

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», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

1. Актуальность темы

Рассматриваемая работа посвящена вопросам исследования изменения структуры под воздействием термической обработки. Поставленные задачи направлены на изучение влияния времени выдержки и скорости охлаждения в промежуточном интервале температур, что в ранних работах других исследователей рассматривалось получение термической обработкой мартенситной, трооститной, сорбитной и феррито-перлитной структуры, где последняя формируется при текущем производстве. Отраслевое значение работы заключается в исследовании формирования бейнитной структуры имеющей разнообразную природу и широкий интервал механических свойств. Стоит отметить работы Сильмана Г.И. послужившие началом исследований в данном направлении по формированию бейнита. Такие исследования являются узконаправленными и специализированными в виду труднодоступности инструментов, позволяющих проводить исследования на тонком уровне.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор не только выбрал сложную тематику для исследования, но и провел совместные исследовательские работы с ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, (г.Москва), НГТУ (г.Новосибирск), что свидетельствует о его стремлении разобратся в поставленных задачах. Формирование научных знаний и стремление реализации поставленных целей через задачи, раскрывающие научную новизну, актуальность темы исследования, практическую и теоретическую значимость облагораживают значимость личности автора, только в том случае если критический анализ имеющихся работ направлен на совершенствования имеющихся научных достижений и не противоречит общей канве направлений исследований научной школы. Результаты работы свидетельствуют об их высокой научной и практической значимости, соответствующей уровню кандидатской диссертации, что подтверждается следующими достижениями автора:

1. Сконструирована камера регламентированного охлаждения крупногабаритных деталей потоком воздуха и разработана методика исследования влияния режимов и параметров термической обработки на структуру и комплекс свойств стали.

2. Установлены пределы скоростей охлаждения в перлитном и промежуточном интервалах превращений для формирования структуры нижнего бейнита в стали марки 20ГФЛ.

3. Для совершенствования действующих и разработки новых режимов термической обработки деталей, выполненных из стали марки 20ГФЛ, получены регрессионные уравнения, позволяющие прогнозировать значения ударной вязкости, твердости и микротвердости в зависимости от параметров (температура, время выдержки и скорость охлаждения) режимов термической обработки.

4. Полученные значения критических точек Ar_3 , Ar_1 и интервалов промежуточного превращения использованы при разработке программной среды для анализа фазовых превращений переохлажденного аустенита «Annett» (ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» г. Москва).

5. Разработана технология термической обработки, обеспечивающая повышающие хладостойкости крупногабаритных литых деталей из стали марки 20ГФЛ (патент на изобретение РФ № 2606665 «Способ регулируемой термической обработки»).

6. Результаты диссертации внедрены на предприятии ООО «Алтайский сталелитейный завод» (АСЛЗ) при разработке комплекта технологической документации № 01110.00166 «Контролируемая термическая обработка деталей», чертеж № ВАГР 113.50.00.002-4 «Рама боковая» и чертеж № ВАГР 113.50.00.001-6 «Балка надressорная» и методики № АСЛЗ.00.004-ОМ «Применение планирования режимов термической обработки для повышения хладостойкости».

7. Расчетный экономический эффект от внедрения разработанного режима термической обработкой составляет 1,19 млн. рублей/год. Срок окупаемости установки для термической обработки составляет 1,94 года.

8. Результаты работы использованы при разработке дополнительных модулей программных комплексов по моделированию литейных процессов «LVMFlow» (г. Ижевск) и анализу превращений переохлажденного аустенита в среде «Annett», разработанной ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина».

9. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (г. Барнаул) и используются при подготовке бакалавров и

магистров по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Следует также отметить, что степень обоснованности выводов, сформулированных в диссертации, обеспечена использованием современных методов исследования, включающих применение: сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM 6460LV при увеличениях до 100 тыс. крат с микроанализатором EDS X-Act. Металлографические исследования выполнены на оптическом микроскопе Nikon 200M с увеличением до 1000 крат. Размерные характеристики феррито-перлитной-бейнитной структуры определены в среде «ВидеоТест». Микротвердость определена по методу Виккерса (HV₁₀₀) на приборе ПМТ-3. Исследования тонкой структуры стали 20ГФЛ осуществляли на трансмиссионном электронном микроскопе FEI Tecnaï G2 20 TWIN при ускоряющем напряжении 200 кВ. Для реализации режимов термической обработки автором самостоятельно разработана и изготовлена лабораторная камера воздушного охлаждения. Достоверность термических и экспериментальных исследований обеспечена: использованием современных методов структурного анализа; согласованностью математических моделей с практическими результатами; качеством измерений и статистической обработки результатов; сопоставлении полученных результатов с данными других исследователей; практическим использованием и патентоспособностью разработанных технологий.

3. Степень новизны выводов, сформулированных в диссертации

В ходе выполнения диссертационного исследования соискателем получены новые научные данные о формировании дисперсной феррито-перлитобейнитной структуры, обеспечивающие после термообработки (нормализации с отпуском) повышенные (более 3 кДж/м²) значения ударной вязкости стали марки 20ГФЛ. Получены новые количественные данные, установлены и научно обоснованы закономерности влияния режимов термической обработки, включающей нормализацию с отпуском, на изменение значений ударной вязкости KCV⁶⁰, твердости и микротвердости стали марки 20ГФЛ. Разработан научно обоснованный режим термической обработки стали марки 20ГФЛ, повышающий ее ударную вязкость, заключающийся в нагреве детали до 850–860 °С с выдержкой и последующим охлаждением со скоростью 3,5–5 °С/с до температур поверхностных слоев 350–450 °С для обеспечения самоотпуска при 550–650 °С. Построены новые участки термокинетической диаграммы стали марки 20ГФЛ с критическими точками Ar₃, Ar₁ и интервалами промежуточного превращения.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в 16 публикациях, где 8 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. В том числе 2 монографии и 1 патент на изобретение.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Общий объем работы 131 страница, включая 59 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 144 литературных источников, 5 приложений.

Во введении описаны поставленные цель и задачи, направленные на повышение эксплуатационной надежности деталей из низкоуглеродистой стали за счет оптимизации режима термической обработки.

В главе 1 выполнен аналитический обзор литературных источников, описывающих обеспечение надежности крупногабаритных деталей из низкоуглеродистой стали современными способами термической обработки. Проведен анализ экспертных заключений о причинах выхода из строя крупных деталей ходовых частей трехэлементной грузовой тележки. Установлено, что основными дефектами являются многочисленные несплошности в междендритных областях, загрязненность окислами железа, сульфидами марганца и окислами алюминия, ликвация.

Анализ опубликованных данных показывает, что улучшения механических свойств можно добиться выбором температурного режима термической обработки и скоростью охлаждения, где температуру нормализации для низкоуглеродистых сталей следует выбирать не более $20\div 30$ °С выше точки A_{c3} для снижения времени нахождения в интервале перлитного превращения при охлаждении стали. Формирование в промежуточной области термокинетической диаграммы структур бейнита при температурах, близких к мартенситным, обеспечивает более высокий показатель ударной вязкости в сравнении со структурой бейнита, полученной ниже перлитного превращения.

Глава 2. Материалы и методы исследования. Для реализации режимов термической обработки разработана и изготовлена лабораторная камера воздушного охлаждения и описаны применяемые методики металловедческих исследований фрактографического и тонкого исследования. Методики химического анализа. Методики исследований механических свойств.

Глава 3. Исследование влияния режимов термической обработки на ударную вязкость. Предварительно выполнены исследования по определению границ изменения режимов: нагрев от 900 до 940 °С, выдержка в печи от 60 до 180 мин (охлаждение на спокойном воздухе) с последующим отпуском от 450 до 680 °С, 30÷120 мин, где наилучшим режимом термообработки, обеспечивающим показатель ударной вязкости $2,5\div 3$ кДж/м² является нормализация 900 °С, 60 мин с отпуском 600 °С, 30 мин. Приведенный режим в дальнейшем был принят за центр матрицы полного факторного эксперимента (ПФЭ), расширенного до ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП).

На основании данных ОЦКП скорости охлаждения от времени выдержки можно видеть, что при температурах нагрева 860 и 940 °С с выдержкой 60 минут изменение скорости потока воздуха с 3 до 8 м/с увеличивает скорость охлаждения с 3,5 до 6,6 °С/с. В то время как на образцах, выдержанных в печи 30 мин скорость охлаждения изменяется от 4,2 до 5,7 °С/с. При увеличении времени выдержки до 60 мин наблюдается снижение скорости охлаждения на 1,6 °С/с независимо от температуры термической обработки. Таким образом, при термообработке с временем выдержки 60 минут гомогенизационные диффузионные процессы во внутризеренном пространстве, упорядочивающие кристаллографические связи, приводят к формированию равновесной структуры в области растущего зерна. Следовательно, при увеличении температуры нагрева и времени выдержки необходимо увеличивать скорость охлаждения для формирования фазовых превращений в заданном интервале, формируя желаемое кинетическое превращение.

Получение стабильных показателей ударной вязкости KCV^{60} подтверждено фрактографическими исследованиями и изучением тонких структур.

Глава 4. Разработка и реализация технологии контролируемой термической обработки крупногабаритных деталей из стали 20ГФЛ. В этой главе дана оценка влияния конструктивных особенностей сложной конфигурации с выступающими частями и большую массу изделия на протекающие при охлаждении термокинетические процессы.

Разработанная технология контролируемой термической обработки (КТО) защищена патентом РФ на изобретение № 2606665, в соответствии с которым сталь 20ГФЛ предложено термообрабатывать в интервале низких температур 850÷860 °С, затем охлаждать со скоростью ≥ 4 °С/с до 350÷450 °С для протекания самоотпуска в интервале температур 350÷650 °С. Температура нормализации выбрана на нижнем уровне для обеспечения мелкозернистости структуры и снижения температурного градиента, где имеется возможность формирования однородной феррито-сорбито-бейнитной структуры при $KCV^{60} > 3$ кДж/м².

Используя данные имитационного моделирования охлаждения в среде LVMFlow, полученные с контрольных датчиков температуры, расположенных со стороны торца и подклинового проема балки. Кривые охлаждения наложены на термокинетическую диаграмму стали 20ГФЛ. В результате моделирования установлено, что расход воздуха для равномерного охлаждения отливки должен составлять 6,3 м³/с. Для обеспечения скорости охлаждения 4 °С/с с максимальной разницей температур между подклиновой зоной и торцевой стороной 45 °С охлаждающие воздушные каналы следует размещать с торца балки и со стороны клиновых проемов.

Промышленные испытания результатов исследования проведены в условиях ООО "Алтайский сталелитейный завод» (г. Барнаул) при термообработке балки надрессорной. Испытания подтвердили стабильность получения заданных эксплуатационных характеристик с получением ожидаемого годового экономического эффекта в размере 1,19 млн.

В приложениях приведены результаты внедрений, патент, расчет экономической эффективности, акт внедрения технологического процесса и производственных испытаний.

5. Замечания по работе

По представленной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Вместо термокинетических термограмм (стр. 3, 57) надо использовать понятие термокинетические диаграммы (она у Вас на рисунке 3.6, а и 4.13), понятие термограмма можно оставить там где имеется в виду зависимость температуры образца от времени (изменение температуры во времени).

2. Какой режим термической обработки выбран? В разных местах диссертации разные данные? Исследовать можно разные вариации и комбинации температур и скоростей охлаждения, но для практического использования и внедрения мы выбираем один конкретный вариант об этом в работе надо четко указать. Скорости воздуха лучше в выводах не указывать, главное скорости охлаждения металла! Охлаждающая способность воздуха зависит не только от его скорости, но и влажности, температуры, турбулентный или ламинарный режим движения и некоторых других факторов.

3. В п.5 заключения надо конкретно вписать при каких скоростях охлаждения металла это зафиксировано.

4. Вы анализируете ситуацию и приходите к решению, что основным свойством данной стали и изделия, характеризующим хладостойкость является ударная вязкость при -60. В качестве способа повысить ее выбираете термическую обработку, которая повышает вязкость, соответственно, хладостойкость. По этому в тексте диссертации в разных главах надо про хладостойкость упомянуть и расставить акценты.

6. Общая оценка

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную для машиностроительной отрасли тему. Полученные автором результаты имеют значимость для отрасли при освоении районов Севера с применением стали 20ГФЛ повышенной хладостойкостью при отрицательных температурах. Сформулированные автором цели и поставленные задачи исследования решены технически грамотно. Работа проведена с применением современных прикладных и фундаментальных методов исследования. Выводы сформулированы на основе достоверных экспериментальных данных

большого объема исследовательских и производственных работ. Выполненная автором работа подтверждена многочисленными публикациями, включающими статьи ВАК, патент, монографии с апробацией на конференциях, как международных, так и внутривузовских докладах. Диссертационная работа составлена с применением технической лексики и терминологии, имеется большой объем иллюстраций, что дополнительно подтверждает участие автора во всех объемах работы. Автореферат диссертации достаточно полно раскрывает содержание, отражает структуру диссертационной работы и полностью соответствует ее основным положениям.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа выполненная на тему: «Разработка технологии термической обработки стали 20ГФЛ для повышения хладостойкости литых крупногабаритных деталей тележек грузовых железнодорожных вагонов» в полной мере соответствует п.9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее 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:

Декан электротехнического факультета
Восточно-Сибирского государственного университета
технологий и управления
доктор технических наук, доцент
«20» ноября 2017 г



Хараев Юрий Петрович

Служебный адрес: 670013, Республика Бурятия, г.Улан-Удэ, ул. Ключевская, д.40В, строение 1

