

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВИНТОВОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА VT1-0

Бетехтин В.И.¹, Колобов Ю.Р.², Голосов Е.В.², Кадомцев А.Г.¹, Кардашев Б.К.¹, Нарыкова М.В.³, Марков В.А.²

¹ УРАН, Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия. e-mail: Vladimir.Betekhtin@mail.ioffe.ru

² Научно-образовательный инновационный Центр «Наноструктурные материалы и технологии» БелГУ, г. Белгород, Россия. e-mail: kolobov@bsu.edu.ru

³ С.-Петербургский Государственный Политехнический Университет, г. С.-Петербург, Россия. e-mail: titovets@phmf.spbstu.ru

В настоящее время для получения металлов и сплавов с субмикроструктурной структурой и, как следствие, высокими механическими свойствами, широко используются различные методы интенсивных больших пластических деформаций. В данной работе изучались структурные особенности и механические свойства субмикроструктурного титанового сплава, полученного при поперечно-винтовой (ПВП) и радиально-сдвиговой (РСП) прокатки с использованием различных режимов деформации. Указанные методы интенсивной деформации позволяют получить широкий ассортимент промышленных изделий (листы, пластины, прутки разного диаметра и др.), однако очень большие (выше некой «критической» величины) степени деформации могут приводить к «разрыхлению» части изделия с образованием пор и трещин.

В данной работе рассмотрено влияние двух, существенно отличающихся по воздействию на структуру и механические свойства режимов РСП и ПВП.

При первом режиме исходные крупнозернистые заготовки сплава VT1-0 (размер зерен 22 мкм, диаметр заготовки 40 мм) подвергались РСП прокатке при 400 °С до диаметра 20 мм, затем продольной прокатке 400 °С до диаметра 9,5 мм и, в заключение, ПВП прокатке при комнатной температуре до диаметра 8 мм. При втором, более жестком режиме те же исходные заготовки подвергались РСП прокатке при 400 °С до диаметра 16 мм, а затем ПВП прокатке при комнатной температуре до диаметра также 8 мм. Образцы, полученные при указанных режимах прокатки для снятия внутренних напряжений отжигались при 350 °С в течении 3 часов.

Структурные исследования проводились с использованием растровой электронной микроскопии с определением размера и формы зерен и модифицированным методом малоуглового рентгеновского рассеяния (МРР), позволяющего оценивать параметры пониженной (например, нанопоры) и повышенной (выделения второй фазы и др.) плотности в диапазоне их размеров от нескольких до нескольких сот нанометров. Для идентификации природы неоднородностей методом МРР изучались образцы до и после воздействия высокого (~ 1,5 Кбар) гидростатического давления, которое эффективно влияет на неоднородности пустотной природы. Плотность и её распределение по всему объему заготовок определялась методом гидростатического взвешивания. Упруго-пластические свойства образцов (модуль Юнга E , декремент δ , напряжение микроструктурного течения σ_m) определялись акустическим резонансом методом составного вибратора на частоте 100кГц.

Прочность и пластичность образцов определялась при их растяжении при комнатной температуре на установке Inston 5882.

Электронномикроскопические исследования показали, что для первого режима интенсивной прокатки характерно образование однородной субмикроструктурной структуры. Зерна имеют глобулярную форму со средним размером $\approx 0,2$ мкм. Плотность на всех участках заготовок оказалась одинаковой и по данным более десятков измерений составила $4,548 \pm 0,001$ г/см³. Так как плотность исходных (до прокатки) заготовок $4,551 \pm 0,006$ г/см³, относительное разуплотнение образцов после первого режима прокатки очень небольшое $\sim 6 \cdot 10^{-4}$. Анализ данных показал, что при данном режиме прокатки наноразмерных неоднородностей пустотной природы практические не наблюдается.

При втором режиме прокатки образуется неоднородная субзеренная структура со средним размером $\approx 1,2$ мкм. Измерения плотности выявило наличие областей, близких по плотности исходной заготовке ($4,551 \pm 0,002$ г/см³) и областей с существенно более низкой плотностью ($4,508 \pm 0,003$ г/см³), относительное разуплотнение которых по сравнению и исходным состоянием составило $\sim 9 \cdot 10^{-3}$. Анализ данных МРР показал, что эти разуплотненные области содержат высокую концентрацию нанопор размером ≈ 20 нм.

Результаты механических испытаний для образцов двух версий сведены в таблицу.

Состояние	Предел прочности МПа	Удлинение до разрыва, %	Модуль Юнга	$\delta \cdot 10^{-5}$
Исходное	460	34	108,04	39
Режим 1	930	16	107,78	416
Режим 2	650	10	105,81	205
			107,56	210

Низкое значение E режима 2 относится к области пониженной, а высокое - повышенной плотности. Отметим, что ранее было показано, что введение нанопористости ведет к уменьшению E субмикроструктурного сплава алюминия [3].

В работе изучались также образцы сплава титана, полученного [1, 2] при прокатке (400 °С) до диаметра 16 мм (исходный, как и в других двух режимах – 40 мм), затем продольной прокатке при 400 °С до диаметра 12 мм, и, в заключение ПВП прокатке при комнатной температуре до 8 мм. После указанного режима средний размер зерен был $\sim 0,3$ мкм, при этом встречались крупные зерна $\sim 0,7 - 0,8$ мкм. Предел прочности этих образцов составлял 910 МПа, а удлинение 13%. Определялся также модуль Юнга, плотность и нанопористость образцов этой серии.

Проводится анализ полученных данных с учетом результатов структурных исследований.

Делается вывод, что при определенных режимах интенсивной пластической деформации (к примеру, режиме 1) данный метод получения субмикроструктурной структуры имеет ряд преимуществ перед методом равноканального углового прессования.

В частности, при некоторых режимах РКУП для образцов титана [4], алюминия и его сплавов [3, 5, 6] образуется нанопористость, которая может уменьшить или полностью нивелировать эффект упрочнения за счет образования субмикроструктурной структуры.

В тоже время, общим для двух способов ИПД, т.е. интенсивной пластической деформации (РКУП и винтовая прокатка), является определяющее влияние нанопористости, образующейся в процессе ИПД, на долговечность при испытании субмик-

рокристаллических образцов в режиме ползучести или усталости. Чем выше исходная (после ИПД) нанопористость, тем меньше оказывается долговечность. При этом характеристики кратковременной прочности (микротвердость, предел текучести) практически не чувствительны к негативному влиянию нанопористости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-02-00596-а).

1. Ю.Р. Колобов. Технологии формирования структуры и свойств титановых сплавов для медицинских имплантантов с биоактивными покрытиями // Российские нанотехнологии, 2009, - №11-12.
2. Ю.Р. Колобов, А.Г. Липницкий., М.Б. Иванов, Е.В. Голосов. Роль диффузионно-контролируемых процессов в формировании структуры и свойств металлических наноматериалов // Композиты и наноструктуры. – 2009. - №2.- с.5-32.
3. В.И. Бетехтин, V. Sklenicka, I. Saxl, А.Г. Кадомцев, Б.К. Кардашев, М.В. Нарыкова. ФТТ, т.52, в.8., с.1517-1523 (2010).
4. R. Lapovok, D. Tomys, J. Mang, Y. Estrin, T.C. Lowe. Acta Mater. V.57, issue 10, 2009.
5. V.I. Betekhtin, A.G. Kadomtsev, P. Kral, J. Dvorak, M. Sloboda, I. Saxl, V. Sklenicka. Mater. Sci. Forum. V. 567-568, 93, 2008.
6. В.И. Бетехтин, А.Г. Кадомцев. Перспективные технологии и методы контроля, УО «ВГТУ», Витебск, с.68-85, 2009

НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ БИМЕТАЛЛОВ

Марукович Е.И., Брановицкий А.М.

ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», г. Могилев, Беларусь, info@itm.by

В последнее время, в общем объеме исследований металлов и сплавов, доля работ направленных на создание новых биметаллических полуфабрикатов и технологий их производства значительно возросла. В промышленности повышается спрос на композиции устойчивые к истиранию, агрессивным средам, обладающие антифрикционными свойствами, слоистые электротехнические материалы и др. Способы получения биметаллических заготовок, такие как литье, деформация в холодном и горячем состоянии, сварка, наплавка, напыление и ряд других не всегда отвечают современным требованиям научно-технического прогресса. Сложность получения требуемого качества соединения металлов, низкая экономическая эффективность в условиях массового производства, высокие затраты на подготовку лакируемой поверхности сдерживают широкое использование биметаллов в промышленности. Для решения задачи предлагается способ получения биметаллических заготовок, в котором соединение металлов происходит в жидкофазном состоянии в процессе непрерывного литья, при этом отпадает необходимость в подготовке поверхности металла основы, применении защитных газовых сред, раскисляющих и межфазово-активных компонентов, предварительном нагреве. Высокая активность металлов при температурах плавления, чистота взаимодействующих поверхностей создают условия для активного протекания диффузионных процессов, что позволяет достичь высокого качества соединения компонентов.

Для производства прямоугольных и цилиндрических двухслойных заготовок методом непрерывного горизонтального литья разработаны устройства [1]. Схема