

## ОТЗЫВ

официального оппонента **Веретенниковой Ирины Андреевны**

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

**Актуальность.** Работа Пузанова М.П. посвящена одной из актуальных проблем в области металлургического производства – исследованию механизмов пластической деформации и улучшению служебных характеристик металлопродукции. В настоящее время в области прокатного производства наиболее полно представлено решение краевой задачи пластической деформации с применением гипотезы об изотропности обрабатываемого материала. Вместе с тем, многие деформируемые материалы имеют определенный уровень анизотропии, и процессы деформации подобных материалов изучены недостаточно. К анизотропным материалам относятся многие магнитомягкие материалы, в том числе прокат из трансформаторной стали. Холодная прокатка трансформаторной стали является важной технологической операцией с точки зрения формирования требуемых физических свойств готовой продукции и нуждается в анализе и рационализации режимов обработки.

Поэтому изучение процесса листовой прокатки трансформаторной стали с учетом анизотропии свойств **является актуальной** задачей.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Текст диссертации изложен на 134 страницах машинописного текста, содержит 52 рисунка, 8 таблиц. Список литературы включает 144 наименования.

Вх. №05-19/1-488  
от 29.11.19г.

Во **введении** сформулированы цели и задачи диссертации, обоснована актуальность исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**Первая глава** содержит литературно-аналитический обзор по теме исследования, на основании которого осуществлены постановка цели и задач диссертации.

Во **второй главе** с использованием пакета программ «Deform» смоделировано напряжённо-деформированное состояние в очаге деформации при холодной прокатке трансформаторной стали с использованием условия текучести Мизеса. Задача решена при варьировании параметров контактного трения и натяжения полосы. Методом электронной микроскопии проведено исследование металла в очаге деформации трансформаторной стали, сопоставлены результаты металлофизического анализа структуры очага деформации и расчётных данных о напряжённо-деформированном состоянии.

В **третьей главе** проанализированы особенности упрочнения трансформаторной стали при холодной деформации и представлены результаты исследования анизотропии механических свойств в плоскости листа данного сплава, возникающей при холодной прокатке. Исследование анизотропии механических свойств выполнено методом измерения микротвёрдости образцов в различных направлениях. На основании полученных данных в программном пакете «Deform» смоделировано напряжённо-деформированное состояние в очаге деформации при холодной прокатке трансформаторной стали с использованием условия текучести Хилла.

В **четвёртой главе** представлены мероприятия по совершенствованию технологии холодной прокатки полос трансформаторной стали. Выполнена модель расчёта энергосиловых параметров холодной прокатки, учитывающая особенности упрочнения трансформаторной стали и адаптированная для реальных производственных условий прокатки на промышленном стане. Разработан технологический режим холодной прокатки полос с уменьшением



величины коэффициента вытяжки полосы от кромок к центру по параболическому закону, обеспечивающий улучшение параметров плоскостности готовой продукции. Полученные результаты приняты к использованию в производственной деятельности ООО «ВИЗ-Сталь».

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

Содержание диссертации отвечает заявленной теме, поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения.

**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.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов.** Изложенные в диссертации научные положения, выводы и результаты аргументированно и обоснованно базируются на теоретических основах механики обработки металлов давлением. Исследования выполнены с использованием современного оборудования, программного обеспечения, полученные результаты обработаны с применением статистических методов и

имеют качественное и количественное совпадение с литературными и промышленными данными.

**Научная новизна результатов работы.** Все научные выводы и результаты диссертации обоснованы, подтверждены экспериментально, апробированы и опубликованы. Автор диссертации расширил и дополнил избранную тематику исследований и получил в процессе выполнения диссертационной работы новые результаты, среди которых можно выделить следующие:

1) Методика оценки анизотропии механических свойств и определения коэффициентов уравнения пластичности Хилла;

2) Оценка последствий замены гипотезы изотропности на гипотезу анизотропии при моделировании напряжённо-деформированного состояния очага деформации при холодной прокатке трансформаторной стали;

3) Закономерности влияния контактного трения и натяжения на напряжённо-деформированное состояние и кинематику металла в очаге деформации при холодной прокатке трансформаторной стали.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке технологического режима холодной прокатки полос трансформаторной стали, обеспечивающего улучшение параметров плоскостности готовой продукции. Практическая значимость разработанных решений подтверждается актом их приема к использованию на предприятии ООО «ВИЗ-Сталь». Акт представлен в приложении диссертации.

**Опубликованность основных результатов диссертационной работы и личный вклад автора.** 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. Можно заключить, что основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором или при его непосредственном участии.



Личный вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве, является преобладающим или равнозначным.

### **Вопросы и замечания по содержанию диссертации.**

1. При анализе процесса прокатки во многих постановках решаемых задач, кроме параграфа 4.2, автором применялся закон трения Кулона. Существует ли обоснование такого подхода?
2. При анализе процесса листовой прокатки автором рассматривается двойная система «валки – прокатываемая полоса». Вместе с тем, ряд специалистов в области листовой прокатки предлагали рассмотрение более сложной тройной системы: «валки – смазка – прокатываемая полоса». Существует ли обоснование, почему необходимый в данных производственных условиях элемент «смазка» исключен из рассмотрения? Тем более, что прокатка ведется при повышенных скоростях, что может создавать эффект гидродинамической подачи смазки, на что обращено внимание в параграфе 4.2. диссертационной работы.
3. Имеются ли данные о реальном распределении температуры проката в самом очаге деформации? Трансформаторная сталь обладает не таким высоким коэффициентом теплопроводности, как, например, медь, что должно затруднять процессы теплопередачи. В результате можно было бы ожидать, что распределение температуры по очагу деформации неоднородно. Это могло оказать влияние как на распределение напряжений, так и на соотношения механических свойств по толщине проката.
4. Автору пришлось использовать прием описания прочностных свойств анизотропной трансформаторной стали применением пропорциональной зависимости их по отношению к твердости. На чем основаны необходимость и справедливость такого подхода?

Высказанные замечания не опровергают основных результатов диссертационной работы, не снижают её научной и практической ценности. Некоторые замечания носят рекомендательный и дискуссионный характер.

**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).

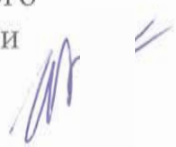
п. 14. Диссертация не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

**Заключение.** Диссертационная работа Пузанова Михаила Павловича представляет собой самостоятельную и законченную научно-квалифицированную работу, выполненную на актуальную тему и обладающую признаками научной новизны и практической значимости. Полученные результаты являются достоверными и обоснованными.

Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» и паспорту специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением в области технических наук.

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,  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник лаборатории  
микромеханики материалов  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института машиноведения  
Уральского отделения  
Российской академии наук



Веретенникова Ирина Андреевна

Дата: «23» ноября 2019

620049, Российская Федерация  
г. Екатеринбург,  
ул. Комсомольская, д. 34  
Тел.: 8-(343)-375-35-96  
E-mail: irincha@imach.uran.ru

Подпись Ирины Андреевны  
Веретенниковой заверяю:  
Ученый секретарь Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки Института  
машиноведения Уральского  
отделения Российской академии наук



Поволоцкая Анна Моисеевна