

УДК 621.744.52

Д-р техн. наук В. Ю. Селиверстов, канд. техн. наук Т. В. Селиверстова

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ОТЛИВКИ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ В ФОРМЕ ЛВМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСПЛАВ

*Представлены результаты компьютерного моделирования герметизации блока отливок цилиндрической формы из стали P18Л, получаемых по действующей технологии в формах литья по выплавляемым моделям. Показана возможность использования газодинамического воздействия на затвердевающий металл при условии изменения конструкции блока.*

**Ключевые слова:** моделирование герметизации, цилиндрические отливки, процесс затвердевания, расплав, газодинамическое воздействие.

### Введение

Как известно, специальные способы литья позволяют резко снизить трудозатраты и металлоемкость получаемых отливок, способствуют достижению более высоких физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств литого металла. Наряду с дальнейшим совершенствованием специальных способов гравитационного литья (кокили, керамические, оболочковые, графитовые и др.) проводится разработка новых эффективных методов воздействия на кристаллизующийся металл, к числу которых можно отнести технологию газодинамического воздействия на расплав в форме ЛВМ.

### Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи

При реализации данной технологии в течение всего процесса затвердевания на жидкий металл оказывается воздействие за счет создания регулируемого газового давления в герметизированной системе отливка-устройство для ввода газа. Процесс предполагает в качестве необходимого условия осуществления наличие на поверхности рабочей полости литейной формы слоя затвердевшего металла к моменту подачи газа в систему отливка-устройство для подачи газа [1–3]. Толщина этого увеличивающегося во времени слоя должна обеспечивать по своим прочностным характеристикам герметичность системы отливка-устройство для ввода газа, находящейся под нарастающим давлением, вплоть до полного затвердевания отливки. При осуществлении газодинамического воздействия на протяжении всего процесса затвердевания необходимо поддерживать максимально возможный уровень газового давления, величина которого, в свою очередь, будет обуславливаться прочностными характеристиками образующегося на

поверхности отливки герметизирующего затвердевшего слоя металла. По мере увеличения толщины затвердевшего слоя его прочность будет расти, что дает возможность повышать давление [4, 5]. Результаты ранее проведенных работ показали эффективность данного метода активного физического воздействия на затвердевающий в литейной форме металл при изготовлении отливок как в кокиле [6–8], так и в керамической оболочковой форме ЛВМ [9]. При этом наибольшая эффективность метода может быть достигнута путем создания таких теплофизических условий затвердевания отливки, которые предполагают герметизацию системы отливка-устройство для ввода газа за счет равномерного формирования на всей поверхности отливки затвердевшего слоя. Кроме того, эффективность зависит от возможности встраивания технологии в действующий технологический процесс без значительных его корректировок, дополнительного оборудования и персонала. Учитывая также разнообразие конфигуративных особенностей отливок, получаемых литьем по выплавляемым моделям, актуальной задачей является оценка пригодности конструкции блока, используемого по действующей технологии и разработка рациональной конструкции блока ЛВМ с точки зрения возможности реализации процесса газодинамического воздействия.

**Целью работы** является определение рациональных геометрических параметров блока цилиндрических отливок из сплава P18Л, затвердевающих в форме ЛВМ, изготовленной по действующей технологии, для осуществления газодинамического воздействия на расплав.

### Результаты исследований

Схема блока отливок, изготавливаемых по традиционной технологии ЛВМ, представлена на рис. 1. Отливки цилиндрической формы из сплава P18Л (табл. 1) из-

готовавливаются в восьмислойных оболочковых формах. Материал – кристаллический кварц.

**Таблица 1** – Химический состав стали

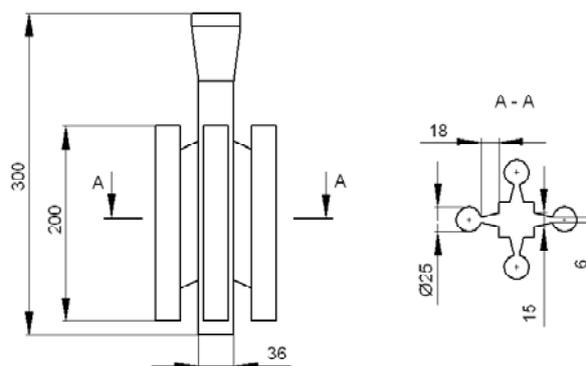
Содержание элементов, %							
C	Cr	W	V	Mo	S	P	Fe
0,75	4,7	18,5	1,17	0,17	0,03	0,02	ост.

Для определения термовременных параметров процесса герметизации блока отливок и получения численного решения задачи расчета процесса затвердевания использовали метод конечных элементов в программной реализации системой компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон». При моделировании методами конечных элементов выделяются следующие основные этапы: препроцессинг, расчет и постпроцессинг. Препроцессинг включает в себя построение твердотельной модели объекта и построение конечноэлементной модели объекта. Расчет созданной конечноэлементной модели блока отливок осуществляли в соответствии с алгоритмом теплового расчета, реализованным в программе. На этапе постпроцессинга происходила обработка результатов расчета и их интерпретация в терминах предметной области.

Для проведения моделирования были выбраны исходные параметры и свойства материалов отливки и литейной формы, основные из которых представлены в табл. 2.

**Таблица 2** – Исходные данные для проведения моделирования в СКМ ЛП «Полигон»

Параметры	Значение
<b>Теплофизические свойства быстрорежущей стали P18L</b>	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8800
Теплоемкость, Дж/кг К	460
Теплопроводность, Вт/мК	27
Скрытая теплота кристаллизации, кДж/кг	260
Температурный интервал кристаллизации, °С	1310–1380
<b>Теплофизические свойства материала формы</b>	
Объемная теплоемкость, кДж/м <sup>3</sup> К	2100
Теплопроводность, Вт/мК	0,52
<b>Параметры теплообмена (коэффициент теплопередачи на границе), Вт/(м<sup>2</sup>·К)</b>	
Отливка – Форма	4000
Форма – Отливка	4000
Отливка – Среда	200
Форма – Среда	180
<b>Начальные температуры отливки и формы, °С</b>	
Отливка	1450
Форма	900



**Рис. 1.** Схема блока, изготавливаемого по действующей технологии

На рис. 2 представлены визуализированные результаты теплового расчета процесса затвердевания блока отливок, изготавливаемых по действующей технологии.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что к моменту формирования затвердевшего слоя на поверхности стояка, отливки оказываются полностью затвердевшими. Данная конструкция блока не обеспечивает условия реализации варианта технологии газодинамического воздействия, основанного на соответствии толщины затвердевшего слоя создаваемому давлению в системе отливка-устройство для ввода газа. При действующей конструкции блока ЛВМ возможно использовать только прочностные свойства материала литейной формы. Соответственно, реализация технологии газодинамического воздействия возможна в диапазоне давлений 0,1–0,3 МПа.

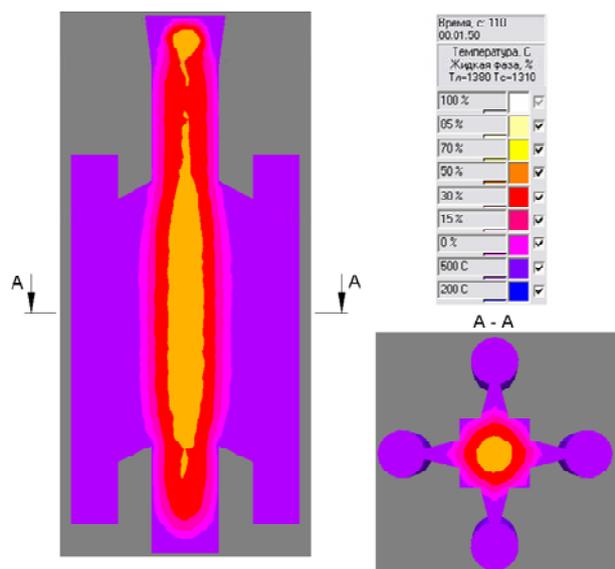


Рис. 2. Визуализированные результаты теплового расчета процесса затвердевания блока отливок на 110-й секунде: вертикальный разрез и горизонтальное сечение

Измененная конструкция блока отливок представлена на рис. 3. Была изменена форма и размеры стояка, питателей, а также утеплены отдельные части формы за счет нанесения дополнительных слоев огнеупорной оболочки. На рис. 4 представлены результаты теплового расчета процесса затвердевания блока измененной конструкции. Из рисунка видно, что на поверхности блока практически равномерно образуется герметизирующий слой затвердевшего металла.

СКМ ЛП «Полигон» позволяет получить данные о процессе затвердевания в любой точке отливки при установке в соответствующих местах виртуальных термомпар. На рисунке 5 представлена схема расположения виртуальных термомпар, находящихся в горизонтальном сечении блока на расстоянии 1,5 мм от поверхности отливки, а также соответствующие кривые охлаждения.

Полученные результаты компьютерного моделирования процесса затвердевания рассматриваемого блока отливок позволяют утверждать, что через 130 секунд после окончания заливки на всей поверхности формы

образуется твердый слой металла, т. е. блок отливок оказывается полностью герметичным за счет формирования равномерной корки. Это дает возможность осуществлять газодинамическое воздействие вплоть до полного затвердевания отливок.

Плотность температурных кривых, полученных в варианте измененной конструкции блока отливок, показывает, что на различных участках поверхности блока герметизирующая корка формируется практически одновременно, в отличие от действующей конструкции, где зафиксирована значительная разница во времени формирования герметизирующего слоя затвердевшего металла одной толщины.

### Выводы

1. Проведено моделирование в СКМ ЛП «Полигон» процесса герметизации блока цилиндрических отливок из стали P18Л, изготавливаемых по действующей технологии в форме ЛВМ. Установлено, что к моменту формирования затвердевшего слоя на поверхности стояка, отливки оказываются полностью затвердевшими. Данная конструкция блока не обеспечивает условия реализации варианта технологии газодинамического воздействия, основанного на соответствии толщины затвердевшего слоя создаваемому давлению в системе отливка-устройство для ввода газа.

2. Расчеты показали, что при действующей конструкции блока ЛВМ возможно использовать только прочностные свойства материала литейной формы. Соответственно, реализация технологии газодинамического воздействия возможна в диапазоне давлений 0,1–0,3 МПа.

3. Установлена возможность изменения конструкции блока отливок, что позволит, согласно результатам проведенного моделирования, осуществлять «полноценное» газодинамическое воздействие на затвердевающий расплав в литейной форме. Установлено также, что процесс герметизации блока при этом закончится через ~ 130 секунд формированием затвердевшей поверхностной корки толщиной 1–2,5 мм, что дает возможность в дальнейшем увеличивать давление в системе отливка-устройство для ввода газа в соответствии с кинетикой увеличения слоя вплоть до полного затвердевания отливки.

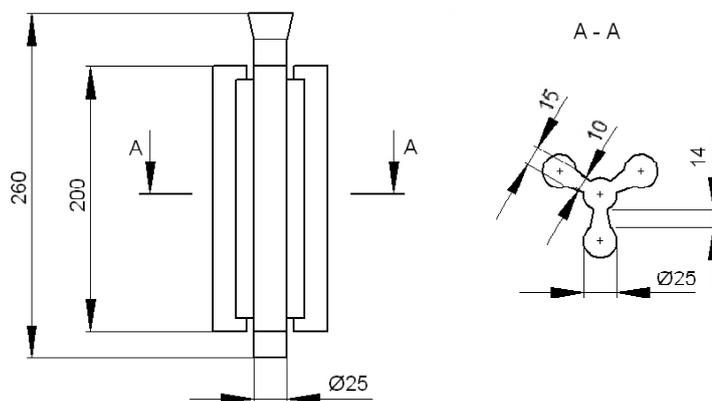


Рис. 3. Схема блока измененной конструкции

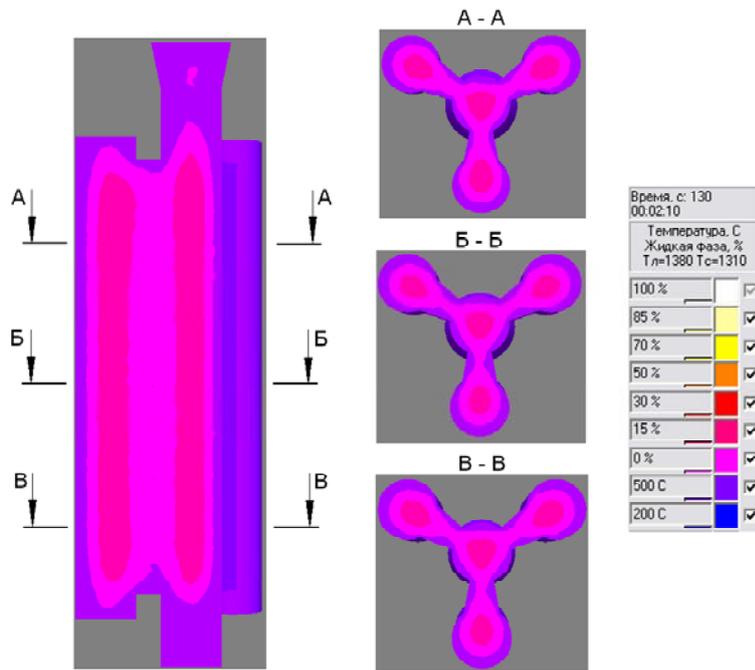


Рис. 4. Визуализированные результаты теплового расчета процесса затвердевания блока отливок измененной конструкции на 130-й секунде: вертикальный разрез и горизонтальные сечения

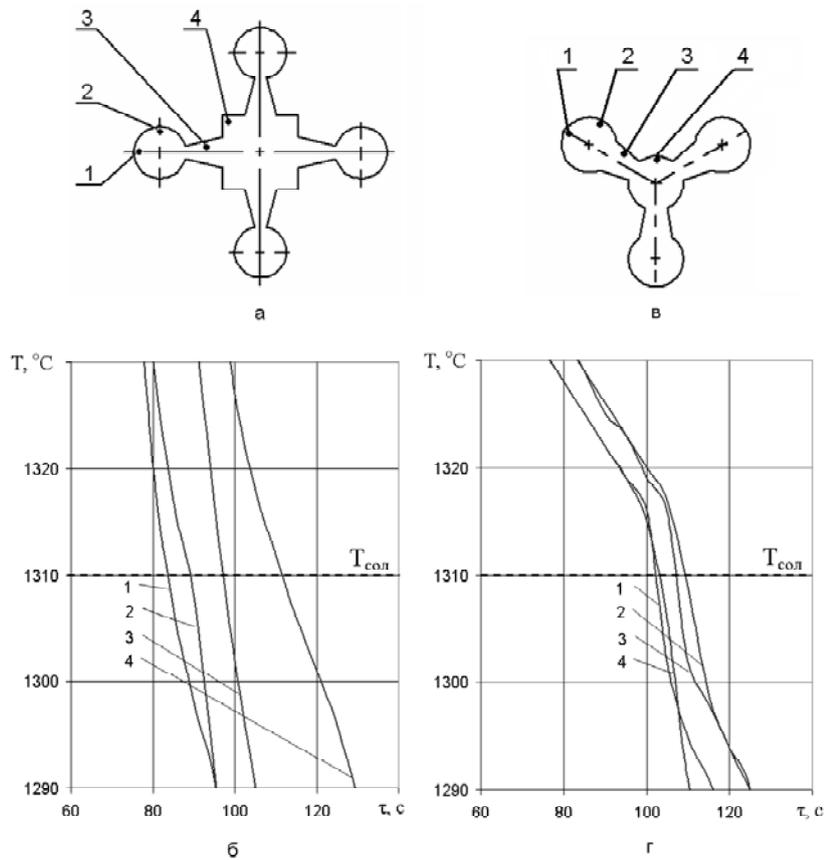


Рис. 5. Схема размещения виртуальных термодатчиков в сечении блоков и кривые охлаждения отливок в соответствующих местах: по действующей технологии (а, б), измененной конструкции (в, г)

**Список літератури**

1. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.С., Доценко Ю.В. № 28858 ; заявл. 03.08.2007 ; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.
2. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В. Ю., Хричиков В. С., Доценко Ю. В. № 28859 ; заявл. 03.08.2007 ; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.
3. Селівьорстов В. Ю. Технологія газодинамічного впливу на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок / Селівьорстов В. Ю. // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Т. 10. – С. 25–35.
4. Селівьорстов В. Ю. Особенности определения технологических параметров газодинамического воздействия на расплав в литейной форме / Селівьорстов В. Ю. // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць / МОН України. Національна металургійна академія України. Вип. 4 (63) : Системні технології обробки інформації. Системне моделювання технологічних процесів. – Дніпропетровськ : ДНВП «Системні технології», 2009. – С. 91–98.
5. Селівьорстов В. Ю. Методика расчета параметров газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме / Селівьорстов В. Ю., Михайловская Т. В. // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць / МОН України. Національна металургійна академія України. Вип. 3 (68) : Інформаційні технології в процесах одержання матеріалів із заданими властивостями. Інтелектуальні інформаційно-управляючі системи. – Дніпропетровськ : НМетАУ, кафедра Інформаційних технологій і систем, 2010. – С. 186–192.
6. Влияние газодинамического воздействия на распределение сульфидных включений в цилиндрической отливке из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле / [Селівьорстов В. Ю., Михайловская Т. В., Доценко Ю. В., Мушенков Ю. А.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 5. – С. 40–43.
7. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі / [Селівьорстов В. Ю., Хричиков В. С., Куцова В. З. та ін.] // Теорія і практика металургії. – 2009. – № 5–6. – С. 80–85.
8. Селівьорстов В. Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі / Селівьорстов В. Ю. // Теорія і практика металургії. – 2007. – № 4–5. – С. 22–25.
9. Селівьорстов В. Ю. Використання технології газодинамічного впливу на расплав при литті по витоплюваним моделям / Селівьорстов В. Ю., Куш П. Д. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2010. – № 4 – С. 89–94.

Одержано 16.12.2016

**Селівьорстов В.Ю., Селівьорстова Т.В. Моделювання герметизації відливання зі швидкорізальної сталі у формі ЛВМ для реалізації технології газодинамічного впливу на расплав**

*Представлено результати комп'ютерного моделювання герметизації блоку виливків циліндричної форми зі сталі P18Л, одержуваних за діючою технологією у формах лиття по витоплюваним моделях. Показано можливість використання газодинамічного впливу на твердіючий метал за умови зміни конструкції блоку.*

**Ключові слова:** моделювання герметизації, циліндричні відливки, процес затвердіння, расплав, газодинамічний вплив.

**Seliverstov V., Seliverstova T. Design of pressurizing of founding from high-speed steel inform LVM for realization of technology of the gas-dynamic influence**

*The results of computer design of pressurizing of casts block of cylindrical form from steel of P18Л are presented, being produced with operating technology in the of casting forms on the smelted models. Possibility of application gaz-dynamyc influence over solidification metal in case of block construction changes are shown.*

**Key words:** design of pressurizing, cylindrical founding, process of consolidation, fusion, gas-dynamic influence.