

ОТЗЫВ

официального оппонента

по диссертации ГОРБУНОВА Кирилла Сергеевича

на тему «Исследование и совершенствование технологии тонколистовой прокатки в условиях искусственной асимметрии», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

2.6.4. Обработка металлов давлением (технические науки)

Производство плоского проката – ключевой показатель развития промышленности. Современные требования к прокату, включая высокопрочные и мелкозернистые стали, зачастую затруднено на оборудовании (60-80-х годов), что приводит к перегрузкам, износу и снижению выхода годной продукции. Перспективным решением для модернизации действующих прокатных станов является использование асимметричной прокатки. Создание геометрической и/или скоростной асимметрии в очаге деформации позволяет снизить усилие прокатки и сформировать необходимое напряженно-деформированное и тепловое состояние металла, обеспечивая новые свойства проката. Таким образом, разработка технологических решений на основе асимметрии в тонколистовой прокатке является актуальной задачей для металлургии и других стратегических отраслей промышленности Российской Федерации.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения. Список литературы содержит 141 наименование. Работа изложена на 113 страницах, содержит 71 рисунок и 22 таблицы.

В первой главе представлены современные технологии производства стальных полос. Отмечена технологическая уникальность асимметричной горячей и холодной прокатки. Рассмотрено влияние различных видов асимметрии на кривизну полосы, энергосиловые параметры прокатки и структуру стали. На основе анализа поставлена цель работы и сформулированы основные задачи.

Вторая глава посвящена разработке конечно-элементной модели тонколистовой прокатки в среде «DEFORM-3D», учитывающей геометрическую и скоростную асимметрию. Определены реологические свойства сталей 08Ю, 17ГС, Э3А и 0504Д на пластометре «Gleeble-3800» и теплофизические коэффициенты для использования в модели. Проведён промышленный эксперимент на участке нагревательных печей стана 2000 ПАО «НЛМК» со сталью Э3А для адаптации и верификации модели, скорректированы коэффициенты теплопроводности и теплоёмкости. Компьютерное моделирование горячей прокатки стали 17ГС показало возможность снижения усилия прокатки до 28%.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям влияния асимметрии на особенности горячей прокатки стальных полос. Установлено, что увеличение скоростной асимметрии приводит к увеличению кривизны полосы. Экспериментально подтверждено¹ уменьшение усилия прокатки на

26% при асимметричной прокатке по сравнению с традиционной схемой, что сопоставимо с результатами компьютерного моделирования до 28%. Использование валков со ступенчатым изменением диаметров позволило снизить усилие прокатки до 40%. Средний размер зерна составляет 5,5 мкм с применением скоростной асимметрии. Экспериментально показано, что получение более мелкой структуры происходит из-за увеличения интенсивности деформации при использовании асимметричной прокатки.

Четвертая глава представляет результаты влияния скоростной асимметрии при тонколистовой холодной прокатке. Компьютерное моделирование и экспериментальные прокатки на лабораторном стане подтвердили снижение усилия прокатки до 30%.

В пятой главе представлены рекомендации по внедрению асимметрии на станах горячей и холодной прокатки ПАО «НЛМК». Для стана 2000 предлагается использование валков с разными диаметрами, привод которых осуществляется через шестерённую клетку. Расчёты, основанные на методиках С. Экелунда и А.И. Целикова, показали возможность снижения усилия прокатки до 9%. Для непрерывного стана 1400 предложено использование различных скоростей верхнего и нижнего рабочих валков, благодаря индивидуальным приводам клеток. Расчёт энергосиловых параметров холодной прокатки, основанный на методике С.Л. Коцаря, свидетельствует о потенциальном снижении усилия прокатки до 8%.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе.

В приложениях приведены акты использования результатов диссертационных исследований в ПАО «НЛМК», учебном процессе ФГБОУ ВО «ЛГТУ».

1. Научная новизна исследований и значимость полученных результатов диссертационной работы.

Автором получены следующие новые научные результаты:

1. Разработана в программном комплексе «DEFORM-3D» компьютерная модель тонколистовой прокатки для расчёта напряжённо-деформированного и теплового состояний металла, отличающаяся от известных моделей учётом асимметрии, связанной с геометрическими и/или скоростными параметрами рабочих валков, уточнёнными реологическими и теплофизическими свойствами сталей при горячей и холодной прокатке с учётом истории нагружения. С использованием модели определена область применения процесса асимметрии при тонколистовой прокатке.

2. Установлены закономерности изменения напряжённо-деформированного состояния полос при использовании асимметрии в зависимости от технологических параметров процесса. Показано, что применение скоростной асимметрии на верхних и нижних рабочих валках в диапазоне $A_p = 1,05-1,3$ обеспечивает снижение усилия прокатки до 30% при прочих равных условиях и исключает застревание в линии стана головных частей прокатываемых полос из-за искривления.

3. На основе моделирования процесса прокатки в условиях асимметрии показано, что получение более мелкой зернистой структуры при горячей прокатке связано с увеличением интенсивности сдвиговых деформаций в очаге деформации по сравнению с симметричной прокаткой.

4. Разработаны научно обоснованные рекомендации по использованию асимметрии на действующих промышленных станах горячей и холодной прокатки, основанные на результатах компьютерного моделирования и экспериментах в лабораторных условиях и позволяющие реализовать различные механизмы управления искусственной асимметрией прокатки.

2. Практическая ценность результатов диссертационной работы

1. Полученные в ходе исследования реологические и теплофизические свойства сталей могут быть использованы в качестве справочных данных при решении прикладных задач процессов обработки металлов давлением, в том числе и при конечно-элементном моделировании.

2. В ходе лабораторных экспериментов были получены результаты, отражающие влияние асимметрии (скоростной и разницы диаметров валков) на энергосиловые параметры, профиль и структуру стали при горячей и холодной прокатке.

3. Компьютерная модель асимметричной горячей и холодной прокатки позволяет проводить расчёт энергосиловых параметров на существующих широкополосных станах с учётом особенностей и ограничений используемого оборудования, а также осуществлять прогноз основных параметров процесса прокатки на стадии проектирования новых станов.

4. Результаты исследований внедрены в учебный процесс Липецкого государственного технического университета и используются для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Металлургия» и переданы в Дирекцию по разработке новых технологий ПАО «НЛМК».

5. Работа выполнена в рамках исследований по гранту РФФИ №23-79-30015 «Принципиально новые эффекты асимметричного пластического деформирования металлов и сплавов и их приложение к созданию инновационных производственных технологий», по государственному заданию Министерства образования и науки России (<https://rscf.ru/project/23-79-30015>), а также научно-исследовательской практики (приказ МИНОБРНАУКИ России от 29.08.2022 г. №825) в Ляонинском университете науки и технологии (г. Ляонин, Китай), стажировок в Ченстоховском политехническом университете (г. Ченстохова, Польша) в 2018, 2019 годах и по договорам Университета с ПАО «НЛМК».

3. Подтверждение опубликованных основных результатов в научной печати и соответствия содержания автореферата основным положениям диссертационной работы

В целом диссертационная работа изложена чётким, технически грамотным языком, её содержание в достаточной степени

проиллюстрировано графиками и таблицами. Оформление диссертации отвечает требованиям ВАК РФ.

По тематике диссертации опубликовано 27 научных работ, в том числе 6 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ и в международной наукометрической базе Scopus. Материалы диссертации доложены и обсуждены на ряде научных конференций.

Автореферат диссертации и публикации полностью отражают содержание диссертационной работы.

4. Обоснованность и достоверность научных результатов диссертационной работы

Обоснованность и достоверность основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждена комплексом исследований и экспериментов, проведённых в лабораторных условиях и на действующем прокатном стане, а также использованием современных методов физического и компьютерного моделирования, корректным использованием стандартных методов и методик, используемых при исследовании процессов обработки металлов давлением, а также статистического анализа и обработки данных. Сформулированные научные положения согласуются с известными работами по проблемам повышения качественных показателей металлопродукции и эффективности производства.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

В диссертационной работе использованы современные методы компьютерного и физического моделирования, а также получены результаты экспериментальных исследований в лабораторных и промышленных условиях, изложены новые научно обоснованные технологические решения по использованию асимметрии в производстве тонколистового проката, расширяющие область применения асимметрии и обеспечивающие снижение энергосиловых параметров прокатки и получение проката с новыми свойствами.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе в профильных вузах, реализующие образовательные программы подготовки бакалавров и магистров по направлению «Металлургия», а также аспирантов по специальности 2.5.7, Технологии и машины обработки давлением и 2.6.4. Обработка металлов давлением и на металлургических предприятиях, производящих тонколистовой прокат (ПАО «Северсталь», ПАО «ММК» и др.).

6. Замечания по диссертационной работе

По содержанию работы имеются следующие замечания:

1. Мне представляется термин «искусственная» асимметрия, который использует автор, не вполне подходящим, поскольку деформационные, скоростные и температурные режимы можно

считать «искусственными», так как они целенаправленно создаются и управляются при прокатке листов и полос.

2. С моей точки зрения необходимо более внимательно относиться к иллюстративным материалам. Например, подпись «Рис.14. Подача полосы под углом $1/2$ в очаг деформации» не поддается пониманию: что за угол $1/2$, в каких единицах или долях и от чего? Другой пример: «Рис.2.9. – Эксперимент.» Очень лаконично, но не понятно.
3. Автор, давая рекомендации об использовании асимметричной прокатки на промышленных агрегатах по причине снижения энергосиловых параметров, не обсуждает возможное влияние на качество полосы и другие технологические сложности, которые могут возникать при асимметричной прокатке.

Указанные замечания носят частный характер, не снижают ценности диссертационного исследования.

7. Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Горбунова К.С. на тему «Исследование и совершенствование технологии тонколистовой прокатки в условиях искусственной асимметрии» является законченной научно-квалификационной работой, в которой за счёт проведённых автором исследований решена актуальная задача снижения энергосиловых параметров прокатки и получения проката с новыми свойствами на основе физического и компьютерного моделирования. Диссертационная работа полностью соответствует паспорту научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

В целом диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, а её автор Горбунов Кирилл Сергеевич заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.4. Обработка металлом давлением.

Согласен на обработку персональных данных.

Официальный оппонент:

доктор технических наук,

заместитель директора по научной работе ИМЕТ РАН

119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» Российской академии наук

Тел: +7 (499) 135-77-92; e-mail: vsyusupov@mail.ru

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

24.04.25



 Юсупов Владимир Сабитович

Подпись Юсупова В.С. заверяю:
Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.

 Фомина О.Н.