

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТИТАНА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Л.П. Бащенко, И.Т. Ефименко, Е.А. Будовских,
К.В. Иванов, А.В. Ионина, В.Е. Громов
Сибирский государственный индустриальный университет,
ул. Кирова, 42, 654007, Новокузнецк, Россия,
тел. +7-3843-462277, e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Осуществлено электровзрывное науглероживание титана и последующая электронно-пучковая обработка поверхности легирования. Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и измерения микротвердости изучены особенности формирования структуры и фазового состава зоны легирования. Комбинированная обработка приводит к формированию слоя карбида титана толщиной 30 мкм с микротвердостью 2400 HV.

Введение

Для защиты титана и его сплавов от изнашивания в настоящее время разрабатываются различные способы науглероживания с использованием концентрированных потоков энергии. Их основная идея состоит в импульсном оплавлении и насыщении поверхностных слоев углеродом с последующей кристаллизацией и образованием упрочняющей фазы карбида титана. Ранее было показано, что обработка поверхности титана импульсными плазменными струями, формируемыми при электрическом взрыве углеграфитовых волокон (УГВ), приводит к образованию поверхностных слоев, фазовый состав которых включает твердый раствор углерода в титане, изолированные частицы карбида титана и структурно-свободный углерод в виде частиц волокон, проникающих на всю глубину зоны оплавления и легирования [1–2]. Такая структура обуславливает возможность дальнейшего растворения графита и увеличения содержания карбида титана. Целью настоящей работы является изучение особенностей структурно-фазовых состояний поверхностных слоев технического чистого титана после электровзрывного науглероживания и последующей импульсно-периодической обработки сильноточными электронными пучками.

Основная часть

Структуру поверхностных слоев после электровзрывного науглероживания изучали методами просвечивающей электронной микроскопии. Микродифракционный анализ с использованием методики темнопольного изображения и последующее индентирование микроэлектроннограмм позволили выявить присутствие в анализируемом слое толщиной ~40 мкм β -титана с ОЦК кристаллической решеткой, графита с кубической и гексагональной кристаллической решеткой, карбида титана состава TiC и диоксида титана состава β -TiO₂.

Основным типом организации титана является зеренная структура. Зерна фрагментированы. Размеры фрагментов изменяются в пределах 50...100 нм. В объеме зерен и фрагментов присутствует дислокационная субструктура в виде сеток. Скалярная плотность дислокаций составляет $\sim 5,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Второй фазой зоны науглероживания является графит в виде частиц УГВ. Выявлены следующие их состояния. Во-первых, частицы, имеющие монокристаллическую структуру. Во-вторых, частицы, имеющие поликристаллическую структуру с размерами кристаллитов в пределах от 100 до 200 нм. В-третьих, частицы, имеющие нанокристаллическую структуру, размеры которых изменяются в пределах 2...15 нм. В-четвертых, частицы, имеющие квазиаморфную структуру, с размерами в пределах 3...5 нм. В-пятых, частицы, нанокристаллическая структура в которых формируется в поверхностном слое, контактирующем с титаном с размерами 6...8 нм. По мере удаления от поверхности электровзрывного легирования объемная доля включений графита в виде волокон снижается и в зоне термического влияния они не выявляются. Графит в виде прослоек по границам ячеек кристаллизации наблюдается только в слое жидкофазного легирования титана.

Взаимодействие графита с титаном приводит к формированию частиц карбидной фазы. Выявлены два варианта их формирования. Во-первых, частицы карбида титана могут формироваться на поверхности и в приповерхностном слое УГВ. Они имеют игольчатую (пластинчатую) форму, поперечные размеры таких частиц 5, а продольные 30 нм. Во-вторых, частицы карбида титана могут формироваться на поверхности и в приповерхностном слое зерен титана. Они имеют глобулярную форму, размеры частиц изменяются в пределах 4...6 нм.

Частицы диоксид титана состава β -TiO₂ имеют глобулярную форму, размеры их изменяются в пределах от 2 до 20 нм. Образование этой фазы связано с присутствием в камере установки для электровзрывного легирования остаточной атмосферы, содержащей атомы кислорода.

Последующая электронно-пучковая обработка [3, 4] обеспечивает формирование сплошного карбидизированного слоя на глубине до 20–30 мкм (рис. 1), ниже которого по-прежнему присутствуют частицы УГВ. Очевидно, что их растворение вблизи поверхности и сохранение в глубине обусловлено градиентом температурного поля, существующего при электронно-пучковой обработке.

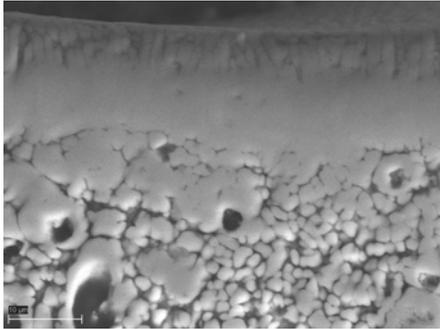


Рис. 1. Структура зоны электровзрывного науглероживания после электронно-пучковой обработки

Рентгеноструктурный фазовый анализ поверхности образца после комбинированной обработки показал (рис. 2), что поверхностный слой почти полностью состоит из карбида титана.

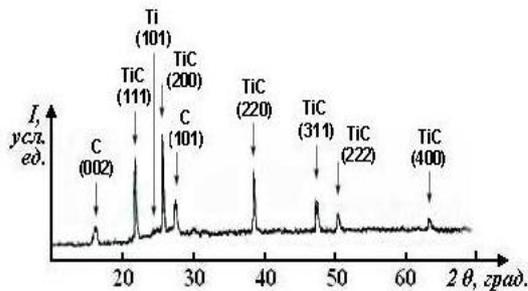


Рис. 2. Фрагмент дифрактограммы поверхности зоны электровзрывного науглероживания титана VT1-0 и последующей электронно-пучковой обработки

Микротвёрдость на поверхности зоны легирования превосходит ее значение в объёме в 12 раз, в области дендритной структуры в глубине в – 3–5 раз, в зоне термического влияния – в 1,5 раза. По отношению к электровзрывному науглероживанию без последующей электронно-пучковой обработки она увеличивается в 3 раза (рис. 3).

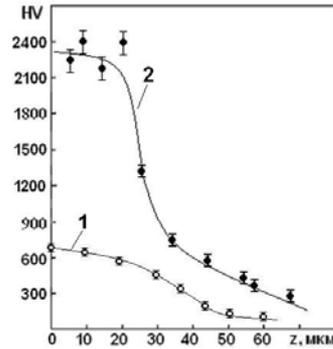


Рис. 3. Распределение микротвёрдости по глубине поверхностных слоев титана VT1-0, после электровзрывного науглероживания (1) и последующей электронно-пучковой обработки (2)

Заключение

В структуре поверхностного слоя технического чистого титана после электровзрывного науглероживания присутствуют многочисленные частицы, представляющие собой карбид титан, а также частицы углеродистых волокон. Последующая электронно-пучковая обработка приводит к растворению частиц углеродистых волокон вблизи поверхности зоны легирования и формированию сплошного слоя карбида титана. Промежуточный слой упрочнен дендритами карбида титана в металлической матрице и содержит структурно-свободный углерод в форме графита. Микротвёрдость на поверхности зоны легирования превосходит ее значение в объёме в 12 раз.

Список литературы

1. Будовских Е.А., Карпий С.В., Громов В.Е. // Изв. РАН. Сер. физ. - 2009. - Т. 73. - 9. - С. 1324–1327.
2. Вострецова А.В., Карпий С.В., Будовских Е.А. и др. // Изв. вуз. Чер. металлургия. - 2009. - 6. - С. 60–62.
3. Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. // Структура и свойства перспективных металлических материалов / Под ред. А.И. Потекаева. - Томск: Изд-во НТЛ, 2007. - С. 345–382.
4. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. // Изв. вузов. Физика. - 2008. - 5. - С. 60–70.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.0813) и грантом РФФИ (проект № 11-02-91150-ГФЕН-а).

FEATURES OF STRUCTURE OF THE SURFACE TITANIUM LAYERS AFTER ELECTROEXPLOSIVE CARBURIZING AND SUBSEQUENT ELECTRON BEAM TREATMENT

L.P. Bashchenko, I.T. Efimenko, E.A. Budovskikh,
K.V. Ivanov, A.V. Ionina, V.E. Gromov

Siberian State University of Industry, Kirov str., 42, Novokuznetsk, RU-654007, Russia,
Phone: +7-3843-462277, Fax: +7-3843-465792, E-mail: gromov@physics.sibsui.ru

Electroexplosive carburizing and the subsequent electron-beam treatment of surface alloying the titanium it is carried out. Using SEM and TEM methods, X-ray analysis and microhardness measurement features of a zone alloying structure and phase composition formation are studied. It is established that the combined treatment leads to formation of a continuous surface layer of carbide of the titanium a 30 μm thick with microhardness 2400 HV.