



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д. 38, Москва, 107023
Тел. +7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,
ИНН/КПП 7719455553/771901001

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе,
к.т.н.

Антон Юрьевич Наливайко
«09» сентября 2026 г.
печать организации



ОТЗЫВ

ведущей организации — федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на диссертационную работу Соколова Павла Юрьевича на тему «Разработка и исследование процесса пластической деформации крупногабаритных титановых колец, полученных методом прямого лазерного выращивания», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4 Обработка металлов давлением

Актуальность диссертационного исследования

Крупногабаритные кольца из титанового сплава, являются частью корпуса газотурбинного двигателя. Традиционная технология изготовления таких изделий характеризуется трудоёмкостью и низким значением коэффициента использования металла.

Исключение трудоёмких процессов изготовления и передела заготовки кольца, путём перехода на методы аддитивного производства, для получения профиля поперечного сечения близкого к геометрии готового изделия, позволяет снизить трудоёмкость и увеличить производительность технологического процесса изготовления крупногабаритных колец, а также увеличить коэффициент использования металла и расширить сортамент мелкосерийного производства. При условии исключения дефектов в готовом изделии.

В связи с этим разработана и исследована технология процесса пластической деформации крупногабаритных титановых колец, полученных методом прямого лазерного выращивания, выполненная в диссертационной работе Соколова П.Ю. является актуальной.

Анализ структуры и содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, выводов и трёх приложений. Работа изложена на 105 страницах машинописного текста и содержит 96 рисунков, 26 таблиц и список литературы из 76 наименований.

Во введении раскрыта актуальность темы, определены цель и задачи исследования, приведены научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены существующие технологии получения крупногабаритных колец. Основными недостатками известных процессов являются высокая трудоёмкость и низкий коэффициент использования металла. При этом операция раскатки колец является основой для формирования геометрии готового изделия. Проанализированы способы раскатки кольцевых заготовок, приведены основные параметры процесса.

Для устранения указанных недостатков предложено формировать кольцевую заготовку с использованием аддитивных технологий. Рассмотрен метод прямого лазерного выращивания, как наиболее перспективный для изготовления крупногабаритных изделий и представлен литературный обзор совмещённых процессов аддитивного производства и пластической деформации. Принцип построения изделий методом прямого лазерного выращивания (ПЛВ) заключается в формировании отдельных наплавочных валиков и наложении их друг на друга в определённом порядке.

Отмечены основные недостатки существующих технологий и необходимость и основные направления проведения дополнительных экспериментальных исследований для оценки характера влияния параметров пластической деформации при раскатке кольцевых заготовок, полученных методом прямого лазерного выращивания, на уровень механических свойств готового изделия.

Во второй главе посвящена исследованию влияния параметров метода ПЛВ на структуру и свойства титанового сплава ВТ6. В результате перспективным был признан следующий режим процесса ПЛВ: мощность лазерного излучения – 2,3 кВт; скорость наплавки – 20 мм/с. Данные параметры позволяют обеспечить производительность процесса более 1 кг/ч и минимальное количество внутренних дефектов или их отсутствие.

В третьей главе рассмотрены экспериментальные исследования влияния постобработки на структуру и свойства образцов из титанового сплава ВТ6, полученных методом ПЛВ. Результаты исследования показали, что процессы горячей пластической деформации могут быть использованы для улучшения структуры и свойств изделий из титанового сплава ВТ6, полученных методом ПЛВ.

Четвёртая глава посвящена экспериментальным исследованиям влияния параметров пластической деформации в процессе горячей продольной прокатки на структуру и свойства сплава ВТ6, полученного методом ПЛВ.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что деформация заготовки из титанового сплава ВТ6, полученной методом прямого лазерного выращивания, путём горячей прокатки с единичным обжатием от 10 %, обеспечивает повышение как прочностных, так и пластических свойств готовой продукции.

В пятой главе рассмотрено моделирование процессов производства крупногабаритного кольца из сплава ВТ6, полученного методом ПЛВ. Компьютерное моделирование выполнялось в отечественном программном комплексе QForm.

Полученные в результате моделирования картины распределения величин, характеризующих процесс горячей деформации, в целом согласуются с результатами физического моделирования.

В заключении сформулированы основные выводы по работе, подтверждающие достижение поставленной цели и решение основных задач исследования.

В приложениях приведен текст программы и акты внедрения результатов исследования, в учебный процесс и производство.

Диссертационная работа изложена на достаточно высоком методическом и теоретико-экспериментальном уровне и обладает научной новизной и практической значимостью.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. В автореферате отражены основные идеи, решения и выводы диссертации, показан вклад автора в проведённое исследование, степень новизны и практическая значимость.

Научная новизна диссертационной работы

Диссертантом получены следующие наиболее важные результаты, отличающиеся научной новизной:

- разработан новый технологический процесс производства крупногабаритных колец из титановых сплавов, с использованием аддитивных технологий и радиально-осевой раскатки;
- определено, что минимальная степень пластической деформации заготовки из титанового сплава ВТ6, полученной методом ПЛВ, достаточная для получения требуемого комплекса механических свойств, составляет 10%;
- разработана методика выбора профиля поперечного сечения заготовки кольца, с использованием программного комплекса QForm.

Практическая значимость работы

- разработан режим прямого лазерного выращивания заготовки из титанового сплава ВТ6, обеспечивающий производительность не менее 1 кг/ч и минимальное количество внутренних дефектов или их отсутствие;
- разработан процесс постобработки после ПЛВ, обеспечивающий увеличение плотности сплава ВТ6 и улучшение комплекса механических свойств;
- определены технологические параметры процесса радиально-осевой раскатки крупногабаритных колец диаметром 2065 мм из сплава ВТ6;
- выбран профиль поперечного сечения заготовки кольца, подходящий для аддитивного производства и последующей радиально-осевой раскатки на гладких валках кольцепрокатных станов, обеспечивающий повышение коэффициентом использования металла.

Рекомендации по дальнейшему использованию результатов работы

Полученные результаты работы можно рекомендовать к использованию при разработке технологических режимов получения крупногабаритных колец других типоразмеров и других материалов. Подходы к разработке и исследованию технологических процессов изготовления крупногабаритных колец могут быть использованы в учебном процессе.

Обоснованность и достоверность научных результатов

Обоснованность и достоверность основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждена комплексом исследований и экспериментов, проведенных с использованием современных методов физического и компьютерного моделирования. Корректным использованием стандартных методов и методик.

Замечания по работе

По содержанию работы имеются замечания:

1. В разделе 4.1 при описании процесса горячей прокатки титановых заготовок на стане ДУО 210 не указан метод нагрева заготовок до температуры прокатки и способ контроля температуры в зоне деформации.
2. На основании разработки и исследования автором процесса пластической деформации крупногабаритных титановых колец в диссертации следовало бы привести концептуальную технологическую схему процесса с указанием применяемого оборудования и режимов обработки по переделам.
3. При проведении математического моделирования процесса горячей деформации рекомендуется использовать реологическую модель материала, полученную в результате испытаний образцов изготовленных по рассматриваемой технологии.
4. В диссертационной работе отсутствует общая оценка экономической эффективности реализации предлагаемого автором процесса получения крупногабаритных титановых колец.

Указанные замечания носят рекомендательный и частный характер, не снижают ценности работы и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Заключение по работе

Диссертация Соколова Павла Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные технологические и технические решения, имеющие существенное значение для развития отрасли машиностроения. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Работа обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, соответствующие паспорту научной специальности 2.6.4 Обработка металлов давлением, по следующим пунктам:

- п. 1 «Исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки давлением металлов, сплавов и композитов»;
- п. 3 «Исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации»;
- п. 8 «Исследование пластической деформации металлов в процессах обработки давлением, совмещенных с другими технологическими процессами обработки металлов с целью разработки энергоэффективных и материалосберегающих технологий».

Содержание диссертационной работы изложено в 5 научных статьях. Полнота и достоверность опубликованного материала не вызывает сомнений.

На основании изложенного выше, учитывая актуальность работы, научную новизну, практическую значимость, а также объем и уровень выполненных исследований, рассмотренная диссертация по теме «Разработка и исследование процесса пластической деформации крупногабаритных титановых колец, полученных методом прямого лазерного выращивания», соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а её автор – Соколов Павел Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4 Обработка металлов давлением.

Заключение принято на заседании кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет». Результаты голосования: «за» – 12, «против» – 0, «воздержались» – 0, протокол № 1/н от «07» сентября 2026 года.

Отзыв составлен:

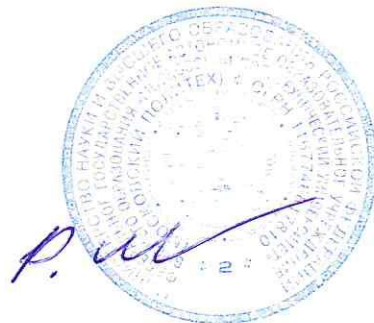
Профессор кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии»

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», д.т.н. (05.16.05 – Обработка металлов давлением), профессор

эл. почта: mmomd@mail.ru

тел.: +79055356837

107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д.38



Шаталов Роман Львович

Заведующий кафедрой «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», к.т.н.

(научная специальность 05.02.09 –

Технологии и машины обработки давлением)

эл. почта: a.g.matveev@mospolytech.ru

тел.: +79263379556

107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д.38



Матвеев Алексей Григорьевич

Лица, подписавшие отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

ПОДПИСЬ Шаталова Р.Л. заверяю

ПОДПИСЬ Матвеева А.Г. заверяю

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ОТДЕЛА КАДРОВ
Ю. В. УШАКОВА