

УДК 621.785:669.1.08.29

*К.В. Соснин¹, Е.А. Будовских¹, Ю.Ф. Иванов^{2,3}*¹Сибирский государственный индустриальный университет²Институт сильноточной электроники СО РАН (г. Томск)³Национальный исследовательский Томский политехнический университет

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Ti – Y, СФОРМИРОВАННОГО МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ*

Известно [1], что сплавы системы Ti – Y, а также сплавы титана с другими редкоземельными элементами обладают высокой жаропрочностью. Как и объемные материалы сплавы системы Ti – Y не применяются из-за низкой растворимости компонентов друг в друге в твердом состоянии. Однако формирование таких сплавов с использованием концентрированных потоков энергии в импульсном режиме с последующей самозакалкой позволяет формировать на поверхности металлической подложки сплавы с мелкозернистой структурой и новым уровнем свойств.

Целью настоящей работы является определение микротвердости и износостойкости поверхностного сплава системы Ti – Y, сформированного с использованием электровзрывного легирования и последующей электронно-пучковой импульсно-периодической обработки.

Электровзрывное легирование поверхности титановых сплавов VT1-0 и VT6 проводили с использованием установки ЭВУ 60/10 [2]. В качестве взрывающего проводника использовали фольгу титана марки VT1-0 массой 100 мг, на которой размещали порошковую навеску иттрия массой 400 мг. Выбор таких масс позволяет получать поверхностный сплав с концентрацией, близкой к эвтектической. Сформированная при электрическом взрыве импульсная многофазная плазменная струя обеспечивает на облучаемой поверхности поглощаемую плотность мощности 5,5 ГВт/м², при этом давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности достигает 12,5 МПа. Электронно-

пучковую обработку проводили на установке «Соло» Института сильноточной электроники СО РАН [3] при плотности энергии 20 – 70 Дж/см², длительность импульсов составляла 150 мкс, количестве импульсов 3, частота их следования 0,3 с⁻¹.

Исследования морфологии поверхности, определение элементного и фазового составов осуществляли методами оптической, сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Трибологические испытания поверхностного сплава проводили методом сухого трения по схеме диск-шарик (контртело – шарик из твердого сплава WC – Co diam. 3 мм, нагрузка 1 Н). Микротвердость легированного слоя определяли на приборе HVS-1000A. Распределение нанотвердости и модуля упругости в зависимости от расстояния до поверхности определяли на приборе Shimadzu DUH-211S при нагрузке на индентор 40 мН.

Исследования показали [4, 5], что модифицированный поверхностный слой имеет толщину несколько десятков микрометров. Фазовый состав: α-Y (55 – 73 % (по объему) в зависимости от режима ЭПО) и α-Ti. При малой объемной доле α-Y формируется структура зеренного типа; при этом зерна имеют двухфазную (α-Y + α-Ti) структуру ячеистой кристаллизации с размером ячеек около 0,5 мкм, а по их границам располагаются протяженные прослойки. По данным рентгеноспектрального анализа прослойки образованы иттрием, а объем зерен обогащен титаном. При большой объемной доле α-Y формируется структура пластинчатой эвтектики с размером зерен 10 – 20 мкм.

Формирование металлокерамического многофазного наноструктурного поверхностного слоя должно приводить к повышению прочностных характеристик материала. Исследова-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых кандидатов наук МК-4166.2015.2 и докторов наук МД-2920.2015.8, РФФИ в рамках научных проектов № 13-02-12009 офи_м, 15-08-03411, 14-08-00506а, госзадания Минобрнауки № 2708 и 3.1496.2014/К на выполнение научно-исследовательской работы.

ния физико-механических свойств показали, что

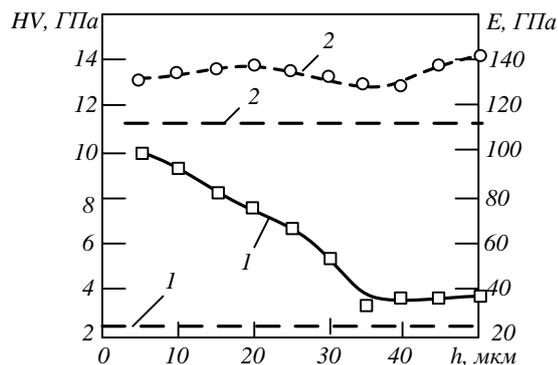


Рис. 1. Зависимость твердости HV (нагрузка на индентор 40 мН) (1) и модуля упругости E (2) технически чистого титана VT1-0, модифицированного иттрием, от расстояния от поверхности обработки (штриховые линии соответствуют материалу подложки)

микротвердость модифицированного слоя в среднем в три раза выше, чем у подложки. На поверхности модифицированного слоя наблюдается увеличение нанотвердости примерно в десять раз (рис. 1, кривая 1). Небольшое значение модуля упругости титана (112 ГПа для нетекстурированного материала) является существенным недостатком. Формирование поверхностного сплава титан – иттрий приводит к увеличению модуля упругости материала в 1,2 раза (рис. 1, кривая 2).

Формирование структуры зеренного типа сопровождается снижением по отношению к подложке фактора износа в 1,75 раза, а коэффициента трения в 1,1 раза. При формировании структуры пластинчатой эвтектики фактор износа снижается более чем в три раза, коэффициент трения – в семь раз. Однако при высокоэнергетической электронно-пучковой обработке происходит ухудшение износостойкости (рис. 2), что может быть связано как с развитием диффузионных процессов и испарением легирующих элементов, так и с ухудшением качества поверхности обработки.

Выводы. Проведенные исследования показывают возможность кратного повышения физико-механических свойств модифицированных поверхностных слоев титановых сплавов, образованных при электровзрывном легировании иттрием и последующей электронно-пучковой обработке.

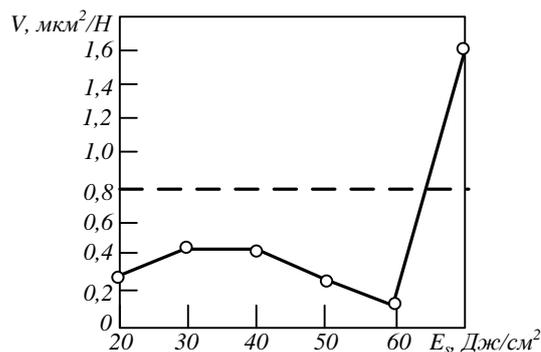


Рис. 2. Зависимость фактора износа V поверхностного слоя системы Ti – Y от плотности энергии пучка электронов (штриховая линия соответствует материалу подложки)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф., Буров И.В. Сплавы редкоземельных металлов. – Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 268 с.
2. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2007. – 301.
3. R o t s h t e i n V., I v a n o v Y u., M a r k o v A. Surface treatment of materials with low-energy, high-current electron beams. – In book: Y. Pauleau «Materials surface processing by directed energy techniques». – Elsevier Publishing, 2006. P. 205 – 240.
4. Соснин К.В., Иванов Ю.Ф., Глезер А.М. и др. Комбинированное электронно-ионно-плазменное легирование поверхности титана иттрием: анализ структуры и свойств // Известия РАН. Серия физическая. 2014. Т. 78. № 11. С. 1454 – 1458.
5. S o s n i n K.V., I v a n o v Y u.F., G r o m o v V.E. etc. Structure and Properties of Surface Layers obtained due to Titanium-Surface Alloying by Yttrium via Combined by Electron-Ion-Plasma Treatment // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2014. Vol. 8. No. 6. P. 1286 – 1290.

© 2015 г. К.В. Соснин, Е.А. Будовских,
Ю.Ф. Иванов
Поступила 22 января 2015 г.