

ОТЗЫВ

официального оппонента **Лехова Олега Степановича**

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 диссертационного исследования

Электротехническая анизотропная сталь или трансформаторная сталь – это кремнистая сталь, обладающая уникальными магнитными свойствами вдоль направления прокатки, которые обусловлены наличием в ней текстуры Госса. Данный материал применяется для производства магнитопроводов различных электротехнических машин, а его качество во многом определяет энергоэффективность и уровень потребительских характеристик данных устройств. Трансформаторная сталь производится методом холодной прокатки, в процессе которой закладываются предпосылки получения требуемой текстуры вторичной рекристаллизации, что обуславливает необходимость изучения напряжённо-деформированного состояния металла при деформации. Особенностью процесса плоской прокатки в холодном состоянии является образование и сохранение в металле текстуры деформации. Это приводит к возникновению анизотропии механических свойств в прокатываемой полосе, однако влияние данных процессов на напряжённо-деформированное состояние металла и условия его обработки учитывается редко, поскольку при анализе процессов обработки металлов давлением принято использовать гипотезу об изотропности деформируемой среды. В то же время известно, что вызванная процессами текстурообразования анизотропия механических свойств может существенно

влиять на качественные характеристики металлопроката после термической обработки.

В металлургической отрасли трансформаторная сталь является одним из самых наукоёмких и сложных в производстве видов продукции, при этом большая часть отечественной трансформаторной стали успешно экспортируется во многие страны Европы, Азии, Северной и Южной Америки. В настоящее время ввиду планомерного ужесточения мировых требований к энергоэффективности трансформаторов между ведущими фирмами-производителями трансформаторной стали усиливается конкуренция. Для сохранения позиций отечественных производителей трансформаторных сталей на мировом рынке является целесообразным проведение научно-исследовательских и опытно-промышленных работ, направленных на дальнейшее улучшение качества данного вида продукции.

В связи с вышесказанным, тему диссертационного исследования М.П. Пузанова, направленного на изучение напряжённо-деформированного состояния трансформаторной стали при холодной прокатке с учетом анизотропии свойств, следует считать актуальной. Актуальность темы диссертационного исследования также подтверждается его выполнением в соответствии с научными программами, указанными в тексте диссертации и автореферата.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений, изложенных на 134 страницах, содержит 52 рисунка, 8 таблиц, список литературы включает 144 наименования.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы её цели и задачи, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ литературных данных о способах производства трансформаторной стали и особенностях её обработки на прокатном переделе, выявлены недостатки существующего производственного процесса. Особое внимание уделено имеющимся сведениям о влиянии параметров холодной прокатки на физико-механические свойства трансформаторной стали.

Вторая глава посвящена изучению напряжённо-деформированного состояния при холодной прокатке трансформаторной стали в изотропном состоянии. Проанализировано влияние коэффициента контактного трения и натяжения полосы на кинематические параметры очага деформации. Показана связь между расчетными данными напряжённо-деформированного состояния и процессами формирования структуры металла при деформации.

В третьей главе проведено исследование механических свойств трансформаторной стали и представлены результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния при холодной прокатке с учётом анизотропии свойств деформируемой среды, выполненного с применением модели пластичности Хилла.

В четвёртой главе представлены результаты анализа существующего процесса производства трансформаторной стали в цехе холодной прокатки ООО «ВИЗ-Сталь». Описаны разработка и внедрение технологических мероприятий по оптимизации технологии холодной прокатки трансформаторной стали на реверсивных станах.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, подтверждающие решение поставленных задач.

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) Оптимизация процессов и технологий обработки давлением для производства металлопродукции с заданными характеристиками качества.

4. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Обоснованность научных и практических результатов диссертации М.П. Пузанова подтверждена корректным использованием положений общей теории обработки металлов давлением при постановке задач и интерпретации результатов исследований, применением аппарата статистического анализа при обработке полученных данных, использованием современных вычислительных методов и выполнением исследований в условиях действующего производства, показанной сходимостью полученных результатов с известными аналогами из технической литературы и данными реальных производственных процессов.

5. Новизна и значимость научных и практических результатов

К основным результатам диссертационного исследования М.П. Пузанова, обладающим научной новизной, относятся:

1) Исследованы параметры кинематики очага деформации для процесса тонколистовой холодной прокатки трансформаторной стали в зависимости от факторов трения на контактной поверхности и натяжения полосы;

2) Проанализирована связь между расчетными данными напряжённно-деформированного состояния и процессами формирования структуры и текстуры в материале при плоской прокатке в холодном состоянии;

3) Определены коэффициенты уравнения пластичности Хилла для анизотропной трансформаторной стали;

4) Выявлены особенности напряжённно-деформированного состояния очага деформации при прокатке трансформаторной стали с учётом анизотропии её механических свойств;

5) Разработана математическая модель энергосиловых параметров холодной прокатки трансформаторной стали на основе уточненных сведений о механических свойствах обрабатываемого материала и адаптации для существующих промышленных условий.

Практическая значимость диссертации М.П. Пузанова состоит в выявлении связей между режимами обработки трансформаторной стали и её эксплуатационными свойствами, а также в разработке и внедрении технологических мероприятий по совершенствованию технологии промышленного производства данного вида металлопродукции (акт об использовании результатов научной работы в Приложении П1 диссертации).

Ценность научных работ соискателя заключается в положениях, выводах и рекомендациях, обоснованных теоретическими решениями, опытными данными и промышленными исследованиями по теме диссертации.

6. Опубликованность основных результатов диссертационной работы

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем. По теме диссертации опубликовано 20 работ,

в том числе 9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК для соискателей ученых степеней. 5 статей проиндексированы международной базой Scopus, из них 2 также проиндексированы международной базой Web of Science.

7. Личный вклад автора

Основные результаты, представленные в диссертационной работе М.П. Пузанова, получены лично автором или при его непосредственном участии. Личный вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве, является преобладающим или равнозначным.

8. Вопросы и замечания по содержанию диссертации

1. В работе получено уравнение регрессии для зависимости усилия прокатки трансформаторной стали от скорости прокатки и ширины прокатываемой полосы, но при этом не вполне ясно на основании экспериментальных или расчётных данных получено это уравнение. Известно, что достоверные данные по усилию прокатки принято получать при проведении экспериментального исследования в промышленных условиях непосредственно на прокатном стане с использованием, например, тензометрии. Однако, в диссертации не описана методика эксперимента и измерений для экспериментальных данных по усилию прокатки трансформаторной стали.
2. В работе отмечается, что разработанная математическая модель холодной прокатки трансформаторной стали была использована для оптимизации действующего режима холодной прокатки. Однако, в работе отсутствует постановка задачи оптимизации режима прокатки, выбор и обоснование целевой функции, не описан метод оптимизации и не приведены результаты расчётов оптимизированных параметров.

3. В диссертации поставлена и решена краевая задача холодной прокатки трансформаторной стали методом конечных элементов в пакете DEFORM 3D и определено напряжённо-деформированное состояние металла в очаге деформации. Задача решена в объёмной постановке, однако, в работе не сделана подробная оценка течения металла и распределения главных напряжений по ширине прокатываемой полосы с учётом анизотропии металла и оптимизированной профилировки рабочих валков, что оказывает существенное влияние на плоскостность прокатываемых полос и процессы формирования дефектов сплошности в виде кромочных трещин.

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

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

п. 9. Диссертация является законченной научно-квалифицированной работой, в которой автором предложено обоснованное решение научной задачи об исследовании влияния анизотропии механических свойств на напряжённо-деформированное состояние трансформаторной стали при холодной прокатке.

п. 10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации представлены сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, подтвержденные соответствующим актом.

п. 11, 13. Основные научные результаты диссертации 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. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

10. Общее заключение

Диссертационная работа, выполненная Пузановым Михаилом Павловичем, представляет собой самостоятельную и законченную научно-квалифицированную работу, выполненную на актуальную тему и обладающую признаками новизны и практической значимости. В диссертации на примере формоизменения трансформаторной стали поставлена и решена важная для теории и практики обработки металлов давлением задача холодной листовой прокатки анизотропного материала, получены новые данные о напряжённо-деформированном состоянии и кинематике очага деформации. Полученные результаты применены в промышленном производстве, где реализованы задачи, связанные с повышением качества готовой продукции. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением в области технических наук.

Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Содержание диссертации отвечает поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана грамотным техническим языком с использованием общепринятых терминов исследуемых предметных областей, аккуратно и правильно оформлена.

Материалы и результаты исследований изложены в объёме, достаточном для понимания, чётко, доступно, репрезентативно, выводы и результаты аргументированы.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что автор диссертации «Исследование напряженно-деформированного состояния процесса листовой прокатки трансформаторной стали с учетом анизотропии свойств» Пузанов Михаил Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор,
профессор кафедры инжиниринга и
профессионального обучения в
машиностроении и металлургии
Института инженерно-
педагогического образования
ФГАОУ ВО «Российский
государственный профессионально-
педагогический университет»

Л. А.

Лехов Олег Степанович
Дата: «19» 11 2019

620012, Российская Федерация,
г. Екатеринбург,
ул. Машиностроителей, 11
Тел.: 8-(343)-338-84-47
E-mail: MXLehov38@yandex.ru

Подпись Олега Степановича Лехова
заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета
ФГАОУ ВО «Российский
государственный профессионально-
педагогический университет»



Кириллова

Кириллова Марина Михайловна