

**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**

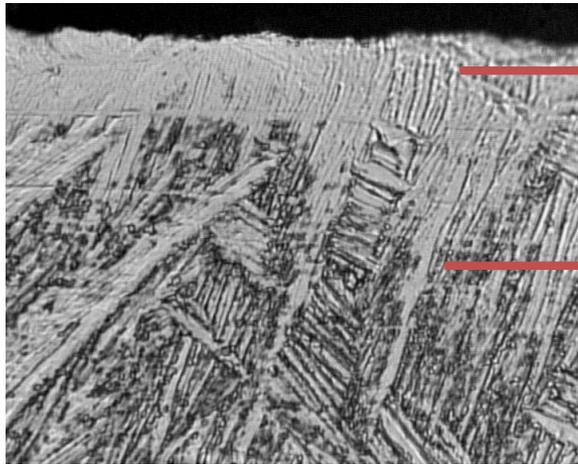
**Влияние ультразвуковой обработки и  
наводороживания на усталостную долговечность  
и ударную вязкость сплава Ti-6Al-4V**

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

---

**1-5 октября, 2019, г. Томск**

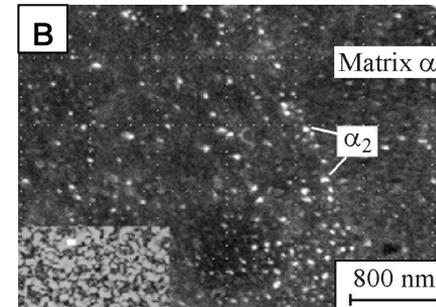
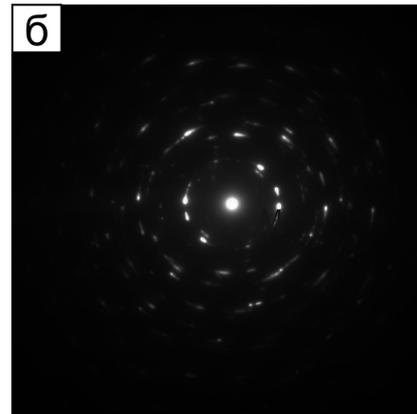
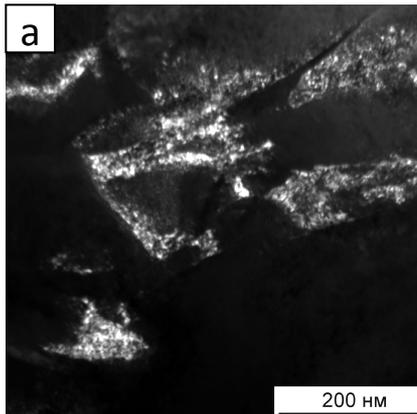
# Введение



→ Нетравящиеся полосы  $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$

→ Полосы  $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$

Оптическое изображение структуры образца титанового сплава ВТ6 (поперечное сечение) после ультразвуковой финишной обработки; размер изображения  $220 \times 170 \text{ мкм}^2$

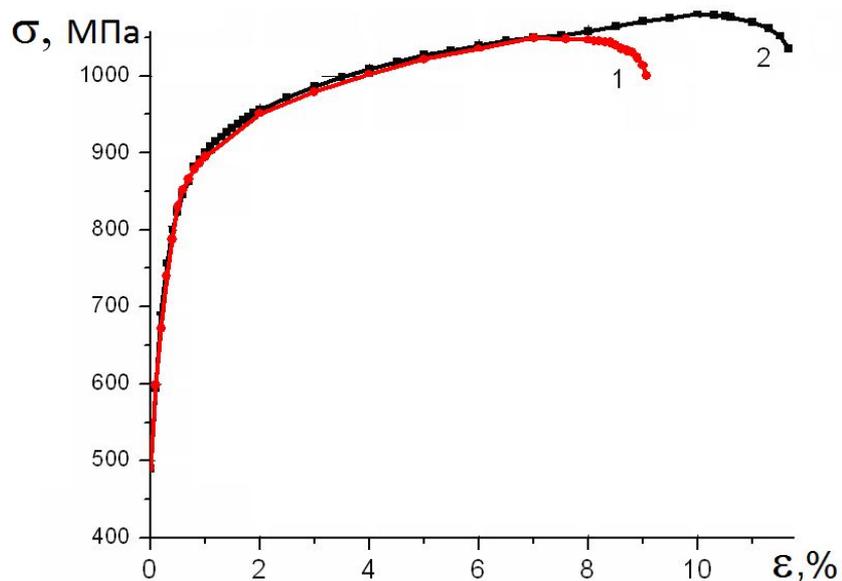


ТЕМ-изображение наноструктуры в поверхностном слое образца титанового сплава ВТ6, подвергнутом ультразвуковой финишной обработке (а) и соответствующая картина микродифракции (б); выделения  $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$  при старении сплава ВТ6 [Carreon H., San Martin D., Caballero F.G., Panin V.E. 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.]

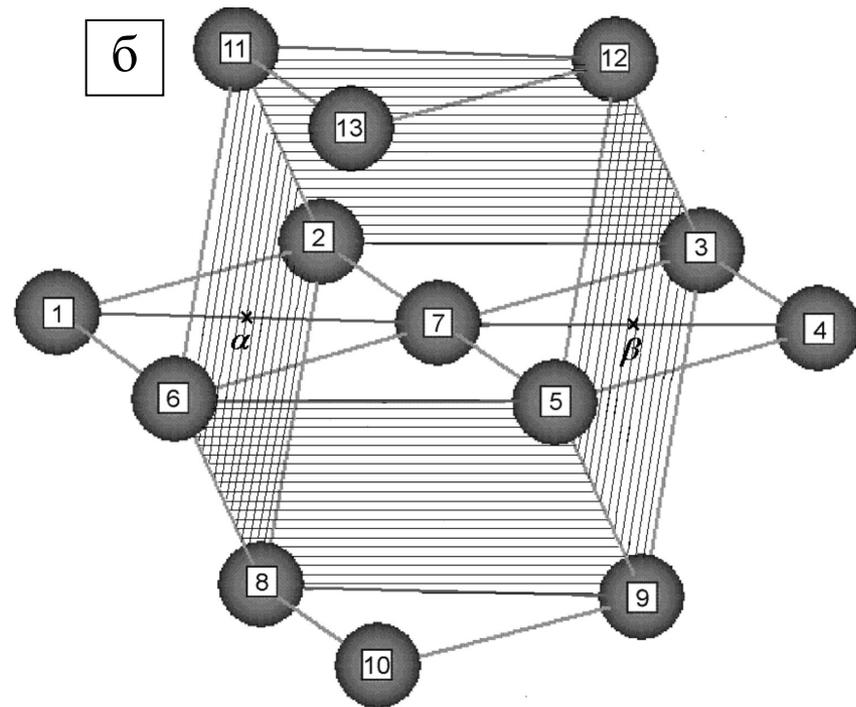
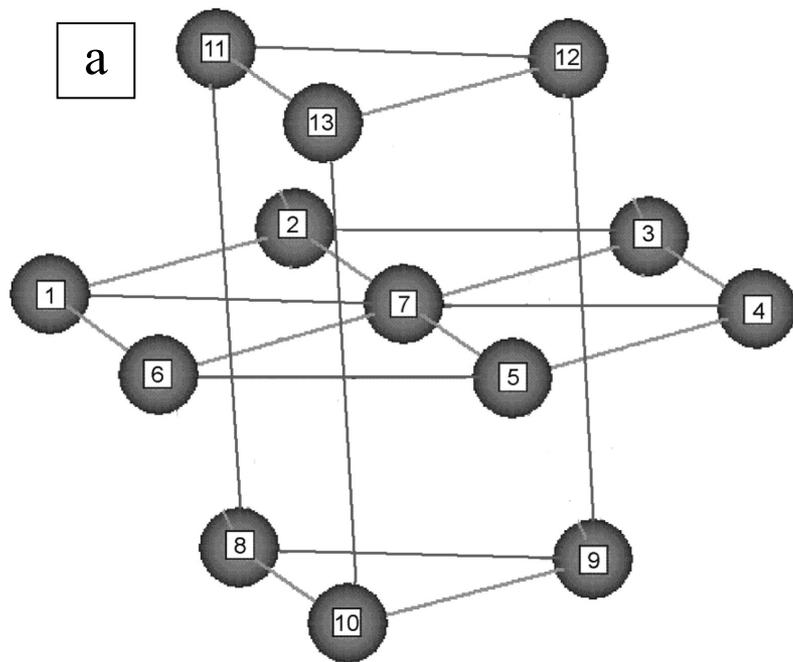
# Результаты исследования и их обсуждение

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  $\alpha$  и  $\beta$  в условиях знакопеременного изгиба

Микротвердость образцов сплава ВТ6 до и после поперечно-винтовой прокатки

Состояние сплава ВТ6		Микротвердость $H_{\mu}$ , МПа
До поперечно-винтовой прокатки		3200
Сплав ВТ6 после поперечно-винтовой прокатки	На поверхности и глубиной до ~ 50 мкм	6400
	В остальной части	5100

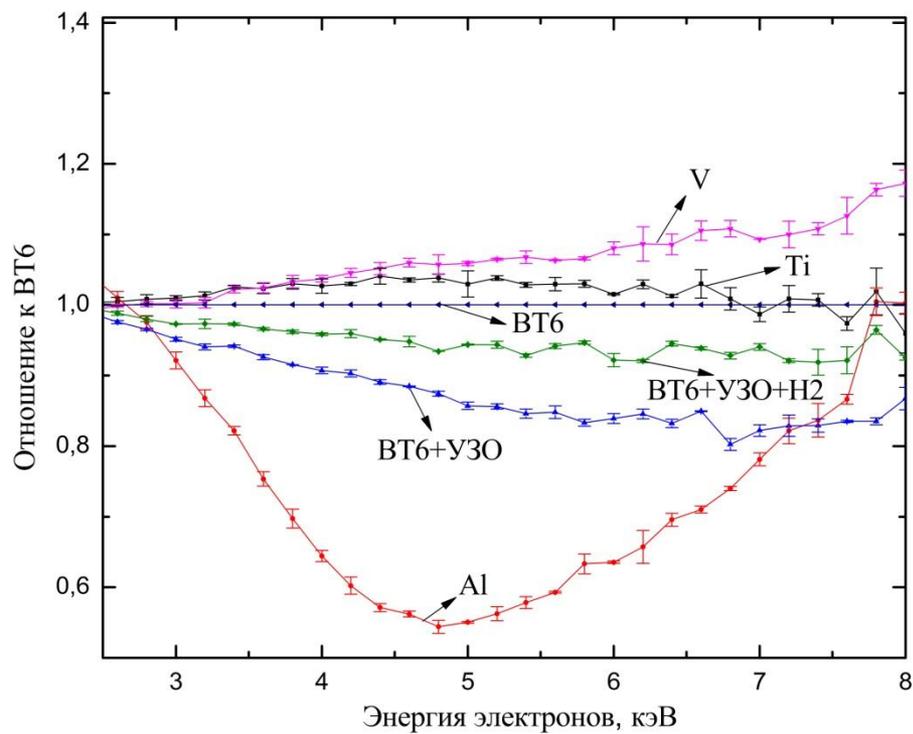
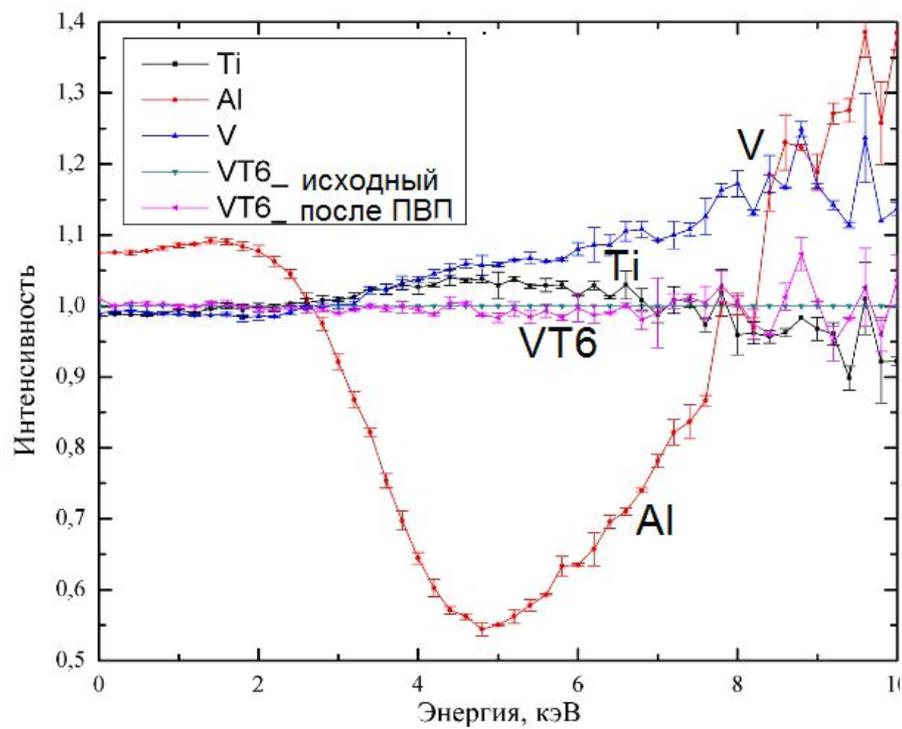
Спектры временного распределения аннигиляции позитронов в образцах ВТ6

		$I_1$ , %	$\tau_1$ , пс	$I_2$ , %	$\tau_2$ , пс	$\tau_{cp.}$ , 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

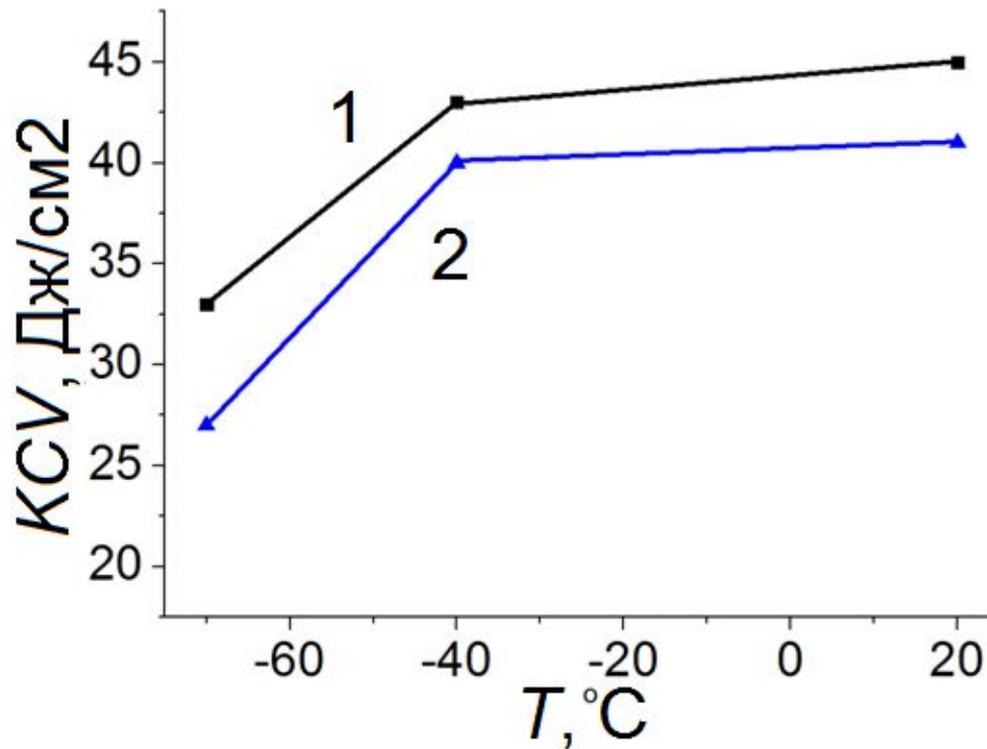
Время жизни позитрона ( $\tau$ ) на дислокации составляет 168-185пс, а на вакансии 220-225пс.



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 VT6



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  $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$ , который снижает усталостную долговечность. Однако ниже этого слоя развивается второй процесс: образуются полосы  $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$  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  $\beta$ -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 обуславливает снижение ударной вязкости сплава, обработанного поперечно-винтовой прокаткой.

**Спасибо за внимание!**