



ИМЕТ РАН

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им. А.А. Байкова
Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)

119334, г. Москва, Ленинский пр., 49
Тел. +7 (499) 135-20-60, факс: +7 (499) 135-86-80
E-mail: imet@imet.ac.ru <http://www.imet.ac.ru>
ОКПО 02698772, ОГРН 1027700298702
ИНН/КПП 7736045483/773601001

13.07.2026 № 12202-2115-584
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной
работе ИМЕТ РАН

К.Т.Н.



А.В. Самохин

« 13 » 07 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Кин Татьяны Юрьевны

«Исследование и разработка технологического процесса изготовления деформированных полуфабрикатов из сплава системы Co-Cr-Mo на основе радиально-сдвиговой прокатки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением

Актуальность темы диссертации

В настоящее время развитие отечественного производства высокотехнологичной продукции медицинского назначения является одной из приоритетных задач промышленности Российской Федерации. Особое значение приобретает создание современных технологий получения деформированных полуфабрикатов из биомедицинских материалов, обладающих комплексом высоких механических, эксплуатационных и биосовместимых свойств. Среди таких материалов сплавы системы Co-Cr-Mo занимают особое место благодаря благоприятному сочетанию свойств, что определяет их широкое применение при изготовлении высоконагруженных медицинских имплантатов.

Вместе с тем анализ современного состояния отечественного производства показывает, что промышленная технология изготовления деформированных полуфабрикатов из медицинских кобальт-хром-молибденовых сплавов до настоящего времени практически отсутствует. Производство имплантатов в значительной степени зависит от импортируемых полуфабрикатов и готовых изделий. В связи с этим

разработка научно обоснованных технологических решений, обеспечивающих получение отечественных деформированных полуфабрикатов с требуемым уровнем механических свойств и структурного состояния, является актуальной научно-технической задачей.

В диссертационной работе автором предложен комплексный подход к решению данной задачи, включающий экспериментальное исследование реологических характеристик сплава Co-Cr-Mo, аналитическое исследование процесса радиально-сдвиговой прокатки (РСП), компьютерное моделирование процессовковки и РСП методом конечных элементов, опытно-промышленную проверку разработанных технологических режимов, а также комплексное исследование микроструктуры, фазового состава и механических свойств материала на различных стадиях изготовления полуфабрикатов.

Таким образом, диссертационная работа Кин Татьяны Юрьевны посвящена решению актуальной научно-технической задачи, имеющей важное значение для развития технологий обработки давлением специальных медицинских сплавов, создания отечественных импортозамещающих технологий производства деформированных полуфабрикатов и повышения технологической независимости РФ в области производства материалов медицинского назначения.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 142 страницах машинописного текста и состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 130 наименований отечественных и зарубежных источников.

Во введении автором обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, раскрыты научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации работы, публикациях и личном вкладе автора.

В первой главе выполнен аналитический обзор отечественных и зарубежных исследований, посвященных современному состоянию технологий получения полуфабрикатов из медицинских сплавов системы Co-Cr-Mo. Рассмотрены особенности структуры и свойств данных сплавов, проанализировано влияние химического состава, способов производства, термической обработки и различных методов обработки давлением на формирование комплекса эксплуатационных характеристик. На основании

проведенного анализа автором обоснованы направления дальнейших исследований и сформулированы задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена исследованию реологического поведения сплава Co-Cr-Mo в условиях горячей пластической деформации. На основании результатов испытаний на сжатие определены закономерности изменения сопротивления деформации в зависимости от температуры и скорости деформирования. Разработаны карты пластичности материала и предложена методика аналитического определения угла поворота вектора скорости при радиально-сдвиговой прокатке, позволившая обосновать модернизацию калибровки рабочих валков.

В третьей главе приведены результаты компьютерного моделирования процессов горячейковки и радиально-сдвиговой прокатки с использованием метода конечных элементов. Выполнен анализ распределения температур, напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров процессов. На основании полученных результатов определены рациональные технологические режимы изготовления полуфабрикатов и подтверждена эффективность предложенной схемы многопроходной РСП.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальной проверки разработанных технологических решений. Проведена отработка режимов гомогенизационного отжига, обеспечивающая растворение охрупчивающей фазы. Исследованы режимы изотермическойковки и последующей радиально-сдвиговой прокатки и определены рациональные температурно-деформационные параметры обработки.

В пятой главе проведен комплексный анализ эволюции микроструктуры и фазового состава на различных стадиях обработки, исследованы механические свойства материала после гомогенизации, изотермическойковки, радиально-сдвиговой прокатки и заключительной термической обработки. Установлены закономерности формирования мелкозернистой структуры и достижения требуемого комплекса прочностных и пластических характеристик.

Шестая глава посвящена разработке технологии изготовления деформированных полуфабрикатов из сплава системы Co-Cr-Mo. Выполнен выбор основного оборудования и обоснованы параметры его применения. Разработанная схема обеспечивает возможность промышленной реализации процесса и получение полуфабрикатов в соответствии с требованием нормативной документации.

Диссертационная работа отличается логичной структурой, последовательностью изложения материала и внутренней взаимосвязью всех разделов. Представленный материал полностью соответствует цели исследования и обеспечивает обоснованность сформулированных автором выводов.

Научную новизну работы составляют:

- впервые для медицинского сплава системы Co-28Cr-6Mo экспериментально определены закономерности реологического поведения в широком диапазоне температур горячей деформации и скоростей деформирования;
- разработана методика аналитического определения угла поворота вектора скорости при радиально-сдвиговой прокатке с учетом циклического характера процесса, а также обоснована и разработана модернизированная калибровка рабочих валков для многопроходной РСП;
- получены новые результаты компьютерного моделирования процессов изотермическойковки и радиально-сдвиговой прокатки, позволившие установить особенности формирования температурного поля, напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров процессов деформации в зависимости от технологических режимов;
- установлены закономерности формирования микроструктуры, фазового состава и комплекса механических свойств сплава системы Co-Cr-Mo при последовательном применении гомогенизационного отжига, изотермическойковки, радиально-сдвиговой прокатки и последующей термической обработки;
- экспериментально подтверждено, что применение комбинированной термдеформационной обработки обеспечивает формирование мелкозернистой двухфазной структуры, способствующей одновременному повышению прочностных и пластических характеристик деформированных полуфабрикатов, удовлетворяющих требованиям нормативной документации.

Практическая значимость работы

Практическая значимость диссертационной работы определяется тем, что автором разработан научно обоснованный технологический процесс изготовления деформированных полуфабрикатов из медицинского сплава системы Co-Cr-Mo, ориентированный на промышленное применение при производстве изделий медицинского назначения.

На основании результатов комплекса экспериментальных исследований, математического моделирования и опытно-промышленной проверки определены рациональные режимы гомогенизации, изотермическойковки и радиально-сдвиговой прокатки, обеспечивающие получение качественных полуфабрикатов в виде прутков диаметром 18-40 мм с соответствием требованиям ГОСТ Р ИСО 5832-12-2009 по химическому составу, механическим свойствам и микроструктуре.

Практическую ценность имеют разработанные автором рекомендации по выбору температурных и деформационных параметров процесса горячей обработки сплава Co-Cr-Mo, основанные на экспериментальном исследовании сопротивления пластической деформации и анализе НДС металла.

Важным результатом работы является разработка модернизированной калибровки валков стана РСП, обеспечивающей повышение деформируемости сплава и снижение энергосиловых параметров. Предложенные конструктивные решения могут быть использованы при совершенствовании существующих технологий РСП трудно-деформируемых сплавов.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что разработанная технология прошла опытно-промышленную апробацию, а полученные полуфабрикаты обладают комплексом механических свойств, соответствующим требованиям нормативной документации, предъявляемым к деформируемым медицинским сплавам системы Co-Cr-Mo.

Достоверность и обоснованность научных результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, не вызывает сомнений и обеспечивается комплексным применением современных методов экспериментальных исследований, математического моделирования и статистической обработки результатов.

Экспериментальная часть работы выполнена с использованием современного исследовательского и испытательного оборудования, обеспечивающего необходимую точность определения механических свойств, параметров микроструктуры и фазового состава исследуемого материала. Для анализа структуры применены методы оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, результаты которых взаимно дополняют друг друга и позволяют объективно оценить закономерности структурообразования в процессе термомеханической обработки.

При исследовании процессов горячей деформации использованы современные методы математического моделирования, основанные на применении метода конечных элементов. Расчетные результаты сопоставлены с экспериментальными данными, что подтверждает адекватность разработанных моделей и корректность принятых допущений.

Обоснованность основных научных положений обеспечивается достаточным объемом проведенных исследований, комплексным анализом полученных результатов и их согласованностью с современными представлениями о механизмах пластической деформации, рекристаллизации и фазовых превращений в сплавах системы Co-Cr-Mo.

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, апробированы на российских и международных научно-технических конференциях.

Рекомендации по дальнейшему использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы представляют значительный интерес для предприятий металлургической промышленности, специализирующихся на производстве специальных сплавов и полуфабрикатов медицинского назначения (АО «Русполимет», АО «Металлургический завод «Электросталь», АО «Спецлит», АО «Ступинская Металлургическая Компания» и др.), а также для организаций, осуществляющих разработку и изготовление медицинских имплантатов (АО ЦИТО, ТриОмед, Инновационно-внедренческий центр Анатомика и др.).

Разработанные технологические решения могут быть рекомендованы к использованию:

- при разработке новых конструкций технологического инструмента для процессов винтовой и радиально-сдвиговой прокатки;
- в научно-исследовательских организациях, выполняющих работы по совершенствованию технологий обработки давлением специальных сплавов и в образовательном процессе высших учебных заведений при подготовке магистров, аспирантов и инженеров по направлениям, связанным с технологиями обработки металлов давлением, материаловедением и металлургией.

Замечания и вопросы по работе

1. При исследовании процесса радиально-сдвиговой прокатки основное внимание уделено анализу температуры, НДС и формированию

микроструктуры материала. Вместе с тем в работе не рассмотрено влияние технологических параметров процесса на ресурс инструмента и особенности его изнашивания при обработке высокопрочных сплавов системы Co-Cr-Mo. Представляется, что анализ данного вопроса позволил бы более полно оценить перспективы промышленного внедрения разработанной технологии.

2. В диссертации практически отсутствует количественная технико-экономическая оценка эффективности предложенной технологической схемы по сравнению с традиционными способами изготовления деформированных полуфабрикатов. Такая оценка позволила бы дополнительно подтвердить промышленную целесообразность внедрения разработанной технологии.

3. В работе подробно исследованы механические свойства, микроструктура и фазовый состав полученных полуфабрикатов. Вместе с тем для материалов медицинского назначения существенное значение имеют также показатели усталостной долговечности и коррозионной стойкости в модельных физиологических средах. Указанные исследования могли бы стать логическим продолжением выполненной работы и расширить представление об эксплуатационных свойствах разработанных полуфабрикатов.

4. В диссертации недостаточно подробно обсуждается влияние принятых граничных условий в КЭ модели, в частности, коэффициента (фактора) трения, используемой реологической модели материала или параметров сетки конечных элементов на точность результатов моделирования.

Перечисленные замечания не носят принципиального характера, относятся преимущественно к вопросам дальнейшего развития выполненных исследований и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Кин Татьяны Юрьевны на тему «Исследование и разработка технологического процесса изготовления деформированных полуфабрикатов из сплава системы Co-Cr-Mo на основе радиально-сдвиговой прокатки» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для развития технологий обработки металлов давлением и производства деформированных полуфабрикатов из медицинских сплавов.

Полученные результаты отличаются научной новизной, обладают высокой степенью достоверности, имеют существенную практическую

значимость и могут быть использованы при создании отечественных технологий производства полуфабрикатов для изделий медицинского назначения, а также при совершенствовании процессов обработки давлением трудно-деформируемых сплавов.

Основные положения и выводы диссертации достаточно полно опубликованы в научных изданиях, апробированы на конференциях различного уровня и отражают личный вклад автора в решение поставленных задач.

По своему содержанию, уровню выполненных исследований, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением по пунктам 1, 3, 4 и 6, и требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор, Кин Татьяна Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

Диссертационная работа Кин Т.Ю. заслушана и обсуждена на заседании научного семинара ИМЕТ РАН (Протокол № от 09 июля 2026 г.). Результаты голосования: «за» - 10, «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол № 32/2_ от «_09_» _июля 2026 года.

Заведующий лабораторией пластической
деформации металлических материалов, д.т.н.
(научная специальность 05.16.05 –
Обработка металлов давлением)

Юсупов Владимир Сабитович

Сведения об организации:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

Сокращенное наименование организации: ИМЕТ РАН

Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр., д. 49

Тел.: +7 (499) 135-20-60

E-mail: imet@imet.ac.ru

Веб-сайт: <https://imet.ac.ru/>

СОБСТВЕННОРУЧНУЮ

ПОДПИСЬ Шушова В.С.

УДОСТОВЕРЯЮ

ОТДЕЛ КАДРОВ Искаевских огурака карра



А.В. Туркина