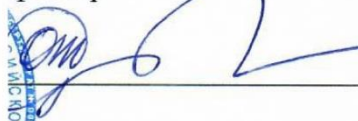



## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной работе  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова, доктор технических

профессор

О.Н. Тулупов

« 06 » \_\_\_\_\_ 05 \_\_\_\_\_ 2024 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

на диссертационную работу Сафронова Андрея Александровича «Снижение обрывности полос из электротехнической анизотропной стали при холодной прокатке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

### Актуальность диссертационного исследования

Повышение качества готовой продукции, а также снижение затрат энергетических и материальных ресурсов - важнейшие задачи развития металлургического комплекса Российской Федерации в целом и прокатного производства в частности. Одним из направлений решения указанных задач является выявление причин и предотвращение таких нарушений технологических процессов, которые уменьшают производительность, снижают выход годной продукции, увеличивают потребность в исходных материалах и технологических инструментах.

При холодной прокатке значимым фактором потерь производства и повышенных расходов как металла, так и технологического инструмента (прокатных валков), являются обрывы полосы. Для электротехнической анизотропной (трансформаторной) стали, которая относится к малопластичным и труднодеформируемым вследствие повышенного содержания кремния, тенденция к обрывности при холодной прокатке усиливается. В связи с этим диссертационная работа Сафронова А.А., направленная на снижение обрывности полос трансформаторной стали при холодной прокатке, несомненно является актуальной.

### Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений. Список литературы содержит 114 наименований. Общий объем диссертационной работы составляет 105 страниц, в том числе 57 рисунков, 6 таблиц и 2 приложения.



В первой главе, на основании литературного обзора, подтверждено определяющее влияние на устойчивость процесса холодной прокатки взаимосвязи условий его осуществления с характеристиками горячекатаного подката. Рассмотрены причины и методы снижения обрывности полос на станах холодной, а также методы выявления скрытых дефектов сплошности подката. Сформулированы цель работы и задачи исследования.

Во второй главе изложена методика учета порывов полосы при холодной прокатке на непрерывном стане 1400, а также представлены результаты статистического анализа причин простоев стана и обрывности полос из стали различных марок, которые подтверждают обоснованность и актуальность выбора для исследования анизотропную электротехническую сталь марки ЭЗА. С применением разработанной методики получены результаты, статистический анализ которых позволил установить, что наиболее часто обрывы происходят на участках, соответствующих головной и хвостовой частям горячекатаного подката, а в средней части полосы практически не наблюдаются.

В третьей главе представлены методики и результаты исследований причин повышенной обрывности полос трансформаторной стали в процессе холодной прокатки на участках, соответствующих головной и хвостовой частям горячекатаного подката. Механическими испытаниями и металлографическими исследованиями металла текущего производства установлено, что вследствие неравномерности распределения температуры и скорости охлаждения по длине полосы относительное удлинение металла на переднем конце меньше, чем на хвостовом участке. При этом в головной и хвостовой частях подката из трансформаторной стали обнаружены значительные выделения игольчатых карбидов, которые справедливо рассматриваются как источники множественных трещин вследствие скопления дислокаций.

С целью уточнения причин повышенной интенсивности образования карбидов и особенностей изменения механических свойств трансформаторной стали в процессе горячей прокатки выполнены лабораторные исследования с применением современного оборудования. В частности, построена термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита трансформаторной стали, которая позволила определить температуру начала выделения карбидов на поверхности металла после горячей прокатки и тем самым подтвердить, что именно на переднем конце полосы, где перед смоткой наблюдаются невысокая скорость охлаждения на отводящем рольганге при относительно низкой (менее 640°C) температуре существуют условия для интенсивного выделения карбидов, способствующих снижению относительного удлинения и повышению обрывности полосы.

В четвертой главе представлены результаты исследования зависимости обрывности полос трансформаторной стали при первой холодной прокатке от параметров поперечного сечения подката и его плоскостности. При этом выбраны такие характеристики, которые легко и оперативно могут быть определены по показаниям профилемера, установленного в линии широкополосного стана горячей прокатки, что существенно облегчает применение выводов и рекомендаций в промышленных условиях. Разработана математическая модель прогноза вероятности обрывов в виде бинарной логистической регрессионной зависимости, которая позволяет прогнозировать до 80% случаев обрывности. Сформулированы требования к параметрам профиля горячекатаной полосы, обеспечивающие снижение обрывности полос трансформаторной стали при первой холодной прокатке.



Диссертационная работа изложена квалифицированным научно-техническим языком.

### **Научная новизна теоретических положений, изложенных в диссертации**

Научную значимость диссертационной работы Сафронова А.А. составляют:

- уточненные представления о влиянии на обрывность полос электротехнической анизотропной стали при первой холодной прокатке механических свойств, геометрических параметров поперечного сечения и микроструктуры горячекатаного подката;

- обнаружение и определение протяженности трех характерных участков по длине горячекатаного подката анизотропной электротехнической стали, отличающихся существенно различными предпосылками к обрывности при первой холодной прокатке;

- термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита в анизотропной электротехнической стали марки ЭЗА нитридно-медного варианта производства, которая позволяет определять условия начала выделения карбидов в прикромочных областях горячекатаного подката;

- математическая модель в виде бинарной логистической регрессионной зависимости вероятности обрыва полос электротехнической анизотропной стали при первой холодной прокатке от параметров неплоскостности и поперечного сечения горячекатаного подката.

### **Подтверждение опубликованных основных результатов в научной печати и соответствия содержания автореферата основным положениям диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и/или Web of Science и 4 статьи в других изданиях. Работа апробирована на пяти научных конференциях.

Автореферат диссертации и публикации отражают содержание диссертационной работы достаточно полно.

### **Обоснованность и достоверность научных результатов**

Обоснованность и достоверность основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждена комплексом исследований и экспериментов на действующих листопрокатных станах, использованием современных методов исследования, корректным применением методов статистической обработки данных измерений и расчетов. При выполнении исследований использованы основополагающие принципы теории обработки металлов давлением, теории прокатки, металловедения, а также поверенное оборудование и лицензионное программное обеспечение. Сформулированные научные положения, выводы и рекомендации согласуются с результатами известных работ, направленных на повышение стабильности производства и качества тонких горяче- и холоднокатаных стальных полос.



## **Практическая значимость результатов диссертации**

Практически значимыми результатами работы являются:

1. Рекомендации относительно температурно-скоростных условий окончания горячей прокатки и смотки полос из анизотропной электротехнической стали на широкополосном стане, способствующих формированию микроструктуры, благоприятной для улучшения магнитных свойств и снижения обрывности полос при первой холодной прокатке.

2. Требования к геометрическим параметрам поперечного сечения и плоскостности горячекатаных полос из анизотропной электротехнической стали, обеспечивающие снижение обрывности при первой холодной прокатке на непрерывном стане 1400 ПАО «НЛМК».

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты, полученные А.А. Сафроновым в диссертационном исследовании, могут быть использованы при разработке и совершенствовании технологий производства холоднокатаного листового проката в ООО «ВИЗ-Сталь», ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ПАО «Северсталь».

Также результаты исследования могут быть рекомендованы к использованию при реализации образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлению Металлургия, а также аспирантов по направлению Технологии материалов в федеральных, национальных, исследовательских и опорных университетах, такие как НИТУ «МИСиС» (г. Москва), МГТУ имени Н.Э. Баумана (г. Москва), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (г. Санкт-Петербург), ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» (г. Липецк), ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» (г. Магнитогорск), ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург).

### **Замечания и вопросы по работе**

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания и вопросы:

1. При постановке и обосновании задач исследования в диссертационной работе применительно к процессу прокатки было бы корректнее использовать термин «стабильность», а не «устойчивость».

2. В литературном обзоре много внимания уделено ультразвуковым методам определения внутренних дефектов стальных изделий. Вместо этого можно было подробнее описать функционирование системы контроля качества поверхности прокатываемых полос.

3. В диссертации несколько раз упоминается «нитридно-медный вариант» производства трансформаторной стали. Какие еще варианты производства трансформаторной стали существуют, и как их особенности скажутся на термокинетической диаграмме распада переохлажденного аустенита в трансформаторной стали, произведенной по нитридно-медному варианту?



4. В диссертации не оценено влияния межклеточного натяжения на обрывность полос трансформаторной стали при первой холодной прокатке, хотя натяжение как фактор стабильности процесса прокатки упоминается.

Указанные замечания носят частный характер, не снижают научную и практическую значимость работы.

### **Общее заключение о диссертационной работе**

Диссертация А.А. Сафронова «Снижение обрывности полос из электротехнической анизотропной стали при холодной прокатке» является законченной научно-квалификационной работой, в которой обоснованы технические и технологические решения, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие страны.

Совокупность полученных в диссертации результатов представляет собой решение проблемы, имеющей существенное значение для металлургических предприятий, – повышение качества готовой продукции, уменьшение энергетических и материальных затрат за счет снижения обрывности полос трансформаторной стали при холодной прокатке.

Все выносимые на защиту результаты получены при определяющем вкладе автора и соответствуют п.2 «Исследование способов, процессов и технологий обработки давлением металлов, сплавов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования», п.3 «Исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации», п.4 «Оптимизация способов, процессов и технологий обработки металлов давлением для производства металлопродукции с целью повышения характеристик качества продукции» паспорта специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сафронов Андрей Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Диссертационная работа А.А. Сафронова «Снижение обрывности полос из электротехнической анизотропной стали при холодной прокатке» обсуждена, а отзыв утвержден на заседании кафедры технологии обработки материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (протокол заседания № 8 от «06» марта 2024 г.). Проект отзыва подготовлен профессором кафедры технологий обработки материалов, доктором технических наук, профессором Румянцевым Михаилом Игоревичем (научная специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением).

Заведующий кафедрой технологий обработки материалов,  
профессор, доктор технических наук (научная специальность  
05.02.23 и управление качеством продукции (металлургия)),



Моллер Александр Борисович

**Сведения о ведущей организации**

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
Сокращенное наименование организации	ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Телефон	+7 (3519) 29-84-02
Адрес электронной почты	<a href="mailto:mgtu@magtu.ru">mgtu@magtu.ru</a>
Сайт организации	<a href="https://www.magtu.ru">https://www.magtu.ru</a>
Руководитель	д.т.н., доцент Терентьев Дмитрий Вячеславович