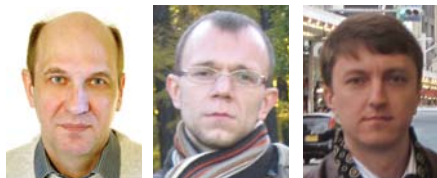


Оптимизация технологии изготовления отливок «Балка наддрессорная» тележек грузовых вагонов с применением компьютерного моделирования литейных процессов

С. М. ГЛЕБОВ, канд. техн. наук, технический директор ЗАО «ЦНИИМ-Инвест»,

М. А. ПРЕЧЕСНЫЙ, инженер-технолог ЗАО «ЦНИИМ-Инвест»,

А. В. ЯКУШЕВ, канд. техн. наук, руководитель группы испытаний металлопродукции ОАО «НВЦ „Вагоны“»



Современный программный продукт MAGMA позволяет смоделировать и проанализировать литейные процессы, протекающие в наддрессорной балке в процессе ее изготовления. Авторы исследования предлагают пути оптимизации технологии заливки наддрессорных балок и устранения литейных дефектов.

Компьютерные технологии открывают новые возможности в различных областях науки и техники, в том числе в литейном производстве. Еще 10–15 лет назад программы для моделирования литейных процессов были практически неизвестны большинству потенциальных пользователей, а результаты расчетов не вызвали особого доверия у технологов. Сегодня в России с каждым годом увеличивается число производителей литых заготовок, осознавших целесообразность применения современных компьютерных технологий для повышения качества технологической подготовки производства и выпускаемых отливок. При соблюдении ряда условий [1] компьютерное моделирование литейных процессов обеспечивает высокую сходимость теоретических результатов с практическими, что позволяет достоверно оценивать причины формирования литейных дефектов, находить технологические решения по их устранению.

Актуальность проблемы

Из широкой номенклатуры литых заготовок и деталей для железнодорожных грузовых вагонов наиболее проблемными для литейщиков являются несущие детали тележек «Рама боковая» и «Балка наддрессорная». Проблемы обусловлены жесткими требованиями к качеству этих отливок, с одной стороны, и нетехнологичностью конструкции — с другой. Большое количество закрытых термических узлов, наличие массивных приливов и резких переходов от тонких сечений стенок к толстым и от коробчатых сечений к цельнолитым стенкам повышают вероятность формирования дефектов в виде усадочных раковин и трещин различного происхождения. Естественно, что недостатки апробированной конструкции литой заготовки приходится исправлять с помощью технологических решений. Поиск и отработка последних для литья в песчано-глинистые формы производился десятилетиями. В результате применения внутренних и внешних холодильников, противоусадочных ребер, стержней с различной податливостью освоено производство заготовок удовлетворительного качества.

С расширением внедрения в производство крупных стальных отливок для тележек грузовых вагонов вакуумно-пленочной формовки (ВПФ), отличающейся от литья в песчано-глинистые формы теплофизическими параметрами последних и особенностями конструкции литниково-питающей системы, возникла необходимость поиска новых технологических решений.

Способ решения проблемы

Приведем пример применения компьютерного моделирования в пакете MAGMA. Данный программный продукт позволяет выполнять анализ причин формирования литейных дефектов и выбирать технологические решения по их минимизации или устранению. Он был использован при разработке технологического процесса изготовления отливок «Балка наддрессорная» модели 100.00.001-6 вакуумно-пленочной формовкой.

На основании результатов усталостных испытаний опытных партий деталей «Балка наддрессорная» различных заводов-изготовителей было отмечено, что основной причиной усталостного разрушения деталей являются усадочные дефекты и неметаллические включения, находящиеся преимущественно в местах сопряжения противоусадочных или охлаждающих ребер со стенкой отливки (рис. 1).



Рис. 1. Литейные дефекты, обнаруженные в изломе наддрессорной балки модели 100.00.001-6 после усталостных испытаний

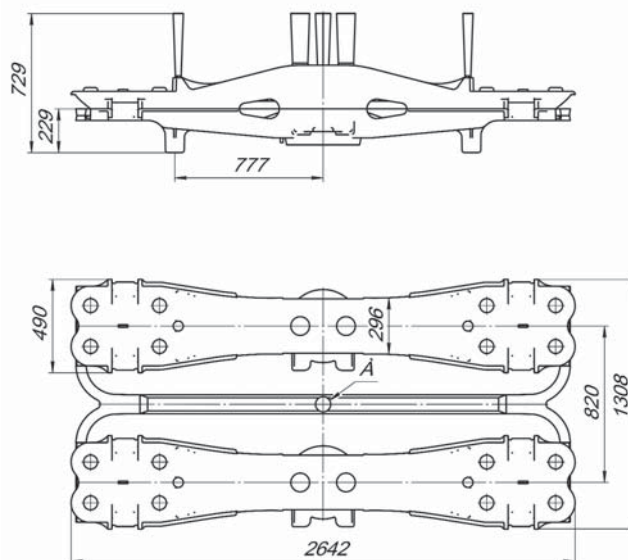


Рис. 2. Схема куста отливок «Балка наддрессорная» модели 100.00.001-6

Отмечено также, что размеры, количество и места расположения ребер не позволяют однозначно идентифицировать их назначение (охлаждение поверхности термического узла или рассредоточение деформаций). В связи с этим было принято решение моделировать процесс изготовления отливки «Балка надрессорная» модели 100.00.001-6 в соответствии с конструкторской документацией на деталь, без применения ребер, технологических напусков и закладных элементов.

К разработке была принята применяемая практически всеми производителями схема куста отливок, представленная на рис. 2.

Расположение и размеры элементов литниково-питающей системы для моделирования предварительно задавались в соответствии с общими рекомендациями по проектированию литниково-питающих систем для литья стали в формы ВПФ. Моделирование процесса изготовления отливки «Балка надрессорная» по чертежу 100.00.001-6 производилось с учетом особенностей литья в сухие песчаные формы ВПФ и опыта, полученного при разработке технологии изготовления отливок «Рама боковая» [2]. С помощью программного продукта MAGMA исследовались процессы заполнения формы металлом, затвердевания и охлаждения отливки, формирования внутренних напряжений и деформаций.

Характер течения металла и порядок заполнения полостей формы в процессе заливки существенно влияют на конечный результат — качество отливки. В данном случае имеются в виду не только дефекты, связанные с захватом воздуха в потоке металла, размывом формы, попаданием шлака в тело отливки, незаполнением, спаями и пр. В процессе заполнения формы происходит перераспределение температурных полей в потоке металла и в форме, что влияет на условия затвердевания отливки, на формирование остаточных напряжений и деформации. По объективным причинам литейщики склонны недооценивать влияние процесса заполнения формы на затвердевание отливки. Программа MAGMA позволяет визуализировать результаты компьютерной симуляции процессов заполнения формы металлом в любой момент и в любом сечении с оценкой скоростей, направлений потоков и температур, что открывает «черный ящик» и расширяет арсенал средств управления качеством отливок.

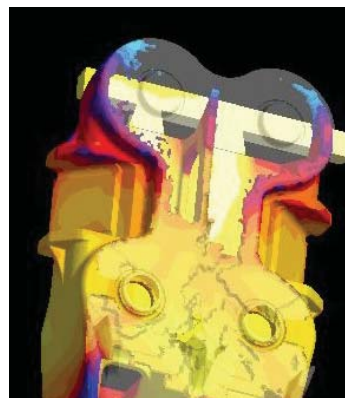


Рис. 3. Воздушная ловушка

На рис. 3 приведен пример воздушной ловушки — замкнутого объема формы, сформировавшегося из-за встречного потока металла от центра отливки. В результате возрастает вероятность формирования дефектов в виде газовой пористости или раковин (при литье в песчано-глинистые формы), или песчаных засоров (при литье в формы ВПФ). При натурных испытаниях технологического процесса на выявление причин и устранение этих дефектов потребовалось бы очень много времени и средств. С применением компьютерного моделирования в MAGMA процесс заполнения формы был отработан в течение нескольких рабочих дней путем корректировки геометрии и размеров сечений элементов литниковой системы.

После оптимизации параметров литниковой системы в отношении равномерности потока металла и качества за-

полнения полости формы (без дефектов, связанных с захватом воздуха, размывом и обрушением формы) производилась оценка вероятности формирования дефектов усадочного происхождения. При исследовании затвердевания отливки оценивалось распределение температурных полей в процессе кристаллизации, продолжительность фазового перехода и роста твердой фазы в зависимости от температуры металла.

Поскольку конструктивные особенности отливки не позволяют полностью устранить дефекты в виде усадочных раковин и пористости, требовалось решить задачу вывода дефектов из зон неразрушающего контроля. Она была решена путем оптимизации параметров литниково-питающей системы и температуры заливаемого металла; таким образом удалось снизить тепловую нагрузку на термические узлы в ответственных зонах и создать температурный напор, направленный в сторону питающих элементов.

Далее исследовалась вероятность формирования трещин в отливках. Для этого результаты расчетов временных напряжений, полученных с помощью компьютерного моделирования в MAGMA, сопоставлялись с прочностными температурно-зависимыми характеристиками сплава и данными о распределении температурных полей в отливке на интересующий момент.

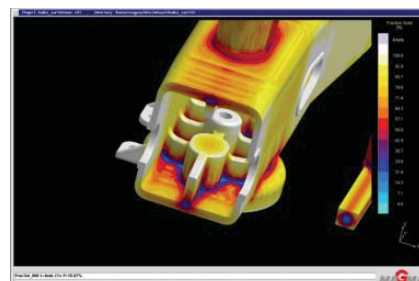


Рис. 4. Количество жидкой фазы на момент 70 %-ного затвердевания отливки

В результате была определена вероятность формирования горячих трещин в стенке нижнего пояса надрессорной балки вдоль внутреннего ребра со стороны прибыли. Однако, судя по состоянию жидкой фазы в исследуемой зоне (рис. 4), условий для формирования горячих трещин больше именно на сопряжении внутренней стенки нижнего пояса с ребром, а не на наружной, где выше значения напряжений.

Анализ деформаций в отливках, полученных с помощью MAGMA, привел к несколько неожиданному выводу с точки зрения общепринятых для литейщиков представлений. Напряжения на внешней поверхности стенки нижнего пояса балки обусловлены деформацией отливок (со стрелой прогиба до 5 мм) из-за усадки литниковой системы (рис. 5).

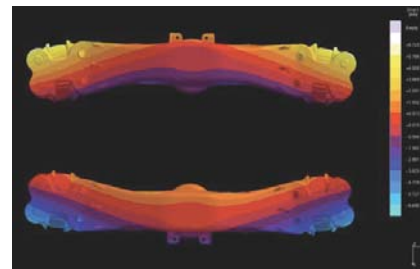


Рис. 5. Деформации отливок

С учетом того, что заполняемость форм, изготовленных путем вакуумно-пленочной формовки, на 20–30 % выше песчано-глинистых, было принято решение при заливке балок подводить металл с одной стороны. Результаты моделирования процессов формирования отливок с новой литниково-питающей системой подтвердили не только значительное снижение деформации отливок, а соответственно, и вероятности формирования горячих трещин, но и улучшение условий заполнения формы металлом, обусловленное исключением встречных потоков.



Рис. 6. Нижняя полуформа с предложенной литниково-питающей системой

Результаты

По разработанному с применением компьютерного моделирования в MAGMA технологическому процессу спроектирован (в 3D-модели) и изготовлен комплект модельно-стержневой оснастки (рис. 6).

В условиях опытного производства на сталелитейном заводе изготовлена опытная партия отливок «Балка надрессорная» (чертеж 100.00.001-6) в соответствии с конструкторской документацией, без применения ребер, технологических напусков и закладных элементов. Отливки после комплексного контроля качества были направлены на предварительные усталостные испытания в испытательный центр.

В результате испытания данных балок и изучения их изломов было установлено, что усадочные раковины и неметаллические включения отсутствуют. Устранение дефектов литейного происхождения в отливках привело к повышению усталостного ресурса балок в целом, к их живучести с усталостной трещиной.

Ликвидация литейных дефектов в труднодоступных для контроля зонах приведет к уменьшению отказов несущих отливок в эксплуатации, к сокращению случаев крушений грузовых вагонов по причине поломки надрессорных балок и боковых рам тележек.

Таким образом, компьютерное моделирование литейных процессов позволяет:

- минимизировать сроки и затраты на подготовку производства;
- повысить качество литых деталей ответственного назначения и их усталостный ресурс;
- производить оценку технологичности конструкции новых литых деталей на стадии конструирования.

Работа выполнена при поддержке Правительства Российской Федерации, Министерства образования и науки 2010-218-01-228.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко Г. М., Глебов С. М., Пирайнен В. Ю. Практические вопросы компьютерного моделирования // Литейное производство. — 2008. — № 8. — С. 29–31.
2. Пирайнен В. Ю., Пономаренко Г. М., Глебов С. М. Новое в проектировании технологии изготовления отливки рама боковая // Литейное производство. — 2009. — № 4. — С. 23–26.