

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ворошилова Дениса Сергеевича «Развитие научных основ и разработка комплекса ресурсосберегающих технологий для производства проволоки из сплавов системы Al-PЗМ с применением совмещенных методов обработки», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

Актуальность темы исследований

Сложившейся тенденцией последних лет в различных современных отраслях промышленности (таких как авиастроение, ракетостроение, кораблестроение, электроэнергетика и пр.) является использование редкоземельных металлов (РЗМ) в составе алюминиевых сплавов. Введение даже небольшого количества РЗМ в алюминиевые сплавы позволяет получить уникальное сочетание механических и электрофизических свойств. Но при этом и любое увеличение РЗМ в составе сплава значительно увеличивает стоимость полуфабрикатов и конечной продукции. Эти преимущества и проблема особенно актуальны при производстве длинномерных деформированных полуфабрикатов небольшого поперечного сечения, таких как катанка и проволока. Процесс получения проволоки с использованием классических способов ОМД, особенно тончайшей проволоки, является энергозатратным и многоступенчатым процессом, что приводит к значительным потерям металла. Более того, классическое оборудование не всегда позволяет получить продукцию небольшого поперечного сечения, особенно из высоколегированных прочных сплавов, а также не всегда существует возможность осуществить быстрый переход с одного типоразмера на другой или на новый сплав. К тому же применяемое оборудование в основном рассчитано на массовое производство, а не на быстрый переход между небольшими партиями, что в последние годы является потребностью при производстве проволоки из сплавов системы Al-PЗМ.

Одним из способов решения данной проблемы является применение технологий совмещенной обработки, которые включают в одну технологическую операцию такие процессы как литье, прокатку и прессование. Разработанные способы совмещенной обработки, такие как совмещенная прокатка-прессование и совмещенное литье и прокатка-прессование являются эффективным решением при производстве небольших партий продукции из сплавов системы Al-PЗМ, характеризуются низкими энергозатратами и низкими потерями металла.

Диссертационная работа Ворошилова Д.С. на соискание ученой степени доктора технических наук посвящена решению актуальной проблемы разработки ресурсосберегающих технологий при производстве востребованной в различных

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации _____	12.05.2026
Фамилия регистратора _____	_____

отраслях промышленности проволоки из сплавов системы Al-PЗМ.

Соответствие представленной диссертации паспорту научной специальности

Рассматриваемая работа соответствует паспорту специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением по формуле специальности по следующим пунктам:

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»;
5. «Математическое описание процессов пластической деформации металлов, сплавов и композитов с целью создания математических моделей, способов, процессов и технологий»;
6. «Разработка способов, процессов и технологий обработки металлов давлением, обеспечивающих экологическую безопасность, экономию материальных и энергетических ресурсов, повышающих качество и расширяющих сортамент изделий»;
8. «Исследование пластической деформации металлов в процессах обработки давлением, совмещенных с другими технологическими процессами обработки металлов с целью разработки энергоэффективных и материалосберегающих технологий».

Степень достоверности результатов работы

Достоверность обеспечивается за счет использованием научно доказанных методов теории обработки металлов давлением, математических моделей и статистических данных. Также результаты исследований подтверждены в лабораторных условиях и промышленных испытаниях.

Основные положения диссертационной работы в достаточной степени обсуждены на конференциях и конгрессах как российского, так и международного уровня.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения. Содержит 275 страниц машинописного текста, 141 рисунок, 62 таблицы, библиографический список из 261 наименования и 8 приложений.

Во **введении** описаны актуальность исследуемой проблемы получения проволоки из сплавов системы Al-PЗМ, проведенные ранее в данной области исследо-

вания отечественных и зарубежных ученых. Были сформулирована цель и задачи работы. Приведены методология и методы исследования. Представлены основные научные положения, выносимые на защиту. Сформулирована научная новизна и практическая значимость результатов исследования, а также приведены данные по структуре диссертации, опубликованным работам и промышленному внедрению полученных результатов.

В **первой главе** проведен литературный обзор, в котором отображены преимущества РЗМ в алюминиевых сплавах, применяемые сплавы системы Al-Ce-La в качестве электротехнической проволоки и сплавы системы Al-Mg-Sc в качестве сварочной проволоки. Представлены разработки последних лет, патентный анализ наиболее перспективных технических решений по термомодеформационной обработке исследуемых сплавов совмещенными методами. Рассмотренные вопросы и сделанные выводы позволили сформулировать цель и задачи исследования.

Во **второй главе** представлены результаты теоретических исследований процесса совмещенной прокатки-прессования при реализации различных схем термомодеформационной обработки алюминиевых сплавов. Выполнены теоретические исследования геометрических параметров очага деформации и моделирование асимметричного процесса СПП с одним приводным валком. Проведены теоретические исследования геометрических параметров очага деформации и моделирование асимметричного процесса СПП с двумя приводными валками с использованием заготовки круглого сечения. А также выполнено математическое моделирование процесса совмещенной прокатки-прессования заготовки круглого поперечного сечения в закрытых ящичных калибрах.

Третья глава посвящена исследованию технологии получения и свойств проволоки электротехнического назначения из сплавов системы Al-РЗМ с применением совмещенных методов термомодеформационной обработки. Представлены исследования реологических свойств сплава 01417, оборудование и методика проведения экспериментальных исследований. Выполнено моделирование процесса совмещенной прокатки-прессования. Приведены результаты экспериментальных исследований. Исследована структура литых, деформированных и отожженных полуфабрикатов из сплава 01417.

В **четвертой главе** исследована технология получения и свойства проволоки электротехнического назначения из сплава системы Al-РЗМ с пониженным содержанием церия и лантана до 1%. Исследованы реологические свойства, оборудование и методика проведения экспериментальных исследований для сплава алюминия, содержащего 1% РЗМ. Выполнено моделирование процесса совмещенной прокатки-прессования сплава Al-1% РЗМ. Приведены результаты экспериментальных исследований. Исследована структура литых, деформированных и отожжен-

ных полуфабрикатов из сплава Al-1% PЗМ.

В пятой главе исследована технология получения и свойства проволоки электротехнического назначения из сплавов системы Al-PЗМ с применением метода бесслитковой прокатки и прессования (БПП). Описана методика проведения экспериментальных исследований методом БПП. Приведены результаты экспериментальных исследований по получению прутков из сплава 01417 методом БПП и разработка новой технологии получения проволоки из этих прутков, а также приведены результаты экспериментальных исследований по получению прутков из сплава Al-1% PЗМ методом БПП и разработка новой технологии получения проволоки из этих прутков.

Шестая глава представлена результатами исследования технологии получения и свойств сварочной проволоки из сплавов системы Al-Mg, легированных скандием, с применением совмещенных методов термомодеформационной обработки. Выполнено исследование реологических свойств и моделирование процесса совмещенной обработки сплава 1580, описана методика и оборудование для проведения экспериментальных исследований. Исследована структура и свойства деформированных, отожженных и сварных полуфабрикатов из сплавов 1580 и 01570.

Седьмая глава представлена результатами практического использования результатов исследований. Приведены новые технические решения для совмещенной обработки алюминиевых сплавов. Проведено опытно-промышленное опробование разработанной технологии получения проволоки диаметром до 0,5 мм из сплава 01417 с применением промышленной установки СПП-400. Было подтверждено, что образцы проволоки, произведенные с применением разработанной технологии, демонстрируют совокупность механических и электрофизических характеристик, соответствующих установленным требованиям, после выполнения заключительного отжига. Определены рациональные режимы деформирования, температурные и скоростные характеристики для процесса непрерывного прессования, используемого на установке СПП-400 на основе проведенного компьютерного моделирования.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна работы

Наибольшую научную ценность представляют следующие разработки, полученные автором диссертации:

- разработана теоретическая база для исследований процессов деформации заготовки прямоугольного поперечного сечения при использовании одного приводного вала и заготовки круглого поперечного сечения при использовании двух приводных валков в закрытых ящичных калибрах;

- разработана математическая модель процесса совмещенной прокатки-прессования в закрытых ящичных калибрах заготовки круглого поперечного сечения с применением вариационных методов;
- определены реологические свойства сплавов системы Al-PЗМ;
- установлены закономерности формоизменения металла, распределения температуры, скоростей течения и энергосиловых параметров по длине очага деформации процесса СПП;
- установлены закономерности изменения механических свойств пресс-изделий из сплавов алюминия системы Al-PЗМ, полученных методом СПП и последующим волочением;
- установлены закономерности изменения механических свойств пресс-изделий из сплавов алюминия системы Al-PЗМ, полученных методом БПП и последующим волочением;
- установлены закономерности изменения механических свойств пресс-изделий из сплавов алюминия системы Al-Mg с различным содержанием скандия, полученных методом БПП и последующим волочением.

Теоретическая и практическая значимость работы

Наибольшую практическую ценность представляют следующие разработки, полученные автором диссертации:

- методика реализации последовательности разработки процессов прокатки, прессования, волочения и термообработки длинномерных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов;
- компьютерные модели, которые в дальнейшем были использованы для анализа формоизменения, энергосиловых и температурно-скоростных параметров процессов совмещенной обработки сплавов алюминия с PЗМ;
- разработка новой энергосберегающей технологии производства проволоки из заготовок круглого сечения после ЭМК с применением установок СПП;
- разработка комплекса ресурсосберегающих технологий для производства проволоки из сплавов системы Al-PЗМ с применением совмещенных методов обработки, снижающих энергоемкость на 30-50 % и увеличивающих выход годного металла на 18-20 % по сравнению с классическим способом прямого прессования алюминиевых сплавов;
- получение опытно-промышленных партий проволоки малого поперечного сечения диаметром до 0,3 мм из сплава 01417;
- рациональные деформационные режимы бесслитковой прокатки-прессования при изготовлении сварочной проволоки из сплавов 1580 и 01570;
- 6 технических и технологических решений, защищенных патентами РФ, позволяющих повысить эффективность и производительность, снизить трудо- и

энергоёмкость совмещенных процессов.

Замечания и вопросы по работе

1. Формулировка цели исследований точнее могла бы быть в следующей редакции: “Экономия энергоресурсов, повышение производительности и выхода годного металла при производстве проволоки малых сечений из сплавов системы Al-PЗМ”.

2. В работе в литературном обзоре указана производительность совмещенных процессов, но не указана производительность установок СПП-200, СПП-400 и СЛиПП-2,5. Также непонятно, что обозначают цифры в названии установок. Это размеры узлов или производительность?

3. Низкое качество и мелкий шрифт на рис. 2.7-2.9 (стр. 54-56 диссертации) затрудняет анализ данных.

4. В табл. 3.1 (стр. 87) в химическом составе в качестве легирующих элементов указаны церий, лантан и празеодим в количестве 7 - 9 %. Какой элемент был преобладающим? Контролировался ли химический состав сплава?

5. В главах 3-5 представлены два совмещенных метода получения прутков из сплавов системы Al-Ce-La: СПП и БПП. Оба способа позволяют получить проволоку из представленных сплавов, но не совсем понятно, какой из этих двух способов лучше и экономичнее?

6. В работе в Приложении (стр. 274) указан ожидаемый экономический эффект при получении прутка диаметром 9 мм. Однако для сплава 01417 в качестве финальной продукции наибольший интерес представляет тонкая проволока, полученная из прутка диаметром 9 мм. Какая стоимость у конечной проволоки из сплава 01417?

7. В работе указаны диаметры 0,3 и 0,5 мм для проволоки из сплава 01417, но не упоминается, какой диаметр проволоки из сплава 01417 является конечным по требованиям потребителя.

Высказанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки работы, а также не снижают научной ценности и практической значимости работы и полученных в диссертации результатов исследований.

Заключение

Диссертация на тему «Развитие научных основ и разработка комплекса ресурсосберегающих технологий для производства проволоки из сплавов системы Al-PЗМ с применением совмещенных методов обработки» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, которая обладает научной новизной и практической значимостью. Апробация работы проведена в достаточной степени, материалы диссертации достоверны, и опубликованы в научной печати. Ра-

бота соответствует паспорту специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением. Разработки и полученные результаты, представленные в диссертации Ворошилова Д.С., направлены на решение актуальной научной проблемы, связанной с получением прутков и проволоки из сплавов системы Al-PZM с помощью ресурсосберегающих совмещенных методов обработки, позволяющих снизить энергозатраты.

Представленная диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней» №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Ворошилов Денис Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора технических наук Ворошилова Дениса Сергеевича и их дальнейшую обработку.

Колесников Александр Григорьевич,
Заведующий кафедрой «Оборудование и
технологии прокатки» Федерального
государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»,
доктор технических наук, профессор

Подпись Колесникова А.Г. удостоверяю:

СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
ХОДЫКИНА Л.Д.

Специальность, по которой была защищена диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук - 05.03.05 – Технологии и машины обработки давлением

Телефон: 8 (499) 263-67-70, E-mail: agk@bmstu.ru

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Телефон +7 (499) 261-17-43, E-mail: bauman@bmstu.ru

