

3. Модуль упругости при растяжении, Е, МПа	14900	17000
4. Ударная вязкость по Шарпи без надреза, кДж/м <sup>2</sup>	41	37
5. Показатель истирания, v, мм <sup>3</sup> /м	5,79	6,44

По приведенным в таблице данным, можно сделать вывод: образцы, прошедшие докристаллизацию, имеют более высокую прочность при разрыве, а также модуль упругости при растяжении и показатель истирания, что согласуется с литературными данными [1-4]. Это по предположению авторов, связано с повышением степени кристалличности образцов после докристаллизации, что также вполне удовлетворительно коррелируется с литературными данными [5]. В дальнейшем планируется проведение исследований по докристаллизации ПЭЭК в температурном интервале 200-300 °С.

#### Список литературы:

1. Berer M., Major Z., Pinter G., Constantinescu D.M.. Investigation of the dynamic mechanical behavior of polyetheretherketone (PEEK) in the high stress tensile regime.// Mechanics of Time-Dependent Materials. – 2013. – Т. 18. – № 4. – 22 с.
2. Aly A. A. Heat Treatment of Polymers: A review// International Journal of Materials Chemistry and Physics. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 132-140.
3. M. Regis, A. Bellare, T. Pascolini, P. Bracco Characterization of thermally annealed PEEK and CFR-PEEK composites: Structure-properties relationships// polymer Degradation and Stability, 2017, 136, pp. 121-130.
4. Izamshah R., Lung A. Yu, Mohamad E., Azam M.A., Amri M., Liew P.J., Sanusi M.. Optimization of Milling Parameter for Untreated and Heat Treated Polyetheretherketones (PEEK) Biomaterials// Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Т. 761. – С. 293-297.
5. Jiang Zh., Liu P., Sue H.-J., Bremner T. Effect of annealing on the viscoelastic behavior of poly(ether-ether-ketone)// Polymer. – 2019. – №. 3. – С. 231-237.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ Тi-AU СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ТРЕХСЛОЙНЫХ 2D-КОМПОЗИТОВ

*Д.И.СУМИНА, С.В.МАТРЕНИН, В.А.КЛИМЕНОВ*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [dashasum47@gmail.com](mailto:dashasum47@gmail.com)

Легирование титана золотом для изготовления изделий медицинского назначения является одним из возможных способов улучшения их эксплуатационных свойств [1]. Сплавы Ti-Au обладают улучшенной коррозионной стойкостью [2, 3] и твердостью [3,4,5]. Было оценено влияние интерметаллидов Ti<sub>3</sub>Au на коррозионную стойкость сплавов Ti-Au [2]. Детальное исследование микроструктуры и фазового состава сплавов Ti<sub>1-x</sub>Au<sub>x</sub> с различными соотношениями компонентов [5] позволило определить интерметаллические фазы, которые обеспечивают наибольшую микротвердость по Виккерсу (от 6,3 до 7,8 ГПа). В то же время авторы отмечают значительное влияние дефектов микроструктуры на высокие значения микротвердости по сравнению с чистым титаном. Одним из дальнейших вариантов развития этого направления является создание слоистых интерметаллидных композитов, представляющих собой материалы, в которых чередуются металлические и

интерметаллидные слои, являющиеся результатом химического взаимодействия и обладающие особыми, специфическими свойствами [6].

Целью данной работы является исследование физико-механических характеристик зоны сплавления Ti-Au. В ходе исследования была предпринята первая попытка получения трехслойного 2D-композита Ti-Au с применением метода контактной сварки.

Для получения образца сплава были использованы титановые пластины ВТ1-0 толщиной 300 мкм и золотая (99,99%) фольга толщиной 50 мкм. Детали сплавляли с использованием специального сварочного оборудования. Образец для металлографии и измерений твердости был изготовлен с помощью резания. Затем поверхность поперечного сечения шлифовали и полировали с использованием алмазных паст. Металлографические исследования проводились с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-6000, снабженного энергодисперсионным рентгеновским спектрометром, что позволило исследовать элементный состав образца. Твердость и модуль упругости измеряли методом наноиндентирования с использованием «Nano Indenter G 200». Индентор представляет собой пирамиду Берковича. Нагрузка составляла 100 мН (10 г). Данные о распределении химических элементов и значениях твердости были статистически обработаны с использованием программного обеспечения «Microsoft Excel».

Согласно изображениям, полученным на растровом электронном микроскопе, в зоне сплавления не было дефектов, таких как трещины, поры и т.д., рисунок 1. Среднее содержание золота составляло около 16 ат. % (42 мас.%). В целом его распределение в титане было достаточно равномерным. Согласно изображению образца, рисунок 2, в характеристическом рентгеновском излучении, золото имело проникновение, соответствующее примерно 80... 90% от общей толщины сварных пластин. Средние значения твердости в зоне сплавления были около 6000-7000 МПа. Значения твердости уменьшались по мере приближения к краю зоны сплавления Ti-Au.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Сплавы на основе Ti-Au являются материалами с высокими физико-механическими характеристиками, способными найти применение в различных сферах, в том числе в медицинском протезировании, благодаря набору уникальных свойств.

2. Среднее содержание золота в полученном сплаве Ti-Au составляло около 16 ат. % (42 мас.%). Оно было распределено довольно равномерно по всему объему образца в диапазоне 10... 20 ат. % (30... 50 мас.%). Значения микротвердости составляли около 6... 7 ГПа в областях, наиболее обогащенных золотом, и составляли приблизительно 4 ГПа при минимальных концентрациях.

3. Применяемый метод получения сплавов – контактная точечная сварка может использоваться в качестве основы для дальнейшего управления микроструктурой и свойствами получаемых сплавов с помощью предварительно определенных термических циклов.

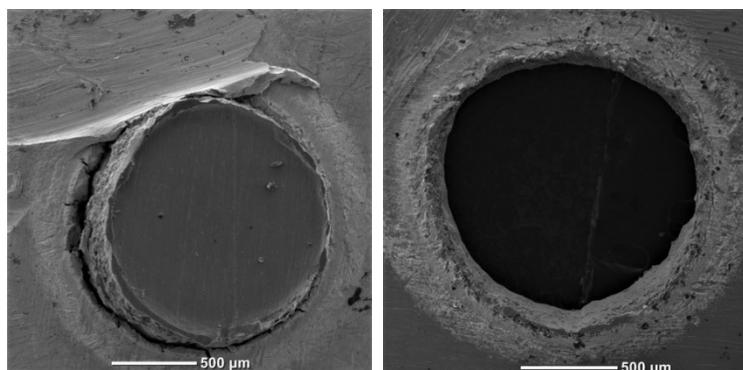


Рисунок 1 – РЭМ-изображение образца после сварки и разделения пластин

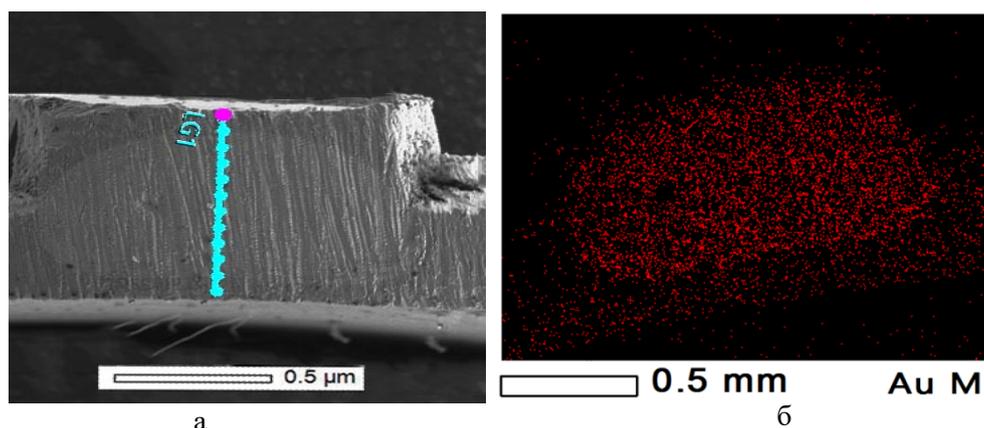


Рисунок 2 – Исследуемый образец сплава Ti-Au  
 а) поперечное сечение образца с обозначением дорожки, вдоль которой определялся элементный состав; б) распределение атомов золота в характеристическом рентгеновском излучении

### Список литературы

1. Leyens C., Peters M. Titanium and titanium alloys. Fundamentals and applications. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2003.
2. Takahashi, M., Kikuchi, M., Takada, Y., Okuno, O., Okabe, T. Corrosion behavior and microstructures of experimental Ti-Au alloys (2004) Dental Materials Journal, 23 (2), pp. 109–116. DOI: 10.4012/dmj.23.109
3. Lee, Y.-R., Han, M.-K., Kim, M.-K., Moon, W.-J., Song, H.-J., Park, Y.-J. Effect of gold addition on the microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of Ti alloys (2014) Gold Bulletin, 47 (3), pp. 153–160. DOI: 10.1007/s13404-014-0138-9
4. Svanidze, E., Besara, T., Fevsi Ozaydin, M., Tiwary, C.S., Wang, J.K., Radhakrishnan, S., Mani, S., Xin, Y., Han, K., Liang, H., Siegrist, T., Ajayan, P.M., Morosan, E. High hardness in the biocompatible intermetallic compound  $\beta$ -Ti<sub>3</sub>Au (2016) Science Advances, 2 (7), e1600319, DOI: 10.1126/sciadv.1600319
5. Xin, Y., Han, K., Svanidze, E., Besara, T., Siegrist, T., Morosan, E. Microstructure of hard biocompatible Ti<sub>1-x</sub>Au<sub>x</sub> alloys (2019) Materials Characterization, 149, pp. 133–142. DOI: 10.1016/j.matchar.2019.01.013
6. Дмитрий Юрьевич. Формирование структуры и свойств титано-стальных слоистых интерметаллидных композитов: диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.09 / Донцов Дмитрий Юрьевич; [Место защиты: Волгогр. гос. техн. ун-т].- Волгоград, 2010.- 174 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/1550

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕТЕРОИНТЕРФЕЙСА TiO<sub>2</sub>/SrTiO<sub>3</sub>

С.А.ТИХОНОВ<sup>1,2</sup>, А.П. ЗАВЬЯЛОВ<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Камчатский филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба Российской академии наук",  
Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>3</sup>Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: [Zav\\_Alexey@list.ru](mailto:Zav_Alexey@list.ru)

Ранее [1] мы представили концепцию создания нового термоэлектрического материала на основе двухфазной керамической системы TiO<sub>2</sub>-SrTiO<sub>3</sub>. Его особенность в