

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Чертовских Евгения Олеговича «Разработка технологии термической обработки стали 20ГФЛ для повышения хладостойкости литых крупногабаритных деталей тележек грузовых железнодорожных вагонов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы. В последнее десятилетие железнодорожный транспорт России столкнулся с небывалой по остроте проблемой – лавинообразным ростом числа изломов боковых рам тележек грузовых вагонов. В течение десятилетий до 2006 года происходило не более одного-двух подобных событий в год, при том, что каждый такой случай – чрезвычайное происшествие, как правило, с тяжелейшими последствиями. Начиная с 2006 года число изломов стало кратно расти и уже в 2013 году достигло небывалой величины – 37 случаев, сопряженных с крушениями, колоссальными экономическими потерями, экологическим ущербом и даже гибелью людей.

Для купирования этой проблемы были предприняты беспрецедентные меры административного, организационно-предупредительного и технико-технологического характера, которые позволили существенно снизить количество изломов уже в 2014-16 годах. Однако статистика текущего года – 13 случаев за 11 месяцев – показывает, что проблема до сих пор не решена.

Совершенно очевидно, что причиной подобного катастрофического всплеска аварийности литых крупногабаритных деталей тележек является целая совокупность факторов, накапливавшихся в течение определенного времени и фатально сложившихся в середине прошлого десятилетия. Однако одной из наиболее обоснованных, а потому требующей безотлагательной проработки и решения, стала версия о несоответствии качества и свойств

металла литых деталей тележек изменившимся условиям эксплуатации, в первую очередь – по критерию хладостойкости. Действительно, более $\frac{3}{4}$ всех изломов произошли в период декабрь-март в наиболее холодных регионах РФ. Во многих случаях разрушения деталей происходили хрупко, при наличии усталостных трещин минимального размера и без видимых дефектов. Исследования ВНИИЖТ показали, что аварийные детали обладают крайне низкими показателями ударной вязкости KCV^{-60} , которые не превышают 15-16 Дж/см², а сам норматив – факультативен. На этом основании было принято решение не только о введении норматива KCV^{-60} в ГОСТ 32400-2013, но и его плановом повышении с 2016 года.

В этой связи направление диссертационного исследования, выбранное автором, является не только актуальным, но и крайне своевременным.

Оценка содержания диссертации. В первой главе автор последовательно рассматривает проблематику изломов крупного вагонного литья, включающую эксплуатационные, конструкционные и материаловедческие аспекты повреждаемости этих деталей.

На основании анализа известных литературных источников, обосновывающих практическую безальтернативность применения низкоуглеродистых сталей семейства 20Л (20ГЛ, 20ГФЛ, 20ГТЛ) для несущих деталей трехэлементных тележек, а также критического обзора публикаций о приемах обеспечения надежности литых деталей из данных сталей, автор делает обоснованное заключение о возможности повышения хладостойкости современными технологическими решениями в области термической обработки.

К достоинствам проведенного исследования следует отнести то, что рассмотрение различных технологических и металлургических приемов управления комплексом свойств стали, почерпнутых из литературных источников, проводится параллельно с анализом экспертных заключений реальных случаев изломов, где автор соотносит выводы и рекомендации

экспертов с имеющимися научно-практическими наработками, подвергая их критическому анализу.

По результатам делается вывод, что значимого повышения ударной вязкости KCV^{60} для стали 20ГФЛ можно добиться путем ускоренного контролируемого охлаждения из аустенитной области, обеспечивающего смешанный (диффузионный и сдвиговый) механизм фазового превращения с формированием феррито-перлитно-бейнитной структуры. Далее автор проводит анализ известных исследований температурно-временных параметров термообработки и обосновывает базовые режимы (температуру и время нагрева, скорость и конечную температуру принудительного охлаждения) для проведения собственных экспериментальных исследований.

При этом, в отличие от стандартно применяемых режимов термообработки – нагрев $\sim 940^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 4 ч., последующим охлаждением на воздухе и отпуском при 640°C , автор предлагает снизить температуру нормализации для сталей 20ГФЛ до $20\div 30^{\circ}\text{C}$ выше точки A_{c3} , с дальнейшей вариацией времени выдержки и скорости охлаждения в пределах $3,5\text{--}6,5^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ для обеспечения бейнитного превращения.

Следует отметить глубокую проработку теоретической базы, позволившую четко сформулировать цели работы и постановку задач для экспериментального исследования.

Во второй главе приведены методы исследований, использованных в работе. Ознакомление с ней показывает, что соискатель в полной мере владеет современным металловедческим инструментарием, включающим как классические методы определения механических свойств, методы металлографических исследований структурного состояния при помощи оптической микроскопии, так и методики тонких и фрактографических исследований с применением сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа.

Однако наибольший научно-практический интерес представляет раздел, посвященный постановке исследований по контролируемой термообработке образцов в лабораторной камере с применением метода планируемого многофакторного эксперимента (стр. 39). Данный метод хорошо известен, однако его реализация требует не только определения четких граничных условий и плана их итерационных изменений, но и высочайшей аккуратности самого исполнителя при постановке каждого эксперимента и снятии выходных параметров. Данная постановка задачи потребовала изготовления специальной камеры воздушного охлаждения, оборудованной датчиками измерения температуры и скорости потока воздуха, на которой и были проведены основные экспериментальные исследования.

Для построения математической модели, связывающей физико-механические свойства стали 20ГФЛ с параметрами режимов термической обработки — температурой нагрева, временем выдержки и скоростью охлаждения (как функции скорости потока воздуха) — в соответствии с построенным ортогональным центральным композиционным планом проведена серия экспериментов с фиксацией величин ударной вязкости, твердости, микротвердости и построением термограмм (глава 3). На основании обработки полученного массива данных построены регрессионные уравнения зависимостей этих величин от параметров термообработки.

Установлено, что ускоренное охлаждение стали 20 ГФЛ с температуры 860°C со скоростью 3-4°C/сек способствует повышению дисперсности структуры с формированием сорбита в перлитном интервале превращения 572-456°C, а так же протеканию промежуточного превращения в интервале 453-304°C с выделением нижнего бейнита, обеспечивающего повышение ударной вязкости путем образования специальных карбидов.

Изучена морфология изломов ударных образцов в зависимости от температуры нормализации и самоотпуска. Выявлены неблагоприятные

сочетания параметров термообработки, приводящие к охрупчиванию стали и совместному снижению твердости до 140 НВ и ударной вязкости KCV^{-60} до 10 Дж/см² за счет выделения нестандартной конфигурации перлитной сетки.

Фрактографическими исследованиями поверхности образцов KCV^{-60} показано, что при получении феррито-сорбито-бейнитной структуры распространение трещины приобретает вязкий характер, в отличие от стандартной феррито-перлитной структуры, где излом происходит по хрупкому механизму.

На основании результатов лабораторных исследований определены базовые режимы опытно-промышленного апробирования разработанной технологии (глава 4). Основной трудностью при реализации технологии контролируемой термообработки является обеспечение равномерного охлаждения с минимизацией градиентов температурных полей по сечению детали, связанных с большой массой и сложностью конфигурации вагонного литья, при обеспечении заданной скорости охлаждения. Для решения данной проблемы методами компьютерного моделирования была решена тепловая задача с определением зон расположения и мощности вентиляторов, обеспечивающих равномерный теплоотвод и создание условий для формирования высокодисперсной феррито-сорбито-бейнитной структуры стали.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана технологическая схема термической обработки литых деталей тележек для условий ООО «Алтайский сталелитейный завод». Разработанная технология опробована на натурных фрагментах отливки надрессорной балки с получением искомого уровня ударной вязкости KCV^{-60} – более 30 Дж/см² и одновременным повышением предела текучести.

К наиболее значимым результатам работы следует отнести:

– получение автором технологии гарантированного достижения уровня ударной вязкости в полтора раза превосходящего требования ГОСТ 32400-2013 на вагонное литьё при сохранении стандартного состава стали;

– экспериментальное подтверждение связи между структурным состоянием стали и величиной ударной вязкости, которая может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от выбранного режима термообработки.

Степень обоснованности выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечена применением современных методов исследований, рассмотренных в отзыве ранее, а достоверность и новизна полученных результатов подтверждаются практическим внедрением разработанных технологических решений, подтвержденных патентами и актами внедрения.

Вместе с тем, при ознакомлении с диссертационной работой возник ряд замечаний редакционного и научно-перспективного характера.

В целом работа оформлена аккуратно, изложение последовательно и логично. При этом размерность основного параметра исследования – ударной вязкости – по всему тексту представлена в единицах СИ – кДж/м^2 . Однако абсолютные величины этого показателя приведены для более распространенной ранее в нашей стране несистемной единицы размерности – $\text{кгс}\cdot\text{м/см}^2$. В этой связи по всему тексту необходимо добавить к значениям ударной вязкости два порядка, либо скорректировать размерность.

Важнейшим вопросом при внедрении контролируемой ускоренной термической обработки крупногабаритных деталей – рам, балок, автосцепки, цельнокатаных колес – является обеспечение удовлетворительного напряженного состояния детали после изготовления. Автор касается этой проблемы в контексте расчета температурных полей для обеспечения их равномерности при опытном охлаждении фрагмента надрессорной балки (стр. 89-100). Однако конечное напряженное состояние определяется не только градиентом температурных полей при термообработке, но и разностью

структурных составляющих и их пропорций по сечению детали. Более того, появление коробления и получение зон с опасным уровнем растягивающих технологических напряжений является основным тормозом внедрения контролируемой термообработки крупногабаритных изделий сложной конфигурации в производстве. В рассматриваемой работе вопросы определения остаточных напряжений в критических сечениях деталей не были затронуты. Учитывая важность и широту данной проблематики, при дальнейшем внедрении результатов работы в производство натуральных деталей этому вопросу следует уделить пристальное внимание.

Еще одним эффектом, как правило, сопровождающим повышение ударной вязкости технологическими приемами за счет измельчения зерна и получения переходных бейнитных структур, является сопутствующее повышение прочностных характеристик стали – предела текучести и предела прочности. Автор отмечает это явление, в том числе, в выводах (стр. 108). Однако дальнейшего исследования этот вывод не получает. Вместе с тем интегральной характеристикой, отражающей взаимное влияние всех параметров структуры на эксплуатационные свойства ответственного изделия (в том числе прочности и вязкости), принято считать усталостные испытания. Этот вид оценки свойств деталей вагонных тележек стандартизован и во многом определяет возможность применения рам и балок, термообработанных по экспериментальным режимам, в реальной эксплуатации. В дальнейших исследованиях следует ввести этот вид испытаний в регламент оценки технологии изготовления.

Указанные замечания ни в коей мере не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования, так как их подробное рассмотрение выходит далеко за рамки представленной соискателем работы и относится к перспективным направлениям дальнейших исследований автора.

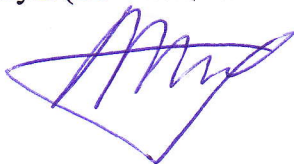
Работа представляет собой законченный труд с четко поставленными целями, грамотно выбранными путями решения, адекватными выводами, практическими результатами и обоснованной научной новизной.

Заключение. В целом считаю, что диссертационная работа, выполненная по теме «Разработка технологии термической обработки стали 20ГФЛ для повышения хладостойкости литых крупногабаритных деталей тележек грузовых железнодорожных вагонов» полностью отвечает требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор – Чертовских Евгений Олегович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

Заведующий отделением «Транспортное материаловедение»,
АО «ВНИИЖТ»,

кандидат технических наук (по специальности 05.16.01)



Алексей Владимирович Сухов

«23» ноября 2017 г.

Служебный адрес:

129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10

Подпись Сухова Алексея Владимировича удостоверяю:

Заместитель генерального директора по управлению персоналом
и социальным вопросам АО «ВНИИЖТ»



Пархаев А.А.