

Некоторые гидродинамические особенности технологии литья выжиманием с кристаллизацией под избыточным регулируемым давлением

Проанализированы условия захвата и вовлечения в полость литейной формы частиц огнеупорной футеровки. Показано, что заполнение расплавом формы на этапе существования гидродинамического режима движения расплава в камере сразу же после заполнения камеры выжимания расплавом способствует более качественному затягиванию НВ к центру вихря по сравнению с режимом с развитым конвективным перемещением металла.

Ключевые слова: литье выжиманием, неметаллические включения, конвекция, циркуляция

Применение процесса литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) с одновременным использованием преимуществ технологической схемы литья выжиманием с кристаллизацией под давлением (ЛВКД) позволяет существенно расширить возможности получения качественных отливок с высокими физико-механическими свойствами. Сущность способа и его основные особенности рассмотрены в многочисленных публикациях [1-17]. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о значительном комплексе проведенных исследований в данном направлении, в частности, по изучению скорости подъема расплава в форме, влиянию изменения величины давления на качество получаемой отливки, определению механизма теплосилового взаимодействия расплава с ГМ и т. д. ЛВКД присуща одна из отличительных особенностей, заключающаяся в необходимости обеспечения заполнения формы металлом безазорным перемещением футерованного пуансона контейнера в камере выжимания. При этом основная часть смятой огнеупорной массы под действием архимедовой силы оказывается на поверхности расплава, ограниченной от попадания в литниковый ход защитным кольцом. В то же время, отдельные неметаллические включения футеровки камеры выжимания могут быть захвачены потоком расплава и вовлечены в полость формы.

Проанализируем характер гидродинамических процессов в камере выжимания с позиции механизма взаимодействия неметаллических включений (НВ) смятой огнеупорной футеровки и расплава. С момента поступления расплава в камеру выжимания и до начала его поступления в форму возможно развитие двух основных гидродинамических режимов движения расплава в камере.

1. Струя расплава из ковша поступает по оси камеры выжимания на ее дно, где с течением времени начинает распространяться в виде затопленной струи. Формирование обратного движения расплава способствует образованию макровихрей (рис. 1). При этом, исходя из [18], окружная скорость вращения ϑ вихря подчиняется зависимости

$$\vartheta = \omega r, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения, рад/с; r – радиус вихря, м.

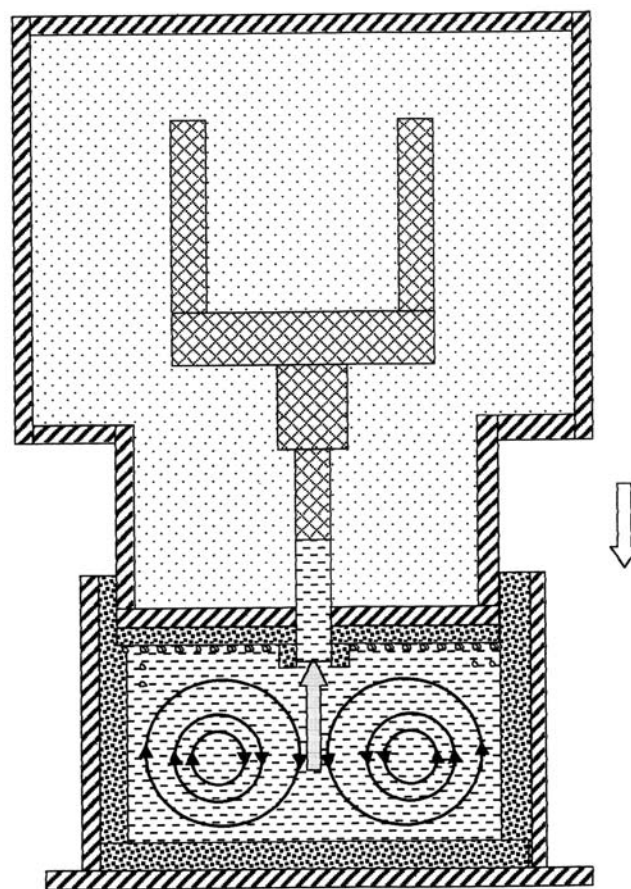


Рис. 1. Схематическое изображение вихреобразования в объеме камеры выжимания после заполнения ее расплавом

С момента начала выжимания расплава в форму в центральной области камеры выжимания формируется интенсивная струя расплава, направленная вверх. Эту струю можно считать затопленной, так как она распространяется в среде той же плотности и не контактирует с твердыми поверхностями. Исходя из уравнения расхода для несжимаемой жидкости, на базе схематичного изображения процесса выжимания расплава в форму запишем

$$\vartheta_1 S_1 = \vartheta_2 S_2 = \vartheta_3 S_3 = \text{const}, \quad (2)$$

где $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$ – скорости опускания подвижной траверсы установки, движения расплава в литниковой системе и форме соответственно; S_1, S_2, S_3 – пло-

щади поперечных сечений камеры выжимания, литникового хода и формы.

Ввиду того, что значение S_3 для каждой отливки определено, а v_3 рассчитывается, исходя из технологических рекомендаций, произведение $v_3 S_3$ есть величина известная. Предварительно установив необходимое количество металла для заливки и рассчитав геометрические размеры (в том числе и S_1) камеры выжимания по минимуму тепловых потерь [19, 20], определение v_1 не представляет собой каких-либо трудностей. Следовательно,

$$v_2 = \frac{v_1 S_1}{S_2}. \quad (3)$$

При распространении затопленной струи и формировании проточной зоны струйного течения одновременно происходит захват массы расплава из окружающих ее объемов металла, что способствует затуханию обратных циркуляционных потоков в камере выжимания, обусловленных макровихрями. Таким образом, формула определения скорости $v_{ч1}$ расплава, воздействующего на частицу смятого огнеупора камеры выжимания, имеет вид

$$v_{ч1} = \frac{v_1 S_1}{S_2} - \omega r \quad (4)$$

2. Сформировано конвективное движение расплава к моменту начала выжимания расплава в камере выжимания (рис. 2). Поскольку расплав имеет температуру, значительно превосходящую температуру камеры, вдоль ее стенок возникают конвективные то-

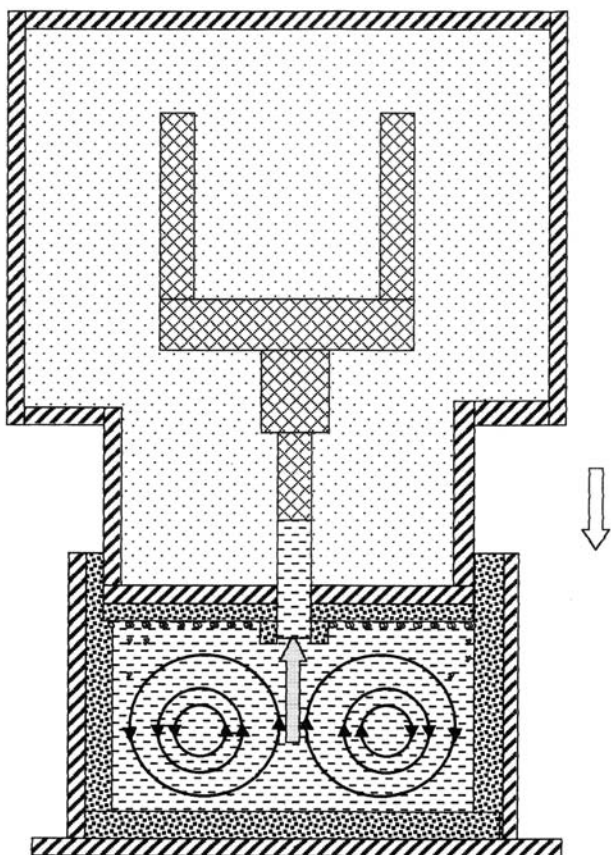


Рис. 2. Схематическое изображение развития конвективных потоков в камере выжимания

ки. Горячий расплав, контактируя с холодной поверхностью, отдает часть запасенной тепловой энергии с одновременным увеличением плотности пограничного слоя. Охлажденные слои расплава вытесняют более горячие, в результате чего формируется конвективное движение жидкости вследствие разности ее плотностей в пристеночной области и в центральной части объема. В этом случае максимальную скорость конвективного потока v_{max} можно определить из уравнения [21]

$$v_{max} = \sqrt{2g\beta h\Delta T}, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; β – коэффициент объемного расширения жидкости, °С⁻¹; ΔT – разность температур камеры выжимания и расплава, °С.

Следовательно, учитывая направление вращения конвективных потоков и вектор направления струи заполнения формы, для расчета $v_{ч2}$ расплава, воздействующего на частицу смятого огнеупора, запишем выражение

$$v_{ч2} = \frac{v_1 S_1}{S_2} + v_{max}. \quad (6)$$

Для аналитического представления стационарного течения несжимаемой невязкой жидкости по трубке тока воспользуемся уравнением Бернулли

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}, \quad (7)$$

где p – атмосферное давление, Н/м²; ρ – плотность заливаемого расплава, кг/м³; h – высота столба расплава, м; v – модуль скорости течения расплава в сечении трубки тока, находящегося на высоте h от условно выбранного уровня, м/с.

Формулу для расчета давления на линии тока с радиусом r можно получить из работы [18] на основании приведенных в ней зависимостей

$$p = \text{const} - \rho gh - \frac{\rho c^2}{2r^2}, \quad (8)$$

где c – постоянная.

Тогда для величин давлений, действующих на частицу огнеупора в условиях существования потоков со скоростями $v_{ч1}$ и $v_{ч2}$ выражение (8) преобразуется в выражения

$$p_1 = \text{const} - \rho gh - \frac{\rho \left(\frac{v_1 S_1}{S_2} - \omega r \right)^2}{2}; \quad (9)$$

$$p_2 = \text{const} - \rho gh - \frac{\rho \left(\frac{v_1 S_1}{S_2} + v_{max} \right)^2}{2}. \quad (10)$$

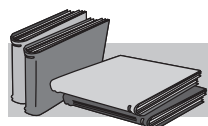
Анализируя уравнения (8), (9), (10), можно сделать следующие заключения: уменьшение радиуса r линии тока влечет за собой увеличение окружной скорости движения расплава с одновременным снижением значений p_1 и p_2 , то есть наблюдается снижение величин давлений от периферии вихря, что

способствует продвижению частиц смятой футеровки к его центру. Ввиду того, что скоростной (динамический) напор в уравнении (10) превышает соответствующую величину в уравнении (9), справедливо следующее неравенство $p_1 > p_2$. Таким образом, заполнение расплавом формы на этапе существования гидродинамического режима движения расплава в камере по п. 1 способствует более качественному затягиванию НВ к центру вихря (по сравнению с режимом движения по п. 2). Увеличение ϑ_2 при сохранении скорости движения расплава в форме на прежнем уровне возможно при уменьшении площади проходного сечения литника, что влечет за собой рост как p_1 , так и p_2 . В то же время один из технологических этапов ЛВКД предполагает создание избыточного давления на металл после окончания заливки. С повышением величины приложенного давления, увеличения объема пресс-остатка и диаметра литникового хода улучшается фильтрация жидкой фазы сквозь сетку растущих кристаллов. Очевидно, что в таком случае организация подпитки отливки будет сопряжена с повышением расхода металла. Увеличение диаметра литникового хода, кроме того, приводит к уменьшению циркуляционной составляющей в уравнениях (9), (10), что неизменно повлечет

за собой увеличение поступления НВ в полость формы. В этом случае при выборе литникового хода нужно исходить из соображений обеспечения качественной подпитки отливки с одновременным соблюдением условия минимизации его диаметра.

Выводы

В результате проведенного теоретического анализа гидродинамической обстановки в полости камеры выжимания установки ЛВКД установлено, что заполнение расплавом формы на этапе существования гидродинамического режима движения расплава в камере сразу же после заполнения камеры выжимания расплавом способствует более качественному затягиванию НВ к центру вихря (по сравнению с режимом с развитым конвективным перемещением металла). Увеличение диаметра литникового хода приводит к уменьшению циркуляционной составляющей в представленных аналитических зависимостях, в результате чего повышается вероятность поступления НВ в полость формы. При выборе литникового хода нужно исходить из соображений обеспечения качественной подпитки отливки с одновременным соблюдением условия минимизации его диаметра.



ЛИТЕРАТУРА

1. Караник Ю. А. Ресурсо- и энергосбережение в машиностроении и металлургии. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2008. – 256 с.
2. Караник Ю. А. Литье выжиманием с кристаллизацией под давлением // Литейн. пр-во. – 1990. – № 6. – С. 15-16.
3. О технологии литья с кристаллизацией под давлением (ЛКД) / Ю. А. Караник, В. А. Кузнецов, Н. М. Чернов, А. Н. Черепанов // Там же. – 2003. – № 11 – С. 42.
4. Караник Ю. А. Совершенствование способа литья выжиманием с кристаллизацией под давлением // Там же. – 2003. – № 12 – С. 26.
5. Шинский О. И. Технология и оборудование для литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям под высоким регулируемым давлением // Металл и литье Украины. – 1997. – № 1. – С. 25-28.
6. Шинский О. И., Бех Н. И., Шинский И. О. Технологический процесс получения литых заготовок коленвалов автомобилей КамАЗ по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением // Там же. – 1994. – № 11-12. – С. 16-19.
7. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям. Дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 1997. – 481 с.
8. Караник Ю. А. Новые ресурсосберегающие технологии литья точных заготовок изделий машиностроения // Литейн. пр-во. – 2004. – № 2. – С. 23.
9. Пат. 630030 СССР, МПК В22D 27/12. Устройство для получения отливок / Ю. А. Караник – Оpubл. 30.10.78, Бюл. № 40.
10. Пат. 2025206 Россия, МПК В22D 18/00. Линия для получения отливок методом литья выжиманием с кристаллизацией под давлением / Ю. А. Караник. – Оpubл. 30.12.94, Бюл. № 24.
11. Шинский О. И., Шульга В. Т., Вишнякова Л. П. и др. Технология получения гидроплотных отливок из нержавеющей сталей по газифицируемым моделям с кристаллизацией под давлением // Плавка и рафинирование литейных сплавов. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1990. – С. 128-131.
12. Шинский О. И. Особенности формирования поверхностей отливок при литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением // Там же. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1990. – С. 125-128.
13. Шинский О. И., Злубко В. А. Газовый режим и особенности заполнения формы с газифицируемой моделью под низким и высоким давлениями // Литье с применением давления. – Киев: ИПЛ АН Украины, 1991. – С. 145-156.
14. Караник Ю. А. Новые ресурсосберегающие технологии литья точных заготовок // Литейщик России. – 2003. – № 12. – С. 29-32.
15. Караник Ю. А. Способ получения отливок со свойствами на уровне поковок и проката // Литейн. пр-во. – 2006. – № 10. – С. 25-28.
16. Караник Ю. А. Особенности изготовления отливок способом литья выжиманием с кристаллизацией под давлением в постоянных и разовых формах // Литейщик России. – 2007. – № 3. – С. 37-40.
17. Караник Ю. А. Снижение металло- и энергопотребления при производстве деталей машин и механизмов // Литье Украины. – 2007. – № 5. – С. 23-29.
18. Рабинович Б. В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 423 с.
19. Найдек В. Л., Русаков П. В., Шинский О. И. Индукционно-тигельные среднечастотные печи. Энергетическая стратегия конструктивно-технологической оптимизации // Процессы литья. – 2007. – № 6. – С. 24-28.
20. Яковышин О. А. Теплофизические особенности установки литья выжиманием с кристаллизацией под избыточным регулируемым давлением // Металл и литье Украины. – 2009. – № 4-5. – С. 42-48.
21. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.

Яковишин О. А.

Деякі гідродинамічні особливості технології лиття видавлюванням із кристалізацією під надлишковим регульованим тиском

Анотація

Проаналізовано умови захоплення і внесення в порожнину ливарної форми часточок вогнетривкої футерівки. Показано, що заповнення розплавом форми на етапі існування гідродинамічного режиму руху розплаву в камері одразу ж після заповнення камери видавлювання розплавом сприяє більш якісному затягуванню НВ до центру вихора в порівнянні з режимом із розвиненим конвективним переміщенням металу.

Ключові слова

лиття видавлюванням, неметалеві вкраплення, конвекція, циркуляція

Summary

Iakovyshyn O.

Some hydrodynamical features of casting by squeezing with crystallization under superfluous adjustable pressure

The conditions of capture and involving in a cavity of the mold of particles refractory lining are analysed. It is shown, that the filling fusion of the mold at a stage of existence of a hydrodynamical mode of movement fusion in the chamber at once after filling the chamber squeezing fusion promotes better a tightening nonmetallic inclusion to the centre of a whirlwind, in comparison with a mode with advanced convective by moving of metal.

Keywords

casting by squeezing, non-metallic inclusions, convection, circulation

Поступила 17.11.09

УДК 621.747:625.155

В. А. Болюх, И. О. Шинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Технологические особенности получения отливок транспортной тележки грузовых вагонов

Рассмотрен дефицит вагонного литья, а также проблемы получения качественных стальных отливок транспортной тележки грузовых вагонов. Экономическими показателями доказана эффективность использования технологии литья по газифицируемым моделям при производстве точных отливок железнодорожной группы.

Ключевые слова: рама боковая, балка надрессорная, литье по газифицируемым моделям

В период мирового кризиса для металлургии и литейного производства Украины, как никогда, стал вопрос о снижении себестоимости и повышении качества выпускаемой продукции.

В последнее время на постсоветском пространстве наблюдается рост железнодорожных перевозок. Вместе с тем, в отрасли существует ряд серьезных проблем, связанных с дефицитом грузовых вагонов, поскольку металлургические заводы этих стран не могут быстро нарастить свои мощности [1].

Основным критерием установления возможности продления срока службы литых деталей тележек

грузовых вагонов является наличие у них остаточного ресурса (или возможности его возобновления), который оценивается проведением диагностирования (дефектоскопирования). Для продления срока службы отбирают боковые рамы и надрессорные балки, срок службы которых на момент проведения работ составляет 30 лет и более, но не более 35-ти лет включительно. Максимальный срок службы литых деталей тележек модели 18-100, подвергавшихся продлению срока службы составляет 37 лет [2], а так как большая часть эксплуатирующихся грузовых вагонов на территории стран СНГ выпущена в 1975-1980 гг.