

УДК 621.74.02

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКРЫТЫХ ПРИБЫЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Федосов А.В.<sup>1</sup>**, к.т.н., доцент кафедры «Технологии формообразования и художественная обработка материалов» (fedosov-sol@mail.ru)

**Чумаченко Г.В.<sup>1</sup>**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технологии формообразования и художественная обработка материалов»

**Ходарев М.А.<sup>2</sup>**, главный специалист по чугунному литью

**Голомеев В.В.<sup>2</sup>**, ведущий инженер-технолог цеха чугунного литья

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет  
(344010, Россия, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

<sup>2</sup>ООО «Ростовский литейный завод»  
(344029, Россия, Ростов-на-Дону, ул. Менжинского, 2)

**Аннотация.** Проведен краткий анализ существующих методов уменьшения объема прибылей. Выделены их преимущества и недостатки. Обосновывается область применения методов оптимизации формы прибылей с целью увеличения выхода годного. Рассмотрено фактическое положение усадочных дефектов в прибылях различной конструкции. Отмечены закономерности расположения и формы усадочных раковин в зависимости от формы верхней части прибыли, что позволило выделить четыре группы прибылей и отметить отличия в эффективности их работы. Для уточнения механизма формирования усадочных дефектов в прибылях с различной формой верхней части и оценки эффективности их работы предложено использовать методы математического моделирования. Целесообразность применения методов математического моделирования подчеркивается возможностью идеализации внешних воздействующих факторов на тепловые процессы в форме, что труднодостижимо в фактических условиях литейного производства. В качестве среды моделирования использовалось приложение SOLIDCast. Начальные и граничные условия математического моделирования были идентичны для всех типов прибылей. Результаты прогноза усадочных дефектов представлены в виде изоповерхностей, размеры которых были положены в основу оценки эффективности работы прибыли. На основании результатов математического моделирования предложен подход к оценке эффективности тепловой работы прибылей различной конструкции. В основе оценки эффективности рекомендовано использовать характеристики положения усадочного дефекта в объеме прибылей. Продемонстрирован расчет эффективности применения прибылей равных габаритов, но с различной конструкцией верхней части. Предложенный показатель эффективности хорошо согласуется с геометрическим модулем (отношением объема к площади поверхности прибыли). Увеличение значения модуля прибыли увеличивает ее тепловую эффективность. Показано, что применение концентратора позволяет увеличить эффективность прибыли. На основании анализа изотермических линий в продольном сечении прибылей предложено объяснение механизма тепловой работы концентратора и его влияния на расположение усадочной раковины. Обосновываются рекомендации по увеличению выхода годного литья за счет изменения формы верхней части прибыли. Показана возможность увеличения выхода годного на 4 % и уменьшения брака отливок за счет оптимизации формы верхней части прибылей.

**Ключевые слова:** прибыль, усадка, сталь, отливка, усадочная раковина, выход годного, математическое моделирование.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2018-7-543-550

Основным методом компенсации объемной усадки стали и устранения усадочных дефектов из тела отливки является установка прибылей. Несмотря на то, что коэффициент объемной усадки стали имеет небольшие значения (2,7 – 3,0 %) [1], относительный расход металла на прибыли для фасонных отливок в среднем на порядок больше (20 – 55 %) [2 – 7], что, в свою очередь, существенно уменьшает значения одного из основных производственных показателей – выхода годного (ВГ). Поэтому мероприятия, направленные на увеличение эффективности работы прибылей, представляют несомненный интерес с позиции уменьшения издержек производства и себестоимости продукции.

Существует множество решений по улучшению эффективности работы прибылей, которые укрупненно можно разделить на три группы [2 – 8]: оптимизация геометрической формы прибыли; использование прибылей атмосферного и сверхатмосферного давления; теплоизоляция и экзотермический обогрев прибылей. Каждый из подходов имеет преимущества и недостатки, которые определяют их область применения.

Из перечисленных подходов наименьшее распространение получили прибыли атмосферного и сверхатмосферного давления. Причиной этому послужили снижение технологичности процесса изготовления форм и необходимость расчета, дозирования и контро-

ля материалов вставок, создающих повышенное давление на фоне относительно невысокой эффективности метода [2, 3, 9].

Применение экзотермических вставок, безусловно, является наиболее эффективным средством, позволяющим максимально увеличить значения выхода годного [10, 11]. Несмотря на некоторое увеличение трудоемкости процесса формовки за счет дополнительной операции установки экзотермических вставок и необходимость обеспечения условий их хранения, данная технология получила широкое распространение именно благодаря высокому коэффициенту использования металла, который в среднем составляет 30 – 40 % [11 – 13]. Однако основным недостатком экзотермических вставок является их стоимость. Таким образом, целесообразность применения экзотермических вставок будет оцениваться, исходя из баланса между стоимостью жидкого металла, который позволяет сэкономить вставка, и, собственно, ее стоимостью. Вполне вероятно, что при изготовлении малых и средних отливок из рядовых марок сталей на предприятиях с высокой серийностью производства будет существовать некоторый порог целесообразности применения экзотермических вставок. Фактически это приводит к тому, что применение обычных прибылей сохраняет свою актуальность как технологического решения, не требующего дополнительных затрат и увеличения трудоемкости процесса формовки. Поэтому работы по оптимизации геометрической формы прибылей, несмотря на минимальную эффективность, позволяют получить стабильный положительный экономический эффект и несомненно требуют отдельного внимания.

На сегодняшний день представленные в литературе рекомендации в основном касаются методов оптимизации размеров прибылей, их расположения и сечений питателей [14 – 17], а вопросу оптимизации формы прибылей, особенно ее верхней части, уделяется значительно меньше внимания. При этом на многих предприятиях, в том числе и на ООО «Ростовский литейный завод» (РЛЗ), параллельно может использоваться целый ряд прибылей с различной геометрической формой для питания подобных тепловых узлов. Причинами этому могут служить смена подходов и методов при проектировании технологии, опробование новых решений, поиск различных вариантов реализации технологии и т.д. При этом оценить эффективность применения прибылей с различной геометрией в производственном потоке очень сложно ввиду того, что коэффициент использования прибылей изменяется незначительно и его влияние может быть подавлено колебанием других технологических факторов процесса.

Таким образом, целью настоящей работы является разработка подхода, позволяющего оценить влияние геометрической формы прибылей на эффективность их применения, и выработка на его основе рекомендаций по уменьшению металлоемкости литниково-питающей системы.

По мнению авторов, основная сложность при решении поставленной цели заключается в небольшом уровне воздействия геометрической формы прибыли на величину ВГ, что затрудняет оценку эффекта в нестабильных производственных условиях. В таких случаях прибегают к использованию различных методов моделирования, которые позволяют стабилизировать входные и возмущающие параметры и зафиксировать результат. При выборе между физическими методами моделирования и математическими, на сегодняшний день большее предпочтение отдается последним. Непрерывное развитие программных комплексов для математического моделирования литейных процессов обеспечило значительный рост адекватности и уровня доверия к результатам прогнозирования, так что их применение становится неотъемлемой частью подготовки и оптимизации литейных технологий в современном производстве [18, 19]. Учитывая положительный опыт применения средств компьютерного моделирования как при отработке технологий производства отливок, так и в исследовательских работах [13], применение методов компьютерного моделирования является наиболее рациональным подходом при решении поставленной задачи.

В качестве среды моделирования в данной работе использовалось приложение SOLIDCast, решатель которого основан на методе конечных разностей. Данный метод использует регулярные расчетные сетки, что положительно сказывается на стабильности результатов расчета симметричных объемов, таких как прибыли. Как и во всех системах математического моделирования, при задании начальных условий в SOLIDCast возможно организовать идентичность входящих параметров. Таким образом, для всех экспериментов были установлены следующие условия: размер расчетной ячейки 1 мм<sup>3</sup>; материал сплава Ст35Л с температурой 1580 °С; материал формы – песчано-глинистая смесь с начальной температурой 20 °С. Единственным изменяемым параметром является геометрическая форма прибыли, что позволяет однозначно выявить ее влияние на протекание процесса кристаллизации и, как следствие, результирующие поля распределения материала.

Хорошо известно, что наименьшими тепловыми потерями обладает объем в форме шара, для которого геометрический модуль ( $M_G = V/S$ ) имеет максимальное значение. Однако применение прибылей такой формы в условиях машинной формовки с горизонтальной плоскостью разъема не всегда технологично. Кроме того, в условиях бокового питания прибыль должна обеспечивать определенное металлостатическое давление, а значит ее высота должна превышать высоту теплового узла. Так, широкое распространение получили цилиндрические прибыли с соотношением  $H/D$  более единицы и небольшими формовочными уклонами (2 – 5°). Вероятно, что простая цилиндрическая форма прибыли не является оптимальной в отношении ее те-

пловой эффективности, в связи с чем на практике, в том числе и на ООО «РЛЗ», используются различные альтернативные варианты геометрической конструкции прибылей. Можно выделить три направления, по которым производится оптимизация геометрии прибылей:

- увеличение геометрического модуля  $M_G$ ;
- выполнение в верхней части прибыли выемок различной конфигурации;
- комбинированный подход, объединяющий первые два.

В соответствии с первым подходом, верхнюю часть прибыли стараются выполнить в виде купола, что существенно уменьшает тепловые потери и увеличивает ее тепловую эффективность, однако не всегда фактические результаты применения таких прибылей соответствуют ожиданиям. В то же время, применение прибылей с выемками часто сопровождается улучшением и стабилизацией показателей качества, несмотря на то, что модуль  $M_G$  уменьшается. Если механизм воздействия в первом варианте очевиден, то во втором случае он значительно сложнее и требует более подробного анализа.

Выемка в верхней части прибыли в процессе формовки заполняется формовочной смесью, образуя болван – концентратор. При заполнении формы жидким металлом, концентратор оказывается погружен в него, благодаря чему разогревается сильнее, чем смесь вокруг прибыли. Таким образом, он выступает в роли «горячей точки», замедляющей затвердевание металла и формирование сплошной твердой оболочки, наличие которой является причиной образования разряжения внутри объема прибыли, ухудшающего условия питания отливки.

Для подтверждения высказанных предположений и количественной оценки эффективности применения прибылей с различной геометрической конфигурацией была проведена серия экспериментов. На первом этапе

осуществлен анализ формы и размеров фактических усадочных раковин, образующихся в прибылях различной конструкции. Фотографии сечений прибылей наиболее характерной формы представлены на рис. 1.

Из рис. 1 хорошо видно, что форма, размер и расположение усадочных раковин сильно отличаются в прибылях различной конфигурации, что, очевидно, сказывается на условиях питания тепловых узлов отливки. Способность прибыли обеспечивать питание может быть выражена отношением высоты нижней части прибыли, непораженной усадкой, к ее полной высоте ( $H/H_n$ ). В работе [13] это отношение называют «коэффициентом безопасности», выражающим надежность питания теплового узла. Относительная высота раковины ( $h_p/H_n$ ) отражает условия ее формирования и, как видно из рис. 1, может быть рассредоточенной или компактной.

Прибыли первых трех групп имеют рассредоточенные раковины. Основной особенностью этих раковин является то, что они изолированы внутри прибыли и не имеют выходных каналов наружу. Наименьшая толщина сплошной корки стали во всех трех группах отмечается в верхней части прибылей. В первой группе корка имеет максимальную толщину. Во второй группе раковина несколько смещена вверх. В прибылях третьей группы выполнен небольшой концентратор, благодаря которому толщина сплошной корки уменьшается. Однако, ввиду недостаточного его размера, раковина остается изолированной и рассредоточенной. Протяженность изолированных раковин приближается к половине общей высоты прибылей ( $h_p/H_p = 0,45 - 0,46$ ).

Среди рассмотренных сечений хорошим запасом по надежности питания обладают прибыли второй группы ( $H/H_n = 0,48$ ), имеющие куполообразную верхнюю часть, что, безусловно, увеличивает их тепловую эффективность. Прибыли первой и третьей групп имеют наиболее неблагоприятное расположение раковин

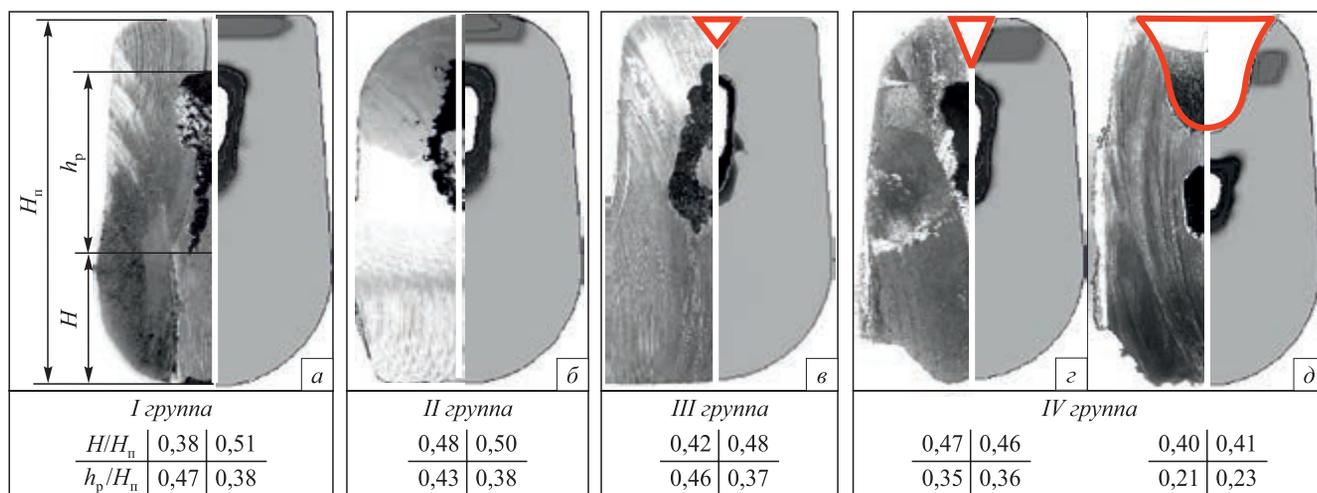


Рис. 1. Расположение усадочных раковин в прибылях различной формы

Fig. 1. Shrinkage cavities position in feeders of various design

( $H/H_{II} = 0,38 - 0,42$ ). Форма этих прибылей характеризуется развитой наружной поверхностью теплообмена, что способствует интенсивному росту твердой корки в верхней части прибыли, ранней изоляции усадочной раковины и ее смещению вниз.

Форма прибылей четвертой группы оптимизирована с применением комбинированного подхода. Усадочные раковины в этих прибылях компактные и имеют наименьшие размеры ( $h_p/H_{II} = 0,21 - 0,35$ ). Особенностью этих раковин является то, что они имеют выходящие наружу каналы, благодаря которым внутри раковины не формировалось разряжение. Кроме этого, отсутствие изоляции раковин благоприятно сказывается на удалении газов из литейной полости. Расположение раковин в прибылях четвертой группы сильно зависит от размеров концентратора ( $H/H_{II} = 0,40 - 0,47$ ). Увеличение высоты концентратора смещает раковину вниз к потенциально питаемому тепловому узлу, однако при этом уменьшается и сам размер раковины.

Сечения фактических прибылей были сопоставлены с результатами моделирования их виртуальных аналогов. Из рис. 1 также видно, что результаты моделирования хорошо повторяют тенденции, отмеченные при анализе раковин фактических прибылей. Однако следует отметить, что протяженность изолированных раковин фактических прибылей практически во всех случаях значительно больше, чем в их виртуальных аналогах. По мнению авторов, это связано с тем, что в реальных условиях размер изолированной раковины увеличивается за счет газов, выделяющихся при формировании отливки, что не может быть спрогнозировано в процессе математического моделирования. Существующие модели при расчете усадочных дефектов, как правило, оперируют только характеристиками усадки сплавов, поэтому в случаях формирования неизолированных раковин их расчетные размеры хорошо согласуются с фактическими. Таким образом, результаты моделирования демонстрируют хорошую адекватность с тепловой точки зрения и могут быть использованы для анализа закономерностей поведения усадочных раковин относительно изменений геометрии прибылей.

На втором этапе экспериментов оценивались закономерности влияния формы прибыли на расположение усадочной раковины. Для этого были проведены расчеты серии прибылей с одинаковыми габаритами, но различной формой. Прибыль простой цилиндрической формы (первая группа), обладающая наибольшим объемом, была принята за базовую точку, относительно которой представлены следующие результаты расчета: изменения объема ( $\Delta V$ ) и расположения ( $\Delta H$ ) раковины. Зависимость между этими данными показана на рис. 2. Рядом с расчетными точками представлен контур сечения соответствующей прибыли, благодаря чему можно наглядно оценить влияние формы прибылей на положение усадочных раковин и изменение их объемов.

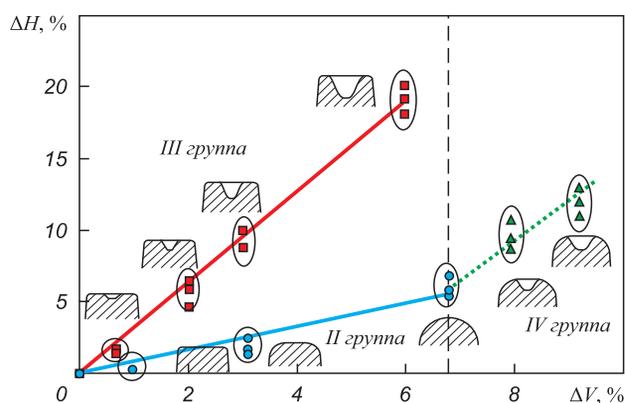


Рис. 2. Зависимость изменения расположения раковин  $\Delta H$  от величины относительного уменьшения объема прибылей

Fig. 2. Dependence of the change of shrinkage cavities position  $\Delta H$  on relative decrease of the feeder's volume

Начало координат графика (см. рис. 2) соответствует прибылям первой группы. Прибыли второй группы показывают наименьшую чувствительность расположения раковин при изменении их геометрии, и это вполне закономерно, поскольку в этом случае происходит увеличение модуля  $M_G$  и, соответственно, тепловой эффективности объема. Расположение раковин в прибылях третьей группы, в которых объем уменьшается за счет концентратора, значительно сильнее зависит от изменения геометрии, что неблагоприятно сказывается на эффективности работы прибылей. Так, если сравнивать эти две группы относительно одного значения  $\Delta V = 7\%$ , то для второй группы раковина сместится примерно на 5%, тогда как для третьей группы это изменение уже составит 20%.

Кроме точек, на графике отображена вертикальная пунктирная прямая, положение которой соответствует максимально возможному изменению объема прибыли (6,5 – 7,0%) посредством выполнения скруглений. Фактически, это является пределом для первого подхода по оптимизации объема прибыли, преодолеть который можно путем совмещения первого и второго подходов. Добавление небольших концентраторов к скругленным прибылям позволяет дополнительно уменьшить объем прибыли на 2 – 3%, но при этом избежать критического влияния на расположение раковин. Геометрия четвертой группы прибылей оптимизирована с помощью комбинированного подхода. Фактически, базовой точкой для них является прибыль с максимальным скруглением, относительно которой расчетные точки четвертой группы размещаются по прямой, подобно прибылям третьей группы. Таким образом, используя комбинированный подход, можно достичь уменьшения объема прибыли порядка 10% при изменении положения раковины на 12 – 13%. Насколько это оправданно и эффективно, можно судить только после приведения всех вариантов к одному базовому значению.



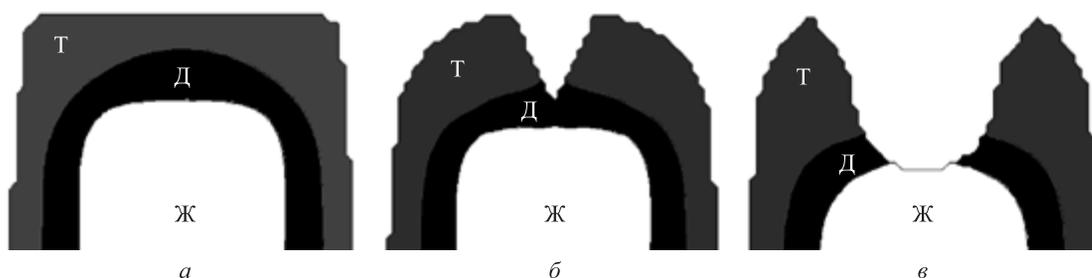


Рис. 4. Распределение фазового состава сплава по сечению прибылей через 2 мин от момента начала кристаллизации (Ж – жидкая фаза, Д – двухфазная область, Т – твердая фаза):  
а – без «концентратора»; б, в – с «концентратором»

Fig. 4. Distribution of the alloy's phase composition over the feeder's cross section after 2 minutes from crystallization start (Ж – liquid phase, Д – two-phase region, Т – solid phase):  
а – with notch; б – without notch

часть затвердевающего металла практически с самого начала процесса кристаллизации. Температура формовочной смеси на границе раздела (для условий моделирования) не поднимается выше 1280 °С, причем нагрев смеси происходит равномерно по всему периметру прибыли.

На рис. 4, б представлено сечение прибыли с конусным концентратором среднего размера, из которого видно, что часть формовочной смеси на пике концентратора контактирует с двухфазной зоной сплава. Таким образом, в отличие от первого варианта, в этой прибыли сохраняется возможность выравнивания давления внутри затвердевающего объема с атмосферным, что способствует формированию компактной усадочной раковины. Температура смеси в пике концентратора очень быстро достигает значений, близких к температуре плавления сплава (1486 °С), благодаря чему тепловой градиент в этой точке и скорость кристаллизации резко снижаются. Поскольку теплопроводность формовочной смеси более, чем на порядок ниже теплопроводности железоуглеродистых сплавов при сопоставимом уровне теплоемкости, этот небольшой объем формовочной смеси надолго остается «горячей точкой», существенно замедляющей кристаллизацию сплава. При наличии конвективных потоков происходит обновление металла вокруг «горячей точки», что в итоге будет способствовать концентрации последних объемов горячего металла и усадочной раковины именно в области пика концентратора. Однако следует учитывать и тот факт, что нагрев смеси концентратора требует дополнительного теплоотвода, вследствие которого скорость роста твердой фазы сверху прибыли возрастает и, как это видно из рис. 4, б, толщина твердой корки в верхней части прибыли становится заметно больше, чем в первом случае. Это способствует перемещению усадочного дефекта вниз. Так, выполнение концентратора приводит к появлению двух факторов, воздействующих на положение усадочного дефекта в разных направлениях, баланс между которыми и будет определять итоговое расположение раковины.

Сечение прибыли с концентратором большого размера представлено на рис. 4, в. В этом случае прилизительно треть поверхности формовочной смеси концентратора контактирует с жидкой фазой. В таких условиях значительно улучшаются условия удаления газов из затвердевающей отливки и увеличивается вероятность формирования компактной, неизолированной усадочной раковины. Также наблюдается разогрев смеси на пике концентратора, хотя и не такой большой, как во втором варианте (1450 °С). Уменьшение интенсивности нагрева концентратора связано с увеличением его массы, это же приводит к усиленному охлаждению металла в верхней части прибыли и большему смещению раковины вниз. Таким образом, в третьем варианте формируется наиболее компактная раковина, но при этом сильно смещенная вниз прибыли.

Представленный анализ хорошо подтверждает сделанные выше предположения о механизме работы концентратора, что позволяет определить основные цели при его проектировании:

- формирование компактной усадочной раковины минимальных размеров;
- максимальное время и площадь контакта формовочной смеси с жидкой фазой прибыли;
- минимизация объема прибыли.

Достижение экстремумов по этим параметрам позволяет обеспечить максимальную эффективность работы прибыли.

На практике, при выборе формы и размера концентратора, следует учитывать ограничения, связанные с особенностями получения болванов при различных способах формовки и возможностью применения других технологических приемов, например стержней атмосферного давления [20]. Поэтому оптимальная форма и размер концентратора для разных технологий формовки могут существенно отличаться. Тем не менее, предложенный выше подход и критерии могут быть использованы для определения формы прибыли, характеризующейся максимальной эффективностью. Так, на базе ООО «РЛЗ» были реализованы рекоменда-

ции по изменению конструкции прибылей для отливок «обойма», изготавливаемых по технологии промышленного и гражданского строительства. Это позволило, без привлечения дополнительных средств и снижения производительности и технологичности процесса формовки, увеличить выход годного на 4 %. Кроме того, применение прибылей с концентратором позволило в два раза снизить объем внешнего брака за счет практически полного исключения из него газовых раковин.

**Выводы.** Предложен подход по оценке эффективности применения прибылей на основе данных об изменении их объема при заданных условиях расположения усачных раковин, позволяющий определить оптимальную геометрическую форму прибыли.

В процессе анализа механизма тепловой работы концентратора сформулированы три основные цели его проектирования, обеспечение которых позволяет получить максимальную эффективность работы прибыли.

Разработка рекомендаций на основе предложенного подхода и их внедрение в производство ООО «РЛЗ» позволили подтвердить основные положения работы на базе производства стальных отливок «обойма» и получить увеличение выхода годного на 4 % и уменьшение объема внешнего брака в два раза.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. Нехендзи Ю.А. Стальное литье. – М.: Металлургиздат, 1948. – 768 с.
3. Василевский П.Ф. Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. – 406 с.
4. Производство стальных отливок: Учебник для вузов / Л.Я. Козлов, В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин и др. / Под ред. Л.Я. Козлова. – М.: Изд-во МИСиС, 2003. – 351 с.
5. Campbell J. Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Techniques and Design. 1st edition. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2011. – 1220 p.
6. Справочник литейщика / Под. ред. Н.Н. Рубцова. – М.: Машгиз, 1962. – 611 с.
7. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
8. Дубинин Н.П. Стальное литье: Справочник для мастеров литейного производства. – М.: Машгиз, 1961. – 887 с.
9. Гуляев Б.Б. Литейные процессы. – М.: Машгиз, 1960. – 416 с.
10. Гацуро В.М., Вовся С.А. Применение экзотермических вставок при производстве стального литья – путь к экономии // Литье и металлургия. 2008. № 2 (46). С. 131 – 133.
11. Сошкин В.Е., Молодых Л.А. Улучшение качества литья при применении экзотермических вставок // Литейщик России. 2013. № 6. С. 12 – 14.
12. Кукуй Д.М., Фасевич Ю.Н., Турок А.И. Влияние вида наполнителя на прочностные и теплофизические свойства экзотермических смесей // Литье и металлургия. 2010. № 3 (57). С. 125 – 127.
13. Williams T.J., Hardin R.A., Beckermann C. Thermophysical properties and performance of riser sleeves for steel castings // Inter Metalcast. 2016. Vol. 10. No. 4. P. 535 – 555.
14. Kamble B.S. etc. Optimization & experimental validation of feeding system for steel casting using traditional and simulation technique-a case study // IRJET. 2016. Vol. 3. No. 6. P. 1684 – 1689.
15. Perzyk M. etc. Optimization of side feeders systems by means of simulation of solidification // Archives of Foundry Engineering. 2015. Vol. 15. No.1. P. 69 – 74.
16. Sutaria M. etc. Automatic optimization of casting feeders using feed-paths generated by VEM // ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2011. P. 137 – 146.
17. Morthland T.E. etc. Optimal riser design for metal castings // MMTB. 1995. Vol. 26. No. 4. P. 871 – 885.
18. Монастырский А.В. О современных методах разработки и оптимизации технологических процессов в литейном производстве // Литейное производство. 2010. № 5. С. 19 – 22.
19. Ваченко А.С., Жокин А.В. Математическое моделирование как инструмент технолога-литейщика // Литейное производство. 2015. № 3. С. 30 – 32.
20. Варианты исполнения (типоразмеры) экзотермических вставок [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.beltl.ru/materiali\\_vstavka\\_ekzotermicheskaia-var.php](http://www.beltl.ru/materiali_vstavka_ekzotermicheskaia-var.php) (Дата обращения: 15.04.2018).

Поступила 17 ноября 2016 г.

---

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 7, PP. 543–550.

---

### ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING BLIND FEEDERS OF VARIOUS GEOMETRY BASED ON MATHEMATICAL SIMULATION RESULTS

*A.V. Fedosov<sup>1</sup>, G.V. Chumachenko<sup>1</sup>, M.A. Khodarev<sup>2</sup>, V.V. Golomeev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup> LLC “The Rostov Foundry”, Rostov-on-Don, Russia

**Abstract.** A short analysis of existing methods for reducing the feeders' volume is carried out. Their advantages and disadvantages are singled out. The area of application of optimization methods of the feeders' form is substantiated with the purpose of increasing the casting yield. The actual location of shrinkage defects in variously designed feeders is considered. The patterns of location and shape of shrinkage cavity are shown depending on the shape of the feeder upper section. This allowed to distinguish four groups of feeders and noted the differences in the effectiveness of their work. To clarify the mechanism of shrinkage defects formation in feeders with a different form of the upper

section and to estimate the effectiveness of their work, it is proposed to use methods of mathematical modeling. The appropriateness of using mathematical modeling methods is emphasized, by means of the possibility of idealizing external influencing factors on thermal processes in the form that is difficult to achieve in real conditions of foundry production. The SOLIDCast application is used as the modeling means. The initial and boundary conditions for mathematical modeling were identical for all types of feeders. The results of the shrinkage cavities prediction are presented as isosurfaces diagrams, the sizes were used for estimation of the feeders work efficiency. The method of estimation of variously designed feeders' effectiveness is proposed on the basis of mathematical modeling results. Characteristics of shrinkage defects location in feeders' volume are proposed to use for estimation of feeder's effectiveness. Its calculation for the feeders of equal size but having differently designed top part is shown. The introduced efficiency index has a good adjustment with geometric module (ratio

between volume and surface of feeder). Increasing feeder's geometric module increases its thermal efficiency. It is shown that the use of a notch allows to increase feeder's efficiency. The explanation of mechanism of notch thermal behavior and its influence on shrinkage defects location is offered on the basis of analysis of isothermal lines in feeders' cross section. Recommendations towards maximization of casting yield are substantiated due to the change in feeder top part design. The opportunity of increasing of casting yield up to 4% and reducing casting defects by optimization feeder's upper section shape is shown.

**Keywords:** feeder, shrinkage, steel, casting, shrinkage cavity, casting yield, mathematical modeling.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2018-7-543-550

## REFERENCES

1. Efimov V.A. *Razlivka i kristallizatsiya stali* [Casting and crystallization of steel]. Moscow: Metallurgiya, 1976, 552 p. (In Russ.).
2. Nekhendzi Yu.A. *Stal'noe lit'e* [Steel castings]. Moscow: Metallurgizdat, 1948, 768 p. (In Russ.).
3. Vasilevskii P.F. *Tekhnologiya stal'nogo lit'ya* [Technology of steel casting]. Moscow: Mashinostroenie, 1974, 406 p. (In Russ.).
4. Kozlov L.Ya., Kolokol'tsev V.M., Vdovin K.N. etc. *Proizvodstvo stal'nykh otlivok* [Production of steel castings]. Moscow: MISIS, 2003, 351 p. (In Russ.).
5. Campbell J. *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Techniques and Design*. 1st edition. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2011, 1220 p.
6. Rubtsov N.N. *Spravochnik liteishchika* [Caster's guide]. Rubtsov N.N. ed. Moscow: Mashgiz, 1962, 611 p. (In Russ.).
7. Gulyaev B.B. *Teoriya liteinykh protsessov. Ucheb. posobie dlya vuzov* [Theory of foundry processes. Textbook for universities]. Leningrad: Mashinostroenie, 1976, 216 p. (In Russ.).
8. Dubinin N.P. *Stal'noe lit'e: spravochnik dlya masterov liteinogo proizvodstva* [Steel casting: a guide for foundry masters]. Moscow: Mashgiz, 1961, 887 p. (In Russ.).
9. Gulyaev B.B. *Liteinye protsessy* [Foundry processes]. Moscow: Mashgiz, 1960, 416 p. (In Russ.).
10. Gatsuro V.M., Vovsya S.A. Application of exothermic plugs at production of steel casting as the way to economy. *Lit'e i metallurgiya*. 2008, vol. 46, no. 2, pp. 131–133. (In Russ.).
11. Soshkin V.E., Molodykh L.A. Increase of castings quality while applying exothermal inserts. *Liteishchik Rossii*. 2013, no. 6, pp. 12–14. (In Russ.).
12. Kukui D.M., Fasevich Yu.N., Turok A.I. Influence of the filler type on strength and thermal properties of exothermic mixtures. *Lit'e i metallurgiya*. 2010, vol. 57, no. 3, pp. 125–127. (In Russ.).
13. Williams T.J., Hardin R.A., Beckermann C. Thermophysical properties and performance of riser sleeves for steel castings. *Inter Metalcast*. 2016, vol. 10, no. 4, pp. 535–555.
14. Kamble B.S. etc. Optimization & experimental validation of feeding system for steel casting using traditional and simulation technique—a case study. *IRJET*. 2016, vol. 3, no. 6, pp. 1684–1689.
15. Perzyk M. etc. Optimization of side feeders systems by means of simulation of solidification. *Archives of Foundry Engineering*. 2015, vol. 15, no. 1, pp. 69–74.
16. Sutaria M. etc. Automatic optimization of casting feeders using feed-paths generated by VEM. *ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers*, 2011. pp. 137–146.
17. Morthland T.E. etc. Optimal riser design for metal castings. *MMTB*. 1995, vol. 26, no. 4, pp. 871–885.
18. Monastyrskii A.V. Modern methods of developing and optimizing the manufacturing processes in foundry industry. *Liteinoe proizvodstvo*. 2010, no. 5, pp. 19–22. (In Russ.).
19. Vachenko A.S., Zhokin A.V. Mathematical simulation as the tool of the technologist-caster. *Liteinoe proizvodstvo*. 2015, no. 3, pp. 30–32. (In Russ.).
20. *Varianty ispolneniya (tiporazmery) ekzotermicheskikh vstavok* [Variants of design (size) of exothermic inserts]. Electronic resource. Available at URL: [http://www.beltl.ru/materiali\\_vstavka\\_ekzotermicheskaja-var.php](http://www.beltl.ru/materiali_vstavka_ekzotermicheskaja-var.php) (Accessed 15.04.2018). (In Russ.).

## Information about the authors:

*A.V. Fedosov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Molding and Art Materials Processing” ( fedosov-sol@mail.ru)*

*G.V. Chumachenko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Chair “Molding and Art Materials Processing”*

*M.A. Khodarev, Chief Specialist of Cast Iron Casting*

*V.V. Golomeev, Senior Engineer-Technologist of Iron Casting Shop*

Received November 17, 2016