УДК 669.13

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-10-257-75-79

А. А. Барон, Л. В. Палаткина, С. В. Палаткин

**ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЗАЛИВКИ НА КАЧЕСТВО
ПОСТУПАЮЩЕГО В ФОРМУ РАСПЛАВА И ПОЛУЧЕНИЕ
ГОДНОЙ СТАНДАРТНОЙ ЛИТОЙ ПРОБЫ ЧУГУНА**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: a_baron@mail.ru, lv.palatkina@yandex.ru

В работе представлены результаты компьютерного моделирования (на примере серого чугуна марки СЧ 20) влияния направления заливки расплава на степень поражения дефектами усадочного происхождения осевой зоны шейки разрывного образца при заполнении полости формы стандартной литой пробы для оптимальных значений массового расхода расплава.

Ключевые слова: серый чугун, усадка, пористость, компьютерное моделирование.

A. A. Baron, L. V. Palatkina, S. V. Palatkin

**INFLUENCE OF THE POURING DIRECTION
ON THE QUALITY OF THE MELT ENTERING THE MOLD
AND OBTAINING A GOOD STANDARD CAST IRON SAMPLE**

Volgograd State Technical University

The paper presents the results of computer simulation (on the example of grey cast iron of SCH 20 grade) of the influence of melt pouring direction on the degree of defects of shrinkage origin in the axial zone of the neck of a tensile sample when filling the mold cavity with a standard cast sample for optimal values of melt mass flow rate.

Keywords: grey cast iron, shrinkage, porosity, computer simulation.

В работе [1] показано, что свойства чугунных отливок в значительной степени зависят от способа подвода металла к ним. Так, например, образцы отлитые сифонным способом (восходящей струей металла) обладают лучшими механическими свойствами, чем отлитые обычным методом (нисходящей струей). При этом задача получения сифонным способом заливки песчаной формы стандартной литой пробы чугуна [2] с бездефектной зоной в объеме предполагаемого разрушения (шейка образца) остается в значительной степени не решенной [3, 4].

В производственных условиях (при заливке формы с литниковой чашей нисходящей струей) в случае отсутствия возможности корректировки и подбора рациональных конструкций литейной формы и коррекции химического состава чугунов (выплавляемых в рамках руководящих документов), литейщики используют возможность обеспечения качества отливки за счет выбора определенного направления заливки [1, 5, 6, 7]. При этом, информация по влиянию изменения направления заливки, при заполнении литниковой чаши сифонной литниковой системы, на качество поступающего в полость форм металла, динамику его потока и сам процесс заполнения формы практически отсутствует, что и обосновало цель данного исследования.

Постановка расчетной задачи для моделирования осуществлялась в среде программного комплекса LVMFlow (программа предоставлена ЗАО НПО «МКМ», версия 4.4г6 Time, лицензия T0027). С этой целью использовали 3D-модель литой пробы (рис. 1, а) спроектированную в среде программного комплекса Solid Works по

Рис. 1. Исходные данные для создания расчетной задачи: а – 3D-модель литой пробы: I – заготовка для первого образца, II – заготовка для второго образца, III – заготовка для третьего образца; б – основные схемы заливки литниковой чаши (вид сверху) стрелкой указано направление потока: 1 – заливка поперек чаши, 2 – заливка вдоль «по ходу», 3 – заливка вдоль «против хода», 4 – заливка непосредственно в стояк

размерам чертежа песчаной формы [2]. Точность моделирования определяли за счет задания размера элементарной ячейки (3 мм) и размера расчетной области с указанием положения отливки.

Моделирование осуществлялось для начальной температуры 20 °С окрашенной противопригарным покрытием формы [2]. Температура расплава при заполнении формы (1400 °С) была регламентирована руководящими документами штатной технологии литейного цеха и

соответствовала условиям разлива тонкостенных чугунных отливок [11]. Основные данные об использованных для моделирования композициях чугуна, полученных из металла ваграночной плавки по штатной технологии в производственных условиях литейного цеха (образцы, в которых при металлографических исследованиях [8] были обнаружены дефекты усадочного происхождения в объеме металла шейки образца) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные данные о композициях чугуна, использованных для моделирования

Марка	Предел прочности σ _b , МПа	Твердость по Бринеллю НВ	Содержание основных элементов, % масс					Наличие дефектов усадочного происхождения [8]	
			C	Si	Mn	P	S	раковины	пористость
СЧ20	200	202	3,18	1,51	0,78	0,05	0,05	-	+
СЧ20	200	217	3,52	2,24	0,79	0,05	0,14	+	+

Ранее в работе [8] были получены результаты, указывающие на то, что при заливке стандартной литой пробы чугуна (рис. 1, а) с увеличением массового расхода расплава в интервале от 1 до 6 кг/с следует ожидать отсутствия поражения осевых зон дефектами усадочного происхождения. Однако, в производственных условиях для заливки данной пробы наиболее распространен ручной литейный ковш объемом 12 кг, что ограничивает возможность увеличения расхода жидкого металла при заливке пробы чугуна (рис. 1, а) более чем 4 кг/с. При этом средняя скорость поворота ковша обеспечивает оптимальный, для данных условий, расход жидкого чугуна от 2 до 3 кг/с [9] (при компьютерном моделировании использовали 2 кг/с). Далее для этого значения массового расхода исследовали влияние основных схем заливки литниковой чаши (рис. 1, б) [1, 5, 6, 7, 10] на качество отливки стандартной литой пробы чугуна. Для каждой схемы заливки моделирование представляет собой среднее значение из 3 экспериментов, при этом уточнение расположения точки ввода расплава в объем литниковой чаши (литниковая точка) осуществлялось индивидуально на основе анализа потоков расплава.

Следует отметить, что по размерам песчаной формы, объему разливочного ковша и способу заливки система автоматически подобрала оптимальные параметры по подаче расплава в полость чаши, которые оставались постоянными с момента начала и до окончания заполнения формы: высота ковша над чашей 83 мм, и диаметр струи 22 мм.

По результатам анализа движения расплава в подводящих элементах литейной формы можно сделать вывод, что принципиальные отличия наблюдаются только при заливке непосредственно в стояк. Так, при заливке непосредственно в стояк, для среднего массового расхода 75–80 % жидкой фазы в общем объеме формы реализуется заполнение всех образцов, при этом литниковая чаша остается заполненной не более чем на 15 %. Далее система прекращает расчет и моделирование заполнения формы, так как в производственных условиях это приводит к переливу расплава во всех образцах. Остановка провоцирует максимальное проявление эффекта сообщающихся сосудов, поднятие уровня расплава в чаше и соответственное снижение его в образцах, которые затвердевают с существенно меньшей длиной и бракуются по признаку – недолив.

При подаче расплава в литниковую чашу свободно падающей струей вне зависимости от направления заливки (вдоль или поперек), дальнейшее заполнение литниковой системы и формы должно происходить под напором, определяемым уровнем жидкого чугуна в чаше [1, 5, 6, 7, 10].

Попадая в чашу, расплав теряет свой скоростной напор, затормаживаясь, при этом давление под струей у дна чаши повышается [6] и под его действием расплав растекается по дну чаши, рис. 2. При этом заливка в первые моменты характеризуется большой площадью растекания струи по боковым стенкам чаши, что вновь приводит к ее торможению (образуется

так называемый подпор струи, когда расплав переливается с более высокого уровня на более низкий), а далее расплав возвращается обратно, в направлении к падающей струе. Для заливки поперек чаши такой характер сохраняется максимально продолжительно, что увеличивает

площадь контакта с окружающим воздухом, окисление и разбрызгивание. Заполнение чаши на 10–15 % сопровождается возникновением зон завихрений с горизонтальной осью вращения, а также обеспечивает равномерное перекрытие стоякового отверстия расплавом.

Рис. 2. Визуализация процесса заполнения литниковой чаши (вид сверху) для массового расхода расплава 2 кг/с:
а – заливка вдоль «по ходу»; б – заливка вдоль «против хода»; в – заливка поперек чаши

Для всех условий заливки (кроме заливки непосредственно в стояк) движение расплава в стояке проходило при его частичном заполнении (рис. 3). После заполнения формы на 50–55 % жидкой фазой наблюдается постепенное заполнение стояка, что в максимально возможной (для данных условий) степени увеличивает напор, под которым происходит течение

из стояка в литниковый ход. Следует отметить, что при заполнении формы, формирование в стояке сплошного течения расплава происходит по образующей внутренней поверхности (рис. 3 схема для 20 % расплава в объеме формы), что характерно для движения свободно падающей струи [6, 7, 12].

Рис. 3. Характерные этапы течения расплава в стояке с указанием жидкой фазы в объеме формы

Рис. 4. Кривые изменения фронта потока при заполнении формы образцов с массовым расходом расплава 2 кг/с в различные моменты времени (τ , с). Стрелка указывает подвод металла в полость формы для каждого образца формы (а – I образец; б – II образец; в – III образец); h – высота полости формы; цифры у кривых – процент заполнения расплавом всей полости формы литой пробы

При рассмотрении течения расплава в продольном и поперечном сечении, несмотря на малые скорости течения расплава в полости чаши и стояка (менее 1,5 и 1,0 см/с), фиксировались циркуляции и завихрения расплава.

Далее анализ продольных осевых сечений заполнения полости формы образцов из питателей, примыкающих к ее нижнему основанию,

и динамики потока восходящей струи расплава (для всех условий заливки, кроме заливки непосредственно в стояк) показал аналогию в продвижении фронта потока (рис. 4).

Траектории подъема фронта потока для образцов I и III аналогичны и соответствуют заполнению полости формы равномерно и плавно начиная с объема 30–35 % расплава с практически не отличающимся характером интенсивности процесса (более быстро в начальном периоде и медленнее после заполнения 70–75 % объема). Последнее наблюдается и для второго образца и обусловлено скорее работой сифонной литниковой системы, чем кристаллизацией расплава. При этом для образца II с момента поступления первых порций металла и до 75 % заполнения объема формы, сохраняется характерный профиль изгиба фронта, обусловленный подпором (гребнем) струи расплава, который образуется напротив входа расплава в полость формы второго образца. Потoki расплава, сформированные при заполнении после прекращения подачи расплава в форму, продолжают перемещаться и образуют по высоте характерные зоны с циркуляцией, при этом скорость перемещения расплава затухает и приближается к 0 см/с.

На основе анализа полученных результатов моделирования следует отметить, что при любых условиях моделирования, для данной конструкции песчаной формы (фиг. 1, а) и для модельных составов (табл. 1) избежать проявления усадочных дефектов не удастся (табл. 2). Поэтому в качестве бездефектной отливки принимали литую пробу, в образцах которой усадка сконцентрирована исключительно в верхней части и поражает металл на глубину не более 20–25 мм.

Таблица 2

Результаты оценки эффективности выбора направления заливки для минимизации поражения дефектами усадочного происхождения осевой зоны шейки разрывного образца при заполнении полости формы стандартной литой пробы

Массовый расход расплава Q , кг/с	Баллы для оценки эффективного направление заливки			
	заливка поперек чаши	заливка вдоль «по ходу»	заливка вдоль «против хода»	Заливка непосредственно в стояк
2 (композиция № 1 табл. 1)	4	5	5	1
2 (композиция № 2 табл. 1)	3	5	4	1

Пятибалльная градация системы оценки возможности проявления усадки в контролируемых зонах литой пробы:

- «1» – неудовлетворительный выбор направления (от 75 до 100 % проб поражены усадкой);
- «2» – нерекомендуемое направление заливки (более половины проб с усадкой);
- «3» – удовлетворительный выбор направления при заливке (33 % проб поражены усадкой);
- «4» – хороший выбор направления при заливке (усадка обнаружена в 25 % литых проб);
- «5» – отличный выбор направления при заливке (усадка проявилась только в 8 % проб).

Все остальные проявления усадки в осевой зоне шейки разрывного образца относились к случаям дефектов литой пробы, которые, на наш взгляд, особенно опасны, так как, если после проведения механических испытаний не проводится визуальный осмотр поверхности разрушения [2, 4, 8] и не идентифицируется дефект, то полученные значения временного сопротивления разрыву не отражают реальной прочности залитых одновременно с пробой отливок.

Заключение

Проведенное в работе компьютерное моделирование литой пробы серого чугуна показало, что при сифонном способе заливки песчаной формы стандартной литой пробы чугуна существует взаимосвязь направления заливки расплава в литниковую чашу с поражением дефектами усадочного происхождения осевой зоны шейки разрывного образца. Показано, что при прочих равных условиях, для массового расхода расплава при заливке 2 кг/с оптимальным можно считать эффективное направление поступления расплава вдоль полость литниковой чаши «по» и «против» хода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фундатор, В. И.* Литниковые системы и заливка металлов / В. И. Фундатор. - М.: МАШГИЗ, 1951 - 261 с.
2. ГОСТ 16818-85 Форма песчаная для получения заготовок образцов для испытания механических свойств серого чугуна с пластинчатым графитом. Размеры и технические требования - М.: Издательство стандартов, 2007. - 10 с.
3. *Барон, А. А.* Компьютерное моделирование процессов заливки и затвердевания стандартных литых проб серого чугуна / А. А. Барон, Л. В. Палаткина, С. В. Палаткин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (249) / ВолгГТУ. - Волгоград, 2021. - (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). - С. 64-71.
4. *Барон, А. А.* Компьютерное моделирование процесса заполнения расплавом песчаной формы для получения заготовок стандартных разрывных образцов чугуна / А. А. Барон, Л. В. Палаткина, С. В. Палаткин // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 7 (254) / ВолгГТУ. - Волгоград, 2021. - (Серия «Металлургия»). - С. 73-80.
5. *Рабинович, Б. В.* Введение в литейную гидравлику / Б. В. Рабинович. - М.: Машиностроение, 1966- 420 с.
6. *Галдин, Н. М.* Литниковые системы и приборы для фасонных отливок / Н. М. Галдин, В. В. Чистяков, А. А. Шатульский. - М.: Машиностроение, 1992 - 256 с.
7. *Галдин, Н. М.* Литниковые системы для отливок из легких сплавов Н. М. Галдин. - М.: Машиностроение, 1978. - 196 с.
8. *Барон, А. А.* Результаты компьютерного моделирования распределения дефектов усадочного происхождения в объеме стандартной литой пробы серого чугуна / А. А. Барон, Л. В. Палаткина, С. В. Палаткин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 6 (253) / ВолгГТУ. - (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). - Волгоград, 2021.
9. Справочник по чугунному литью / под ред. Н. Г. Гиршовича - Л.: Машиностроение, 1978. - 758 с.
10. *Рабинович, Б. В.* Литниковые системы / Б. В. Рабинович // Вопросы теории литейных процессов / Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. - М. 1960. С. - 110 - 162.
11. ГОСТ 1412-85 Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. - М.: Издательство стандартов, 2004. - 3 с.
12. *Рабинович, Е. З.* Гидравлика / Е. З. Рабинович. - М.: НЕДРА, 1980 - 278 с.