

**ПОВЫШЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ
ЖАРОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ25У**

Т. А. Глотка* асп., **М. Н. Перепелкина***, асп.,
Т. А. Коваленко**, к. т. н., инж., **В. Г. Шевченко***, к. т. н., доц.

** Запорожский национальный технический университет*

*** АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина*

Постановка проблемы. Анализ публикаций последних лет показал, что повышение механических и служебных характеристик титановых сплавов для ответственных деталей авиационных двигателей может быть обеспечено достижением субмикрористаллического (СМК) состояния, формируемого путем интенсивной пластической деформацией (ИПД) методом винтовой экструзии (ВЭ). Однако, на сегодняшний день известны данные о реализации ИПД преимущественно для α - и псевдо- α -сплавов [1-4].

Для высоколегированных ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов, содержащих вольфрам, молибден, алюминий, олово и цирконий, таких данных практически нет. Это связано с тем, что высоколегированные титановые сплавы являются трудно деформируемыми [5].

Поэтому повышение деформационной способности жаропрочного сплава ВТ25У, применяемого для изготовления максимально нагруженных деталей авиадвигателей, с целью эффективной реализации ИПД и достижения более высоких механических свойств является актуальной задачей.

Целью данной работы является повышение деформационной способности сплава ВТ25У.

Методика исследований. Исследовали сплав ВТ25У (основа – Ti; Al – 6,5%; Mo – 4,0%; Si – 0,2%; Zr – 3,5%; W – 1,0%; Sn – 1,5%) в двух структурных состояниях – деформированном крупнозернистом (поковки) и субмикрористаллическом (после ИПД). Деформацию осуществляли методом винтовой экструзии по технологии, разработанной ДонФТИ им. А.А. Галкина [3]. Температуру ИПД выбирали с учетом температуры полиморфного ($\alpha\leftrightarrow\beta$)-превращения сплава. Термообработку проводили в печи СНО 4,0×8,0×2,6/10. Точность измерения температуры составляла $\pm 5^\circ\text{C}$.

Микроструктурный анализ проводили с использованием оптического микроскопа «Observer.D1m» («Carl Zeiss») и растрового микроскопа РЭМ-106И при ускоряющем напряжении 20...30 кВ во вторичных электронах.

Микротвердость сплава ВТ25У в различных структурных состояниях определяли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76), кроме того, измеряли твердость по методу Роквелла (твердомер ТК-2).

Результаты исследований и их обсуждение. Заготовки из сплава ВТ25У с исходной крупнозернистой структурой подвергали ИПД методом ВЭ согласно режимам, приведенным в таблице 1.

В результате ИПД все образцы разрушились. При этом изменение режимов деформирования не обеспечило эффективной ИПД заготовок. Очевидным является тот факт, что разрушение заготовок связано со свойствами и структурным состоянием сплава ВТ25У.

Режимы ВЭ титановых заготовок

Сплав	Температура нагрева заготовки, °С	Угол наклона канала матрицы β , град.	Кол-во проходов через винтовую матрицу до разрушения, n
BT25У	700-750	45	≥ 2
	800-850	45	≥ 2
	700-750	60	≥ 2
	800-850	60	≥ 2

Так, микроструктура исходной заготовки состояла из α - и β -фаз величиной 10...15 мкм: зерна первичной α -фазы имели сферическую форму, β -фаза пластинчатого строения располагалась между зернами первичной α -фазы (рис.1). Судя по микроструктуре, последние стадии деформационного передела и термообработка поковки осуществлялись в ($\alpha+\beta$)-области вблизи температуры ($\alpha\leftrightarrow\beta$)-превращения.

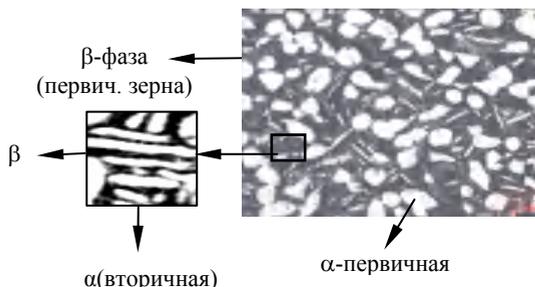


Рис. 1. Микроструктура исходных заготовок из сплава BT25У, $\times 1000$

Таким образом, в заготовках необходимо сформировать структуру с большей деформационной способностью, что смогло бы обеспечить реализацию нестандартного метода деформации – ВЭ для сплава BT25У.

Из литературных данных [5, 6] известно, что высокие показатели пластичности жаропрочных ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов могут быть достигнуты после закалки из ($\alpha+\beta$)-области с формированием α'' -фазы, а также после изотермического отжига, что обусловлено образованием более крупных частиц β -фазы, характеризующейся более высокой пластичностью по сравнению с α -фазой, и большим количеством β -фазы. При этом после изотермического отжига получают наиболее высокие пластические свойства при минимальных прочностных. Это обусловлено тем, что при охлаждении образцов из титановых сплавов, полиморфное ($\alpha\leftrightarrow\beta$)-превращение происходит путем роста уже существующих на первой ступени отжига частиц α -фазы и укрупнение частиц α -фазы обуславливает некоторое разупрочнение сплавов. Что касается второго вида термообработки, то снижение прочности после закалки можно объяснить фиксированием α'' -фазы с орторомбической кристаллической решеткой,

имеющей максимальное количество плоскостей скольжения и, как следствие, более высокую деформационную способность [5,6].

С целью получения более пластичной структуры, образцы из сплава ВТ25У, подвергали термической обработке: изотермическому отжигу и закалке, режимы которых приведены в таблица 2.

Таблица 2

Режимы термообработки сплава ВТ25У

№	Вид термообработки	Режимы термообработки
1	закалка	нагрев до 900°С, выдержка $\tau=1$ час, охлаждение в воде
2	изотермический отжиг	нагрев до 900°С, выдержка $\tau=1$ час, охлаждение с печью до 580°С, выдержка $\tau=1$, охлаждение на воздухе

Твердость исходных заготовок до термообработки составляла 38HRC. При первом варианте термообработки значения твердости образцов находились на уровне 27 HRC, при втором - показатели твердости остались на уровне 40 HRC.

Установлено, что твердость закаленных образцов на 8 % ниже твердости исходных заготовок, что можно связать с образованием α'' -фазы мартенситного типа. По микроструктурным признакам α'' -фаза имеет более тонкое строение, чем α' -фаза, и резко отличается от равновесной ($\alpha+\beta$)-структуры слабой травимостью (рис. 2 а).

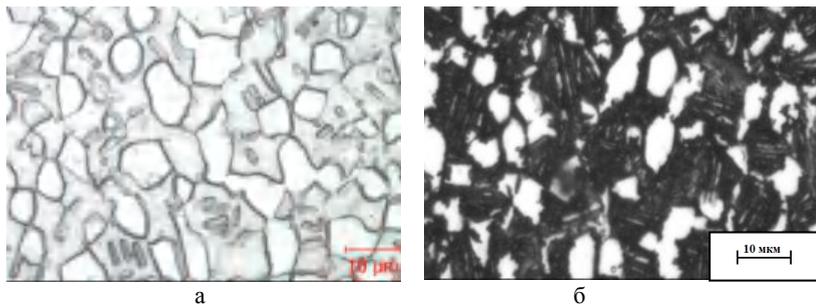


Рис. 2. Микроструктура образцов из сплава ВТ25У после термообработки по различным режимам ($\times 1000$): а – закалка; б – изотермический отжиг.

Особенности структурно-фазовых превращений при закалке можно объяснить следующим: при охлаждении с 900°С со скоростью выше критической протекает фазовое превращение, сопровождающееся меньшим, чем при образовании α' -мартенсита, смещением атомов в процессе бездиффузионной перестройки кубической решетки α -фазы в орторомбическую α'' -фазы.

Изотермический отжиг образцов из сплава ВТ25У проходил в два этапа. На первой стадии отжига наблюдали укрупнение зерен, их коагуляцию и сфероидизацию. На второй стадии происходило окончательное превращение метастабильных фаз в стабильную ($\alpha+\beta$)-структуру. В результате структура спла-

ва состояла из равноосных α - и β -фаз, при этом отмечалось увеличение количества β -фазы (рис. 2 б).

Структурные изменения сопровождались изменениями микротвердости (табл. 4).

Таблица 4

Результаты измерений микротвердости

Вид термо-обработки	№ образца	Число микротвердо-сти, МН/м ²	Среднее число микротвердости, МН/м ²
№1	1	2800, 3200, 3800	3200
	2	3000, 3200, 3700	3300
	3	3300, 3000, 3500	3200
№2	1	4300, 3500, 3400	3800
	2	3500, 3800, 3900	3700
	3	4200, 3900, 3800	4000

Результаты замеров показали, что при первом варианте термообработки значения микротвердости находились на уровне 3300 МН/м², после изотермического отжига - в пределах 3900 МН/м².

Таким образом, результаты исследований твердости, микротвердости и микроструктурного состояния сплава ВТ25У после различных видов термообработки показали, что наименьшей твердостью и соответственно большей пластичностью характеризовались образцы с α'' -структурой, полученные после закалки с 900°С.

В результате проведенных исследований разработан режим термической обработки сплава ВТ25У, который обеспечивает формирование более пластичной структуры и повышает деформационную способность сплава, что позволит реализовать ИПД методом ВЭ без разрушения заготовок.

Выводы:

1. Проведены исследования влияния термической обработки на структуру и свойства сплава ВТ25У.

2. В результате исследований установлено, что закалка с 900°С обеспечивает формирование более пластичной структуры, что обусловлено образованием α'' -фазы мартенситного типа. Это в свою очередь дает возможности дальнейших исследований по реализации ИПД методом ВЭ.

Список использованных источников

1. Технологические особенности изготовления лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов с применением винтовой экструзии / А. Я. Качан, А. В. Овчинников, Д. В. Павленко [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2012. – №1. – С. 92 – 97.
2. Валиев Р.З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Академкнига, 2003. – 397 с.
3. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов [и др.]. – Донецк: Фирма ТЕАН, 2003. – 87 с.
4. Добаткин С.В. Получение объемных металлических нано- и субмикроструктурных материалов методом интенсивной пластической деформации / С.В. Добаткин, А.М. Арсенкин, М.А. Попов [и др.] // МТМ. – 2005. – №5. – С.29 – 34.
5. Лючков А.Д. О деформируемости некоторых ($\alpha+\beta$)- и β -сплавов титана в холодном состоянии / А.Д. Лючков, Л.А. Ильвовская, В.И. Шевченко // Титановые сплавы для новой техники / Н.П. Сажин, И.И. Корнилов. – М., 1968. – С. 257-261.
6. Солонина О.П. Жаропрочные титановые сплавы / О.П. Солонина, С.Г. Глазунов. – М.: Металлургия, 1976. – 448 с.