

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РФ
ДЕПАРТАМЕНТ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Акционерҙар йәмғиәте
**ТЕХНОЛОГИЯ ҺӘМ
ПРОИЗВОДСТВОНЫ ОЙОШТОРУ
ИНСТИТУТЫ**



АО
НИИТ

450054, Башкортостан Республикаһы
Өфө ҡалаһы, Октябрь пр.: 69/2
Тел: (347) 233-71-71 Факс: (347) 233-72-28
E-mail: uf_niit@mail.ru

Акционерное общество
**ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА**

450054, Республика Башкортостан
г. Уфа, пр. Октября, 69/2
Тел: (347) 233-71-71 Факс: (347) 233-72-28
E-mail: uf_niit@mail.ru

« 12 » 11 2020 г. № 142
На № _____ от « _____ » _____ 20 ____ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

АО «Институт технологии и
организации производства»,
кандидат технических наук


И.Г. Каримов
« _____ » _____ 2020г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

На диссертационную работу Бердина Николая Валерьевича

«Формирование микрокристаллической структуры в титановом сплаве BT5-1 при горячей деформационной обработке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы исследования

В ведущих отраслях современного машиностроения: аэрокосмической, атомной, нефтехимической и др., при проектировании и изготовлении ответственных деталей и узлов большое внимание уделяется технологичности и эксплуатационным свойствам изготавливаемых изделий. Во многом это определяется материалом и его микроструктурой, которые отвечают за прочность, надежность и долговечность разрабатываемых конструкций.

Поэтому необходимость использования титановых сплавов с регламентированным типом микроструктуры в современных инновационных проектах, таких как, создание авиационного двигателя пятого поколения остается очень высокой благодаря привлекательному соотношению ресурса, прочности, жесткости и веса.

Использование новых технологий, основанных на сочетании диффузионной сварки и сверхпластической формовки, позволяет сравнительно легко получать сложные конструкции из титановых сплавов, однако это требует применение заготовок с заданным типом микроструктуры.

Одним из способов получения в сплавах титана заданного типа микроструктуры является горячая пластическая деформация, при которой в результате развития динамической рекристаллизации в первичной α - фазе и фазовых $\alpha \rightarrow \beta$ превращений происходит преобразование исходной крупнокристаллической пластинчатой структуры в микрокристаллическую структуру глобулярного типа. Важным фактором, определяющим эффективность деформационной обработки, наряду с температурой, степенью и скоростью деформации, является вид нагружения и соответствующее ему напряженное и деформированное состояние.

Вместе с тем, неясным остается вопрос о роли 2-х компонентного нагружения при горячей деформации в однофазной α -области и формировании тонкой структуры, развития динамической рекристаллизации и преобразование крупных α - зерен в сплаве VT5-1.

Поэтому рассмотрение данного вопроса на примере горячей деформационной обработки промышленного однофазного титанового сплава VT5-1 в однофазной α - области и создание на этой основе технологической схемы подготовки структуры, делает данную работу **актуальной** с точки зрения дальнейшего использования результатов исследований в основных отраслях современного машиностроения.

Научная новизна работы

В диссертационной работе:

1. Установлена связь между температурно-скоростными условиями горячей деформации, типовыми видами (растяжение, сжатие, кручение) нагружения с формированием микрокристаллической структуры. Наибольшая интенсивность измельчения микроструктуры при одинаковой температуре $T=900$ °С, степени накопленной деформации $e \sim 0,6$ наблюдается при следующих скоростях деформации. При одноосном растяжении со скоростью $\xi_0 \sim 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ средний размер зерен был равен 15,5 мкм. При одноосном сжатии с начальной скоростью $\xi_0 \sim 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, $e \sim 0,6$ средний размер зерен был равен 2...5 мкм. При простом кручении с начальной скоростью деформации $\xi_0 \sim 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ средний размер зерен на боковой поверхности равен 15...20 мкм.

2. Разработана реологическая модель механического поведения титанового сплав VT5-1 на основе результатов горячего деформирования образцов в однофазной α - области одноосным растяжением, учитывающая микроструктурные изменения для определения параметров НДС при одно - и

2-х компонентном нагружении методом конечно - элементного моделирования.

3. Показано влияние напряженного состояния, формируемого в материале при горячей пластической деформации образцов с одинаковым диаметром и различной исходной высотой одноосным сжатием на механическое поведение, развитие динамической рекристаллизации и формирование микроструктуры в сплаве ВТ5-1. Уменьшение значения относительного гидростатического давления K_2 с -1,7 до -9,0 при горячей деформации приводит к уменьшению темпов развития динамической рекристаллизации за счет уменьшения количества зародышей и скорости их роста, приводя к образованию α -зерен размером $\sim 2,0$ мкм и одновременному снижению объема рекристаллизованной структуры до $V_{рек} = 30\%$.

4. Установлено влияние деформированного состояния (траектории вектора деформации) при 2х-компонентном (кручение + растяжение) нагружении. При соотношении кручения к растяжению 0,47:0,2 начальной скорости деформации $\xi_0 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ и значении модуля вектора деформации $\epsilon = 0,5$ повышает эффективность преобразования крупнозернистой микроструктуры в мелкозернистую, формируя во всем рабочем объеме микроструктуру со средним размером зерна 5,0..7,0 мкм за счет распространения деформации вглубь исходных α - зерен, образования устойчивых дислокационных скоплений, что интенсифицирует рекристаллизационные процессы и увеличивает объем превращенной микроструктуры в рабочей зоне образцов до значения $V_{рек} = 80\%$.

5. Показано что дополнительная термическая и горячая деформационная обработка при выполнении формообразующих операций при изготовлении полых конструкций компенсируют увеличение среднего размера зерен при диффузионной сварке и сверхпластической формовки за счет развития динамического возврата, рекристаллизации и фазовых превращений, обеспечивая получение в готовых изделиях высоких статических, динамических и циклических свойств.

Практическая значимость работы

В работе представлена практическая возможность эффективно управлять процессами формирования микрокристаллической структуры в крупногабаритных заготовках из титановых сплавов ВТ5-1и ВТ6 за счет выбора оптимальной совокупности температурно-скоростных условий деформации и схемы 2-х компонентного (кручение + растяжение) нагружения, которые предназначены для изготовления макетов лопаток авиационного газотурбинного двигателя и моноколеса центробежного насоса для перекачки газообразных и жидких сред.

Разработана технологическая схема получения заготовок макетов полых конструкций, получены заготовки, из которых изготовлены образцы с применением операций диффузионная сварка и сверхпластическая формовка.

Разработана и изготовлена установка для подготовки заготовок к диффузионной сварке в автоклаве (операция «сушка») и передана в ПАО «ОДК «УМПО» для последующего использования при изготовлении полых широкохордных лопаток современных ГТД.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, из них 8 статей в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ и 6 патентов РФ.

Оценка содержания работы

Диссертационная работа, представленная Бердиным Н.В., содержит 171 листов, Включающих 81 рисунок, 26 таблиц, 1 приложение, состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы из 128 источников и приложения.

Во введении отражена актуальность работы, сформулирована цель и задачи. Отражена новизна и практическая ценность. Приведены сведения о структуре работы.

В представленной к защите работе выполнен аналитический обзор литературных данных по теме диссертации. Рассмотрены основные методы подготовки структуры в титановых сплавах, а также роль термического термоциклического и деформационно-термического воздействия на трансформацию исходной крупнокристаллической структуры в микрокристаллическую.

Из литературного анализа следует, что важным фактором, влияющим на трансформацию пластинчатой микроструктуры в глобулярную, является вид нагружения, который формирует в обрабатываемой заготовке определенный тип напряженного и деформированного состояния. На примере одних работ показано, что монотонное пропорциональное нагружение имеет преимущества в кинетике преобразования пластинчатой микроструктуры в глобулярную по сравнению с однокомпонентным и двухкомпонентным нагружением. На примере других работ предпочтительной схемой нагружения, с точки зрения преобразования структуры является циклическое кручение после предварительного растяжения. А также немонотонная деформация титановых сплавов, осуществляемая путем многократной всестороннейковки, которая обеспечивает получение микрокристаллической структуры с высокой степенью однородности ее распределения в обрабатываемой заготовке.

Отмечены технологические трудности получения мелкозернистой структуры в крупногабаритных заготовках, вызванные низкой теплопроводностью сплавов на основе Ti, а также локализацией трансформации структуры по полосам сдвига, межзерненным и межфазным границам. Все это снижает качество, повышает трудоемкость и себестоимость производства заготовок для изготовления, например, изделий

полой конструкции современных авиационных газотурбинных двигателей.

В работе подробно рассматриваются данные по выбранным объектам исследования. Обоснован выбор сплава VT5-1 в качестве модельного материала и VT6 в качестве технологического объекта исследования. Перечислены основные методы исследования и основное, используемое в работе, научно-исследовательское оборудование.

Вначале изложения основного материала автор рассматривает типовые виды нагружения в условиях горячего деформирования образцов (одноосным растяжением, сжатием и кручением). На основе полученных данных представляет математическую модель вязкопластического механического поведения сплава VT5-1 для постановки в программный комплекс ABAQUS при решении задач КЭ моделирования процессов деформирования объектов в условиях простого и сложного нагружения. В главе так же показана связь микроструктурных изменений с видом нагружения при горячей деформационной обработке.

Далее рассматривается вопрос о влиянии параметров относительного гидростатического давления K_2 на интенсивность и полноту преобразование пластинчатой крупнокристаллической структуры в глобулярную микрокристаллическую структуру при горячем деформировании заготовок одноосным сжатием в однофазной α -области. Представленный подход позволил установить связь гидростатического давления с формированием тонкой структуры, развитием рекристаллизационных процессов и механическим поведением титанового сплава VT5-1 при различных температурно-скоростных режимах нагружения. Далее рассматривается трансформация пластинчатой крупнокристаллической структуры в глобулярную микрокристаллическую при горячем деформировании заготовок в условиях простого двух компонентного (кручение + растяжение) нагружения при изменении вектора деформации и неизменном значении величины накопленной деформации. Установлено, что соотношение крутящей к растягивающей компоненте результирующего вектора деформации влияет на интенсивность и полноту трансформации структуры в рабочем объеме деформируемых образцов, повышая равномерность пластического течения материала в рабочей зоне.

Полученные научные результаты подтверждены разработанным опытным технологическим процессом горячей деформационной обработки технологических заготовок из титанового сплава VT5-1 и VT6 в изотермических условиях методом 2-х компонентного нагружения и получением в них микрокристаллической структуры. На примере изготовления полой лопатки первой ступени рабочего колеса компрессора турбо - детандерного агрегата в системе перекачки природного газа показаны

технические, экономические и др. преимущества использования нового технологического процесса получения заготовок с регламентированной структурой в цепочке «полуфабрикат - заготовка - деталь».

Результаты данной работы были использованы в ПАО «ОДК-УМПО» при решении задач по реализации государственного контракта по теме: «Создание технологий и промышленного производства узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений».

Замечания по работе

В главе 1 недостаточно полно отражен вопрос практического применения методов получения микроструктуры регламентированного типа в крупногабаритных заготовках, а также проблемы, которые ограничивают возможность получения заготовок, например при изготовлении лопаток компрессора современного газотурбинного двигателя.

В главе 2 представлены экспериментальные методы проведения деформационной обработки образцов без должного обоснования применяемых математических методов и программной среды для реализации задач идентификации видов нагружения, напряженного и деформированного состояний.

В главе 4 роль напряженного состояния оценена на лабораторных образцах в лабораторных условиях, без привязки к реализации результатов в промышленном производстве.

В главе 5 было бы уместно выполнить сравнительный анализ влияния 2-х компонентного простого и сложного нагружения на преобразование крупнокристаллической структуры в микрокристаллическую.

В главе 6 описание технологических приемов получения деталей изложены не полно.

Заключение по работе

Диссертация Бердина Н.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены задачи, имеющие важное значение для машиностроения.

Автором работы, с использованием современных методов исследований получен обширный экспериментальный материал, позволяющий сделать практические рекомендации по совершенствованию методов формирования микроструктуры в заготовках из титановых сплавов, обеспечивающих получение требуемого комплекса свойств в заготовках и изделиях при производстве моноколес и лопаток полый конструкции.

Научные положения, выводы и рекомендации, сделанные в диссертации, аргументированы, обоснованы и достоверны.

Автореферат полностью отражает основное содержание выполненной диссертации.

Диссертационная работа Бердина Н.В., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов актуальна, имеет научную новизну, практическую ценность.

Работа полностью соответствует требованиям п.7 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Бердин Николай Валерьевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Диссертационная работа Бердина Н.В. и отзыв обсуждены на заседании научно-технического Совета АО НИИТ «22» октября 2020 г., протокол № 4.

Научный руководитель АО НИИТ
доктор технических наук, профессор

Подпись Юрьева Виктора Леонидовича
заверяю. Начальник отдела кадров

Ученый секретарь



В.Л. Юрьев

С.С. Путилина

С.Н. Никитин

Акционерное общество «Институт технологии и организации производства»,
450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября 69/2,
тел. +7(347)2337171 E-mail: uf_niit@mail.ru