

О. В. Соценко, К. В. Шейдаев, А. В. Белич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепрпетровск

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ ПЕРЕДНЕЙ СТЕНКИ КОВША ЭКСКАВАТОРА ИЗ СТАЛИ 110Г13Л ДЛЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Выполнено компьютерное 3D моделирование процесса формирования крупной отливки из стали 110Г13Л. Показана возможность сокращения сроков разработки технологического процесса с минимизацией риска образования усадочных дефектов в отливках.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, марганцовистая сталь, усадочные дефекты.

Виконано комп'ютерне 3D моделювання процесу формування великої виливки зі сталі 110Г13Л. Показана можливість скорочення термінів розробки технологічного процесу з мінімізацією ризику утворення усадочних дефектів у виливках.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, марганцевиста сталь, усадочні дефекти.

Done 3D computer simulation of formation of the large cast steel Garfield. The possibility of shortening the processing workflow while minimizing the risk of shrinkage defects in castings. Key words: computer simulation, manganese steel, shrinkage defects.

Keywords: computer simulation, manganese steel, shrinkage defects.

Анализ состояния проблемы.

Непрерывный рост объемов производства продукции в горнорудной промышленности стран СНГ приводит к необходимости систематически улучшать качество износостойких деталей из стали 110Г13Л для машин и агрегатов по подготовке и переработке сырья, поиска новых аналогов этой стали, сокращения сроков разработки технологии литья, удешевления выпускаемой продукции, повышения ее конкурентоспособности.

В последние годы внимание исследователей сосредоточено в основном на трех направлениях – поиск новых экономичных износостойких сталей с пониженным содержанием марганца и дополнительным легированием, оптимизация структуры и соотношения Mn/C [1-6]; исследование механизма износа деталей в различных условиях эксплуатации [7]; усовершенствование процессов термической обработки отливок [8-11]. Значительно меньше внимания уделяется модернизации существующего формообразующего оборудования, внедрению новых технологических процессов формовки, поиску оптимальных технологий с минимизацией газоусадочных дефектов в отливках из высокомарганцовистых сталей [10] на основе современных методов компьютерного моделирования [12].

Опыт компьютерного 3D моделирования литых заготовок и деталей [12-19], накопленный за последние годы, показал высокую эффективность использования такого метода в разработке и совершенствовании технологических процессов. Исследование гидродинамических и тепловых процессов на 3D моделях дает достаточно объективную информацию о размещении в отливках усадочных дефектов. Положительные результаты получены при компьютерном моделировании процессов литья насадок и накладок на шнеки промышленных смесителей [14, 15], дробильных плит для горнорудного оборудования [16], крупных валов [17] и др. Так, сопоставление

результатов компьютерного моделирования технологии литья особо крупных валов с результатами весьма трудоемких экспериментальных исследований показало высокую степень адекватности в определении зон формирования усадочных дефектов [17, 18]. Аналогичные результаты получены и при сопоставлении модельных результатов и экспериментальных данных при разработке и промышленной реализации технологии литья колосников для агломерационных машин [19] и др.

Растущие требования промышленности можно успешно обеспечить при использовании современных программных комплексов, которые позволяют выполнять разработку и усовершенствование технологии литейного производства в кратчайшие сроки. Метод «проб и ошибок», часто применяемый на литейных предприятиях, в условиях конкуренции нередко приводит к необходимости многократного исправления модельной оснастки, проведения дополнительных плавов и в итоге к неоправданно длительному периоду освоения новой продукции [12]. Обеспечение технолога-литейщика современной компьютерной техникой с программами SolidWorks и LVMFlow для твердотельного 3D моделирования отливок и визуализации процессов заполнения формы металлом с последующим затвердением позволяет выявлять прогнозируемые места образования усадочных дефектов, горячих и холодных трещин, а также моделировать другие особенности и закономерности процессов литья.

Постановка задачи. Целью статьи является компьютерное моделирование процесса литья крупной фасонной отливки из стали 110Г13Л для минимизации прогнозируемых дефектов усадочного происхождения.

Методика и результаты моделирования. В качестве объекта исследования была выбрана отливка – передняя стенка ковша экскаватора.

Отливка является сменной деталью (рис. 1, а, б), работающей в условиях интенсивного истирания и больших ударных нагрузок, поэтому к ее качеству предъявляются высокие требования. Лучшим материалом для передних стенок является закаленная на аустенит высокомарганцевая сталь 110Г13Л, обладающая наибольшей стойкостью против износа в условиях наклепа [20].

Использование для передних стенок ковша стали 110Г13Л в значительной степени осложняет технологию их изготовления. Во-первых, для сопряжения с задней стенкой и зубьями ковша экскаватора отливка при больших габаритных размерах (около 2 м) должна иметь высокую размерную точность, так как механической обработке сталь 110Г13Л практически не поддается. Во-вторых, отливки из этой стали обладают повышенной склонностью к пригару из-за большой жидкотекучести и пониженного поверхностного натяжения, вызываемого окислами марганца. Кроме того, следует принимать во внимание повышенную усадку высокомарганцевой стали и ее склонность к образованию горячих трещин [20].

Для компьютерного моделирования технологического процесса производства этой отливки из стали 110Г13Л использовали комплекс программных пакетов SolidWorks – LVMFlow. SolidWorks – это широко известная система гибридного параметрического моделирования, которая предназначена для проектирования деталей и сборок в трехмерном пространстве (рис. 1, а, б) с возможностью последующего проведения различных видов компьютерного «экспресс-анализа» технологии. LVMFlow успешно используется для разработки и анализа литейной технологии, корректировки ее в кратчайшие сроки, что позволяет в течение нескольких рабочих дней подготовить технологию получения качественных отливок.

Для компьютерного моделирования отливки передней стенки ковша экскаватора, характеризующейся относительно высокой геометрической сложностью из-за разнотолщинности, использовали пакет программ SolidWorks, который позволяет быстро и качественно создать трехмерную модель любой формы. При создании любого 3D элемента модели в этой программе необходимо начертить

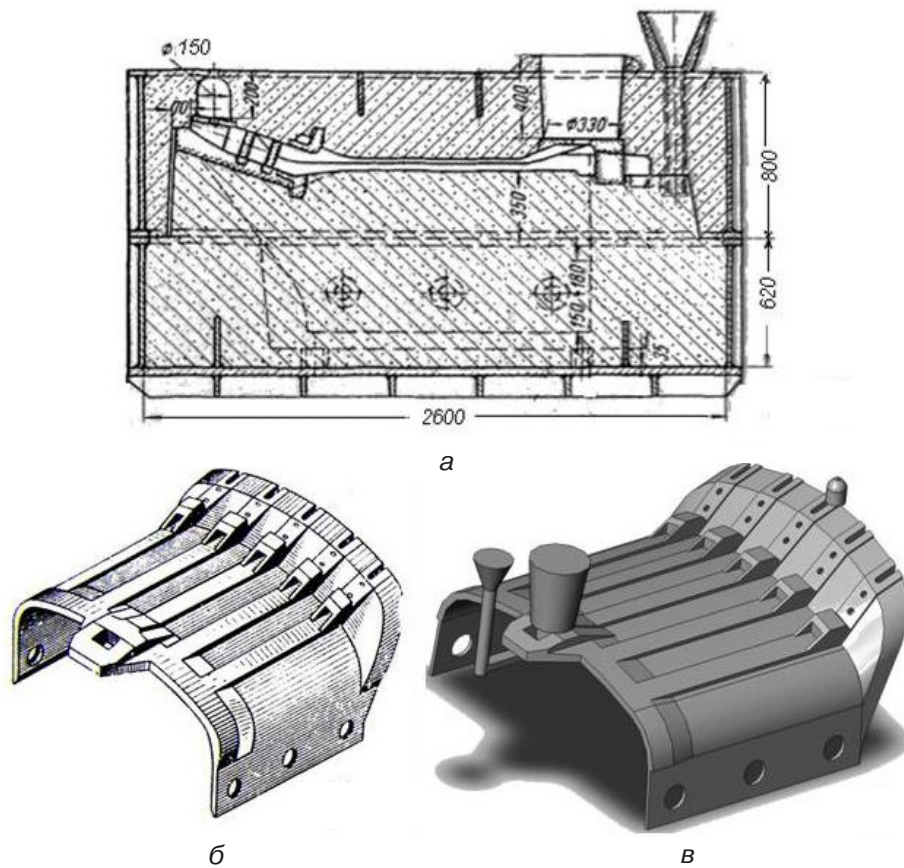


Рис. 1. Передняя стенка ковша экскаватора: схема литейной формы (а); общий вид (б); готовая 3D модель с элементами литниковопитающей системы (в)

его эскиз и, используя один из многочисленных стандартных инструментов программы, преобразовать двухмерный чертеж в готовую трехмерную модель.

На первом этапе проектирования при использовании таких инструментов, как вытянутая бобышка и вытянутый вырез, была создана первая часть модели, а именно – основание с ребрами жесткости и монтажными отверстиями (рис. 2). На втором этапе осуществляется формирование передней части отливки, на которую впоследствии будут крепиться зубья (рис. 2, б). В связи с тем, что тело модели имеет сложную геометрическую форму, моделирование его выполняли методом «наслоения», крепежные отверстия были выполнены с помощью функции-инструмента «Вытянутый вырез» (рис. 2, а).

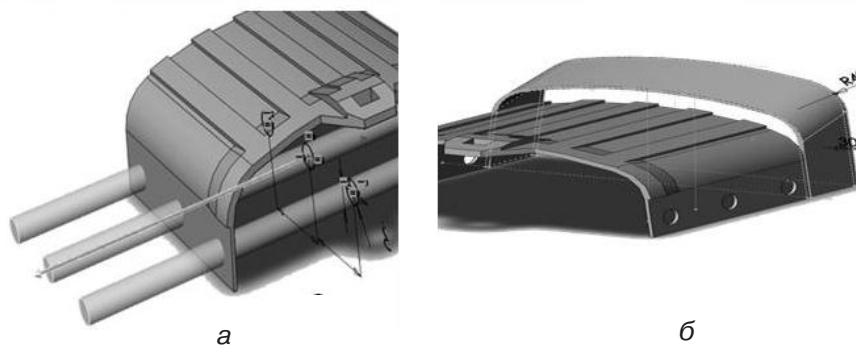


Рис. 2. Формирование основания отливки (создание отверстий) – пример использования функции «Вытянутый вырез» (а); формирование передней части задней стенки ковша экскаватора (б)

Последним этапом формирования передней стенки ковша экскаватора было моделирование литниковой системы, которая состоит из двух прибылей, воронки, стояка и питателя. Цилиндрическая форма всех элементов литниковой системы помимо питателя дает возможность использовать функцию SolidWorks, которая не была использована ранее, а именно «Повернутая бобышка» (рис. 3).

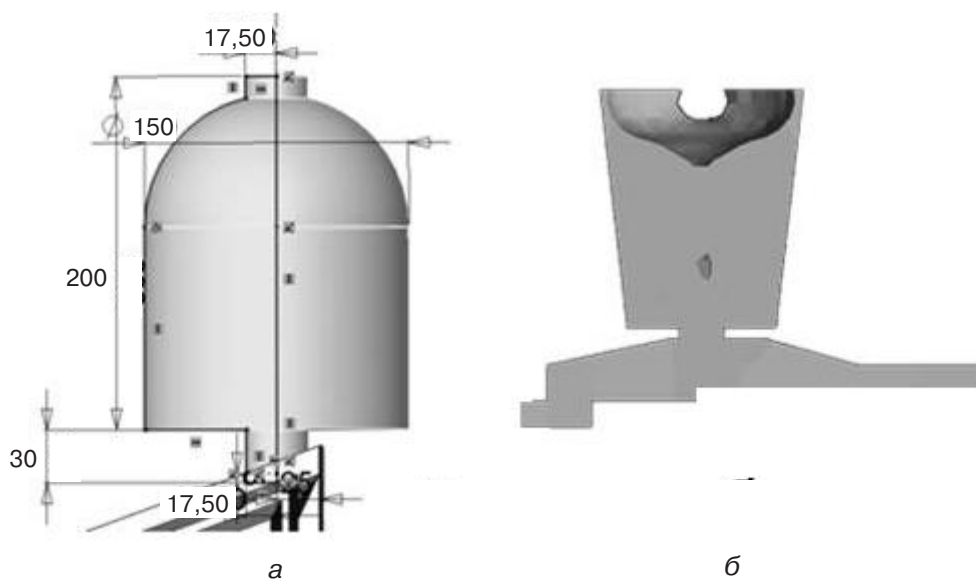


Рис. 3. Формирование прибыли – пример использования функции «Повернутая бобышка» (а); газовая раковина в прибыли (б)

Для моделирования процесса заливки и затвердевания отливки использовали систему автоматизированного моделирования литейных процессов LVM Flow, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с известными аналогами Полигон, ProCast и др. Ряд исследователей в числе отличительных особенностей этой программы отмечают относительно низкую стоимость, простоту решения задач, адекватность результатов моделирования и достаточную скорость расчета процессов заливки и затвердевания отливки. Поэтому выбор программы LVMFlow определяется чаще всего профессионализмом и индивидуальным предпочтением исследователя или технолога.

Компьютерное моделирование с помощью пакета прикладных программ LVM Flow позволяет наблюдать и анализировать все процессы заполнения формы, затвердевания и охлаждения отливки, а также выявлять области вероятного формирования усадочных дефектов. Расчеты для модели выполняются методом конечных разностей на регулярной прямоугольной сетке (рис. 4).

Температурные поля и области вероятного образования усадочных дефектов в осевом сечении отливки в разные моменты времени регистрировали путем снятия скриншотов – копий фрагментов с экрана монитора. Числовые и цветовые (тоновые) шкалы-эталонны позволяют количественно в градусах и процентах соответственно оценить динамику изменения исследуемых параметров (рис. 5).

На первом этапе моделирования использовали модуль «3D импорт», основным назначением которого является конвертирование трехмерной формы, созданной в SolidWorks и сохраненной в формате *.STL, в характерный для LVMFlow формат *.svg. Для регулирования положения отливки в пространстве использовали панель углов Эйлера.

На следующем этапе в модуле «Полное задание» применяли следующие начальные установки и параметры заливки: размер ячейки – 14,3 мм; общее количество ячеек – 5 958 480; объем требуемой памяти – 845 Mb; материал отливки – сталь

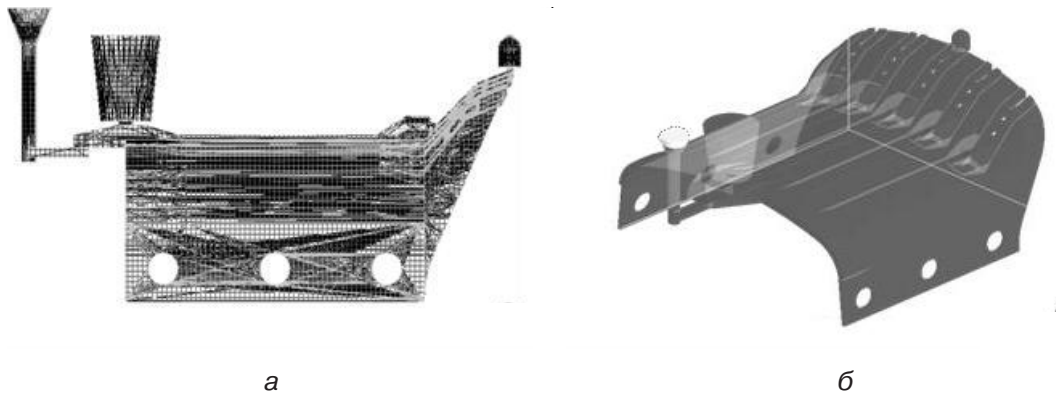


Рис. 4. Скриншоты моделирования системы «Литейная форма – отливка» передней стенки ковша экскаватора в программе LVMFlow: продольное сечение (а); вид 3D (б)

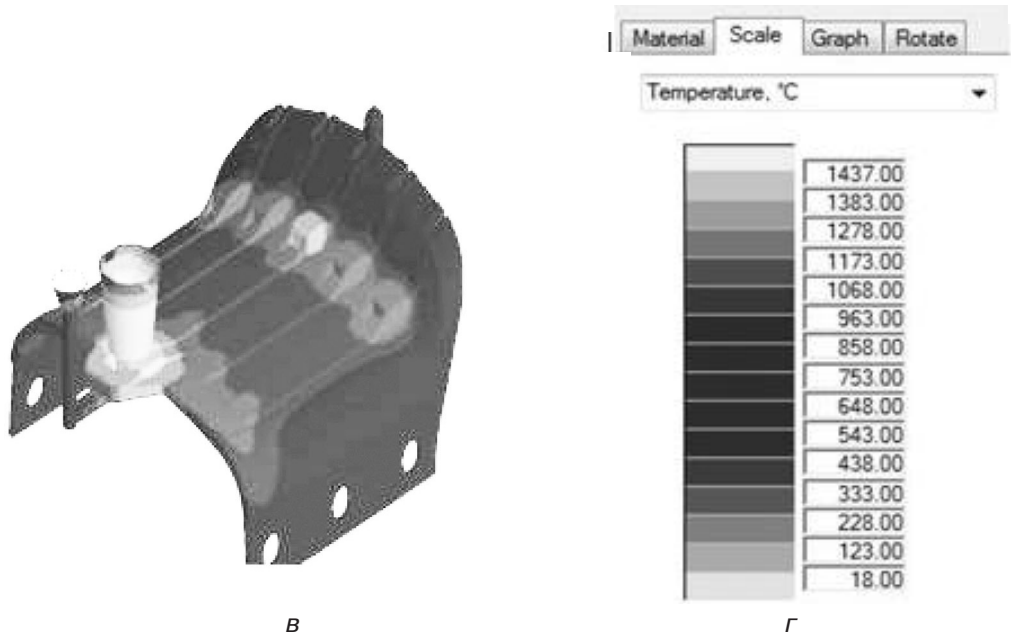
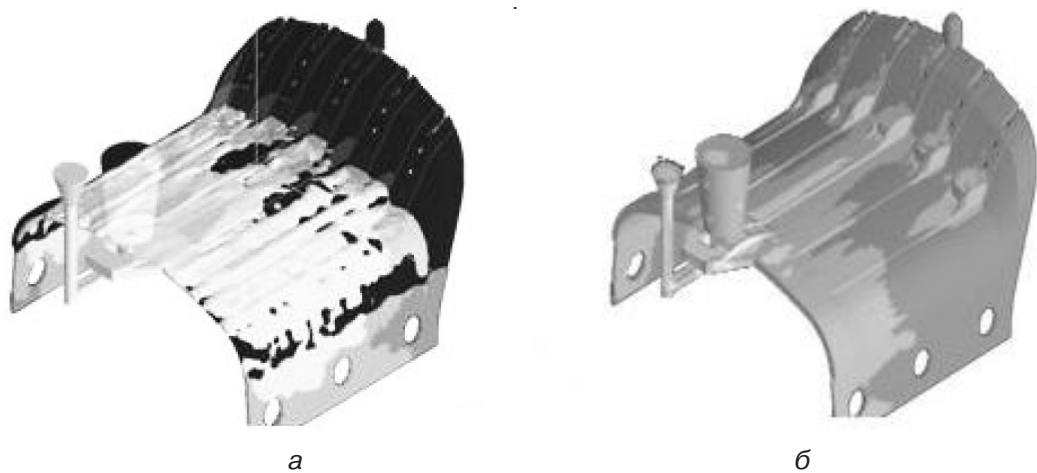


Рис. 5. Скриншоты моделирования процессов заливки (а) и затвердевания (б, в) передней стенки ковша экскаватора; тоновая шкала-эталон (палитра) температуры (г)

110Г13Л; формовочный материал – песчано-глинистая смесь; заданная температура заливки – 1400 °С; начальная температура песчаной формы – 20 °С; способ заливки – гравитационное литье; критерий «Автостопа», то есть условия прекращения расчетов – достижение в отливке температуры 300 °С.

После установки всех вышеперечисленных параметров симулировали заливку и затвердевание. Все полученные результаты сохраняли в формате *.psd. Для более подробного анализа полученных результатов использовали модуль «Обозреватель».

Выводы

- Литниковая система выбрана правильно, так как в теле отливки полностью отсутствуют недоливы и механические дефекты.
- Единственная газовая раковина находится в прибыли отливки, что дает основание полагать, что работа прибыли оказалась эффективной.
- Результаты компьютерного моделирования дают основание рекомендовать данный вариант технологического решения для практической реализации как обеспечивающий минимизацию прогнозируемых усадочных дефектов в отливке «Передняя стенка ковша экскаватора» из стали 110Г13Л.
- Компьютерное моделирование в программе LVMFlow позволило адекватно прогнозировать расположение и объем усадочных зон, формирующихся в процессе затвердевания и охлаждения отливки. Одним из наиболее эффективных путей дальнейшего совершенствования технологического процесса литья подобных деталей из стали 110Г13Л является использование при компьютерном моделировании оптимизационных методов, в частности, полного или дробного факторного эксперимента.



Список литературы

1. *Малинов Л. С., Малинов В. Л.* Ударно-абразивная износостойкость марганцовистых сталей с пониженным содержанием марганца // *Металлургическая и горноруд. пр-сть.* – 1999. – № 6. – С. 39-42.
2. *Чейлях А. П.* Создание и управление свойствами экономно легированных метастабильных сплавов нового поколения // *Металл и литье Украины.* – 2005. – №7–8. – С. 9-55.
3. *Мулявко Н. М.* Анализ эксплуатационной стойкости отливок из стали 110Г13Л // *Известия Челябинского научного центра.* – 2001. – Вып. 4 (13). – С. 28-30.
4. *Мирзаев Д. А., Корягин Ю. Д., Окишев К. Ю.* Влияние металлургических факторов на механические свойства и износостойкость литых марганцовистых сталей // *Там же.* – 1999. Вып. 3. – С. 18-22.
5. *Сильман Г. И.* Сплавы системы Fe-C-Mn. Особенности структурообразования в марганцевых и высокомарганцевых сталях // *МиТОМ.* – 2006. – № 1, ч. 4. – С. 3-7.
6. *Сильман Г. И.* Сплавы системы Fe-C-Mn. – Особенности структурообразования в высокомарганцевых чугунах // *Там же.* – 2006. – № 3, ч. 5. – С. 3–8.
7. *Галико А. В.* Ударно-абразивне зношування деталей машин та агрегатів // *Наукові записки.* – Кіровоград: КНТУ, 2007. – Вип. 8. – С. 77-78.
8. *Малинов Л. С., Малышева И. Е., Малинов В. Л.* Использование эффекта самозакалки при нагружении, регулирование структуры и мартенситного превращения для повышения износостойкости экономно легированных чугунов // *Металл и литье Украины.* – 2001. – № 10-11. – С.12–15.
9. *Ильинский В. А., Габельченко Н. И., Волкова Н. В.* Стабилизация свойств литой стали 110Г13Л // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные технологии в обучении и производстве». – Камышин, 2009. – Т. 3. – С. 47-49.
10. *Воронин Ю., Воронин С.* Повышение качества литья, характерные особенности окисных газовых раковин // *Технической альманах «Оборудование».* – 2006. – № 11. – С. 49-55.