

ОТЗЫВ

официального оппонента **Баранова Георгия Леонидовича**

на диссертацию **Пузанова Михаила Павловича**

«Исследование напряженно-деформированного состояния процесса листовой прокатки трансформаторной стали с учетом анизотропии свойств»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

1. Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Пузанова М.П. посвящена исследованию напряжённо-деформированного состояния электротехнической анизотропной стали при холодной листовой прокатке. Указанная сталь отличается особыми физическими свойствами в области магнетизма и широко используется в различных отраслях промышленности. Ее применяют при производстве магнитоактивных частей трансформаторов, электродвигателей большой мощности, в составе изделий различных электронных устройств. Повышение требований к энергоэффективности и усиление конкуренции на рынке электротехнических сталей требуют непрерывного совершенствования способов и технологических приёмов производства данного вида металлопродукции. Таким образом, тема диссертационной работы, направленная на решение комплекса задач по улучшению качественных характеристик электротехнической анизотропной стали, является актуальной.

2. Анализ структуры и содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 144 наименований и двух приложений, содержащих акт внедрения результатов диссертационного исследования. Текст диссертации изложен на 134 страницах, содержит 52 рисунка и 8 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы её цели и задачи, показана научная новизна, теоретическая и

Вх. №05-19/1-500
от 02.12.19г.

практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор технической литературы по теме исследования, позволяющий оценить влияние параметров холодной прокатки на эксплуатационные свойства и характеристики электротехнической стали, особенности и недостатки существующей технологии ее производства. На основании выполненного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе методом конечных элементов выполнен расчёт напряжённо-деформированного состояния при холодной прокатке электротехнической стали в изотропном состоянии. При создании математической модели очага деформации прокатные валки приняты идеально жесткими, а материал полосы упругопластическим. Для учета контактного трения использован закон Амонтона-Кулона. При анализе НДС варьировались коэффициент трения, переднее и заднее натяжение полосы. В результате расчета получено поле напряжений, установлены особенности течения металла и закономерности изменения формы нейтрального сечения в очаге деформации. Дана оценка влияния контактного трения на формирование структуры электротехнической стали при холодной прокатке.

В третьей главе проведены исследования скоростного упрочнения при холодной деформации и анизотропии механических свойств электротехнической стали после холодной прокатки. На основе полученных данных вычислены коэффициенты уравнения пластичности Хилла и методом конечных элементов выполнено решение краевой задачи прокатки электротехнической стали с учетом анизотропии ее механических свойств.

В четвёртой главе проведен анализ причин появления дефектов на кромке полосы из электротехнической стали, изготавливаемой в цехе холодной прокатки ООО «ВИЗ-Сталь». Установлено, что эти дефекты связаны с отклонением от плоскостности полосы при холодной прокатке и последующим выпрямляющим отжигом в процессе правки полосы

растяжением. Для устранения указанных дефектов разработана математическая модель определения энергосиловых параметров процесса холодной прокатки полосы. Модель построена на базе методики А. И. Целикова с учетом упругой деформации рабочих валков. Величина сопротивления деформации задавалась на основании полученной в работе зависимости, учитывающей деформационное и скоростное упрочнение трансформаторной стали. Коэффициент трения определен путем аппроксимации промышленных данных.

По результатам исследований предложен и реализован профиль валков, обеспечивающий уменьшение по параболическому закону коэффициента вытяжки от кромок полосы к центру, позволяющий частично компенсировать термические деформации при высокотемпературном отжиге и улучшить плоскостность готовой продукции. Этот вариант принят к использованию в ООО «ВИЗ-Сталь».

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Материал работы изложен грамотно, проиллюстрирован графиками, рисунками, схемами и таблицами, позволяющими оценить полученные результаты. Содержание диссертации соответствует поставленной цели и задачам.

3. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

Материалы диссертации и автореферата соответствуют паспорту научной специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением, а именно пунктам:

1) Исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки металлов, сплавов и композитов давлением;

2) Исследование процессов пластической деформации металлов, сплавов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования;

3) Исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации;

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность

Научные и практические результаты диссертационной работы основаны на применении современных вычислительных методов и пакетов программ, проведении физических и опытно-промышленных экспериментов, статистической обработке полученных данных, согласовании полученных результатов с положениями общей теории механики обработки металлов давлением, производственной практикой процессов прокатки и данными из научно-технической литературы. Все это дает основание считать их достоверными.

5. Новизна исследований, практическая значимость и реализация результатов

Диссертационная работа Пузанова М.П. обладает научной новизной, которая заключается в следующем:

1) Получены новые сведения о реологических свойствах электротехнической анизотропной стали на основе которых решена задача холодной прокатки анизотропного материала;

2) Представлены данные о напряжённо-деформированном состоянии и кинематической схеме течения металла в очаге деформации при холодной прокатке электротехнической анизотропной стали в зависимости от факторов контактного трения и натяжения полосы;

3) Разработана математическая модель для расчёта энергосиловых параметров холодной прокатки электротехнической анизотропной стали с учетом скоростного упрочнения металла и влияния скорости прокатки на коэффициент трения.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке и внедрении технологических мероприятий, направленных на совершенствование режимов холодной прокатки электротехнической анизотропной стали, что подтверждается актом внедрения, представленным в диссертации.

6. Апробация работы и публикация основных результатов

Материалы исследования достаточно апробированы на научных конференциях различного уровня и опубликованы в научной печати. Общее количество публикаций – 20 из них 9 – в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ. 5 статей проиндексированы международной базой Scopus, из них 2 проиндексированы международной базой Web of Science.

7. Личный вклад соискателя

Основные результаты, представленные в диссертационной работе Пузанова М.П., получены лично автором или при его непосредственном участии.

8. Вопросы и замечания по содержанию диссертации

1. Допущение об абсолютной жесткости рабочего вала, принятое для математической модели во второй главе диссертации, существенно искажает напряженно-деформированное состояние при холодной прокатке тонкой полосы.
2. Из представленного на рис. 2.1 поля касательных напряжений следует, что в средней части очага деформации имеется достаточно длинная зона застоя,

в которой происходит смена знака контактных касательных напряжений. В этой зоне касательные напряжения уменьшаются от максимального значения до нуля в нейтральном сечении при одновременном росте контактных нормальных напряжений (рис. 3.14). Полученная в результате расчета зависимость между контактными касательными и нормальными напряжениями не соответствует принятому в модели закону трения Амонтона-Кулона.

3. Приведенные на рис. 2.2 распределения касательных напряжений на оси симметрии полосы противоречат известным классическим решениям А. Надаи, В. В. Соколовского и др., в соответствии с которыми из условия симметрии касательные напряжения на этой оси должны обратиться в нуль.
4. Почему при одинаковых условиях процесса максимальные касательные напряжения в зоне опережения, представленные на рис. 2.2,б и 2.5,в, отличаются почти в 5 раз?
5. Согласно данным табл. 2.1 при отсутствии натяжения и больших коэффициентах трения длина зоны опережения превышает длину зоны отставания. Что же тогда уравнивает горизонтальную проекцию усилия прокатки, приложенную к полосе со стороны валков?
6. При исследовании влияния натяжения на НДС к полосе с начальной толщиной 0,5 мм и шириной 30 мм приложено усилие заднего натяжения 90 кН. В результате напряжение начального натяжения составило 6000 МПа, что в 15 раз больше предела текучести для материала полосы на входе в очаг деформации. Почему полоса не порвалась?
7. Вывод по 2 главе «Натяжение полосы при холодной прокатке влияет на смещение нейтрального сечения в очаге деформации» является аксиомой теории прокатки и едва ли уместен в кандидатской диссертации.
8. Во 2 главе с использованием МКЭ установлено, что погрешность расчета усилия прокатки по формуле А. И. Целикова при малых коэффициентах трения достигает 25%. Почему эти результаты не использованы для определения усилия прокатки в 4 главе?

9. В последней главе разработана математическая модель холодной прокатки трансформаторной стали, адаптированная к конкретным условиям прокатки. В выводах по главе заявлено, что «разработанная модель использована для оптимизации режима прокатки, выбора оптимальной профилировки валков и параметров настройки систем изгиба и осевой сдвижки рабочих валков». В диссертации не удалось обнаружить информации по оптимизации режима прокатки и по выбору оптимальной профилировки валков. Отсутствуют критерии, методы и результаты оптимизации. Не представлены методика и результаты расчета параметров настройки систем изгиба и осевой сдвижки рабочих валков.

9. Соответствие диссертации критериям Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ

Диссертационная работа М.П. Пузанова соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»:

п. 9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи о влиянии анизотропии механических свойств на напряжённо-деформированное состояние трансформаторной стали при холодной прокатке.

п. 10. Диссертация написана автором самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения. Представлены сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов, подтвержденные соответствующим актом.

п. 11, п. 13. Основные научные результаты опубликованы в рецензируемых научных изданиях (9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК) и рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (5 статей в международной базе Scopus, из них 2 в международной базе Web of Science).

п. 14. Диссертация не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

