

УДК 669.295

Ю. Ф. БАСОВ¹, А. В. ОВЧИННИКОВ², А. В. МИХАЙЛЮТЕНКО¹, Т. А. ГЛОТКА²¹АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина²НИЦ «Титан Запорожья», Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

В работе приведены результаты исследований, направленные на разработку технологической схемы производства полуфабрикатов титановых сплавов, применяемых для изготовления лопаток компрессора. Выполнены исследования состава, структура и механических свойств сплава ВТ6, полученного по новой технологической схеме, включающей восстановление легированного титана губчатого, синтез заготовки сплава титана из порошков, деформационную обработку заготовки путем интенсивной пластической деформации и заключительную термическую обработку. Показано, что применение опытной технологической схемы позволяет снизить стоимость заготовок из титановых сплавов, и получать заготовки с повышенным уровнем механических свойств.

Ключевые слова: титан губчатый, порошок титана, прессование, спекание, деформация, структура, механические свойства.

1. Постановка проблемы

Титановые сплавы эффективно используются в химической, атомной, авиационной и других отраслях промышленности. Расширение спектра применения сплавов напрямую зависит от их свойств и стоимости. Важной составляющей стоимости титановых полуфабрикатов является технология их получения. Так получение прутковых полуфабрикатов включает переплав титана губчатого и последующую сложную деформационную переработку. Более экономичные технологии литья также сопряжены с энергозатратной технологией переплава титана губчатого, а получение полуфабрикатов взамен заготовок изделий существенно снижает экономическую эффективность этого метода. С технологической точки зрения одним из наиболее рациональных и распространенных методов получения полуфабрикатов из титана является метод порошковой металлургии (ПМ). Метод ПМ, в сравнении с вышеприведенными методами, имеет следующие преимущества: отсутствие процесса переплава, получение изделий требуемой геометрии, коэффициент использования металла около 95 %. Однако уровень свойств титана, изготовленного методом ПМ, соизмерим с литым и существенно ниже деформируемого сплава аналогичного состава. Причиной этого являются структурные особенности спеченных сплавов. Другим важным недостатком ПМ есть сложность введения легирующих элементов. В этой связи для повышения технологичности процесса и повышения качества порошковых материалов совместно с ГП

«Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана» разработан метод получения титана губчатого (ТГ) с заданным содержанием легирующих элементов [1, 2]. Он позволяет получать ТГ с содержанием основных легирующих компонентов, который соответствует химическому составу стандартных титановых сплавов. Однако остается нерешенным вопрос получения структуры сплавов соответствующей требованиям, предъявляемым к авиационным материалам. В настоящее время для формирования мелкодисперсной и субмикроструктурной (СМК) структуры в титановых сплавах используют технологию интенсивной пластической деформации (ИПД), в частности, винтовую экструзию (ВЭ). Формирование СМК структуры в титановых сплавах и, как следствие, увеличение их механических свойств обеспечивает возможность повышения эксплуатационных характеристик изделий.

Таким образом, для удешевления производства титановых полуфабрикатов, необходимо принципиальное изменение технологической схемы их получения, начиная от производства ТГ и заканчивая изготовлением готовой заготовки.

Целью данной работы являлась разработка принципиально новой технологической схемы получения деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов, применяемых для производства лопаток компрессора.

2. Материалы и методика исследований

В качестве объекта исследований использовали титановый сплав ВТ6. Получение ТГ, легированного

Al и V и получение порошковых материалов заданной фракции проводилось совместно с ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана» [3, 4]. Синтез спеченных заготовок с плотностью более 95% с формированием в них структуры необходимой геометрии проводили согласно исследованиям [5, 6]. ИПД осуществляли методом ВЭ по технологии, разработанной ДонФТИ им. А. А. Галкина. Особенности геометрии канала матрицы обеспечивали идентичность начальной и конечной форм и размеров обрабатываемой заготовки, что позволило осуществлять ее многократную экструзию с целью накопления больших величин деформации. Максимальная величина деформации за один проход при ВЭ составляла $\epsilon = 2$ [7]. Количество проходов при ВЭ изменялось от 1 до 7. Механические характеристики определяли в соответствии с ГОСТ 1497-84 на машине INSTRON-8801. Исследование микроструктуры проведено с применением микроскопа отраженного света «Observer.D1m» («Carl Zeiss») и электронного микроскопа JSM-6360LA, оснащенного приставкой для проведения энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

3. Результаты исследований и их анализ

Достижение поставленной цели в работе осуществляли путем решения трех последовательных задач:

- получение легированных порошков титана с заданным химическим составом (типа ВТ6) и размерами;
- получение синтезированных заготовок сплава ВТ6 методом ПМ;
- деформация полуфабрикатов методом ВЭ с последующей термической обработкой.

Опытная технологическая схема включала следующие этапы: получение легированных порошков титана заданной фракции и химического состава, спекание заготовок с формированием необходимого типа структуры, деформационная обработка спеченных заготовок (рис. 1).

Согласно разработанной схеме был проведен комплекс исследований.

Для определения качества ТГ (рис. 2, а) отбирались пробы для анализа в них содержания легирующих элементов. Анализ химического состава образцов ТГ, показал его соответствие по содержанию основных элементов сплава ВТ6 (ГОСТ 19807 – 91).

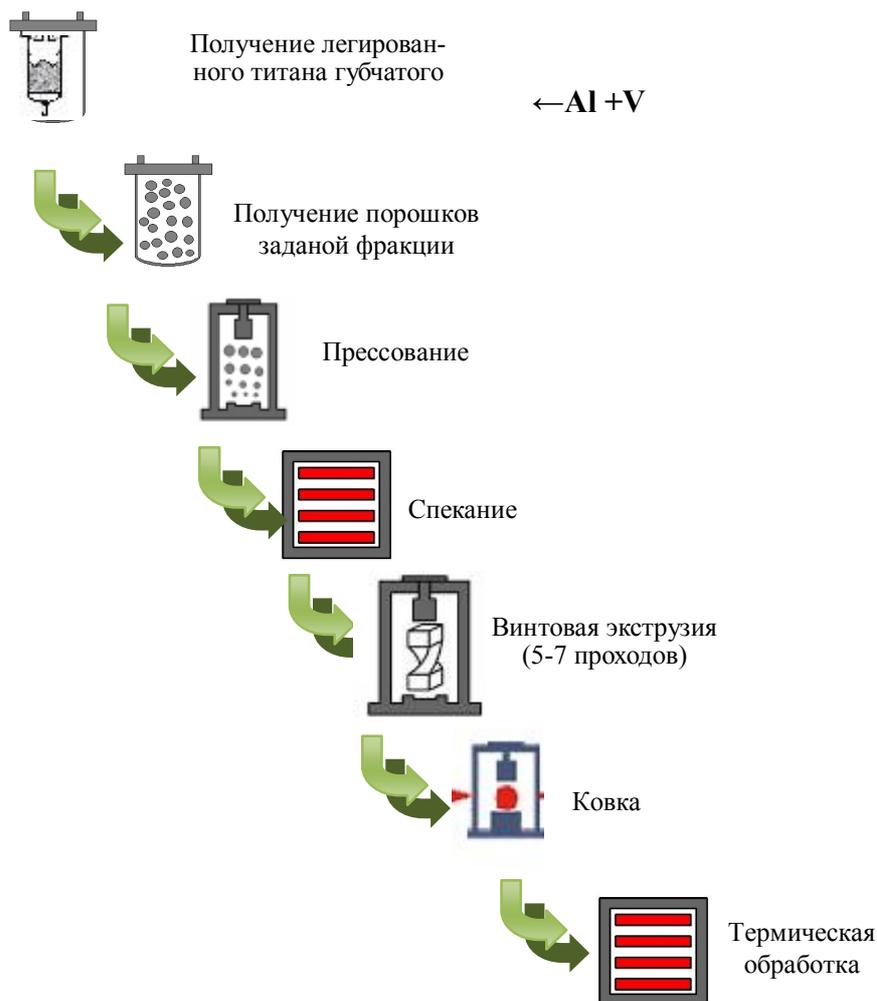


Рис. 1. Технологическая схема производства полуфабрикатов титановых сплавов

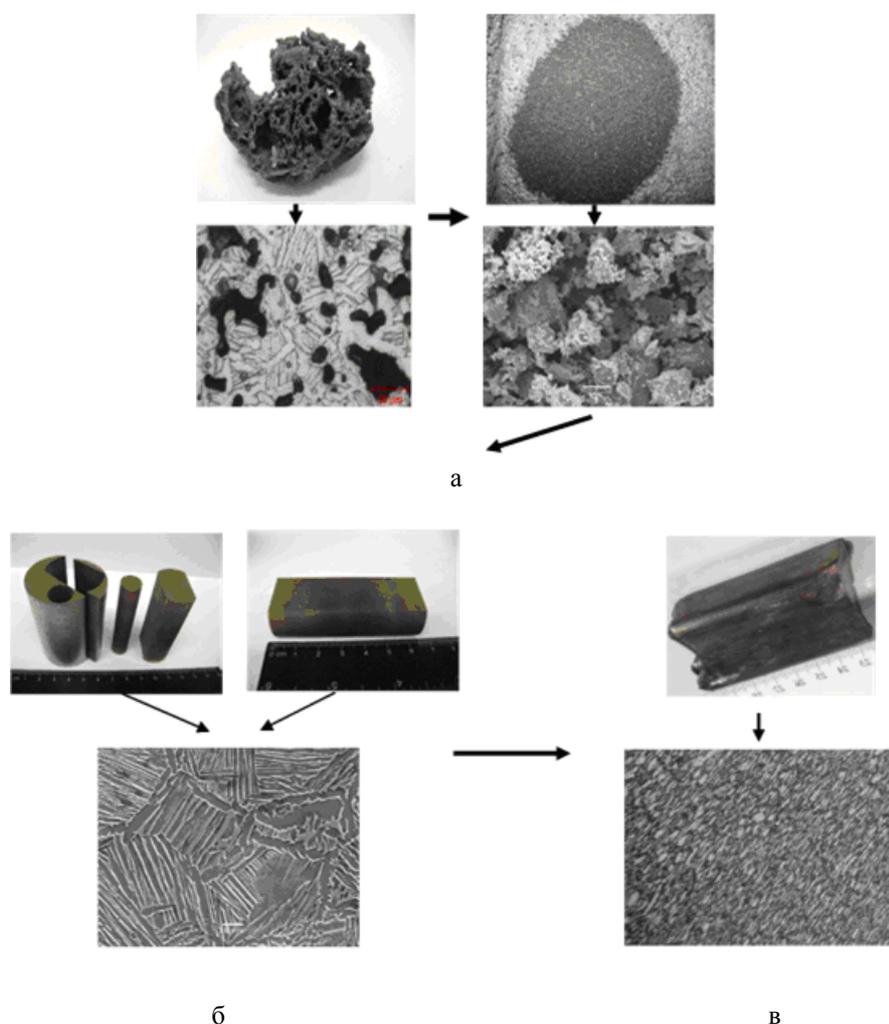


Рис. 2. Формирование SMK структуры в порошковом $\alpha+\beta$ -титановом сплаве:
 а – получение легированных порошков титана с заданным химическим составом;
 б – получение синтезированных заготовок методом ПМ;
 в – деформация полуфабрикатов методом ВЭ с последующей термической обработкой

После отсева легированных порошков, получили материал необходимой фракции, который прессовали, а потом спекали при температуре 1280 °С (рис. 2, б). Исследование структуры спеченных заготовок показало формирование характерной структуры для двухфазных сплавов с равномерным распределением легирующих элементов.

Известно, что одной из основных причин выхода из строя лопаток компрессора является нестабильность структурного состояния сплавов. Решение данной задачи связано с использованием технологии ИПД методом ВЭ, которая позволяет формировать SMK структуру в объемных заготовках с однородным распределением химических элементов в дисперсной структуре сплава за счет наличия большого количества межфазных границ (границ зерен, рис. 2, в). Это дает возможность не только стабилизировать структуру, но и получить стабильно высокий уровень механических свойств [8, 9].

Поэтому, для повышения уровня свойств спе-

ченных заготовок, реализовывали процесс деформации по режимам (табл. 1).

Анализ полученных результатов показал, что режимами ИПД, обеспечивающими деформацию заготовок без разрушения, являются режимы усл. № 2 и усл. № 4.

Электронномикроскопическое исследование при высоких разрешениях структуры сплава ВТ6 после 7-ти проходов ВЭ показало, что дробление структурных составляющих сопровождается образованием дислокационных сеток внутри частиц первичной α - фазы, что свидетельствует о дислокационном механизме дробления структуры в результате ИПД. Такая структура должна обеспечивать одновременно высокий уровень пластических и прочностных характеристик за счет уменьшения размера структурных составляющих с 15 до 1 мкм. Результаты механических испытаний (средние значения по 5-ти образцам) при нормальной и повышенной температурах, представлены в таблице 2.

Таблица 1

Технологические параметры ВЭ титановых заготовок

Усл. номер режима	Температура нагрева заготовки, °С	Давление прессования, МПа	Противодавление, МПа	Угол наклона канала матрицы β , град.	Кол-во проходов через винтовую матрицу до разрушения, n
1	700	2350	200	45	разрушение
2	825	2390	200	45	5
3	725	2350	200	60	разрушение
4	825	2390	200	60	7

Таблица 2

Механические свойства сплава ВТ6 в микро- и СМК состояниях

Сплав	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	σ_B^{400} , МПа
ВТ6(ПМ или спеченый)	960...1160	10...12	25...27	35...38	605...625
ВТ6+ИПД	1285...1305	7...8	32...35	35...37	395...410
ВТ6+ИПД+ТО	990...1010	8...9	39...41	34...45	685...700

Анализ данных таблицы 2 показал, что механические свойства сплава ВТ6 после ИПД и формирования СМК структуры превышали стандартные требования в 1,3 раза по пределу прочности и относительному удлинению, что обусловлено деформационным упрочнением и формированием однородной субмикроструктурной структуры.

Таким образом, применение титановых сплавов в СМК состоянии позволяет существенно повысить механические свойства при нормальной температуре 20°С без дополнительного легирования, однако имело место снижение относительного удлинения и прочности при повышенной температуре.

Кроме того, необходимо учитывать термодинамически нестабильное состояние СМК структуры после ВЭ, в связи с чем необходимо было стабилизировать структуру и обеспечить требуемый уровень прочности СМК титановых сплавов при повышенных температурах.

В связи с этим предложено стабилизировать структуру для повышения уровня прочности СМК титановых сплавов при повышенных температурах. С этой целью проведено термическую обработку структурированных образцов в виде отжига. В результате проведенных исследований, определен температурный режим термообработки сложнолегированного СМК титанового сплава (отжиг при 450°С), позволяющий не только стабилизировать структурное состояние сплава после ИПД, но и повысить пластичность, а также уровень кратковременной прочности при повышенной температуре (см. табл. 2).

Таким образом, в результате проведения комплекса исследований на примере сплава ВТ6 было предложено принципиально новое решение, позволяющее получить заготовку титанового сплава с

заданной СМК и регламентированной структурой и высоким уровнем механических свойств.

Выводы

1. Показана необходимость получения полуфабрикатов из титанового сплава ВТ6 с целью снижения себестоимости готовой продукции.

2. Разработана технологическая схема получения деформированных полуфабрикатов из титанового сплава типа ВТ6. Новая технологическая схема включает восстановление легированного титана губчатого, синтез заготовки сплава титана из порошков, деформационную обработку заготовки путем интенсивной пластической деформации и заключительную термическую обработку.

3. Показано, что применение опытной технологической схемы позволит снизить стоимость заготовок из титановых сплавов, и получать заготовки с повышенным уровнем механических свойств.

Литература

1. Чепрасов, А. И. Получение титано-ванадиевых лигатур из ванадий-содержащих полупродуктов титанового производства [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.03 / А. И. Чепрасов. – М. : МИСиС, 1983. – 27 с.
2. Получение титана с заданным содержанием кислорода [Текст] / С. И. Давыдов, В. Г. Шевченко, А. В. Овчинников [и др.] // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 5-6. – С. 6 – 10.
3. Янко, Т. Б. Дослідження хімічного складу та мікроструктури губчастого титану, отриманого за технологією комплексного легування алюмінієм та ванадієм [Текст] / Т. Б. Янко // Вісник національного технічного університету «ХПІ».

Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – X. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 11(1120). – С. 3-8.

4. К вопросу о приготовлении смесей TiCl₄-VCl₄ и перспективах производства титана, легированного ванадием [Текст] / С. А. Сидоренко, Т. Б. Янко, А. П. Яценко [и др.] // Ti-2013 в СНГ : труды конф., Междунар. конф., 26-29 травня 2013 г. – Донецьк, 2013. – С. 125–129.

5. Исследование структуры и механических свойств соединений титановых сплавов, полученных методом порошковой металлургии [Текст] / А. А. Скребцов, А. Г. Силиверстов, А. В. Овчинников [и др.] // Титан – 2010: производство и применение : тез. докл., Всеукр. науч.-техн. конф., 1-2 дек. 2010 г. – Запорожье, 2010. – С. 32–34.

6. Скребцов, А. А. Формирование свойств спеченного порошкового титана [Текст] / А. А. Скребцов, А. Е. Капустян, А. В. Овчинников // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. на-

уч. трудов Приднепровской гос. акад. строительства и архитектуры. – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – С. 221–223.

7. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации [Текст] / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов [и др.]. – Донецк, 2003. – 87 с.

8. Применение винтовой экструзии для получения субмикроструктурной структуры и гомогенизации титанового сплава BT3-1 [Текст] / Д. В. Павленко, А. В. Овчинников, А. Я. Качан [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 2. – С. 185–188.

9. Перспективы применения винтовой экструзии в авиадвигателестроении [Текст] / А. В. Овчинников, В. Н. Варюхин, Я. Е. Бейгельзимер [и др.] // Титан 2010: производство и применение : тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. 1–2 декабря 2010 г. – Запорожье, 2010. – С. 11–12.

Поступила в редакцию 3.05.2015, рассмотрена на редколлегии 23.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И. П. Волчок, Запорожский национальный технический университет.

РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАННОЇ ІМПОРТОЗАМІЩУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ЛОПАТОК КОМПРЕСОРУ

Ю. Ф. Басов, О. В. Овчинников, А. В. Михайлютенко, Т. А. Глотка

В роботі приведені результати досліджень, що направлені на розробку технологічної схеми виробництва напівфабрикатів титанових сплавів, які використовуються для виготовлення лопаток компресору. Виконано дослідження складу, структури і механічних властивостей сплаву BT6, отриманого по новій технологічній схемі, яка включає відновлення легованого титану губчатого, синтез заготовки сплаву титана із порошків, деформаційну обробку заготовки шляхом інтенсивної пластичної деформації та завершальну термічну обробку. Показано, що використання дослідної технологічної схеми дозволяє знизити вартість заготовки із титанових сплавів, і отримувати заготовки з підвищеним рівнем механічних властивостей.

Ключові слова: титан губчатий, порошок титану, пресування, спікання, деформація, структура, механічні властивості.

DEVELOPMENT OF INTEGRATED IMPORT-SUBSTITUTING TECHNOLOGY OF GETTING COMPRESSOR BLADE BLANKS

Yu. F. Basov, A. V. Ovchinnikov, A. V. Mykhailiutenko, T. A. Glotka

Results of researches directed on designing of new technological scheme of manufacturing of semifinished titanium alloys, which are used for making compressor blades, are shown in this work. Composition, structure and mechanical properties of BT6 alloy have been researched. This alloy have been received by using of a new technological scheme of manufacturing, which includes reduction of doped spongy titanium, blank synthesis with use of powders, deformation processing of blank by severe plastic deformation and final heat treatment. Application of experimental technological scheme allows to reduce COST OF blanks from titanium alloys and to get blanks with higher level of mechanical properties.

Keywords: spongy titanium, titanium powder, pressing, sintering, deformation, structure, mechanical properties.

Басов Юрий Федорович – канд. техн. наук, главный конструктор АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина.

Овчинников Александр Владимирович – д-р техн. наук, проф. каф. «Механика» НИЦ «Титан Запорожья», Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.

Михайлютенко Анатолий Васильевич – зам. гл. конструктора АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина.

Глотка Татьяна Анатольевна – ассистент каф. «Механика» НИЦ «Титан Запорожья», Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.