

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»,  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «20» декабря 2022 г. № 12

О присуждении Кожемякиной Анне Евгеньевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка способов повышения технологической пластичности алюминиевых лент при асимметричной прокатке» по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением принята к защите 18.10.2022 г. (протокол № 11) диссертационным советом 24.2.324.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Кожемякина Анна Евгеньевна, 02.03.1987 года рождения, в 2009 году окончила с отличием государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» с присвоением квалификации инженер по специальности «Стандартизация и сертификация».

В 2022 г. окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский

государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов.

Работает инженером лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» научно-исследовательского института «Наносталей», научно-инновационного сектора в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологий обработки материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Песин Александр Моисеевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра технологий обработки материалов, профессор.

Официальные оппоненты:

Галкин Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра обработки металлов давлением, профессор;

Бельский Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра обработки металлов давлением, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский

государственный университет» (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск) в своем положительном отзыве, подписанным Чаплыгиным Борисом Александровичем, доктором технических наук, профессором кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением» и утвержденным первым проректором – проректором по научной работе, доктором технических наук Коржовым Антоном Вениаминовичем, указала, что представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.4. Обработка металлов давлением диссертация Кожемякиной Анны Евгеньевны на тему «Разработка способов повышения технологической пластичности алюминиевых лент при асимметричной прокатке» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеющей научную новизну и практическую значимость, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые способы повышения технологической пластичности алюминиевых лент при асимметричной прокатке. Выявленные замечания и вопросы не снижают значимости работы и носят, в основном, рекомендательный характер. Полученные результаты соответствуют областям исследований паспорта научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением: 1. Исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки давлением металлов, сплавов и композитов. 2. Исследование способов, процессов и технологий обработки давлением металлов, сплавов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования. 3. Исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации. 4. Оптимизация способов, процессов и технологий обработки металлов давлением для производства металлопродукции с целью повышения характеристик качества продукции. Диссертация в целом отвечает требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», её автор

Кожемякина Анна Евгеньевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, 4 статьи, опубликованные в изданиях, входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science; 8 статей, включенных в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов.

Общий объем научных изданий 8,64 п.л. (из них личный вклад соискателя 2,6 п.л.). Сведения об опубликованных работах достоверны, а основные результаты, диссертационного исследования изложены в них достаточно полно. Авторский вклад в публикации заключается в постановке цели и задач исследования; в интерпретации данных, полученных в результате моделирования процесса асимметричной прокатки; в выявлении возможности создания больших сдвиговых деформаций при асимметричной прокатки; в формулировании основных положений и выводов по результатам экспериментов; в выявлении преимуществ асимметричной прокатки по сравнению с симметричной, в том числе заключающихся в возможности существенного снижения усилия прокатки и повышения технологической пластичности в зависимости от соотношения скоростей рабочих валков и степени обжатия; в подготовке материалов для опубликования, которые содержат сведения и выводы о результатах исследования асимметричной прокатке металлов и сплавов.

К наиболее значимым публикациям относятся:

1. Песин, А.М. Асимметричная прокатка листов и лент: история и перспективы развития / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, О.Д. Бирюкова, А.Е. Кожемякина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. – 2020. – Т. 20. № 3. – с. 81-96.

2. Песин, А.М. Особенности процесса аккумулярующей прокатки многослойных металлических материалов / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов,

К.Г. Пивоварова, П. Тандон, А.Е. Кожемякина // Теория и технология металлургического производства. – 2020. – № 3 (34). – с. 31-36.

3. Песин, А.М. Разработка технологических схем асимметричной прокатки алюминиевых лент, обладающих повышенной прочностью и пластичностью / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, И.А. Песин, А.Е. Кожемякина, Л.В. Носов, А.И. Сверчков // Теория и технология металлургического производства. – 2022. – № 2 (41). – с. 32-42.

4. Pustovoytov, D. Influence of small microscopic grooves of work rolls on strain gradient induced in metal sheets during symmetric and asymmetric rolling / D. Pustovoytov, A. Pesin, N. Lokotunina, A. Kozhemiakina // METAL 2019 - 28th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings 2019. – p. 265-270.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

1. Фастыковский А.Р., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением, ЕВРАЗ ЗСМК», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк: «1. Не показана степень разработанности проблемы».

2. Легких А.Н., к.т.н., руководитель проекта департамента деформируемых сплавов и композиционных материалов, ООО «Институт легких материалов и технологий», г. Москва: «1. В автореферате разработаны новые способы асимметричной прокатки алюминиевых лент. Было бы интересно узнать влияние отношения скоростей рабочих валков на форму (изгиб) проката, а также усовершенствовать разработанные способы асимметричной прокатки алюминиевых лент с учетом натяжения».

3. Ласковнев А.П., д.т.н., академик национальной академии наук Белоруссии, г.н.с. отдела материаловедения и литейно-деформационных технологий, государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Покровский А.И., к.т.н., доцент, заведующий лабораторией высоких давлений и специальных сплавов,

государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», г. Минск. Без замечаний.

4. Сидельников С.Б., д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры «Обработка металлов давлением», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск: «1. На наш взгляд текст и название диссертации не совсем точно отражают тематику исследований, так как автор занимался повышением технологической пластичности лент из алюминиевых сплавов, а не из алюминия; характеристики пластичности и упрочнение проката при деформации в этом случае значительно отличаются. 2. Положения по научной новизне и практической значимости, на наш взгляд, следовало бы сформулировать несколько иначе и более общо (см. выше), чем выводы по работе, так как они в большинстве своем повторяются дословно. 3. В автореферате неоднократно упоминается о новых технических и технологических решениях по тематике диссертации (например, в выводах), однако нет информации об их интеллектуальной защите в виде патентов».

5. Минько Д.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусский национальный технический университет, г. Минск: «1. Повышение пластичности алюминиевых лент при увеличении отношения скоростей рабочих валков констатируется, но не объясняется с научной точки зрения. 2. Не объяснено появление максимума на графике зависимости твердости лент из алюминиевого сплава Д16 от относительного обжатия (рисунок 3)».

6. Панин Е.А., доктор PhD, ассоциированный профессор, доцент кафедры «Обработка металлов давлением», НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау: «1. Во второй главе при моделировании определялись значения истинной деформации и усилия деформирования. Приведенных исходных данных для оценки истинной деформации вполне достаточно, однако было бы уместным также привести данные о ширине заготовки, поскольку данный параметр оказывает существенное влияние на величину усилия».

7. Куницын Г.А., д.т.н., технический директор, АО «Уральская сталь», г. Новотроицк: «1. Могут ли представленные результаты и выводы быть распространены на другие материалы, например, на низкоуглеродистую, углеродистую и легированную стали?»».

8. Столяров В.В., д.т.н., профессор, г.н.с., ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук», г. Москва: «1. Не ясно, учитывалось ли при компьютерном моделировании удлинение и уширение полосы, а также упругое последствие. В какой степени полученные результаты могут быть распространены на другие металлы и сплавы. 2. Отсутствуют иллюстрации микроструктуры, которые могли бы прояснить механизм формирования одновременно высоких прочностных и пластических свойств алюминиевого проката. 3. Отсутствуют патенты, определяющие приоритет разработанных технологических схем. Их публикация должна была бы предшествовать защите диссертации».

9. Гундеров Д.В., д. физ.-мат. н., в.н.с. лаборатории физики твердого тела, ФГБУН «Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра Российской академии наук», г. Уфа: «1. В автореферате не представлены какие-либо объяснения с точки зрения материаловедения, за счет чего использование асимметричной прокатки с определенным соотношением скорости вращения валков позволяет значительно увеличить технологическую пластичность. 2. В автореферате используются отношения скоростей рабочих валков, например,  $V_1/V_2=10,0/2,0$  или  $V_1/V_2=5,0/5,0$ . Это соответствует отношениям  $V_1/V_2=5/1$  и  $V_1/V_2=1/1$ , или запись  $5,0/5,0$  обозначает дополнительно еще какие-то параметры? В автореферате не описано».

10. Назаров А.А., д. физ.-мат. н., г.н.с., заместитель директора по научной работе, ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук», г. Уфа. Без замечаний.

11. Гречников Ф.В., д.т.н., профессор, академик РАН, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением», ФГОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С.П. Королева», г. Самара: «1. При осуществлении асимметричной прокатки с большим отношением скоростей рабочих валков имеет место фрикционный нагрев. Учитывалось ли это при проведении компьютерного моделирования? 2. Интересно было бы узнать влияние асимметричной прокатки на анизотропию свойств материала заготовок, которая так же влияет на технологическую пластичность».

12. Каширцев В.В., к.т.н., начальник отдела металлов и металлургических технологий, АО «Композит», г. Королев. Без замечаний.

13. Найзабеков А.Б., д.т.н., профессор, председатель правления – ректор, НАО «Рудненский индустриальный институт», Лежнев С.Н., к.т.н., доцент, профессор кафедры «Металлургия и горное дело», НАО «Рудненский индустриальный институт», г. Рудный. Без замечаний.

14. Зайдес С.А., д.т.н., профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры «Материаловедение, сварочные и аддитивные технологии», ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск: «1. К сожалению, в автореферате отсутствует информация о физической сущности процесса, обеспечивающего повышение технологической пластичности».

15. Пышминцев И.Ю., д.т.н., генеральный директор, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности», Космацкий Ярослав Игоревич, д.т.н., заместитель генерального директора по научной работе, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск: «1. Автор, единично, применяет внесистемное написание единиц измерения, например, мм/сек. 2. Автором работы, при проведении компьютерного моделирования, учитывается соотношение скоростей валков от 1,0 до 5,0, при постоянной скорости нижнего валка равной 100 мм/с. Возникает вопрос будут ли применима полученная модель, при тех же скоростных соотношениях, но с варьированием скорости нижнего валка? 3. В автореферате диссертации указывается на значительное снижение усилия прокатки при асимметрии скорости вращения валков. При этом, не лишним было бы, вкратце, раскрыть



механизм, за счет чего, с точки зрения теории пластической деформации, происходит снижение усилия. 4. С точки зрения терминологии, в третьей главе, автором используется понятие «относительное обжатие за проход», при этом, в разделе теоретической и практической значимости работы, отмечено «сокращение трех прокаток. Целесообразнее применять термин «проход»».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими исследованиями и научными работами, опубликованными в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях по проблемам диссертационного исследования в области производства листового проката, в том числе способом асимметричной прокатки, моделирования напряженно-деформированного состояния металлов и сплавов с помощью известных программных комплексов, исследования влияния способов обработки на формирование структуры и механических свойств металлов и сплавов, в том числе алюминиевых.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** научная концепция определения соотношения скоростей рабочих валков, равного  $(0,76...0,96) \cdot h_0/h_1$ , где  $h_0$  и  $h_1$  – входная и выходная толщины прокатываемого листа, при которой достигаются экстремальные значения истинной деформации ( $\epsilon$ ) алюминиевых лент при асимметричной прокатке;

**предложен** нетрадиционный подход к повышению технологической пластичности алюминиевых лент из сплавов Д16, АМг6 и АД33 с использованием асимметричной прокатки, основанной на целенаправленно создаваемой асимметрии за счет различия окружных скоростей рабочих валков;

**доказана** перспективность использования идеи увеличения соотношения скоростей рабочих валков с 1,0 до 6,7: для существенного снижения усилия прокатки в 1,9 раз (для сплава АД33), в 2,3 раза (для сплава АМг6), в 3,2 раза (для сплава Д16) по сравнению с симметричным случаем; для увеличения технологической пластичности (увеличения относительного обжатия без

разрушения образцов) для Д16 с 48 до 89 %, для АМг6 с 50 до 59 %, для АД33 с 40 до 75 %;

**введены** научно-обоснованные диапазоны регулирования твердости лент из алюминиевых сплавов Д16 (от 67 до 122 НВ), АМг6 (от 102 до 132 НВ) и АД33 (от 99 до 121 НВ) в зависимости от технологических параметров прокатки (соотношения скоростей рабочих валков и относительного обжатия).

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано**, что при прокатке с соотношением скоростей рабочих валков на 4-24 % меньшем отношения входной и выходной толщин прокатываемого листа истинная деформация ( $\epsilon$ ) для алюминиевых лент достигает экстремальных значений;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** современные методы компьютерного моделирования с применением специализированного программного комплекса DEFORM 2D/3D, статистический анализ, методы испытания механических свойств полученных после прокатки алюминиевых лент, методы определения твердости по Бринеллю, что позволило получить новые научные знания в области асимметричной прокатки с соотношением скоростей рабочих валков до 6,7;

**изложены** закономерности снижения усилий, повышения относительных обжатий, изменения твердости лент из алюминиевых сплавов Д16, АМг6 и АД33 при асимметричной прокатке во всем диапазоне соотношений скоростей рабочих валков от 1,0 до 5,0;

**раскрыты** сложности получения лент из алюминиевых сплавов Д16, АМг6 и АД33 с применением традиционной симметричной прокатки, заключающиеся в невозможности достижения относительных обжатий больших 48, 50 и 40 % за один проход соответственно, и показаны пути увеличения относительных обжатий до 89, 59 и 75 % для этих лент при применении асимметричной прокатки;

**изучено** влияние основных технологических параметров процесса (соотношение скоростей рабочих валков и относительное обжатие за проход) на механические свойства образцов полученных после асимметричной прокатки алюминиевой ленты из сплава Д16, свидетельствующие об одновременном повышении временного сопротивления  $\sigma_B$  до 283,6 МПа, предела текучести  $\sigma_{0,2}$  до 234,4 МПа и относительного удлинения,  $\delta$  до 12,3 % по сравнению с исходным отожженным состоянием (временное сопротивление  $\sigma_B = 191,7$  МПа, предел текучести  $\sigma_{0,2} = 141,4$  МПа и относительное удлинение,  $\delta = 6,2$  %);

**проведена модернизация** существующих компьютерных моделей напряженно-деформированного состояния для определения параметров асимметричной прокатки листовых алюминиевых сплавов за счет изменения граничных условий (обеспечена возможность задания соотношения скоростей рабочих валков от 1,0 до 5,0);

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и приняты к использованию** в ООО «ЧерметИнформСистемы», Институте информационных технологий, дизайна и производства (г. Джабалпур, Индия) и учебном процессе ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» новые технические и технологические решения производства алюминиевых лент, существенно повышающие технологическую пластичность, на промышленно-лабораторном стане дуо 400;

**определены** пределы и перспективы практического использования компьютерной модели процесса асимметричной прокатки листовых алюминиевых сплавов, которая позволяет разрабатывать технологию асимметричной прокатки, обеспечивающую достижение больших сдвиговых деформаций при определенном соотношении скоростей рабочих валков  $(0,76...0,96) \cdot h_0/h_1$ , где  $h_0$  и  $h_1$  – входная и выходная толщины прокатываемого листа;

**создана** система практических рекомендаций, направленных на повышение производительности и ресурсосбережение за счет исключения от одного до трех

технологических циклов «прокатка-отжиг» при асимметричной прокатке лент из алюминиевых сплавов Д16, АМг6, АД33;

**представлен** комплекс технических решений, технологических режимов и технологий производства алюминиевых лент, позволяющих существенно повысить технологическую пластичность, а также разработан технологический регламент асимметричной прокатки металлических лент из алюминиевых сплавов Д16, АМг6, АД33 на лабораторно-промышленном стане 400 асимметричной прокатки для выполнения работ по производству алюминиевых лент, а также последующей адаптации указанных технических и технологических решений на другие металлы и сплавы.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**эксперименты** проведены с использованием лабораторно-промышленного стана 400 асимметричной прокатки, позволяющего прокатывать с соотношением скоростей рабочих валков от 1,0 до 10,0, лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» научно-исследовательского института «Наносталей» научно-инновационного сектора ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», современных высокоточных измерительных приборов для определения толщины образцов, механических свойств и твердости алюминиевых лент в соответствии с методиками, приведенными в нормативной документации;

**теория** диссертационного исследования построена на базе накопленных проверенных знаний в области напряженно-деформированного состояния металла, теории пластичности для описания деформированного состояния металла, теории обработки металлов давлением для расчетов параметров асимметричной прокатки;

**идея базируется** на результатах анализа теоретического и практического опыта прокатки металлических лент, в том числе алюминиевых, обобщении известных способов и работ по симметричной и асимметричной прокатке металлов и сплавов, результатах анализа требований, предъявляемых к алюминиевому прокату, что не противоречит опубликованным результатам в независимых источниках;

**использованы** сравнения полученных автором результатов осуществления асимметричной прокатки алюминиевых сплавов с данными, полученными ранее в ходе анализа литературных источников и компьютерного моделирования;

**установлен** приемлемый уровень сходимости (отклонения по усилиям составило 10 %, отклонение по моментам – 15 %) теоретических и практических результатов, полученных автором в результате компьютерного моделирования, с результатами экспериментальных данных, полученных на лабораторно-промышленном стане 400 лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева»;

**использованы** современные методики сбора и обработки информации, поверенные в установленном порядке лабораторные измерительные приборы и оборудование, высокопроизводительные компьютерные мощности и современное лицензионное программное обеспечение.

**Личный вклад соискателя состоит** в постановке цели и задач исследования; в разработке компьютерных моделей асимметричной прокатки алюминиевых сплавов; в анализе и обобщении результатов моделирования; в подтверждении адекватности результатов компьютерного моделирования путем сопоставления данных, полученных при моделировании и экспериментальным путем; в проведении экспериментальных исследований прокатки алюминиевых лент с соотношением скоростей рабочих валков от 1,0 до 7,7 на лабораторно-промышленном стане 400 асимметричной прокатки; в исследовании изменения механических свойств образцов алюминиевых лент; в формулировке основных положений и выводов диссертации.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания. В отзыве ведущей организации:**

1. В работе недостаточно обоснован выбор программного комплекса DEFORM 2D/3D. С чем связан выбор именно этого программного комплекса, а не QForm или др.?

2. В исследовании асимметричная прокатка проводилась без натяжений, как повлияет использование натяжения на технологическую пластичность алюминиевых сплавов?

3. В работе рассматриваются технологические способы производства алюминиевых лент толщиной до 0,5 мм, можно ли использовать предложенные подходы для производства лент толщиной менее 0,5 мм, менее 0,1 мм?

4. В диссертационном исследовании предложено достаточно много принципиально новых технических решений, однако в диссертации говорится только об одной поданной заявке на изобретение. Было бы целесообразно не ограничиваться одной заявкой, а подать несколько заявок.

5. В диссертации говорится об использовании смазки, однако не приводятся ее характеристики.

**В отзыве официального оппонента С.П. Галкина:**

1. Основные выводы и рекомендации по работе сформулированы через отношение окружных скоростей валков, при этом не указаны пределы их справедливости по абсолютным значениям скоростей. Повлияют ли на результат более высокие скорости прокатки?

2. В работе не представлено влияние асимметрии процесса (хотя бы качественное, иллюстративное, ожидаемое) на трансформацию структуры прокатываемого металла, как одного из существенных факторов повышения деформируемости.

3. Не очень понятно, как асимметричная прокатка влияет на контактное скольжение металла, качество поверхности, геометрию ленты, износ валков и т.п.

4. Почему при моделировании фактор трения принят одинаковым для обоих валков?

5. Имеются терминологические неточности. Например, одна и та же величина называется либо «накопленной деформацией», либо «истиной деформацией», либо «интенсивностью деформации» (рис. 2,16, 2,17, 2,19, 2.20).

**В отзыве официального оппонента С.М. Бельского:**

1. Рис. 2.7: опечатка в надписи:  $\Delta V = 57\%$ , т.к. размерность «проценты» имеют относительные величины.

2. Стр. 62: «При отношении скоростей валков 7,7 ( $V_1/V_2=10,0/1,3$ ) происходит расплавление образца» - расплавление образца предполагает выделение тепла от трения скольжения и работы деформации – без указания абсолютных значений скоростей вращения рабочих валков их относительное рассогласование имеет мало смысла – прокатка при малых скоростях с таким же рассогласованием может проходить без увеличения температуры прокатываемых образцов.

3. К главе 3 и 4: Так, все-таки, что же оказывает наибольшее влияние на уменьшение усилия прокатки, увеличение максимального обжатия и относительного удлинения алюминиевых лент при асимметричной прокатке: рассогласование скоростей вращения валков, абсолютные скорости вращения или температура конца прокатки вместе с условиями охлаждения, приводящими к разупрочнению прокатанных образцов?

4. При наличии практически значимых результатов, к сожалению, нет ни одного патента на изобретение.

#### **От членов диссертационного совета:**

1. На слайде 24 представлена схема комбинирования асимметричной и симметричной прокатки. Какова цель применения симметричного прохода в указанной схеме?

2. При асимметричной прокатки возрастают пластические свойства. Не могли бы Вы пояснить механизм повышения пластических свойств.

3. При асимметричной прокатке твердость возрастает. Объясните механизм возникновения этих свойств. Что происходит со структурой?

4. Что такое истинная деформация? Что означают конкретные значения истинной деформации?

5. На слайде 20 приводятся различные соотношения скоростей рабочих валков. Чем обусловлен выбор именно таких соотношений и значений? Например, Вы используете соотношение скоростей рабочих валков 2,0

( $V_1/V_2 = 8,0/4,0$ ) будет ли получен такой же результат при том же соотношении рабочих валков 2,0, но других скоростях рабочих валков ( $V_1/V_2 = 10,0/5,0$ )?

6. Какова температура алюминия на выходе?

7. В названии работы указываются алюминиевые ленты, в то время как в работе исследуются алюминиевые сплавы. Поясните это несоответствие.

8. Химический состав алюминиевых сплавов влияет на повышение технологической пластичности? Изменение содержания химических элементов повлияет на результаты работы?

9. Рисунок 1 в автореферате и на слайде 11 презентации. Поясните причины возрастания и резкого падения графиков зависимости истинной деформации от отношения скоростей рабочих валков. Объясните смысл данного явления.

10. При асимметричной прокатке шероховатость поверхности разная. Это очень важный параметр. Как Вы предполагаете приведение этого значения к нормативным значениям, указанным в нормативной документации?

11. Комбинирование асимметричной и симметричной прокатки приводит к характеристикам продукции, приведенным в нормативной документации?

**Соискатель Кожемякина А.Е. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.**

В диссертационном исследовании опробованы различные технические и технологические решения производства алюминиевых лент на промышленно-лабораторном стане дуо 400 лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева». Предлагаемая технологическая схема комбинирования асимметричной и симметричной прокатки позволяет деформировать сплавы с обжатием 92 % за три прохода, подразумевающие асимметричную и симметричную прокатку без промежуточного отжига. Цель симметричной прокатки – получение привычных для потребителя свойств алюминиевой ленты, соответствующей требованиям межгосударственного стандарта 13726-97 «Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия».



Действительно, по результатам проведенных экспериментальных исследований при асимметричной прокатке алюминиевых лент из сплава Д16 с соотношением скоростей рабочих валков  $V_1/V_2 = 10,0/2,0$ , относительное удлинение образца увеличилось в 2 раза,  $\delta$  до 12,3 %, по сравнению с исходным отожженным состоянием,  $\delta = 6,2$  %. На основе этого вывода был разработан новый процесс асимметричной прокатки алюминиевых лент с увеличивающейся пластичностью.

Повышение пластичности алюминиевых лент при увеличении соотношения скоростей рабочих валков вызывается большой сдвиговой деформацией характерной для процессов асимметричной прокатки, приводящей к структурным изменениям и изменением свойств, а также значительным разогревом прокатываемых образцов. Это вызывает рекристаллизацию и динамическую рекристаллизацию. Повышение твердости при асимметричной прокатке объясняется большой сдвиговой деформацией. В настоящее время совместно со специалистами в области физики металлов и металловедцами проводятся дополнительные сопутствующие исследования механизма повышения технологической пластичности и доли влияния каждого фактора в этом повышении.

В процессах обработки металлов давлением используют различные количественные меры деформации, в том числе логарифмическую деформацию (истинная деформация), а также эффективную (эквивалентную, накопленную) деформацию. Значения истинной деформации подразумевают сравнение представленных режимов. Расчет истинной деформации производился в специализированном специализированный программном комплексе DEFORM 2D/3D. В результате проведенного компьютерного моделирования было показано, что истинная деформация ( $e$ ) для алюминиевых лент достигает экстремальных значений при определенном соотношении скоростей рабочих валков, на 4-24 % меньшем отношения входной и выходной толщин. Кроме того, на представленном в работе графике, отражающем экстремальные значения деформации, указаны значения истинной деформации для различных значений

коэффициентов трения. При рассогласовании скоростей рабочих валков нейтральная точка на контакте с валком, вращающимся с большей скоростью, сдвигается к выходу из очага деформации, а на контакте с валком, вращающимся с меньшей скоростью, сдвигается ко входу. Появляется смешанная зона, в которой напряжения контактного трения направлены в разные стороны. Возникает крутящий момент, который приводит к повороту очага деформации. Резкое падение значения деформации объясняется реализацией полупредельного случая асимметричной прокатки.

По результатам проведенных экспериментальных исследований впервые установлена возможность регулирования твердости различных лент из алюминиевых сплавов Д16 (от 67 до 122 НВ), АМг6 (от 102 до 132 НВ) и АД33 (от 99 до 121 НВ) в зависимости от технологических параметров прокатки (соотношения скоростей рабочих валков и относительного обжатия). Более высокие скорости прокатки приведут к более сильному разогреву алюминиевых лент. Так, при соотношении скоростей рабочих валков 2,0 ( $V_1/V_2 = 10,0/5,0$ ) скорость металла в очаге будет выше, соответственно, будет происходить больший разогрев и твердость будет меньше, чем в случае скорости валков  $V_1/V_2 = 8,0/4,0$ . В связи с этим в большинстве случаев вместе с соотношением скоростей валков указывались их фактические скорости.

Измерение температуры ленты из алюминиевых сплавов сопряжено с определенными сложностями, связанными с отражательной способностью алюминиевых сплавов. В настоящей работе температура ленты не измерялась. При соотношении скоростей рабочих валков 7,7 лента из алюминиевого сплава Д16 расплавилась. Это говорит о том, что диапазон изменения температуры может меняться от 20 °С до температуры плавления.

В работе под фразой «алюминиевые ленты» подразумевали как сплавы, так и чистый алюминий. Правильнее было бы написать «ленты из алюминия и его сплавов».

Химический состав исследуемых алюминиевых сплавов был подтвержден атомно-эмиссионным спектральным анализом. Химический состав алюминиевых сплавов Д16, АМг6 и АД33 не выходил за пределы, установленные в нормативной документации на алюминиевые сплавы. Исследование влияния изменения химического состава этих сплавов на технологическую пластичность не входило в задачи исследования.

При асимметричной прокатке шероховатость поверхности может отличаться. Однако, эти отличия могут быть в пределах требований нормативной документации. Такой опыт также имеется при производстве стальной ленты. Например, при прокатке ленты из стали 65Г на стане 630 ПАО «ММК» был прокатан и отгружен потребителю рулон металла массой 7 т, полностью удовлетворяющий требованиям потребителя.

Ленты, изготовленные по технологическим схемам, указанным в диссертационной работе, соответствуют требованиям, указанным в межгосударственном стандарте 13726-97 «Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия».

На заседании 20.12.2022 г. диссертационный совет принял решение за выполненные автором исследования по разработке способов повышения технологической пластичности алюминиевых лент при асимметричной прокатке, на основе которых разработаны и изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, а именно применение асимметричной прокатки с соотношением скоростей рабочих валков до 6,7, комбинирование асимметричной и симметричной прокатки, использование способа асимметричной прокатки для повышения пластичности прокатываемой ленты, направленные на повышение производительности и ресурсосбережение за счет исключения от одного до трех технологических циклов «прокатка-отжиг» и имеющие существенное значения для развития металлургии и экономики страны в целом, присудить Кожемякиной Анне Евгеньевне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали за: 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета



Валерий Михайлович Колокольцев

Ученый секретарь

диссертационного совета

Игорь Юрьевич Мезин

20.12.2022 г.