

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ УМЗ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ TiAl

М. А. НИКИТИНА¹, Р. К. ИСЛАМГАЛИЕВ², В. Д. СИТДИКОВ³

¹ nik.marina.al@gmail.com, ² rinatis@mail.ru, ³ svil@mail.rb.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 04.06. 16

Аннотация. Работа посвящена изучению структуры и термической стабильности интерметаллидных сплавов на основе TiAl, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК). Особенности структуры ИПДК образцов изучены методом просвечивающей электронной микроскопии. Для исследования термической стабильности проведено изучение зависимости микротвердости от температуры отжига в диапазоне температур 150–1000°C. Обсуждается влияние термической обработки на стабильность зеренной структуры и микротвердость ИПДК образцов.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация; ультрамелкозернистая структура; интерметаллидные сплавы; прочность; пластичность.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время особый интерес вызывают интерметаллидные сплавы, содержащие упорядоченную кристаллическую решетку из различных атомов, связанных между собой металлической и ковалентной связью. Установлено, что наилучшим сочетанием свойств обладают интерметаллиды, состоящие из смеси γ -TiAl и α_2 -Ti₃Al, работающие при температурах 600–800°C. На их основе были разработаны интерметаллидные сплавы третьего поколения, дополнительно легированные ниобием и молибденом, получившие название сплавы TNM.

Однако эти сплавы обладают рядом недостатков, существенно ограничивающих их использование в промышленности, а именно хрупкость при комнатной температуре, высокая температура хрупко-вязкого перехода и низкая технологическая пластичность. Известно, что формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры способствует снижению температуры хрупко-вязкого перехода в труднодеформируемых материалах. Вместе с тем в последние годы были развиты новые подходы, ведущие к повышению пластичности при комнатной температуре в различных ультрамелкозернистых металлах в результате формирования бимодальной структуры и повышения параметра скоростной чувствительности напряжения течения. Все эти примеры позволяют ожидать устранения недостатков, присущих интерметаллидам

TNM, путем формирования в них ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры.

Известно, что структура интерметаллидных сплавов на основе TiAl характеризуется сложным фазовым составом, включающим в себя γ -TiAl с кристаллической решеткой L1₀, α_2 -Ti₃Al с решеткой DO₁₉ и β_0 с решеткой B2. Формирование УМЗ структуры может привести к изменению фазового состава, а также к повышению энергии и подвижности границ зерен. При этом ожидается, что эффекты упорядочения и выделения ультрадисперсных частиц будут сдерживать рост зерен при нагреве.

Поэтому особый интерес представляет изучение структуры и термической стабильности УМЗ образцов интерметаллидных сплавов на основе TiAl после дополнительных отжигов при различных температурах, что и являлось целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материала для исследований были выбраны интерметаллидные сплавы на основе TiAl, легированные ниобием, молибденом или хромом, химический состав которых представлен в Таблице 1.

Для измельчения зеренной структуры в интерметаллидах на основе TiAl была использована установка для интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК), оснащенная

Химический состав интерметаллидных сплавов на основе TiAl, ат.%, не более

	Ti	Al	Nb	Mo	Cr	B
1	основа	42,3	3,98	0,96	–	0,1
2	основа	44,97	1,28	–	1,7	0,2

бойками из жаропрочных сплавов для деформации в диапазоне температур 800–900°C.

Перед деформацией была проведена осадка при температуре 850°C на 30%. ИПДК обработку образцов с исходным диаметром 10 мм и толщиной 2,5 мм проводили под давлением 0,5 ГПа при температуре 850°C. Отжиги ИПДК образцов были проведены в диапазоне температур 150–1000°C, с шагом 50°C и выдержкой в течение 30 минут.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исходном состоянии структура интерметаллидного сплавов состояла из колоний со средним размером 30–20 мкм, состоящих из чередующихся пластин γ - и α_2 -фаз (рис. 1, а). При этом на границах колоний были выявлены скопления частиц, которые являются частицами β_0 фазы (светлый контраст) и γ фазы (темный контраст). Методом ПЭМ было установлено, что в результате обработки методом ИПДК в образцах сплава №1 образовалась бимодальная структура, в которой присутствуют равноосные зерна α_2 фазы со средним размером 250 нм (рис. 2). В структуре видны также колонии пластин γ - и α_2 фаз со средним межпластинчатым расстоянием 150–200 нм, объемная доля которых не превышала 70%.

Применение ИПДК при температуре 850°C способствовало формированию УМЗ структуры с объемной долей 70%. Сохранение пластинчатой структуры на остальной части ИПДК образцов, возможно, связано с неблагоприятной ориентацией плоскостей

скольжения в этих пластинах вследствие наличия кристаллографической текстуры. После отжига при температуре 800°C в сплаве № 1 размер зерна изменился незначительно с 250 до 350 нм (рис. 4, а). В сплаве №2 (рис. 4, б) наблюдается начало процесса рекристаллизации, субзеренные границы размером 300 нм соответствуют размеру зерна после ИПДК обработки.

На большей части структуры интерметаллидного сплава №2 наблюдали УМЗ структуру со средним размером зерна α_2 -фазы 300 нм (рис. 3, а). Вместе с тем на 30% поверхности образца были выявлены колонии пластин γ и α_2 фаз с межпластинчатым расстоянием 100–300 нм (рис. 3, б).

В исходном интерметаллидном сплаве №2 величина микротвердости имела значение 3500 МПа. После отжига при температурах 300–650°C наблюдали повышение микротвердости до 4000 МПа (рис. 5).

В УМЗ образцах обоих интерметаллидных сплавов №1 и №2 были выявлены более высокие значения микротвердости 6000 МПа и 4900 МПа соответственно (рис. 5), которые сохранились после отжига при температурах 850–1000°C.

Вместе с тем после отжига при температурах 300°C и 750°C наблюдали локальные повышения микротвердости. Первый пик при 300°C возможно связан с ростом внутренних упругих напряжений в условиях термической стабильной зеренной структуры при этой температуре.

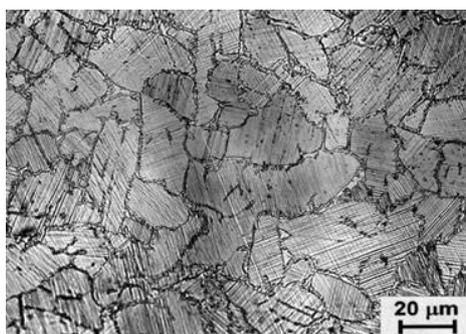


Рис. 1. Структура интерметаллидного сплава №1 в исходном состоянии

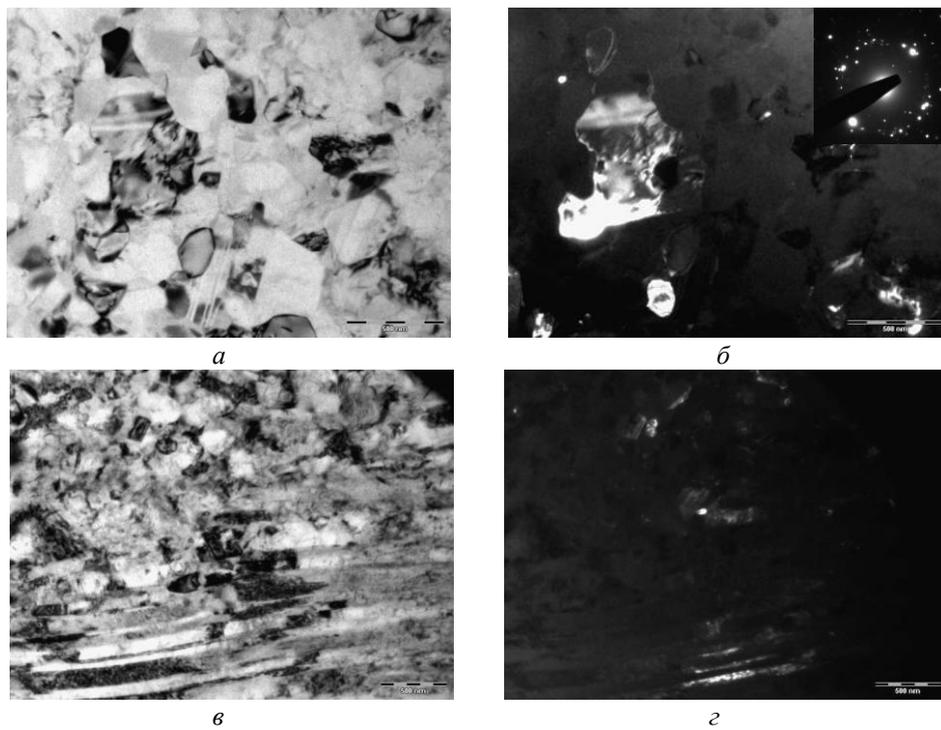


Рис. 2. Микроструктура интерметаллидного сплава №1 после ИПДК: области с равноосными зернами α_2 фазы: *а* – светлопольное изображение, *б* – темнопольное изображение; *в, г* – бимодальная структура: светлопольное и темнопольное изображения

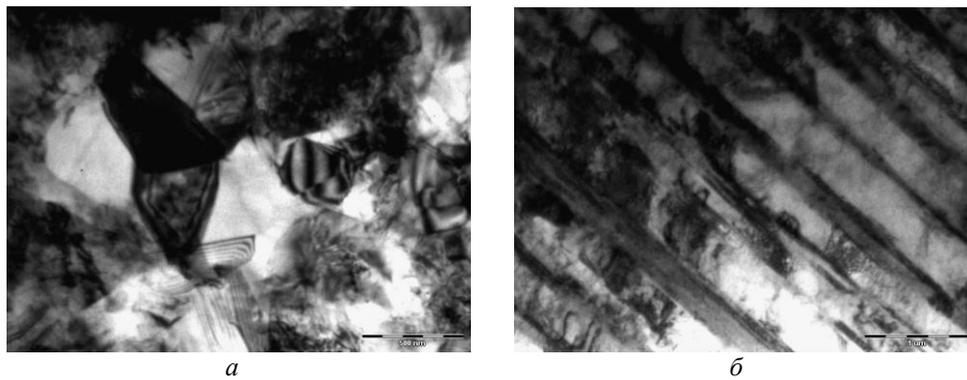


Рис. 3. Микроструктура интерметаллидного сплава №2 после ИПДК: *а* – области с равноосными зернами α_2 фазы; *б* – колония пластин γ - и α_2 фаз

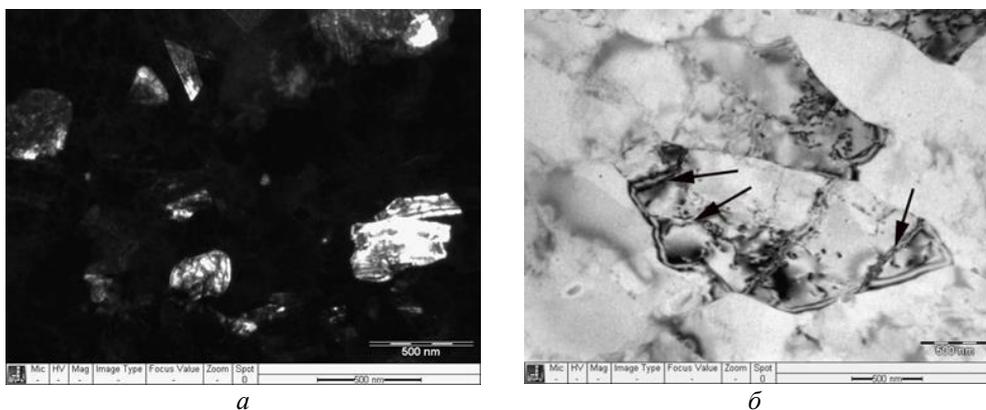


Рис. 4. Микроструктура сплавов после ИПДК обработки и дополнительного отжига при температуре 800°C в течение 30 мин: *а* – образец №1; *б* – образец №2. Стрелками обозначены субзеренные границы в отожженном образце с размером, равным размеру зерна после ИПДК

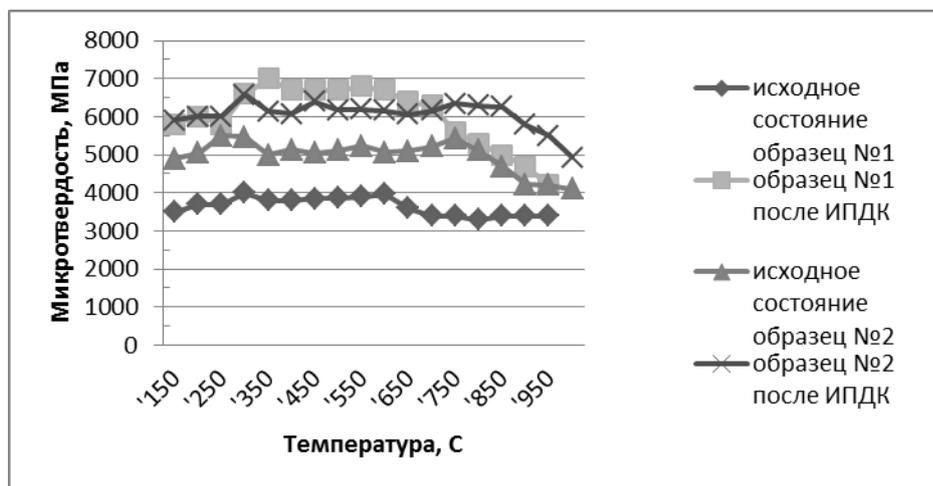


Рис. 5. Зависимость микротвердости интерметаллидных сплавов от температуры отжига в течение 30 мин

Второй пик при температурах отжига 750–800°C находится вблизи температуры перехода от глобулярной структуры к пластинчатой, при которой увеличивается содержание γ -фазы. Как показано на рис. 4, средний размер зерна не сильно изменился после отжига при 800°C, следовательно это не является главным в процессе уменьшения микротвердости после отжига. Поскольку микротвердость γ фазы равна ~ 5000 МПа имеет величину значительно меньшую по сравнению с микротвердостью α_2 фазы (~7500 МПа), то снижение микротвердости УМЗ сплава после отжига при температуре выше 800°C может быть вызвано увеличением содержания γ фазы.

Здесь следует отметить, что высокая термическая стабильность УМЗ структуры в интерметаллидных сплавах уже отмечалась в работах [1–2], в которых подчеркивалась важная роль упорядочения кристаллической решетки в сдерживании роста зерен при высоких температурах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продемонстрирована возможность применения ИПДК для измельчения зеренной структуры в интерметаллидных сплавах на основе TiAl. Установлено, что в результате деформации методом ИПДК формируется УМЗ структура с объемной долей 70% и средним размером зерен α_2 -фазы 250–300 нм, тогда как в остальной части образцов сохраняются колонии пластин γ и α_2 фаз с межпластинчатым расстоянием, лежащим в пределах 100–300 нм. Показано, что формирование УМЗ структуры способствует значительному повышению микротвердости на 40–50% по сравне-

нию с исходным состоянием. Повышенные значения микротвердости сохраняются в диапазоне температур 20–850°C, что свидетельствует о высокой термической стабильности УМЗ структуры.

Исследования были выполнены при поддержке РФФИ № 15-08-06163 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Imaev V.M., Imaev R.M., Oleneva T.I., Khismatullin T.G. Microstructure and mechanical properties of the intermetallic alloy Ti-45Al-6(Nb, Mo)-0.2B // Phys. Met. Metallogr. V. 106, 6 (2008) P. 641-648.
2. Koch C.C., Scattergood R.O., Darling K.A., Semones J.E.. Stabilization of nanocrystalline grain sizes by solute additions // J. Mater. Sci. V. 43 (2008) P. 7264-7272.

ОБ АВТОРАХ

НИКИТИНА Марина Александровна, дипл. инж.-технолог (УГАТУ 2005 г.) по специальности «Реновация средств и объектов материального производства», мл. науч. сотр. НИИ ФПМ. Иссл. в обл. ультрамелкозернистых сталей и сплавов на основе TiAl, полученных методами интенсивной пластической деформации.

ИСЛАМГАЛИЕВ Ринат Кадыханович, проф. каф. НТ факультета АТС УГАТУ. Физик, препод. (БГУ, 1980). Д-р. физ.-мат. наук по специальности «Физика конденсированного состояния» (ИФМК, 1999). Иссл. ультрамелкозернистых материалов и их свойств, полученных методами интенсивной пластической деформацией.

СИТДИКОВ Виль Даянович, науч. сотр. НИИ ФПМ УГАТУ, доц. каф. физики УГАТУ. Препод. физики и матем. (БГПУ, 2002). Канд. физ.-мат. наук по специальности «Физика конденсированного состояния» (ИФМК, 2011). Исследования в области рентгеноструктурного анализа структуры и кристаллографической текстуры объемных наноструктурных материалов.

METADATA

Title: Thermal stability of UFG TiAl-based intermetallic alloys

Authors: M.A. Nikitina, R.K. Islamgaliev¹, V.D. Sitdikov

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹nik.marina.al@gmail.com, ²rinatis@mail.ru,
³svil@mail.rb.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 2 (72), pp. 45-49, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract This paper deals with a study of the structure and thermal stability of intermetallic TiAl-based alloys subjected to high-pressure torsion (HPT). The structural features of the HPT-processed samples have been studied by transmission electron microscopy and X-ray diffraction. In order to study the thermal stability, the dependence of microhardness on the annealing temperature in a temperature range of 150-1000°C has been investigated. The effect of heat treatment on the grain structure stability and microhardness of the HPT-processed samples is discussed.

Key words: severe plastic deformation; ultrafine-grained structure; intermetallic alloys; strength; ductility.

About authors:

NIKITINA, Marina A., Dipl. Engineer (USATU 2005) in "Renovation of the means and facilities of material production", Junior Researcher at IPAM USATU. Research in the field of ultrafine-grained TiAl-based steels and alloys produced by severe plastic deformation.

ISLAMGALIEV, Rinat K., Professor of the Department of Nanotechnology in the Faculty of Aircraft Technology Systems of Ufa State Aviation Technical University. Physicist, lecturer (Bashkir State University, 1980). Doctor's Degree in Physics and Mathematics in the specialty "Physics of Condensed Matter" (Institute of Physics of Molecules and Crystals, 1999). Research on ultrafine-grained materials produced by severe plastic deformation, and their properties.

SITDIKOV Vil D., researcher at IPAM USATU, assistant professor at the Chair of Physics of USATU, lecturer of physics and mathematics (BSPU, 2002), Candidate of Physical and Mathematical Sciences in the specialty "Physics of Condensed Matter" (Institute of Physics of Molecules and Crystals, 2011). Research in the field of X-ray structural analysis and crystallographic texture of bulk nanostructured materials.