

## Отзыв

научного консультанта Песина Александра Моисеевича  
на диссертационную работу

Пустовойтова Дениса Олеговича «Теоретическое и технологическое обоснование применения скоростной асимметрии для повышения механических свойств листового проката», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

Пустовойтов Денис Олегович, 1984 года рождения, после окончания в 2007 году с отличием ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова по специальности «Обработка металлов давлением» поступил в аспирантуру по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением. В 2010 году принят на должность ассистента кафедры обработки металлов давлением. В 2013 году переведен на должность старшего преподавателя кафедры обработки металлов давлением.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Совершенствование широкополосной прокатки трубных сталей на основе моделирования поведения поверхностных трещин непрерывнолитого сляба» Пустовойтов Д.О. защитил в 2010 году, в диссертационном совете Д 212.111.01 при ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Ученая степень кандидата технических наук присуждена решением диссертационного совета Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова от 21 декабря 2010 г. №14 и выдан диплом ДКН № 134821 решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ № 20к/71 от 13 мая 2011 г. В 2014 году переведен на должность доцента кафедры обработки металлов давлением.

Ученое звание доцента по специальности «Обработка металлов давлением» присвоено приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 22 июня 2023 г. № 1329/нк-2 и выдан диплом серия ДОЦ № 014434.

Диссертация Пустовойтова Д.О. «Теоретическое и технологическое обоснование применения скоростной асимметрии для повышения механических свойств листового проката» выполнена на кафедре технологий обработки материалов в ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». В период подготовки диссертации соискатель работал доцентом указанной кафедры.

Решение проблемы, решаемой в настоящей диссертационной работе в области создания теоретических и технологических основ применения скоростной асимметрии для повышения (до 2 раз) прочности листового проката при сохранении его пластичности без использования легирующих элементов и отдельных операций термической обработки, имеет важное научное и прикладное значение и является актуальным направлением исследований.

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА<br>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» |            |
| за №                                                                          |            |
| Дата регистрации                                                              | 28.11.2025 |
| Фамилия регистратора                                                          |            |

Диссертационная работа Пустовойтова Д.О. представляет собой законченный научный труд, в котором установлены закономерности влияния скоростной асимметрии на напряженно-деформированное состояние металла в очаге деформации, энергосиловые параметры (усилие, момент, мощность), структуру и механические свойства листового проката.

Разработаны новые технологические решения применения скоростной асимметрии, обеспечивающие повышение прочности листового проката при сохранении его пластичности без использования легирующих элементов (Nb, Mo и др.) и отдельных операций термической обработки.

Достоинством работы является то, что в ходе ее выполнения был спроектирован и запущен в эксплуатацию новый уникальный промышленно-лабораторный стан 400 для экспериментальной реализации процесса листовой прокатки со скоростной асимметрией.

Большой интерес представляет, разработанная модель оценки деформированного состояния металла при листовой прокатке со скоростной асимметрией, отличающаяся учетом влияния средних горизонтальных скоростей течения металла  $v_{M1}^{cp}$  и  $v_{M2}^{cp}$  на контакте с валками, вращающимися с различными скоростями  $v_1$  и  $v_2$ , а также учетом геометрических характеристик очага деформации.

Впервые установлено предельное кинематическое соотношение  $\frac{v_{M1}^{cp}}{v_{M2}^{cp}} \leq \frac{3}{2}$  для средних горизонтальных скоростей течения металла  $v_{M1}^{cp}$  и  $v_{M2}^{cp}$  в очаге деформации на контакте с валками, вращающимися с различными скоростями  $v_1$  и  $v_2$ , а также предельное значение угла сдвига  $\varphi_{max}$ , являющегося функцией параметра формы очага деформации по высоте.

Впервые показано, что при листовой прокатке со скоростной асимметрией увеличение деформации, а также снижение усилия прокатки достигают экстремумов при минимальной (положительной) величине опережения металла относительно валка, вращающегося с большей скоростью.

Уточнены закономерности влияния скоростной асимметрии на распределение моментов и мощности между рабочими валками, позволяющие определить оптимальные кинематические условия, обеспечивающие максимум сдвиговой деформации или минимум энергии, затрачиваемой на прокатку.

Предложена уточненная модель контактного трения Леванова, отличающаяся учетом влияния относительной скорости скольжения металла в очаге деформации на величину удельных сил трения при листовой прокатке со скоростной асимметрией.

Определены деформационные и температурно-скоростные условия многопроходной листовой прокатки со скоростной асимметрией, обеспечивающие повышение прочности низкоуглеродистых С-Мн сталей за счет полного прохождения динамической рекристаллизации и формирования мелкозернистой структуры.

Определены деформационные и температурно-скоростные условия однопроходной листовой прокатки со скоростной асимметрией, обеспечивающие повышение прочности низкоуглеродистых С-Мн сталей за счет полного прохождения динамического фазового превращения и формирования мелкозернистой структуры.

Пустовойтовым Д.О. была разработана технологическая схема листовой прокатки со скоростной асимметрией с эффектом снижения на 10-15% расхода электрической энергии главных приводов в сравнении с традиционной (симметричной) листовой прокаткой.

Принципиально новыми являются предложенные им технологические схемы многопроходной и однопроходной листовой прокатки со скоростной асимметрией, предназначенные для производства горячекатаных полос толщиной от 1 до 10 мм из высокопрочных низкоуглеродистых С-Мн сталей с ферритной матрицей со средним диаметром зерна феррита в диапазоне от 4 мкм до 1 мкм без использования легирующих элементов и отдельных операций термической обработки.

В результате диссертационного исследования впервые теоретически и экспериментально обоснован новый технологический параметр процесса листовой прокатки, обеспечивающий повышение класса прочности низкоуглеродистых С-Мн сталей без изменения их химического состава и применения отдельных операций термической обработки. Применение скоростной асимметрии при листовой прокатке позволяет из одной марки 0,09C-1,6Mn получить 12 разных классов прочности: S355MC, S420MC, S460MC, S500MC, S550MC, S600MC, S650MC, S700MC в соответствии с EN 10149-2:2013 и HDT450F, HDT580F, HDT580X, HDT760C в соответствии с EN 10338:2025 с расчетным экономическим эффектом на 1 тонну г/к проката от 2,2-2,9 тыс. руб/т для классов прочности S420MC или HDT580F за счет экономии 0,03-0,04 мас.% ниобия до 15,1-15,4 тыс. руб/т для классов прочности S700MC или HDT760C за счет экономии 0,25 мас.% молибдена, 0,1 мас.% титана, 0,25 мас.% хрома (в ценах 2025 г., 1\$=85Р).

Разработаны способы листовой прокатки со скоростной асимметрией, техническая новизна которых подтверждена 8 патентами на изобретения РФ №2848699, №2833651, №2821127, №2829244, №2795066, №2701322, №2486974, №2622196.

Предложенные технологические схемы прошли экспериментальное опробование на промышленно-лабораторном прокатном стане 400 лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Разработан и внедрен в эксплуатацию технологический регламент производства высокопрочных низкоуглеродистых С-Мн сталей с ферритной матрицей.

Теоретические исследования автора базируются уравнениях и законах теории пластичности и теории обработки металлов давлением. Компьютерное моделирование процессов листовой прокатки со скоростной асимметрией выполнено методом конечных элементов с применением специализированной

инженерной программы QForm.

Выполнение диссертационного исследования потребовало от автора привлечения различных современных экспериментальных методов физического моделирования термомеханических процессов обработки металлов давлением и дилатометрического анализа с применением симулятора Gleeble; методов термического анализа; методов металлографического анализа; методов испытаний механических свойств.

Результаты диссертационной работы получили положительную оценку при широком обсуждении на национальных и международных конференциях.

Количество статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также публикаций в изданиях, входящих в наукометрические базы Web of Science и Scopus удовлетворяет требованиям, предъявляемым к защите докторских диссертаций.

Диссертационная работа Пустовойтова Д.О. является оригинальной и новой. По объему, актуальности и новизне полученных результатов соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4 Обработка металлов давлением, а ее автор заслуживает присвоения искомой степени.

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры обработки материалов давлением  
им. М.И. Бояршинова, главный научный  
сотрудник научно-исследовательской  
лаборатории «Механика градиентных  
наноматериалов им. А.П. Жилева» научно-  
инновационного сектора Федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)



А.М. Песин

455000, Челябинская область,  
г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский  
государственный технический университет  
им. Г.И. Носова» Тел.: +7 (3519) 29-84-02  
e-mail: mgtu@magtu.ru

