

**ПОВЕРХНОСТНЫЙ СПЛАВ Тi-Y, СФОРМИРОВАННЫЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ**Н.Н. Морозова, К.В. Соснин

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.Ф. Иванов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
Сибирский государственный индустриальный университет,
Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, 654007
E-mail: morozova.nadejda.n@mail.ru

SURFACE ALLOY Ti-Y, FORMED BY HIGH-ENERGY METHOD OF EFFECTN.N. Morozova, K.V. Sosnin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.F. Ivanov
National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk, Kirov str., 42, 654007
E-mail: morozova.nadejda.n@mail.ru

Surface alloys of system Ti-Y with different yttrium concentration have been synthesized. Formation of two-phase mixture α -Ti+ α -Y has been revealed. It was shown that a structure of grained type was formed at volume fraction of α -Y(50-60) %. Elongated interlayers of α -Y are seen along the grain boundaries, and two-phase (α -Ti+ α -Y) structure of a cellular crystallization with cell sizes of $\sim 0.5 \mu\text{m}$ – in a grain volume and nano-sized particles – along the boundaries. A structure of nanosize lamellar eutectics with a relatively small grain size (10-20 μm) is formed at volume fraction of α -Y (70-80) %. It was shown that a surface alloy formation is accompanied by a multiple decrease of friction coefficient and wear speed, and microhardness increase of modified layer in comparison with the similar titanium one.

В связи с последними достижениями в области разработки технологий сверхбыстрого затвердевания металлических расплавов, реализующегося, в частности, при высокоэнергетических импульсных методах воздействия (электронные и ионные пучки, потоки плазмы, лучи лазера и т.д.), сформировался явно выраженный интерес к легирующим компонентам, ранее считавшимся неперспективными из-за их малой растворимости в твердом состоянии. Для титана это редкоземельные элементы, легирование которыми может позволить создавать жаропрочные титановые сплавы с термически стабильным дисперсионным упрочнением [1].

Цель работы – разработка метода формирования поверхностного сплава Ti-Y, исследование его структуры и свойств. В качестве материала основы был использован титановый сплав ВТ6. Легирование и формирование поверхностного сплава системы Ti-Y осуществляли по двухступенчатой схеме. На первом этапе использовали метод электровзрывного легирования (установка ЭВУ-60/10М в СибГИУ, г. Новокузнецк) [2]. В качестве взрывающего электропроводящего материала была использована фольга технически чистого титана ВТ1-0 массой 100 мг. На поверхность фольги в область взрыва помещали навеску наноразмерного порошка иттрия массой 400 мг. Время воздействия плазмы на поверхность

образца ~ 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи $\sim 5,5$ ГВт/м², давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности $\sim 12,5$ МПа, температура плазмы на срезе сопла $\sim 10^4$ К. толщина поверхностного сплава ~ 30 мкм, толщина зоны термического влияния ~ 50 мкм. Последующую высокоскоростную термическую обработку сплава осуществляли высокоинтенсивным импульсным пучком электронов на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН, г. Томск). Оценки показывают, что при времени воздействия пучка электронов на поверхность металла (50...200) мкс скорость нагрева и охлаждения модифицированного слоя составляет $\sim 10^6$ К/с [3]. Режим облучения: энергия электронов 18 кэВ; плотность энергии пучка электронов (20...50) Дж/см²; длительность импульса 150 мкс; количество и частота следования импульсов 3 и 0,3 с⁻¹. Исследования морфологии поверхности, определение элементного и фазового состава осуществляли методами оптической, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Трибологические свойства поверхностного сплава определяли при сухом трении по схеме диск-шарик (контртело - шарик диаметром 3 мм из твердого сплава WC-Co, нагрузка 1 Н). Твердость поверхностного слоя определяли на твердомере ПМТ-3.

Методами оптической и сканирующей электронной микроскопии выявлено формирование поверхностного легированного слоя толщиной 20...30 мкм, под которыми располагается зона термического влияния, толщиной около 40 мкм. Объемная доля α -Y в легированном слое (по результатам рентгенофазового анализа) изменяется в пределах от 55 % до 73 % (остальное α -Ti) и зависит от плотности энергии пучка электронов. При малой объемной доле α -Y (~ 55 %) на поверхности облучения формируется структура зеренного типа. По границам зерен фиксируются протяженные прослойки α -Y (рис. 1, а), в объеме зерен двухфазная (α -Ti + α -Y) структура ячеистой кристаллизации с размером ячеек $\approx 0,5$ мкм (рис. 1, б). При объемной доле α -Y ~ 73 % на поверхности формируется структура пластинчатой эвтектики с относительно малым размером зерен (10...20) мкм (рис. 1, в).

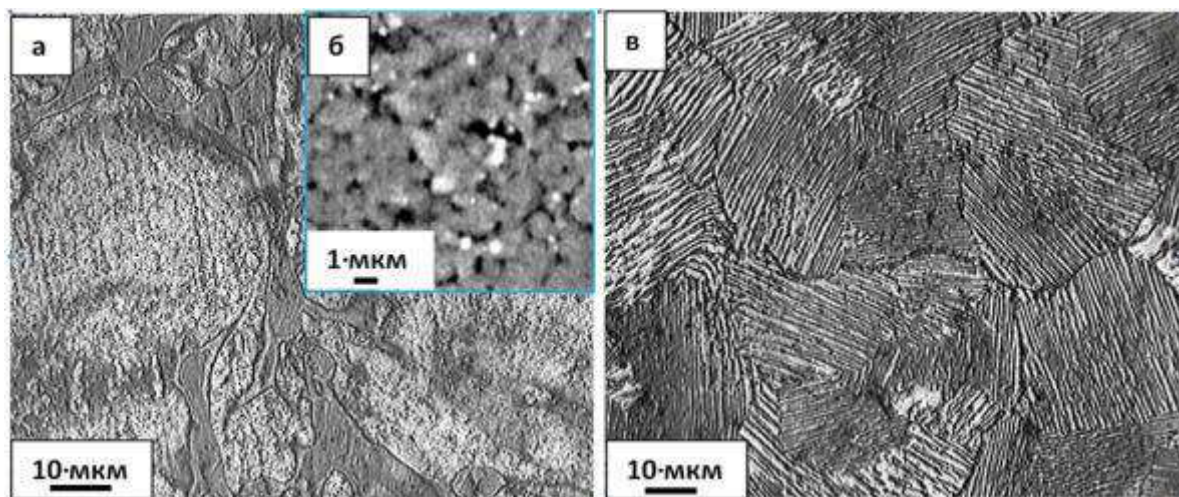


Рис. 1. Структура поверхностного сплава Ti-Y, формирующаяся при электровзрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке; а, в - оптическая; б – сканирующая микроскопия

Исследование элементного состава поверхностного сплава, выполненные методами микрорентгеноспектрального анализа (рис. 2), подтвердили высказанное выше предположение о распределении иттрия в поверхностном слое. А именно, прослойки по границам зерен сформированы иттрием (рис. 2, в), в объеме зерен преимущественным элементом является титан (рис. 2, б).

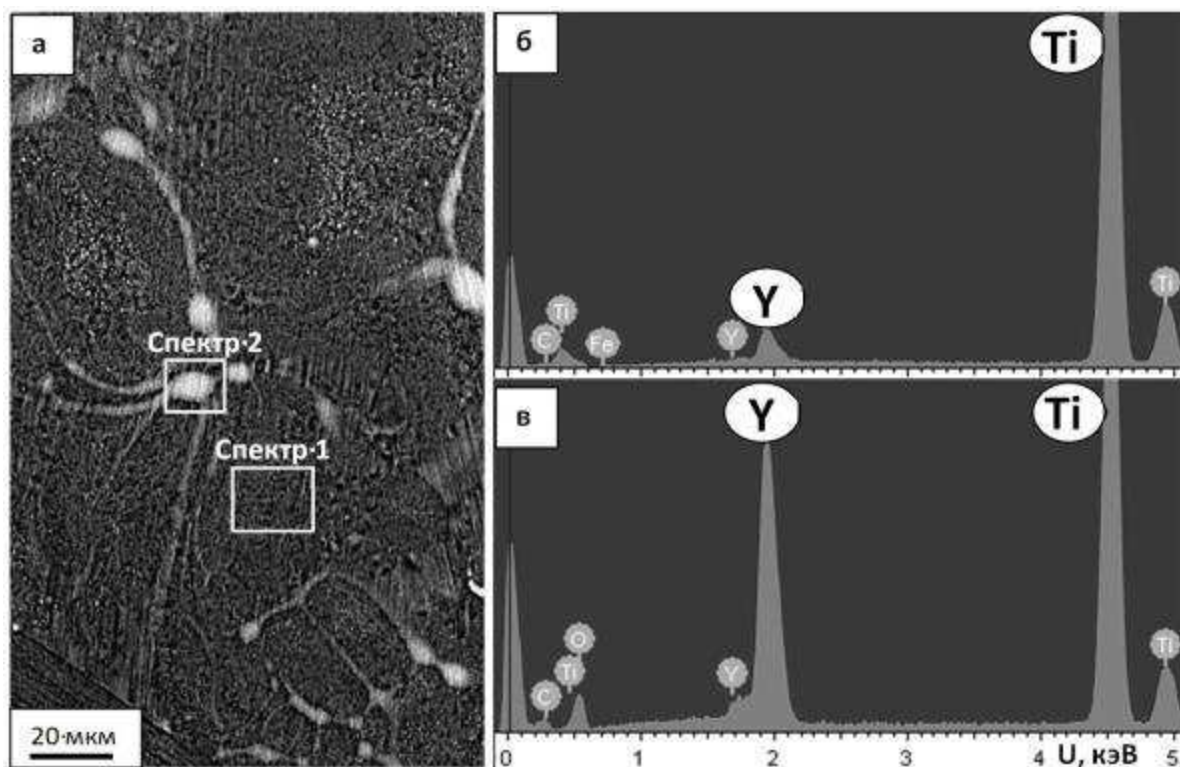


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение поверхности сплава Ti-Y (а) и энергетические спектры (б, в), полученные с площадок, выделенных рамками на (а); б – спектр 1, в – спектр 2.

Трибологические свойства поверхностных сплавов Ti-Y изучали, определяя коэффициент трения и скорость изнашивания поверхности. Установлено (по отношению к сплаву VT6), что формирование структуры зеренного типа сопровождается снижением скорости износа в $\approx 1,75$ раз, коэффициента трения в $\approx 1,1$ раза; при формировании структуры пластинчатой эвтектики наблюдается многократное снижение коэффициента трения (более, чем в 7 раз) и скорости изнашивания (более, чем в 3 раза). Микротвердость модифицированной поверхности увеличивается более чем в 3 раза.

Таким образом, выполненные на примере системы Ti-Y исследования показывают, что методы высокоэнергетического воздействия позволяют формировать структуры нано- и субмикронного диапазона с высокими свойствами в сплавах из несмешиваемых в твердом состоянии элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф., Буров И.В. Сплавы редкоземельных металлов. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1962. – 268с.
2. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.
3. Rotshtein V., Ivanov Yu., Markov A. Surface treatment of materials with low-energy, high-current electron beams // in Y. Pauleau "Materials surface processing by directed energy techniques", Elsevier Publishing. – 2006. – P. 205–240.