

*Приведені результати аналізу діючої технології виробництва литих заготовок із сталі Р18Л. Розроблена конструкція ливникової системи, що забезпечує виконання умови формування рівномірної скоринки затверділого металу на поверхні вилівка та здійснення газодинамічного впливу в процесі кристалізації*

*Ключові слова: газодинамічний вплив, конструкція, затвердіння, моделювання*

*Приведены результаты анализа действующей технологии производства литых заготовок из стали Р18Л. Разработана конструкция литниковой системы, обеспечивающая выполнение условия формирования равномерной корки затвердевшего металла на поверхности отливки и осуществления газодинамического воздействия в процессе кристаллизации*

*Ключевые слова: газодинамическое воздействие, конструкция, затвердевание, моделирование*

*The results of operating technology analysis of the poured casting production from R18L steel are resulted. The gating system construction providing the condition of forming a uniform crust of solidified metal on the surface of the casting and the implementation of gas-dynamic effects in the crystallization process is developed*

*Keywords: gas-dynamic influence, construction, solidification, design*

# РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА ЛВМ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОТЛИВКИ

**В. Ю. Селиверстов**

Доктор технических наук, профессор\*  
Контактный тел.: (056) 374-83-67

**П. Д. Куш**

Инженер-металлург  
ООО "СиСофт Украина"  
ул. Гоголя, 14, г. Днепропетровск, 49600  
Контактный тел.: (056) 371-10-90

**Ю. В. Доценко**

Доцент, кандидат технических наук  
\*Кафедра литейного производства  
Национальная металлургическая академия  
Украины  
пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, 49600  
Контактный тел.: (056) 374-83-67

## Введение

Отработка и использование технологии получения качественных литых заготовок методом ЛВМ неизбежно связана с получением известных дефектов, снизить количество которых и, соответственно, повысить качество металла, возможно, в том числе, при использовании внешних физических воздействий на отливку во время кристаллизации.

## Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи

Метод литья по выплавляемым моделям получил широкое распространение благодаря, в первую очередь, возможности получения отливок практически из всех известных сплавов, а также из-за достаточно высоких показателей чистоты поверхности литых заго-

товок [1, 2, 3]. При этом к недостаткам метода можно отнести сравнительно небольшой, в некоторых случаях, металлостатический напор величиной менее 0,01 МПа [4], что в конечном итоге может способствовать образованию усадочных дефектов (пористости), а также приводить к недоливам тонких стенок отливок. Устранить такие дефекты возможно, увеличив, например, температуру заливаемого металла [4]. Однако, при этом также возрастает вероятность появления усадочных дефектов в сопряжениях стенок и в массивных частях отливки [4].

Также возможным решением проблемы является применение внешних воздействий на металл отливки [5, 6, 7]. Авторами [4] разработана и успешно применена на практике технология получения отливок литьём по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением (ЛВМКД), которая заключается в запрессовывании жидкого металла с последующей

его выдержкой в форме ЛВМ. Данный способ имеет ряд технологических ограничений, одним из которых является давление заливаемого расплава, которое не должно превышать, обычно, 0,3 - 0,5 МПа [4]. Данные ограничения связаны, в частности, с прочностными характеристиками формы, определить которые можно специальными методами контроля [8].

На кафедре литейного производства НМетАУ разработана технология газодинамического воздействия на расплав [9, 10], особенностью которой является упрощённая, по сравнению вышеописанной технологией, схема конструкции установки, что, в свою очередь, позволяет использовать давления, превышающие прочностные свойства керамической оболочки [10].

Одним из необходимых условий реализации технологии является начальная выдержка металла в форме в течении определённого временного промежутка, после которого происходит образование минимально необходимого слоя твёрдого металла на поверхности отливки, для чего могут применяться специальные холодильники или утепляющие вставки [11]. С этой же целью во многих случаях необходимо вносить изменения в конструкцию блока и, соответственно, литниковой системы [1, 2, 3] для различных конфигураций отливок, что является актуальной задачей дальнейших исследований.

**Целью исследований** является разработка рациональной конструкции блока ЛВМ при изготовлении цилиндрических заготовок диаметром 20 мм и высотой 200 мм из стали Р18Л для возможности эффективной реализации технологии газодинамического воздействия на затвердевающий металл отливки.

**Результаты исследований**

В условиях ОАО Агрегатный завод (г. Днепропетровск) проводили исследования литых цилиндрических заготовок из стали Р18, полученных методом ЛВМ по действующей технологии для последующейковки (рис. 1).

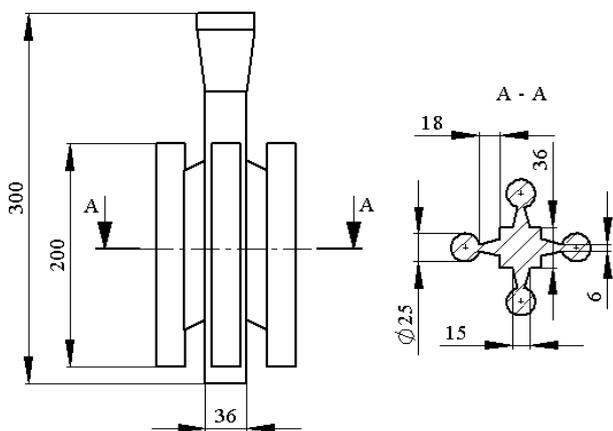


Рис. 1. Исходная конструкция блока ЛВМ литых заготовок

Даже при соблюдении условий направленного затвердевания металла от отливки к стояку, в конечном итоге, получали литейные дефекты. Применение же газодинамического воздействия для повышения качества литого металла, в данном случае, невозможно в полной мере из-за особенностей конструкции блока. Это также подтверждается данными, полученными в результате теплового расчёта в системе компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон» компьютерной модели блока отливок (рис.2). Расчёты показали, что на 5 минуте от начала затвердевания после образования на поверхности блока отливок в контактной зоне стояка необходимой толщины затвердевшего слоя металла, способного выдержать нагрузки, создаваемые прикладываемым газовым давлением, отливка полностью затвердевает и воздействие давлением не является эффективным.

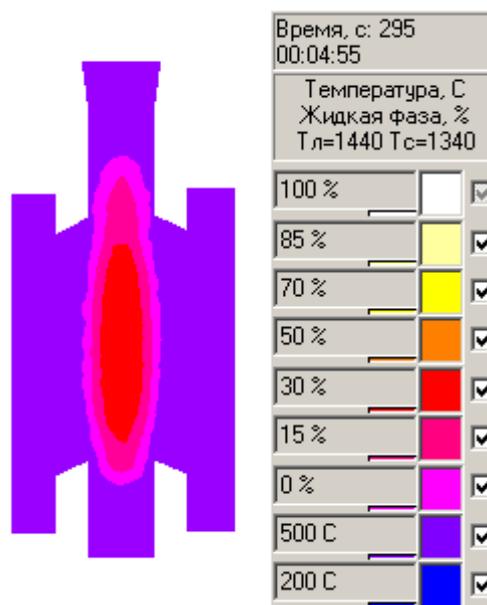


Рис.2. Результаты теплового расчёта в СКМ ЛП «Полигон» исходной конструкции блока

Для проведения моделирования были выбраны исходные параметры, свойства материалов отливки и литейной формы, основные из которых представлены в табл. 1.

Для возможности осуществления всех технологических операций, необходимых для проведения газодинамического воздействия, требуется замена, в частности, типа литниковой системы в виде центрального стояка (тип I), а именно щелевого питателя, на вертикальный коллектор (литниковая система типа III) [1, 2]. Расчёт элементов для такой литниковой системы обычно проводится по методу Хенкина [1, 2, 3]:

$$R_{пит} = k \sqrt[3]{R_y^3 G_o} \sqrt[3]{l_{пит}} / R_c \tag{1}$$

где  $R_{пит}$  =  $F_{пит} / P_{пит}$  – приведенная толщина сечения питателя, мм;  $F_{пит}$  и  $P_{пит}$  – площадь, мм<sup>2</sup>, и периметр, мм, его сечения;  $k$  – коэффициент пропорци-

ональности ( $k \approx 11$ );  $R_y = V_y/S_y$  – приведенная толщина теплового узла отливки, мм.

Таблица 1

Исходные данные для проведения моделирования в СКМ ЛП «Полигон»

Параметры	Значение
<b>Теплофизические свойства быстрорежущей стали Р18Л</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

Однако, это условие не применимо к рассматриваемой технологии, т.к. в данном случае требуется не последовательное (отливка – питатель), а одновременное их затвердевание. Для расчета размеров литниковой системы рекомендуется использовать метод «вписанных окружностей» [2]. Выбор размеров питателей, коллекторов и стояков производится в соответствии с условием:

$$D_{n-1} < D_n < D_{n+1} \quad (2)$$

где  $D_{n-1}$ ,  $D_n$ ,  $D_{n+1}$  – диаметры вписанных сфер на рассматриваемых участках соответственно n-го, прилегающих к n-му со стороны торца отливки и со стороны прибыли.

Проектирование литниковой системы для рассматриваемой отливки производилось с учётом условия:

$$D > D_1 \quad (3)$$

где  $D_1$  – диаметр стояка,  $D$  – диаметры вписанных окружностей в отливке и коллекторе.

Следует отметить, что диаметры окружностей ( $D=25$ мм) для отливки и для коллектора являются одинаковыми, а диаметр стояка ( $D_1 = 20$ мм) выбран меньшим для возможности герметизации системы отливка – устройство для ввода газа (рис. 3).

Вариант изменённой конструкции блока был выполнен в виде компьютерной трехмерной модели с последующим разбиением её на сетки. Полученная модель была применена в последствии в СКМ ЛП «Полигон». Данные изменения литниковой системы (рис. 4, а) позволяют получить после заливки оболочковой формы

сначала равномерный слой твёрдой корки 1 металла на поверхности отливок и коллектора, после чего возможным становится проведение следующего этапа технологического процесса – осуществления газодинамического воздействия на затвердевающий металл отливки 2.

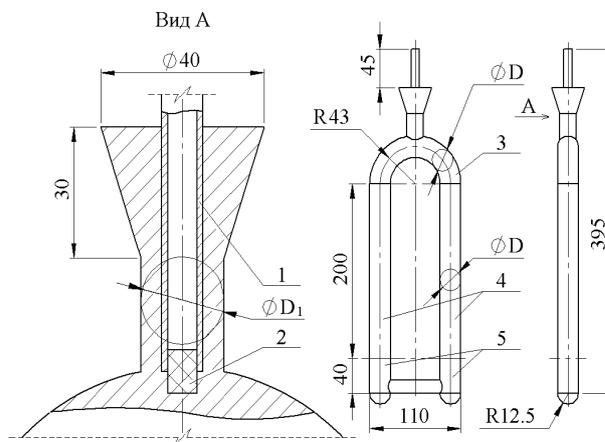


Рис.3. Схема разработанной конструкции блока отливок: 1 – трубка; 2 – пробка; 3 – коллектор; 4 – отливки; 5 – зумпф.

Расчет образования пористости в СКМ ЛП «Полигон» показал перемещение усадочных дефектов в верхнюю часть коллектора (рис. 4, б). Проведенные расчёты доказывают правильность выбора конструкции блока отливок, а также расчёта размеров разработанной литниковой системы. Данный подход к расчёту может быть применён также и для других типов литниковых систем при литье в керамические формы.

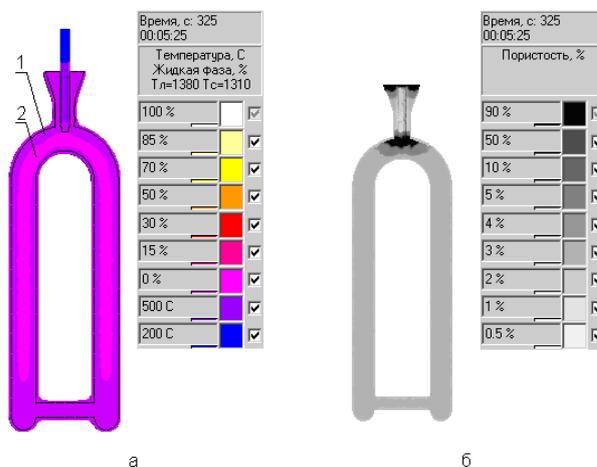


Рис.4. Результаты теплового расчёта (а) и расчёта пористости (б) в СКМ ЛП «Полигон»

### Выводы

1. В результате анализа действующей технологии производства литых цилиндрических заготовок из

стали P18 диаметром 20 мм и высотой 200 мм методом ЛВМ установлено, что применение газодинамического воздействия для повышения качества литого металла невозможно из-за явно выраженной неравномерности формирования поверхностной герметизирующей корки металла.

2. Установлено, что для возможности осуществления технологических операций, необходимых для проведения газодинамического воздействия, требуется замена конструкции литниковой системы в виде центрального стояка, а именно щелевого питателя, на вертикальный коллектор. Определено условие ( $D > D_1$ )

для выбора, соответственно, диаметров коллектора и стояка, которое позволяет в полной мере реализовать газодинамическое воздействие на отливку при давлениях 0,3 - 0,5 МПа и выше.

3. Проведенное компьютерное моделирование процесса затвердевания металла для разработанной конструкции блока показало, что уже на 5 минуте на поверхности отливок образовывается минимально необходимая толщина корки металла для возможности осуществления технологического процесса газодинамического воздействия.

---

#### Литература

1. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / С.И. Репях. – Днепропетровск.: Лира, 2006. – 276 с.
2. Иванов В.Н. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов, С.А. Казеннов, Б.С. Кучман и др.; под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. - 3 изд., перераб. и доп. - М. Машиностроение, 1984. – 408с., ил.
3. Кондратьев Ю.П. Конструирование литых деталей и оснастки для литья по выплавляемым моделям / Ю.П. Кондратьев. – Ленинград.: Судпром ГИЗ, 1960. – 200 с.
4. Чернов Н.М. Литье алюминиевых заготовок по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением / Н.М. Чернов, А.И. Игнатов, В.Н. Гречко // Литейное производство. – 1995. – № 2. – С. 12 – 13.
5. Борисов Г.П. Давление в управлении литейными процессами / Г.П. Борисов. – Киев.: изд. Наук. Думка, 1988. – 272 с.
6. Ефимов В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия. – 1995. – 272 с.
7. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки / А.И. Вейник. – М.: Машгиз. – 1960. – 435 с.
8. Иванов В.Н. Контроль при литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов // Литейное производство. – 1993. – № 12. – С. 17 – 19.
9. Селівьорстов В.Ю. Використання технології газодинамічного впливу на розплав при литті по витоплюваним моделям / В.Ю. Селівьорстов, П.Д. Куц. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2010. – № 4 – С. 89 – 94.
10. Пат. 55301 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В., Куц П.Д., Савега Д.О. № u201006702; заявл. 31.05.2010, опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.
11. Селиверстов В.Ю. Особенности процесса герметизации отливки в форме ЛВМ для осуществления газодинамического воздействия / В.Ю. Селиверстов, П.Д. Куц. // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 5 – 6. – С. 95 – 98.