

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ В ОБЛАСТИ СВАРНОГО ШВА В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ1-0 ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ

В.А. Клименов<sup>1,2</sup>, д.т.н., проф., А.А. Клопотов<sup>1,3</sup>, д.ф.-м.н., проф., Ю.А. Абзаев<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., проф.

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная 2, тел. (3822)-65-32-65

<sup>2</sup>Научный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, г. Томск, пл. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56

<sup>3</sup>Научный исследовательский Томский Государственный университет,  
634050, г. Томск, пл. Ленина 36,  
E-mail: nauka@tsuab.ru

**Аннотация:** В работе представлены результаты исследование методом рентгеноструктурного анализа структурно-фазовых состояний в области сварного шва титанового сплава ВТ-1-0 в микро- и субмикроструктурном состояниях. Установлено, что в области сварного шва и в зоне термического влияния структурно-фазовое состояние зависит от того в каком состоянии находились образцы сплава ВТ1-0 перед сваркой. Показано, что в субмикроструктурном состоянии в сплаве ВТ1-0 в области сварного шва и в зоне термического влияния происходит процесс образования метастабильных фаз  $\omega$ -Ti и  $\alpha''$ -Ti.

### Введение:

В настоящее время широко используют увеличение прочности, так и пластичности металлов и сплавов путем измельчения зерен, фрагментов (или субзерен) и ячеек субструктуры. В этой связи перспективными являются титановые сплавы переведенные из микро-, субмикро- и нанокристаллические состояния при помощи методов, использующих интенсивную пластическую деформацию [1-4]. С одной стороны, стабильность сплавов в субмикроструктурном состоянии является весьма важным вопросом в связи с расширяющимся их практическим применением. С другой стороны, особенности структуры и свойств сплавов, смогут обуславливать новые свойства обрабатываемых поверхностей, их соединений и покрытий. Поэтому важно знать законы формирования структурно-фазовых состояний при соединении деталей из материалов, находящихся в субмикроструктурном состоянии при помощи сварки. Эта проблема стоит уже давно. Для ее решения необходимы экспериментальные данные об особенностях изменения структурно-фазовых состояний в области сварного шва.

Цель данной работы исследование методом рентгеноструктурного анализа структурно-фазовых состояний сварных соединений, полученных методом электронно-лучевой сварки, титанового сплава ВТ1-0 в микро- и субмикроструктурном состояниях.

### Материалы и методика.

Для исследований был выбран титановый сплав марки ВТ1-0 (ГОСТ 19807-91). Химический состав данного типа сплава представлен в таблице 1.

Таблица 1.

*Химический состав титанового сплава ВТ1-0*

Элемент	Fe	N	C	H	O	Другие примеси	Ti
Содержание, вес %	0,25	0,04	0,07	0,01	0,2	0,3	остальное

Образцы титанового сплава субмикроструктурного строения были приготовлены путем прокатки прутков сечением 6×6 мм, полученных одним из методов интенсивной пластической деформации (abc-прессованием) [5]. Образцы для сварки представляли собой пластины 2×12 мм длиной 30 мм. Образцы подвергались предварительной чистке и затем зажимались в специальной оснастке обеспечивающей свободное размещение свариваемой зоны от контакта с оснасткой для сварки в вакуумной камере промышленной установки ЭЛС-0,5-6 установленной на АО НПП «Полус». Электронно-лучевая сварка образцов осуществлялась пушкой с плазменным катодом [6], с ускоряющим напряжением (V) 28 кв, током пучка (I<sub>n</sub>) 35 мА, током фокусирующие катушки до 551 мА и скоростью перемещения луча 25 мм/с.

Фазовый состав исходных образцов и сварных швов проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН4-07, модифицированного к цифровой обработке сигнала. Съёмки производились на

$\text{CuK}_\alpha$  по схеме Брегга-Брентано. Количественный фазовый анализ проводили методом Ритвельда 0 на основе обработки дифрактограмм сплава ВТ1-0 [7].

### Результаты и обсуждение

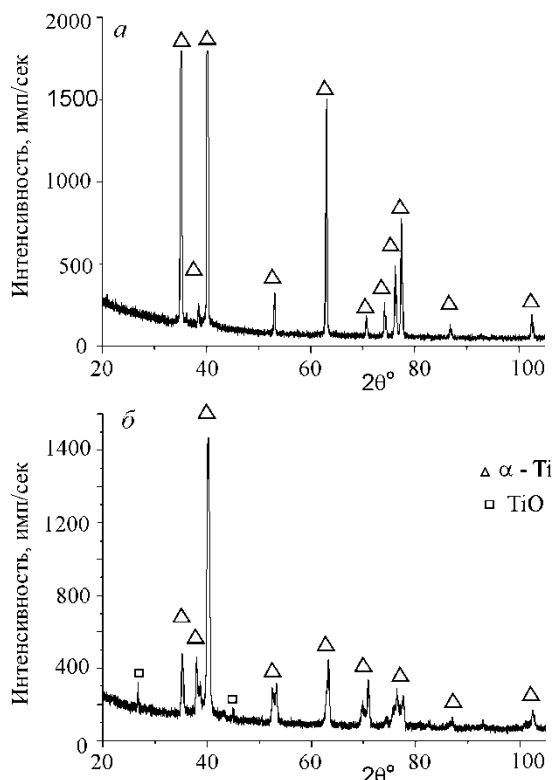


Рис. 1. Дифрактограммы сплава ВТ1-0 в микрокристаллическом состоянии: а – вдали от сварного шва; б – в области сварного шва

На рис. 1 и 2 приведены дифрактограммы, полученные с образцов титанового сплава ВТ1-0, находящегося в микро- и субмикрокристаллическом состоянии в области сварного шва и вдали от сварного шва. Анализ дифрактограмм исходного сплава ВТ1-0 в микрокристаллическом состоянии показал, что в сплаве содержится только одна фаза  $\alpha$ -Тi. Поскольку, на дифрактограммах снятых на образцах сплава ВТ1-0, обнаружены только четкие рефлексы от фазы  $\alpha$ -Тi (рис. 1, а).

Анализ дифрактограмм сплава ВТ1-0 в микрокристаллическом состоянии в области сварного шва позволил выявить, что в области сварного шва кроме фазы  $\alpha$ -Тi содержатся еще окислы титана (рис. 1, б).

Дифрактограммы снятые с образцов в субмикрокристаллическом состоянии сплава ВТ1-0, полученного в результате поэтапного измельчения зерен в образцах методом авс-прессования при параллельном ступенчатом понижении температуры в интервале 750-500°C, представлены на (рис. 1, б). Видно, что на дифрактограммах от образцов в субмикрокристаллическом состоянии сплава ВТ1-0 другое соотношение между интенсивностями рефлексов основной фазы  $\alpha$ -Тi. Это отражает явление текстурообразования в процессе получения субмикрокристаллического состояния. Кроме того на дифрактограмме обнаружены дополнительные рефлексы (рис. 2, а). Эти рефлексы принадлежат фазе  $\beta$ -Тi. Таким образом выявлено, что в этом состоянии сплав ВТ1-0 находится в двухфазном состоянии: ( $\alpha$ -Тi +  $\beta$ -Тi). Методом количественного рентгенофазового анализа установлено, что в этом состоянии в исследуемом сплаве содержится порядка 85%  $\alpha$ -Тi и 15%  $\beta$ -Тi.

На рис.2, б представлены дифрактограммы от сплава ВТ1-0 в субмикрокристаллическом состоянии с локального места в зоне сварного шва и зоне термического влияния. На приведенной дифрактограмме кроме четко наблюдаемых рефлексов  $\alpha$ -Тi и  $\beta$ -Тi обнаружены слабые рефлексы от фаз  $\alpha''$ -Тi,  $\omega$ -Тi и окислов титана (рис. 2, б). Это свидетельствует о том, что в результате воздействия электронно-лучевым пучком на сплав ВТ1-0 в субмикрокристаллическом состоянии в результате

$\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения после окончания сварки в результате высоких скоростей охлаждения произошло образование метастабильных фаз  $\alpha''$ -Ti и  $\omega$ -Ti.

Полученные данные рентгеноструктурных исследований отражают способность сплавов титана образовывать метастабильных фазы в результате механической и термической обработки [8]. Согласно литературным данным в зоне сварного шва и в зоне термического влияния в титановых сплавах обнаружено разное количество характерных участков, которые отражают разные предельные температуры нагрева и разные скорости охлаждения [9]. Наличие температурного градиента и разных скоростей охлаждения в разных локальных областях в зоне сварного шва приводят к структурно-кинетической ступенчатости  $\beta \rightarrow \alpha$  превращения в титановых сплавах. Это явление заключается в дискретном снижении температуры превращения при достижении критических значений скорости охлаждения. Скачки температуры сопровождаются нарушением монотонного изменения свойств и структуры  $\alpha$ -титана, вызываемым разными скоростям охлаждения [10]. Кроме того, на первом этапе на этот процесс накладывается процессы, связанные с образованием метастабильных фаз [8]. Этот процесс может быть поэтапным. На первом этапе возможно образование метастабильной фазы  $\beta$ -Ti. На втором этапе возможен распад метастабильной фазы  $\beta$ -Ti на ряд метастабильных фаз  $\omega$ -Ti,  $\alpha''$ -Ti и  $\alpha_2$ -Ti [8, 11].

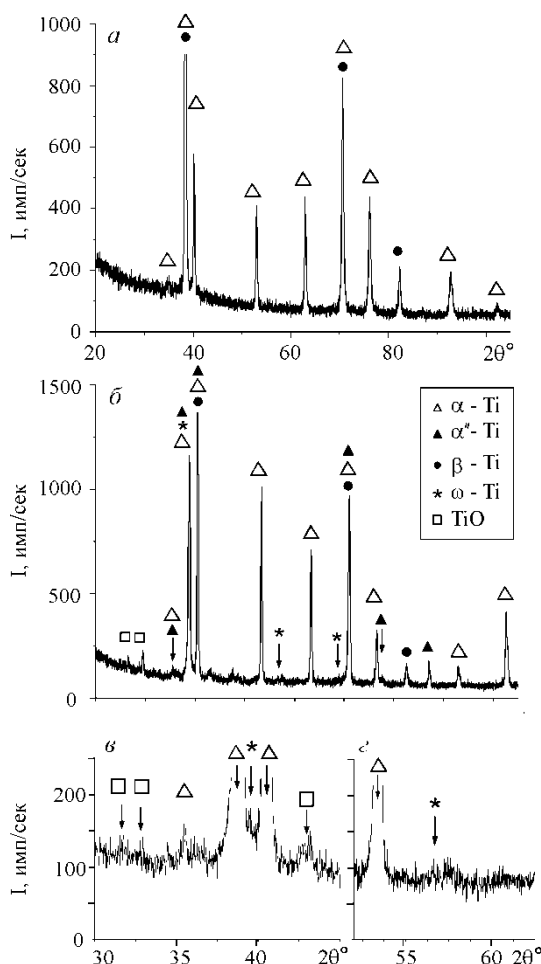


Рис. 2. Диффрактограммы сплава VT1-0 в субмикроструктурном состоянии: а – вдали от сварного шва; б, в, г – в области сварного шва; в, г – фрагменты диффрактограмм в области сварного шва

Таким образом, в области сварного шва и в зоне термического влияния структурно-фазовое состояние зависит от того в каком состоянии находились образцы сплава VT1-0 при проведении электронно-лучевой сварки: микрокристаллическом или субмикроструктурном. Показано, что в субмикроструктурном состоянии в сплаве VT1-0 в области сварного шва и в зоне термического влияния происходит процесс образования метастабильных фаз  $\omega$ -Ti и  $\alpha''$ -Ti.

Литература.

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос. – 2000. – 272 с.
2. Носкова Н.И., Мулюсов Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. Екатеринбург: УрО РАН. – 2003. – 279 с.
3. Потекаев А.И., Табаченко А.Н., Савостиков В.М., Дудурев Е.Ф., Бакач Г.П., Скосырский А.Б. Высокопрочные субмикроструктурные ( $\alpha+\beta$ )-титановые сплавы с наноконпозиционным антифрикционным износостойким покрытием // Известия Вузов. Физика. – 2014. – Т.57. – №2. – С.77-84.
4. Курзина И.А., Божко И.А., Калашников М.П., Ерошенко А.Ю. Шаркеев Ю.П. Эволюция структуры и механических свойств ультрамелкозернистого титана // Материаловедение. – 2010. – №5. – С.48-55.
5. Салищев Г.А., Валиахметов В.Р., Галеев Р.С., Малышева С.П. Формирование субмикроструктурной структуры в титане при пластической деформации и ее влияние на механическое поведение // Металлы. – 1996. – №4. – С. 86-91.
6. Wang S.Q., Liu J.H., Chen D.L. Tensile and fatigue properties of electron beam welded dissimilar joints between Ti-6Al-4V and BT9 titanium alloys // Materials Science and Engineering. – 2013. – А 584. – Р.47-56.
7. А.А. Клопотов, Ю.А. Абзаев, А.И. Потекаев, О.Г. Волокитин. Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении. Томск: ТГАСУ. – 2012. – 275 с.
8. Паршин А.М., Скотникова М.А. Диаграмма распада и режим термической обработки двухфазных сплавов титана // Материаловедение и термическая обработка металлов. – 1997. – № 7. – С.34-37.
9. Лясоцкая В.С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов. – М.: Экомет. – 2003. – 352 с.
10. Мирзаев Д. А., Ульянов В. Г. Влияние скорости охлаждения на температуру  $\beta \rightarrow \alpha$  превращения и структуру титана // Сплавы титана особыми свойствами. – 1982. – М.: Наука. – С.43-47.
11. Анисимова Л. И., Гольдштейн М. И., Попов Л. А. Закономерности распада метастабильного  $\beta$ -твердого раствора в  $\beta$ -титановых сплавах // Сплавы титана особыми свойствами. – 1982. – М.: Наука. – С.43-47.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В РАЗНОРОДНОМ СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ ТРУБОПРОВОДНОГО ПЕРЕХОДНИКА**

*К.А. Чикан аспирант, А.Л. Гончаров к.т.н., доцент, В.Р. Деготь руководитель  
Национально исследовательский университет «МЭИ»  
111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14  
E-mail: kristinchikan92@gmail.com*

**Аннотация:** Данная работа посвящена исследованию структурно-химической неоднородности (СХН) трубопроводного переходника из разнородных сталей, выполненного аргонодуговой сваркой (АрДС). При помощи оптического микроскопа получены фотографии СХН и ее размеры. СХН выражается в появлении прослоек (карбидной и ферритной) с разным химическим составом. Приведены графики роста ширины прослоек от времени выдержки и температуры.

**Abstract:** This paper is devoted to the comparison of the structural and chemical inhomogeneity (SCI) of adapters made of dissimilar steels, made by tungsten insert gas (TIG). By means of optical microscope, photographs of the SCI and its dimensions were obtained. SCI is expressed in the appearance of interlayers (carbide and ferritic) with different chemical composition. Graphs of the growth of the widths of the interlayers from the time of exposure and temperature are given.

При реконструкции технологических производств нередки случаи, когда возникает необходимость соединения технологического трубопровода из разных структурных классов. Зачастую это патрубки оборудования из аустенитной стали с подводящими и отводящими трубопроводами из стали перлитного класса. Согласно п. 6.3.6 ПНАЭ [1] в таких случаях должны применяться специальные переходники.

Переходники представляет собой сборочные единицы, сваренные из двух отрезков труб, каждый из которых по марке стали соответствует соединяемым трубам. Размеры переходников предусмотрены СТО [2], конструкция представлена на рис. 1.