

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бердина Николая Валерьевича «Формирование микрокристаллической структуры в титановом сплаве VT5-1 при горячей деформационной обработке», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы

Необходимость использования титановых сплавов в современных инновационных проектах, таких как создание авиационного двигателя пятого поколения, остается очень высокой, благодаря привлекательному соотношению прочности, жесткости и веса. Кроме этого из титановых сплавов легко получают сложные детали методом диффузионной сварки в сочетании со сверхпластической формовкой. При этом требуются заготовки с микрокристаллической структурой регламентированного типа.

Одним из способов получения в сплавах титана микрокристаллической структурой 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 горячей деформационной обработки, наряду с температурой, степенью и скоростью деформации, является вид нагружения и соответствующее ему напряженное и деформированное состояние.

Известно, что формирование микрокристаллической структуры в $(\alpha+\beta)$ титановых сплавах во многом связано с развитием процессов структурообразования в (α) - фазе. При этом неясным остается вопрос о том, как влияет на трансформацию крупнокристаллической структуры в

микроструктурную динамическую рекристаллизацию в первичной α -фазе, и основных параметров напряженного и деформированного состояния, которые формируются при горячей деформации сплава ВТ5-1 в однофазной α - области.

Таким образом, изучение влияния температурно-скоростных режимов горячей деформации, а также параметров напряженного и деформированного состояния на формирование дислокационной структуры, развитие динамической рекристаллизации в α - фазе, и разработка на этой основе технологического процесса получения заготовок из сплава ВТ5-1 и ВТ6 с регламентированной структурой для изготовления из них макетов полых конструкций методом сверхпластической формовки и диффузионной сварки является актуальной научной и практической задачей

Научная новизна и практическая значимость работы. В работе диссертантом были получены результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Была установлена связь между температурно-скоростными режимами горячей деформации, типовыми видами (растяжение, сжатие, кручение) нагружения с формированием микроструктурной структуры. Наибольшая интенсивность измельчения микроструктуры при одинаковой температуре $T=900^{\circ}\text{C}$, степени накопленной деформации $e \sim 0,6$ наблюдается при следующих скоростях деформации. При одноосном растяжении со скоростью $\dot{\xi}_0 \sim 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ средний размер зерен был равен 15,5 мкм. При одноосном сжатии с начальной скоростью $\dot{\xi}_0 \sim 1 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $e \sim 0,6$ средний размер зерен был равен 2...5 мкм. При простом кручении с начальной скоростью деформации $\dot{\xi}_0 \sim 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ средний размер зерен на боковой поверхности равен 15...20 мкм. Была разработана реологическая модель механического поведения титанового сплава ВТ5-1 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.

Показано влияние напряженного состояния, формируемого в материале при горячей пластической деформации образцов с одинаковым диаметром и различной высотой одноосным сжатием на механическое поведение, развитие динамической рекристаллизации и формирование микроструктуры в сплаве BT5-1. 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 $V_{рек} = 30\%$.

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 $\xi_0 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ и значении модуля вектора деформации $e = 0,5$ повышает эффективность преобразования крупнокристаллической микроструктуры в мелкокристаллическую, 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 $V_{рек} = 80\%$.

Проведенные исследования доказали, практическую возможность эффективно управлять процессами формирования мелкокристаллической структуры в крупногабаритных заготовках из титановых сплавов BT5-1и BT6 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 жидких сред при криогенной температуре.

На основе результатов проведенных исследований разработана технологическая схема получения заготовок макетов полых конструкций, получены заготовки, из которых изготовлены опытные образцы с применением операций изостатическая диффузионная сварка и сверхпластическая формовка.

Для выполнения операции изостатической диффузионной сварки в автоклаве разработана новая технологическая операция – подготовка пакета заготовок к сварке (операция сушка пакета), разработана и изготовлена специализированная установка для выполнения этой операции. Технологическая документация, и установка передана в ПАО «ОДК «УМПО». Операция и оборудование освоены персоналом завода в условиях серийного производства полых широкохордных лопаток современных ГТД военного и гражданского применения, в том числе и полых широкохордных лопаток вентилятора двигателя ПД14, который в настоящее время подготовлен к летным испытаниям в составе среднемагистрального пассажирского самолета МС21-300.

Достоверность полученных результатов

Диссертантом выполнен всесторонний анализ научной и технической документации по теме, что позволило обоснованно сформулировать цель и задачи исследования. Представленные автором научные положения и выводы подтверждены экспериментальными результатами с использованием современного аттестованного оборудования, лицензионного программного обеспечения, стандартизованных методов исследования: металлографического; рентгеноструктурного; микро-рентгеноспектрального анализом; механических испытаний, а также математический анализа, основанного на методе конечных элементов. В том числе путем контроля основных параметров испытаний: величины деформации; скорости нагружения; температуры процесса; методов контроля изменения микроструктуры и свойств, а также результатами

практической апробации предложенных технологических схем и режимов деформационной обработки в технологическом процессе изготовления опытных образцов макетов фрагмента моноколеса из сплава ВТ5-1 и полрой лопатки первой ступени компрессора современного газотурбинного двигателя.

Следует отметить, что полученные автором данные не противоречат известным материаловедческим представлениям о формировании микрокристаллической структуры, а развивают их в направлении получения заданного типа микрокристаллической структуры в заготовках для промышленного использования.

Результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах, патентах РФ, и апробированы на научно-технических конференциях международного и отечественного уровней.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии диссертанта на всех этапах выполнения рецензируемой работы.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованных источников, включая 128 наименований. Диссертация изложена на 171 страницах, содержит 81 рисунок, 26 таблицы и одно приложение.

Замечания

1. Не совсем понятно: из каких соображений были выбраны температурно-скоростные режимы горячего одно и двух компонентного нагружения сплава ВТ5-1.
2. Как определялось влияние напряженного состояния на преобразование микроструктуры, какие делались при этом допущения?
3. Непонятны предпосылки выбора схемы горячего нагружения 2-х компонентным (кручение + растяжение) простым нагружением и почему эта схема считается предпочтительной с точки зрения формирования в рабочем объеме благоприятных условий для формирования равномерного

преобразования микроструктуры по сравнению с 2-х компонентным (кручение + растяжение) сложным нагружением.

4. В заключительной главе рассмотрено практическое использование результатов исследований получения заданного типа микрокристаллической структуры в заготовках из сплава ВТ5-1 и ВТ6. Не ясно, почему в качестве апробации метода подготовки структуры выбраны объекты полая лопатка и фрагмент моноколеса.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение:

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения: получение регламентированной микрокристаллической структуры в α - и $(\alpha+\beta)$ - титановом сплаве ВТ5-1 и ВТ6 методом горячего пластического деформирования 2-х компонентным (кручение+растяжение) нагружения в заготовках и последующего изготовления из них макетов моноколеса турбодетандерного агрегата и полой широкохордной лопатки первой ступени компрессора методом изостатической диффузионной сварки и сверхпластической формовки. Для выполнения операции изостатической диффузионной сварки разработана технология и подготовки заготовок к сварке в автоклаве и установка для ее реализации, изготовлен опытный образец и передан в серийное производство ПАО «ОДК УМПО» для использования в серийном изготовлении полых широкохордных лопаток вентилятора и первой ступени компрессора современных газотурбинных двигателей гражданского и военного назначения.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 6 научно-технических конференциях, опубликованы в 20 печатных работах, в том числе в 8 статьях ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и в 6 патентах РФ. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области авиационного двигателе-

самолето- и ракетостроения, а также при изготовлении агрегатов и узлов оборудования нефтехимического и газового сектора, там, где применяются промышленные титановые сплавы и методы диффузионной сварки и сверхпластической формовки.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор – Бердин Николай Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Ашмарин Артем Александрович

И.о. ведущего научного сотрудника

Лаборатория № 4, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

Кандидат технических наук А.А. Ашмарин Артем Александрович

Дата: 09.11.2020

Подпись Ашмарина Артема Александровича удостоверяю,

Уч. секретарь Фомина Фомина Ольга Николаевна

Печать

Адрес организации: Россия, Москва, 119334, Ленинский пр-т., 49

Наименование организации ИМЕТ РАН

Электронный адрес: imet@imet.ac.ru

Телефон: +7 (499) 135-2060