
ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК 669. 15.26.74.196

О. В. Соценко, С. Ю. Афонин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ КОРПУСА ЛОКОМОТИВНОЙ БУКСЫ ИЗ СТАЛИ 15Л

Выполнено компьютерное моделирование формирования отливок корпуса локомотивной буксы из конструкционной нелегированной стали с литейными прибылями разных типов. Показана возможность повышения эксплуатационных свойств отливок посредством компьютерного анализа и усовершенствования технологического процесса литья.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, конструкционная нелегированная сталь, дефекты усадки, дефекты поверхности, литьё, литейная прибыль, себестоимость.

Виконано комп'ютерне моделювання формування виливків корпусу локомотивної букси з конструкційної нелегованої сталі з ливарними надливами різних типів. Показана можливість підвищення експлуатаційних властивостей виливків за допомогою комп'ютерного аналізу та удосконалення технологічного процесу лиття.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, конструкційна нелегована сталь, дефекти усадки, дефекти поверхні, лиття, ливарний надлив, собівартість.

Was done the computer simulation of formation of castings locomotive axle box body of structural non-alloy steel casting profits of different types. There was revealed possibility of improving the performance properties of castings by means of computer analysis and improvement of the process of casting.

Key words: computer modeling, structural non-alloy steel, shrinkage defects, surface defects, casting, riser, prime cost.

Анализ состояния проблемы

Корпуса букс, как и другие детали подвижного состава железнодорожного транспорта, должны соответствовать стандартам качества поверхности и внутренней структуры из-за статических и динамических нагрузок, которым они подвергаются в процессе эксплуатации. Тенденция к увеличению времени хода пассажирских и грузовых поездов при обязательном соблюдении требований к безопасности их движения ставит перед необходимостью повышение качества деталей – минимизацию разного рода внутренних и внешних дефектов, во многом допускаемых вследствие устаревания технологии изготовления отливок.

Для изготовления заготовок корпусов букс литьём используют различные методы, выбор которых определяется технико-экономической целесообразностью. Для получения отливок корпусов букс применяют литьё в разовые песчано-глинистые формы, в кокиль, под давлением, в оболочковые формы и др. [1] с последующей термической обработкой для достижения мелкозернистой структуры и устранения внутренних напряжений. При этом применяют стали различных марок, либо лёгкие алюминиевые сплавы [2]. Основным же методом изготовления отливок до настоящего времени остаётся литьё в разовые песчаные формы [1].

Разнообразие способов получения отливок сводит поиск оптимальных соотношений цена-качества изделий к комбинированию устоявшихся методов литья с одновременным повышением механических свойств, износостойкости, коррозионной стойкости и т. д. посредством подбора оптимального соотношения легирующих элементов [3]. Обоснование необходимого качества готовой продукции также достигается путём выбора оптимальной термической обработки [4], использованием надлежащих компонентов формовочных и стержневых смесей [5], анализом и приданием технологичности детали, а за счёт этого и её конструкционной прочности, повышением физико-механических свойств материалов [6], от которых, в основном, зависят прочностные характеристики корпусов букс [7].

Все приведённые способы повышения качества отливок имеют разную эффективность в решении поставленной задачи. Соблюдение старых и введение новых стандартов качества на производстве с использованием вышеперечисленных методов приводит к увеличению себестоимости продукции, что не может не отразиться на её конкурентоспособности. Большинство из описанных методов рентабельны, только при крупносерийном и массовом производствах, из-за чего нередко исключается возможность их реализации при основном способе изготовления корпусов букс.

В поисках путей повышения качества отливок при сохранении стоимости производства, всё больше внимания уделяется новым компьютерным технологиям. Так, в 2010 году 18 % компаний, использовавших на производстве 2D-программы, в полной мере перешли на 3D, а 22 % – начали параллельно использовать 2D и 3D технологии компьютерного моделирования для изготовления продукции. Число таких компаний непрерывно растёт [8].

Кроме возможностей современных компьютерных программ для расчёта и оптимизации состава шихты, формовочных и стержневых смесей для каждой отдельной детали с учётом реального наличия исходных материалов, развитие компьютерных технологий позволяет внедрить **3D моделирование на нескольких этапах производства** литья. На стадии разработки конструкции детали целый ряд современных компьютерных программ может быть использован не только для построения трёхмерной модели заготовки, но и для проверки её различных физико-механических свойств, таких как: прочность на растяжение, сжатие или кручение и др. При необходимости трёхмерную модель детали можно преобразовать в двухмерные чертежи. Одной из таких программ является SolidWorks.

Для моделирования процессов заливки и затвердевания трёхмерных моделей с последующим их исследованием, а также корректировкой материалов, конструкции детали и формы, выбором оптимальной температуры металла в ковше, эффективной программой является LVMFlow. Работа в данной программе может служить в определённой мере экономичной альтернативой экспериментальным исследованиям технологичности модели отливки, гидравлических и тепловых процессов формирования будущей детали.

Литейщик-технолог со знанием принципов работы в программах SolidWorks и LVMFlow получает возможность в короткие сроки выявить, устранить или минимизировать проблемные участки в конструкции детали и элементах литейной формы. Это позволяет предупредить образование усадочных дефектов, визуально опре-

делить возможные места концентрации литейных напряжений, размыва формы струей металла, образования засоров, расположения участков пригара на отливке, областей зональной ликвации и т. д.

Таким образом, поиск оптимального технологического процесса изготовления корпуса буксы на основе современных технологий компьютерного моделирования позволяет повысить эксплуатационные свойства при использовании традиционных способов литья с уменьшением зависимости стоимости детали от затрат на энергоносители и легирующие элементы.

Постановка задачи

Цель исследования – построение трёхмерной модели корпуса буксы с литниково-питающей системой (далее ЛПС) и двумя типами прибылей с последующим моделированием процессов их заливки сталью 15Л и затвердевания в песчано-глинистой форме, для определения варианта литейной прибыли с наилучшим эффектом предупреждения образования усадочных дефектов и дефектов на поверхности отливки.

Методика и результаты моделирования

В качестве объекта исследования была выбрана отливка корпуса буксы массой 46,2 кг. Габаритные размеры 382 x 323 x 242 мм. Построение 3D-моделей сборки корпуса буксы, ЛПС и двух типов прибылей выполняли в программе SolidWorks, моделирование процесса заливки и затвердевания сборки осуществлялось в программе LVMFlow.

SolidWorks – многофункциональный и эффективный инструмент для решения сложных задач инженерного характера по трёхмерному моделированию и сопутствующим задачам. Сочетает в себе возможности нескольких программ. Благодаря встроенным модулям и широкому разнообразию опций программа имеет полный набор инструментов для проектирования и моделирования различного рода деталей (рис. 1), конструкций и их сборок (рис. 2).

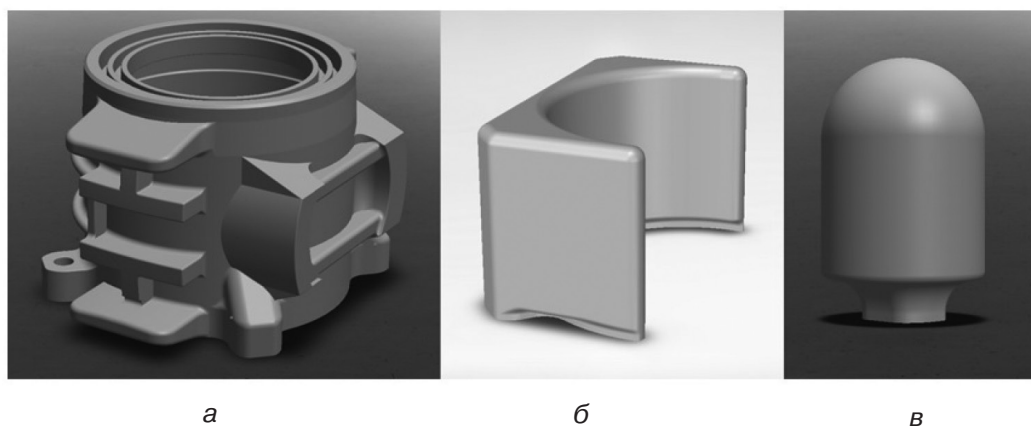
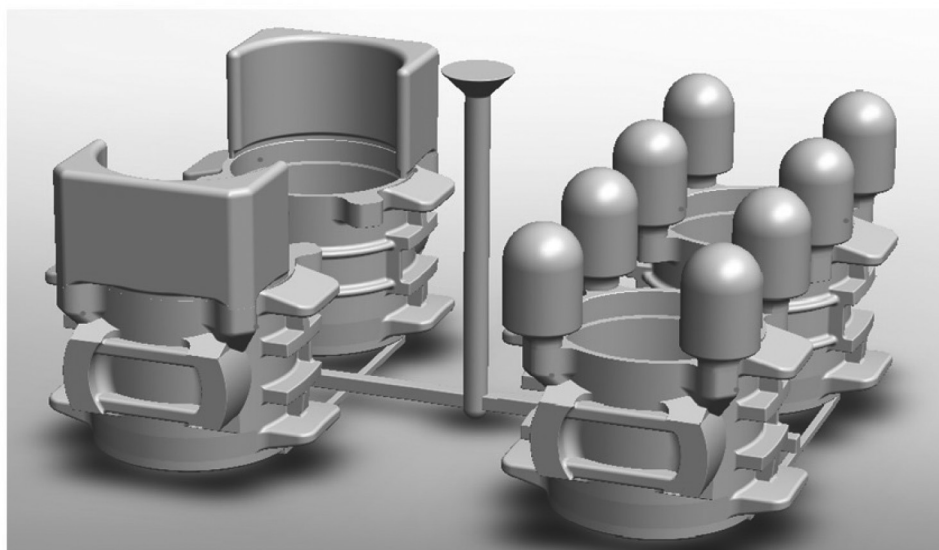


Рис. 1. Построенные в SolidWorks трёхмерные модели корпуса буксы (а) и прибылей первого (б) и второго типов (в)

При известной массе отливки в SolidWorks рассчитали массу ЛПС с обоими типами прибылей для определения необходимого количества металла при заливке на одну форму. Так, при массе корпуса буксы в 46,2 кг, масса ЛПС составляет 10,52 кг, масса прибыли первого типа – 24,98 кг, масса прибыли второго типа – 9,35 кг. Полная масса металла необходимого для заливки сборки первого типа – 295,24 кг, а для сборки второго типа – 342,92 кг.

LVMFlow – программа компьютерного инженерного анализа. Она позволяет посредством моделирования получить данные о технологичности детали и тем самым исключить на производстве этап изготовления пробных отливок. Программа даёт возможность выполнять динамическое моделирование процессов течения металла



а

б

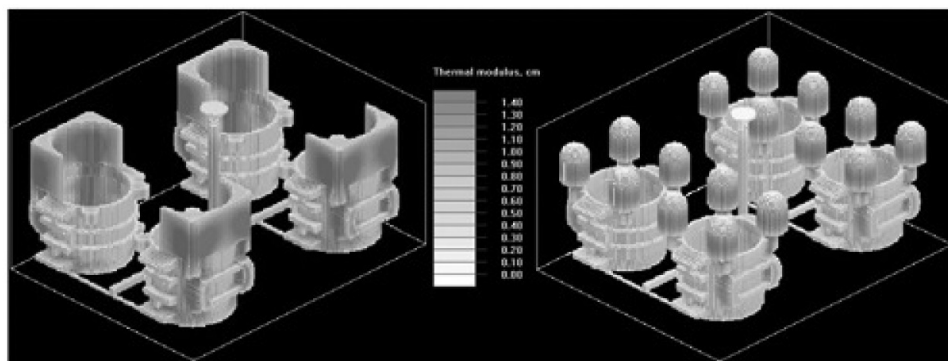
Рис. 2. Сборки корпусов букс и ЛПС с прибылями первого (а) и второго типов (б)

при заполнении формы и затвердевания отливки. Есть возможность учёта многократного использования форм [9, 10].

Как и SolidWorks программа LVMFlow разделена на модули. При моделировании процессов заливки и затвердевания в модуле «Полная задача» на начальном этапе были внесены следующие данные: размер ячейки – 2,8 мм; материал отливки – сталь 15Л; материал формы – песчано-глинистая смесь; температура жидкого металла – 1610 °С; начальная температура формы – 20 °С; способ заливки – гравитационное литьё; условие прекращения расчётов – достижение в отливке температуры 20 °С.

При моделировании двух сборок с разным набором прибылей области формирования усадочных дефектов определяли визуально посредством сопоставления соответствующих участков модели с прилагаемой цветовой палитрой или с палитрой серых тонов. В числе контролируемых объектов и параметров были тепловые модули сборки, время затвердевания и образование в них усадочных дефектов.

Как следует из рис. 3, температурный модуль имеет наибольшие зоны тоновой локализации в прибылях и в области рёбер жёсткости корпусов букс, а в случае



а

б

в

Рис. 3. Тепловые модули сборок первого (а) и второго типов (в); палитра серых тонов (б)

сборки первого типа – и в зоне приливов. Это свидетельствует о том, что основное количество дефектов поверхности, таких как пригар, будет образовываться именно вокруг тёмных участков сборок, показанных на рисунке.

На рис. 4 показано, что продолжительность затвердевания сборки первого типа значительно больше, чем сборки второго. Следовательно, реализация первого варианта технологии приводит к менее рациональному использованию площадей участков литейного цеха для затвердевания и охлаждения отливок. Увеличение времени загрузки площадей на производство деталей увеличивает их себестоимость, но расход металла на прибыли второго типа большой, к тому же количество прибылей, используемых для производства сборок второго типа, в 4 раза превышает количество прибылей для сборок первого типа. Это означает, что время, отведённое на установку моделей прибылей при формовке, увеличивается. Данные факторы вместе влияют на увеличение общей себестоимости отливки. Тем не менее, несмотря на различную природу факторов, удорожающих технологию изготовления отливок, как с прибылями первого, так и второго типов, их себестоимость, вероятно, будет одинаковой.

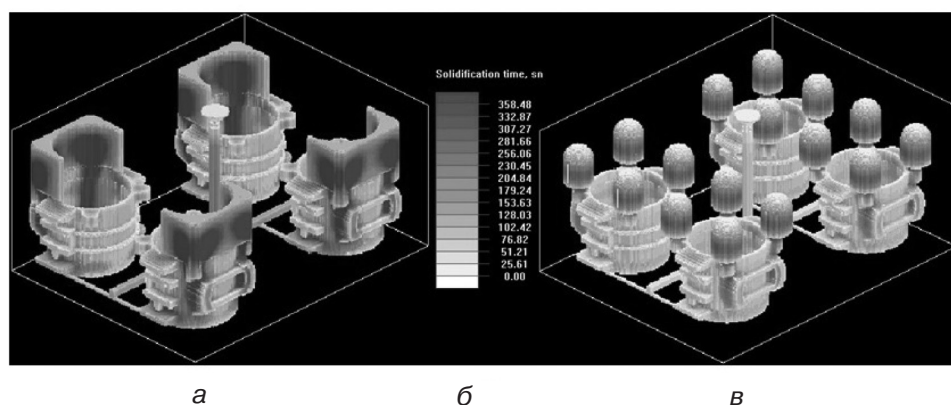


Рис. 4. Продолжительность затвердевания сборок первого (а) и второго типов (в); палитра серых тонов (б)

По изображениям, представленным на рис. 5, можно заключить, что ни один из типов прибылей полностью не решает вопрос с проблемными зонами корпусов букс. Недостаточная подпитка металлом этих зон ведёт к образованию усадочных дефектов. В сборке второго типа этот вид дефектов образуется в рёбрах жёсткости, поскольку используемые прибыли не обеспечивают питание этих мест, в отличие

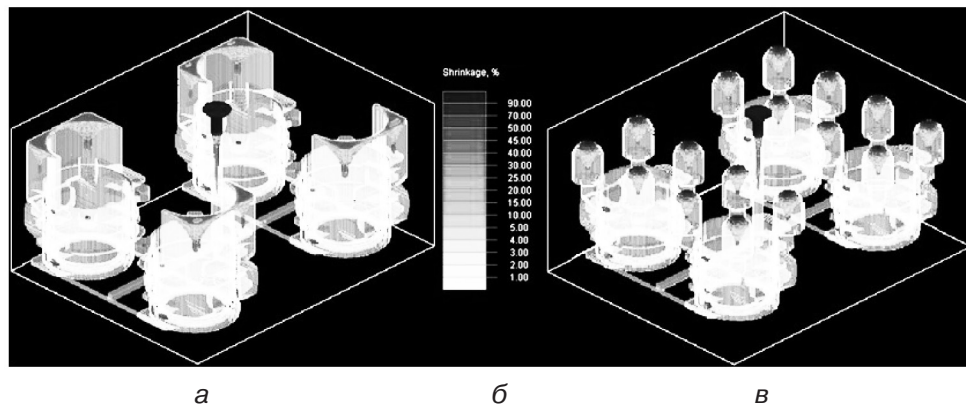


Рис. 5. Усадочные дефекты в сборках первого (а) и второго типов (в); палитра серых тонов (б)

от прибылей первого типа, при использовании которых усадочные дефекты не наблюдаются. При использовании прибылей первого типа в местах, предназначенных для сверления монтажных отверстий, также обнаруживаются усадочные дефекты, но из-за их назначения для крепления крышки наличие в них усадочных дефектов не является критически существенным недостатком.

Выводы

Показана эффективность применения компьютерного твёрдотельного моделирования на основе комплекса программ SolidWorks и LVMFlow в решении задач, стоящих перед литейщиками-технологами на этапе разработки технологичной конструкции детали и элементов ЛПС для достижения высокого качества детали. Моделирование процессов заливки и затвердевания корпуса буксы с различными вариантами прибылей из стали 15Л в песчано-глинистой форме позволило выявить участки локализации усадочных дефектов, что в условиях производства позволит значительно улучшить эксплуатационные свойства отливки. По результатам моделирования установлено, что предпочтительным является вариант технологии с использованием прибылей первого типа.



Список литературы

1. Технология производства и ремонта вагонов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / К. В. Мотовилов, В. С. Лукашук, В. Ф. Криворудченко, А. А. Петров // Маршрут. – 2003. – С. 75.
2. Устройство и ремонт вагонных бус с роликовыми подшипниками / А. А. Амелина. // Транспорт. Изд. 4-е, перераб. и доп. – 1975. – С. 68-69.
3. Производство стальных отливок: Учебник для вузов / Л. Я. Козлов, В. М. Колокольцев, К. Н. Вдовин и др. // МИСИС. – 2003. – С. 28-29.
4. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов // Высшая школа. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – 2007. – С. 366-368.
5. Учебно-методический комплекс по дисциплине: Технология производства и ремонта вагонов / В. В. Бенешевич, О. Ю. Кривич // МИИТ. – 2011. – С. 87.
6. Материаловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин. – Изд. 8-е // МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2008. – С. 48-67, 234-235.
7. Теория и конструкция локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г. С. Михальченко, В. Н. Кашников, В. С. Коссов, В. А. Симонов // Маршрут. – 2006. – С. 117.
8. Роберт Грин. Насколько мы «трёхмерны» // CADmaster. – Часть 1. – 2012. – № 4. – С. 27.
9. Турищев В. Моделирование литейных процессов: что выбрать? CADmaster. – 2005. – № 2. – С. 35.
10. Сравнительный анализ систем компьютерного моделирования металлургических и литейных процессов / Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец, И. Н. Тарасевич, А. В. Дудченко // Металл и литьё Украины. – 2010. – № 5. – С. 22.

Поступила 25.04.2015