

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Горбунова Кирилла Сергеевича

на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ
АСИММЕТРИИ»

представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по
научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

Актуальность темы

Прокатка плоских полос является ключевым процессом в металлообрабатывающей промышленности, определяющим уровень развития многих отраслей. Из-за ограничений прокатного оборудования при производстве современных марок сталей металлурги сталкиваются с перегрузками в главных линиях клетки, что в своё очередь снижает выход годной продукции. Перспективным решением для модернизации действующих прокатных станов является использование искусственной асимметрии. Создание геометрической или скоростной асимметрии при тонколистовой прокатке позволяет снизить усилие прокатки и формировать уникальное состояние металла. Это обеспечивает получение проката с улучшенными свойствами. Разработка технологических решений по использованию искусственной асимметрии в тонколистовой прокатке является актуальной задачей для металлургической и других стратегически важных отраслей промышленности Российской Федерации.

Краткая характеристика основного содержания диссертации

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

Во введении отражена и обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы. Представлены основные положения, выносимые на защиту, показана апробация результатов.

В первой главе рассматриваются современные технологии производства стальных полос и анализ производства стали для различных отраслей. Подчёркивается уникальность асимметричной горячей и холодной прокатки. Исследуется влияние различных видов асимметрии на кривизну полосы, энергосиловые параметры и структуру стали.

Во второй главе описывается разработанная компьютерная модель тонколистовой прокатки в ПК «DEFORM-3D» с учётом геометрической и скоростной асимметрии. Определены реологические свойства и теплофизические коэффициенты сталей 08Ю, 17ГС, Э3А и 0504Д. Проведён промышленный эксперимент для адаптации модели, с замерами температуры в мини-слябе при нагреве. Результаты моделирования влияния скоростной асимметрии показали снижение усилия прокатки при до 28%.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям влияния искусственной асимметрии на энергосиловые параметры горячей прокатки. Установлено, что кривизна полосы увеличивается с ростом асимметрии. Экспериментально подтверждено уменьшение усилия прокатки при асимметрии на 26%, что близко к результатам компьютерного моделирования (28%). Эксперименты на валках ступенчатой формы, обеспечивающими асимметрию $A_v=1,075-1,3$ показали снижение усилия прокатки с 5,5 до 3,4 тонн. Исследовано влияние асимметрии на структуру стали Э3А после прокатки. Зафиксирован мелкий размер зерна 5,5 мкм. Компьютерное моделирование и экспериментальные прокатки подтвердили, что получение более мелкой структуры происходит из-за увеличения интенсивности деформации.

В четвертой главе проведённое моделирование холодной прокатки показало снижение усилия прокатки при скоростной асимметрии и экспериментально доказано на лабораторном стане снижение усилия холодной прокатки до 30%.

В пятой главе предложены способы реализации искусственной асимметрии на станах горячей и холодной прокатки ПАО «НЛМК». Для стана 2000 рассматривается использование валков разного диаметра, что, согласно математической модели (методики С. Экелунда и А.И. Целикова), может снизить усилие прокатки до 9% без

превышения допустимой мощности приводов. Для стана 1400 предлагается варьировать скорости рабочих валков, что может обеспечить снижение усилия прокатки до 8% по результатам расчётов (методика С. Л. Коцаря).

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе.

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

Научная новизна исследования и значимость полученных результатов диссертационной работы

Автором получены следующие новые научные результаты:

- компьютерная модель асимметричной тонколистовой прокатки, реализованная в программном комплексе «DEFORM-3D»;
- закономерности изменения сопротивления пластической деформации и теплофизических свойств сталей 08Ю, 17ГС, Э3А и 0504Д;
- закономерности влияния параметров искусственной асимметрии при тонколистовой прокатке на изменение напряженно-деформированного состояния в очаге деформации, снижение усилия прокатки, искривление полосы и формирование структуры проката;
- новые технологические решения, расширяющие возможности использования искусственной асимметрии при тонколистовой прокатке и обеспечивающие снижение энергосиловых параметров прокатки и получение проката с новыми свойствами.

Практическая ценность результатов диссертационной работы

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.

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

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.

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 процесса ПАО «НЛМК».

Работа выполнена в рамках исследований по гранту РНФ №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 с ПАО «НЛМК».

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

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 статьи в рецензируемых изданиях из

перечня рекомендованных ВАК РФ и в международной наукометрической базе Scopus. Материалы диссертации доложены и обсуждены на достаточном количестве научных конференциях различного уровня. Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

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.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Используемые в диссертационной работе современные методы компьютерного и физического моделирования, а также экспериментальных исследования в лабораторных и промышленных условиях обосновывают новые научно-технологические решения по использованию искусственной асимметрии в производстве тонколистового проката, расширяют область её применения и обеспечивают снижение энергосиловых параметров прокатки и получение продукции 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.).

Замечания по диссертационной работе

1. Из материалов диссертации непонятно, оценивалась ли как-то возможность управления анизотропией материала по толщине готовой полосы с помощью параметров технологии.

2. Отсутствует сравнение результатов расчета усилия прокатки, выполненного с помощью модели, созданной в диссертационном исследовании, а также выполненного с помощью одной из известных методик.

3. В работе не представлено влияние на структуру асимметричного очага деформации параметров прокатки: не показано влияние условий ведения процесса на наклон нейтрального сечения в очаге. Вероятно, этот фактор окажет воздействие на изгиб полосы при асимметричной прокатке.

Указанные замечания носят частный характер, не снижают ценности диссертационного исследования и являются пожеланием автору для продолжения дальнейшей работы.

Общее заключение

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 соответствует паспорту научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением в части направлений исследования: п.1. «Исследование и расчёт деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки давлением металлов, сплавов и композитов», п.2. «Исследование способов, процессов и технологий обработки давлением металлов, сплавов и композитов с

