

ЛОПАТКА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 С СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Костенко Е.А.¹

Руководитель – к.т.н. Малышева С.П.²

¹Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет,
г.Уфа

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г.Уфа
K-Kostenko@list.ru

Введение

Развитие науки и техники в последние годы связано с созданием и использованием материалов с субмикроструктурной (СМК) и нанокристаллической (НК) структурой. Известно [1], что получение СМК и НК структуры в полуфабрикатах из обычных конструкционных сплавов позволяет резко повысить их характеристики прочности, сверхпластичности, усталостной прочности, износостойкости и другие. Однако применение СМК и НК материалов для изготовления деталей авиационных двигателей имеет свои особенности, связанные с температурными условиями эксплуатации. В узлах, где температура эксплуатации не слишком высокая, используются титановые сплавы, среди которых наиболее распространен двухфазный сплав ВТ6.

Материал и методики исследований

В работе исследуется титановый сплав ВТ6 (Ti-6,5Al-5,1V) с СМК структурой, полученный всесторонней изотермической ковкой (ВИК). ВИК – это процесс, заключающий в себе последовательные операции осадки и протяжки при постепенном снижении температуры в интервале $T=800-630^{\circ}\text{C}$ со скоростью деформации 10^{-3}c^{-1} . В результате получают большие заготовки с однородной структурой в промышленном масштабе. В настоящей работе получены прутки длиной 140 мм диаметром 20 мм (рис.1а).



Рис.1. Внешний вид полуфабрикатов (а-исходный пруток, полученный ВИК; б–лопатка, полученная ИЗШ; в–лопатка после механической обработки).

Микроструктура образцов исследовалась с помощью оптического микроскопа «Аxiоvert - 100А» и просвечивающего электронного микроскопа JEM-2000EX. Размер зерен оценивался по темнопольным изображениям. Механические свойства при растяжении измерялись на цилиндрических образцах с размерами рабочей части $\varnothing 3 \times 18$ (мм) на машине Инстрон при

комнатной температуре. Измерение микротвердости осуществляли на приборе ПМТ-3М.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис.2а представлена микроструктура исходного прутка сплава ВТ6. Наблюдается однородная микроструктура. Равноосные микрофрагменты и зерна имеют средний размер 0,6 мкм. Четкие границы зерен отсутствуют. В образце имеются значительные внутренние напряжения. Кольцевой вид электронограммы свидетельствует о значительном измельчении микроструктуры.

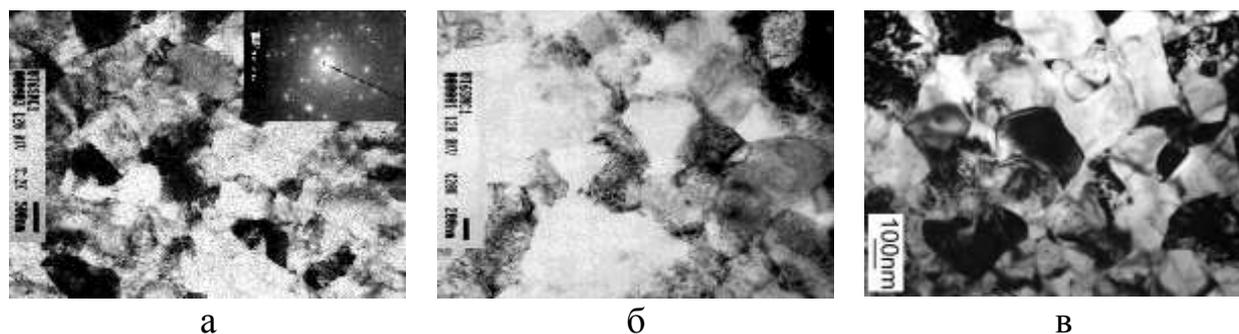


Рис.2. Микроструктура сплава ВТ6 (а - исходный пруток, б – лопатка после ИЗШ, в – лопатка после отжига при $T=620^{\circ}\text{C}$).

Методом изотермической штамповки (ИЗШ) при температуре 650°C изготовлена партия лопаток (рис.1б). Эта температура на 250°C ниже обычно применяемой при производстве этого типа лопаток. Использование сплава в СМК состоянии привело к ряду технологических проблем, связанных с непригодностью серийно используемой смазки, работающей $T \geq 850^{\circ}\text{C}$, и с недостаточным усилием пресса. Подбор новой смазки и штамповка в два этапа позволила решить отмеченные проблемы. На рис. 1в приведена лопатка после механической обработки.

На рис. 2б приведена микроструктура полуфабриката СМК лопатки. Она аналогична микроструктуре исходного прутка. В полуфабрикате имеются внутренние напряжения, которые могут привести к ее короблению. Для снятия остаточных напряжений необходим отжиг. Проведен эксперимент по подбору температуры отжига лопаток, для этого образцы отжигались в интервале температур $450-650^{\circ}\text{C}$ с шагом 50°C 2 часа. На рис.3 приведена зависимость изменения микротвердости лопатки от температуры отжига. В исходном состоянии микротвердость равна 4868 МПа, до температуры отжига 620°C микротвердость образцов практически не изменяется, при температуре 650°C происходит падение микротвердости. Поэтому для отжига выбрали температуру 620°C .

На рис.2в представлена микроструктура лопатки после отжига при $T=620^{\circ}\text{C}$. Внутренние напряжения в материале существенно уменьшились. Выявляются четкие границы зерен. Средний размер равноосных зерен чуть увеличился до 0,7 мкм.

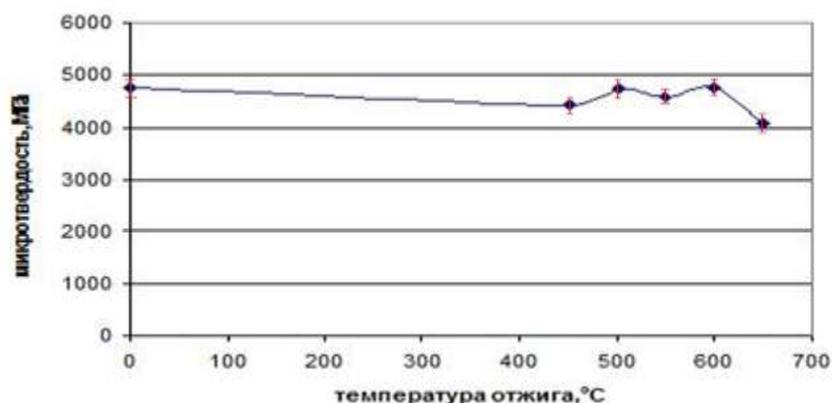


Рис.3. Изменение микротвердости полуфабриката лопатки при отжиге

Результаты механических испытаний исследованных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Механические свойства сплава ВТ6 в различных состояниях

Состояние	Микротвердость, МПа	Прочность σ_B , МПа	Пластичность δ , %
Исходный пруток	4868	1180	10
Полуфабрикат лопатки	4927	1226	15
Полуфабрикат лопатки + отжиг при $T=620^\circ\text{C}$	4471	1150	22
Лопатка, выпускаемая по серийной технологии	3257	980	10

Прочностные свойства (прочность и микротвердость) исследуемых образцов находятся примерно на одинаковом уровне и выше прочности лопатки выпускаемой по серийной технологии на 22%. Пластичность деформируемых образцов сравнимо с δ серийной лопатки, а отжиг приводит к существенному повышению пластичности.

Таким образом, лопатки из титанового сплава ВТ6 с СМК структурой обладают повышенными прочностными и пластическими свойствами. При этом температура изготовления лопаток на 250°C ниже обычно применяемой при производстве деталей из этого сплава, что дает значительную экономию электроэнергии, повышает коэффициент использования материала и позволяет перейти от дорогостоящей оснастки к обычным штамповым материалам. Полученные результаты свидетельствуют о больших перспективах практического применения титанового сплава ВТ6 с СМК структурой.

[1] Валиев Р.З, Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000, 271 с.