

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.0744

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-45-53>

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ ОТЛИВОК СВС В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Сушко Т.И.¹, Турищев В.В.², Пашнева Т.В.¹, Попов С.В.¹¹ ВУНЦ ВВА им. проф. Жуковского и Ю.Н. Гагарина, Воронеж, Россия² Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация

Постановка задачи (актуальность работы): в статье представлены результаты исследования с применением системы компьютерного моделирования (СКМ LVM FLOW) затвердевания металла в отливке корпусного типа массой 42 кг, предназначенной для установки в оборудование магистральных нефтегазопроводов, с учетом одного из направлений ресурсосбережения в литейном производстве, позволяющего повысить технологический выход годного (ТВГ) экзотермического обогрева. Деталь ответственная, к ней предъявляется ряд требований по эксплуатации. Корпус такой массы получают способами литье по выплавляемым моделям (ЛВМ) и песчано-глинистые формы (ПГФ), при этом затраты на литниково-питающую систему (ЛПС) составляют соответственно ~200 и 100% от массы отливки. Показатели эффективности расхода жидкого металла определяются ТВГ, который для стальных отливок составляет 40–70%, а это значит, что до 55% жидкого металла расходуется на прибыли и элементы литниковой системы, что является экономически невыгодно. Применение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) (экзотермический обогрев (толщина слоя 0,5–3,5 мм) и экзотермические прибыли) позволяет увеличить ТВГ до 90% и уменьшает расход жидкого металла. После построения 3D моделей конструкций отливок с ЛПС, уже применяемых на заводах, были проведены исследования процессов затвердевания по средствам СКМ ЛП LVM Flow. При моделировании процессов затвердевания отливки задавались разные теплофизические параметры с учетом технологии ее изготовления. Цель работы: подтверждение возможности применения СВС для ЛВМ в рамках использования технологии ВМЗ путем компьютерного моделирования. Исследование влияния технологических факторов (количество слоев оболочковой формы, температура прокалики оболочки) на качество стальной корпусной отливки в условиях ЛВМ и экзотермического обогрева. Используемые методы: применяется метод компьютерного моделирования LVM FLOW. Для проведения расчетов в СКМ ЛП LVMFlow построены 3D модели различных конструкций отливок с ЛПС, конвертированные в необходимый формат LVM Flow. При построении 3D моделей использовалась программа 3D моделирования SolidWorks 2010. Новизна: проведенный расчет показал, что предлагаемая ЛПС и технология изготовления отливки методом ЛВМ позволяет получать отливку без усадочных дефектов. Так как физика процесса питания отливки при помощи экзотермических прибылей сложна и требует построения дополнительной математической модели, компьютерное моделирование для СВС проводилось только для экзотермического обогрева прибылей, в СКМ ЛП LVM Flow это возможно, и апробировано в литье ПГФ. Предварительно был произведен расчет геометрических параметров экзотермических оболочек («колпачков») в зависимости от геометрической формы отливки. Их конструкции аналогичны, толщина стенки «колпачков» для ЛВМ 3,5 мм. Особенностью выбранных для ЛВМ «колпачков» явилось применение внутри на крышке колпачка треугольного выступа высотой 10 мм и шириной основания 30 мм, выступ расположен вдоль «колпачка» и играет роль экзотермического стержня, что способствует созданию дополнительного давления в прибыли и обогреву ее верхней части. Данное суждение подтвердилось в ходе компьютерного апробирования. Определены наиболее вероятные места образования дефектов и зависимость количества дефектов от технологических параметров. Основным технологическим параметром, оказывающим наибольшее влияние на качество отливки, является температура прокалики оболочковой формы. Предложена наиболее оптимальная технология, позволяющая получить практически бездефектную отливку, уменьшить количество слоев оболочковой формы, что в свою очередь ведет к экономии времени затраченного на ее изготовление и ресурсов, а ТВГ на 18% ниже, в сравнении с базовым вариантом ЛПС. Впервые, посредством СКМ LVM FLOW, для ЛВМ подтверждена возможность получения качественных (по усадке) отливок с экзотермическим обогревом, что является, несомненно, важным фактом в литейной практике и достоинством данной работы. Практическая значимость: полученные данные позволяют продолжить экспериментальную работу и получить плотные отливки с экзотермическим обогревом для данного способа литья.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, отливка «корпус», усадочные дефекты, экзотермический обогрев, экзотермические прибыли.

© Сушко Т.И., Турищев В.В., Пашнева Т.В., Попов С.В., 2018

Введение

При производстве фасонного стального литья около 30% жидкой стали расходуется на прибыли, предназначенные для питания стальных отливок в процессе затвердевания, которые впоследствии отрезают от отливок и направляют на переплавку. Это, несомненно, является дополнительным расходом металла. Как следствие, происходит снижение технологического выхода годного (ТВГ), понижение коэффициента использования металла, снижение плотности отливок. Температура жидкого металла отливки и прибыли в начальный момент времени практически одинакова, т.е. начальный температурный градиент металла в системе прибыль – отливка равен нулю. В этом случае более позднее затвердевание металла прибыли по сравнению с металлом питаемого узла достигается за счет большей массы прибыли. Для обогрева прибыли и снижения расхода металла в настоящее время на зарубежных и отечественных литейных заводах применяются способы питания отливок самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС): экзотермическим обогревом – вставками, ригели (толщина слоя 0,5–3,5 мм) и экзотермическими прибылями. СВС – это разновидность горения. После поджога СВС – смеси самопроизвольно горят. Данный вид горения является бескислородным [1]. Для стальных отливок в качестве экзотермических применяют смеси, содержащие железоалюминиевый термит. Основными компонентами термита являются: алюминиевый порошок (15–40%) и железная окалина (30–60%). В современном литейном производстве экзотермический обогрев – это достаточно распространенный элемент технологического процесса, он активно внедряется на отечественных литейных предприятиях, в частности г. Воронежа.

Широко известны производители экзотермической продукции (Турция, Китай, Великобритания, Финляндия, Чехии и др.), соответствующей экологическим требованиям и нормам Евросоюза. Средняя температура горения экзотермической смеси составляет 2100 К, при этом ее теплотворная способность может достигать 2900 кДж/кг и более. Это позволяет на 50–100 К повысить температурный градиент в системе прибыль – отливка и на 10–40%, а в некоторых случаях и на 50%, снизить расход металла на прибыль при литье в песчаные формы, что позволяет увеличить их ТВГ до 90%. СВС применяются для отливок из всех видов сплавов самого различного назначения: машиностроительной, металлургической и горнодобывающей отраслей (изложниц, кузнечных слитков, корпусов, муфт, зубьев, конусов, плит дробящих и др.), подвижного железнодорожного транспорта (упоров, хо-

мутов, автосцепок и др.) [2]. Существенным недостатком применяемых в настоящее время прибылей является низкое качество металла подприбыльной зоны отливок, а главное – область применения СВС в большинстве случаев остается литье в песчаные формы (ПГФ) [3–10].

Экспериментальное изготовление отливок с использованием экзотермических прибылей методом литья по выплавляемым моделям, компьютерное моделирование процесса

С целью изучения эффективности работы экзотермических прибылей фирмы «ВІМАХ» (Финляндия) при изготовлении отливок и возможности использования технологии на ВМЗ проведены следующие работы. Объект исследования – отливка «корпус» массой 42,0 кг. Она относится к запорным и регулирующим устройствам, предназначена для управления работой нефтяных и газовых скважин или служит для выполнения необходимых технологических операций. Материал – сталь GR-4 ASTM487. Деталь ответственная, к ней предъявляется ряд требований по эксплуатации. Отливки такого типа являются востребованными, и снижение их себестоимости позволит при сохранении эксплуатационных свойств повысить конкурентоспособность.

Работы проводились по ТУК №048-04Н-05, в соответствии с которым залиты две детали из стали А487 GR4 с использованием экзотермических прибылей. При заливке деталей использовались экзотермические прибыли размером 105×120 мм. На детали 1 использовались три экзотермические прибыли (над боковыми фланцами и центральной части отливки), детали 2 – две экзотермические прибыли (на боковых фланцах). Проведено взвешивание залитых блоков деталей. Вес залитого блока детали 1, изготовленной с использованием трех экзотермических прибылей, составляет 68 кг (детали 2–65 кг), что ~ в 1,5 раза меньше веса залитого блока данной детали, изготавливаемой по серийной технологии (101,0 кг). Отливки с экзотермическими прибылями представлены на рис. 1.

Обе отливки после отрезки ЛПС прошли визуальный контроль и контроль методом рентгенопросвечивания. Визуальным контролем на отливках выявлены засоры и пригар по фланцам, стенке корпуса. Макротравлением на темплетях – рыхлота и засор. Анализ полученных результатов показал, что рыхлота выявлена по стенке патрубков доньшку отливки. Таким образом, обе схемы расположения экзотермических прибылей дали приблизительно одинаковые результаты. Однако с точки зрения простоты сборки модельного блока и отрезки ЛПС предпочтительнее второй вариант.



Рис. 1. Внешний вид отливок с экзотермическими прибылями

Выводы:

- отливки, изготовленные с использованием экзотермических прибылей, по качеству хуже отливок, изготавливаемых по серийной технологии;
- изготовление отливок с использованием экзотермических приводит к снижению нормы расхода основных и вспомогательных материалов. На основании этих исследований авторами проведено компьютерное моделирование процесса затвердевания отливки с целью выявления возможности использования данного метода, анализа влияния технологических факторов на качество отливок.

Для анализа полученных результатов и достижения цели данной работы поставлены следующие задачи:

1. Компьютерным моделированием определить наиболее характерные места расположения дефектов по базовому и рассматриваемому вариантам, провести анализ их образования.

2. Исследовать влияние технологических параметров на образование дефектов при использовании экзотермического обогрева.

3. Дать рекомендации по выбору возможности применения экзотермического обогрева в условиях ЛВМ с наименьшим количеством дефектов.

Для проведения расчетов в СКМ ЛП LVMFlow построены 3D модели конструкции отливки с ЛПС, конвертированные в необходимый формат LVM Flow. Для построения 3D моделей использовалась программа 3D моделирования SolidWorks 2013. 3D модель представлена на **рис. 2**.

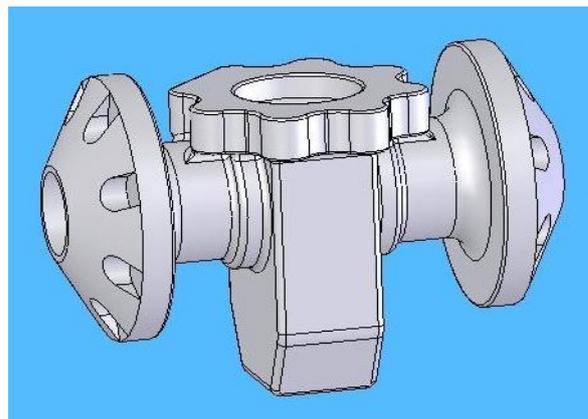


Рис. 2. 3D модель отливки «Корпус»

На **рис. 3** показан эскиз модельного блока с VIII типом ЛПС для базового варианта и с экзотермическим обогревом.

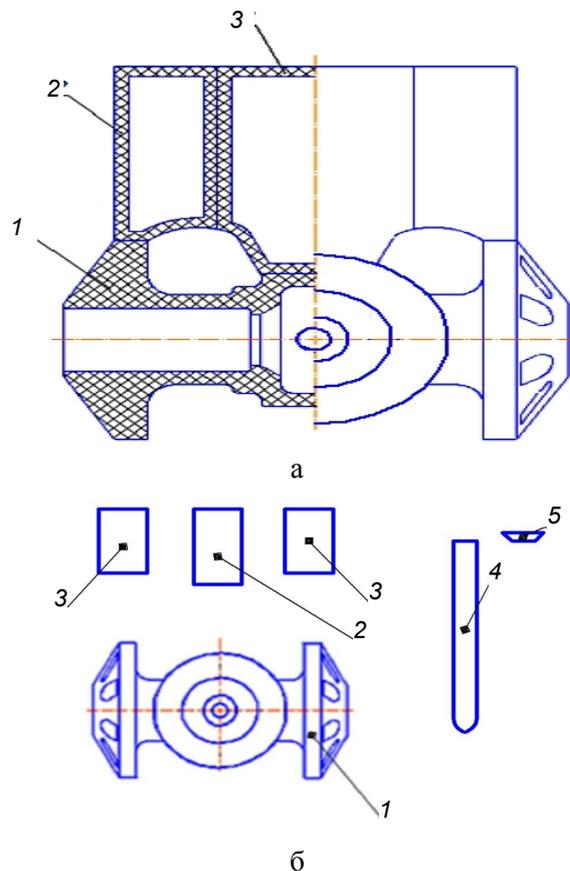


Рис. 3. Эскиз модельного блока базового варианта и с экзотермическим обогревом

Начальные условия для моделирования по заводской технологии:

- способ формовки – с наполнителем;
- количество слоев – 15;
- температура металла перед заливкой – 1580°C;

- температура формы перед заливкой – 900°C;
- температура оболочки – 900°C.

Перед заливкой в оболочку (базовый вариант) были установлены термодатчики (рис. 4)

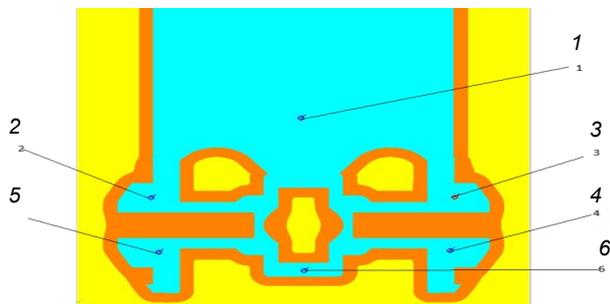


Рис. 4. Места размещения термодатчиков

Результаты моделирования показаны на рис. 5, на рис. 6 – график зависимости температуры от времени.

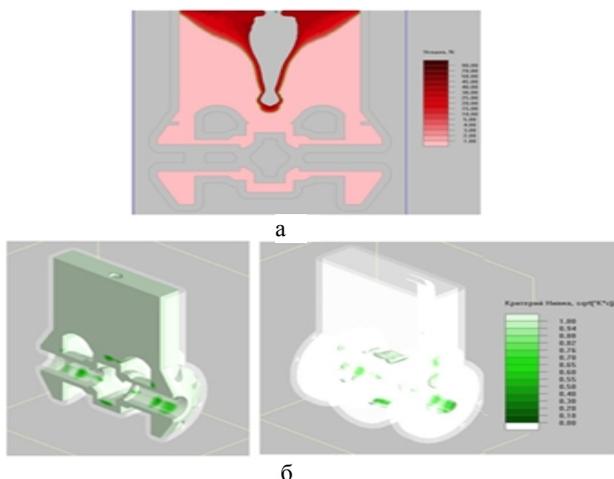


Рис. 5. Дефекты в отливке:
а – усадка; б – критерий Нияма

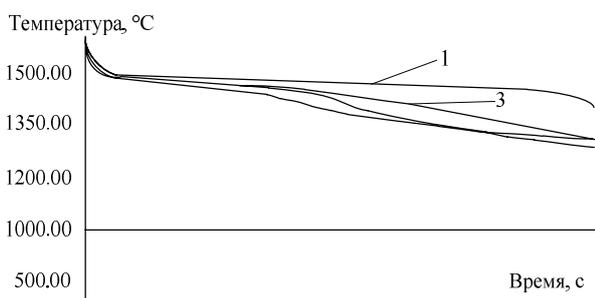


Рис. 6. График зависимости температуры от времени охлаждения

Основное влияние на образование дефектов оказывает изменение температуры формы. При моделировании базового варианта изготовления

отливки 15 слоев оболочковой формы и при повышении температуры формы до 950°C наблюдается незначительное уменьшение микропористости. Критерий Нияма при этом составляет 0,53 К·с/мм против 0,51 при 900°C. Однако при повышении температуры до 1000°C заметно резкое увеличение микропористости в подприбыльной зоне боковых фланцев, критерий Нияма составляет 0,12 К·с/мм. Подобная зависимость наблюдается и при меньшем количестве слоев оболочковой формы;

– с изменением количества слоев оболочковой формы не происходит явных изменений количества микропористости в отливке;

Наименьшее образование дефектов наблюдается при следующих технологических параметрах:

- формовка с опорным наполнителем;
- количество слоев оболочки – 13;
- температура прокалики формы 950°C;
- температура металла перед заливкой 1580°C.

На рис. 7 приведена гистограмма, отражающая зависимость критерия Нияма от количества слоев при разных температурах прокалики.

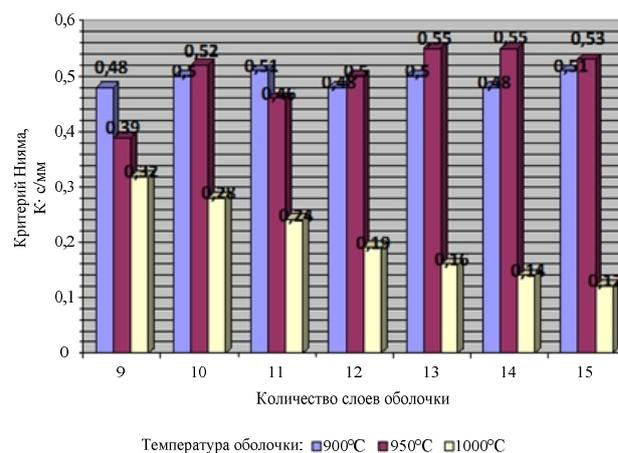


Рис. 7. Гистограмма зависимости критерия Нияма от количества слоев при разных температурах оболочки по заводской технологии

Для проведения расчетов в СКМ ЛП LVMFlow построены 3D модели различных конструкций отливок с ЛПС, конвертированные в необходимый формат LVM Flow. В LVM Flow возможно применение экзотермической смеси с температурой горения 1000°C, теплотой горения 2000 кДж/кг и временем горения 600 с. Выбор данной смеси обусловлен высокой температурой оболочки перед заливкой металла в ЛВМ Апробировались два «колпачка» на боковые фланцы с габаритными размерами 78×68×116 мм и один в центральной части отливке 115×86×116 мм. Их

конструкции аналогичны, толщина стенки «колпачков» для ПГФ составляет 3 мм, а в ЛВМ – 3,5 мм. Различаются они и теплофизическими параметрами. На **рис. 8** изображена 3D модель экзотермической оболочки для прибыли центральной части отливки.

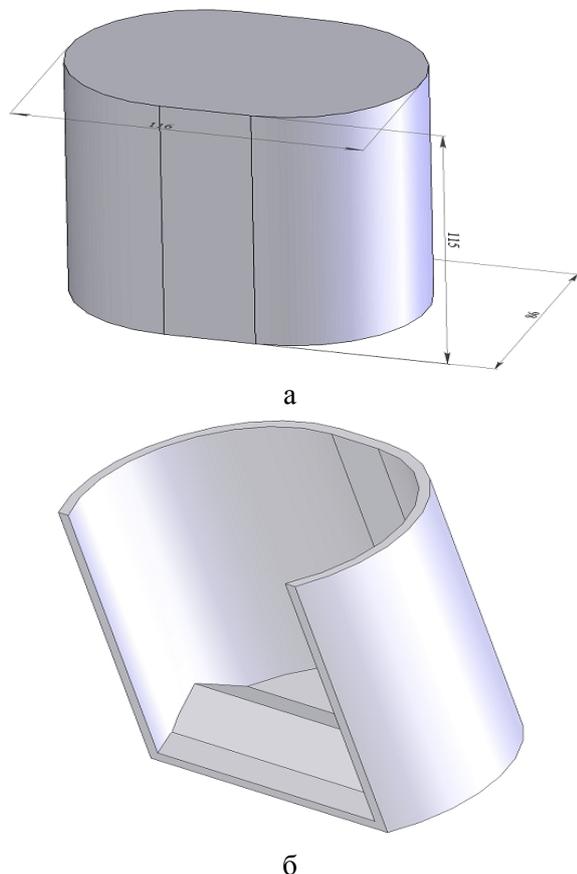


Рис. 8. 3D модели экзотермических колпачков

В эксперименте использовалась новая модель отливки с ЛПС, масса которой, по нашим расчетам, составила 69,1 кг, а габаритные размеры прибыли: 113×90×110 и 135×83×138 мм. Еще одной особенностью выбранных для ЛВМ «колпачков» явилось применение внутри на крышке колпачка треугольного выступа высотой 10 мм и шириной основания 30 мм (**рис. 5, б**). Выступ расположен вдоль «колпачка» и играет роль экзотермического стержня, что способствует созданию дополнительного давления в прибыли и обогреву ее верхней части. Данное суждение подтвердилось в ходе компьютерного апробирования. Выступ расположен вдоль «колпачка» и играет роль экзотермического стержня, что способствует созданию дополнительного давления в прибыли и обогреву ее верхней части. Данное суждение подтвердилось в ходе компьютерного апробирования.

Результаты и выводы

Моделирование проводилось при начальных температурах оболочки и экзотермической вставки 900°C. На прибыли, обогреваемой экзотермическими вставками, создают высокий температурный градиент и позволяют дольше питать отливку. При температуре прибыли с экзотермическими «колпачками» около 1300°C температура большей части отливки приближается к 1150°C, в то время как при стандартной технологии ЛВМ при температуре прибыли около 1300°C средняя температура отливки 1000°C.

Расчеты проведены с использованием экзотермических оболочек при разных технологических параметрах. На **рис. 9** показаны места расположения термодатчиков в теле отливки и ЛПС с экзотермическим обогревом.

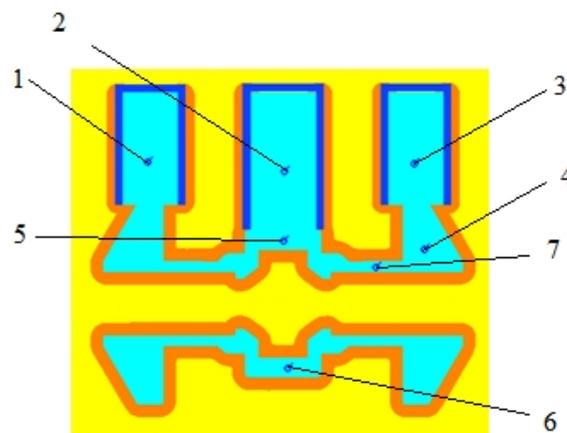


Рис. 9. Места установки датчиков в отливке с экзотермиком

На **рис. 10** и **11** показаны зависимости усадки от количества слоев при разных температурных условиях и зависимость критерия Нияма от тех же показателей. Установлено, что при температуре формы 900°C и разном количестве слоев усадочной раковины в отливке не образуется, при повышении температуры прокалики формы до 950°C и при использовании с 9 до 12 слоев оболочки процент усадки также не меняется, но при использовании от 13 до 15 слоев наблюдается образование усадочных дефектов в подприбыльной зоне боковых фланцев. При повышении температуры формы до 1000°C во всех случаях наблюдается образование усадочной раковины в отливке, при использовании от 9 до 12 слоев усадка остается примерно на одинаковом уровне и составляет 8%, но при увеличении количества слоев от 13 до 15 наблюдается увеличение усадочных дефектов в боковых фланцах и образование усадки в центральной подприбыльной зоне, глубина проникновения усадочных дефектов

в глубь отливки увеличивается с увеличением слоев огнеупорного покрытия;– изменение количества слоев оболочковой формы не оказывает особого влияния на количество микропористости.

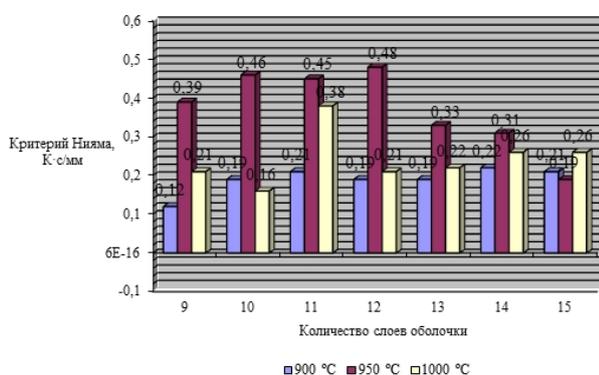


Рис. 10. Гистограмма зависимости критерия Нияма от количества слоев оболочковой формы при разных температурах оболочки

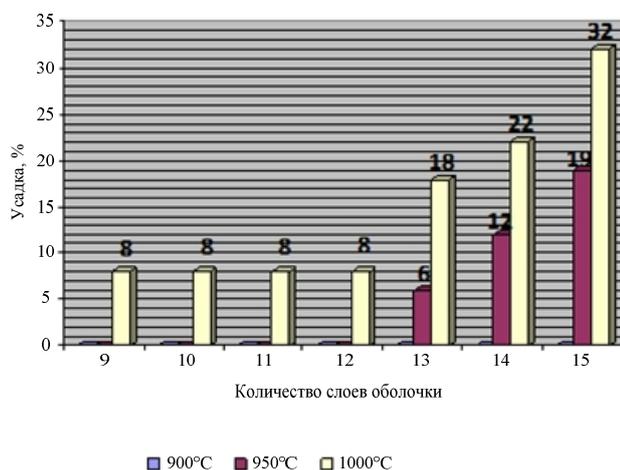


Рис. 11. Гистограмма зависимости усадки от количества слоев оболочковой формы при разных температурах оболочки

Таким образом, данный тип ЛПС не позволяет в полной мере избавиться от микропористости в отливке, но при использовании экзотермического обогрева возможно получение отливки без усадочных дефектов. Наиболее предпочтительными являются следующие технологические параметры:

- формовка с опорным наполнителем;
- количество слоев оболочковой формы – 12;
- температура металла при заливке 1580 °C;
- температура прокалики формы 950 °C.

Заключение

Эффективность питания отливки прибылями с экзотермическим обогревом подтверждают и результаты исследования по усадке. Как можно су-

дить по рис. 11, усадочные раковины полностью сконцентрированы в прибылях и не доходят до тела отливки значительное расстояние. Важным является тот факт, что раковина локализована в верхней части прибыли, а не углубляется в низ. Причиной такого поведения могут являться экзотермические стержни. Единственной проблемой, выявленной в ходе моделирования, стала небольшая область с усадкой до 6% (в пределах одного узла) у верхнего фланца в части, прилегающей ко дну опоки. Порождением этой усадки может служить неподходящая конструкция и размер питателя, но могут быть и другие причины, что требует дальнейшей доработки. Температурно-временные поля для базового и предложенного варианта показаны на рис. 12.

На начальном этапе затвердевания наблюдается повышение температуры в термическом узле отливки при использовании экзотермических оболочек. Температура в термическом узле отливки при базовом варианте равна 1497 °C, в то время как при использовании экзотермического обогрева прибыли температура термического узла равна 1513 °C. В то же время в тонкостенном элементе разница температур составляет 3 °C в пользу экзотермического обогрева.

Критерий Нияма при базовом и предложенном типе ЛПС показан на рис. 13.

При использовании базовой ЛПС основная часть микропористости сконцентрирована в патрубке, при этом критерий Нияма составляет 0,55 К·с/мм. В случае экзотермического обогрева микропористость проявляется в большем объеме, основные места ее образования – внутренняя поверхность патрубка верхняя часть стенки патрубка и стенка центральной части отливки. Критерий Нияма для данного типа ЛПС составляет 0,48 К·с/мм.

Усадочные дефекты при использовании базового типа ЛПС и ЛПС с использованием экзотермического обогрева не образуются (рис. 14).

Оба варианта ЛПС позволяют получить отливку без усадочных дефектов, но при этом избавиться от пористости не позволяет ни одна из данных литниково-питающих систем. Экзотермический обогрев системы питания в нашей технологии повышает ТВГ на 18% по сравнению с заводской. При этом уменьшается количество слоев оболочковой формы, дополнительно сокращается высота прибылей на 40 мм. Усадочные раковины находятся в верхней части прибыли с запасом и не заходят в тело отливки. Таким образом, СКМ ЛП LVM Flow подтверждает возможность получения качественных отливок (по усадке) с экзотермическим обогревом.

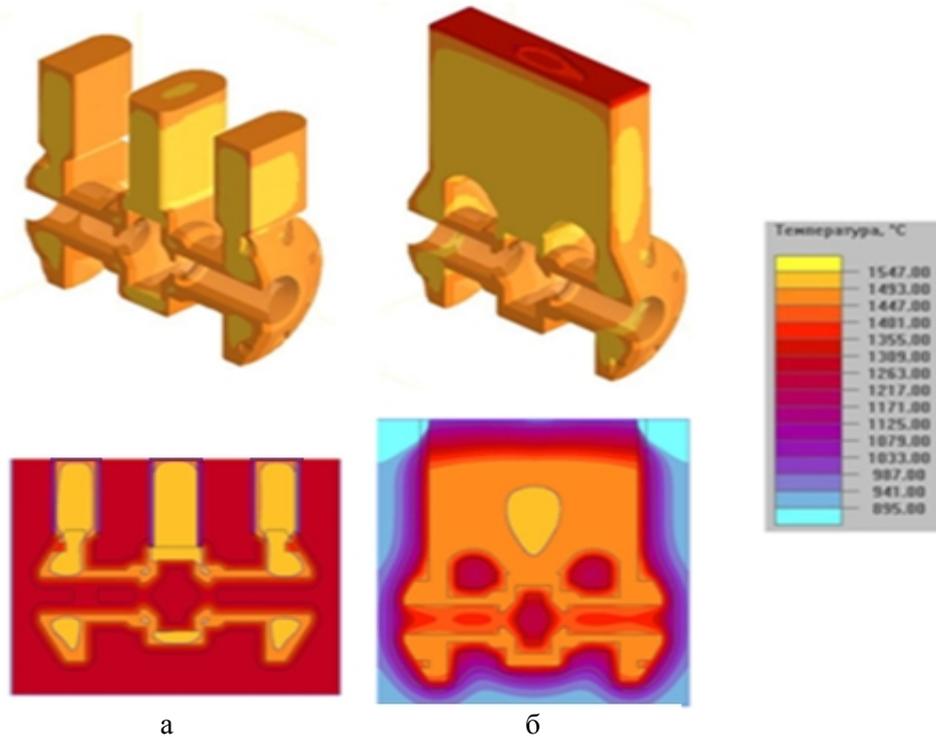


Рис. 12. Температурно-временные поля базового и варианта с экзотермиком: а – базовый вариант ЛПС; б – предложенный вариант ЛПС с использованием экзотермического обогрева

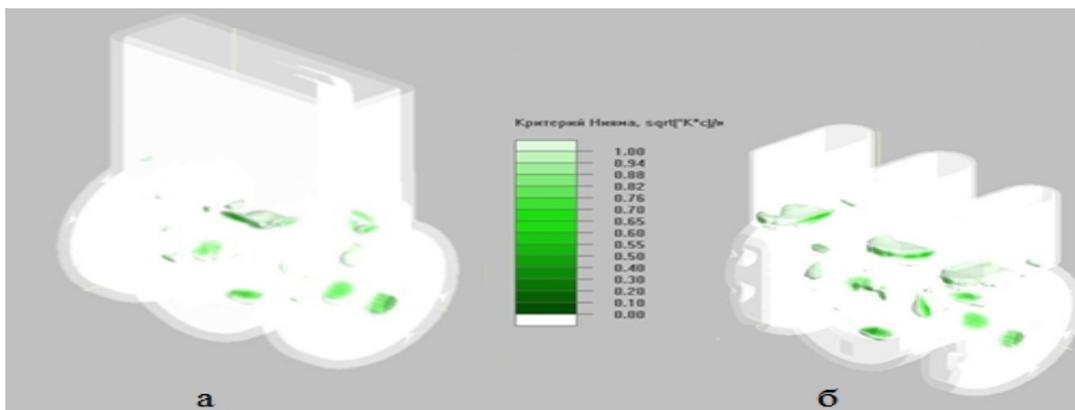


Рис. 13. Критерий Нияма: а – для базового варианта ЛПС; б – для предложенного варианта с использованием экзотермического обогрева

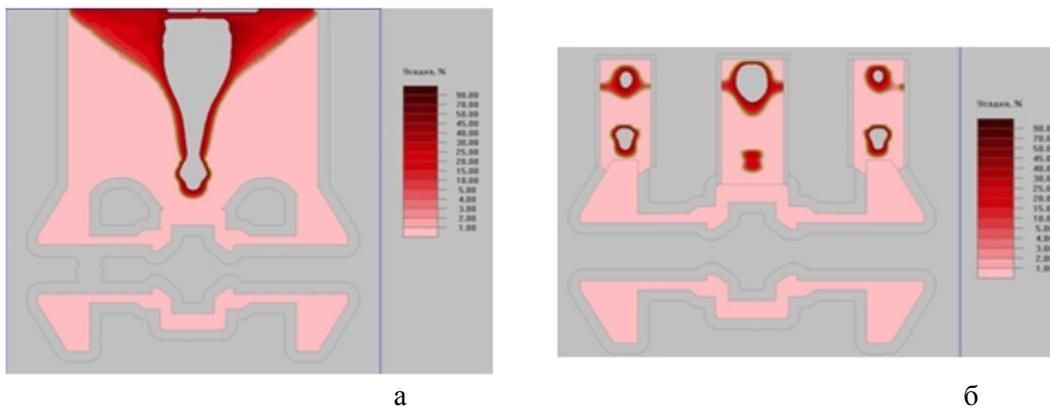


Рис. 14. Образование усадки: а – базовый вариант ЛПС; б – предложенный вариант ЛПС с использованием экзотермического обогрева

Список литературы

1. Оптимизация технологического процесса получения отливки «Корпус» методом ЛВМ / Сушко Т.И., Турищев В.В., Руднева И.Г., Пашнева Т.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4 (36). С. 15–18.
2. Анализ причин брака при производстве стальных корпусных отливок посредством СКМ ЛП LVM Flow / Сушко Т.И., Леднев А.С., Руднева И.Г., Пашнева Т.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 1 (37). С. 26–29.
3. Моделирование процессов тонкого измельчения сыпучих материалов для литейного производства / Мамина Л.И., Безруких А.И., Баранов В.Н., Чупров И.В., Губанов И.Ю. // Литейщик России. 2010. № 11. С. 41–44.
4. Мартыненко С.В., Огородникова О.М., Грузман В.М. Использование компьютерных методов для повышения качества крупногабаритных тонкостенных стальных отливок // Литейное производство. 2009. № 11. С. 21–24.
5. Шпак Е.И. Практическое использование систем компьютерного моделирования литейных процессов // Литейщик России. 2002. № 8. С. 56–59.
6. Кукуй Д.М., Фасевич Ю.М., Турок А.И. Влияние вида наполнителя на прочностные и теплофизические свойства экзотермических смесей // Литейное производство. 2010. Т. 3 (57). С. 125–127.
7. Малый А.В., Каргинов В.П., Иванов В.Г. Применение экзотермических вставок для получения качественного литья // Литейщик России. 2013. № 6. С. 13–16.
8. Применение теплоизоляционных оболочек для прибылей фасонных отливок / Чернышев Е.А., Евлампиев А.А., Уваров Б.И., Королев А.Б. // Литейщик России. 2013. № 6. С. 61–67.
9. Сушко Т.И., Турищев В.В., Пашнева Т.В. Опыт применения СКМ LVM Flow в освоении этапов производства отливок // Компьютерное моделирование электромагнитных процессов в физических, химических и технических системах: материалы VI Международного семинара. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. Ч.2. 75–84.
10. Исследование влияния технологических факторов на получение качественных отливок с экзотермическим обогревом посредством СКМ LVM Flow / Сушко Т.И., Петров И.Н., Руднева И.Г., Пашнева Т.В. // Achievement of High School-2013, 17–25 November 2013, т.44 «Технологии», София, «БялГрад-БГ», ООД 2013, 12–17.

Поступила 18.10.17.

Принята в печать 01.11.17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-45-53>

COMPUTER SIMULATION OF THE SHS CASTING FEED IN INVESTMENT CASTING

Tatiana I. Sushko – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor

Department of Physics and Chemistry, Zhukovsky-Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia. E-mail: Tat120675@yandex.ru

Vladislav V. Turishev – Postgraduate Student

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia.

Tatiana V. Pashneva – Ph.D. (Physics & Mathematics)

Department of Physics and Chemistry, Zhukovsky-Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia. E-mail: Tat120675@yandex.ru

Sergey V. Popov – Ph.D. (Physics & Mathematics), Associate Professor

Department of Physics and Chemistry, Zhukovsky-Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia. E-mail: spopov@yandex.ru

Abstract

Problem Statement (Relevance): This article describes the results of a study into the solidification of metal in a 42kg body casting designed to be used on backbone oil and gas lines. The study was based on the use of the LVM Flow Computer Simulation System and one of the resource saving techniques applied in casting to get a higher yield – i.e. exothermic-insulating sleeves. This is a critical part, so it should satisfy a number of operational requirements. A part body of that weight can be produced by investment casting or by green sand casting, with the cost of the running and gating system being approximately 200% and 100% of the weight of the casting correspondingly. The metal consumption efficiency is determined by the yield, which is 40 to 70% for steel castings. This means that up to 55% of liquid metal is wasted on feeder heads and the gating system, which does

not appear to be cost-effective. Due to the application of the SHS technique (i.e. exothermic heat (0.5 to 3.5 mm thick layer) and exothermic heads) the yield can be increased up to 90% and the consumption of liquid metal reduced. After 3D-models were built of the casting with the running and gating system used by the foundries, a study was conducted by means of LVM Flow that looked at the solidification processes. Various thermophysical parameters were used for solidification modelling purposes depending on the casting process applied. **Objectives:** The aim of this work was to prove the feasibility of using the SHS technique in investment casting, the latter being the least cost-effective casting technology in terms of yield, by studying the efficiency of the exothermic heads by BIMAX from Finland in the casting manufacture in the context of using the Voronezh Mechanical Plant's process for the production of large invest-

ment castings, and by means of computer modelling. **Method Applied:** The LVM Flow computer modeling method was applied. For LVM Flow calculations, 3D models were built of various design castings with the running and gating system, which were then converted into the required format. The 3D models were built with the help of the SolidWorks 2010 programme. **Originality:** The above study shows that the proposed running and gating system and the investment casting process are capable of producing castings with no shrinkage cavities. As the exothermic feeding process involves complicated physics and would require an additional mathematical model to be built, the computer simulation for the SHS technique was only carried out for exothermic feeder heads. LVM Flow has this capability, which was tested in green sand casting. Before that the geometry of the exothermic caps was calculated, which depends on the geometry of the casting. The caps have an identical design; in the case of investment casting the thickness of the wall is 3.5 mm. A special feature of the investment casting caps was a 10 mm high and 30 mm wide V-edge located on the inside of the cap cover. The V-edge goes along the cap and functions as an exothermic core creating additional pressure in the feeder head and heating its top. This proposition was verified as true by computer testing. The computer simulation carried out helped establish the possibility of obtaining flower-shaped body castings by means of investment casting involving SHS. In that case the yield was 70%, provided a sound casting was produced. It was confirmed that exothermic cores produce a significant positive effect on the casting feed and improve the quality of the casting in the riser zone. This paper describes the first LVM FLOW study that proves the possibility of obtaining high-quality castings in investment casting with exothermic heat. This is an undoubtedly important development for the casting industry and it distinguishes this work. **Practical Relevance:** With the help of the obtained data further experiments can be carried out and sound castings with exothermic heat can be obtained with the help of the given casting technique.

Keywords: Computer modeling, body casting, shrinkage cavities, exothermic heat, exothermic heads.

References

1. Sushko T.I., Turishchev V.V., Rudneva I.G., Pashneva T.V. Process optimization in the production of body castings by investment casting. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im.G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 4 (36), pp. 64–69. (In Russ.)
2. Sushko T.I., Lednev. A.S., Rudneva I.G., Pashneva T.V. Analysis of possible causes of casting defects in steel cast bodies by means of the LVM Flow computer simulation software. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im.G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no. 1 (37), pp. 26–29. (In Russ.)
3. Mamina L.I., Bezrukikh A.I., Baranov V.N., Chuprov I.V., Gubanov I.Yu. Simulation of fine grinding of loose materials used in steel casting. *Liteyshchik Rossii* [Foundry worker of Russia]. 2010, no.11, pp. 92-95. (In Russ.)
4. Martynenko S.V., Ogorodnikova O.M., Gruzman V.M. Using computer methods to improve the quality of large thin-walled steel castings. *Liteynoe proizvodstvo* [Casting]. 2009, no. 11, pp. 21-24.
5. Shpac E.I. Practical use of computer modelling systems to simulate foundry processes. *Liteyshchik Rossii* [Foundry worker of Russia]. 2002, no.8, pp. 56-59. (In Russ.)
6. Kukuy D.M., Fasevich Yu.M., Turok A.I. How the type of the filler can change the mechanical and thermophysical properties of exothermic mixes. *Liteynoe proizvodstvo* [Casting]. 2010, no. 3, pp. 125-127. (In Russ.)
7. Malyi A.B., Karginov V.P., Ivanov V.G. Application of exothermic inserts for obtaining high-quality castings. *Liteyshchik Rossii* [Foundry worker of Russia]. 2013, no. 6, pp. 13-16. (In Russ.)
8. Chernyshev E.A., Evlampiev A.A., Uvarov B.I., Korolev A.B. Insulating shells used for shaped casting heads. *Liteyshchik Rossii* [Foundry worker of Russia]. 2013, no. 6, pp. 61-67. (In Russ.)
9. Sushko T.I., Turishchev V.V., Pashneva T.V. The case study of learning about the casting stages using the LVM Flow software. Computer simulation of electromagnetic processes in physical, chemical and technological systems: Proceedings of the 6th International Workshop. Voronezh: Voronezh State Technical University, 2012, Part 2, pp. 75-84. (In Russ.)
10. Sushko T.I., Petrov I.N., Rudneva I.G., Pashneva T.V. Studying the effect of process factors on the quality of castings with exothermic heat with the help of the LVM Flow software. Achievement of High School-2013. 2013, vol. 44, Tekhnologii, Sofia, BialGrad-BG, pp. 12-17.

Received 18/10/17

Accepted 01/11/17

Образец для цитирования

Компьютерное моделирование физического питания отливок свс в литье по выплавляемым моделям / Сушко Т.И., Турищев В.В., Пашнева Т.В., Попов С.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №1. С. 45–53. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-45-53>

For citation

Sushko T.I., Turishev V.V., Pashneva T.V., Popov S.V. Computer simulation of the shs casting feed in investment casting. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 45–53. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-45-53>