

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Мунтина Александра Вадимовича на диссертационную работу Митрофанова Артема Викторовича «Повышение энергоэффективности процесса непрерывной горячей прокатки на основе моделирования многократной деформации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4.

Обработка металлов давлением

### **Актуальность работы**

Сокращение затрат на изготовление плоского стального проката при одновременном сохранении эксплуатационных и потребительских свойств продукции относится к числу приоритетных задач отрасли. Наиболее рациональным, с экономической точки зрения, решением выступает настройка и корректировка параметров уже отработанных, существующих технологических решений с использованием достоверных математических моделей, что позволяет отказаться от дорогостоящих мероприятий по модернизации или замене оборудования.

Для такой постановки задачи ключевое значение приобретает повышение точности энергосиловых расчетов и построение формализованных процедур оптимизации режимов горячей прокатки для всего диапазона выпускаемых марок и типоразмеров на широкополосных станах горячей прокатки (ШПСГП).

### **Структура диссертации**

Диссертация включает введение, пять глав, заключение и список литературы из 81 источника. Общий объем — 118 страниц, в том числе 26 рисунков и 39 таблиц.

Во введении представлено обоснование актуальности темы исследования, формулировка цели и задач исследования, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также перечень положений, выносимых на защиту.

**В первой главе** приведен критический анализ отечественных и зарубежных работ, посвященных энергосиловым расчетам и снижению энергопотребления при непрерывной горячей прокатке. По данным предварительных промышленных испытаний на действующем НШСГП 2000 показана принципиальная реализуемость снижения энергопотребления за счет целенаправленного перераспределения обжатий между клетями чистовой группы.

**Во второй главе** установлено, что существенное расхождение между мощностью прокатки и мощностью, требуемой для привода рабочего вала в 4х-валковой клетки, обусловлено дополнительными затратами на вращение холостого опорного вала, включая связанные с этим потери. С целью количественной оценки указанного вклада с использованием программного комплекса вычислены крутящие моменты, необходимые для приведения во вращение рабочих валков в клетях двух типовых конфигураций. Моделирование процесса прокатки углеродистой стали обычного качества выполнено для клетки, эквивалентной чистовой группе ШПСГП 2000, отдельно для 4х-валковой и 2х-валковой систем. В целях верификации результатов численного моделирования проведены эксперименты по прокатке свинцовой пластины на различных конфигурациях клетки лабораторного стана.

**В третьей главе** проведен анализ всего сортамента стана с точки зрения профилиразмеров полос, для которых ожидается наибольший эффект от оптимизации режимов. В рамках исследования варьировались ключевые технологические параметры, и установлено, что величина снижения энергетических затрат определяется конечной толщиной проката, то есть суммарным обжатием: по мере уменьшения конечной толщины экономия возрастает. Данная закономерность объясняется тем, что при росте суммарного обжатия расширяется пространство допустимых схем перераспределения частных обжатий между клетями. В итоге показано, что максимальный эффект, порядка 10–15 %, достигается при оптимизации режимов прокатки для полос толщиной 1,2–6,0 мм.

Приведена физическая обоснованность перераспределения обжатий для снижения энергопотребления: показана ее связь с конкуренцией деформационного упрочнения и междеформационного разупрочнения за счет процессов возврата и рекристаллизации.

**В четвёртой главе** предложен алгоритм оптимизации режимов горячей прокатки, с целью снижения энергетических затрат при ведении процесса прокатки. Выполненные с использованием разработанного алгоритма расчеты, для определенного сортамента показывают эффективность от увеличения частных обжатий не только в 1-й, а и во 2-й, 3-й и предпоследних клетях ШПСГП.

**В пятой главе** подробно описаны практические примеры реализации предложенного алгоритма. Показана применимость разработки для совершенствования технологии производства проката конструкционного назначения и проката для изготовления сварных труб.

**В заключении** работы приведены основные выводы по результатам исследования.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов**

Достоверность полученных результатов подтверждается согласованностью с данными производства. Испытания разработанных режимов на ШПСГП 2000 с использованием системы контроля потребления электроэнергии главными приводами показали, что реальное уменьшение энергопотребления для опытных партий почти полностью соответствует предварительным расчетам.

### **Научная новизна**

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в:

(1) обосновании дополнительных затрат энергии (30–35 %) в 4х-валковой системе по сравнению с 2х-валковой (обусловленные вращением опорных валков) и уточнении формулы для расчета коэффициента плеча трения качения;

(2) в физическом обосновании энергосберегающих режимов прокатки, в формализации механизма влияния чередующихся процессов деформационного упрочнения и разупрочнения в межклетевых промежутках на энергозатраты при непрерывной горячей прокатке.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Разработан и внедрен в промышленную практику новый алгоритм оптимизации режимов прокатки в чистовой группе клетей, обеспечивающий снижение энергопотребления без ухудшения структуры и механических свойств готового металла.

Материалы работы интегрированы в образовательный процесс и научно-исследовательскую деятельность студентов по направлению «Металлургия» в ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет».

### **Публикации по теме диссертации и апробация работы**

По материалам диссертации опубликовано 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 4 статьи в российских журналах РИНЦ, 3 статьи в сборниках трудов III и VI Международной конференции «Научно-технический прогресс в черной металлургии» и «Череповецкие научные чтения», получено 3 патента РФ и 1 международный патент. Результаты диссертации были представлены на международных конференциях «Научно-технический прогресс в черной металлургии»; на конференции «Череповецкие научные чтения»; на конференции «Современные требования и металлургические аспекты повышения коррозионной стойкости и других служебных свойств углеродистых и низколегированных сталей».

## **Оформление диссертации**

Диссертация выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11–2011. Текст логично структурирован, изложен ясным научным стилем и дополнен необходимыми иллюстрациями и таблицами.

## **Замечания к работе**

В адрес работы сформулированы замечания, которые не снижают общего положительного впечатления от проведенного исследования:

1. Из приведенных в четвертой главе обоснований не совсем ясно, какие допущения были приняты при использовании симплекс-метода для перераспределения обжатий с целью оптимизации технологического режима.

2. В третьей главе не указано, каким образом была организована экспериментальная программа на установке Gleeble 3800 и как верифицировалось соответствие полученного реологического уравнения реальным условиям течения металла при непрерывной прокатке.

3. Во второй главе, при проведении опыта на лабораторном стане, не оговорено, как деформирование свинцовой пластины соотносится с технологией обработки стальных полос.

4. В целом в тексте диссертации допущены опечатки и неточности.

## **Заключение**

Диссертационная работа «Повышение энергоэффективности процесса непрерывной горячей прокатки на основе моделирования многократной деформации» представляет собой самостоятельное и завершенное научно-квалификационное исследование по актуальной проблематике, отличающееся научной новизной и высокой практической значимостью. На основе выполненных автором исследований разработаны и обоснованы новые технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности производства широких стальных полос, что придает работе существенную ценность для развития отрасли и экономики страны в целом.

Результаты работы соответствуют п. 1 «Исследование и расчёт деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки металлов, сплавов и композитов давлением», п. 4. «Оптимизация способов, процессов и технологий обработки металлов давлением для производства металлопродукции с целью повышения характеристик качества продукции» паспорта научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Диссертация в целом отвечает требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Митрофанов Артем Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Даю согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук А.В.Митрофанова и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

кандидат техн. наук,

директор Инженерно-технологического

центра АО «ВМЗ»



Александр Вадимович Мунтин

25.03.2026.

АО «ВМЗ»

почтовый адрес: 607060, Нижегородская обл., г. Выкса, ул. Бр. Баташевых, д. 45

тел.: + 7-910-3841205

адрес электронной почты: muntin\_av@vsw.ru

Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением



я удостоверяю

директор ЦРО  
г-н Щербанов Ю.В.