ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/30

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ И
УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 И ЕГО
СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ**

¹ Смирнова А.С., ¹ Почивалов Ю.И., ^{1,2} Панин В.Е., ² Насоновская А.В.,
³ Маликов А.Г., ³ Оришич А.М.

¹ *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

² *Томский политехнический университет, Томск*

³ *Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск*

Тенденции развития современного материаловедения направлены на расширение возможности управления прочностью и пластичностью материалов путем применения комбинированного воздействия на их структуру и свойства. Комбинированное воздействие может включать традиционные методы обработки в комплексе с различными вибрационными и высокоэнергетическими воздействиями, а также новые методы интенсивной пластической деформации. В настоящее время практическое применение нашли способы обработки с использованием ультразвуковых преобразователей большой мощности (порядка десятков Вт/мм²) конструкционных металлических материалов и их сварных соединений. Ультразвуковая ковка оказывает существенное влияние на структурно-фазовые превращения в поверхностном слое, что приводит к повышению служебных характеристик материалов [1-5]. В сочетании с высокочастотным электрофизическим воздействием ультразвуковая ковка позволяет обрабатывать высокопрочные материалы с низкой пластичностью.

В настоящей работе проведено исследование влияния ультразвуковой ковки (УЗК) и ультразвуковой ковки в сочетании с высокочастотным электрофизическим воздействием (ВЭВ), на структуру, механические и усталостные характеристики титанового сплава ВТ6 и его сварного соединения, выполненного способом лазерной сварки.

Ввиду того, что при лазерной сварке ВТ6 формируется узкая зона сварного шва и зоны термического влияния, поиск путей снижения данных структурных неоднородностей неразъемных соединений является важнейшим направлением. Для данных сварных соединений обработка УЗК и УЗК+ВЭВ проводилась в ЗТВ и зоне сварного шва шириной ≈ 15 мм со всех сторон.

Микроструктура титанового сплава ВТ6 после травления типична для прокатанных титановых сплавов и характеризуется ярко выраженной $\alpha+\beta$ структурой размером $\approx 0,9-10$ мкм. В ходе лазерной сварки микроструктура сплавов в области сварного шва меняется. Сварной шов $\approx 1,6-1,8$ мм имеет крупнозернистое строение размером до ≈ 500 мкм с тонкопластинчатым внутренним строением мартенситного типа, состоящего из низкотемпературной α -фазы, называемой α' -фазой, размером $\approx 5-80$ мкм.

Интенсивная пластическая деформация в результате УЗК и УЗК+ВЭВ происходит путем вытягивания зерен в направлении, параллельном касательной к канавке, которая сформирована поверхностью сферы торца цилиндрического бойка при его перемещении во время обработки [6]. Это приводит к изменению размера и формы зерна. При УЗК в поверхностном слое формируется высокодефектная структура с высокой кривизной кристаллической решетки. При совместном воздействии УЗК+ВЭВ микроструктура сварного шва вблизи поверхности при травлении не выявляется.

Таким образом, в поверхностном слое пластически деформированного металла зерна приобретают определенную ориентировку, создают так называемую текстуру деформации (поверхностный слой приобретает слоистый вид). Происходит вытягивание зерен в наклепанном слое, в направлении главной деформации.

Испытания на статическое растяжение сварных соединений титанового сплава ВТ6 показали, что после лазерной сварки прочность сварных соединений выше прочности основного металла и разрушение всегда проходит по основному металлу, независимо была

Секция 1. Основные принципы и методология физической мезомеханики материалов с иерархической структурой

проведена обработка или нет. Предел прочности и предел текучести образцов с УЗК увеличивается относительно исходного сварного соединения. Однако относительное удлинение при этом уменьшается с 8,2 % до 6,3 % после УЗК.

Усталостные испытания в условиях малоциклового усталости показывают высокую эффективность наноструктурирования поверхностных слоев сварных соединений исследуемого сплава методом УЗК и УЗК+ВЭВ для повышения их усталостной долговечности (таблица 1). При циклическом нагружении сварного соединения с УЗК и УЗК+ВЭВ усталостная трещина всегда зарождается на боковой поверхности образца и распространяется по всей его ширине образца.

Таблица 1 – Число циклов до разрушения образцов сварных соединений сплава ВТ6

Материал Напряжение, МПа	Число циклов до разрушения		
	Без обработки	После УЗК со всех сторон	После УЗК+ВЭВ со всех сторон
Сварное соединение ВТ6, 600 МПа	8700±850	22500±900	29400±2000

Таким образом, проведенные усталостные испытания показывают эффективность использования диспергирования поверхностных слоев сварного соединения титанового сплава ВТ6. Усталостная долговечность сварного соединения сплава ВТ6 после УЗК+ВЭВ обработки со всех сторон, возрастает до 3,4 раз и достигает N=29400 циклов.

Экспериментальная работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013—2020 годы, направление III.23.1.1. и государственного задания АААА-А17-117030610122-6.

1. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. – М.: ВИС – МАТИ, 2009. С. 520
2. Лясоцкая В.С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов, под ред. Б.А. Колачева. – М.: Экомет, 2003. С. 352.
3. Панин В.Е., Панин С.В., Почивалов Ю.И., Смирнова А.С., Еремин А.В. Структурно-масштабные уровни пластической деформации и разрушения сварных соединений высокопрочных титановых сплавов // Физическая мезомеханика. 2018. Т.21, №4. С. 33–44.
4. Егорушкин В.Е. Кривизна решетки, полосы локализованного сдвига и механизм электропластического эффекта / В.Е. Егорушкин, В.Е. Панин, А.В. Панин // Физ. мезомех. 2018. – Т.21. №3. С. 5–11.
5. Прокопенко Г.И. Ультразвуковая ударная обработка металлов / Г.И. Прокопенко, Б.Н. Мордюк // Сварка и Металлоконструкции. 2015. №1. С. 10–14.
6. Кныш В.В. Оптимизация процесса упрочнения сварных соединений стали 09Г2С высокочастотной механической поковкой / В.В. Кныш, С.А. Соловей, И.Л. Богайчук // Автомат. сварка. 2011. №5. С. 26–32.