

DOI: 10.17223/9785946218412/242

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА
КОРРОЗИОННЫЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА Ti-15Mo/TiB**

Озеров М.С., Газизова М.Ю., Степанов Н.Д., Жеребцов С.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород

К настоящему моменту достигнуто достаточное понимание того, как выбор упрочняющих компонентов металл-матричных композитов и их количества влияет на их структуру и свойства, а также доказаны возможности практического использования таких материалов. В то же время композиты на основании альфа титана не удовлетворяют всем требованиям предъявляемым промышленностью для ряда применений. Для повышения свойств композитов на основе титана и его сплавов в качестве матрицы могут использоваться бета сплавы. Обладая основными достоинствами технически чистого титана (высокие коррозионные свойства, биосовместимость, высокая удельная прочность), бета сплавы титана имеют более высокую пластичность, возможность упрочнения посредством термической обработки до уровня, существенно превосходящего прочность технически чистого титана. Одним из возможных кандидатов является псевдо бета сплав Ti-15%Mo. Этот сплав сертифицирован для применений в ортопедии, травматологии, сердечно-сосудистой хирургии (ASTM F2066), благодаря хорошей биосовместимости и очень низкому модулю упругости. К сожалению, имеющиеся возможности управления структурой часто оказывают разнонаправленное воздействие на свойства данного сплава. Например, необходимый для использования в качестве имплантатов низкий модуль упругости резко повышается после термического упрочнения, а без термообработки прочность сплава недостаточно высока. Это ограничивает возможности практического применения данного сплава. Одним из решений данной проблемы могло бы стать упрочнение бета титановой матрицы волокнами TiB. В данной работе получение композита Ti-15%Mo/TiB реализовано искровым плазменным спеканием. Важным достоинством данного метода является возможность сохранения дисперсной структуры порошка и получения наноструктурного состояния в объемных заготовках композита. С целью определения влияния армирующего компонента TiB₂ на коррозионную стойкость и износостойкость композита в данной работе были проведены исследования трибологических и коррозионных свойств композита Ti-15Mo/TiB, также определено влияние деформационно-термической обработки на изменение данных свойств. Следует отметить, что работ о закономерностях изменения свойств композитных материалов, подвергнутых термомеханической обработке, крайне мало в литературе.

Композит Ti-15Mo/TiB был получен искровым плазменным спеканием (ИПС) смеси порошков 80.75 вес.% Ti, 14.25 вес.% Mo и 5 вес.% TiB₂ при температуре 1400°C. По данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) композит в спеченном состоянии показывает довольно высокую макроскопическую однородность и состоит из титановой матрицы с распределенными в ней волокнами TiB и небольшого количества непрореагировавших частиц TiB₂ (Рис. 1). Средний размер поперечного сечения волокон TiB составляет 130 нм, однако встречаются и более толстые волокна размером до 1-2 мкм.

Анализ с использованием просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) показывает в целом довольно высокую плотность дислокаций в структуре, однако в некоторых областях можно хорошо видеть отдельные волокна TiB, расстояние между которыми составляет 1-1,5 мкм (Рис. 2). С целью повышения однородности исходное состояние композита было подвергнуто гомогенизационному отжигу при 1200°C в течение 24 часов. Благодаря отжигу наблюдается некоторое выравнивание микроструктуры и приближение к номинальным значениям химического состава композита.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

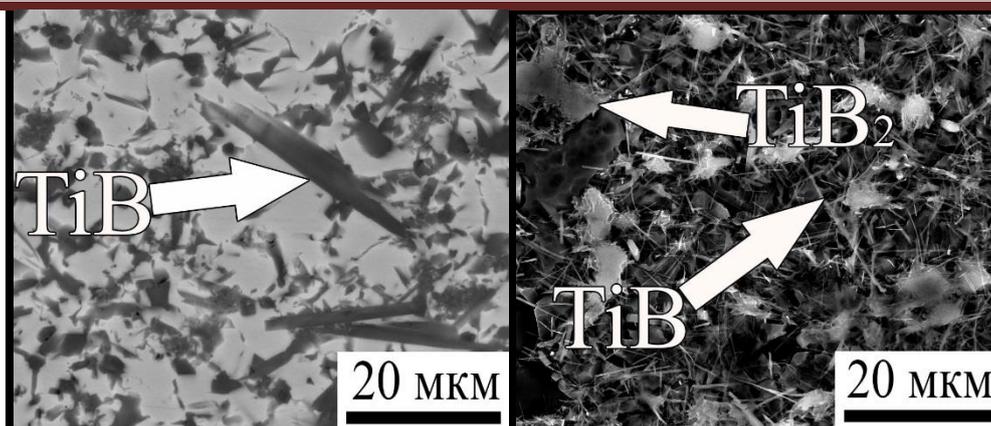


Рис. 1. СЭМ изображения (а - структура без травления, б – структура после травления) микроструктуры композита Ti-15Mo/TiB



Рис. 2. ПЭМ изображение микроструктуры композита Ti-15Mo/TiB

Для повышения механических свойств композита была проведена всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) при $T=700^{\circ}\text{C}$. Показано, что в ходе деформации в титановой матрице развивается динамическая рекристаллизация. Деформация приводит к некоторому снижению микротвердости и сопротивлению износа. Твердость композита на 40-60% выше, чем у технически чистого титана VT1-0. После ВИК твердость композита уменьшается на ~15%. Сопротивление износу образцов композита в исходном и деформированном состояниях сравнивали со свойствами технически чистого титана VT1-0. Испытания на износ показали увеличение коэффициента трения композита Ti-15Mo/TiB по сравнению с чистым титаном. Показано, что ВИК не меняет существенно трибологические характеристики. Исследования коррозионной стойкости проводилось электрохимическим методом с использованием потенциостата IPC-Pro и стандартной трех-электродной ячейке в растворе Рингера (0,9-% водный раствор NaCl) при комнатной температуре. Исследование электрохимической коррозии свидетельствует о сравнимых характеристиках композита и чистого титана. Полученные данные согласуются с результатами недавних работ [1, 2] в которых также показаны сопоставимые коррозионные характеристики композита Ti/TiB по сравнению с технически чистым титаном.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ №15-19-00165.

1. Chen, Y. Corrosion Behaviour of Selective Laser Melted Ti-TiB Biocomposite in Simulated Body Fluid / Y. Chen, J. Zhang, N. Dai, P. Qin, H. Attar, L.-C. Zhang // *Electrochimica Acta*. 2017. V. 232. P. 89-97.
2. Sivakumar, B. Corrosion behavior of titanium boride composite coating fabricated on commercially pure titanium in Ringer's solution for bioimplant applications / B. Sivakumar, R. Singh, L.C. Pathak // *Mater. Sci. Eng. C*. 2015. V. 48. P. 243–255.