

**А. В. Дудченко, Н. И. Тарасевич\*, И. Н. Примак \***

ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», Краматорск

\*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## Особенности заполнения формы крупной стальной отливки с использованием этажной литниковой системы с обратным стояком

Приведены результаты исследований, раскрывающие характер скоростных режимов заливки крупной стальной отливки с использованием этажной литниковой системы с обратным стояком. Установлены оптимальные условия заливки применительно к указанному типу литниковой системы.

**Ключевые слова:** обратный стояк, литье, отливки, математическое моделирование, гидродинамика

Освоение технологического процесса изготовления крупного стального литья с применением различных способов формообразования на основе холоднотвердеющих смесей (ХТС) невозможно без использования скоростного режима заполнения форм металлом. В связи с этим провели комплекс исследований, направленных на выявление гидродинамических особенностей работы литниковой системы (ЛС) с обратным стояком для условий скоростного заполнения форм, с использованием метода компьютерного моделирования в программном пакете «MagmaSoft» v. 4.4.

Оценочными параметрами для указанного типа ЛС являлись качественные и количественные пока-

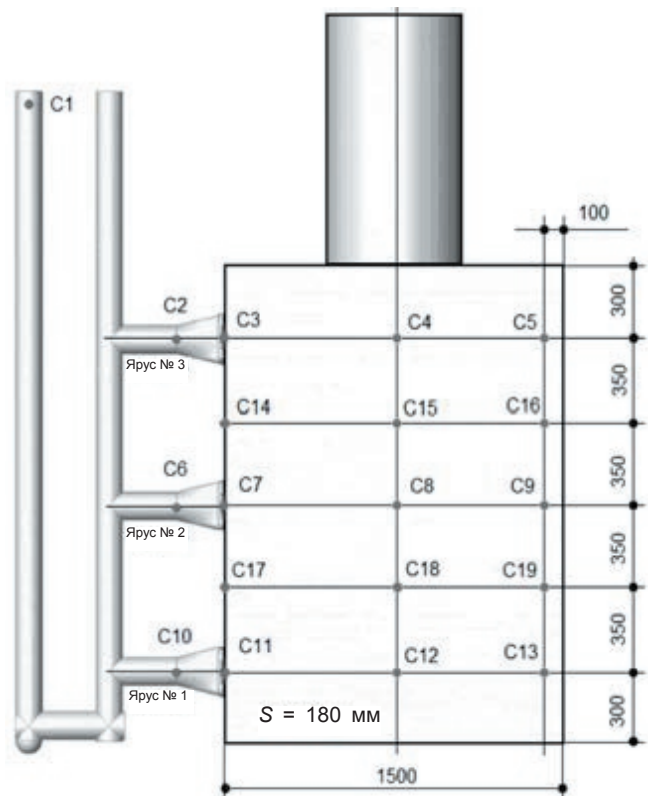
затели (распределение полей скоростей и температур; характер движения гидродинамических потоков и др.). Визуализацию процессов, происходящих в ЛС и форме, выполняли с помощью соответствующих цветовых шкал, отображающих численные значения критериев.

В качестве объекта исследования приняли опытную отливку «Плита» с размерами (Д×Ш×В): 1500×180×2000 мм. Особенности процесса изучали при четырех скоростных режимах заливки металла в форму: 30, 60, 90 и 120 с. Масса жидкого металла отливки составляла 7164 кг.

Подвод металла в отливку осуществляли через три щелевых питателя, применяемых на «НКМЗ», расширяющуюся ЛС при постоянном значении расхода на протяжении всего периода заливки. Для детальной оценки значений скорости металла в отдельных точках ЛС и формы установили виртуальные датчики, расположение которых представлено на рис. 1. Расходные характеристики ЛС приведены в таблице.

Включение в состав ЛС дополнительного технологического элемента – обратного стояка оказывает существенное влияние (в отличие от прямого [4]) на характер гидравлических и гидродинамических процессов, происходящих в форме при заливке.

На рис. 2 приведена гидродинамическая картина при заполнении формы на 10, 30, 60 и 100 % для 4-х скоростей заливки. При низкой скорости заливки (время заполнения формы – 90 с и более) 10 % объема отливки заполнялось за счет поступления металла из нижнего и среднего питателей. Из-за удара струи



**Рис. 1.** Схема расположения виртуальных датчиков при моделировании заполнения формы

### Величина расхода металла при заливке

Время заливки $\tau$ , с	Скорость заливки, кг/с	Скорость подъема металла в форме, мм/с
30	239	111
60	119	55
90	80	36
120	60	27

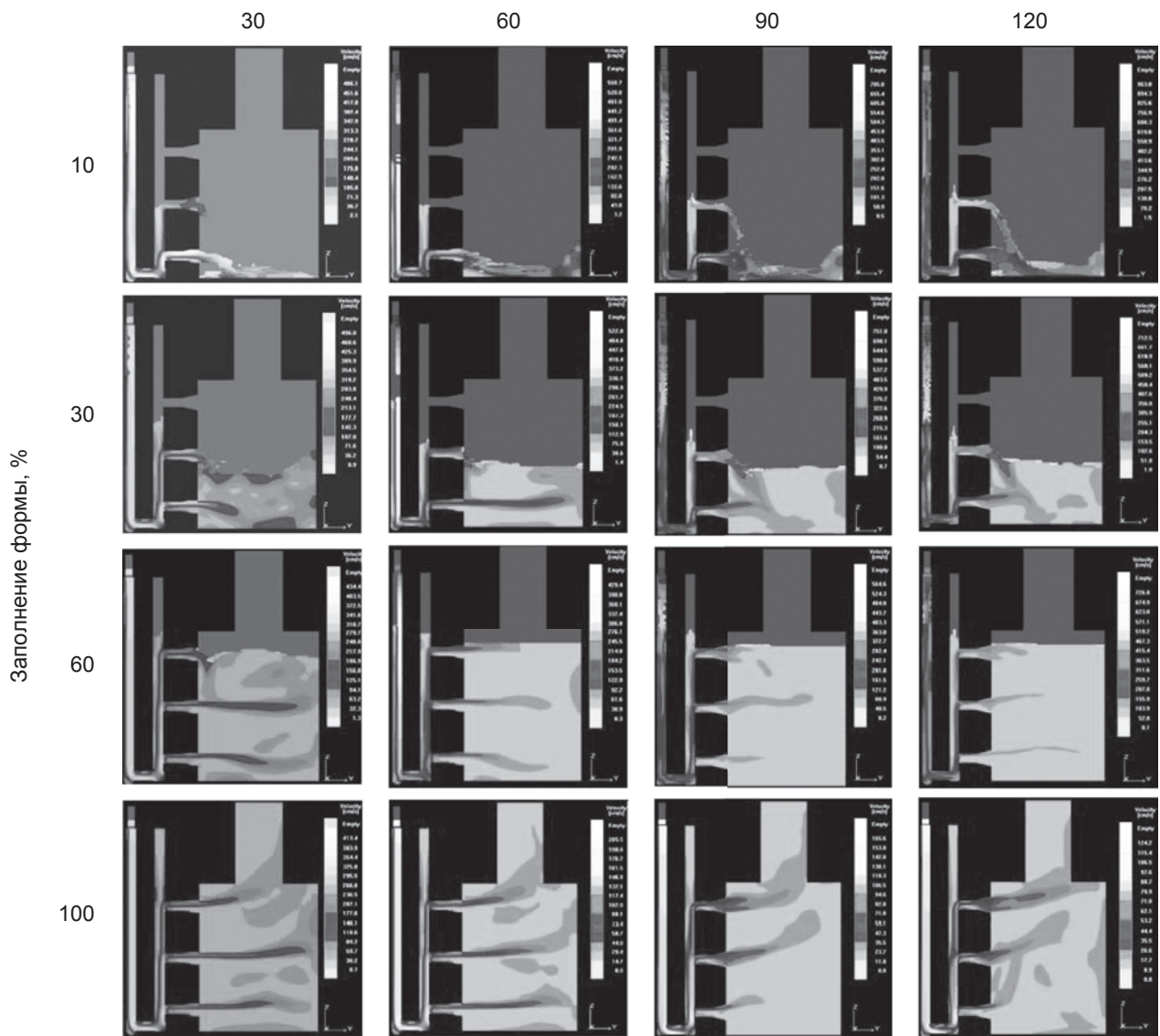


Рис. 2. Поля скоростей металла при разном уровне заполнения формы через обратный стояк

поступающего металла о противоположную стенку наблюдали повышение мениска жидкого металла в этой области. Падение струи жидкого металла из среднего питателя приводило к возмущению свободной поверхности с концентрацией высоких скоростей движения металла в турбулентном режиме в зоне нижнего питателя.

Вследствие увеличения скорости заполнения формы заполнение 10 % объема отливки происходило преимущественно через нижний питатель. При этом увеличивалась скорость турбулентных потоков со стороны заливки и снижалась скорость ударной струи у противоположной стенки. Свободная поверхность приобретала более сглаженную форму.

Анализ поля скоростей при заполнении формы жидким металлом на 30 % свидетельствует о том, что струя металла, поступающего со второго питателя, гасит скорость струи металла, поступающего с нижнего питателя, а это приводит к снижению средней скорости жидкого металла в заливаемом объеме. Увеличение скоростного режима заливки приводит к возрастанию скорости струи жидкого металла, поступающего с нижнего и среднего пита-

лей, и снижению степени их взаимного влияния. Путь затопленной струи приобретает направленный горизонтальный характер.

В процессе заполнения формы наблюдали снижение скорости потоков жидкого металла у противоположной стенки формы, что обуславливало снижение отрицательного влияния ударной волны на стенку формы. Подключение верхнего питателя приводило к интенсификации вихревых потоков в области прибыли.

При заливке в течение 30 и 60 с можно выделить два периода существования свободной поверхности – в виде параболы (до достижения металлом уровня третьего питателя) и плоскости (в оставшийся период времени). Образования значительной по величине ударной волны не происходит.

На втором этапе заливки работают все питатели одновременно. Время поступления металла через питатель второго яруса находится в обратной зависимости от скорости заливки. По-видимому, это является следствием того, что величина гидравлического сопротивления находится в прямой зависимости от напора металла в ЛС. При движении расплава

в форму через питатель третьего яруса наблюдалось явление автомоделности гидравлического режима.

В процессе заливки уровень металла в обратном стояке достигал питателя второго яруса в самом начале заливки и мало изменялся до достижения основным металлом этой отметки. Питатель второго яруса оказывался полностью заполненным намного раньше момента достижения уровня металла в форме его отметки. Третий ярус питателя начинал функционировать практически одновременно с подъемом уровня металла до его высоты, что характерно для всех четырех случаев заливки.

Высота заполнения металлом прямого стояка при данной схеме заливки находится в прямой пропорциональной зависимости от массового расхода металла и достигает своего максимума при наиболее быстрой заливке. При всех режимах заливки после заполнения 2/3 формы уровни металла в стояках выравниваются.

Для изучения векторного поля перемещения металла в форме и ЛС отливки использована шкала «Age» (время существования пробной частицы, с) критерия «Tracers» (рис. 3). При этом отметили, что

процесс заполнения формы сопровождался формированием многочисленных крупных и мелких вихревых зон, отличающихся высокой стабильностью существования. Порции металла, находившиеся в различных частях отливки в момент зарождения вихревого движения, оставались внутри этих областей, совершая, в основном, лишь вращательное движение. По мере подъема уровня металла в форме возникало явление его циркуляции в пределах отдельно взятого питателя, но без абсолютного снижения пропускной способности, как в случае с прямым стояком [4]. Металл поступал в отливку через верхнюю часть питателя, а в центральной и нижней частях канала происходило образование вихря. Такая ситуация характерна для питателей первого и второго ярусов (кроме варианта заливки в течение 120 с) и не наблюдалась в питателе третьего яруса (рис. 4).

При поступлении в форму поток разделялся: большая часть металла вовлекалась во вращательное движение, поднимаясь в промежутке между рассматриваемым и вышестоящим питателями, а меньшая (10-20 %) – опускалась вниз, также участвуя во вращательном движении.

С увеличением скорости заливки наблюдалось

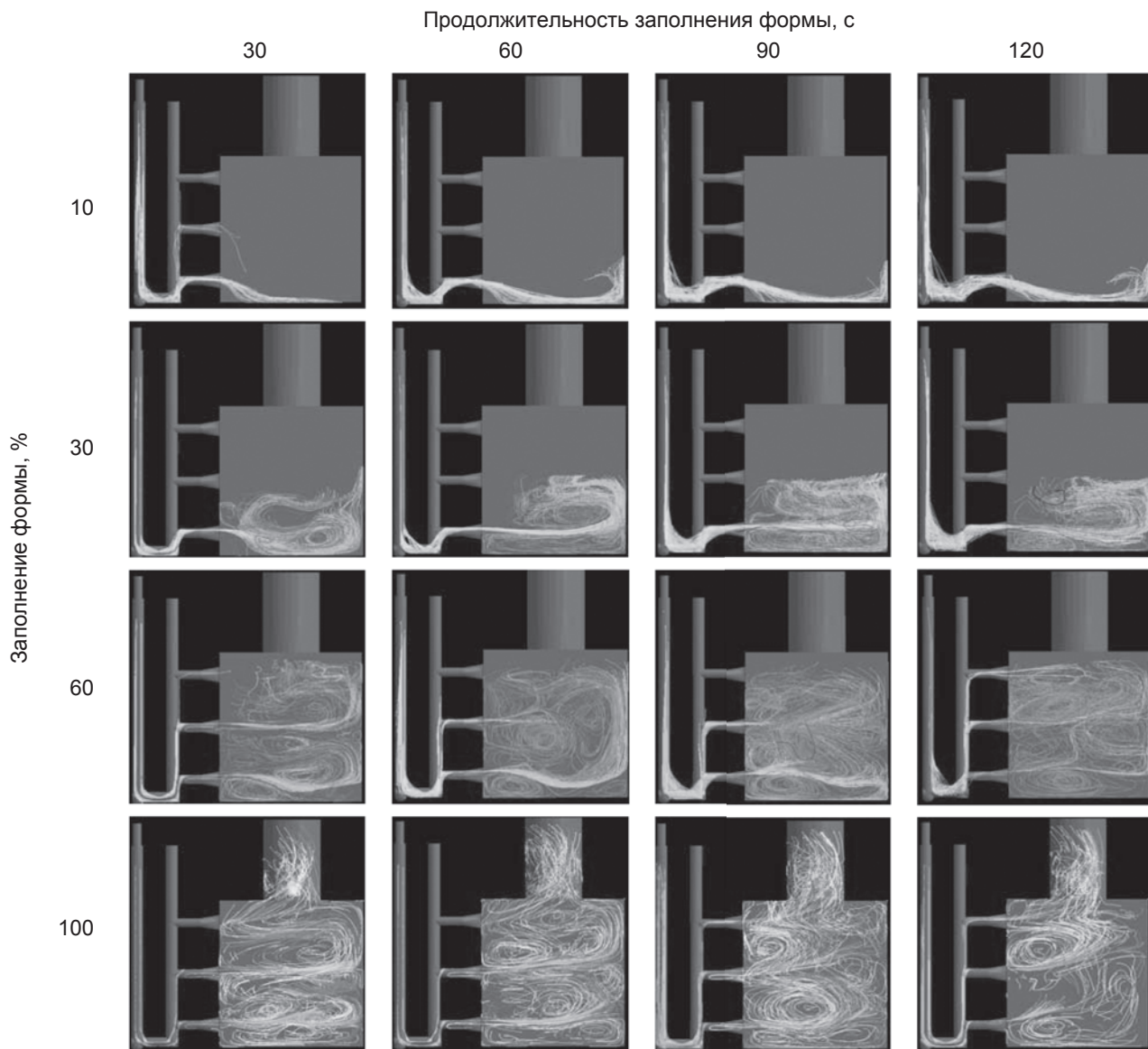


Рис. 3. Поле траекторий перемещения пробных частиц при разном уровне заполнения формы через обратный стояк



увеличение скорости движения потоков металла. Кроме того, более выраженным становилось канальное течение, повышалась вероятность захвата неметаллических включений в области вращательного движения расплава. Для рассматриваемой схемы заливки инжекции металла обратно в ЛС практически не наблюдалось.

Согласно данным критерия «Age», а также критерия «Flow» («поле потоков»), значительная часть металла, находящегося в прибыли, поступала в полость формы на конечных стадиях ее заполнения. При одновременной работе всех питателей у потоков металла наблюдался восходящий характер по направлению к прибыли. Свободная поверхность металла («зеркало») была менее развита, чем при заливке через прямой стояк.

Для рассматриваемого типа ЛС в первую очередь следует отметить удовлетворительные характеристики движения потоков металла в целом и положительные показатели работы каждого отдельно взятого питателя. Кроме того, при таком подводе металла в форму функционируют все три яруса питателей ЛС, хотя присутствует нарушение временного диапазона их включения и отключения. Повторный захват металла в ЛС практически отсутствует. Траектория перемещения потоков в форме значительно усложнена, существенно изменяясь с течением времени. Металл перемешивается интенсивнее. Также актуальна проблема преждевременного включения питателя второго яруса и постепенного увеличения интенсивности выбросов металла с уменьшением времени заливки, что подтверждают ранее полученные данные [1], [2] и др. Указанные явления находятся в определенной зависимости от скорости заполнения формы.

Особенность ЛС такого типа – ярко выраженное канальное течение. С точки зрения затухания скорости движения металла, оптимальным следует считать вариант наиболее медленной заливки (за 120 с). При этом потоки металла из питателей вырождаются уже в центральной части отливки. В остальных случаях четкой закономерности между скоростью заливки и расстоянием, на котором происходит затухание потоков металла из питателей, выявить не удалось. В большинстве случаев металл достигает противоположной стенки отливки при скорости более 0,2 м/с. Максимальная и минимальная скорость металла на выходе из питателя для ярусов 1-3 составляет, м/с: 0,1/2,8 – 0,2/2,7 – 0,4/1,8 соответственно.

Обобщение полученных при исследовании данных по рассматриваемому типу ЛС дает возможность сделать следующие выводы: интенсивность вихреобразования при использовании ЛС с обратным стояком определяется скоростью поступления металла из ковша, а также наблюдается образование многочисленных мелких зон с малой интенсивностью циркуляции, причем эти зоны, как правило, неподвижны, начиная от момента зарождения и вплоть до окончания заливки. Разница температур в локальных местах образования завихрений, по сравнению с остальным объемом металла, составляет около 10 °С.

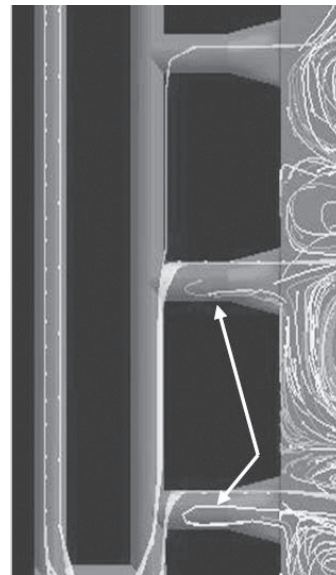


Рис. 4. Возникновение явления циркуляции в первом и втором ярусах питателей и отжим струи металла вверх

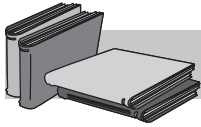
Значительное влияние на работу питателя при четырех рассмотренных величинах расхода оказывает воздействие «транзитного» потока металла, омывающего в перпендикулярном направлении плоскость щели питателя. В свою очередь, воздействие инвертированной струи металла, истекающей из питателя, также оказывает влияние на циркуляционные потоки в полости формы. Во второй части периода заливки, даже при наиболее быстрых вариантах заполнения формы, наблюдалась стабилизация свободной поверхности металла, что способствовало всплытию неметаллических включений и снижению интенсивности вторичного окисления металла. Однако наличие зон вращательного движения расплава вызывало захват и удержание неметаллических включений в различных частях формы еще с первой половины времени заливки формы.

Важной проблемой ЛС с обратным стояком считают выброс металла через питатель второго яруса. При этом интенсивность поступления металла через второй ярус ЛС возрастает при снижении скорости заливки формы.

Образование вихрей в питателе отрицательно сказывается на пропускной способности ЛС и снижает ее коэффициент полезного действия [3]. Возникает нерациональное использование энергии потока металла, уменьшается площадь живого сечения питателя. Поступление в прибыльную область отливки более горячего металла из питателя третьего яруса способствует оптимизации температурного градиента отливки.

## Выводы

Таким образом, работу ЛС с обратным стояком следует считать удовлетворительной при длительности заливки не менее 120 с (60 кг/с), когда канальное течение металла выражено слабо, и он интенсивно перемешивается по всей высоте отливки. Иными словами, рекомендуемая скорость подъема металла в форме для данного типа ЛС не должна превышать величины 20 мм/с.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Василевский П. Ф.* Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.
2. *Голод В. М., Денисов В. А.* Теория, компьютерный анализ и технология стального литья. – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2007. – 610 с.
3. *Романов А. С., Леушин И. О.* Функционально-модульная литниковая система с применением физических эффектов гидравлической природы. – Литейщик России. – 2011. – № 12.
4. *Дудченко А. В., Тарасевич Н. И., Примак И. Н.* Особенности заполнения формы крупной стальной отливки с использованием этажной литниковой системы с прямым стояком. – Металл и литье Украины. – 2013. – № 3. – С. 16-20.

### Анотація

*Дудченко А. В., Тарасевич М. І., Примак І. М.*

Особливості заповнення форми крупного сталевих виливка з використанням ярусної ливникової системи із зворотним стояком

*Наведено результати досліджень, які розкривають характер швидкісних режимів заливки крупних сталевих виливків з використанням ярусної ливникової системи зі зворотним стояком. Встановлено оптимальні умови заливки щодо вказаного типу ливникової системи.*

### Ключові слова

*зворотний стояк, лиття, виливки, математичне моделювання, гідродинаміка*

### Summary

*Dudchenko A. V., Tarasevich N. I., Prymak I. N.*

Peculiarities of filling a mold for large steel casting in a storied gating system with a return riser

*The results of investigations that explore the character of speed rates of large castings pouring in a storied gating system with a return riser are given. There are defined the optimal by pouring speed limits of feasibility of the gating system with a return riser.*

### Keywords

*return riser, founding, castings, mathematical modeling, hydrodynamics*

Поступила 24.04.13

**К сведению читателей и подписчиков!**

**Телефон редакции**

журнала «Металл и литье Украины»:

**(044) 424-04-10**