



*It is shown that at production of big steel castings "Beam" and "Frame" under new technology labor intensiveness is reduced, eliminating defect by hot cracks.*

А. П. МЕЛЬНИКОВ, УП «Институт БелНИИлит», Д. М. КУКУЙ, БНТУ,  
А. В. ЧЕРАПОВИЧ, УП «Институт БелНИИлит»

УДК 621.74

## ПРОИЗВОДСТВО КРУПНЫХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

При производстве крупных стальных тонкостенных отливок для грузовых железнодорожных вагонов брак по горячим трещинам является «классическим». Литейщики всех вагоностроительных заводов постоянно ведут борьбу с этим пороком (рис. 1).

Основным аспектом при выборе новых технологий производства стержней и процессов их получения выступает качество получаемых отливок в результате использования данных стержней. Для отливок из железоуглеродистых сплавов, особенно крупногабаритных и тонкостенных, одной из проблем при внедрении технологии получения стержней из «холоднотвердеющих» смесей является образование горячих трещин [1].

Горячие трещины образуются при температуре, близкой к температуре солидуса. Развитие и оформление трещин происходит при более низких температурах [2,3].

Наибольшие трудности по предотвращению образования горячих трещин возникают при изго-

товлении тонкостенных отливок, так как появляются высокие усадочные напряжения (при одном и том же сопротивлении формы величина напряжений обратно пропорциональна площади сечения отливки); питание стенок затруднено и в отдельных местах отливок образуются усадочные рыхлости, уменьшающие сечение, а следовательно, и сопротивление отливки растягивающим усилиям; даже небольшие песочные включения и оксидные пленки могут способствовать образованию трещин; в тонкой стенке могут возникать «горячие участки», затвердевающие несколько позднее соседних участков, что может вызвать образование трещин (аналогичных, трещинам на сварном шве).

Горячие трещины можно подразделить на следующие типы.

1. Трещины на массивных отливках, изготавливаемых в металлических формах, возникающие вследствие быстрого образования внешней твердой корочки, которая отходит от кокиля и полностью воспринимает гидростатическое давление

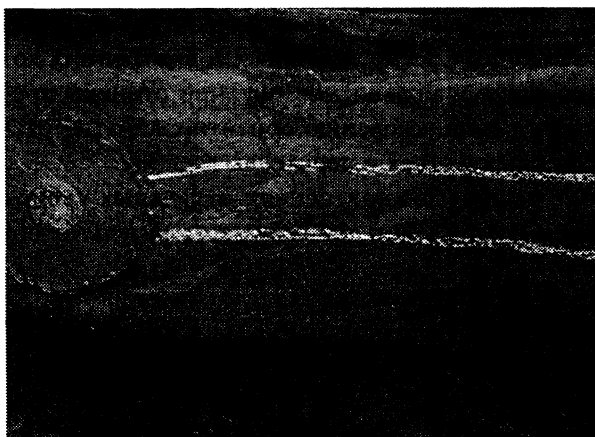


Рис. 1. Горячие трещины в стальной отливке «Балка наддресорная»

металла. Трещины образуются главным образом около прибылей, так как в этих местах происходит более медленное образование затвердевшей корки. Крупные стальные зубчатые колеса и другие изделия целесообразно изготавливать в полукокильных формах, поверхность которых облицовывается тонким слоем формовочной смеси.

2. Трещины, появляющиеся вследствие неравномерной усадки отдельных частей отливок (например, из-за литниковой системы).

Меры предотвращения возникновения таких пороков:

а) заливка форм при сравнительно низкой температуре стали;

б) установка усадочных ребер в местах 1;

в) установка ребер, увеличивающих жесткость литниковой системы;

г) тщательное раскисление стали.

Образованию горячих трещин способствуют заливки металла по разъему формы в местах стыков стержней.

3. Трещины на тонкостенных отливках, возникающие в результате неудовлетворительного питания в период заливки и попадания в отливку неметаллических включений (в том числе пленок оксидов); недостаточной податливости формы и стержней.

Тонкостенная отливка характеризуется отношением:

$$K = \tau_3 / \tau_k > 1,$$

где  $\tau_3$  – продолжительность заливки;  $\tau_k$  – продолжительность затвердевания стенки, толщина которой характерна для данной отливки.

Меры предотвращения появления таких пороков:

а) правильная заливка (применение вертикальных щелевых питателей) и достаточно высокая податливость формы препятствуют возникновению дезориентированных трещин;

б) достаточная податливость формы, применение усадочных ребер наружных и внутренних холодильников и правильное питание отливки препятствуют возникновению ориентированных, расположенных в углах и переходах трещин.

4. Трещины в сочленениях отдельных стенок отливки (рис. 2). Эти трещины есть результат об-

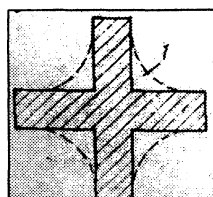


Рис. 2. Место расположения горячих трещин

разования усадочных раковин в узле. Усадочные ребра 1 не всегда предотвращают образование этих трещин. Поэтому необходимо делать облицовку углов смесью с повышенной теплопроводностью либо выполнять наружные холодильники в промежутках между ребрами.

5. Трещины фазовых превращений образуются на отливках из стали с содержанием 0,15–0,25% С вследствие резкого возрастания усадки при превращении  $\beta$ - в  $\gamma$ -железо.

6. Трещины, возникающие под действием газов, растворенных в стали и образующиеся преимущественно в отливках из стали, легированных хромом и никелем. В низколегированной хромоникелевой стали вследствие повышения содержания азота горячие трещины образуются в сочетании с межкристаллитным изломом. В стали, легированной кремнием, возникают трещины из-за повышенного содержания водорода. Для предотвращения образования трещин необходимо повышать качество плавки, снижая содержание газов в стали.

7. Трещины, образующиеся в местах расположения инородных включений в стенках отливки (плен, газовых раковин, сплавов, шлаковых и песочных включений), так как они ослабляют сечение отливки и являются местом концентрации напряжений. Для предотвращения этих трещин нужно повышать общую плотность и сплошность отливок.

8. Трещины в местах расположения резких переходов образуются в «горячих» участках отливки, которые могут служить компенсаторами усадки для других, связанных с ними частей отливки.

9. Трещины, вызванные неправильной конструкцией детали, – необоснованно большое соотношение в толщинах смежных стенок отливки, наличие острых углов или закруглений малого радиуса, жесткая конструкция. Для предотвращения образования этих трещин нужно изменить конструкцию детали.

10. Трещины, обусловленные неправильным химическим составом стали.

Вредной примесью в стали является сера, содержание которой для тонкостенных отливок должно быть не более 0,03%. При пониженном содержании марганца возникновение горячих трещин возможно при 0,05% S.

11. Трещины на отливках, изготавливаемых в кокилях, образующиеся вследствие повышенной линейной усадки в интервале затвердевания. Затвердевание отливки проходит главным образом послойно. В этом интервале повышенной линейной усадкой обладают низколегированные хромоникелевые стали. Для предотвращения образова-

ния этих трещин нужно обеспечить максимальную податливость формы и стержней.

Сталь, полученная в мартеновских и электрических дуговых печах с кислой футеровкой, более склонна к образованию горячих трещин, чем сталь, полученная в тех же печах с основной футеровкой. Объясняется это тем, что сталь, изготовленная в печах с кислой футеровкой, имеет большую плотность и усадку в интервале ликвидус-солидус и содержит взвесь из легкоплавких силикатов, как бы расширяющих интервал кристаллизации (силикаты располагаются по границам кристаллов и ослабляют связь между ними). Но при ведении плавки полукремневосстановительным процессом в печах с кислой футеровкой можно провести процесс так, что образуется минимум кремнеземистых включений.

В современных экономических условиях выживает тот, кто имеет наилучшую технологию, обеспечивающую максимальный экономический эффект (минимальную себестоимость при минимальном браке).

Выпуск оборудования и разработка технологии в области производства литейных песчаных стержней являются одним из важнейших направлений деятельности УП «Институт БелНИИлит». Придерживаясь современных тенденций в литейном производстве, институт в своей деятельности основное внимание уделяют новым, высокоэффективным процессам изготовления стержней и партнерским формам взаимоотношений с Заказчиком. Примером такого тесного и взаимовыгодного сотруд-

ничества является опыт работы с ОАО «АЗОВМАШ» (Украина, г. Мариуполь), начавшийся в 2003 г. освоением производства стержней для крупных стальных вагонных отливок.

В связи со значительным износом грузового подвижного состава (как Украины, так и стран СНГ), общим подъемом промышленности и сопутствующим ростом грузоперевозок в последние годы резко увеличился спрос на продукцию объединения. Следствием этого явилась нехватка крупногабаритных вагонных отливок «Балка надрессорная» и «Рама боковая», необходимых как для ремонта грузового подвижного состава, так и для комплектации нового.

С целью ликвидации зависимости от поставок дефицитных и непрерывно дорожающих комплектующих была поставлена задача организации в кратчайшие сроки собственного производства крупного вагонного литья в количестве 500 вагонокомплектов (3000 отливок) в месяц. Согласно планам предприятия, помимо обеспечения собственного производства вагонов, часть производимого литья в перспективе должна была реализовываться и другим вагоностроительным и вагоноремонтным предприятиям Украины и России.

Компьютерное моделирование может не только показать кристаллизацию металла, но и определить вероятность возникновения различных литейных дефектов (при правильном задании исходных параметров).

За моделированием литейных процессов и выявлением дефектов должны следовать рекомендации по совершенствованию технологии либо раз-

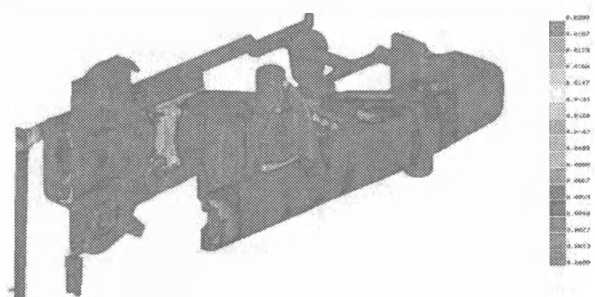


Рис. 3. Распределение термических напряжений в отливке (через 170 с)

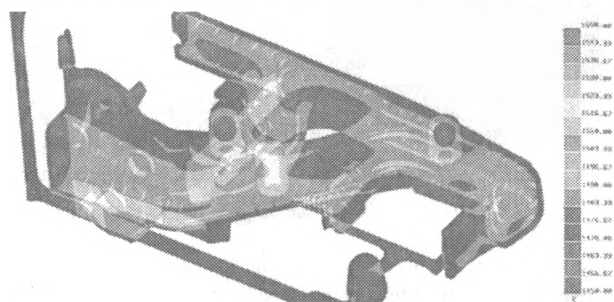


Рис. 4. Распределение усадочных раковин в отливке

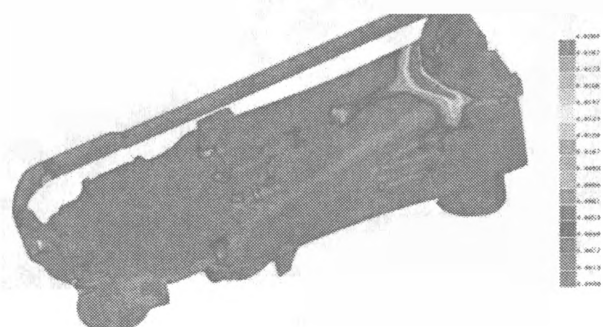


Рис. 5. Отливка без технологических ребер (149 с)

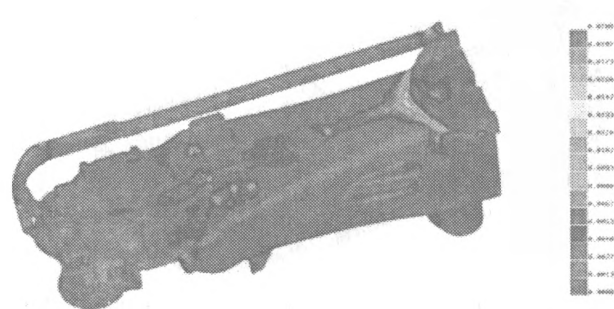


Рис. 6. Отливка с технологическими ребрами (259 с)

работка оптимальной технологии литья, что и было сделано для отливок «Рама» (рис. 3, 4) и «Балка» (рис. 5–8). Подобные программные продукты, имеющие мощный спектр функциональных возможностей, открывают реальную перспективу создания оптимальной технологии изготовления отливок. Технология, разработанная с помощью подобных программных продуктов, учитывает все необходимые элементы, обеспечивающие максимальное качество отливки, и условия, в которых должно работать готовое изделие (например, при анализе микроструктуры). В настоящее время эти программы моделируют все виды литья и самые различные сплавы.

Для разработки оптимальной технологии литейной формы и апробирования принимаемых технологических решений (в частности пустотелых стержней) были применены современные технологии – компьютерное моделирование литейных процессов (рис. 9–12), что позволило быстро подобрать наилучшую технологию и впоследствии наладить качественное производство сложных тонкостенных стальных отливок «Рама боковая» и «Балка надрессорная».

При проведении расчета были приняты условные физико-механические характеристики (прочность, термостойкость, теплопроводность и др.) стержня и формы, точные значения которых не имели принципиального значения для данного моделирования (была выбрана постепенная потеря

прочности стержня после достижения 700°С), важно было определить влияние одного параметра (а именно толщины стенки стержня) при прочих равных условиях на напряжения, возникающие в отливке при охлаждении.

Предварительный расчет показал значительную разницу в напряжениях и скоростях охлаждения у одинаковых моделей отливок при идентичных свойствах литейной формы металла при одном лишь изменении толщины стенки стержня. Следует отметить, что целью данного предварительного расчета было не точное моделирование заливки с характеристиками формы максимально приближенными к реальным, а лишь предварительное определение путей дальнейших исследований (как при помощи моделирования, так и в натурных экспериментах для подтверждения этих результатов) и подтверждение Заказчику правильности предлагаемой институтом технологии.

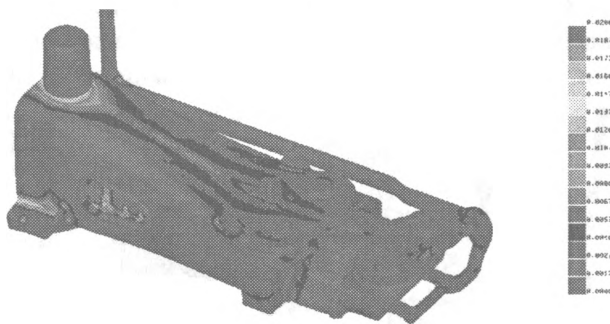


Рис. 7. Распределение термических напряжений в отливке с технологическими ребрами без холодильника (через 259 с)

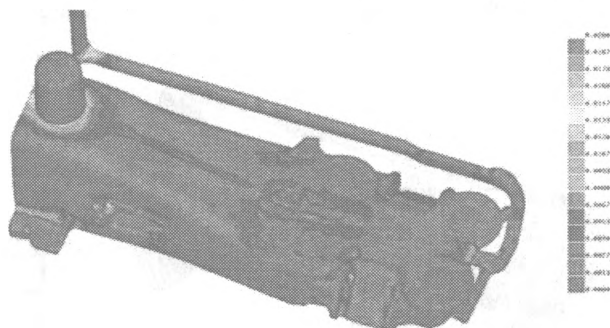


Рис. 8. Распределение термических напряжений в отливке с технологическими ребрами и холодильником (через 202 с)

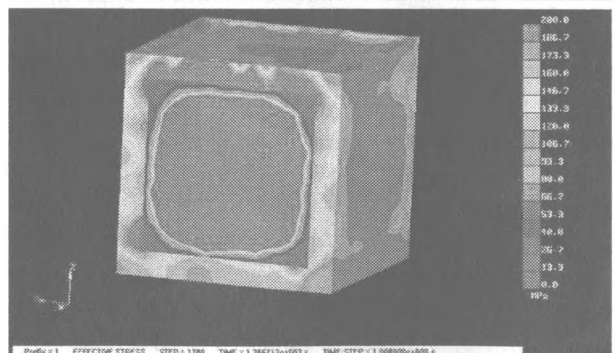
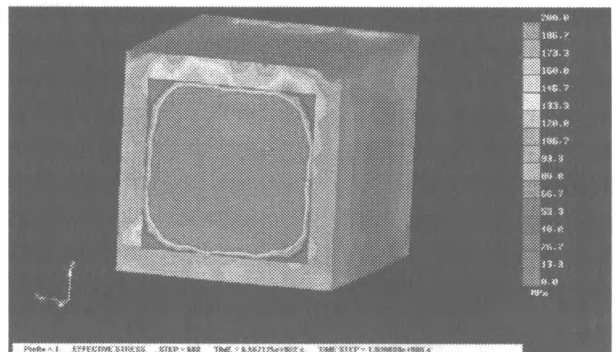
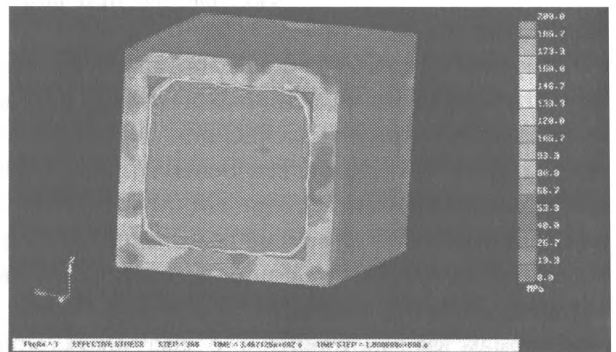


Рис. 9. Распределение напряжений в отливке и сплошном стержне при охлаждении



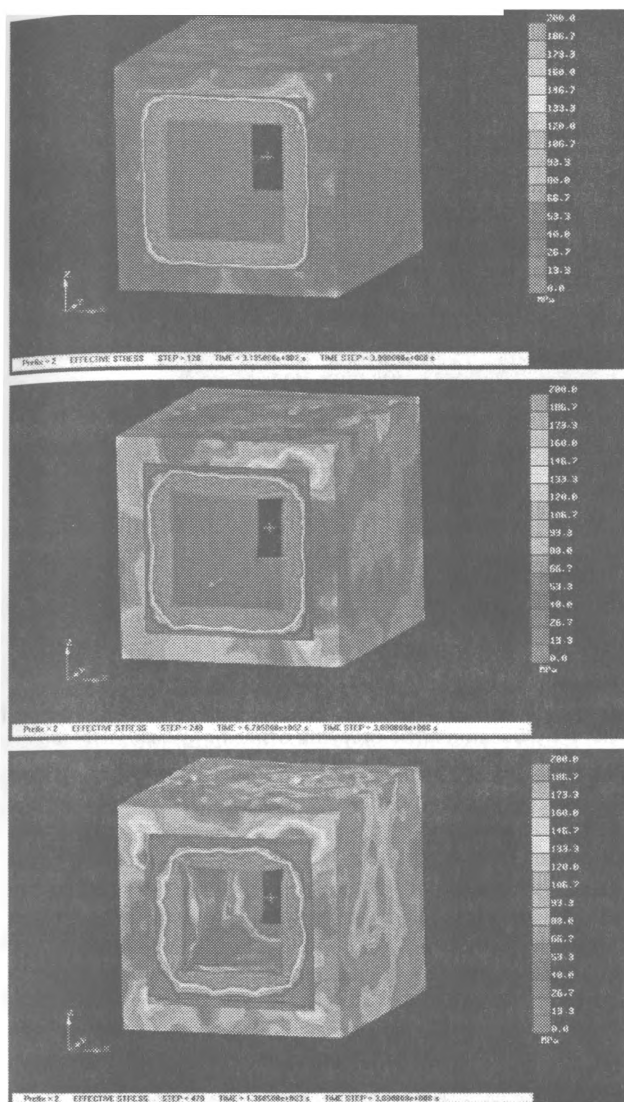


Рис. 10. Распределение напряжений в отливке и пустотелом стержне при охлаждении

Как видно из рис. 9–12, пустотелый стержень гораздо быстрее разрушается, а напряжения, возникающие в отливке, гораздо ниже. Это подтверждается и распределением температур при охлаждении – в пустотелом стержне стенки отливки теплее, чем в сплошном, что также снижает возникающие напряжения. При дальнейшем охлаждении сплошной стержень, съаккумулировав тепло отливки, начнет отдавать его назад, а с пустотелым – отливка начнет немного быстрее охлаждаться, но за это время пустотелый стержень потеряет свою прочность и будет разрушен, при этом растягивающие напряжения в отливке от стержня возникать практически не будут, что позволит отливке иметь свободную усадку.

Для изготовления стержней «Рама» был предложен Cold-box-amin-процесс, две стержневые машины мод. 4752Б2К1 (масса стержня до 25 кг) с пятью комплектами оснастки (рис.13) и мод.

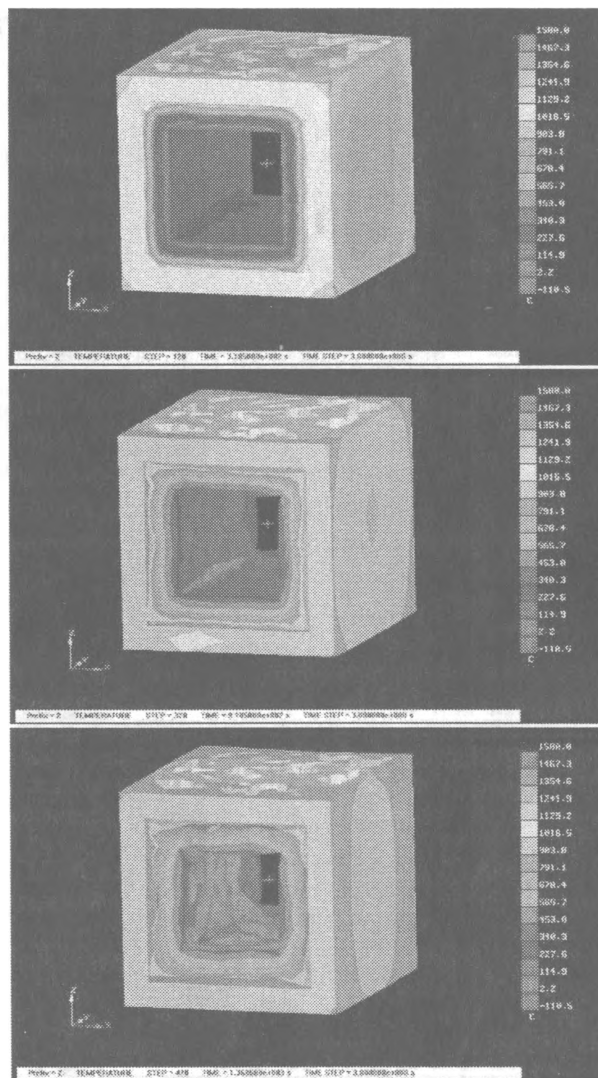


Рис. 11. Распределение температур в отливке и сплошном стержне при охлаждении

4747У1Б2К1 (масса стержня до 90 кг) с тремя комплектами оснастки (рис. 14).

По сравнению с «классической» технологией в новой технологии часть стержней отливки «Рама» была объединена в цельные моноблоки и облегчена за счет использования опустошения. Общее количество стержней для отливки «Рама» было уменьшено с 25 до 15. Это позволило повысить размерную точность, уменьшить количество используемой оснастки, снизить трудоемкость, повысить производительность при изготовлении стержней и сборке форм, сократить расход стержневой смеси (песка и связующего) и избежать самого трудноустраняемого вида брака для данных отливок - брака по горячим трещинам.

Радикально новая технология изготовления стержней «Балка» по Cold-box-amin-процессу, предложенная УП «Институт БелНИИлит», не была похожа ни на одну технологию, применявшуюся на других вагоностроительных заводах. Основной

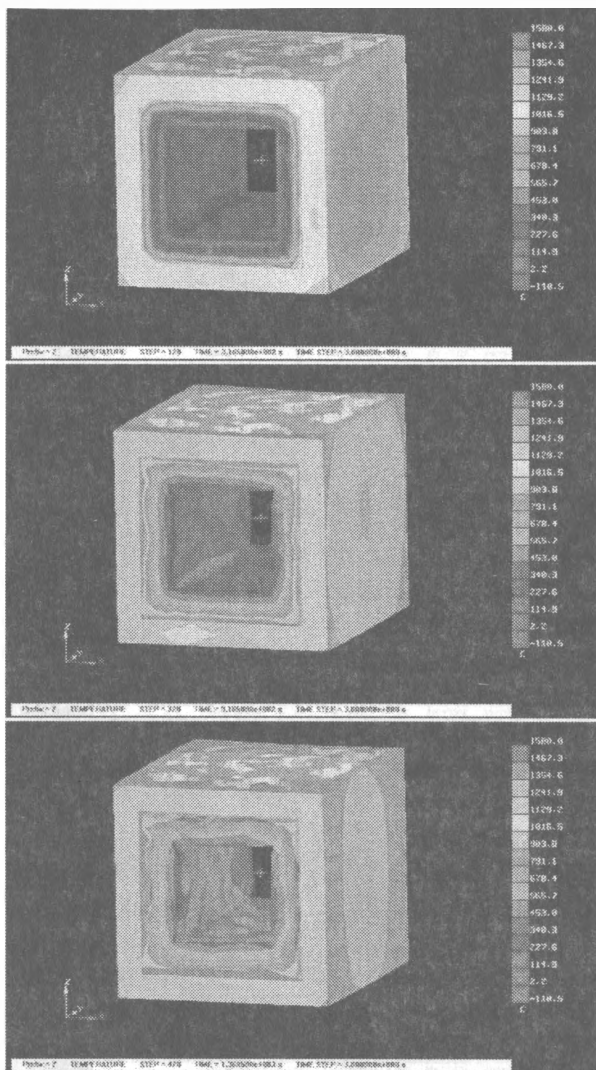


Рис. 12. Распределение температур в отливке и пустотелом стержне при охлаждении

упор был сделан на опустошение стержней, изготовленных по Cold-box-amin-процессу. Это было связано с тем, что такой стержень имеет большую прочность, жесткость и равномерно высокую плотность в отличие от стержней, изготовленных при помощи виброуплотнения, имеющих невысокую плотность набивки (особенно в верхней части) и позволяющих даже при отсутствии опустошения получать стальные тонкостенные отливки без трещин.

В ноябре 2005 г. был подписан контракт на поставку дополнительной стержневой машины мод. 4747У2Б2К1 с двумя комплектами стержневой оснастки к ней для производства стержней «Балка», установки смесеприготовления П1863 и установки АБХУ.

К концу февраля 2006 г. были спроектированы два комплекта стержневой оснастки к машине мод. 4747У2Б2К1 (патент на промышленный образец №1586 от 01.08.2008 г.) для изготовления пустоте-

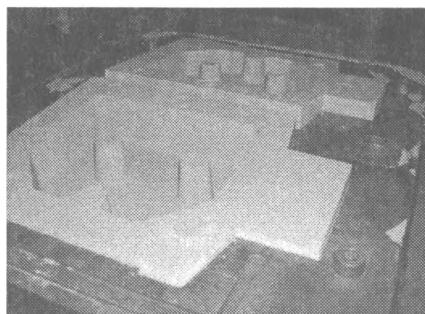


Рис. 13. Пустотелые стержни отливки «Рама», изготавливаемые на машине мод. 4752Б2К1

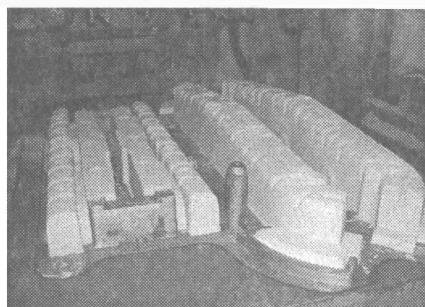


Рис. 14. Объединенные стержни отливки «Рама», изготавливаемые на машине мод. 4747У1Б2К1

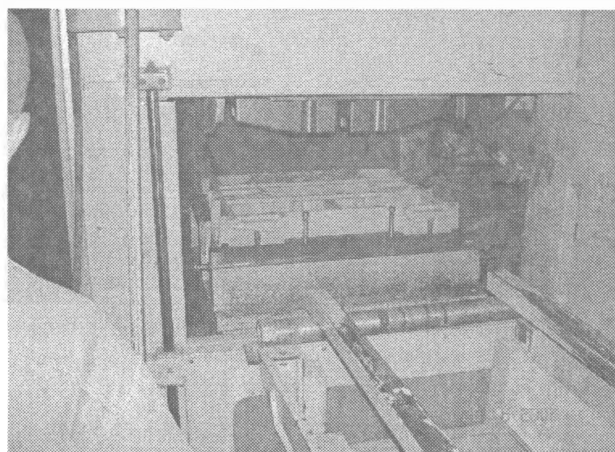


Рис. 15. Изготовление стержней по Cold-box-amin-процессу для отливки «Балка надрессорная»

лых стержней отливки «Балка надрессорная» по Cold-box-amin-процессу (рис. 15).

В апреле 2006 г. на ОАО «АЗОВМАШ» была поставлена стержневая машина с первым комплектом оснастки и установкой АБХУ, второй комплект оснастки – в мае, а в июне – установка смесеприготовления П1863.

Удлинение формовочной линии силами завода для увеличения длины заливочного и охлаждающего конвейера было закончено в мае 2006 г., после чего стали постепенно наращивать объемы производства по 50–100 вагонокомплектов в месяц. К сентябрю объем производства составил запланированные 1000 вагонокомплектов в месяц (рис. 16).

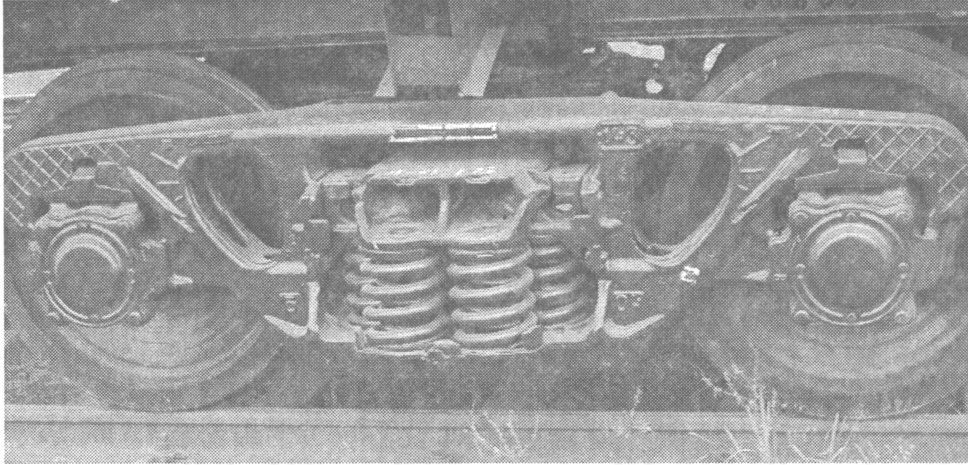


Рис. 16. Вагонная тележка в сборе на новом железнодорожном грузовом вагоне производства ОАО «АЗОВМАШ»

Новая технология и оснастка для основных стержней «Рама» и «Балка» позволила сократить расход кварцевого песка на 1/3 (с 270 до 180 кг); снизить расход связующего на 2/3 (с 4,5 до 1,7 кг); избавиться от газовых дефектов благодаря значительному сокращению содержания связующего и наличию значительного опустошения; избавиться от заливов благодаря цельным моноблокам стерж-

ней и их точной стыковке в форме и друг с другом; избежать трещин в отливках.

В декабре 2007 г. на завод поставлена еще одна стержневая машина мод. 4747У4Б2К1. В I–II кв. 2009 г. запланирована поставка еще трех стержневых машин в связи с расширением объемов производства и установкой второй аналогичной формовочной линии KW.

### Литература

1. Мельников А. П. Особенности производства стержней из холоднотвердеющих смесей для крупногабаритных отливок из железоуглеродистых сплавов // *Литье и металлургия*. 2008. № 3 (48). С. 15–20.
2. Василевский П. Ф., Демаков А. Е., Плеханов П. Н. и др. *Справочник литейщика*. М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1962.
3. Воронин Ю. Ф., Камаев В. А. *Атлас литейных дефектов. Черные сплавы*. М.: Машиностроение-1, 2005.