

PACS: 81.40.-z

В.В. Столяров¹, Х.Ш. Салимгареев¹, Е.П. Сошникова¹,
Я.Е. Бейгельзимер², Д.В. Орлов³, С.Г. Сынков², А.Ю. Решетов²

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТИТАНА VT1-0

¹Институт физики перспективных материалов, Уфимский государственный
авиационный технический университет
Россия, 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

²Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
Украина, 83114, г. Донецк, ул. Р. Люксембург, 72

³Донецкий национальный технический университет
Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния комбинированной обработки давлением на структуру и свойства титана VT1-0. На первой стадии обработки образцы подвергались винтовому прессованию (ВП), после чего производилась прокатка темплетов, вырезанных из этих образцов. Показано, что прокатка после ВП значительно увеличивает прочностные характеристики в продольном направлении, приближая к значениям в поперечном направлении, а пластичность даже превышает исходную величину. При этом анизотропия механических свойств в зависимости от направления уменьшается по сравнению с состоянием до прокатки, что говорит о перспективности выбранной комбинации деформационной обработки.

Известно, что история деформирования металлов во многом определяет преобразование их структуры. Наиболее интересные эффекты наблюдаются при интенсивных деформациях [1]. После того как были созданы методики, позволяющие достичь высоких степеней деформации без конечного формоизменения образцов [1,2], появилась возможность «вывести» материал в область больших деформаций, а затем изучить эволюцию его структуры и свойств при разнообразных последующих нагружениях. Такие исследования представляют как теоретический, так и практический интерес. Первое обусловлено тем, что проясняет механизмы деформации материалов в экстремальных условиях, второе – тем, что заготовки, полученные методами интенсивной деформации, должны быть подвержены последующей обработке с целью получения конечных изделий.

В настоящей работе представлены результаты исследований в указанном выше направлении. Изучалась эволюция структуры и механических свойств

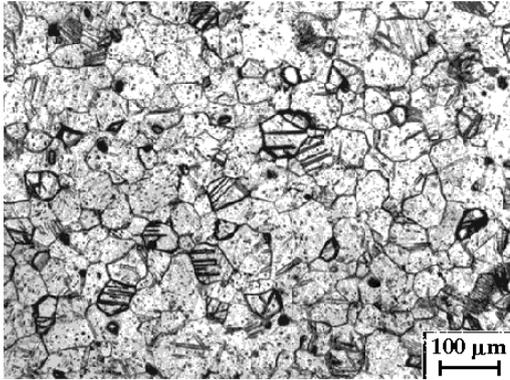


Рис. 1. Исходная структура титана VT1-0

технически чистого титана VT1-0 при двухстадийной деформации. На первой стадии образцы подвергали ВП [2,3], что позволяло достигать больших степеней деформации. После ВП производили прокатку темплетов, вырезанных из этих образцов. Как ВП, так и прокатку осуществляли при комнатной температуре. Исследовали структуры титана (рис. 1), его прочностные и пластические характеристики.

Принципиальная схема установки для гидромеханического ВП приведена на рис. 2.

При прессовании заготовка 1 продавливается через винтовую матрицу 2 с помощью плунжера 3. Канал матрицы 4 схематически показан в виде зачерненного прямоугольника. Матрица и заготовка размещаются в контейнере 5, имеющем две соединенные между собой камеры 6 и 7. В этих камерах находится жидкость под высоким (порядка 500–1000 МПа) давлением, которое создается путем сжатия жидкости плунжером.

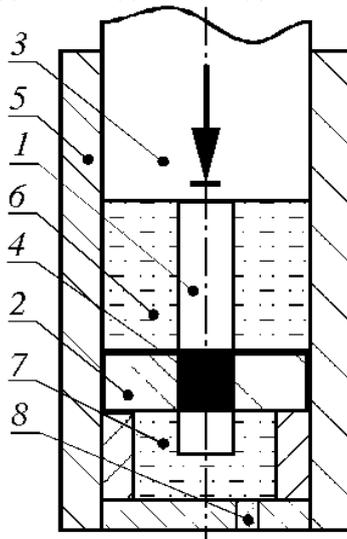


Рис. 2. Схема установки для гидромеханического ВП

В камере 7 имеется клапан 8, позволяющий поддерживать постоянное давление жидкости. В результате одного цикла прессования заготовка перемещается из камеры 6 в камеру 7, а плунжер достигает матрицы. После этого плунжер поднимается, матрица с заготовкой переворачиваются так, что заготовка опять оказывается сверху матрицы, т.е. в камере 6. Затем осуществляется следующий цикл прессования и т.д. Высокое гидростатическое давление жидкости повышает технологическую пластичность металла и позволяет накапливать большие деформации без разрушения образца.

В качестве рабочей жидкости использовали индустриальное масло И-20.

Винтовая матрица имела следующие параметры: сечение 14×16 мм, угол наклона винтовой линии к оси прессования 60°, высота рабочей части 15 мм, высота калибрующего пояса 12 мм. Согласно [2] эквивалентную деформацию при ВП можно оценить по следующей формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \gamma_{\max} \cdot$$

Таким образом, в нашем случае эквивалентная деформация за один цикл составляла $\varepsilon_i \approx 2$.

В табл. 1 приведены механические свойства ВТ1-0 после трех циклов ВП.

Таблица 1

Механические свойства образцов титана ВТ1-0
после деформации ВП

№ п/п	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	HV, МПа	ТО (отжиг 300°C, 1 h)	Направление вырезки образцов	База, mm	
Исх. пост.	470	400	30	1850	Исх. сост.	Продольное	25	
1	882	800	15	2660	Без ТО	Поперечное	5	
2	790	725	19					
3	830	741	38	2480	После ТО			
4	900	733	37					
5	541	486	12	2170	Без ТО	Продольное	12	
6	471	440	13					
7	473	417	15	1920	После ТО			
8	523	465	15					
9	–	–	–	2590	Без ТО			–
10	–	–	–	2600				Поперечное

Примечания: 1. Исходное состояние – горячекатаный пруток.

2. На образцах 9 и 10 твердость измерялась на поверхностях заготовок.

На рис. 3 представлены структуры титана ВТ1-0 после ВП. Для просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) использовали электронный микроскоп JEM-100В. Образцы для ПЭМ были получены электроискровой вырезкой пластинок толщиной 0.8–1.0 mm в продольном сечении относительно главной оси образца. После механического утонения из пластинок электролитическим методом изготавливали тонкие фольги. Микроструктуру фольг исследовали с ускоряющим напряжением 100 kV в светлоскопическом изображении.

Из табл. 1 видно, что после деформационной обработки наблюдается значительная анизотропия свойств в продольном и поперечном направлениях. Так, в направлении, параллельном оси заготовки, прочностные характеристики выросли незначительно при снижении пластичности почти в два

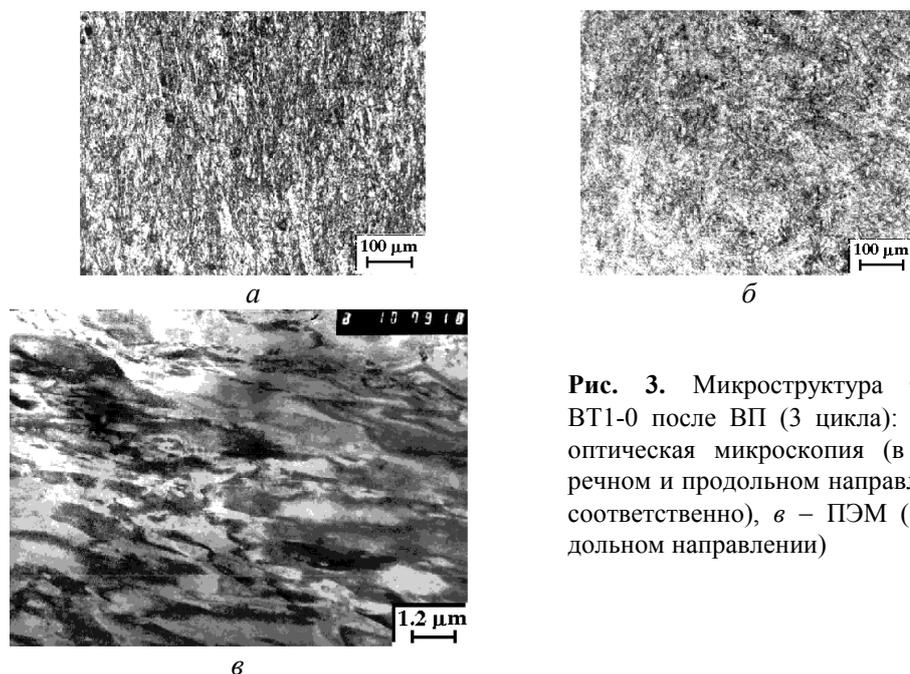


Рис. 3. Микроструктура титана VT1-0 после ВП (3 цикла): *а, б* – оптическая микроскопия (в поперечном и продольном направлениях соответственно), *в* – ПЭМ (в продольном направлении)

раза (образцы 5, 6), влияние термообработки (ТО) оказало слабое воздействие (образцы 7, 8). В направлении, перпендикулярном оси заготовки, пределы текучести и прочности титана выросли почти вдвое (образцы 1, 2), уровень пластических характеристик снизился от 30 до 15–19%. Низкотемпературный (300°C) отжиг в течение 1 h привел к росту как прочностных, так и пластических характеристик (образцы 3, 4). Интересен тот факт, что уровень δ стал даже выше (увеличился от 30 до 37–38%), чем в исходных образцах.

Наряду со значительным изменением механических свойств титановой заготовки, рис. 3 иллюстрирует также изменение кристаллической структуры. Средний размер зерен уменьшился от $\sim 25 \mu\text{m}$ в исходном состоянии до $\sim 1 \mu\text{m}$ и менее после ВП.

В продольном сечении (рис. 3,в) структура является фрагментированной. Наблюдается смешанная структура, состоящая из пластин и равноосных фрагментов.

Из заготовки, прошедшей деформацию ВП (3 цикла), вырезали в продольном направлении пластину размерами $30 \times 15 \times 2.5 \text{ mm}$, которую прокатали в этом же направлении в цилиндрических валках диаметром 100 mm за несколько циклов до степени деформации 50%.

Для проведения механических испытаний на растяжение из прокатанной пластины вырезали плоские гантелеподобные образцы в направлениях, продольном и поперечном относительно прокатки, с рабочими размерами $5 \times 2.5 \times 0.7 \text{ mm}$.

Механические испытания проводили при комнатной температуре на динамометре «Инстрон» со скоростью перемещения траверсы 0.5 mm/min .

Таблица 2
Механические свойства титана BT1-0 после комбинированной обработки

Состояние образцов	Направление вырезки образцов	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
Винтовое прессование + холодная прокатка	Поперечное	795	760	27
	Продольное	780	750	30

Усредненные результаты по трем образцам сведены в табл. 2. Как видим, прокатка после деформации винтовым прессованием значительно увеличивает прочностные характеристики в продольном направлении, приближая к значениям в поперечном направлении, а величины удлинения даже превышают исходные. При этом анизотропия механических свойств в зависимости от направления уменьшилась (практически исчезла) по сравнению с состоянием до прокатки, что говорит о перспективности выбранной комбинации деформационной обработки.

Работа выполнена при поддержке гранта президента Украины для одаренной молодежи № 22.

1. Р.З. Валиев, И.В. Александров, Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией, Логос, Москва (2000).
2. Я.Е. Бейгельзимер, Д.В. Орлов, в зб.: Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ (2002), с. 235–244.
3. Y. Beygelzimer, D. Orlov, V. Varyukhin, in: Proc. of TMS Annual Meeting in Seattle, WA, Feb. 17–21, 2002, p. 297–304.

V.V. Stolyarov, Kh.Sh. Salimgareyev, E.P. Soshnikova, Ya.E. Beygelzimer, D.V. Orlov, S.G. Synkov, A.Yu. Reshetov

STRUCTURE AND PROPERTIES OF TITANIUM BT1-0 UNDER COMBINED PLASTIC WORKING

The results are given of experimental investigations of structure and properties of titanium BT1-0 under combined plastic working. At the first stage, the samples were subjected to twist extrusion (TE), next the templates cut from the same samples were rolled. The TE followed by rolling is shown to considerably improve the strength characteristics in longitudinal direction making them closer to values in transverse direction, whereas the plasticity is even higher than the initial one. Moreover, anisotropy of the mechanical properties decreases, depending on the direction, as compared to the prerolling state, thus speaking of the combined deformational treatment as a prospective one.

Fig. 1. Initial structure of titanium BT1-0

Fig. 2. Schematic showing of the plant for hydromechanical twist extrusion

Fig. 3. Microstructure of titanium BT1-0 after TE (3 cycles): *a*, *б* – optical microscopy (cross- and longitudinal sections, respectively), *в* – TEM (longitudinal section)