



УДК 539.4.015:382.4

Н.В. Камышанченко, И.Н. Кузьменко, И.С. Никулин, М.С. Кунгурцев (БелГУ),
И.М. Неклюдов, О.И. Волчок (НИИ "Харьковский физико-технический институт")
E-mail: Nikulin@bsu.edu.ru

Температурная зависимость механических свойств титана марки ВТ1-0

Изучены влияния механического и температурного воздействий на структуру и механические свойства титана ВТ1-0. Выявлено, что формирование макроструктуры при нагреве выше температуры полиморфного превращения определяется как температурой нагрева, так и скоростью последующего охлаждения. Установлено, что титан марки ВТ1-0 независимо от способа обработки относится к группе α -сплавов.

Ключевые слова: титан, прокатка, отжиг, механические свойства, скольжение, двойникование.

The research was aimed at the mechanical and temperature influence on the structure and mechanical properties of VT1-0 titanium. Macrostructure formation during the heating above the temperature of polymorphic transformation is determined both by the heating temperature and the following cooling rate. According to the X-ray results VT1-0 titanium, despite the method of treating, belongs mainly to the group of α -alloys.

Keywords: titanium, rolling, annealing, mechanical properties, glide, twinning.

Введение

Текстура, сформированная в процессе интенсивной пластической деформации, оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики деталей, изготовленных из технического чистого титана. В частности, уровень механических параметров, их анизотропия, особенности протекания процесса деформации и разрушения во многом определяются структурным состоянием.

Установлено, что формирование структуры титана и механические свойства, формируемые в процессе пластического деформирования, определяются в основном механизмом двойникования [1]. При этом двойникование преимущественно развивается по плоскостям {101}, {102}, {112} [2, 3]. С развитием деформации обнаружены изменения угла разориентации на границах зерна с последующим превращением двойниковых границ в произвольные [4]. Эти закономерности еще больше усугубляются в титане в результате последующего температурного воздействия.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования использовали технически чистый титан марки ВТ1-0 с исходным размером зерна 100 мкм и содержанием примесей не более, % мас.: 0,3 Al; 0,3 Fe; 0,1 Si; 0,20 O; 0,07 C;

0,04 N; 0,01 H; прочие – 0,3. Титан подвергался поэтапной прокатке при температуре 773 К с обжатием в интервале скоростей $10^{-4} \dots 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ до 40, 60, 80 % с толщиной образца соответственно 1,5; 0,8; 0,4 мм.

Из прокатанных листовых заготовок электроэрозионным способом на установке Sodick AQ 300L вырезали образцы вдоль направления прокатки для одноосного растяжения с длиной рабочей части 12 мм. Из полученных образцов отбирали первую партию для последующего испытания. Вторую партию составили образцы, подвергнутые для снятия внутренних напряжений, образованных в процессе деформации, неполному отжигу при температуре 823 К в течение 1 ч в вакууме. Образцы третьей и четвертой партий подвергали отжигу при температурах 973 и 1153 К. Образцы пятой и шестой партий после отжига при температуре выше полиморфного превращения закаляли в воде при температуре 293 К.

Механические испытания проводили по стандартной методике на одноосное растяжение до разрушения при комнатной температуре с постоянной скоростью нагружения 1,5 мм/мин на универсальной машине INSTRON 5882. Структурные исследования поверхности после прокатки и различных видов термообработки проводили на оптическом микроскопе Olympus GX71. Скорость деформационного упрочнения ($d\sigma/d\varepsilon$) вычисляли из диаграмм деформирования.

Микротвердость измеряли на микротвердомере DM8 с автоматическим анализом результатов. Рентгенографический анализ осуществляли на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA.

Экспериментальные результаты

Исходный материал до пластической деформации имел крупнозернистое состояние. Пластическое деформирование привело к значительным изменениям морфологии, структуры и размеров кристаллитов, зависящим от степени обжатия. Полиэдричность, свойственная большинству зерен в исходном состоянии, с изменением толщины в процессе пластической деформации утратила форму, приобрела довольно сложную конфигурацию, и характерная зеренная структура в основном перестала проявляться.

Степень обжатия от 40 % и выше влияет на количество выхода механических двойников на поверх-

ность образца. С увеличением степени обжатия отмечаются значительные искажения зеренной структуры, границы которой содержат высокую плотность дислокаций, а на темнопольном изображении видны дисперсные частицы.

Прочностные характеристики и микротвердость существенно изменились в сравнении с исходными параметрами (ГОСТ 19807–91), что подтверждает эффективность фазового наклепа. Размельчение структуры в результате перекристаллизации, происходящее в процессе интенсивной пластической деформации, способствовало увеличению механических параметров (таблица).

Дополнительный неполный отжиг при 823 К несколько стабилизирует структурное состояние, что заметно влияет на механические параметры (см. таблицу).

Прочностные параметры

Толщина прокатки, мм	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Микротвердость*, HV	Коэффициент упрочнения, $(\Delta\sigma/\Delta\epsilon) \cdot 10^3$
После обжатия прокаткой				
0,4	637	765	271	23,540
0,8	683	752	275	16,275
1,5	468	548	170	11,614
После обжатия прокаткой и неполного отжига при 823 К				
0,4	292,6	404,1	183	–
0,8	288,3	376,8	158	–
1,5	249,03	313,1	144	–
После рекристаллизационного отжига при 973 К				
0,4	149	299,8	166	8,538
0,8	128	324	160	8,035
1,5	168	318	169	6,902
После отжига при температуре 1173 К				
0,4	190,0	328,9	168	13,578
0,8	147,1	283,5	149	9,363
1,5	135,02	263,4	148	9,031
После закалки от температуры 1373 К				
0,4	802	805	405	23,893
0,8	652	655	390	19,416
1,5	557	604	355	13,066

* Микротвердость измеряли при нагрузке $F = 0,1$ Н.

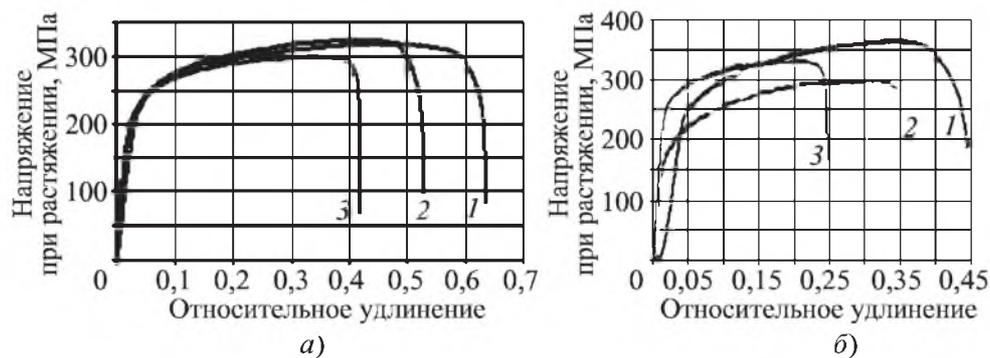


Рис. 1. Зависимость растягивающего напряжения от величины перемещения захватов испытательной машины при отжиге 973 К (а) и 1173 К (б) при толщине образцов, мм: 1 – 1,5; 2 – 0,8; 3 – 0,4

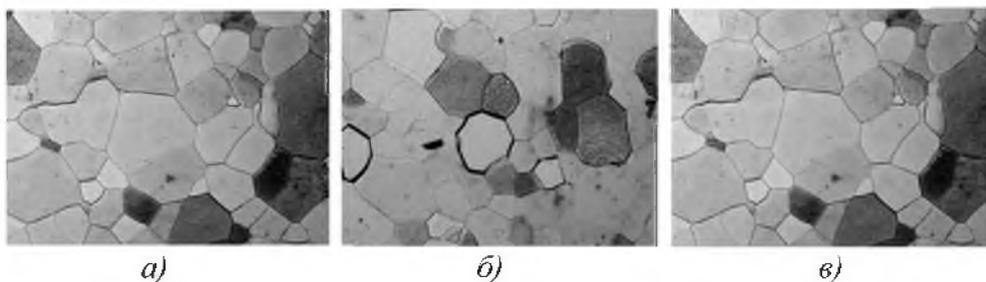


Рис. 2. Макроструктура поверхности титана после пластического деформирования прокаткой и отжига при 973 К (×200) при толщине образцов, мм: а – 0,4; б – 0,8; в – 1,5

Как следует из экспериментальных результатов, уровень механических свойств и особенность процесса деформации определяются структурным состоянием материала. Так, например, механические параметры ($\sigma_{0,2}$, σ_b) зависят от степени деформации и слабо зависят от температуры отжига (см. таблицу, рис. 1).

В макроструктуре отожженных при 973 К образцов произошли значительные изменения. Структура образцов вне зависимости от степени обжатия при прокатке практически полностью рекристаллизовалась (рис. 2).

С приближением температуры отжига к температуре полиморфного превращения механические и структурные параметры претерпевают заметные изменения.

Формирование макроструктуры при нагреве выше температуры полиморфного превра-

щения определяется как температурой нагрева, так и предысторией термического воздействия и скоростью охлаждения. В данном случае происходило медленное охлаждение на воздухе при комнатной температуре, что соответствует медленной залке.

Повышение температуры предварительного нагрева выше температуры полиморфного превращения с последующей закалкой в воде приводит к существенному увеличению механических параметров ($\sigma_{0,2}$, σ_b) с одновременным ухудшением пластических свойств (рис. 3, см. таблицу).

При перестройке высокотемпературной модификации в низкотемпературную в процессе заделки от 1373 К было отмечено существенное упрочнение структуры титана. Если при нагреве до полиморфного превращения (см. рис. 2) в образцах титана наблюдались в основном однородные полиэдрические зерна с четко обранными границами, то залка привела к существенному изменению не только размеров, но и формы образовавшихся кристаллов (рис. 4).

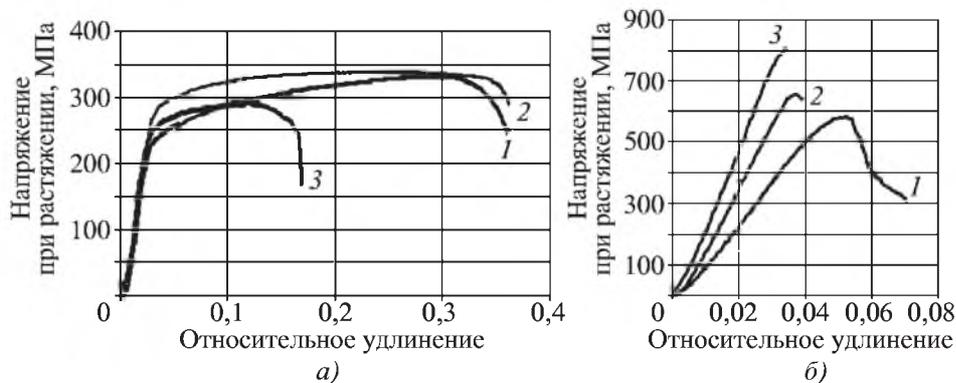


Рис. 3. Зависимость растягивающего напряжения от величины перемещения захватов испытательной машины при залке 1123 К (а) и 1373 К (б) при толщине образцов, мм: 1 – 1,5; 2 – 0,8; 3 – 0,4

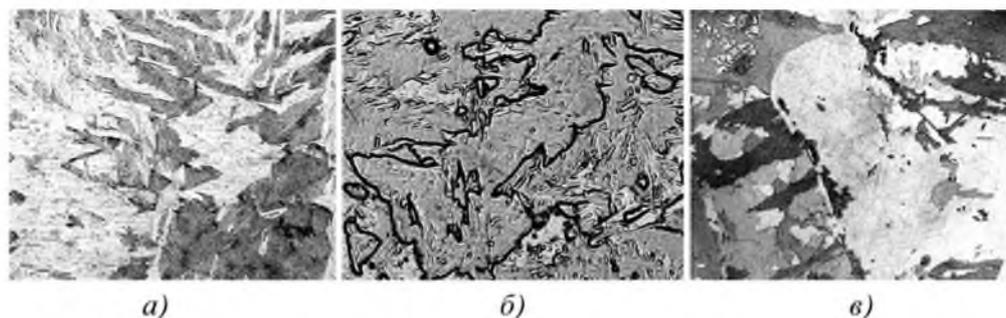


Рис. 4. Макроструктура поверхности титана после пластического деформирования и последующей закалки от температуры 1373 К при толщине образцов, мм:

a – 0,4 (×200); *б* – 0,8 (×200); *в* – 1,5 (×50)

Обсуждение результатов. Выводы

Сравнение рентгенографических данных для образцов после прокатки, неполного отжига и закалки от

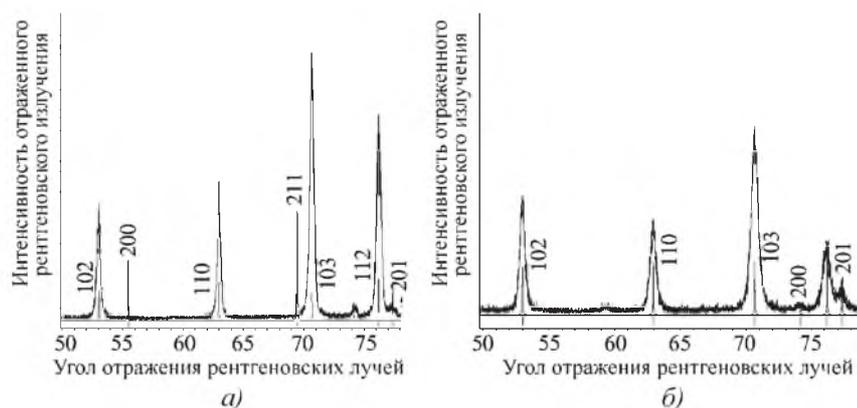


Рис. 5. Рентгеноструктура титана:

a – эталонный образец; *б* – после прокатки до толщины 0,8 мм

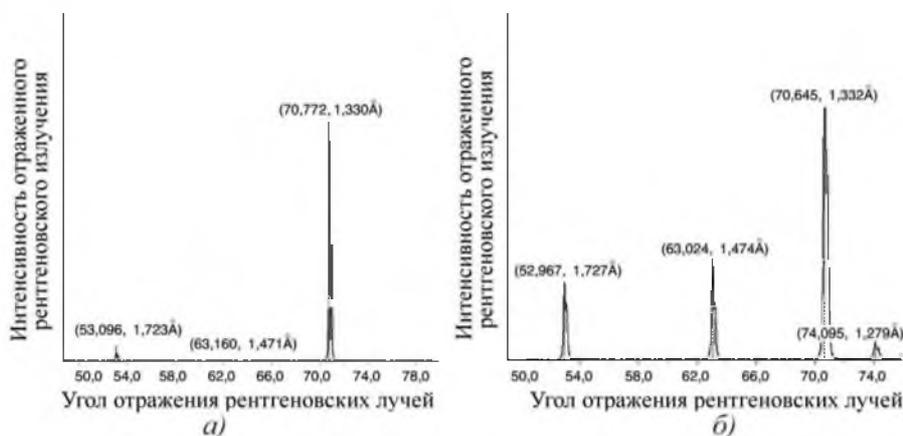


Рис. 6. Рентгеноструктура титана после неполного отжига (*a*) и после закалки от 1373 К (*б*) при толщине образцов 0,8 мм

высоких температур с эталоном позволило установить, что независимо от способа обработки полученные ГПУ-решетки относятся в основном к группе α -сплавов (рис. 5, 6).

Некоторое несоответствие относительной интенсивности в экспериментально полученных рентгенограммах в сравнении со справочными данными связано, очевидно, с текстурой, созданной в процессе деформации прокаткой. Сдвиг интерференционных линий и расширение их в закаленных образцах по сравнению с образцами, подвергнутыми температурному отжигу, позволяет утверждать о наличии микронапряжений и измельчении блоков, происходящих в процессе закалки.

Изменение механических параметров, очевидно, связано со структурными преобразованиями в зернах титана при $\beta \rightarrow \alpha$ -превращении. Такие изменения возможны, если структура исходного титана сформировалась в β -области, но затем подвергалась быстрому охлаждению.

При быстром охлаждении по бездиффузионному мартенситному механизму происходит образование α' -фазы при одновременном $\beta \rightarrow \alpha$ -превращении. Образование α' -фазы приводит к искажению решетки, в результате чего по сравнению с α -фазой повышаются твердость и прочность и существенно ухудшается пластичность.

Можно предположить, что при высокотемпературной модификации за областью полиморфного превращения в крупных зернах титана возникают не только зародыши новой фазы, но одновременно образуются вакансионно-дислокационная структура. С последующим переходом в низкотем-

пературный режим происходит превращение β -фазы в $\alpha + \alpha'$ -фазу с одновременными дополнительными изменениями дефектности структуры, степень влияния которой зависит от скорости закалки.

Изменение механических параметров закаленных образцов и коэффициента упрочнения сопоставимо с особенностями эволюции субструктуры поликристаллического титана на различных стадиях деформации. Наблюдаемые изменения кривых упрочнения при умеренных положительных температурах объясняют [5] особенностями эволюции структуры и формированием ансамблей образованных на второй и последующих стадиях деформационного упрочнения и хаотически расположенных вакансионно-дислокационных дефектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Conrad H. Effect of interstitial solutes on the strengths and ductility of titanium // Progr. Mater. Sci. 1981. № 26. P. 123–403.
2. Salem A.A., Kalidindi S.R., Doherty R.D. Strain hardening of titanium: role of deformation twinning // Acta Met. 2003. № 51. P. 4225.
3. Shin D.H., Kim I., Kim J. Acta Met. 2003. № 51. P. 983.
4. Миронов С.Ю., Мышляев М.М. Анализ эволюции дислокационных границ в ходе холодной деформации микроструктурного титана // ФТТ. 2007. Т. 49. В. 5. С. 815–821.
5. Москаленко В.А., Смирнов А.Р., Ковалева В.Н., Нащук В.Д. Стадийность деформационного упрочнения поликристаллического титана при низких температурах и ее связь с эволюцией субструктуры // Физика низких температур. 2002. Т. 28. В. 12. С. 1310–1319.

УДК 621.922.02

А.А. Ситников (ГОУ ВПО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", г. Барнаул),
 Н.С. Алексеев, Е.А. Бойко (Рубцовский индустриальный институт (филиал)
 ГОУ ВПО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова")
 E-mail: sitalan@mail.ru

Износ электрокорунда при микрорезании плазменного покрытия

Приведены результаты исследований износа единичных абразивных зерен из электрокорунда хромтитанистого при микрорезании плазменного порошкового покрытия и закаленной стали 45. Выявлена кинетика затупления абразивных зерен при микрорезании указанных покрытий. Установлено, что в основе механизма износа абразивов при микрорезании покрытий лежат явления как механического разрушения, так и физико-химического взаимодействия элементов абразива с металлами.

Ключевые слова: покрытие, абразивы, микрорезание, износ, микрорельеф, риска.

The article deals with a wear research of single abrasive grains in the synthetic chromium-titanium based corundum during microcutting plasma powdered coatings and hardened steel 45. The blunting kinetics of abrasive grains during microcutting the coatings in question is revealed. The results research proved that the abrasive wear during microcutting coatings is subject to mechanical destruction as well as physical and chemical reaction of abrasive components with metals.

Keywords: coating, abrasives, microcutting, wear, microrelief, mark.

Введение

К высокоэффективным технологиям восстановления и упрочнения изношенных деталей машин относятся различные способы нанесения износостойких микропористых покрытий электродуговой металлизацией, газотермическим напылением, электроконтактным напеканием металлических порошков и др. [1, 2]. При механической обработке этих покрытий широко применяются различные абразивные материалы.

Однако высокая адгезионно-химическая активность и низкая теплопроводность указанных покрытий создают трудности при их дальнейшей абразивной обработке. Эти трудности обусловлены интен-

сивным налипанием частиц покрытия на рабочую поверхность шлифовальных кругов (эффект "засаливания") и повышенным износом абразивного инструмента [3].

В большинстве опубликованных работ изучение износа абразивных зерен производилось непосредственно при шлифовании кругами. Это позволило установить лишь самые общие положения об износе абразивов, так как в работе круга кроме зерен участвует связка, влияющая на износ абразивов и способная в ряде случаев производить резание; при этом невозможно создать одинаковые условия нагружения разных зерен и получить количественные данные об их износе.