

ОТЗЫВ

официального оппонента Шаталова Романа Львовича на диссертационную работу Черномырдина Василия Игорьевича на тему «Исследование и разработка технологических режимов для стабилизации толщины холоднокатаных полос на концевых участках при прокатке электротехнических сталей» представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.4. – Обработка металлов давлением.

Актуальность темы

Развитие технологии производства тонколистового проката высокого качества, усовершенствование режимов прокатки, снижение расходов на передел являются приоритетными направлениями развития металлургии. Актуальность исследования определяется ростом требований к точности полос из электротехнических сталей. Поэтому разработка режимов прокатки обеспечивающих повышение точности распределения толщины по всей длине полос является актуальной темой исследования.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения, изложена на 124 страницах машинописного текста и содержит 28 рисунков, 20 таблиц, 1 приложение, библиографический список из 98 наименований.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы, обоснована актуальность, сформулирована цель и задачи исследования, показана научная новизна диссертации, её практическая значимость, степень достоверности разработанности.

В первой главе представлен анализ научно-технической литературы по формированию толщины холоднокатаных полос на нестационарных стадиях прокатки. Определено влияние основных параметров процесса (усилие в клети, натяжение и скорость полосы) на толщину проката. Несмотря на существующие методы повышения качества, проблема минимизации концевых участков с толщиной вне допусков остаётся нерешённой. Анализ показал отсутствие научно обоснованных методов, позволяющих сократить длину таких дефектных участков у электротехнических сталей. Выделены ключевые технологические факторы, влияющие на продольную разнотолщинность полос, и отмечена нехватка некоторых определяющих факторов по воздействию на формирование толщины на всех этапах прокатки на непрерывном стане.

Во второй главе проведены результаты исследования изменения толщины полос по длине на входе и выходе из 1-й и 4-й клетей непрерывного стана 1400 НЛМК. Установлена статистически значимая связь между толщиной горячекатаного подката и толщиной холоднокатаных полос. Исследовано влияние параметров прокатки (усилие в клети, удельное натяжение, скорость) на изменение толщины в нестационарных стадиях (разгон и торможение). Для оптимизации стабилизации толщины исследована временная задержка влияния технологических

факторов на толщину полосы. Показано, что их максимальное влияние на толщину происходит через время задержки $t_0 = 0,5-3,5$ с, что соответствует смещению по длине полосы от 0,14 до 49 м в зависимости от скорости прокатки и номера клетки.

Третья глава посвящена разработке математических моделей формирования толщины полос при прокатке на четырехклетевом стане. Для моделирования использованы аналитические и эмпирические методы. Аналитическая модель, основанная на методике Стоуна, показала низкую точность (погрешность $>20\%$). Эмпирический метод — регрессионный анализ с МНК — обеспечил более точные модели, учитывающие временные задержки влияния параметров прокатки (усилие, натяжение, скорость). Построены 16 частных и 4 общих адекватных линейных уравнений регрессии для различных групп стали и клеток, с коэффициентами, зависящими от параметров прокатки. Проверка точности частных регрессионных моделей подтвердила их адекватность при расчёте толщины после 1-й и 4-й клеток на стадиях разгона и торможения.

В четвертой главе представлен алгоритмический подход к расчету режимов прокатки, обеспечивающих стабилизацию толщины полосы на конечных участках. Особое внимание уделено снижению длины и толщины этих участков на нестационарных стадиях процесса — при заправке-разгоне и торможении-выпуске полосы. Разработанный алгоритм регулирования толщины полосы позволяет вычислять параметры прокатки для каждой стадии.

Для моделирования процесса использован метод конечных элементов в среде QForm, что обеспечивает реалистичную оценку режимов, а также была проведена их верификация с использованием числовой модели. В основе алгоритма регулирования лежат регрессионные уравнения формирования продольного профиля полос, построенные эмпирическим методом на основе экспериментальных данных. При этом при разработке учтён установленный экспериментально факт временной задержки влияния управляющих воздействий на изменение толщины полосы, связанной с колебаниями условий деформации в очаге при разгоне и торможении стана 1400.

Результаты моделирования в среде QForm на стадиях разгона и торможения, демонстрируют высокую степень согласованности с расчетными данными, полученными с использованием регрессионных моделей. Относительное отклонение расчетных значений усилий прокатки и толщины полос после 1-й и 4-й клеток стана 1400 ЦДС не превышает 5%, что свидетельствует о высокой точности предложенного математического обеспечения.

В пятой главе приведены результаты практической проверки разработанных режимов холодной прокатки переднего и заднего конечных участков полос. Показано, что прокатка полос на стане 1400 по разработанным режимам позволяет снизить суммарную среднюю длину переднего и заднего конечных участков полос вне поля допусков с 0,90 % до 0,28 % в зависимости от сортаментной подгруппы. Внедрение данных режимов позволит уменьшить обрезку переднего и заднего участков полос на агрегатах отделки. При этом может быть достигнуто снижение расходного коэффициента на 1,2 - 3,5 кг/т.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе.

Научная новизна исследования

1. Установлены закономерности образования повышенной продольной разнотолщинности (утолщений более +0,02 мм) на концевых участках прокатанных полос электротехнических сталей. Показано, что на нестационарных стадиях процесса (заправка-разгон, торможение-выпуск) без автоматического регулирования толщины формируются утолщенные участки полосы значительной длины: для стадий заправки-разгона — 18–40 м, торможения-выпуска — 12–50 м.

2. Впервые для электротехнических сталей определена обратная зависимость толщины полосы от основных технологических параметров прокатки (обжатие, удельное натяжение, скорость) с учетом временных задержек управляющих воздействий.

3. Разработан алгоритмический подход для управления толщиной концевых участков холоднокатаных полос, основанный на прогнозировании изменения толщины после первой и последней клетях непрерывного стана с учетом временных задержек, расчете регулирующих воздействий, а также их верификации посредством численного моделирования методом конечных элементов в программном модуле QForm.

Практическая ценность результатов диссертационной работы

1. Построены регрессионные уравнения для управления толщиной полос электротехнических сталей с учетом временной задержки при коррекции параметров прокатки (усилия, удельного натяжения и скорости прокатки).

2. Рассчитаны режимы холодной прокатки полос на нестационарных стадиях процесса: заправка, разгон до момента включения САРТ, торможение с момента отключения САРТ до скорости выпуска полосы, выпуск полосы, обеспечивающие снижение продольной разнотолщинности до уровня $\pm 0,02$ мм и длины концевых участков полос с 0,9% (45 м) до 0,28% (15 м). При этом может быть достигнуто снижение расходного коэффициента на 1,2 - 3,5 кг/т.

3. Полученные в диссертации практические результаты формирования продольной разнотолщинности концевых участков холоднокатаных полос с учетом временных задержек могут быть использованы при оптимизации режимов холодной прокатки на станах других металлургических предприятий ПАО «Северсталь», ПАО «ММК».

Степень достоверности полученных результатов

Разработанные режимы прокатки утолщённых концевых участков полос электротехнических сталей, основанные на корректировке распределения обжатий и изменении натяжения при заданных скоростях прокатки, прошли верификацию с помощью имитационного моделирования в среде QForm. Достоверность полученных результатов подтверждена опытными прокатками полос на стане 1400 НЛМК. Разработанные режимы внедрены в программный модуль системы управления станом 1400 НЛМК и применяются при прокатке утолщенных концевых участков полос.

Публикации и апробация работы

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них четыре в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на XIII и XIV Международных конгрессах прокатчиков (Москва, 2023 г. и Череповец, 2024 г.), на 23-й научно-технической конференции «Новые перспективные материалы, оборудование и технологии для их получения» (Москва, 2024 г.).

Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

Замечания и вопрос по диссертационной работе

1. В работе не учитывается влияние смазывания валков СОЖ на динамику силовых показателей и толщину полос при прокатке и настройки непрерывного стана 1400.

2. Не рассматривается вопрос о том, как полученные коэффициенты регрессии (b_0 , b_1 и другие.) в уравнениях (3.15, 3.16) могут быть использованы вальцовщиком и оператором или системой управления для изменения параметров в режиме реального времени.

3. Не достаточно исследовано влияние разработанных режимов прокатки на формирование внутренних напряжений в листовом прокате и плоскостность концевых участков полос.

4. Горячекатаный подкат имеет неравномерность распределения по длине полосы не только толщины, но и механических свойств, что не учитывается в моделях и алгоритме настройки стана 1400 на прокатку заданной толщины полос.

5. Интересно мнение диссертанта по дополнительным требованиям к точности и свойствам горячекатаных полос для производства качественных холоднокатаных тонких полос на непрерывном стане 1400?

6. В тексте диссертации имеются опечатки и не корректные термины.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности полученных результатов и не меняют общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа «Исследование и разработка технологических режимов для стабилизации толщины холоднокатаных полос на концевых участках при прокатке электротехнических сталей», выполненная Черномырдиным В.И., является завершённой научно – квалификационной работой. В диссертации разработаны научно-обоснованные теоретические и технологические решения, которые обеспечили разработку технологических режимов для стабилизации толщины холоднокатаных полос на концевых участках при прокатке электротехнических сталей. Полученные результаты имеют научную новизну и практическую значимость. Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается их согласованностью с известными публикациями. Это позволяет утверждать, что обозначенная в работе цель достигнута, задачи исследования

решены, а положения, выносимые на защиту экспериментально доказаны. Автореферат отражает основное содержание диссертации и позволяет сделать обоснованные выводы о качестве проведенных исследований и получении новых научных результатов. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней». Выносимые на защиту результаты соответствуют пп.1,2,4 и 6 паспорта научной специальности 2.6.4. - Обработка металлов давлением (технические науки).

Считаю, что автор диссертации Черномырдин Василий Игорьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. – Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», доктор технических наук (05.16.05. - обработка металлов давлением), профессор

Шаталов Роман Львович

26.03.2026г

Выражаю согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук В.И. Черномырдина и их дальнейшую обработку.

Контактные данные:

Адрес: 107023, Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38.

тел.: +7 (905) 535-68-37.

E- mail: r.l.shatalov@mospolytech.ru; mmomd@mail.ru

ПОДПИСЬ Шаталова Р.Л. заверяю

