



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

ЮУрГУ

Проспект Ленина, 76, Челябинск, Россия 454080, тел./факс (351)267-99-00, e-mail: info@susu.ru, www.susu.ru  
ОКПО 02066724, ОГРН 1027403857568, ИНН/КПП 7453019764/745301001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_

от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по научной  
работе ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»  
доктор технических наук, доцент

 Корзов А.В.

« 6 » марта 2026г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации 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

### Актуальность работы

Исследования по разработке технологий получения сверхмелкозернистых сталей проводятся передовыми промышленно развитыми странами не один десяток лет. Это связано с тем, что существующие промышленные технологии производства листового и рулонного проката ограничены возможностями получения сталей с наименьшим диаметром ферритного зерна в диапазоне до ~10 мкм (10 балл) и до ~5 мкм (12 балл) при дополнительном микролегировании таких сталей ниобием, ванадием, титаном. Причем высокая стоимость ферросплавов существенно увеличивает себестоимость металлопродукции. А сверхмелкозернистые ферритные структуры с размером зерна менее 5 мкм могут обладать существенно лучшим сочетанием механических свойств. В частности, зависимость предела текучести от размера зерна, описываемая соотношением Холла-Петча, предполагает возможность двукратного приращения прочности стали без изменения ее химического состава. Этот эффект имеет большое практическое значение и может быть использован при создании более легких и прочных стальных конструкций. Простое увеличение легирующих добавок не позволяет решить проблему получения сверхмелкозернистых сталей. Существующие технологии, базирующиеся на процессах симметричной листовой прокатки, также не позволяют создавать в сталях требуемое деформированное состояние и обеспечивать получение сверхмелкозернистых ферритных структур. Новые решения могут быть основаны на использовании нестандартного подхода – применения асимметрии при прокатке за счет

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	<u>17.03.2026</u>
Фамилия регистратора	_____

деформации листов в рабочих валках, вращающихся с различными скоростями. Процессы асимметричной прокатки являются поливариантными, поскольку существует множество кинематических вариантов их реализации. Приемлемый кинематический вариант определяется условиями осуществления процесса прокатки и требованиями к качеству продукции. Следует отметить, что несмотря на обширные и многолетние исследования, выполненные в области процессов асимметричной прокатки, открытым остается вопрос, касающийся установления взаимосвязи скоростной асимметрии с получаемой структурой и механическими свойствами, что ограничивает возможности практического применения таких процессов. В этой связи, диссертационная работа Пустовойтова Д.О., направленная на разработку применительно к процессам листовой прокатки специальных схем напряженно-деформированного состояния, обеспечивающих за счет создания скоростной асимметрии формирование в низкоуглеродистых С-Mn сталях сверхмелкозернистых ферритных структур (менее 5 мкм), а также повышение их механических свойств без использования микролегирования ниобием, ванадием, титаном, является актуальной.

#### **Научная новизна**

(1) Разработана модель оценки деформированного состояния металла при листовой прокатке со скоростной асимметрией, отличающаяся учетом влияния средних горизонтальных скоростей течения металла на контакте с валками, вращающимися с различными скоростями, а также учетом геометрических характеристик очага деформации.

(2) Установлено предельное кинематическое соотношение для средних горизонтальных скоростей течения металла в очаге деформации на контакте с валками, вращающимися с различными скоростями, а также предельное значение угла сдвига, являющегося функцией параметра формы очага деформации по высоте.

(3) Установлено, 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.

(4) Уточнены закономерности влияния скоростной асимметрии на распределение моментов и мощности между приводными рабочими валками, позволяющие определить два оптимальных кинематических условия: для максимума сдвиговой деформации, когда разница относительных моментов максимальна, и для минимума энергии, затрачиваемой на прокатку, когда момент на приводном валке, вращающемся с меньшей скоростью, равен нулю.

(5) 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.

(6) Определены геометрические и температурно-скоростные условия многопроходной листовой горячей прокатки со скоростной асимметрией, отличающиеся тем, что накопленная деформация  $\varepsilon$  за три прохода составляет не менее 3 единиц, что обеспечивает полное прохождение динамической рекристаллизации и повышение прочности низкоуглеродистых С-Mn сталей при сохранении пластичности.

(7) Определены геометрические и кинематические условия однопроходной листовой горячей прокатки со скоростной асимметрией, отличающиеся тем, что в очаге одновременно с созданием деформации  $\varepsilon > 1$  осуществляется понижение температуры металла от точки

начала ферритного превращения на входе в очаг до точки конца ферритного превращения на выходе из очага, что обеспечивает динамическое формирование мелкозернистой структуры по всей толщине листа и повышение прочности низкоуглеродистых С-Mn сталей при сохранении пластичности.

### **Значимость полученных автором диссертации результатов для науки и практики**

Значимость диссертационной работы заключается в систематизированном научно-обоснованном описании взаимосвязи скоростной асимметрии с характеристиками напряженно-деформированного состояния металла, получаемой структурой и механическими свойствами листового горячекатаного проката. В рамках диссертационной работы решена актуальная научная проблема, заключающаяся в разработке для процессов листовой прокатки специальных схем плоской деформации, сочетающих сжатие и сдвиг с одновременно протекающими в очаге деформации структурно-фазовыми превращениями, обеспечивающими повышение механических свойств низкоуглеродистых сталей с ферритной матрицей без использования дополнительного легирования и отдельных операций термообработки.

Среди значимых для науки и практики результатов можно отметить следующие:

(1) Для экспериментальной реализации процесса листовой прокатки со скоростной асимметрией изготовлен и введен в эксплуатацию в лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» стан дуо листовой прокатки с индивидуальным приводом рабочих валков, имеющий статус уникальной научной установки.

(2) 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. Технологическая схема может применяться как для условий холодной листовой прокатки, так и для условий горячей листовой прокатки.

(3) Разработаны 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-Mn 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.

(4) Теоретически и экспериментально обоснован новый технологический параметр процесса горячей листовой прокатки, обеспечивающий повышение класса прочности низкоуглеродистых С-Mn сталей без изменения их химического состава и применения отдельных операций термической обработки. Применение скоростной асимметрии при листовой прокатке позволяет из одной марки 0,09С-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).

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

(6) Результаты работы используются в научной лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилыева», что подтверждено технологическим регламентом, а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при подготовке обучающихся по направлению 22.03.02 Metallurgy (уровень бакалавриата), при подготовке обучающихся по направлению 22.04.02 Metallurgy (уровень магистратуры), при подготовке кадров высшей квалификации по направлению 2.6.4 Обработка металлов давлением, что подтверждено актом.

#### **Общая оценка содержания диссертационной работы**

Содержание диссертационной работы соответствует заявленной теме и цели, структура логична и отражает последовательность решения поставленных задач. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, изложена на 294 страницах машинописного текста, включающего 190 рисунков, 46 таблиц, список литературы из 307 наименований, 3 приложения.

**В первой главе** проведен анализ современных и перспективных технологий производства листового проката из сталей различных классов прочности. Обозначены общемировые тенденции, заключающиеся в необходимости совершенствования существующих промышленных технологий с целью получения листового горячекатаного проката со средним диаметром зерна феррита в диапазоне от 4 до 1 мкм (13-17 балл зерна по ГОСТ 5639) для экономии легирующих элементов. Сформулированы ключевые ограничения технологий, базирующихся на процессах симметричной листовой прокатки. Отмечено, что новые технологические решения могут быть основаны на использовании нестандартного метода ОМД – листовой прокатки со скоростной асимметрией. Проанализированы «геометрический» и «микроструктурный» подходы к применению асимметрии при листовой прокатке. Показано, что применение асимметрии может быть использовано для увеличения деформации за счет сдвиговой компоненты; для снижения усилия прокатки при больших обжатиях; для повышения равномерности распределения деформации и микроструктуры по толщине листа. Сформулированы объект, предмет исследования, а также цель и основные задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** выполнено теоретическое исследование и описание деформированного состояния металла при листовой прокатке со скоростной асимметрией. Для математического моделирования в программе QForm предварительно определены экспериментальные кривые текучести (сопротивление деформации) и теплофизические свойства (теплопроводность, теплоемкость) низкоуглеродистой C-Mn стали. Испытания по определению сопротивления деформации проводились в лаборатории физического моделирования термомеханических процессов ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)». По результатам выполненных автором теоретических исследований с применением аналитических методов, а также методов конечных разностей и конечных элементов разработана модель оценки деформированного состояния металла при листовой прокатке со скоростной асимметрией. Данная модель, в отличие от известных, учитывает влияние средних горизонтальных скоростей течения металла на контакте с валками, вращающимися с различными скоростями, а также учитывает геометрические характеристики очага деформации. Автором установлено предельное кинематическое соотношение для средних горизонтальных скоростей течения металла в очаге деформации на контакте с валками, вращающимися с различными скоростями, а также предельное значение угла сдвига. Также автором установлено, 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.

**В третьей главе** выполнено исследование влияния скоростной асимметрии на напряженное состояние металла в очаге деформации, а также энергосиловые параметры процесса листовой прокатки. Показано, что для экспериментальной реализации процесса был изготовлен и введен в эксплуатацию в 2021 г. в лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» стан дуо листовой прокатки с индивидуальным приводом рабочих валков. Данное оборудование в настоящее время имеет статус уникальной научной установки. По результатам теоретических и экспериментальных исследований автором уточнены закономерности влияния скоростной асимметрии на распределение моментов и мощности между приводными рабочими валками. Показано, что при увеличении соотношения скоростей валков максимальный теоретический рост относительного момента прокатки на валке, вращающемся с большей скоростью, может достигать пятикратного значения. Определены два оптимальных кинематических условия: 1) для максимума сдвиговой деформации, когда разница относительных моментов максимальна; 2) для минимума энергии, затрачиваемой на прокатку, когда момент на приводном валке, вращающемся с меньшей скоростью, равен нулю. Эффект минимума энергии может применяться для снижения на 10-15% расхода электрической энергии главных приводов в сравнении с симметричной листовой прокаткой. Для объяснения негативного эффекта повышения усилия прокатки в области малой скоростной асимметрии 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.

**В четвертой главе** исследованы и определены деформационные и температурно-скоростные условия листовой прокатки со скоростной асимметрией, обеспечивающие измельчение зерна по механизму динамической рекристаллизации. Отмечено, что динамическая рекристаллизация, т.е. рекристаллизация, протекающая во время деформации, является более эффективным механизмом измельчения зерна, чем статическая. Однако для ее реализации требуются большие единичные деформации. С использованием подходов Захири–Дэвиса–Ходжсона, а также Колмогорова–Джонсона–Мела–Аврами разработана модель динамической рекристаллизации аустенита при асимметричной прокатке. На основе этой модели выполнена оценка влияния параметра Зинера–Холломона, температуры и скорости деформации на средний диаметр динамически рекристаллизованного зерна аустенита в низкоуглеродистой C-Mn стали. Показано, что для формирования зерна аустенита со средним диаметром менее 5 мкм требуется большая единичная деформация  $\epsilon > 3$ . Отмечено, что реализация таких режимов на действующих прокатных станах, основанных на процессах симметричной листовой прокатки, не представляется возможной. Предложена новая специальная схема листовой прокатки со скоростной асимметрией в последних трех клетях чистовой группы широкополосного стана горячей прокатки или литейно-прокатного агрегата. Новая схема сочетает деформации сжатия и сдвига с динамической рекристаллизацией аустенита. Установлено, что для реализации эффекта накопления большой деформации ( $\epsilon > 3$ ) при асимметричной прокатке время пауз между проходами не должно превышать 1 секунды.

Это требует реализации высоких скоростей прокатки (20-25 м/с на выходе из последней клетки прокатного стана).

**В пятой главе** исследованы и определены деформационные и температурно-скоростные условия листовой прокатки со скоростной асимметрией, обеспечивающие измельчение зерна по механизму динамического ферритного превращения. Согласно автору диссертационной работы термин «динамическое превращение» означает, что трансформация аустенита в феррит должна происходить при асимметричной прокатке в очаге деформации, а не за его пределами. Температуры фазовых превращений, а также скорость и ускорение трансформации аустенита в феррит определялись на основе экспериментальных дилатограмм, полученных из испытаний на Gleeble. Автором сформулировано температурное условие полного динамического ферритного превращения и разработана технологическая схема процесса. Определены геометрические и кинематические условия однопроходной листовой горячей прокатки со скоростной асимметрией, отличающиеся тем, что в очаге одновременно с созданием деформации  $\varepsilon > 1$  осуществляется понижение температуры металла от точки начала ферритного превращения на входе в очаг до точки конца ферритного превращения на выходе из очага, что обеспечивает динамическое формирование мелкозернистой структуры по всей толщине листа. Т.е. новая схема сочетает деформации сжатия и сдвига с динамическим ферритным превращением. Показано, что для понижения температуры металла в очаге деформации листовую прокатку со скоростной асимметрией необходимо проводить на низкой скорости при величине параметра формы очага деформации по высоте  $l_d/h_{cp} > 5$ . Металлографические исследования подтвердили, что применение скоростной асимметрии позволяет сформировать мелкозернистую структуру с размером ферритного зерна в диапазоне от 4 до 1 мкм. Испытания на растяжение, выполненные на пропорциональных плоских образцах, показали, что применение скоростной асимметрии позволяет до 2 раз повысить предел текучести низкоуглеродистой С-Mn стали при сохранении ее пластичности (без изменения химического состава и применения отдельных операций термической обработки).

**В шестой главе** приведены новые технологические решения применения скоростной асимметрии при листовой прокатке, а именно: 1) технологическая схема листовой прокатки со скоростной асимметрией с эффектом снижения расхода электрической энергии главных приводов; 2) технологическая схема многопроходной листовой прокатки со скоростной асимметрией с эффектом полной динамической рекристаллизации аустенита; 3) технологическая схема однопроходной листовой прокатки со скоростной асимметрией с эффектом полного динамического ферритного превращения. Экспериментально показано, что 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 без использования ниобия, ванадия, титана, хрома, никеля, меди, молибдена, бора. В первом приближении выполнена оценка расчетного экономического эффекта от экономии легирующих элементов при производстве листового горячекатаного проката высоких классов прочности. Отмечено, что потенциал применения технологий листовой прокатки со скоростной асимметрией не ограничивается низкоуглеродистыми сталями системы С-Mn, но также может быть использован для сталей

различных систем легирования, в том числе, для среднеуглеродистых, высокоуглеродистых и нержавеющей сталей, а также для цветных металлов и сплавов.

Текст работы структурирован, изложен ясным научным языком, содержит необходимые иллюстрации и таблицы.

#### **Достоверность полученных результатов**

Представленные в диссертационной работе результаты являются последовательными, логичными и обоснованными. Их достоверность обеспечивается применением специализированной программы QForm для математического моделирования методом конечных элементов; применением симулятора Gleeble для физического моделирования термомеханических процессов и дилатометрического анализа; соответствием теоретических закономерностей результатам экспериментов, полученных с применением уникальной научной установки; согласованностью теоретических и экспериментальных результатов исследований, полученных различными методами, а также отсутствием противоречий результатов работы известным теоретическим и технологическим закономерностям процессов листовой прокатки.

#### **Апробация работы**

Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на различных международных конференциях: Metal Forming 2014, 2016, 2020; ICTP 2014, 2017; ICSMR 2015; NUMIFORM 2016; ICSAM 2018, 2023; BAOSTEEL BAC 2018; ICLMM 2018; ICFMM 2019; ESAFORM 2019; Near Net Shape Processes 2020; QForm 2021; Конгресс прокатчиков 2024 и др.

Исследования проводились автором в качестве руководителя или исполнителя в рамках выполнения работ по грантам ФЦП Минобрнауки РФ; РФФИ; РНФ; Президентского гранта; Мегагранта по Постановлению №220 Правительства РФ.

Основные положения диссертации отражены в 50 научных публикациях, из них 16 – в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 12 – в изданиях, входящих в наукометрические базы данных «Scopus» и/или «Web of Science», 9 – в других изданиях, 5 монографий и 8 патентов на изобретения РФ.

#### **Соответствие паспорту научной специальности**

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением:

п.1. «Исследование и расчет 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 помощью методов физического и математического моделирования».

п.3. «Исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации».

п.4. Оптимизация способов, процессов и технологий обработки металлов давлением для производства металлопродукции с целью повышения характеристик качества продукции.

п.6. «Разработка способов, процессов и технологий обработки металлов давлением, обеспечивающих экологическую безопасность, экономию материальных и энергетических ресурсов, повышающих качество и расширяющих сортамент изделий».

### По диссертации имеются следующие замечания и рекомендации

(1) В тексте автореферата (см. стр. 11, предпоследний абзац снизу) указано, что соотношение скоростей валков  $v_1$  и  $v_2$  является величиной постоянной и может быть любым, т.е.  $1 \leq v_1/v_2 < \infty$ . Однако, согласно известному подходу, сформулированному представителями челябинской научной школы под руководством В.Н. Выдрина, процессы асимметричной прокатки имеют множество кинематических вариантов, при этом отношения окружных скоростей валков находятся в диапазоне  $1 \leq v_1/v_2 \leq \lambda$ , где  $\lambda = h_0/h_1$  – коэффициент вытяжки. Необходимо пояснить такое различие в подходах.

(2) Одним из возможных недостатков процессов асимметричной прокатки может являться нарушение плоскостности листов, которое принято называть желобчатостью. В отличие от дефектов плоскостности листов в виде волнистости и коробоватости, возникающих при симметричной прокатке из-за неравномерности обжатий по ширине листа, желобчатость может возникать в результате неравномерности обжатий по толщине листа. Дефекты плоскостности листов всегда являются браковочными признаками. В диссертационной работе практически не представлены результаты, касающиеся дефектов плоскостности листов.

(3) Автором предложены технологические схемы производства горячекатаных полос из высокопрочных (от S355MC до S700MC) низкоуглеродистых C-Mn сталей единого химического состава с ферритной матрицей со средним диаметром зерна феррита в диапазоне от 4 мкм до 1 мкм. Но какова термическая стабильность такой структуры? Проводилась ли оценка стабильности такой структуры при сварке? Оценивалась ли пригодность полученных сталей к сварке?

(4) Технологические схемы, представленные на рис. 38 и 39 в автореферате, а также на рис. 6.4 и 6.5 в шестой главе диссертации, соответствуют процессам рулонной прокатки с натяжениями. Однако в диссертационной работе не представлены результаты влияния прикладываемых переднего и заднего натяжений на напряженно-деформированное состояние металла, скоростные и энергосиловые параметры процесса асимметричной прокатки.

(5) Согласно схеме на рис. 39 (см. автореферат) фазовое аустенитно-ферритное превращение должно происходить непосредственно в очаге деформации в процессе асимметричной прокатки. Однако не совсем понятно, какую роль при этом играет изображенная на схеме установка ускоренного (последедеформационного) охлаждения?

(6) На рис. 40 в автореферате представлены диаграммы растяжения для низкоуглеродистой стали одного и того же химического состава (0,09C-1,6Mn). При этом сталь соответствует различным классам прочности (согласно EN 10149-2:2013, EN 10338:2025). На некоторых диаграммах можно наблюдать площадку текучести, на других – нет. Каким образом процесс асимметричной прокатки влияет на наличие или отсутствие площадки текучести на диаграммах растяжения? От чего это зависит?

(7) Из текста диссертационной работы не ясно, могут ли предлагаемые новые технологические решения, включающие применение скоростной асимметрии, быть внедрены на существующих промышленных прокатных станах или для этого требуется их модернизация/реконструкция? Или, может быть, требуется проектирование и создание новых специализированных промышленных станов асимметричной прокатки?

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку и научную значимость диссертационной работы, а некоторые высказанные замечания носят

рекомендательный характер и направлены на дальнейшее совершенствование работ по данному направлению исследований.

### Заключение

Диссертационная работа «Теоретическое и технологическое обоснование применения скоростной асимметрии для повышения механических свойств листового проката» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, заключающаяся в разработке для процессов листовой прокатки специальных схем плоской деформации, сочетающих сжатие и сдвиг с одновременно протекающими в очаге деформации структурно-фазовыми превращениями, обеспечивающими повышение механических свойств низкоуглеродистых сталей с ферритной матрицей без использования дополнительного легирования и отдельных операций термообработки. Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук согласно пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842 (с дополнениями), а ее автор, Пустовойтов Денис Олегович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Диссертация рассмотрена и обсуждена, отзыв на нее утвержден на заседании кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением» (протокол № 3 от 04.03.2026).

Автор отзыва дает согласие на обработку персональных данных.

Отзыв составил:

Профессор кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением», доктор технических наук, профессор, докторская диссертация защищена по специальности 05.16.05 Обработка металлов давлением  
Тел. +79080751725  
E-mail: chba51@mail.ru



Чаплыгин Борис Александрович

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Почтовый адрес: Россия, 454080 Челябинск, проспект Ленина, 76

Тел./факс: +7 (351) 267-99-00

E-mail: info@susu.ru

