

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

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 прямым стояком

Приведены результаты исследований, раскрывающие характер скоростных режимов заливки крупной стальной отливки с использованием этажной литниковой системы с прямым стояком. Установлены оптимальные, по скоростным параметрам заливки, пределы применимости литниковой системы с прямым стояком.

Ключевые слова: прямой стояк, литье, крупные отливки, математическое моделирование, гидродинамика

Анализ современного состояния литейных технологий в области изготовления крупных стальных отливок единичного производства показывает, что с целью получения качественного по размерной точности стального литья с минимальным содержанием дефектов все более широкое развитие получает технология скоростной (до 35 и более тонн в минуту) заливки форм, изготовленных из холодно-твердеющих смесей (ХТС). При этом масса отливок достигает 200 и более тонн. Ключевым фактором, оказывающим влияние на качество отливки, становится линейная скорость истечения металла из питателей, которая может привести к размыву участков формы и стержней, расположенных напротив питателя, и, как следствие, к эрозии, засорам и пригару.

В отечественных литературных источниках информация об исследованиях скоростной заливки крупного стального литья носит отрывочный характер. За рубежом эти данные классифицируются как ноу-хау и широкой огласке не предаются. За последние годы наиболее значимой работой в этой области, по нашему мнению, следует считать монографию В. В. Назаратина [1], в которой системно рассмотрены проблемы изготовления крупного стального литья ответственного назначения. При этом необходимо заметить, что в вышеупомянутой работе малоизученными остаются вопросы исследования гидродинамических особенностей скоростной заливки, распределения потоков и теплофизических параметров скоростного заполнения форм.

При освоении технологического процесса изготовления литья с применением ХТС на ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (НКМЗ) проведен комплекс исследований, направленных на выявление гидродинамических особенностей работы литниковых систем различных конструкций и выбор оптимальной схемы заливки для условий скоростного заполнения форм. Исследования проводили с использованием метода компьютерного моделирования в программной среде MagmaSoft 4.4.

В настоящей работе рассматривается заливка крупных стальных отливок с использованием этажной литниковой системы с прямым стояком для различных скоростных режимов заполнения формы.

В качестве оценочных параметров для перечисленных методов заливки использовали качественные и количественные показатели (распределение полей скоростей и температур, характер движения гидравлических потоков и др.) Визуализация происходящих процессов выполнялась с помощью соответствующих цветовых шкал, отображающих численные значения критериев.

Компьютерное моделирование процесса заполнения формы выполняли на опытной отливке «Плита» с размерами Д×Ш×В: 1500×180×2000 мм при четырех скоростных режимах поступления металла в форму – 30, 60, 90 и 120 с. Масса жидкого металла отливки составила 6900 кг.

Подвод металла в отливку осуществляли через три целевых питателя конструкции, применяемой на НКМЗ, расширяющуюся литниковую систему и при постоянном значении расхода на протяжении всего периода заливки. Для более достоверной оценки значений скорости металла в отдельных точках литниковой системы и формы установили виртуальные датчики согласно схеме на рис. 1. Расходные характеристики литниковой системы приведены в табл. 1.

На рис. 2 представлена гидродинамика жидкого металла при заполнении формы на 10, 30, 60 и 100 % при различной скорости заливки. При заливке в течение 120 с скорость заполнения формы небольшая. 10 % объема заполнено за счет поступления металла из нижнего стояка. У противоположной стенки из-за погашения линейной скорости металла имеет место повышение мениска металла относительно его зеркала со стороны стояка. Увеличение скорости заливки приводит к возрастанию скорости ударной волны у противоположной стенки. Свободная поверхность металла приобретает параболическую форму. Снижение времени заливки ниже 90 с приводит к тому, что металл поступает в форму (включая начальную стадию заливки) через нижний и средний питатели.

В пристеночной области наблюдаем повышение скорости, свободная поверхность металла приобретает волнообразный характер, чему способствует как обратная волна, так и струя металла, поступающего из среднего питателя. Налицо повышение

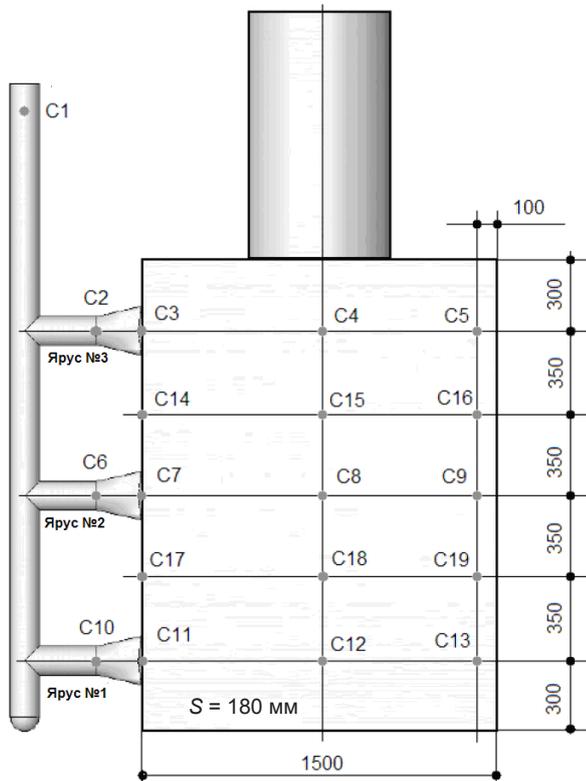


Рис. 1. Схема расположения виртуальных датчиков при моделировании заполнения формы

Таблица 1

Изменение расходных характеристик заливки

Время заливки τ , с	Скорость заливки, кг/с	Скорость подъема металла в форме, мм/с
30	230	108
60	115	54
90	77	35
120	57	27

турбулентности жидкого металла при сокращении времени заливки. Анализ полей скоростей показывает, что заполнение формы происходит за счет поступления металла из нижнего и среднего питателя.

В проведенных исследованиях питатель 3-го яруса литниковой системы при всех 4-х скоростях заливки практически не функционирует. Скорость перетекания металла из отливки обратно в литниковую систему достигает 0,7-0,9 м/с. Продолжительность работы питателя верхнего яруса не превышает нескольких секунд перед окончанием заполнения формы. Порция металла, поступившая за этот отрезок времени, вовлекается во вращательное движение и попадает не в прибыльную часть отливки, а в ее центр. С начала заливки по мере формирования области вращательно движущихся потоков металл из питателей второго и третьего ярусов литниковой системы поступает под эту область, опускается до уровня первого яруса и лишь затем поднимается в верхнюю часть отливки.

Необходимо отметить наличие явления циркуляции металла в пределах отдельно взятого питателя с горизонтальным участком литникового хода. При

определенных режимах работы литниковой системы течение металла через питатель полностью прекращается. Это явление фиксировалось при разной массовой скорости заливки и имело различную продолжительность. Остановка потока металла, видимо, возникает при равных значениях относительной скорости протекания металла вдоль выходного отверстия питателя и в стояке.

Степень наполненности прямого стояка напрямую зависит от скорости заполнения формы и повышается с сокращением ее продолжительности. В описываемом типе литниковой системы отмечена высокая скорость потока из питателей 1-го и 2-го ярусов. В ряде случаев на выходе из питателя скорость металла достигает высоких значений (для питателя первого яруса – 4,8-3,0, второго яруса – 2,9-1,2 м/с). При этом на входе в литниковую систему величина скорости составляет около 2,4 м/с.

Вырождение поступательно движущегося в форме потока металла из питателей происходит с разной интенсивностью. При наиболее быстром заполнении отливки, когда энергии потока из второго питателя достаточно для преодоления вихревой зоны, расстояние затухания нестабильно и составляет 1400-750 мм, в остальных случаях – 1400 мм. В условиях данного эксперимента величина разупрочнения поверхности формы не определялась. Но правомерно будет предположить, что металл оказывает наибольшее эрозионное воздействие на формовочную смесь на противоположной от питателей стенке формы (в области между первым и вторым питателями), а также в районе подвижной зоны вихреобразования в центральной части отливки, так как в этих местах наблюдается наибольшая скорость движения потоков металла.

При помощи шкал «Age» (время существования пробной частицы, с) и «Length» (длина пробега частицы) критерия «Tracers» установлено (рис. 3), что при движении металла в форме и литниковой системе для указанной схемы заливки характерна наибольшая длина пути пробега элементарных объемов металла, поступающего в форму. Многократно перетекая из формы в литниковую систему и обратно, металл, во-первых, снижает пропускную способность самой литниковой системы, во-вторых, может вторично окисляться и насыщаться газами. С момента достижения уровня питателя 3-го яруса и выше происходит интенсивный захват металла из области свободной поверхности (с «зеркала»). Затем этот металл рассредоточивается по всему объему отливки с локализацией значительной его части в центральной зоне вращательно движущихся потоков. Основная часть металла, находящегося в прибыли, поступает из ковша в полость формы в начальные периоды заливки и, следовательно, имеет более низкую температуру (\approx на 10 °С). Захватываемый в литниковую систему металл распределяется по всей высоте стояка, достигая его верхней точки, что отчетливо видно по показаниям сразу двух критериев – «Flow» и «Tracers» (рис. 3). Из-за увеличения динамики потоков при снижении продолжительности заливки значительно возрастает площадь свободной поверхности металла.

30

60

90

120

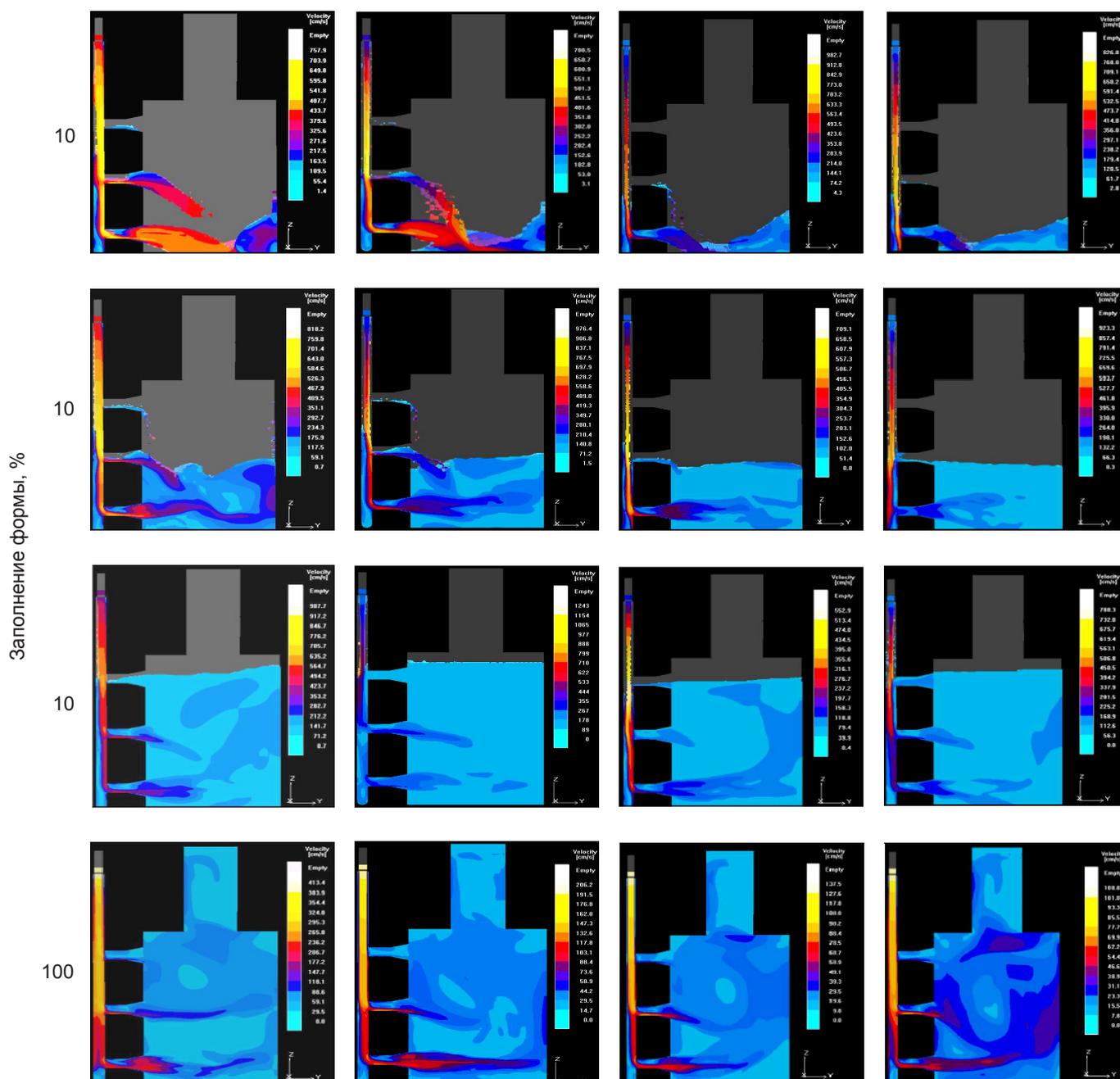


Рис. 2. Поле скоростей при разном уровне заполнения формы

К числу характерных особенностей, присущих данному типу литниковой системы, которые были выявлены при проведении компьютерного моделирования, следует отнести: высокую динамику струи металла, истекающего из питателя нижнего яруса, и непрерывающуюся работу этого питателя в течение всего периода заливки; преждевременное включение и постепенное увеличение интенсивности работы питателя второго яруса с повышением скорости заливки; инжекцию металла через питатели верхних ярусов. Указанные явления относятся к отрицательным, так как их следствием могут стать размытие формы

или стержней, захват движущимся потоком металла воздуха и различного рода неметаллических включений (НВ), создание неблагоприятного теплового баланса отливки [2, 3].

Исходя из полученных экспериментальных данных, можно заключить, что указанный тип литниковой системы вполне приемлем для заполнения формы со скоростью подъема металла не более 10-15 мм/с и не может быть рекомендован для скоростной заливки. Он не обеспечивает возможности получения отливки с высокими требованиями к внутреннему качеству по причине поступления металла из питателей первого и

Продолжительность заполнения формы, с

30

60

90

120

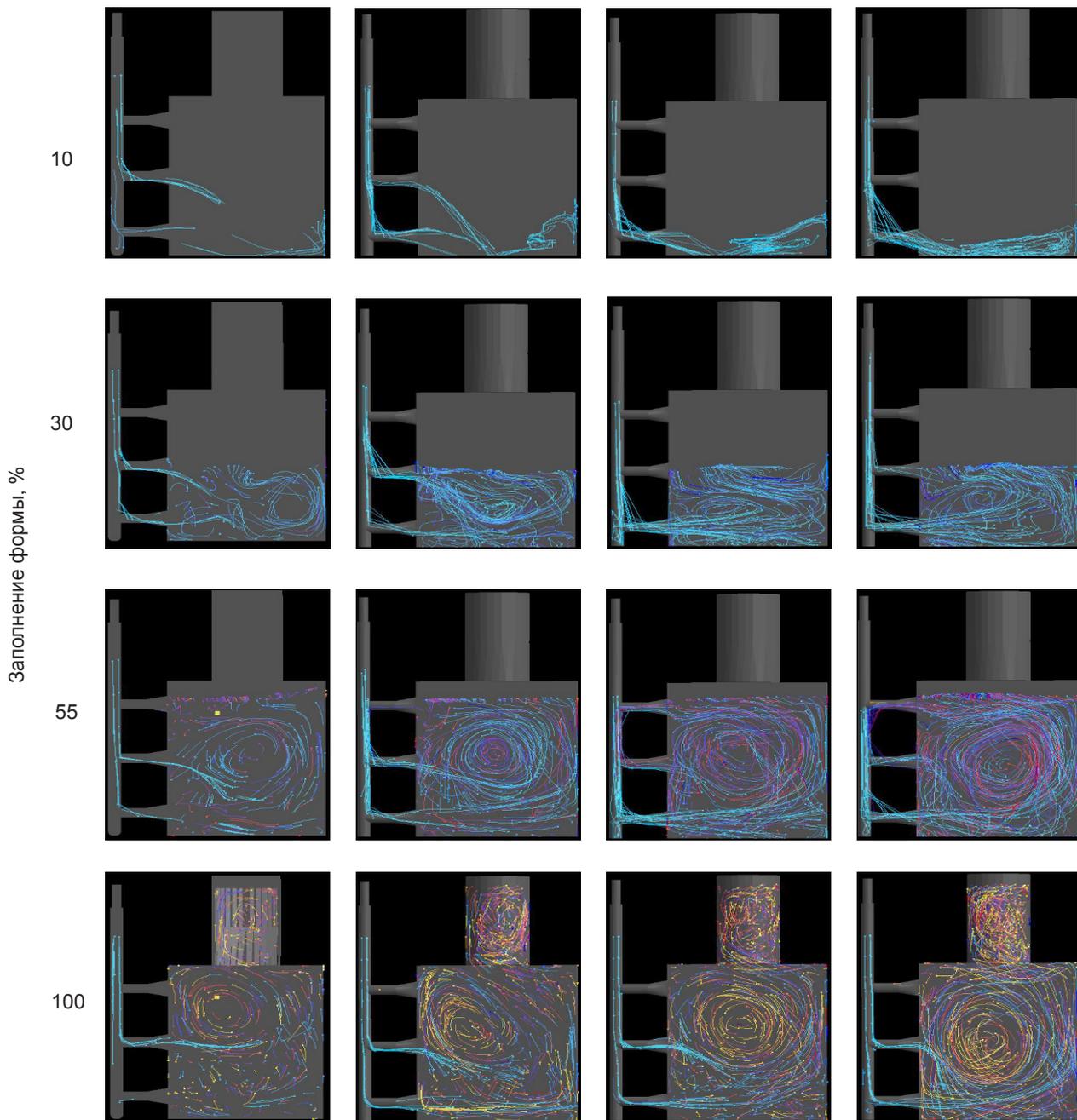


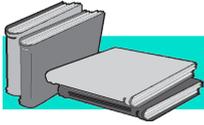
Рис. 3. Поле траекторий движения пробных частиц при различном уровне заполнения формы

второго яруса в нижнюю часть формы, что снижает направленность теплового градиента (способствует разогреву нижних ее частей). Такая ситуация может привести к образованию газоусадочных дефектов в местах вихреобразования. Ранний выброс металла питателем второго яруса в случае кристаллизации может инициировать прекращение работы питателя, увеличить количество НВ в отливке.

Поэтому без усовершенствования литниковой си-

стемы с прямым стояком путем внесения в ее конструкцию определенных изменений или дополнительных устройств не представляется возможным добиться результатов, удовлетворяющих современным требованиям качества.

В результате проведенных исследований удалось установить оптимальные, по скоростным параметрам заливки, пределы применимости литниковой системы с прямым стояком.



ЛИТЕРАТУРА

1. Назаратин В. В. Технология изготовления стальных отливок ответственного назначения. – М.: Машиностроение, 2006. – 234 с.
2. Василевский П. Ф. Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.
3. Голод В. М., Денисов В. А. Теория, компьютерный анализ и технология стального литья. – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2007. – 610 с.

Анотація

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

**Особенности заполнения формы крупного сталевого вливка
з використанням ярусної ливникової системи з прямим стояком**

Наведено результати досліджень, які розкривають характер швидкісних режимів заливки з використанням ярусної ливникової системи з прямим стояком при одержанні крупних сталевих виливків. Встановлено оптимальні, відносно швидкісних параметрів заливки, межі використання ливникової системи з прямим стояком.

Ключові слова

прямий стояк, лиття, великі виливки, математичне моделювання, гідродинаміка

Summary

Dudchenko A. B., Tarasevich N. I., Prymak I. N.

**Peculiarities of filling a mold for large steel casting in a storied gating system
with a direct gate**

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

Keywords

direct gate, founding, large castings, mathematical modeling, hydrodynamics

Поступила 05.03.13

**Редакция «Металл и литье Украины»
может подготовить заказной номер журнала**

*Ориентировочная стоимость заказного номера – 6750 грн.
(объем до 5 уч.-изд. л.)*

*Ориентировочная стоимость заказного спаренного номера – 13000 грн.
(объем до 10 уч.-изд. л.)*