

УДК 621.74.02:
621.74.043 (031):
669.71

А.М. Zarubin,
О.А. Zarubina

Управление скоростью течения расплава в форме при литье в кокиль алюминиевых сплавов

Controlling the flow rate of melt in the mold when chill mold casting of aluminum alloys

Аннотация

А.М. Зарубин, О.А. Зарубина (МГТУ им. Баумана)

Рассмотрено влияние геометрии литниковой системы (ЛС) на характер течения расплава в каналах формы при литье в кокиль (ЛК) Al-сплавов. Показана возможность управления скоростным режимом заполнения формообразующей полости кокиля при использовании как нижней, так и щелевой ЛС применением специального дополнительного элемента этой системы.

Ключевые слова

Алюминиевый сплав, волнообразование, кокиль, литниковая система, фонтанирование расплава, оксидные пленки, управление скоростью расплава.

Summary

The article considers effect of the Gating system geometry on the flow pattern of the melt filling the channels of the mold for casting the permanent mold casting of aluminum alloys. It is shown the possibility of control speed limit of filling the cavity molds when using the bottom and web Gating system by the use of special additional element of this system.

Key words

Aluminum alloy, making wave, chill mold, gating system, the flowing of alloy, oxide films, speed control of the melt.

Для обеспечения требуемого качества отливок из Al-сплавов при ЛК должны выполняться известные ограничения для скорости v_{ϕ} течения расплава в его рабочей полости: $v_{\phi_{\min}} \leq v_{\phi} \leq v_{\phi_{\max}}$. При $v_{\phi} \leq v_{\phi_{\min}}$ возможно появление дефектов типа неслитин, а при превышении $v_{\phi_{\max}}$ – дефектов, связанных с замешиванием газов и оксидных плен в расплав.

Н.М. Галдиным [1] были определены максимально допустимые значения чисел Рейнольдса Re при течении расплава в каналах ЛС и рабочей полости формы оценкой степени загрязненности металла специальной технологической пробы, из-

готовленной в песчаной форме. Эти ограничения (для питателя $Re_{\text{пит}} < 7800$, коллектора $Re_{\text{кол}} < 28000$ и стояка $Re_{\text{ст}} < 43500$) учитывают, разрабатывая технологические процессы при ЛК.

Т.Н. Курочкина [2] обратила внимание на то, что значения максимально допустимых скоростей при ЛК могут быть в 2,0–2,5 раза выше, чем при литье в песчаные формы (ПФ) отливок с одинаковыми требованиями по загрязненности их материала. Очевидно, что такой результат обусловлен меньшей вероятностью размыва рабочих стенок формы, подсоса воздуха и других негативных процессов, характерных, в большей степени, именно

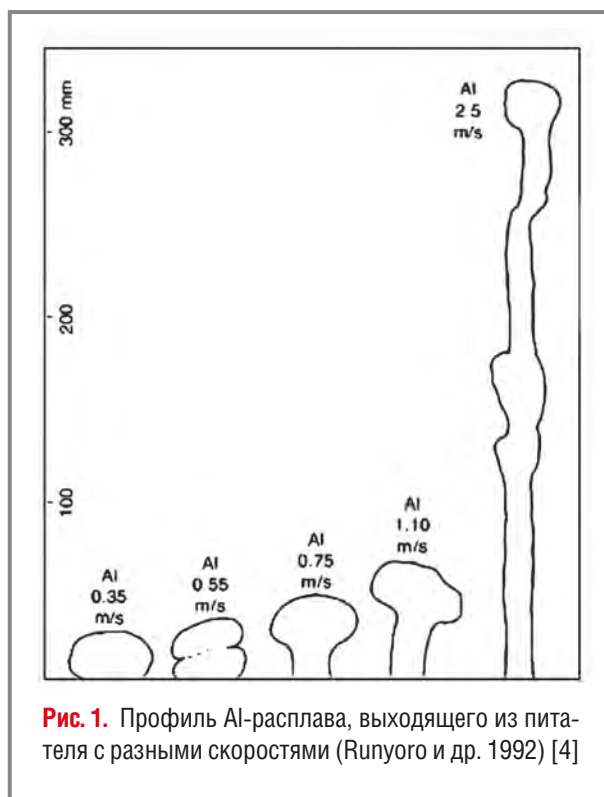


Рис. 1. Профиль Al-расплава, выходящего из питателя с разными скоростями (Runyogo и др. 1992) [4]

для ПФ. В работе [3] приведены максимально допустимые скорости потока в стояках. В зависимости от их геометрии (круглое поперечное сечение или прямоугольное) и размеров проходного сечения, ограничения по скорости изменяются от 0,87 до 3,18 м/с. Если принять отношение площади поперечного сечения питателя и стояка равным, например, двум, то скорость расплава в питателе $v_{пит}$ не должна превышать $0,435 \leq v_{питmax} \leq 1,59$ м/с.

Наблюдения Runyogo и др. за характером течения жидкого алюминия в ПФ при разных значениях скорости расплава в нижнем вертикальном питателе [4] позволили установить (рис. 1), что при скорости $\sim 0,75$ м/с начинается фонтанирование расплава.

Campbell J. [4] пришел к аналогичному результату (рис. 2) и определил критическую скорость, как значение, при котором, в результате действия гравитационных и сил поверхностного натяжения, расплав при выходе из вертикального питателя на начальном этапе заполнения рабочей полости не фонтанирует. Значения критических скоростей были определены для разных сплавов. Для Al-сплавов это 0,5 м/с.

Chang Q., Schwam D. и др. исследовали работу щелевой ЛС [5] путем, как заливки фрезерованного графитового кокиля, с фиксацией процесса течения расплава с помощью рентгеновского излу-



Рис. 2. Варианты выхода расплава в форму из питателя: *a* – при нулевой, *б* – критической, *в* – высокой скорости [4]

чения, так и его моделирования, с использованием программы MAGMASoft (рис. 3).

Результаты экспериментов и вычислений, приведенные в этой работе, хорошо согласуются, однако показывают, что авторам не удалось исключить фонтанирование расплава при его выходе из литникового хода в вертикальный канал (рис. 3, б). Не приводятся режимы, позволяющие погасить процесс волнообразования в рабочей полости кокиля.

Как видно из представленного обзора, в одних источниках, в основном, даны ограничения на установившееся течение расплава в каналах формы, а в других – на начальный период заполнения ее рабочей полости. При этом, в работах [4...6] приводятся сведения и о негативных процессах (волнообразовании и др.), которых следует из-

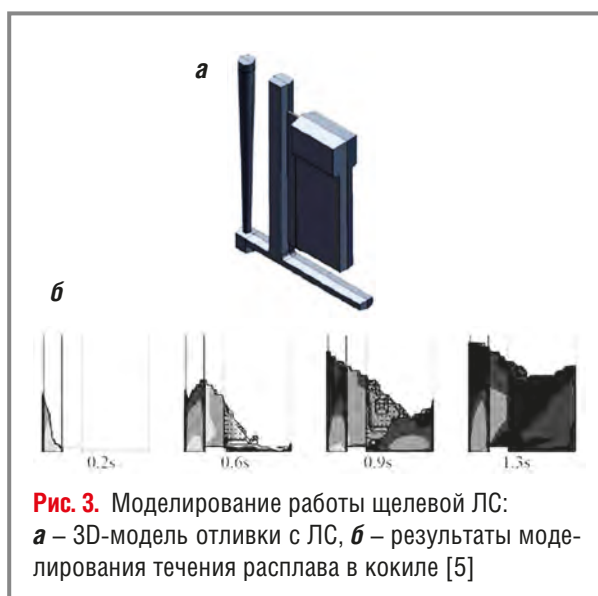
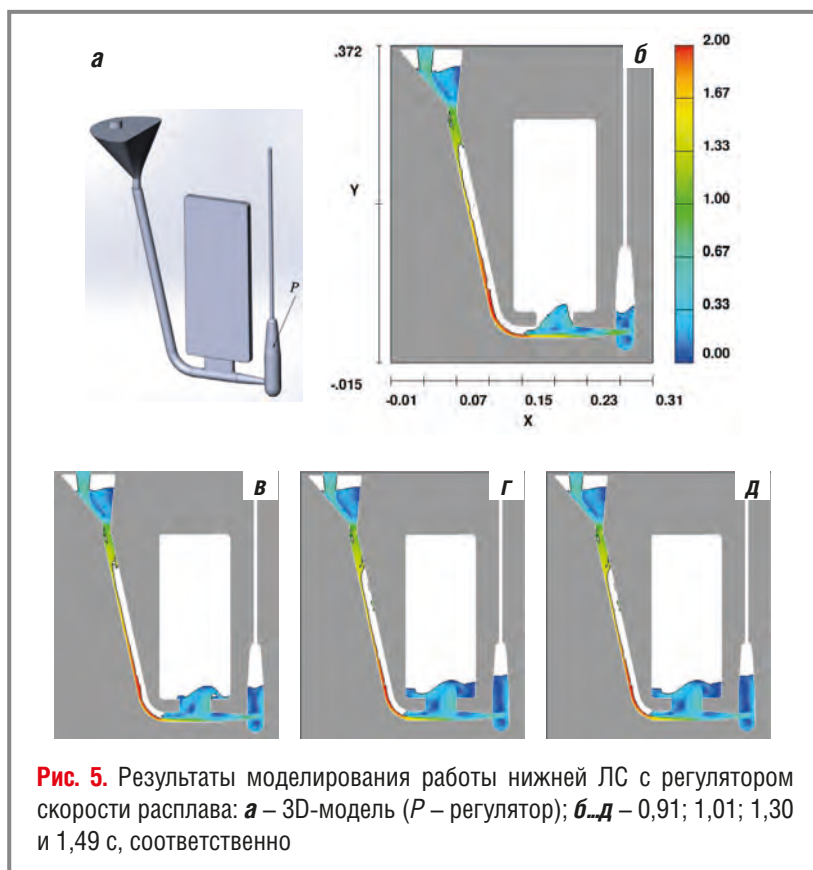
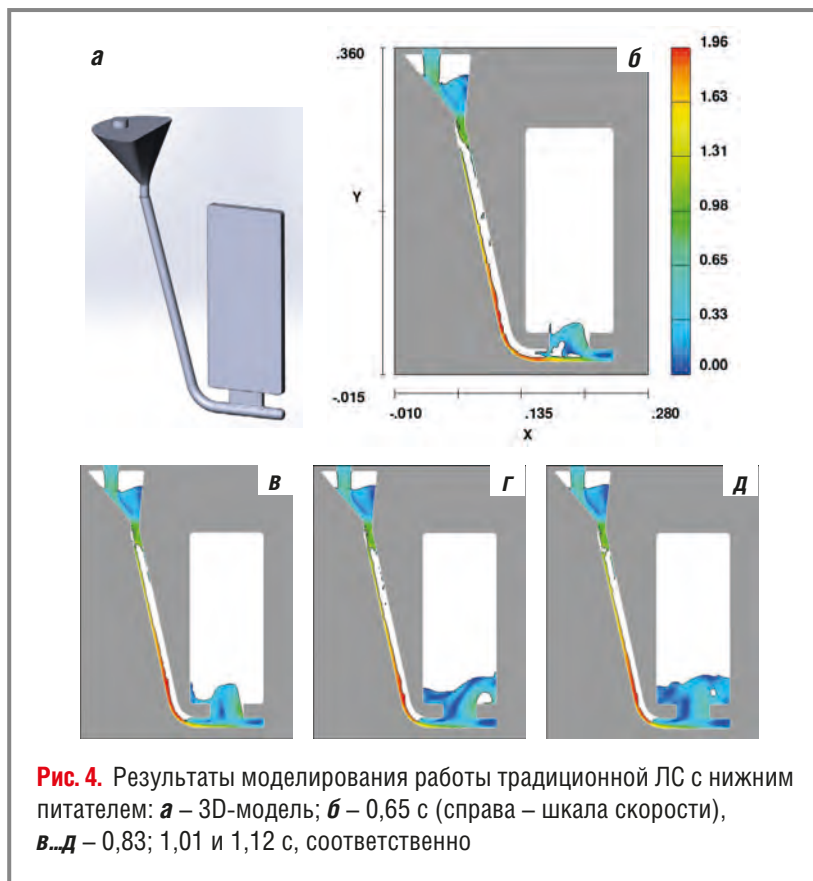


Рис. 3. Моделирование работы щелевой ЛС: *a* – 3D-модель отливки с ЛС, *б* – результаты моделирования течения расплава в кокиле [5]



бегать при заполнении рабочей полости формы, так как они могут приводить к захвату газов и замешиванию оксидных плен в расплав.

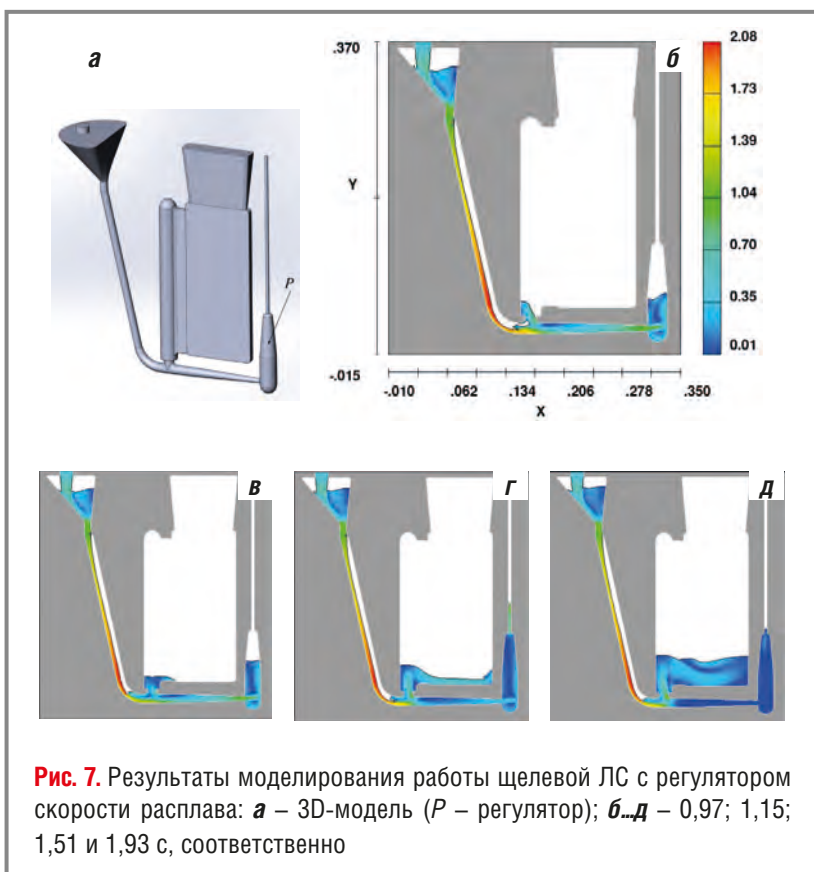
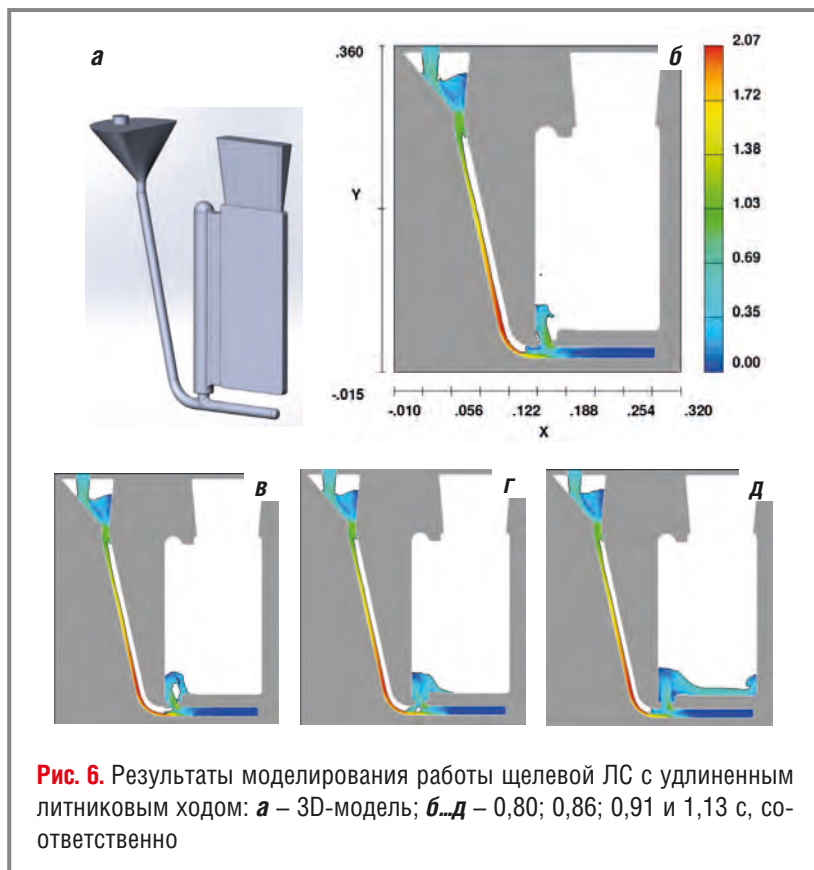
Цель работы – разработка и исследование такой конструкции ЛС, которая в большей степени обеспечивала бы возможность управления скоростным режимом заполнения формы, как на начальном этапе, так и при последующем заполнении рабочей полости кокиля расплавом.

Объекты исследования – ЛС с нижним вертикальным питателем и щелевая система. Исследования выполняли с использованием программы FLOW-3D. При выполнении расчетов использовали свойства сплава АК9 (А360), в качестве свойств материала кокиля – теплофизические свойства углеродистой стали, начальная температура формы была принята равной 573К, температура заливки расплава 973К.

Теплофизические свойства огнеупорного покрытия по всей поверхности кокиля, контактирующей с расплавом, на этом этапе исследований принимали одинаковыми и соответствующими кокильной краске теплопроводностью 0,15 Вт/(мК) и толщиной 0,15 мм (heat transfer coefficient – 1000).

Модель отливки – пластина размерами 234×100×10 мм. Геометрия и размеры основных элементов ЛС принимали с учетом полученных данных, в т.ч. работы [7]. У моделей, представленных на **рисунках 4...7**, стояк \varnothing 12,5 мм, плавно переходит в коллектор \varnothing 14 мм (максимальным).

Угол наклона стояка 12,5 град. Выпускное отверстие чаши \varnothing 11 мм, питатель с по-



перечным сечением 7×45 мм. При выполнении расчетов объемный расход расплава, поступающего в форму, составлял $1,41 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Исследование работы обычной нижней ЛС показало, что с уменьшением диаметра коллектора до диаметра стояка высота выплеска первых порций расплава в форму возрастает. Наибольшее возмущение потока наблюдали при равенстве размеров поперечного сечения всех каналов ($\varnothing 11 \text{ мм}$).

При использовании прямого стояка и зумпфа возмущение потока в коллекторе увеличивалось, а заполнение рабочей полости происходило более спокойно. На **рис. 4** – результаты моделирования работы такой ЛС с указанными выше размерами.

При использовании регулятора скорости *P* (**рис. 5, а**) появляется возможность использования практически любой, но не ниже $v_{\text{фmin}}$, скорости расплава в рабочей полости – от начала до завершения ее заполнения. Одновременно с этим, он задерживает и первые порции наиболее загрязненной части расплава, поступающего в форму.

Очевидно, эффект такого задержания должен проявляться в большей степени при литье в газонепроницаемые формы, т.е. кокили.

При использовании щелевой ЛС задача обеспечения спокойного заполнения формы стоит несколько острее, так как подобные системы чаще всего используют для высоких отливок с особыми требованиями к их эксплуатационным свойствам.

На **рис. 6** – иллюстрации работы ЛС такого типа с удлиненным литниковым ходом [5]. Следует отметить, что с уменьшением длины литникового хода

возмущение потока возрастало, что хорошо согласуется с данными других исследователей. Влияние геометрических размеров остальных элементов аналогично тому, которое проявляется в системе с нижним питателем.

Использование в такой ЛС дополнительной полости P (рис. 7) также оказало существенное влияние на скоростной режим заполнения рабочей полости и позволило свести к минимуму процесс волнообразования в ней.

Этот минимум обусловлен необходимостью сохранения некоторого перегрева расплава на носике потока при подходе его первых порций к противоположной от питателя стенке. Для сплавов, затвердевающих в интервале температур, она может быть $\leq T_L$, но содержание твердой фазы, по нашему мнению, не должно превышать 5...10%.

Выводы

- Применением геометрических размеров литникового хода и регулятора P , соответствующих конфигурации отливки, можно обеспечить требуемое изменение скорости расплава в форме на всех этапах ее заполнения.

- Вместе с этим, использование такого приема может приводить к некоторому снижению коэффициента использования металла и оправдано лишь в тех случаях, когда традиционные, менее материалоемкие способы, не обеспечивают требуемого конечного результата, т.е. получения отливки с высокими эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Галдин Н.М.** Литниковые системы для отливок из алюминиевых сплавов. – М.: Машиностроение, 1978. – 198 с.
2. **Курочкина Т.Н.** Теоретическое и экспериментальное исследование процесса заполнения металлических форм алюминиевыми сплавами с целью оптимизации параметров литниково-питающих систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 15.16.04 – Литейное производство / Рыбинская гос. авиацион. акад. – Рыбинск, 1998. – 16 с.
3. **Цветное литье.** Справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др.; Под общ. ред. Н.М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
4. **Campbell J.** The New Metallurgy of Cast Metals: Casting, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, 2003. – 337 p.
5. **Chang Q., Schwam D., Chen C., Xiong J., Wallace J. F.** Mold Filling Process Control of Molten Aluminum in Permanent Molds with a Web Gating System // Materials Science Forum, 2008, Vols. 575–578, pp. 63–68.
6. **Gadalla M., Habingreither R., Cook R.** Effect of Filling Time and Gating System Design Parameters Selection on Mold Filling Properties // TMS, 2007, p. 39–45.
7. **Зарубин А.М., Зарубина О.А.** Исследование процесса течения расплава в стояках при литье в кокиль // Литейное производство. – 2016. – №1. – С. 25–28.

Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в юбилейной 25-й Международной научно-технической конференции «**Литейное производство и металлургия 2017. Беларусь**» и информационной выставке литейного производства и металлургических технологий, которые состоятся **18...20 октября 2017 г. в Минске.**

Тематика конференции

- *Литейное производство* • *Металлургическое производство*
- *Материаловедение в машиностроении* • *Круглые столы по этой тематике*

Организационный взнос одного участника – 250 евро (по курсу Нацбанка РБ на день оплаты), который включает материалы конференции, оплату публикаций, участие в заседаниях и торжественных мероприятиях. Стоимость участия в выставке – 70 за 1 м².

Более подробная информация о конференции – на сайтах АЛИМ www.alimrb.by и журнала «Литье и металлургия» www.limrb.by

Оргкомитет конференции

Ассоциация литейщиков и металлургов Респ. Беларусь. 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 24, комн. 8м. Тел./факс: +375-17-331-11-16 E-mail: alimrb@tut.by