

В диссертационный совет Д 212.111.03 при  
Федеральном государственном бюджетном  
образовательном учреждении высшего об-  
разования «Магнитогорский государствен-  
ный технический университет им. Г.И. Но-  
сова»

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента

**Артюха Виктора Геннадиевича**

на диссертационную работу

**Дёмы Романа Рафаэлевича**

на тему «Развитие методологии комплексного совершенствования техноло-  
гии и оборудования для смазывания и охлаждения валков листовых станов  
горячей прокатки», представленную на соискание учёной степени

доктора технических наук по специальности

05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА	
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	<u>25.05.2021</u>
Фамилия регистратора	_____

## 1. Общая характеристика работы

Диссертационная работа Дёмы Р.Р. посвящена современным тенденциям развития современной науки и техники в области производства листовой горячекатаной продукции. Для большинства передовых отраслей промышленности при освоении и производстве новых материалов, в частности, при производстве листового горячекатаного проката (ЛГП), особое внимание уделяется исследованиям и разработкам, направленным на снижение эксплуатационных затрат на его производство.

Исследования соискателя направлены на разработку технических и технологических мероприятий, обеспечивающих снижение и повышение эксплуатационной стойкости формоизменяющего инструмента – рабочих валков – при производстве ЛГП.

Диссертационная работа соискателя состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных литературных источников из 280 наименований, 18 приложений. Диссертационная работа включает 382 страницы машинописного текста, включая 105 иллюстраций, 54 таблицы.

### Структура диссертационной работы.

**Во введении** обосновывается актуальность проблемы, рассматриваемой в диссертации, излагаются цели и задачи научного исследования, описываются подходы и методы исследования, а также сформулированы научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведён анализ современного состояния и рассмотрены основные направления развития технологии и оборудования для производства ЛГП на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки (НШСГП). Выполнен анализ известных способов снижения энергозатрат при производстве ЛГП, а также анализ известных решений, направленных на повышение эксплуатационной стойкости рабочих валков. В работе показано, что с целью снижения энергосиловых и фрикционных параметров процесса прокатки, а также повышения эксплуатационной стойкости рабочих валков необходимо разработать методологию комплексного совершенствования технологии и оборудования для смазывания и охлаждения валков листовых станов горячей прокатки.

**Во второй главе** произведены теоретические исследования функционирования системы «опорный валок – рабочий валок – полоса», направленные на снижение уровня потребляемых ресурсов при производстве ЛГП за счет применения технологии подачи жидких смазочных материалов (СМ) в валковые узлы четырехвалковых клетей. Проведённые исследования базируются на разработанных аналитических подходах, учитывающих характер нагружения в системе «опорный валок – рабочий валок – полоса» и его изменение при условии подачи СМ. Разработаны математические модели, которые определяют толщину смазочного слоя на контакте «опорный валок – рабочий валок» и расход СМ с учетом изменения параметров шероховатости опорных и рабочих валков. На основе проведенных исследований для технологии



производства ЛТП предложены и обоснованы режимы подачи СМ, учитывающие изменение параметров шероховатости рабочих и опорных валков.

**В третьей главе** реализована серия лабораторно-промышленных исследований для определения влияния режимов подачи СМ на энергосиловые параметры прокатки и износ рабочих валков, а также предложены методы оценки эффективности применения предложенных режимов. Автором разработана и реализована математическая модель изнашивания бочек рабочих валков листовых станов горячей прокатки, учитывающая наличие, а также объемно-расходные параметры смазочного материала на контакте «опорный валок – рабочий валок» и «рабочий валок – полоса».

Реализованные соискателем комплекс теоретических, экспериментальных и промышленных исследований, а также постановка и проведение лабораторных экспериментов, моделирующих процессы контактного взаимодействия для системы «опорный валок – рабочий валок – полоса», позволили разработать методологию комплексного совершенствования оборудования и технологии эффективного смазывания рабочих валков в четырехвалковых клетях «кварто» листовых станов горячей прокатки. Реализация разработанной методологии направлена на разработку и внедрение эффективных режимов подачи СМ при листовой горячей прокатке.

**В четвертой главе** предложена и научно обоснована методика, описывающая процесс принудительного охлаждения в исследуемой системе «рабочий валок – полоса». На основе предложенной методики разработана двумерная математическая модель, описывающая процесс теплообмена в системе «рабочий валок – полоса». Реализованные соискателем теоретические, экспериментальные и промышленные исследования для системы «рабочий валок – полоса» позволили разработать методологию исследования системы «рабочий валок – полоса», с помощью которой можно совершенствовать технологии принудительного охлаждения рабочих валков и полосы.

**В пятой главе** приведены результаты внедрения в условиях действующего производства разработанной комплексной математической модели, позволяющей выдавать рекомендации по режимам подачи СМ и охладителя на поверхность рабочих валков. В частности, разработаны и внедрены рекомендации по настройке теплового режима валков для непрерывной черновой и чистовой групп клетей листового стана горячей прокатки. Для черновой группы клетей стана произведена замена существующего оборудования: заменены коллекторы системы охлаждения спрейерного типа на новые с плоскофакельными форсунками. Разработаны и внедрены рекомендации по назначению расходов охладителя в системе охлаждения рабочих валков и системе принудительного снижения температуры поверхности полосы перед входом в очаг деформации. С целью корректировки используемых режимов охлаждения валков и полосы предложена новая классификация прокатываемых монтажных партий, учитывающая средний вес ( $W_{срi}$ , т), толщину ( $H_i$ , м) и суммарную длину прокатываемых полос ( $\Sigma L_i$ , м), отличающуюся учетом коэффициента ( $k_L = W_{срi}/L_{сум}$ ), зависящего от суммарной длины прокаты-

ваемого монтажа ( $L_{\text{сум}}$ , м). Определены границы предложенного показателя  $W_{\text{срi}}$ , а также коэффициента  $k_L$ .

**В приложениях** представлены акты внедрения, акты испытаний, акты экономической эффективности полученных результатов диссертационного исследования.

## **2. Актуальность темы диссертации**

В настоящее время на металлургических предприятиях существует необходимость снижения производственных затрат с одновременным повышением качества готовой продукции, снижения расхода материалов и уменьшения энергоемкости технологических процессов. А, следовательно, есть необходимость в создании и развитии новых способов и устройств, направленных на снижение энергосиловых параметров процесса листовой горячей прокатки, а также повышение эксплуатационной стойкости рабочих валков.

Для снижения уровня потребляемых ресурсов при производстве ЛПП необходимо реализовать технические решения по совершенствованию оборудования, разработать и внедрить технологию эффективного воздействия на процессы смазывания и охлаждения валков и полосы, включающую режимы, определяющие объёмы подаваемого на поверхность валков СМ и охладителя для каждой прокатной клетки в зависимости от температурно-скоростных параметров прокатки. Анализ современного состояния производства ЛПП, а также применяемых методов, технологий и оборудования, направленных на снижение производственных затрат, позволяют сделать вывод, что рассматриваемая в диссертационной работе проблема, заключающаяся в снижении энергосиловых и фрикционных параметров процесса прокатки и в повышении эксплуатационной стойкости рабочих валков на основе разработанной методологии комплексного совершенствования технологии и оборудования для смазывания и охлаждения валков листовых станов горячей прокатки, является актуальной.

## **3. Научная значимость работы**

Автором получены следующие научные результаты.

1. Разработан комплекс математических и физических моделей взаимодействия опорного и рабочего валков, на основании которых установлены и представлены методологические подходы, описывающие взаимосвязь элементов системы «опорный валок – рабочий валок – полоса», отличительной особенностью которых является наличие или отсутствие смазочного материала и его количество на их контакте.

2. Получена новая теоретическая зависимость толщины смазочного слоя и расхода смазочного материала на контакте «опорный валок – рабочий валок» от основных технологических параметров процесса прокатки, отличающаяся учетом изменения параметров шероховатости опорных и рабочих валков.

3. На основе комплекса экспериментальных исследований впервые получены зависимости, описывающие влияние режимов подачи смазочного ма-



териала и его объемно-расходных параметров на изменение энергосиловых и фрикционных параметров процесса прокатки, а также на эксплуатационные показатели рабочих валков.

4. Для системы «опорный валок – рабочий валок – полоса» разработана математическая модель процесса изнашивания рабочих валков в процессе прокатки с наличием смазочного материала и без него, учитывающая изменяющиеся режимы смазывания и охлаждения; экспериментально-аналитическим путем определены показатели интенсивности изнашивания рабочих валков при отсутствии смазочного материала и при его наличии.

5. Создана, научно и технически обоснована методология настройки и управления системой охлаждения рабочих валков и полосы, отличающаяся от известных применением последовательно реализованных и взаимосвязанных комплексных математических моделей, описывающих изменение теплового состояния валков и полосы, что позволяет определять расход и давление охладителя, расположение коллекторов и форсунок для достижения максимального теплосъема с охлаждаемых поверхностей.

6. Впервые предложена научно обоснованная классификация прокатываемых монтажных партий, отличающаяся введением коэффициента  $k_L$ , который учитывает отношение среднего веса прокатываемых монтажных партий к суммарной длине; применение предложенной классификации позволяет корректировать используемые режимы охлаждения валков и полосы.

#### **4. Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы заключается в следующем.

1. Автором разработаны новые устройства и способы, направленные на снижение энергосиловых и фрикционных параметров процесса прокатки, а также повышение эксплуатационной стойкости рабочих валков при производстве ЛПП. Новизна технических решений подтверждена патентами РФ на изобретения (№2457913, №2666396), патентами РФ на полезные модели (№110663, №152330), а также свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ (6 шт.), описывающих процессы функционирования системы «опорный валок – рабочий валок – полоса».

2. Автором разработан комплекс методик и алгоритмов, применение которых позволяет выдавать практические рекомендации для:

– определения режимов и объёма подачи смазочного материала с учетом геометрических и прочностных характеристик прокатываемых полос;

– определения рационального местоположения коллекторов и объёма подаваемого охладителя на поверхность рабочих валков;

– определения рационального местоположения коллекторов и объёма подаваемого охладителя на поверхность прокатываемой полосы перед входом её в очаг деформации.

3. Разработаны новые технические и технологические решения, реализация которых позволила добиться снижения уровня потребляемых ресурсов производства ЛПП, выраженного в сокращении энергетических затрат и повышении эксплуатационной стойкости рабочих валков. Для листовых станов

горячей прокатки, на примере НШСГП 2000 и 2500 ПАО «ММК», внедрены практические результаты, что подтверждается соответствующими документами об испытаниях и внедрениях.

Подтвержденный экономический эффект от внедрения комплекса технических и технологических решений по повышению стойкости рабочих валков на НШСГП 2000 ПАО «ММК» в черновой непрерывной группе клетей составил 3,2 млн. рублей, а суммарный экономический эффект от внедренных решений составляет более 80 млн. рублей.

## **5. Замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. В п. 2.1 диссертации соискатель указывает, что в расчетной модели, реализованной в программном комплексе «Deform-3D», при моделировании взаимодействия на контакте «рабочий валок – заготовка» был принят коэффициент трения  $f = 0,43$ , который был определен по известным формулам А.П. Грудева. Однако в тексте диссертации не приведены формулы, по которым был определен коэффициент трения.

2. В тексте диссертации на стр. 74 соискатель утверждает, что средняя величина ошибки математической модели составляет 1,6%, максимальная величина ошибки не превышает 9,1%. При этом достоверность разработанной математической модели определялась путем сравнения теоретических и фактических (экспериментальных) данных по нескольким критериям: усилие прокатки ( $N$ , МН), обжатие заготовки ( $\epsilon$ , %), скорость прокатки ( $V$ , м/с). Не совсем понятно, по какому именно критерию соискатель представил полученное расхождение.

3. В п. 2.3 диссертации на стр. 95 приведена формула (2.22), которая используется для расчета коэффициента трения в системе «опорный валок – рабочий валок» без учета смазки. В описательной части формулы указано, что  $HВ$  – твердость рабочего тела. Правильнее было бы указать « $HВ$  – твердость рабочего валка».

4. В диссертации на стр. 95 соискателем приведена формула (2.24), по которой был определен коэффициент трения в системе «опорный валок – рабочий валок» с наличием смазки. Из текста диссертации не совсем понятно, какую температуру смазочного материала автор принимал для определения коэффициента трения по данной формуле.

5. Соискателем получены регрессионные уравнения, описывающие изменение момента трения, величины износа образцов, изменение температуры образцов от исследуемых факторов (усилие, угловая скорость вращения нижнего образца (ролика), количество подаваемого СМ). Не совсем понятно, каким образом измерялась температура образцов (роликов), и каким образом полученный результат был использован при проведении дальнейших исследований.

6. Из текста диссертации и автореферата не понятно, каким образом результаты математического моделирования процесса, а именно, определенный экспериментально-аналитическим путем показатель изнашивания с наличием



СМ ( $J_1$ , мм<sup>3</sup>/Нм) и без СМ ( $J_0$ , мм<sup>3</sup>/Нм), был использован при совершенствовании технологического процесса листовой горячей прокатки.

7. Из текста диссертации не совсем понятно, оказывают ли измеренные (величина износа валков, сила тока) и рассчитанные (показатель изнашивания, температура рабочих валков) параметры в процессе моделирования влияние на качество ЛПП.

В целом, указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической ценности работы.

#### **6. Оценка содержания диссертации и автореферата**

Диссертационная работа изложена четким, технически грамотным языком, ее содержание в достаточной степени проиллюстрировано графиками и таблицами с использованием современных компьютерных средств.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в 39 публикациях, в числе которых 19 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 7 статей в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах Scopus и Web of Science, 1 монография, 2 патента РФ на изобретения, 2 патента РФ на полезные модели, 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

#### **7. Заключение**

Диссертационная работа Дёмы Романа Рафаэлевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей научной и практической значимостью, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и изложены новые, научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на снижение энергосиловых и фрикционных параметров процесса прокатки, а также повышение эксплуатационной стойкости рабочих валков. Технические и технологические решения основаны на разработанной методологии комплексного совершенствования технологии и оборудования для смазывания и охлаждения валков листовых станов горячей прокатки, внедрение которых внесло значительный вклад в развитие металлургической промышленности.

Все выносимые на защиту результаты получены при определяющем вкладе самого автора и соответствуют паспорту специальности 05.02.09 - «Технологии и машины обработки давлением», а именно, в части формулы специальности: «Область науки и техники, изучающая и формулирующая закономерности пластического деформирования различных материалов с целью создания технологий изготовления заготовок и изделий высокого качества, а также современных экономичных кузнечных, прессовых, штамповочных и прокатных машин, способных реализовать разработанные технологии. Изучение связей в системе «заготовка – инструмент – машина» и рациональный выбор способа приложения к заготовке деформирующих сил и технических характеристик машины позволяют снизить энергозатраты при работе машин, технологические отходы, улучшить условия труда, автоматизировать проектные работы и производство продукции».

В части области исследования:

- п.1. «Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах, установление оптимальных режимов обработки»;
- п.5. «Методы оценки напряженного и деформированного состояния и способы увеличения жесткости, прочности и стойкости штампового инструмента»;
- п.6. «Оптимизация конструкций разрабатываемых кузнечных, прессовых, штамповочных и прокатных машин, их взаимосвязь со средствами автоматизации и механизации»;
- п.7. «Технологии продольной и поперечно-винтовой прокатки заготовок деталей, методы конструирования деталей прокатных станков».

Диссертационная работа в целом отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор, Дёма Роман Рафаэлевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением.

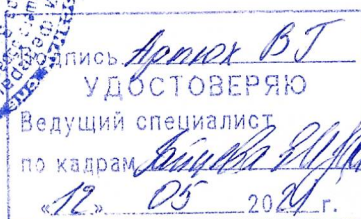
Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,  
профессор высшей школы «Механика и процессы управления»  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра Великого»  
Почтовый адрес: 195251, Российская Федерация,  
г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.  
Тел.: +7 (812) 297-20-95. Факс: +7 (812) 552-60-80.  
E-mail: [office@spbstu.ru](mailto:office@spbstu.ru)

Артиух Виктор Геннадиевич  
Тел.: +7 (931) 579-70-53; E-mail: [artiukh@mail.ru](mailto:artiukh@mail.ru)

Научная специальность по диплому: 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (металлургия)».

Я, Артиух Виктор Геннадиевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе



(подпись)