Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук

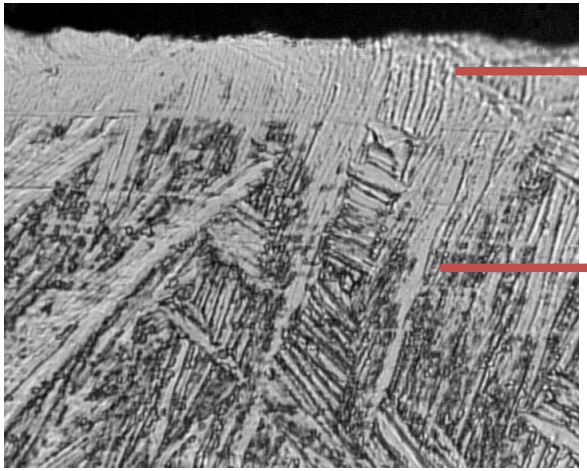
Международная конференция
Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций

Влияние ультразвуковой обработки и наводороживания на усталостную долговечность и ударную вязкость сплава Ti-6Al-4V

Панин В. Е., Хайруллин Р. Р., Власов И. В., Гоморова Ю. Ф.

1-5 октября, 2019, г. Томск

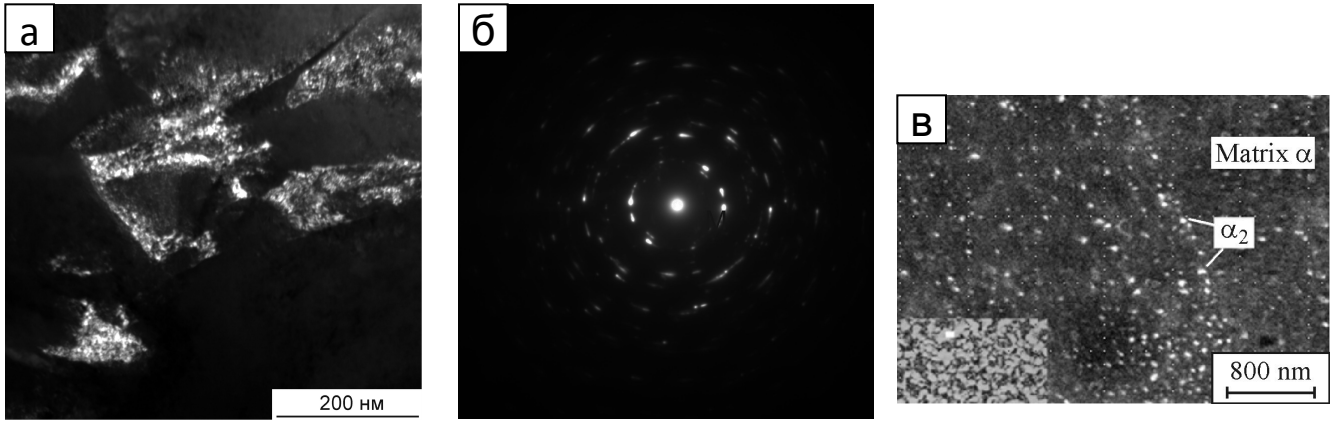
Введение



Нетравящиеся полосы $\alpha_2(Ti_3Al)$

Полосы $\alpha_2(Ti_3Al)$

Оптическое изображение структуры образца титанового сплава ВТ6 (поперечное сечение) после ультразвуковой финишной обработки; размер изображения 220×170 мкм^2

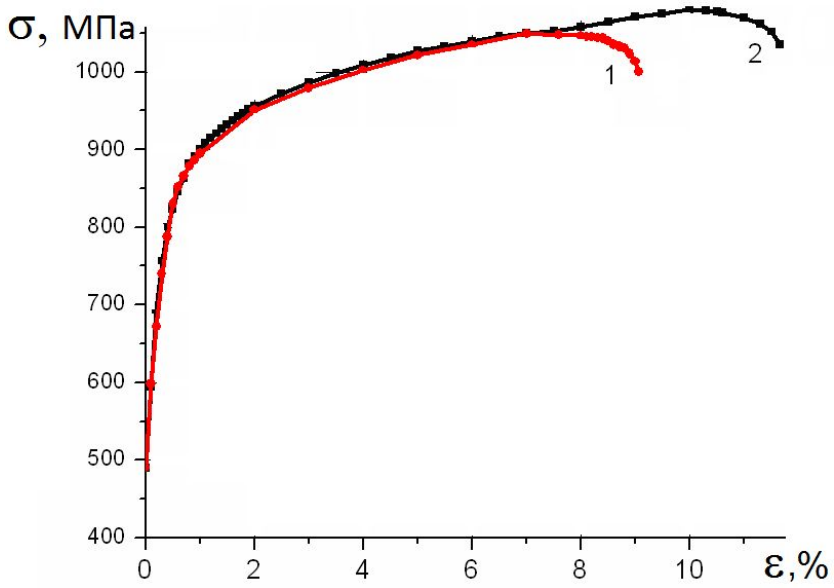


ТЕМ-изображение наноструктуры в поверхностном слое образца титанового сплава ВТ6, подвергнутом ультразвуковой финишной обработке (а) и соответствующая картина микродиффракции (б); выделения $\alpha_2(Ti_3Al)$ при старении сплава ВТ6 [*Carreon H., San Martin D., Caballero F.G., Panin V.E.* The effect of thermal aging on the strength and the thermoelectric power of the Ti-6Al-4V alloy // Phys. Mesomech. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 447–456.]

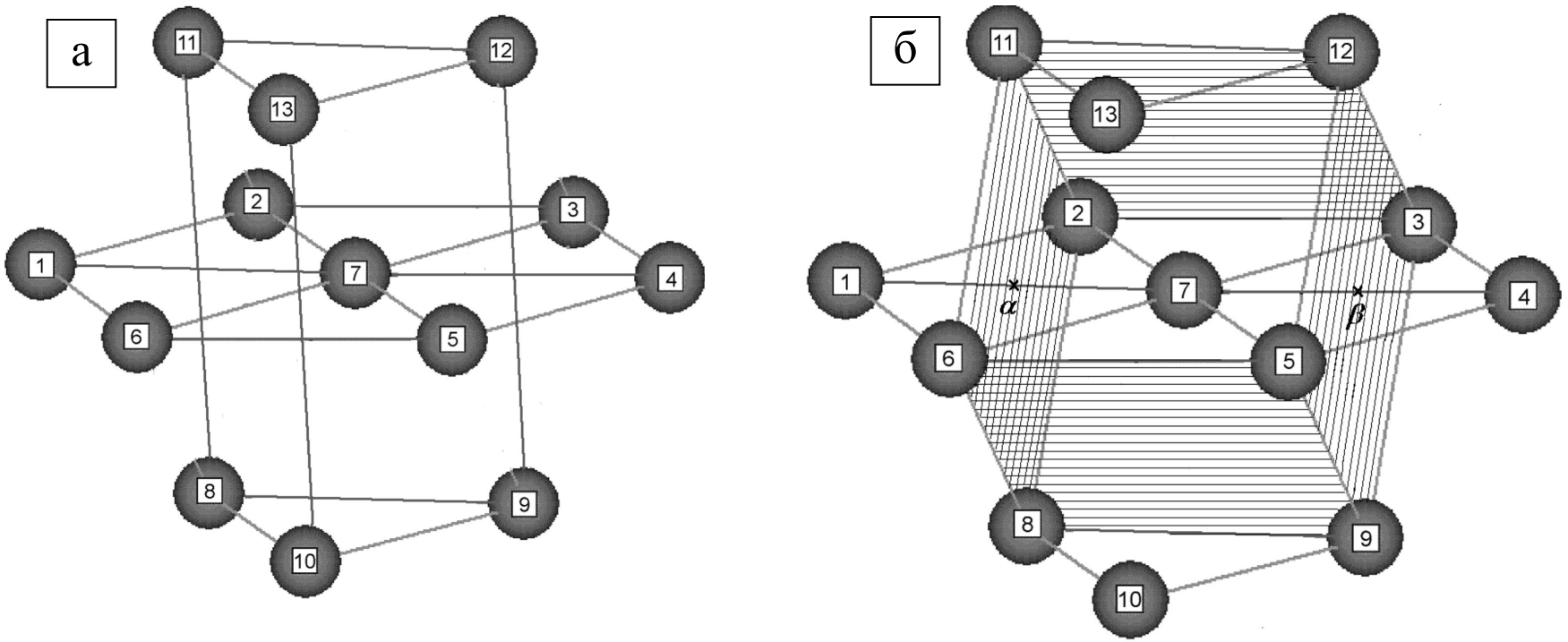
Результаты исследования и их обсуждение

Влияние различных обработок на усталостную долговечность сплава ВТ6

Обработка	Исходная	УЗО	Наводороживание	УЗО + Наводороживание
Усталостная долговечность (число циклов)	54000 ± 7000	70000 ± 9000	40000 ± 9000	17000 ± 4000
Эффект обработки	–	Увеличение в 1.3 раза	Уменьшение в 1.35 раза	Уменьшение в 4 раза



Кривые растяжение-деформация при одноосном растяжении образцов титанового сплава ВТ6 в отожженном состоянии (*1*) и подвергнутых ультразвуковой финишной обработке (*2*)



Кластерные модели ГПУ-ячейки в титане с гексагональной структурой (а) и ее трансформации в ОЦК-ячейку (б) при наличии атомов водорода в виртуальных вакансиях α и β в условиях знакопеременного изгиба

Микротвердость образцов сплава ВТ6 до и после поперечно-винтовой прокатки

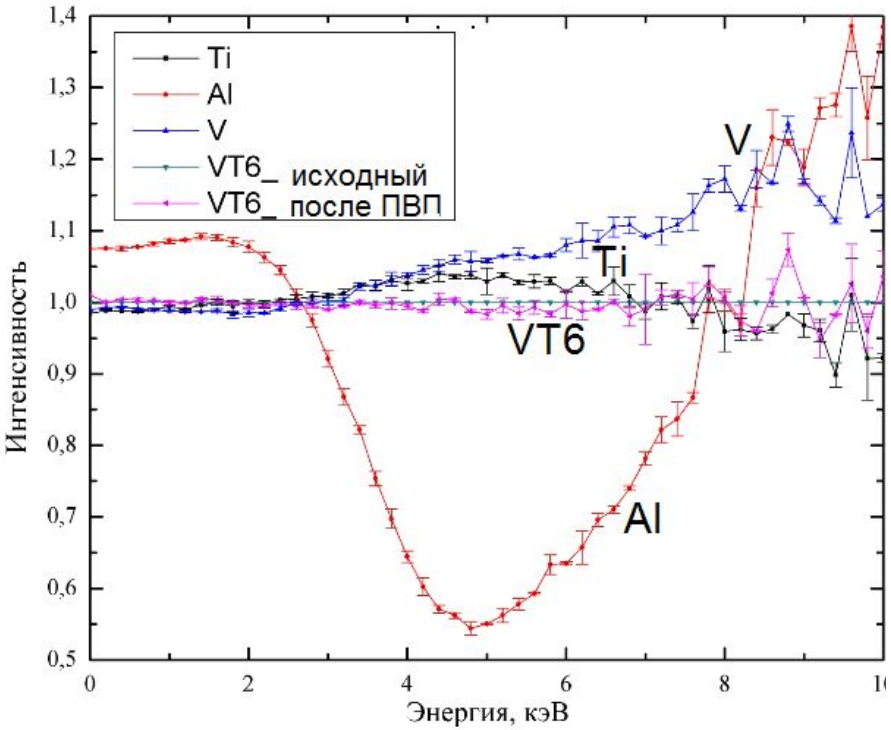
Состояние сплава ВТ6		Микротвердость H_μ, МПа
До поперечно-винтовой прокатки		3200
Сплав ВТ6 после поперечно-винтовой прокатки	На поверхности и глубиной до ~ 50 мкм	6400
	В остальной части	5100

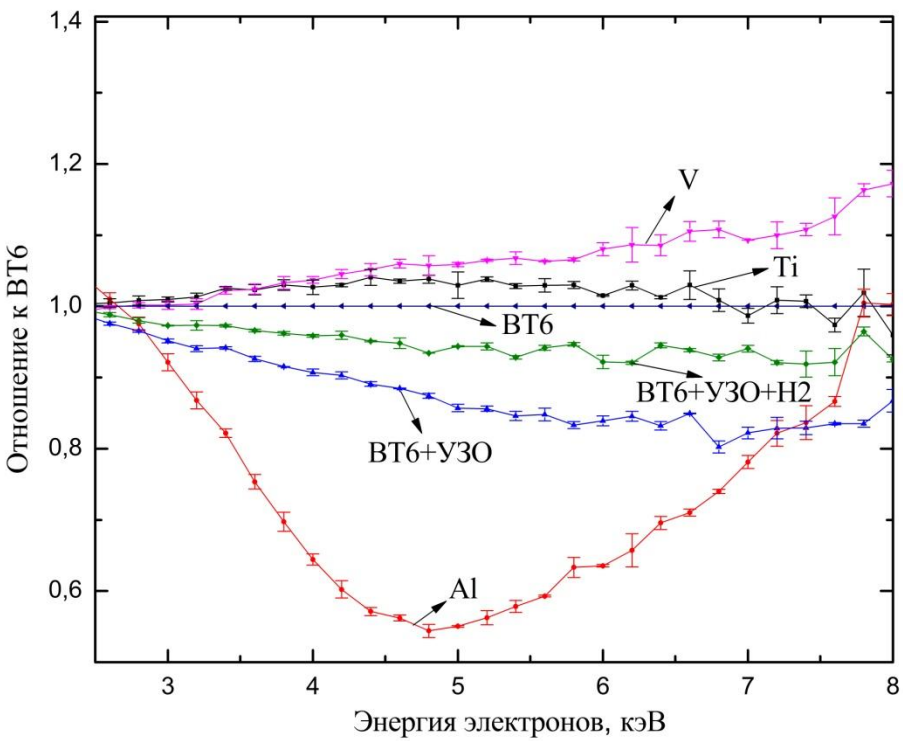
Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в образцах ВТ6

		I_1, %	τ_1, пс	I_2, %	τ_2, пс	$\tau_{ср.}$, пс
ВТ6 исходный		100	150	0	0	150
ВТ6 после поперечно-винтовой прокатки	На поверхности	100	160	0	0	160
	В центре	100	150	0	0	150

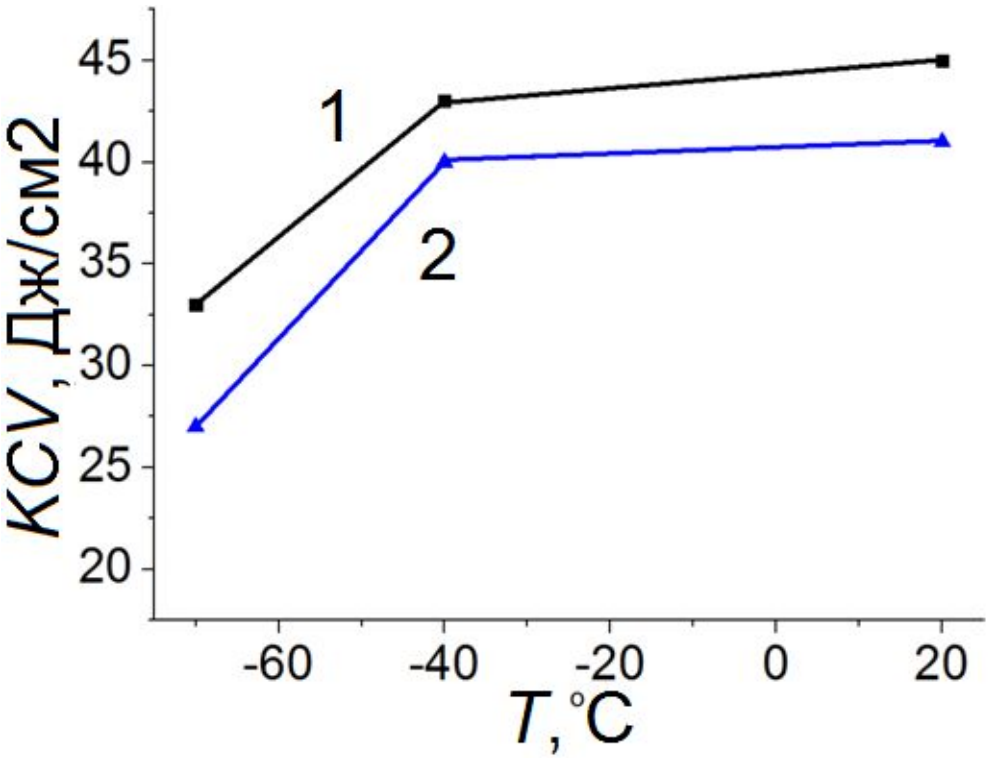
Время жизни позитрона (τ) на дислокации составляет 168-185пс, а на вакансии 220-225пс.

Образование в сплаве ВТ6 в результате поперечно-винтовой прокатки стабильной мартенситной фазы





Кривые распределения энергии электронов по импульсам в исследуемых образцах относительно эталонного образца бездефектного ВТ6



Ударная вязкость сплава ВТ6 в исходном состоянии (кривая 1) и после поперечно-винтовой прокатки (кривая 2) при низких температурах

Заключение

1. При ультразвуковой обработке сплава ВТ6 в поверхностном слое развиваются два процесса. Во-первых, образуется сплошной нетравящийся слой $\alpha_2(Ti_3Al)$, который снижает усталостную долговечность. Однако ниже этого слоя развивается второй процесс: образуются полосы $\alpha_2(Ti_3Al)$ фазы по мультиплетной схеме, которые увеличивают усталостную долговечность. Сложение этих двух эффектов дает увеличение усталостной долговечности сплава в 1,3 раза.

2. Катастрофическое снижение усталостной долговечности после наводороживания предварительно обработанного ультразвуком сплава ВТ6 объясняется образованием зон ближнего порядка смещений с ОЦК решеткой по типу β-фазы.

3. Поперечно-винтовая прокатка создает в сплаве ВТ6 мартенситную фазу очень высокой прочности. Она предсказана методом позитронной аннигиляции и обнаружена методом просвечивающей электронной микроскопии. Высокая стабильность мартенситной фазы обусловливает снижение ударной вязкости сплава, обработанного поперечно-винтовой прокаткой.

Спасибо за внимание!