

УДК 669.295:621.78

Т. А. Глотка

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЛОЖНОЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Разработаны режимы предварительной термической обработки термоупрочненной заготовки из сплава ВТ25У, обеспечивающие повышение деформируемости сплава. Установлено, что формирование α'' - фазы повышает пластичность сплава по сравнению с исходным состоянием и дает возможность реализовать технологию интенсивной пластической деформации заготовок из сложнолегированных титановых сплавов типа ВТ25У.

Ключевые слова: закалка, изотермический отжиг, деформируемость, интенсивная пластическая деформация.

Актуальность исследований

Для повышения механических свойств роторных деталей газотурбинного двигателя (ГТД) из жаропрочных титановых сплавов все чаще применяют технологию интенсивной пластической деформации (ИПД). Методами ИПД (в частности, винтовой экструзией) получают субмикроструктурные (СМК) материалы с размером зерен 0,1...0,2 мкм и специфической субструктурой, содержащей решеточные и зернограничные дислокации.

По мнению ряда авторов [1–3], такая структура характеризуется большими упругими искажениями кристаллической решетки и обеспечивает в конструкционных материалах одновременно высокий уровень пластических и прочностных характеристик за счет напряженных высокоугловых зерен.

Но для сложнолегированных титановых сплавов типа ВТ25У, из-за низкой пластичности, проведение технологии ИПД затруднено.

Известно [4, 5], что повышению деформируемости титановых сплавов после закалки способствует образование α'' - фазы мартенситного типа. С другой стороны, после проведения изотермического отжига обеспечиваются наиболее высокие пластические свойства при минимальных прочностных характеристиках, что обусловлено образованием более крупных частиц пластичной β - фазы и большим ее количеством.

В то же время, режимы термообработки ($\alpha+\beta$ - титановых сплавов разработаны для стадий технологической обработки слитков в деформированные заготовки с конечной операцией упрочнения заготовок авиационного назначения. Нормативных режимов для обработки конечной заготовки с целью обеспечения большей пластичности нет.

Поэтому, цель работы заключалась в определении влияния режимов термической обработки на способность к деформированию сложнолегированных титановых сплавов для проведения ИПД.

Материалы и методики исследований

Заготовки из сплава ВТ25У подвергали термической обработке в электрической печи СНВ 4,0×8,0×2,6/10. Для контроля температуры в рабочем пространстве печи применяли хромель-алюмеливую термопару типа «ТХА» (ГОСТ 3044–94), запись и регулировка температуры осуществлялась автоматическим потенциометром типа КСПЗ-П (ГОСТ 7164) с градуировкой шкалы ХА68. Точность измерения температуры $\pm 2,5^\circ\text{C}$ (ГОСТ 6616–94).

Микроструктурный анализ деформированного титанового сплава проводили с использованием инвертированных микроскопов отраженного света «NEOPHOT-32» и «Observer.D1m» (фирма «Carl Zeiss, оснащенного окуляр-микрометром с линейкой (при увеличении 500 раз 1 деление = 2 мкм).

С помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-100CXII при ускоряющем напряжении 100 кВ исследовали структуру сплава ВТ25У после термообработки. При этом применялся двухосевой гониометр, позволяющий при отсутствии прецессии наклонять образец на угол до 45° . СМК структуру получали по технологии ИПД методом винтовой экструзии (ВЭ).

Результаты исследований

Известно, что деформируемость титановых сплавов зависит от структуры и фазового состава. Предварительные исследования деформирования образцов из сплавов типа ВТ25У по тех-

нологии ИПД показали, что происходит разрушение уже после 1–2 проходов через винтовой канал матрицы.

Использование различных видов термической обработки позволяет управлять кинетикой протекания фазовых превращений и процессом структурообразования в сложнолегированных титановых сплавах, и, как следствие, изменять механические свойства в довольно широких пределах. Руководствуясь исследованиями ряда авторов [6–8], для повышения деформационной способности сложнолегированных титановых сплавов проведено закалку (900 и 980 °С) и изотермический отжиг. Так как известно, что в закаленном состоянии $\alpha+\beta$ - сплавы обладают повышенной пластичностью (значительное снижение предела текучести, рост относительного удлинения и сужения), а изотермический отжиг способствует снижению твердости, повышению пластичности, устранению внутренних напряжений и стабилизации структуры.

По результатам измерения твердости образцов после различных видов термической обработки установлено, что более пластичными были закаленные образцы, полученные после закалки с 900 °С (рис. 1).

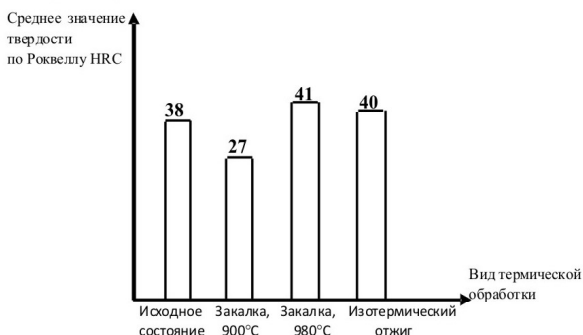


Рис. 1. Твердость образцов из сплава VT25U после термической обработки

Вероятной причиной повышения твердости закаленных образцов с 980 °С по сравнению с исходным состоянием могло стать формирование термодинамически нестабильной α' - фазы мартенситного типа. Эта фаза образуется внутри

зерен первичной β - фазы в виде тонких длинных игл, α' - фаза мартенситного типа имеет пластинчатое строение, пластины которой расположены почти параллельно с незначительной разориентировкой и состоят из вытянутых субзерен с большой плотностью дислокаций. Большая плотность дефектов и пластинчатое строение α' - фазы определяют высокую прочность титановых сплавов [9].

Для определения влияния различных видов термической обработки на пластичность сплава VT25U проводили исследования структурного состояния (рис. 2). Анализ структуры показал изменение морфологии структурных составляющих.

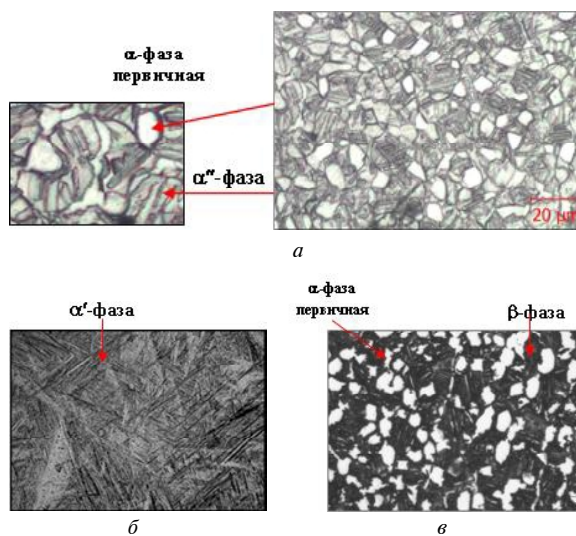


Рис. 2. Образцы из сплава VT25U после термообработки по различным режимам:

a – закалка с 900 °С, $\times 500$; *б* – закалка с 980 °С, $\times 500$; *в* – изотермический отжиг 900 °С, охлаждение с печью до 580 °С, $\times 1000$

Исследование структуры проводили также с использованием просвечивающего электронного микроскопа методом фольг (рис. 3). В структуре термообработанных образцов кроме стабильной α - фазы обнаружено наличие и метастабильных фаз – β и фаз мартенситного типа – α' - и α'' .

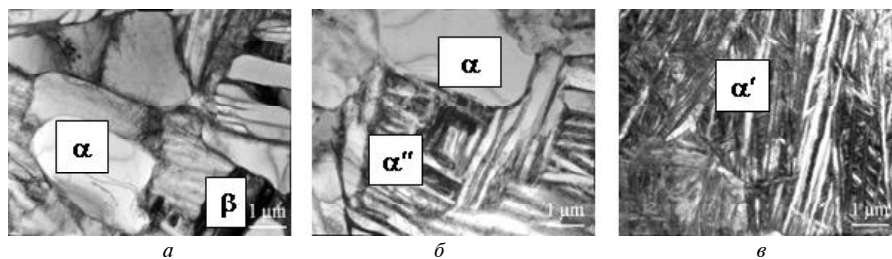


Рис. 3. Микроструктура сплава VT25U после термической обработки (ПЭМ, фольги):

a – изотермический отжиг 900 °С, охлаждение с печью до 580 °С; *б* – закалка 900 °С; *в* – закалка 980 °С

Как следует из анализа структуры, в образце из сплава ВТ25У, подвергнутого изотермическому отжигу, присутствуют только α - и β - фазы (рис. 3, а), тогда как на снимке закаленного с 900 °С образца, наряду с первичной α - фазой обнаружено наличие тонких пластинок α'' - фазы (рис. 3, б). При более высокой температуре закалки (980 °С) на снимках структуры сплава ВТ25У отчетливо видны мартенситные иглы α' - фазы (рис. 3, в).

Структура, полученная после закалки с 900 °С, представляла собой смесь небольшого количества α - фазы и тонких пластин α'' - фазы мартенситного типа. Фаза α'' по виду микроструктуры почти не отличается от α' , но имеет более мелкоиглообразное строение. Она образуется при закалке в результате меньшего, чем при образовании фазы α' , смещения атомов в процессе бездиффузионной перестройки кубической решетки в гексагональную. Поэтому, фаза α'' обладает более высокими значениями пластичности, что подтвердили результаты исследований микротвердости структурных составляющих. В соответствии с которыми, у фазы α'' значения микротвердости находились на уровне 3000 МПа, у β - фазы – 3500 МПа, у α' - фазы – 5500 МПа.

Таким образом, по анализу исследований твердости, микротвердости и микроструктурного состояния сплава ВТ25У разработано режим термической обработки, позволяющий повысить деформируемость сплава для проведения ИПД, в частности методом винтовой экструзии (ВЭ).

Дальнейшие исследования реализации технологии ИПД в сплаве ВТ25У позволили установить, что структурирование необходимо проводить по следующим режимам: угол наклона винтовой линии $\beta = 60^\circ$; количество проходов через винтовую матрицу – 7; температура нагрева заготовки 800 °С.

В результате формирования СМК структуры в закаленном титановом сплаве повышено предел прочности, предел выносливости при сохранении высокой пластичности.

Таким образом, проведение технологии ИПД в сочетании с предварительной термической обработкой сплава ВТ25У позволит управлять структурой, фазовым составом и морфологией фаз, следовательно, гарантирует высокие показатели механических свойств роторных деталей ГТД.

Выводы

1. Разработан режим предварительной термической обработки в виде закалки с 900 °С, позво-

ляющий повысить пластичность термоупрочненной заготовки из сплавов типа ВТ25У за счет формирования фазы α'' мартенситного типа.

2. Установлены технологические параметры деформирования закаленных сложнелегированных титановых сплавов: угол наклона винтовой линии $\beta = 60^\circ$; количество проходов через винтовую матрицу – 7; температура нагрева заготовки 800 °С.

3. Применение технологии ИПД позволяет получать сплавы с СМК структурой, что приводит к повышению механических свойств деталей роторной части ГТД, и, как следствие, увеличению срока эксплуатации всего двигателя.

Список литературы

1. Valiev R. Z. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation / Valiev R. Z., Islamgaliev R. K., Alexandrov I. V. // Prog. Mater. Sci. – № 45. – P. 103–109.
2. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – С. 222–228.
3. Головин Ю. И. Наноматериалы и нанотехнологии / Ю. И. Головин // Инженерный журнал. – 2006. – № 1. – С. 2–8.
4. Александрова Г. В. Пластичность метастабильных фаз в титановых сплавах / Г. В. Александрова, М. И. Ермолова, Н. Ф. Жебышева // ФММ. – 1986. – № 4. – С. 815–817.
5. Никольский Л. А. Горячая штамповка и пресование титановых сплавов / Л. А. Никольский, Фиглин С. З., Бойцов В. В. – М. : Машиностроение, 1975. – С. 86–150.
6. Вульф Б. К. Термическая обработка титановых сплавов / Б. К. Вульф. – М. : Металлургия, – С. 49–71.
7. Егорова Ю. Б. Прогнозирование механических свойств сплава ВТ23 после термической обработки / Ю. Б. Егорова, Ю. А. Попова, И. М. Куделина // Технология легких сплавов. – 2008. – № 3. – С. 34–39.
8. Колачев Б. А. Особенности структуры и свойств закаленных титановых сплавов / Б. А. Колачев, Ф. С. Мамонова, В. С. Лясоцкая // МиТОМ. – 1975. – № 8. – С. 52–56.
9. Локшин Ф. Л. К вопросу образования метастабильных фаз в титановых сплавах / Ф. Л. Локшин // МиТОМ. – 1966. – № 9. – С. 55–56.

Поступила в редакцию 20.05.2014

Глотка Т.А. Вплив термічної обробки на структуру і властивості складнолегованого титанового сплаву

Розроблено режими попередньої термічної обробки термічнозміцненої заготовки зі сплаву BT25Y, які забезпечують підвищення деформованості сплаву. Встановлено, що формування α'' -фази підвищує пластичність сплаву в порівнянні з вихідним станом і дає можливість реалізувати інтенсивну пластичну деформацію заготовок зі складнолегованих титанових сплавів типу BT25Y.

Ключові слова: *гартування, ізотермічний відпал, деформуємість, інтенсивна пластична деформація.*

Glotka T. Effect of heat treatment on the structure and properties of complex doped titanium alloy

Heat treatment modes of thermally hardened BT25Y alloy bar were worked out, which provided increasing of alloy deformability. It was ascertained that forming of α'' -phase raised alloy ductility as compared to initial condition and promoted realization of severe plastic deformation technology in bars of complexly doped titanium type BT25Y alloys.

Key words: *quenching, isothermal annealing, deformability, severe plastic deformation.*