

## СТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОННО – ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ

*К.А. КУРГАН<sup>1</sup>, В.А. КЛИМЕНОВ<sup>1,2</sup>, А.В. ЧУМАЕВСКИЙ<sup>3</sup>, А.А. КЛОПОТОВ<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Томский Государственный Архитектурно-Строительный Университет

<sup>2</sup>Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет

<sup>3</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: kirill\_k2.777@mail.ru

## STRUCTURE OF WELDED JOINTS OF NANOSTRUCTURED TITANIUM ALLOY VT6 OBTAINED BY ELECTRON BEAM WELDING

*K.A. KURGAN<sup>1</sup>, V.A. KLIMENOV<sup>1,2</sup>, A.V. CHUMAEVSKII<sup>3</sup>, A.A. KLOPOTOV<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, 634002, Russia

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russia

<sup>3</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Tomsk, 634055, Russia

E-mail: kirill\_k2.777@mail.ru

***Annotation.** The paper presents the results of structure studies the properties of welded joints, produced by electron beam welding of titanium alloy VT6 in nanostructured condition. Revealed three characteristic zones in the area of the weld: zone of the base metal, heat affected zone and the zone of molten metal. It is established that the boundaries between these zones are diffuse.*

**Введение.** В связи с техническим прогрессом неизбежно растут требования к функциональным свойствам новых изделий. Поэтому чтобы повысить статическую прочность и долговечность титана и его сплавов применяют методы интенсивной пластической деформации. Этот метод основан на уменьшении размера зерна и формировании ультрамелкозернистой (УМЗ) (средний размер зерна менее 1 мкм) или нанокристаллической (НК) структуры (средний размер зерна менее 0,1 мкм). Титановые сплавы в этом структурно-фазовом состояниях обладают более высоким комплексом функциональных свойств, чем титановые сплавы в обычном структурном состоянии [1,2].

УМЗ титан нашел свое применение в авиационно-космической промышленности и медицине [2]. Как известно, производство авиационно-космической техники и медицинских имплантатов, немыслимо без использования различных видов сварки. Одним из наиболее перспективных видов сварки УМЗ титановых сплавов является электронно-лучевая сварка (ЭЛС). Это связано с тем, что при ЭЛС происходит локальный разогрев металла в области шва. Такие условия не оказывают сильного влияния на изменение УМЗ структуры [3].

Работ, посвященных исследованиям свариваемости высокопрочных сплавов ВТ6, ВТ14, ВТ15, ВТ22, ВТ23 различными методами (электродуговым, лазерным, плазменным и др.) достаточно много [4,5]. Однако на сегодняшний день в литературе нет структурных исследований сварного шва, полученного методом ЭЛС титановых сплавов в УМЗ состоянии.

В этой связи актуальными являются работы, направленные на изучение изменения микроструктуры в области сварного шва УМЗ титановых сплавов после применения ЭЛС.

Целью данной работы явилось изучение изменения микроструктуры в зоне шва при ЭЛС образцов с УМЗ структурой титанового сплава ВТ6.

**Материалы и методы исследования.** Исходным материалом исследования являются прутки  $\varnothing 6 \times 100$  мм из УМЗ  $\alpha + \beta$ -титанового сплава ВТ6, химический состав и механические свойства которого приведены в таблице №1 и таблице №2 соответственно.

Таблица 1 – Химический состав УМЗ титанового сплава ВТ6

Химический состав, масс. %									
C	Si	N <sub>2</sub>	Zr	Ti	O <sub>2</sub>	Al	Fe	H <sub>2</sub>	V
0,01	0,043	0,007	0,02	осн	0,156	6,3	0,19	0,003	3,9

Таблица 2 – Механические свойства УМЗ титанового сплава ВТ6 при комнатной температуре

Состояние	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
УМЗ титановый сплав ВТ6	1470	1180	7	60

УМЗ состояние титанового сплава ВТ6 было получено при помощи интенсивной пластической деформации на универсальной испытательной машине INSTRON методом abc – прессования в интервале температур  $(0,40 \div 0,35) \times T_{пл}$  ( $T_{пл}$  – температура плавления титана равна 1933 К).

Для электронно-лучевой сварки, из прутков при помощи электроискровой резки, вырезались образцы цилиндрической формы толщиной равной 40 мм. Для осуществления ЭЛС применялась электронно-лучевая технологическая установка 4E120.

Для ЭЛС применялось стыковое соединение без разделки кромок и без зазора. Сварка производилась в нижнем положении.

Шлифы для металлографических исследований готовились в следующей последовательности:

1) Вырезка на электроискровом станке заготовок под микрошлифы из отобранных проб с подготовкой плоской поверхности.

2) Механическая шлифовка на шлифовальной бумаге с постепенно уменьшающейся зернистостью и последующая полировка с использованием алмазных паст. Полирование производят до получения зеркальной поверхности шлифа, который контролируется на оптическом микроскопе.

Для травления УМЗ сплава ВТ6 был использован раствор:  $[H_2O + HF]$  в пропорциях 9:1. Для травления шлиф погружают в ванночку с травителем на время – 5 секунд, затем промывают в дистиллированной воде. Признаком травления служит слабое потускнение шлифа.

Анализ макро- и микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700, и растрового электронного микроскопа Leo Evo 50.

**Результаты эксперимента и обсуждение.** Подбор режимов ЭЛС, согласно ОСТ 92-1151-81, выполнялся на образцах – имитаторах. На рис. 1 представлена структура образца, сваренного на окончательно подобранных параметрах режима для ЭЛС.

Структура сварного соединения сплава ВТ6 методом электронно-лучевой сварки характеризуется сложным зерненным строением литого металла в сочетании с

высокой плотностью микропор, в основном расположенных вдоль стыка соединяемых образцов (рис. 1).

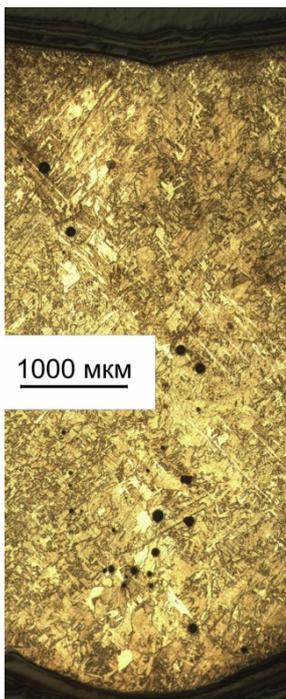


Рисунок 1 – структура сварного соединения, полученного методом электронно-лучевой сварки

Структура металла в граничной зоне соединения представлена зоной исходного наноструктурированного металла (зона 1 на рис. 2), зоной термического влияния (зона 2 на рис. 2) и зоной расплавленного металла (зона 3 на рис. 2). Зона термического влияния в данном случае существенно выше и составляет порядка 800 – 1000 мкм в ширину.

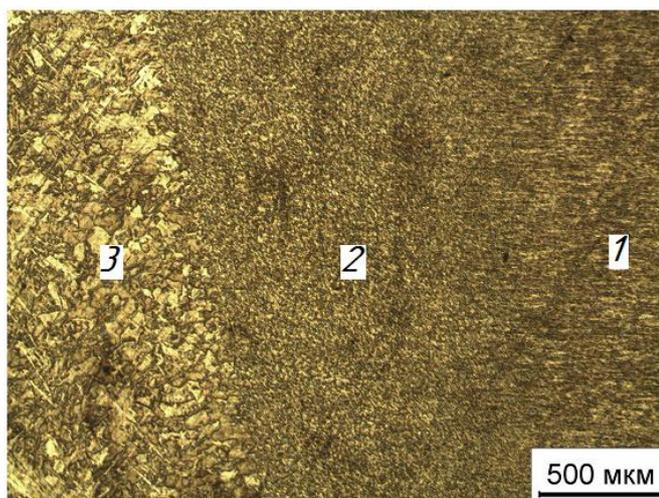


Рисунок 2 – приграничная область расплавленного металла (1 – основной металл с наноразмерными зёрнами; 2 – зона термического влияния; 3 – граничная область расплавленного металла)

При большем увеличении области границы между зоной расплавленного металла (зона 1 на рис. 3, а) и зоной термического влияния (зона 2 на рис. 3, а) виден характер сопряжения данных зон. Из представленного на рис. 3 изображения видно, что граница между данными зонами является размытой, хотя размер зерен изменяется резко: от крупных зерен внутри зоны расплавленного металла – к ультрамелкозернистой структуре в зоне термического влияния. При этом в граничной зоне расплавленного металла, зеренная структура не демонстрирует закалочных эффектов, присущих внутренней зоне расплавленного металла (рис. 3, б).

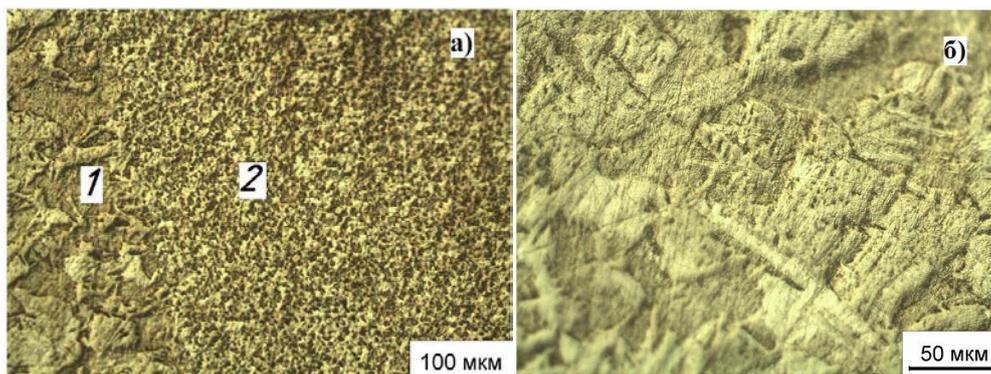


Рисунок 3 – а) граница между зоной термического влияния и ядром соединения; б) внутренняя область ядра соединения

Проведенные исследования показали, что структура металла в зоне электронно-лучевого воздействия претерпевает существенные изменения. В зоне расплавленного металла (зона 1) за счет высокой скорости охлаждения происходят закалочные процессы с образованием игольчатых «мартенситных» зерен. Граница между зоной расплавленного металла и зоной термического влияния (между зонами 1 и 2), а также между зоной термического влияния и основным металлом (между зонами 2 и 3) является размытыми. Это должно благоприятно влиять на прочностные свойства соединения. Но, при этом, в структуре шва вдоль линии стыка сваренных образцов наблюдается высокая концентрация микропор, которые могут уменьшить прочность сварного соединения.

Необходимо отметить, что на пористость оказывают значительное влияние режимы сварки, однако и полностью исключить поры при ЭЛС очень трудно. Здесь важно то, что при ЭЛС титановых сплавов прочностные и пластические свойства металла шва при статических нагрузках и его долговечность при циклических нагрузках во многом зависят от вида и размеров пор, образующихся при кристаллизации [6].

**Заключение.** Проведенные исследования структуры сварных швов с УМЗ структурой титанового сплава ВТ6, полученных ЭЛС, позволили выделить три характерные зоны: зона основного металла, зона термического влияния, зона расплавленного металла. Границы между этими зонами являются достаточно размытыми, что оказывает положительное влияние на прочностные свойства сварного соединения. В то же время наличие высокой концентрации микропор вдоль сварного шва, могут привести к высоким микронапряжениям и способствовать зарождению и раскрытию трещин.

Согласно литературным данным [6] микропористость определяется поступлением в сварочную ванну газов (в первую очередь водородом) во время сварки. При этом микропоры образуются в результате резкого изменения растворимости водорода в металле в момент затвердевания ванны.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации и государственного задания в сфере научной деятельности (проект №11.351.2014/К).*

#### **Список литературы**

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, – 2000. – 272с.
2. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. –М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
3. Зуев И. В., Рыкалин Н. Н., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов – М.: Машиностроение, 1978. - 239 с.
4. Шоршоров М.Х. Сварка титана и титановых сплавов –М.: Машиностроение, 1959. –133с.
5. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х – М.: Машиностроение, 1979. – 3 том/Под ред. Винокурова В. А., 1979. –567 с.
6. Овчинников В.В. Сварщик на лазерных и электронно лучевых сварочных установках. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 64 с.

### **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКОЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ СВС ПОРОШКОВ «КАРБИД ТИТАНА – ТИТАН»**

*М.Г. КРИНИЦЫН<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: krinmax@gmail.com

### **STRUCTURE AND PROPERTIES OF PROTECTIVE COATINGS PRODUCED BY ELECTRON BEAM DEPOSITION OF SHS COMPOSITE POWDERS "TITANIUM CARBIDE - TITANIUM"**

*M.G. KRINITSYN<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

<sup>2</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science

E-mail: krinmax@gmail.com

***Annotation.** A structure of Ti-TiC coatings with different contents of titanium binder, overlaid of composite powders, which were obtained by self-propagating high-temperature synthesis, was investigated. The structure was studied by X-ray analysis and metallography. A size of the carbide particles in coatings, hardness of coatings and rate of wear were measured.*

**Введение.** Износостойкие покрытия на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой изно-