

ВНЕВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВ НА ТИТАНОВУЮ ОСНОВУ²²

Ленивцева О.Г.

Руководитель – д.т.н., проф. Батаев А.А.

НГТУ, г. Новосибирск
Lenivtseva_olga@mail.ru

Титановые сплавы широко используются при изготовлении компрессоров реактивных двигателей, теплообменников высокого давления, установок по опреснению воды. Однако высокий коэффициент трения и низкая износостойкость существенно сужают области применения данного материала. Существуют различные методы улучшения триботехнических свойств титановых сплавов. Наилучшие результаты получены с использованием высокоэнергетических источников нагрева, таких как лазерный или электронный луч [1-4]. В данной работе применялась технология, основанная на использовании мощных ускорителей электронов типа ЭЛВ-6, позволяющих выводить электронный луч в атмосферу.

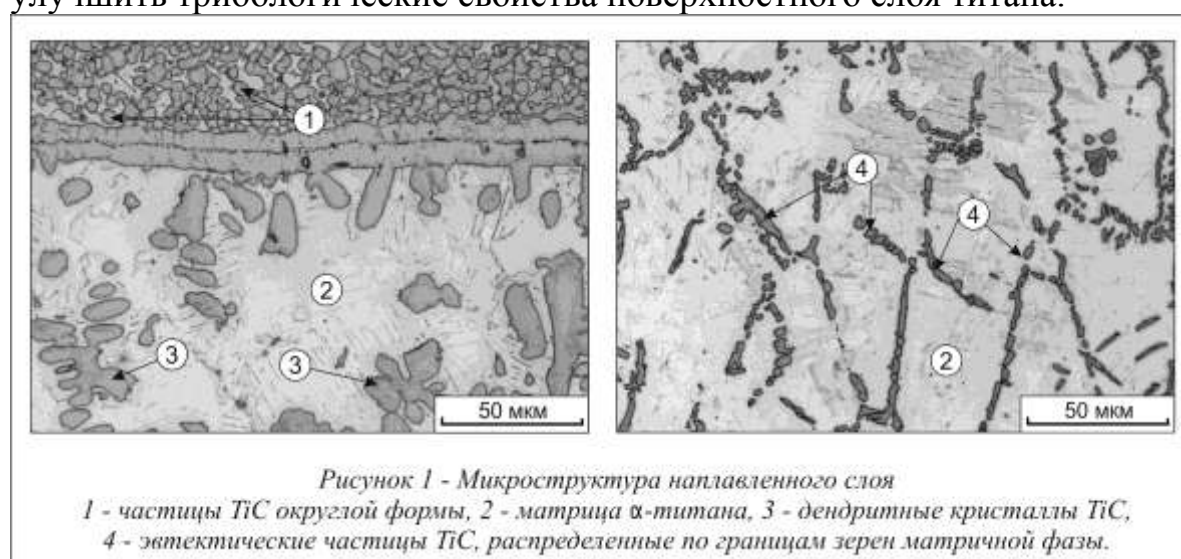
В данной работе представлены исследования поверхностных слоев титана, полученных при наплавке смеси порошков титана и графита. Для защиты материалов от воздействия окружающей среды и обеспечения однородного плавления порошков в насыпку добавляли флюс CaF_2 . Обработка электронным лучом проводилась на ускорителе электронов ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики СО РАН. Конструкция оборудования позволяет обрабатывать крупногабаритные изделия с производительностью до $100 \text{ см}^2/\text{с}$. Для обеспечения равномерного распределения частиц в насыпке порошки титана, графита и флюса равномерно перемешивались и наносились на основу из титанового сплава ВТ1-0 с плотностью насыпки $0,3 \text{ г}/\text{см}^2$.

Выбор технологических параметров обработки основывался на предыдущих экспериментах [4, 6-7]. Для всех режимов энергия электронов составляла $1,4 \text{ МэВ}$, скорость перемещения образцов относительно электронного луча – $10 \text{ мм}/\text{с}$, частота сканирования – 50 Гц , расстояние от выпускного окна до заготовки – 90 мм . Ток пучка изменялся от 20 до 23 мА .

Качество поверхности оценивалось при внешнем осмотре наплавленного слоя и характеризовалось отсутствием ям и трещин, частиц нерасплавленного порошка, равномерной толщиной покрытия и легкостью удаления шлаковой корки.

²² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 12-08-31292.

При исследовании структуры полученных материалов было выявлено наличие нескольких зон: зоны переплавленного материала, переходной зоны, зоны термического влияния и зоны с исходной структурой титана VT1-0. Зона переплавленного материала толщиной до 2 мм имеет сложное строение. Рентгенофазовый анализ показал, что она состоит из трех фаз: фазы α -Ti (α' -Ti), карбида титана и графита (рис. 1). Частицы графита в покрытии сохранились в процессе кристаллизации титана, это связано с кратковременностью термического воздействия. С повышением тока пучка до 23 мА количество включений графита значительно сократилось. Присутствие графита в наплавленном слое приводит к снижению твердости. С другой стороны, частицы графита могут выступать в качестве смазочного материала [1], что позволит улучшить трибологические свойства поверхностного слоя титана.



Карбид титана вблизи поверхности заготовки выделяется в виде конгломератов частиц округлой формы (рис.1). С удалением от поверхности частицы карбида титана выделяются в форме дендритов. На фоне дендритных кристаллов TiC в структуре покрытия наблюдаются выделения карбида титана, распределенные по границам зерен. Их количество увеличивается вблизи зоны термического влияния.

Микротвердость материала уменьшается в направлении от поверхности к основному металлу, что обусловлено изменением доли карбидной фазы и характера ее распределения в поверхностном слое титана. Микротвердость матричной фазы α -Ti (α' -Ti) в два раза выше уровня твердости основного материала. Значение твердости TiC, зафиксированное методом наноиндентирования, составляет 25 ГПа.

В результате испытаний на износостойкость по схеме трения о нежестко закрепленные частицы абразива установлено, что потеря массы материала с покрытием в 7 раз ниже по сравнению с титановым сплавом VT1-0.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Технология вневакуумной электронно-лучевой обработки позволяет получать качественные износостойкие покрытия толщиной до 2 мм на титановых сплавах. Электронно-лучевая наплавка обеспечивает повышение твердости материала до 2 раз и износостойкости в 7 раз по сравнению с исходным титаном.

Литература

1. Surface Treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction / B. Courant, J.J. Hantzpergue, S. Benayoun // *Wear*. 1999. № 236. P. 39–46.
2. Numerical modeling and experimental investigation of TiC formation on titanium surface pre-coated by graphite under pulsed laser irradiation/ A. Chehrghani, M.J. Torkamany, M.J. Hamed, J. Sabbaghzadeh// *Applied Surface Science*. 1 January 2012. Vol. 258, Issue 6. P. 2068-2076.
3. Surface nitriding of Ti-6Al-4V alloy with a high power CO2 laser / J.H. Abboud, A.F. Fidel, K.Y. Benyounis // *Opt. Laser Technol*. 2008. Vol/ 40(2). P. 405-14.
4. Электронно-лучевая наплавка покрытий на титановые сплавы / М. Г. Голковский, И. М. Полетика, Р. А. Салимов // *Физика и химия обработки материалов*. 2009. № 1. С. 56-64.
5. Improvement of high-temperature hardness of (TiC, TiB)/Ti-6Al-4V surface composites fabricated by high-energy electron-beam irradiation / E. Yun, K. Lee, S. Lee // *Surface and Coatings Technology*. 2004. Vol. 184. P. 74-83.
6. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошков системы титан-тантал-ниобий на титан ВТ1-0/ И.А. Батаев, А.П. Алхимов, О.А. Бутыленкова, Т.В. Журавина, О.Г. Ленивцева, А.А. Руктуев // *Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты*. - 2012. - № 1(54). - С. 90-95.
7. I.A. Bataev, A.A. Bataev, M.G. Golkovski, D.S. Krivizhenko, A.A. Losinskaya, O.G. Lenivtseva. Structure of surface layers produced by non-vacuum electron beam boriding.- *Applied Surface Science*.- 2013.- V. 284.- P. 472– 481.