

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-264

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА VT6/Cu, ПОЛУЧЕННОГО ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ

Гусарова А.В., Зыкова А.П., Воронцов А.В., Чумаевский А.В.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Титановые сплавы, известные хорошим сочетанием механических и коррозионных характеристик, широко используются во многих аэрокосмических, химических и биомедицинских приложениях. Однако титановые сплавы могут быть склонны к окислению и даже самовоспламенению [1] либо в кислороде под давлением, либо при высоких температурах [2], и эти ограничения являются аргументами против их использования, например, в аэрокосмических или автомобильных двигателях. Например, достижение высокотемпературной прочности и стойкости к окислению титановых сплавов путем изготовления литых и горячекатаных листов из сплавов Ti-Cu и Ti-Cu-Nb позволило использовать их для изготовления компонентов выхлопной системы мотоциклов и автомобилей [3]. Сплавы содержали ~1 масс.% Cu, что ниже предела растворимости 2,1 масс.%, так что вся медь оставалась в твердом растворе и не выделялись интерметаллические соединения Ti₂Cu.

Система Ti-Cu представляет особый интерес, поскольку добавление ~ 5 об.% Cu к Ti уже позволяет улучшить износостойкость и коррозионную стойкость [4], жаропрочность [3], сопротивление горению [5]. Литературные источники показывают, что присутствие фаз β-Ti и Ti₂Cu улучшает противопожарные характеристики титановых сплавов [6]. Большинство литературных источников, относящихся к системе Ti-Cu, посвящено описанию таких производственных методов, как плавка и литье, стандартная порошковая металлургия и горячее изостатическое прессование. Все вышеперечисленные методы позволяют получать композиционные материалы Ti/Cu, однако имеют ряд недостатков, например, необходимость в специальном оборудовании, устойчивом к воздействию высокоагрессивного высокотемпературного плавящего титанового сплава, испарения легирующих элементов и образование пагубных сегрегаций. Кроме того, разработка объемного горючего сплава, несомненно, увеличит его вес и стоимость производства, поэтому оптимальным решением этой проблемы выглядит модификация поверхности, позволяющая сохранить прочностные характеристики объемного сплава. Поэтому целью данной работы являлось изучение прочностных характеристик *in situ* композита VT6/Cu, полученного фрикционной перемешивающей обработкой (ФПО).

In situ композит VT6/Cu получали с использованием промышленного порошка Cu (чистота 99,5%) со средним размером частиц 10,5±0,5 мкм. Перед изготовлением композитов на пластинах VT6 (размером 60×300×2,5 мм³) были сделаны отверстия для порошка Cu. Далее порошки Cu засыпали в отверстия и уплотняли механическим способом. В процессе ФПО использовали инструмент из жаропрочного сплава на основе никеля с пином в форме усеченного конуса высотой 2 мм, диаметром плеч инструмента 20 мм, углом наклона инструмента 3°. Для равномерного распределения порошков Cu внутри матрицы VT6 проводили много проходную ФПО пластин VT6 со 100% перекрытием без изменения направления между проходами. Во избежание перегрева инструмента использовали систему водяного охлаждения инструмента. Аргон использовался в качестве защитного газа для предотвращения окисления обрабатываемой пластины VT6 в процессе ФПО.

Результаты механических испытаний на растяжение исходного VT6, 4х проходной ФПО VT6 и *in situ* композита VT6/Cu представлены на рисунке 1. Исходный VT6 имеет предел прочности 1006 МПа и относительное удлинение 14,9%. После 4-х ФПО VT6 прочность снизилась до 686,6±20,5 МПа, относительное удлинение снизилось до 3,6±0,12 % (рис. 1а). Предел прочности композита VT6/Cu после 6-ти ФПО составил 768,5±23 МПа, что на 10% выше чем у 4х проходной ФПО VT6. Повышенные значения прочностных характеристик обусловлены формированием высокотвердых интерметаллидов Ti₂Cu,

имеющих когерентную/полукogerентную границу раздела с матрицей и растворением Cu в твердом растворе α -Ti и β -Ti. Стоит отметить, что значение предела прочности композита VT6/Cu выше, чем у литых композитов Ti-5%Cu на 10-20% [7], и спеченного композита Ti-5%Cu на 22% [8]. Для всех образцов после ФПО наблюдается уменьшение значений относительного удлинения до 3,6 и 3,9% для 4х проходной ФПО VT6 и 6ти проходной ФПО VT6/Cu соответственно (рис. 1а).

Профиль коэффициента трения в зависимости от времени скольжения показан на рис.1б. Видно, что для всех образцов при изменении коэффициента трения от времени скольжения наблюдаются скачки. Сравнение сил трения показывает, что образцы, подвергнутые многократной ФПО имеют более устойчивое поведение к износу. Наилучший результат демонстрирует композит VT6/Cu (рис. 1б). В условиях трения нагрузка на Ti₂Cu и твердые растворы Ti с растворенной в ней Cu приводит к наименьшему износу композита, что повышает его износостойкость.

Таким образом, введение порошка 5 об.% Cu в матрицу VT6 в процессе ФПО приводит к повышению прочности и износостойкости на 10 % и 20% соответственно. Предел прочности на разрыв композита Ti6Al4V/Cu составил 768,5±23 МПа.

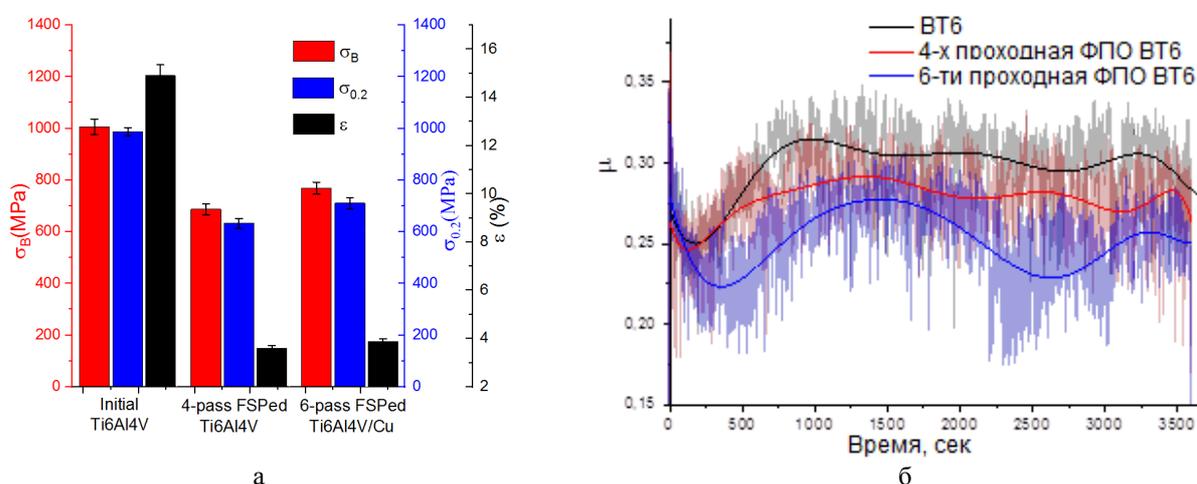


Рис. 1. РЭМ-изображения в режиме BSE: исходное состояние VT6 (а); после 4-х ФПО (б), (в); после 6-ти ФПО VT6/Cu (г), (д)

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.

- Ding Z., Fan Q., Wang L. A Review on Friction Stir Processing of Titanium Alloy: Characterization, Method, Microstructure, Properties, Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science // 2019. Vol. 50. P. 2134–2162
- Bolobov V.I. Mechanism of Self-Ignition of Titanium Alloys in Oxygen, Combustion, Explosion and Shock Waves // 2002. Vol. 38. P. 639–645.
- Wang C., Hu J., Wang F., Jiang J., Zhang Z.Z., Yang Y., Ding J.X., Jiang H.C., Wang Y.M., Wei H.Y. Measurement of Ti-6Al-4V alloy ignition temperature by reflectivity detection // Review of Scientific Instruments. 2018. Vol. 89.
- Hiroaki O., Kazuhiro T., Hideki F., Kenichi M. Development of Ti-Cu Alloy Sheets for Automobile Exhaust Systems // Technical Report. 2014. Vol. 106. P. 53–59.
- Bao M., Liu Y., Wang X., Yang L., Li S., Ren J., Qin G., Zhang E. Optimization of mechanical properties, biocorrosion properties and antibacterial properties of wrought Ti-3Cu alloy by heat treatment // Bioactive Materials. 2018. Vol. 3. P. 28–38.
- Li B., Ding R., Shen Y., Hu Y., Guo Y. Preparation of Ti-Cr and Ti-Cu flame-retardant coatings on Ti-6Al-4V using a high-energy mechanical alloying method: A preliminary research // Materials and Design. 2012. Vol. 35. P. 25–36.
- Chen Y., Yang W., Bo A., Zhan H., Zhang F., Zhao Y., Zhao Q., Wan M., Gu Y. Underlying burning resistant mechanisms for titanium alloy // Materials & Design. 2018. Vol. 156. P. 588–595.
- Kikuchi M., Takada Y., Kiyosue S., Yoda M., Woldu M., Cai O., Okuno O., Okab T. Mechanical properties and microstructures of cast Ti-Cu alloys // Dental Materials. 2003. Vol. 19. Iss. 3. P. 174-181.
- Alshammari Y., Yang F., Bolzoni L. Low-cost powder metallurgy Ti-Cu alloys as a potential antibacterial material // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2019. Vol. 95. P. 232-239.