

**П. Б. Калюжный, И. А. Шалевская**

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк

### **УПРАВЛЕНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ И ОХЛАЖДЕНИЕМ ОТЛИВОК В ФОРМАХ ИЗ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА ЗА СЧЁТ ЕГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ**

*Експериментально определён характер распределения температур в литейной форме во время затвердевания и охлаждения отливки в неподвижном и псевдоожигненном песке. Показана возможность использования способа с псевдоожигнением песка для управления процессом затвердевания отливки.*

**Ключевые слова:** *скорость охлаждения, теплообмен, псевдоожигнение, кварцевый песок, температурный напор, затвердевание.*

*Експериментально визначено характер розподілу температур в ливарній формі під час тверднення й охолодження виливка в нерухомому і псевдозрідженому піску. Показано можливість використання способу з псевдозрідженням піску для управління процесом тверднення виливка.*

**Ключові слова:** *швидкість охолодження, теплообмін, псевдозрідження, кварцовий пісок, температурний напір, тверднення.*

*Experimentally the character of temperature distribution in the mould during casting solidification and cooling in fixed and fluidized sand is defined. Possibility of using of method with sand fluidization for control of casting solidification process is shown.*

**Key words:** *cooling rate, heat exchange, fluidization, silica sand, temperature pressure, solidification.*

Одной из основных задач оптимизации процессов формирования отливок является разработка принципов управления температурным полем и процессами затвердевания сплавов. Решению этой проблемы способствует использование техники псевдоожигненного слоя, создаваемого непосредственно в литейной форме. В работе [1] отмечено, что скорость охлаждения отливки в псевдоожигненном слое песка на порядок выше, чем при традиционном охлаждении в неподвижном песке. Сущность рассматриваемого метода охлаждения отливок заключается в создании псевдоожигненного слоя за счёт продувки песка восходящим потоком газа. Применение данного метода рассматривается для литья по газифицируемым моделям и вакуумно-плёночной формовки – способов использующих в качестве огнеупорного наполнителя песок без связующих материалов.

Рассмотрим насколько возможно использование данного метода не только для ускоренного охлаждения затвердевшей отливки, но и для воздействия на процессы кристаллизации. Песок после перехода в псевдоожигненное состояние приобретает свойства жидкости, поэтому сразу после заливки, когда весь металл отливки находится в жидком состоянии, псевдоожигнять огнеупорный наполнитель формы нельзя. Но это не значит, что нужно ждать пока весь сплав кристаллизуется. Привести песок в псевдоожигненное состояние можно уже после формирования сплошного металлического слоя, образующегося на поверхности формы и постепенно нарастающего по направлению к тепловому центру отливки. Прочности поверхностной корки металла отливки будет достаточно для того, чтобы избежать искажения размеров и формы отливки. При этом появляется возможность воздействовать на процесс кристаллизации сплава, ещё находящегося в жидком состоянии.

## Затвердевание сплавов

В предложенном способе псевдооживленный слой играет роль теплопроводящей среды, позволяющей регулировать интенсивность теплоотвода, обеспечивая изменение температурного градиента на границе отливка-форма. Эффективный теплоотвод даёт возможность формировать заданную структуру металла в отливке. Чтобы правильно управлять тепловым режимом охлаждения отливки необходимо знать специфику псевдооживленного слоя, а также факторы, позволяющие влиять на условия теплообмена.

В связи с этим целью работы было исследовать закономерности теплообмена системы отливка-форма при псевдооживлении огнеупорного наполнителя формы. Для достижения данной цели была разработана методика экспериментов, состоящая в проведении термического анализа охлаждения моделирующего отливку нагретого металлического образца в песчаной форме. Опыты проводились в контейнере квадратного сечения  $193 \times 193$  мм, высотой 515 мм, высота насыпного слоя песка во всех опытах была одинаковой 470 мм. В качестве наполнителя использовали кварцевый песок со средним размером песчинок 0,16 мм. В качестве модели, имитирующей отливку, использовали стальной цилиндр высотой 280 мм и диаметром 45 мм. Нагретый образец 3 устанавливался в контейнер 2, как показано на рис. 1, и засыпался кварцевым песком. Для замера температуры применяли хромель-алюмелевые термомпары 6, соединённые с прибором для записи показаний температуры МИТР-8. При этом термомпары фиксировали в форме на разном расстоянии от поверхности образца. Расстояние между термомпарами по высоте формы составляло 42 мм. В нижнюю полость 5 через штуцер 7 подавался сжатый воздух, который проходя через пористое дно 4, приводил песок в псевдооживленное состояние. При переходе песка в псевдооживленное состояние его объём увеличивался. Во избежание высыпания песка на верхнюю часть контейнера устанавливалась наполнительная рамка 1.

Первоначально с использованием данной методики были проведены эксперименты по изучению кинетики охлаждения образца в форме из кварцевого песка,

не подвергавшегося псевдооживлению. На рис. 2 показаны результаты изменения температуры образца и формы без псевдооживления песка. Номера кривых соответствуют номерам термомпар. Нумерация термомпар проводилась сверху вниз согласно рис. 1. Термомпары № 1 и № 3 касались поверхности образца. Термомпары № 2 и № 4 фиксировались на расстоянии 30 и 15 мм от поверхности образца соответственно. Термомпара № 5 устанавливалась вровень со стенкой контейнера.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными работы [2]. Так как термомпары № 1 и № 3 находились в контакте с образцом, они показали наивысшую температуру и чётко выделяются на рис. 2 на начальной стадии от остальных кривых. Разница в показаниях термомпар № 1 и № 3 свидетельствует о том, что охлаждение торцевой части образца происходит несколько интенсивнее, чем центральной его части из-за большей площади поверхности теплообмена.

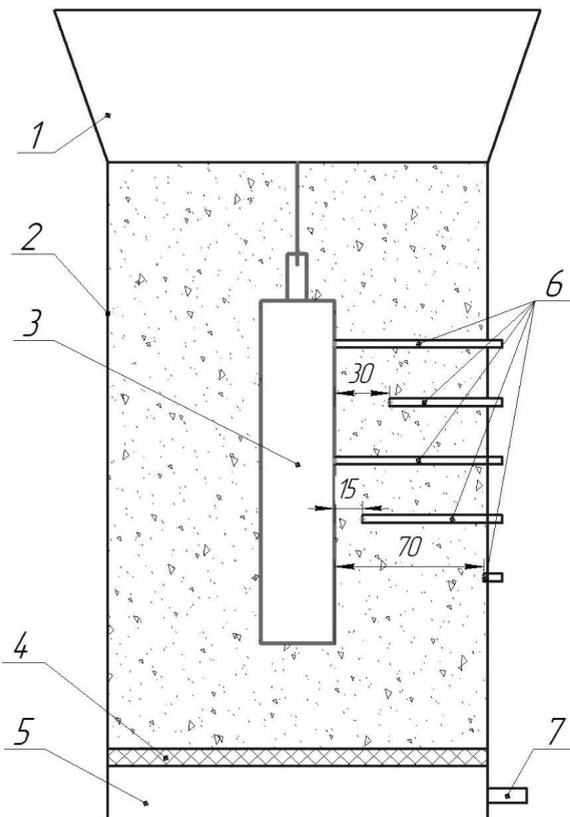


Рис. 1. Схема контейнерной формы

## Затвердевание сплавов

Слой песка, находящийся на расстоянии 15 мм от поверхности образца, на начальной стадии теплового взаимодействия образца с песком сначала прогревается до температуры 280 °С, а затем охлаждается. Достигнув температуры около 240 °С температура охлаждения данного слоя формы совпадает со скоростью охлаждения образца (рис. 2, кр. 4, 1, 3). Другой слой песка, находящийся на расстоянии 30 мм, медленнее прогревается до температуры 150 °С, а затем постепенно охлаждается. Пристенный слой песка монотонно прогревается до температуры 50 °С, и только спустя 120 минут наблюдается его охлаждение (рис. 2, кр. 5). Скорость охлаждения образца за первые 120 с (период, близкий к затвердеванию отливки) составляет 0,16 °С/с, в последующем снижается до 0,06-0,1,0 °С/с, а затем – до 0,02.

В следующих экспериментах исследовали кинетику охлаждения образца в псевдооживленном слое песка. Для этого в нижнюю полость контейнера подавали сжатый воздух. При этом величина расхода воздуха была такой, чтобы песок ожигался равномерно. На рис. 3 приведены экспериментальные температурные кривые охлаждения (нагрева) образца и формы при псевдооживлении песка. Номера кривых соответствуют номерам термопар. Расположение термопар в форме такое же, как и предыдущих экспериментах. Данные кривые построены по усредненным экспериментальным значениям температур, поскольку экспериментальные показания термопар в псевдооживленном слое имеют пульсирующий характер.

Первые 18 с образец находился в форме без песка. На 19 с производили засыпку песка в контейнер. При этом наблюдалось резкое падение температуры всех пяти термопар (рис. 3). На 55 с открывали кран подачи воздуха в донную часть контейнера, тем самым приводили песок в псевдооживленное состояние. В этот момент наблюдается резкое снижение температуры поверхности образца (кривые 1 и 3). Скорость охлаждения поверхности образца за первые 5 с после начала псевдооживления песка составляет 43 °С/с. Затем за следующие 10 с скорость снижается до 5-10 °С/с, за последующие 45 с – до 0,8-1,5, и за следующую минуту – до 0,3-0,45 °С/с. Падение скорости охлаждения образца объясняется снижением температурного напора.

Следует отметить, что характер снижения температуры кривых 1 и 3 (рис. 3) на 19 и 55 с одинаков, то есть моменты засыпки песка в форму и начала псевдооживления. Это говорит о том, что при псевдооживлении песка происходит его интенсивное перемешивание, и холодные слои песка сменяют горячие у поверхности образца, подобно тому как при засыпке песок омывает поверхность образца.

Температура слоёв, находящихся на расстоянии 15 и 30 мм от образца, после начала псевдооживления была практически одинаковой в отличие от серии предыдущих опытов, где разность температур этих слоёв достигала 100 °С. Температура

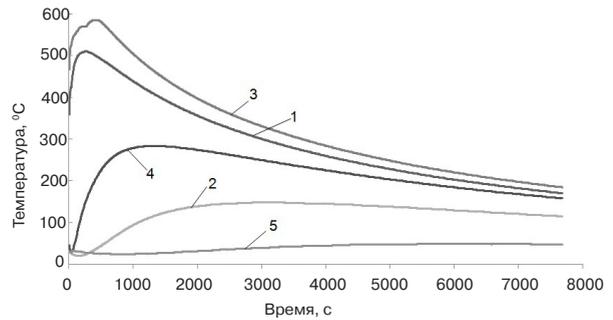


Рис. 2. Кинетика изменения температуры образца и формы без псевдооживления песка

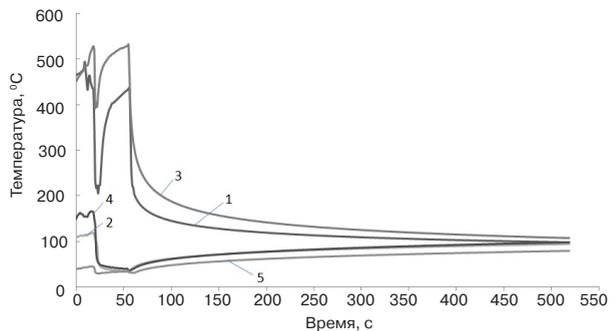


Рис. 3. Кинетика изменения температуры образца и формы при псевдооживлении песка

## Затвердевание сплавов

пристенного слоя (рис. 3, кривая 5) всего на 10-15 °С была ниже чем температура центральных слоёв. Все эти данные свидетельствуют о том, что при псевдоожигении песка происходит выравнивание температур в объёме формы.

Сравнивая предыдущую серию экспериментов с данной серией, видим, что скорость затвердевания отливки в псевдоожигенном слое песка значительно выше, чем в неподвижном песке.

Общеизвестно, что интенсивность отвода тепла от отливки определяется температурным напором (разницей температур между отливкой и формой). В неподвижном песке с течением времени за счёт прогревания слоёв песка теплом отливки происходит уменьшение температурного напора, поэтому скорость охлаждения отливки снижается. В псевдоожигенном песке за счёт его перемешивания температура песка в контактном слое поддерживается практически постоянной, поэтому температурный напор выше, и уменьшается лишь из-за снижения температуры отливки.

При затвердевании отливки в неподвижном песке большую часть тепла аккумулирует материал формы в результате контактного теплообмена. При этом больше тепла получают слои песка, соприкасающиеся с поверхностью отливки, а слои у стенок контейнера остаются незадействованы. Создавая псевдоожигенный слой песка, мы задействуем весь песок формы в процессе теплообмена кристаллизующейся отливки и формы.

Интенсивность охлаждения в псевдоожигенном слое легко регулируется скоростью подачи оживающего газа. Возможная скорость охлаждения находится в определённом интервале. Поэтому сначала можно вести интенсивное охлаждение, а затем охлаждать отливку замедленно. Для этого прекращают подачу оживающего газа в форму, и отливка будет остывать в неподвижном слое с небольшой скоростью. Такая «изотермическая» выдержка способствует выравниванию температуры по сечению отливок с различной толщиной стенок.

В результате проведённой работы было установлено:

- способ с псевдоожигением песка позволяет значительно увеличить скорость затвердевания отливки;
- при псевдоожигении песка происходит практически полное выравнивание температуры песка в объёме формы, которое способствует более равномерному охлаждению отливки, что положительно влияет на уровень напряжений в отливке;
- псевдоожигение песка позволяет создать условия для интенсивного теплообмена в системе металл-форма, а это позволяет управлять затвердеванием и охлаждением отливок с требуемыми термовременными параметрами;
- на основе полученных экспериментальных данных и математической их обработке станет возможным разработать оптимальный режим охлаждения, который обеспечит получение в отливке заданной структуры и эксплуатационных свойств;
- интенсификация процесса теплообмена и охлаждения отливки позволяет в свою очередь управлять процессом образования и обезвреживания выбросов вредных веществ.



### Список литературы

1. Применение псевдоожигенного слоя в технологическом процессе производства отливок в вакуумируемых формах / И. А. Шалевская, П. Б. Калюжный // *Металл и литьё Украины* – 2015. – № 4 (263) – С.24-27.
2. Исследования методов управления затвердеванием и охлаждением отливок путём изменения теплофизических характеристик формы за счёт применения газообразных хладагентов / И. О. Шинский, С. И. Клименко // *Литейщик России*. – 2013. – № 8. – С. 34-38.

Поступила 16.09.2015