с.
6. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья. – М.: Машгиз, 1953. – 383 с.
7. Хворинов Н. Изучение затвердевания отливок // Затвердевание отливок. – М.: Изд. иностр. лит., 1955. – С. 11-21.
8. Арсов Я. Б. Стальные отливки. – М.: Машиностроение, 1977. – 176 с.
9. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Э. В. Захарченко, Ю. Н. Левченко, В. Г. Горенко, П. А. Вареник // К.: Наук. думка, 1986. – 248 с.
10. Емельянова А. П. Технология литейной формы. – М.: Машиностроение, 1968. – 247 с.
11. Флемингс М. Процессы затвердевания. – М.: Мир, 1977. – 423 с.
12. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
13. Мамишев В. А. О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка – форма – окружающая среда // Металл и литье Украины, 2012. – № 11. – С. 31-35.
14. Соколовская Л. А., Мамишев В. А. О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве // Процессы литья, 2009. – № 2. – С. 24-29.
15. Мамишев В. А. Особенности теплопереноса при формировании литых изделий с изменяющейся кривизной фронтов затвердевания // Там же. – 1998. – № 3-4. – С. 63-67.
16. Мамишев В. А. Системный анализ затвердевания литых заготовок с переменной кривизной границ двухфазной зоны // Там же. – 2014. – № 1. – С. 19-26.

Анотація

Мамішев В. А., Шинський О. Й., Соколовська Л. А.

Фізико-технологічні аспекти тверднення фасонних виливків в піщаній формі. Повідомлення 1

Виконано системний аналіз характерних особливостей тверднення фасонних виливків із залізовуглецевих сплавів в піщаній формі.

Ключові слова

сплав, вилівок, форма, процес тверднення

Summary

Mamishev V. A., Shynskiy O. Y., Sokolovska L. A.

Physique-technological aspects of solidification castings in the sandy mould. Report 1

The system analysis of the characteristic peculiarities of solidification the fashion castings from iron-carbon alloys in the sandy mould was executed.

Keywords

alloy, casting, mould, process solidification

Поступила 28.08.14

**Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу
Вашей продукции или рекламный материал
о Вашем предприятии**

Расценки на размещение рекламы
(цены приведены в гривнах с учетом налога на рекламу)

2, 3 страницы обложки		страница внутри журнала	
цветная	1400	цветная	1050
черно-белая	700	черно-белая	500
1/2 страницы формата А4		1/2 страницы формата А4	
цветная	900	цветная	800
черно-белая	500	черно-белая	450
1/4 страницы формата А4		1/4 страницы формата А4	
цветная	550	цветная	300
черно-белая	300	черно-белая	200

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %