



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Липецкий государственный
технический университет»
(ЛГТУ)**

Московская ул., д. 30, Липецк, 398055
Тел.: (4742) 31-15-28, 32-80-00.
Факс: (4742) 31-04-73.
e-mail: mailbox@stu.lipetsk.ru
http://www.stu.lipetsk.ru
ОКПО 02069875, ОГРН 1024840843631,
ИНН/КПП 4826012416/482601001

_____ № _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,
кандидат технических наук

А.Ю. Картель
«02» июня 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

ЛАТУШКИНА ИЛЬИ АНАТОЛЬЕВИЧА

на тему «Совершенствование технологии непрерывной горячей прокатки
алюминиевых сплавов путем учета различий в условиях трения по клетям»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.7. «Технологии и машины обработки давлением»

1. Актуальность диссертационного исследования

Горячая прокатка листов и плит из алюминиевых сплавов является одним из самых массовых способов производства изделий различного назначения. В Российской Федерации ежегодно производится порядка 300-400 тыс. тонн катаной продукции из алюминиевых сплавов, и этот объем постоянно увеличивается. Катаная продукция из алюминиевых сплавов востребована в современной пищевой промышленности, в строительстве, в электротехнической, в автомобильной, в судостроительной, транспортной отраслях, в машиностроении и авиастроении. В настоящее время активно разрабатываются новые алюминиевые сплавы, которые можно использовать в различных отраслях промышленности вместо стальных изделий. Поэтому совершенствование технологии непрерывной горячей прокатки листов и плит из алюминиевых сплавов, направленное на автоматизацию процесса и повышение качества проката, является актуальным.

Известно, что прокатка реализуется за счет активных сил трения в очаге деформации, и поэтому необходимо проводить анализ, контроль и обеспечение необходимых режимов трения. Особенно данная проблема актуальна при непрерывной горячей прокатке, так как режимы трения в клетях могут изменяться в зависимости от температурно-скоростных параметров прокатки, марки сплава, шероховатости валков и свойств смазочно-охлаждающей жидкости (далее СОЖ).

Заслуживший № **206-4430**
Дата **06 ИЮН 2025**
Самарский университет

Поэтому модель внешнего трения, позволяющая корректно рассчитывать энергосиловые параметры горячей прокатки алюминиевых сплавов с учетом различных видов трения по клетям стана, востребована для обеспечения устойчивости процесса прокатки.

2. Объем, структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего в себя 100 наименований. Работа содержит 139 страниц машинописного текста, 61 рисунок, 19 таблиц и три приложения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, степень ее разработанности, определена цель и поставлены основные задачи исследования, дана краткая характеристика работы, включающая научную новизну, теоретическую и практическую значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту, представлена информация по апробации результатов.

В первой главе диссертации приведен сравнительный анализ видов внешнего трения: сухого, граничного, смешанного и гидродинамического трения, математических моделей и законов внешнего трения Амонтона-Кулона и Прандтля-Зибеля, описывающих контактное взаимодействие при прокатке между валком и поверхностью деформируемой полосы. Показано, что коэффициент трения по закону Амонтона-Кулона не всегда корректно описывает процесс трения при прокатке и не может превышать значение 0,577. Для преодоления этого обстоятельства при обработке металлов давлением важно знать соотношение между номинальной и фактической величиной контактных поверхностей, которая изменяется при деформации микронеровностей на поверхности деформируемой заготовки. Также подробно рассмотрен в технической литературе механизм поступления смазки в очаг пластической деформации и смазочно-охлаждающей жидкости. Подводя итог аналитического обзора, автор делает вывод, что при расчете условий трения по клетям непрерывного прокатного стана горячей прокатки с использованием СОЖ будут полезны при построении математической модели контактных напряжений: модель трения T. Wanhaim и N. Bay, учитывающая площадь фактической поверхности контакта валка с полосой, и механизм формирования смазочного слоя в зоне захвата полосы валками, основанный на теории динамической концентрации частиц, предложенной Уильямом Уилсоном и Стивеном Шмидтом, и формула А.П. Грудева для расчета толщины слоя смазки в точке входа в очаг деформации.

Во второй главе представлена комплексная математическая модель очага пластической деформации при горячей прокатке полосы в условиях плоской деформации с использованием водной эмульсии, позволяющая определять режимы трения: граничное трение, смешанное трение и гидродинамическое трение. Приведена методика определения показателя трения в условиях промышленного стана непрерывной прокатки 2800, основанная на обратном перерасчете уравнения Кармана-Целикова приближенным численным методом Эйлера с учетом граничных условий на входе и выходе из очага деформации. Базовые положения математической модели контактных напряжений в очаге деформации при прокатке с применением водной эмульсии основаны на методе учета фактической поверхности контакта гладкого инструмента с шероховатой деформируемой полосой, предложенный Ванхаймом и Бэйем, и гидродинамической теории подачи смазки в очаг деформации.

Результаты расчетов по разработанному алгоритму показали, что на стане горячей прокатки режим трения может варьироваться от граничного до полужидкостного. С ростом величины показателя трения m увеличивается как фактическая контактная поверхность, выражаемая

параметром α , так и контактное нормальное и касательное напряжение на этой поверхности, что приводит к быстрому росту величины давления металла на валок.

В третьей главе представлены результаты исследований определения реологических свойств прокатываемых алюминиевых сплавов в зависимости от температурно-скоростных параметров деформации. Получены константы различных алюминиевых сплавов для формулы Селларса. Рассчитана теоретическая толщина начальной пленки масляного клина и её отношение к комбинированной шероховатости трущихся поверхностей при горячей прокатке полос из различных сплавов алюминия в различных условиях горячей прокатки. Анализ теоретически рассчитанного соотношения толщины масляного клина к комбинированной шероховатости трущихся поверхностей в соответствии с критериями кривой Штрибека-Герси позволяет автору сделать вывод, что во время горячей прокатки полос из алюминиевых сплавов для черновых (предварительных) проходов характерны условия граничного трения, в то время как для чистовых (окончательных) проходов характерны условия смешанного (полужидкостного) трения. По результатам физического эксперимента получены уравнения регрессии для коэффициентов трения в клетях, в зависимости от концентрации эмульсии и содержания жирных кислот и их эфиров. Для температурно-скоростного диапазона горячей прокатки алюминиевых сплавов в непрерывной пятиклетевой группы стана 2800 (АО «СМЗ») получен оптимальный состав эмульсии: промышленное масло Tandemol SAR 216/3 3%; в эмульсоле жирные кислоты – $5,8 \div 6,2$ %; эфиры – $12,5 \div 13,5$ %.

В четвертой главе дано описание практического применения разработанных методик в промышленном листопрокатном производстве. Приведены данные статистического анализа применения за год эмульсии с новым составом. Эмульсия показала достаточную для промышленного использования стабильность. За год на эмульсии с уточненным составом обработано свыше 7000 горячекатаных заготовок под баночную ленту, среднее значение фестонистости не превышало уровня 2,7% на рулонах толщиной 0,245 мм, 2,8% на толщине 0,274 и 2% на толщине 0,4.

В Заключении сформулированы результаты и основные выводы по диссертации. Основные научные результаты, полученные автором, их последовательность и содержание отражают структуру работы, соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о полноте их решения.

В Приложениях представлены характеристики реверсивной клетки стана горячей прокатки, система охлаждения валков и описание алгоритма математической модели расчета контактных напряжений.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

3. Научная новизна исследования и достоверность полученных результатов работы

В ходе научных исследований автором диссертации получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Разработана комплексная математическая модель контактных касательных напряжений, включающая в себя две составляющие: комбинированный закон трения по модели Ванхайм и Бея с учетом дополнительного сопротивления деформации давления смазки и закон жидкостного трения. Доля участия той или иной составляющей определяется отношением толщины масляной пленки на контактной поверхности к величине комбинированной шероховатости.

2. Впервые предложено рассматривать показатель трения как функцию нескольких технологических параметров процесса горячей непрерывной прокатки - это вязкость масляной фазы эмульсии, скорость прокатки, предел текучести и длина проекции дуги захвата на направление прокатки.

3. Получены экспериментальные данные по влиянию присадок на коэффициент трения и энергосиловые параметры процесса горячей прокатки алюминиевых сплавов с применением водомасляной эмульсии в качестве СОЖ.

Достоверность результатов исследований обеспечивается обоснованностью использованных теоретических зависимостей, применением общепризнанных теоретических методов и подтверждается качественным и количественным согласованием результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными как лично автором, так и другими исследователями.

4. Практическая ценность результатов работы

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная модель расчета показателя трения в зависимости от вязкости масляной фазы эмульсии, скорости прокатки, предела текучести алюминиевого сплава и длины проекции дуги захвата на направление прокатки, интегрированная в автоматическую систему управления стана горячей прокатки 2800, позволяет повысить точность расчетов режимов прокатки и значительно сократить скорость адаптации системы, результате чего снижена отбраковка по утолщенным концам на горячекатаных рулонах.

Предложенные изменения в составе эмульсии приводят к существенному снижению фестонистости в процессе прокатки корпусной ленты из сплава 3104БТ. Разработанные научно-обоснованные технологические рекомендации, позволяют повысить точность геометрических размеров проката.

5. Апробация основных результатов диссертации

Результаты работы апробированы на научно-технических конференциях и семинарах всероссийского и международного уровня: IX международном конгрессе «Цветные металлы и минералы», VIII Всероссийском кадровом форуме с международным участием «Инновационное управление персоналом» на международной конференции «Ал21/Плоский прокат».

По результатам научных исследований, изложенных в диссертации, опубликовано 9 работ, в том числе 8 статей опубликованы в рецензируемых изданиях из перечня рекомендованных ВАК РФ и включенных в международные наукометрические базы Scopus и Web of Science.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты диссертационной работы следует рекомендовать к использованию на предприятиях: Белокалитвинский металлургический завод и Каменско-Уральский металлургический завод, АО «Ступинская Металлургическая Компания» (АО "СМК") фольгопрокатный завод «Саянал» и в других организациях, занимающихся проектированием и доводкой технологии листопрокатного производства.

7. Замечания по диссертационной работе

1. Диссертацию следовало бы начать с описания дефектов плит и листов из алюминиевых сплавов (в частности, фестонистости), причиной которых является горячая прокатка, и только после этого перейти к законам трения в очаге деформации.

2. В диссертации отсутствует определение дефекта «фестонистость» и описание природы его возникновения.

3. Четвертой задачей диссертации (стр.7) является разработка рекомендаций «... для совершенствования технологического процесса непрерывной горячей прокатки ... по увеличению выхода годного и снижению фестонистости на баночной ленте». В то же время на стр. 100 приведена диаграмма под названием «Влияние эмульсии, используемой при горячей прокатке, на фестонистость после холодной прокатки». Насколько правомерно относить уменьшение «фестонистости» ленты из алюминиевого сплава после холодной прокатки только на применение разработанной эмульсии при горячей прокатке? Технология холодной прокатки не влияет на «фестонистость»?

4. На стр. 6 диссертации появляется понятие «комбинированная шероховатость». Какой смысл автор вкладывает в это понятие? Как вычисляется ее величина?

5. На стр. 18 и 100 диссертации без должного обоснования приводится утверждение, что невысокие коэффициенты трения позволяют получать однородную текстуру по высоте сечения и обеспечивают низкий уровень фестонистости.

6. Неясна связь между уточненными моделями коэффициентов трения при теоретических расчетах энергосиловых параметров горячей прокатки полос из алюминиевых сплавов и проявлением дефекта «фестонистость» (глава 4).

7. В диссертации и автореферате не указаны даты проведения конференций, в которых автор принимал участие; в списке опубликованных работ отсутствуют ссылки на публикации по материалам этих конференций.

8. В диссертации имеется небольшое количество опечаток, так, например, на стр. 27 уравнения (1.15) дублируются; на стр. 5 и 42 вместо Амонтон напечатано Амантон.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования в целом, ее научной и практической значимости.

8. Заключение

Диссертация работа Латушкина И.А. на тему «Совершенствование технологии непрерывной горячей прокатки алюминиевых сплавов путем учета различий в условиях трения по клетям» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения увеличение выхода годного проката при непрерывной горячей прокатке полос из алюминиевых сплавов за счет минимизации сил трения, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие страны. Исследования, представленные в работе, соответствуют паспорту специальности 2.5.7. «Технологии и машины обработки давлением» в части направления исследований – п. 1 «Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах, установление оптимальных режимов обработки»; п. 8 «Технологии продольной и поперечно-винтовой прокатки заготовок деталей, методы конструирования деталепрокатных станов».

В целом, диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от

24.09.2013 г. (с изменениями), а ее автор, Латушкин Илья Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (технические науки).

Диссертационная работа Латушкина И.А. обсуждена и отзыв на нее утвержден на заседании кафедры обработки металлов давлением (протокол от 30 мая 2025 г. № 11).

Отзыв составлен:

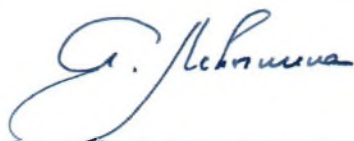
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ОМД
(научная специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением)



Бельский Сергей Михайлович

Ученый секретарь,

кандидат технических наук, доцент кафедры ОМД
(научная специальность 2.6.4 – Обработка металлов давлением)



Левыкина Анна Геннадьевна

Лица, подписавшие отзыв, выражают свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

Сведения о ведущей организации

Полное наименование	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет»
Сокращенное наименование	ФГБОУ ВО «ЛГТУ»
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Местонахождение	г. Липецк, ул. Московская, д. 30
Почтовый адрес	398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30
Телефон	+7 (4742) 328-000
Электронная почта	mailbox@stu.lipetsk.ru
Сайт организации	http://www.stu.lipetsk.ru
Руководитель	Ректор, к.э.н., доцент Загеева Лилия Александровна
Уполномоченный	Проректор по научной работе, к.т.н. Картель Александр Юрьевич

