



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по
научно-исследовательской работе,
д.т.н. доцент Прокофьев А.Б.



10 ИЮН 2020

№ 104-2310

2020 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Головкина Сергея Алексеевича на тему
«Повышение размерной точности штамповок лопаток компрессора ГТД
из титанового сплава ВТ6 и стойкости штампового инструмента за счет
совершенствования технологического процесса штамповки»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

Актуальность темы диссертации

Наиболее массовыми деталями в современных газотурбинных двигателях (ГТД) являются лопатки компрессора. Процесс изготовления лопаток компрессора ГТД характеризуется низким коэффициентом использования металла (КИМ) и высокой трудоемкостью из-за большого объема ручных полировальных работ вследствие их сложной конструкции. Основным материалом для этих деталей являются титановые сплавы (ВТ22, ВТ3-1, ВТ6, ВТ8, ВТ33). В частности, в последнее время при создании новых авиационных ГТД таких как ПД-14 и ПД-35 для лопаток компрессора применяется титановый сплав ВТ6 (сплав относят к числу первых отечественных конструкционных свариваемых титановых сплавов и является отечественным аналогом сплава Ti-6Al-4V). При штамповке титановых сплавов всегда возникает проблема низкой стойкости штамповой оснастки особенно это актуально для получения высокоточных заготовок.

Поэтому тематика диссертационной работы Головкина С.А., посвященная совершенствованию технологического процесса штамповки лопаток

компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 с целью обеспечения высокой размерной точности заготовок с улучшением экономических показателей производства, представляет решение актуальной задачи, как для теории, так и для практики обработки металлов давлением.

Структура и содержание работы

Представленная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 116 источников, и двух приложений. Основной материал изложен на 144 страницах машинописного текста, включая 16 таблиц, 62 рисунка.

Во введении приведено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цель работы, задачи исследования, научная новизна и практическая ценность. Приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ состояния вопроса в области изготовления лопаток компрессора ГТД; способов получения ультрамелкозернистой структуры в металлах; особенности получения заготовок методом выдавливания; особенности протекания процесса рекристаллизации. Выяснено, что при внедрении в производство точной изотермической штамповки существует проблема низкой стойкости ковочных штампов.

В качестве объекта исследования автором был выбран процесс изотермического выдавливания заготовок из титанового сплава ВТ6. Выбор материала сделан на основе анализа применения материалов для создания лопаток компрессора современных ГТД.

На основе анализа и обобщения работ, выполненных в рассматриваемой области, сделан вывод о том, что использование заготовок с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой позволяет уменьшить силовые нагрузки при штамповке и тем самым значительно увеличить стойкость дорогостоящего штампового инструмента. Также отмечено, что все известные в настоящее время способы получения УМЗ структуры имеют множество недостатков, которые затрудняют внедрение их в серийное производство.

Рассмотрение научного уровня литературного обзора позволяет заключить, что автор достаточно всесторонне знаком с предметом и областью исследования. Это определило направление исследования, цель и задачи работы.

Во второй главе освещены вопросы методов и способов проведения исследований. Для исследования напряженно-деформированного состояния заготовки и распределения температурных полей при прямом изотермическом выдавливании использовался программный комплекс QForm 3D. Для определения величины зерна в исследуемых образцах был применен метод

измерения длин хорд по ГОСТ 5639-82. Испытания на сжатие проводились на универсальной испытательной динамической машине LABTEST 6.125H.50.

Третья глава посвящена проведению исследований процесса изотермического выдавливания и определению его параметров для протекания динамической рекристаллизации. Установлено, что наиболее благоприятными условиями процесса изотермического выдавливания для измельчения структуры являются следующие параметры: скорость выдавливания – 0,3мм/с, вытяжка – 7,84, температура деформации – 800°С. Для возможности прогнозирования получаемой структуры в зависимости от изменения условий протекания процесса изотермического выдавливания разработана регрессионная математическая модель.

Проведенные соискателем экспериментальные исследования влияния отдельных параметров процесса изотермического выдавливания на получение УМЗ структуры согласуются с результатами расчетов по разработанным математическим моделям и подтверждают возможность их дальнейшего использования при оптимизации технологических процессов штамповки лопаток из титановых сплавов.

В четвертой главе рассмотрен вопрос разработки перспективного технологического процесса штамповки заготовок компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 с припуском под безразмерную обработку профиля пера. Для интенсификации операции изотермического выдавливания разработано и запатентовано устройство для изотермического выдавливания в штампе с локальной подачей смазывающего материала в очаг деформации.

Пятая глава посвящена оценке стойкости штампового инструмента в результате внедрения предложенного технологического процесса штамповки лопаток ГТД. Установлено, что при изотермической штамповке заготовок, имеющих УМЗ структуру, расчетная стойкость ковочных штампов в 2,5 раза выше, чем при штамповке по серийной технологии.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

В целом, работа изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора и сопровождается развернутыми выводами. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Научная новизна

Научная новизна результатов, полученных Головкиным С.А. в ходе диссертационного исследования, заключается:

1) в разработанном методе получения регламентированной УМЗ структуры в двухфазном титановом сплаве путем интенсивной пластической деформации при изотермическом выдавливании по режимам, обеспечивающим протекание динамической рекристаллизации;

2) в установленной регрессионной зависимости, связывающей параметры процесса (коэффициент вытяжки, скорость деформирования и температуру деформации) изотермического выдавливания и размер получаемого в результате зерна в титановом сплаве ВТ6 при динамической рекристаллизации;

3) в установлении того, что при уменьшении размеров зерна в титановом сплаве ВТ6 в 2 раза напряжение течения при температуре 800°C снижается на 42%.

Практическая значимость

В результате экспериментальных и теоретических исследований разработаны:

1) способ получения заготовок с регламентированной структурой под дальнейшую изотермическую штамповку методом изотермического выдавливания (Способ выдавливания малопластичных материалов и устройство для его осуществления, патент РФ №2637451);

2) технологические режимы изотермической штамповки, обеспечивающие уменьшение сопротивления деформации штампуемого материала, повышение стойкости штамповой оснастки при изотермической штамповке и повышение размерной точности штамповок лопаток ГТД (Способ изготовления штамповок лопаток из титановых сплавов, патент РФ № 2614294).

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена корректностью постановки задач, применением известных математических методов, обоснованным использованием допущений и ограничений при выводе теоретических зависимостей и подтверждается согласованием результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными как лично автором, так и другими исследователями.

Достоверность результатов экспериментальных исследований обеспечивалась применением поверенного испытательного оборудования, проведением экспериментов с дублированием опытов и статической обработкой результатов экспериментов. Оценка параметров механического поведения материалов проведена в соответствии с требованиями стандартов.

При моделировании пластической деформации титанового сплава ВТ6 применялся известный конечно-элементный комплекс QForm 3D. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Достоверность диссертационного исследования Головкина С.А. подтверждается апробацией результатов на всероссийских и международных конференциях, публикацией основных положений исследования в рецензируемых изданиях. Результаты практического применения разработанной автором технологии и устройства для ее реализации подтверждены актами внедрения.

Анализ содержания диссертации, опубликованных работ, в том числе работ, опубликованных в соавторстве, показал, что все научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат диссертанту.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Совокупность полученных в ходе диссертационного исследования материалов рекомендуется использовать на предприятиях двигателестроения, в частности, при разработке технологических процессов изготовления заготовок лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов методом объемной изотермической штамповки.

Оценка содержания диссертации

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Содержание диссертации изложено грамотно, в логической последовательности, а принятая терминология и стиль изложения соответствует общепринятым нормам.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 5 научных работах, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, 3 патента РФ.

Замечания по диссертационной работе

Диссертация выполнена на достаточно высоком научно-методическом уровне. Вместе с тем, по диссертационной работе Головкина С.А. имеются следующие замечания:

1. В главе 1 при описании способов получения ультрамелкозернистой структуры в металлах недостаточно освещены работы последних лет.

2. Разработанная в главе 3 математическая модель, описывающая влияние параметров процесса изотермического выдавливания на размер получаемого в результате зерна, не учитывает влияние коэффициента трения.

3. Важнейшим вопросом производства штамповок лопаток компрессора ГТД без припуска по профилю пера является обеспечение точности размеров. В диссертации в главе 4 при описании предлагаемого технологического процесса не приведены сведения о режимах правки геометрии деталей после возможных поводок при травлении и термообработке.

4. Из работы непонятно влияет ли на размер зерна, получаемого в результате изотермического выдавливания, исходное состояние микроструктуры.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

В диссертационной работе Головкина Сергея Алексеевича изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиадвигателестроения страны.

Диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача по повышению размерной точности штамповок лопаток компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 и стойкости штампового инструмента.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, научно обоснованы и описывают законченный этап исследований. Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки экспериментальных данных и опробованием предложенных технологических решений в условиях действующего производства.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением; результаты работы достаточно полно освещены в научной печати.

Все перечисленное дает основание считать, что представленная диссертационная работа Головкина С.А., несмотря на отдельные замечания не принципиального характера, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 01.10.2018 г.). Автор диссертации, Головкин Сергей Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Отзыв на кандидатскую диссертацию Головкина Сергея Алексеевича на тему «Повышение размерной точности штамповок лопаток компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 и стойкости штампового инструмента за счет совершенствования технологического процесса штамповки», подготовил доцент кафедры обработки металлов давлением, д.т.н. Ерисов Ярослав Александрович.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры обработки металлов давлением федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) (протокол №9 от 09.06.2020 г.), на котором присутствовало 15 научно-педагогических работников, проголосовавших единогласно за утверждение данного отзыва.

**Заведующий кафедрой
обработки металлов давлением,
академик РАН,
доктор технических наук, профессор**



Гречников Федор Васильевич

**Доцент кафедры
обработки металлов давлением,
доктор технических наук, доцент**



Ерисов Ярослав Александрович

9 июня 2020 г.

Контактные данные:

Почтовый адрес: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34

Телефон: +7(846) 334-09-04, e-mail: gretch@ssau.ru