

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук Родионовой Ирины Гавриловны на диссертацию Жителева Павла Сергеевича «Совершенствование технологии производства холоднокатаного оцинкованного проката низкоуглеродистых сталей на основе моделирования непрерывного отжига», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

Актуальность темы диссертации

Работа П.С. Жителева посвящена актуальной проблеме повышения эффективности производства холоднокатаного оцинкованного проката низкоуглеродистых сталей на основе научно обоснованного управления режимами непрерывного отжига.

В настоящее время металлургические предприятия заинтересованы не только в обеспечении стабильного уровня механических свойств готовой продукции, но и в сокращении затрат на разработку новых марок стали, уменьшении расхода легирующих элементов и повышении выхода годного. Решение этих задач невозможно без достоверных моделей, способных количественно описывать взаимосвязь между химическим составом, режимами обработки, эволюцией микроструктуры и конечными характеристиками проката.

Особенно важным представляется то, что автор рассматривает проблему не только в лабораторной постановке, а в контексте реального металлургического производства. В работе исследованы стали промышленного сортамента, а итогом является создание интегральной модели и ее использование для оптимизации режимов отжига и снижения легирования ряда марок сталей. Такой подход обеспечивает работе не только научный, но и ярко выраженный прикладной характер и делает ее результаты востребованными для практики.

Сказанным определяется актуальность диссертационной работы Жителева П.С., целью которой является совершенствование режимов отжига в агрегате непрерывного горячего оцинкования для сверхнизкоуглеродистых автомобильных и низкоуглеродистых конструкционных сталей с использованием интегральной математической модели эволюции микроструктуры и расчета конечных механических свойств.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов диссертации определяется тем, что работа построена на сочетании системного экспериментального исследования и математического моделирования.

Автором рассмотрен полный набор процессов, определяющих состояние холоднокатаной стали при непрерывном отжиге: деформационное упрочнение после холодной прокатки, полигонизация, первичная рекристаллизация, нормальный рост зерна и последующий расчет конечных механических свойств. Такой подход позволяет перейти от описания отдельных явлений к целостной схеме прогнозирования результата обработки.

Сильной стороной работы является опора на экспериментальные данные, полученные для широкого набора исследованных сталей. Автор не ограничивается декларацией зависимости свойств от химического состава или температуры отжига, а количественно анализирует влияние содержания углерода, марганца, ниобия, титана,

деформационного упрочнения, температуры и времени отжига и др. на кинетику структурных превращений, формирование структуры и свойств.

Обоснованным выглядит и практический выход работы: все разработанные модели сведены в единый программный комплекс, предназначенный для применения в производственной цепочке холоднокатаного листа. Важным аргументом в пользу обоснованности выводов является то, что результаты моделирования использованы для решения конкретной технологической задачи — снижения уровня легирования ряда сталей без ухудшения требуемого комплекса свойств.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректной постановкой экспериментов, использованием современного оборудования и сопоставлением расчетных результатов с экспериментальными данными, полученными в условиях лабораторных экспериментов и реального промышленного производства.

В работе применен широкий комплекс методов экспериментального исследования, включающий физическое моделирование на комплексе Gleeble 3800, механические испытания, измерения твердости, металлографические методы и EBSD-анализ. Автором выполнено сравнение различных методик исследования рекристаллизации, на основании которого выбран наиболее удобный и воспроизводимый подход для дальнейшего анализа.

Достоверность расчетных результатов подтверждается хорошим совпадением моделей с экспериментом при описании деформационного упрочнения, кинетики рекристаллизации и роста зерна. Также представляется важным, что полученные результаты апробированы на конференциях, опубликованы в рецензируемых изданиях и защищены патентом.

Дополнительным аргументом в пользу достоверности является промышленное внедрение результатов работы и наличие подтвержденного экономического эффекта от совершенствования технологии в условиях ПАО «Северсталь».

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений.

Во введении сформулированы цель и задачи работы, раскрыта актуальность темы, показаны научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена аналитическому обзору работ по моделированию процессов структурообразования при отжиге холоднокатаных сталей. В ней представлена хорошая научная база для последующего исследования и обоснована необходимость разработки собственных моделей, учитывающих химический состав и параметры технологического процесса.

Во второй главе представлены материалы и методы исследования, а также описание используемых сталей и оборудования. В качестве материалов исследования выбраны низкоуглеродистые микролегированные стали в горяче- и холоднокатаном состоянии. Наиболее представительным является перечень выбранных вариантов

химического состава сверхнизкоуглеродистых сталей, существенно различающихся содержанием марганца, титана, ниобия, фосфора.

В третьей главе изложены результаты моделирования параметров микроструктуры после горячей прокатки, построения модели деформационного упрочнения и исследования полигонизации. Безусловным достоинством работы является более глубокое изучение процессов полигонизации, чем во многих исследованиях эволюции структуры и свойств холоднокатаного проката в процессе рекристаллизационного отжига, в то время как указанные процессы могут вносить существенный вклад в формирование структуры и свойств готового проката. При этом автор критически подходит к используемым методикам и показывает ограниченность метода релаксации напряжений для количественного анализа возврата в исследуемых сталях.

В четвертой главе рассмотрены экспериментальные данные по кинетике рекристаллизации феррита для ряда низкоуглеродистых сталей, а также разработана модель, позволяющая учитывать степень деформации, температуру отжига и химический состав. Совокупность использования различных современных методик исследования позволила детально изучить эволюцию структуры на различных стадиях рекристаллизации, формирование субзерен, а затем рекристаллизованных зерен и их последующий рост. Существенным достоинством главы является сопоставление различных методик определения доли рекристаллизованного объема и последующая калибровка модели на экспериментальной базе.

В пятой главе детально исследован нормальный рост зерна феррита после завершения первичной рекристаллизации и выполнено математическое описание этого процесса. Важным итогом является включение моделей всех отдельных процессов в единую интегральную модель непрерывного отжига. Сравнение результатов расчета кинетики роста зерна феррита с экспериментальными данными для рассматриваемых сталей показывает хорошую сходимость.

В шестой главе приведен, на мой взгляд, наиболее ценный с прикладной точки зрения результат работы. Показано, что использование разработанной интегральной модели позволяет научно обоснованно корректировать химический состав ряда промышленных сталей и снижать содержание отдельных легирующих элементов при сохранении требуемого уровня механических свойств холоднокатаного листа - предела текучести, предела прочности и относительного удлинения. При этом используются данные расчета объёмных долей основных структурных составляющих, средних размеров структурных элементов, плотности дислокаций, объемной доли и средних размеров образующихся частиц карбонитридов Nb, V и Ti. Практическая реализация такого подхода, кроме научного, имеет существенное прикладное значение, в частности для экономики производства.

В целом содержание диссертации отвечает поставленной цели и производит впечатление законченного исследования, ориентированного на решение как научных, так и прикладных задач.

Научная новизна исследования

Работа обладает несомненной научной новизной.

Из предложенных в автореферате формулировок научной новизны особый интерес вызывают пункты, касающиеся влияния деформационного упрочнения при холодной прокатке с учетом структурных составляющих и их характерных размеров на эволюцию

структуры и свойств в процессе рекристаллизационного отжига, а также предложенный количественный подход к оценке движущей силы полигонизации и первичной рекристаллизации через величину деформационного упрочнения.

Самостоятельное научное значение имеет построенная интегральная модель непрерывного отжига холоднокатаной стальной полосы, позволяющая прогнозировать конечную структуру и механические свойства.

Практическая значимость работы

Из наиболее практически значимых результатов работы следует отметить создание программного комплекса для моделирования эволюции микроструктуры стали в технологической цепочке производства холоднокатаного листа.

Важно также, что разработанные модели могут использоваться при назначении режимов непрерывного отжига и при проектировании новых составов сталей, в частности, с пониженным содержанием титана, ниобия и марганца без потери требуемого уровня механических свойств.

Практическая значимость работы подтверждена также получением патента на изобретения, а также получением экономического эффекта от внедрения результатов в производство.

Вопросы и замечания по диссертации

1. Для модели полигонизации автор приводит относительную погрешность порядка 4,6%. Возникает вопрос, как эта погрешность изменяется при выходе за пределы исследованных температурно-временных режимов.

2. В модели рекристаллизации влияние легирующих элементов учитывается через их концентрацию в твердом растворе феррита. Насколько корректно такое допущение в случаях, когда часть элементов может быть связана в карбонитридные выделения.

3. Представленные модели откалиброваны на достаточно широкой, но все же конечной выборке исследованных сталей. В этой связи хотелось бы видеть более явно сформулированные границы применимости модели по химическому составу и температурно-временному диапазону отжига.

4. Не вполне ясно, в какой степени интегральная модель устойчива к ошибкам в определении долей структурных составляющих и характерных размеров зерна после горячей прокатки.

5. Не до конца ясно, учитывалось ли влияние кристаллографической текстуры на кинетику рекристаллизации и рост зерна, либо этот фактор в модели был сознательно опущен.

6. Не вполне ясно, как модель учитывает возможное влияние остаточных напряжений и неоднородности деформации по толщине, а возможно, и по ширине полосы на последующую рекристаллизацию.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации и носят преимущественно дискуссионный, редакционный и рекомендательный характер.

Заключение

Диссертация Жителява Павла Сергеевича «Совершенствование технологии производства холоднокатаного оцинкованного проката низкоуглеродистых сталей на основе моделирования непрерывного отжига» представляет собой завершённую научно-

квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая задача, имеющая существенное значение для материаловедения и металлургии.

По актуальности темы, научной новизне, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов и обоснованности выводов диссертация соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Жителей Павел Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент:

доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
ФГУП «Центральный научно-исследовательский
институт черной металлургии им. И.П. Бардина»,
г. Москва, директор Научного центра автолистовых
сталей и коррозионной стойкости сталей
различного назначения.

И.Г.



Родионова

Контактная информация:

Федеральное государственное унитарное
Предприятие «Центральный научно-
Исследовательский институт черной
Металлургии им. И.П. Бардина»,
105005, г. Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2,
тел. +7 (495) 777 93 93,
<https://chermet.net/>, chermet@chermet.net

дата: 27.04.2026 г.

Подпись И.Г. Родионовой подтверждаю
Начальник Управления кадров
ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»



И.Г. Логинов