

ЭЛЕКТРОННО-ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8

Ю.А. Денисова¹⁾, В.Е. Овчаренко²⁾, А.Д. Тересов¹⁾, П.В. Москвин¹⁾

¹⁾Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Томск, Россия, yukolubaeva@mail.ru

²⁾Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634021, Томск, Россия, ove45@mail.ru

Показано, что вследствие электронно-пучкового перемешивания системы пленка (Ti) – подложка (ВК8) формируется поверхностный слой с нанокристаллической структурой на основе твердого раствора (Ti, W)C, микротвердость которого в 1,4 раза выше микротвердости исходного образца.

Введение

Повышение надежности и ресурса работы твердосплавного режущего инструмента в экстремальных условиях эксплуатации является одной из ключевых проблем современного материаловедения. В первую очередь это относится к инструменту на основе карбида вольфрама с кобальтовой связкой, занимающего от 70 до 90 % объемов применяющегося инструмента в таких ведущих отраслях промышленности как машиностроение, добыча полезных ископаемых, производство пластических масс, деревообработка, переработка пищевых продуктов и т.д. Твердосплавной инструмент на основе карбида вольфрама эксплуатируется, как правило, при аномально высоких механических и температурных воздействиях на режущие кромки, обусловленных высокими скоростями резания различных материалов, зачастую в агрессивных средах. Известные методы поверхностного упрочнения твердых сплавов на основе карбида вольфрама (ионное легирование и нанесение высокотвердых покрытий) практически исчерпали свои возможности. Задача состоит в разработке и создании принципиально новых подходов и методов упрочнения твердых сплавов, обеспечивающих кратное повышение надежности и ресурса работы твердосплавного инструмента.

Последним достижением физического материаловедения в области совершенствования твердых сплавов и повышения их эксплуатационных характеристик является структурно-фазовая модификация их поверхностных слоев, которые в большинстве случаев определяют основные характеристики и срок службы инструмента и изделий из твердых сплавов в целом. Структурно-фазовая модификация заключается в формировании в поверхностных слоях неравновесных структурно-фазовых состояний, содержащих наноструктурную составляющую. В результате поверхностный слой твердого сплава можно рассматривать как многоуровневую структуру, содержащую элементы наноструктуры, мезо- и макроструктуры, обладающей повышенной способностью к релаксации упругих напряжений при высоких физических и прочностных свойствах. Формирование многоуровневой структуры в поверхностных слоях материалов возможно при высокоэнергетической обработке

поверхности материалов, инициирующей переход материала поверхностного слоя из равновесного в неравновесное структурно-фазовое состояние. Применительно к металлокерамическим сплавам эффективным методом указанной структурно-фазовой модификации поверхностного слоя является импульсное электронно-пучковое облучение [1-3].

Целью настоящей работы является изучение механизмов формирования неравновесных структурно-фазовых состояний в поверхностном слое металлокерамики на основе карбида вольфрама при интенсивном электронно-пучковом облучении системы пленка (Ti) – подложка (твердый сплав ВК8) и их влияния на механические свойства поверхностного слоя сплава.

Материал и методика исследования

Для экспериментов использовали образцы из твердого сплава ВК8 в форме пластин размером 12×14×6 мм. На поверхность образцов методом вакуумно-дугового плазменно-ассистированного напыления наносили титановое покрытие толщиной ~2 мкм. В процессе напыления покрытия осуществлялась фильтрация плазменного потока от макрочастиц. Электронно-пучковую обработку системы пленка-подложка осуществляли на установке «SOLO» в едином вакуумном цикле, включающем предварительный прогрев образцов до температуры ~700°C частотно-импульсным электронным пучком со средней мощностью в сотни ватт и последующую обработку электронным пучком с параметрами: средняя энергия электронов в пучке 15 кэВ, длительность импульса 100, 150, 200 мкс, плотность энергии пучка электронов 30, 40, 50, 60, 70 Дж/см². Число импульсов воздействия составляло 15. Структуру и фазовый состав системы до и после обработки электронным пучком исследовали методами сканирующей (прибор SEM-515 «Philips») и просвечивающей (прибор JEM-2100) электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа (дифрактометр Shimadzu XRD, медное K_α излучение). Элементный состав образцов изучали с помощью рентгеновского микроанализатора EDAX Genesis XM 260 SEM, встроенного в растровый электронный микроскоп SEM-515 «Philips». Измерения микротвердости по Виккерсу проводили на приборе PMT-3 при нагрузке на индентор P = 0,5 Н.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости изменения микротвердости поверхностного слоя системы пленка (Ti) – подложка (BK8) в зависимости от параметров электронного пучка (плотности энергии и длительности импульса). Максимальное увеличение (в 1,4 раза) микротвердости поверхностного слоя достигается при воздействии на систему пленка – подложка электронным пучком с плотностью энергии 50 Дж/см² и длительностью импульса 200 мкс.

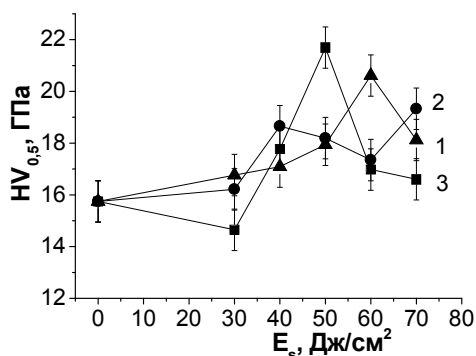


Рис. 1. Зависимость микротвердости поверхностного слоя системы пленка (Ti) – подложка (BK8) от плотности энергии электронного пучка. 1 – длительность импульса пучка $\tau = 100$ мкс, 2 – длительность импульса пучка $\tau = 150$ мкс, 3 – длительность импульса пучка $\tau = 200$ мкс

Электронно-микроскопические исследования системы показали, что при всех режимах облучения происходит плавление как пленки титана, так и подложки. Установлено, что при плотности энергии электронного пучка 50 Дж/см² и длительности импульса 200 мкс формируется поверхностный слой с минимальным количеством дефектов (микропоры, микротрещины) (рис. 2). Облучение системы электронным пучком с более высокими значениями плотности энергии 60 Дж/см² ($\tau = 200$ мкс) и 50 Дж/см² ($\tau = 100$ мкс) приводит к появлению сильно развитого волнообразного рельефа поверхности, обусловленного кипением и испарением материала, и сетки связанных трещин. При облучении системы пленка – подложка электронным пучком с плотностью энергии 30, 40 Дж/см² формируется поверхностный слой с большим количеством микропор. Одной из причин формирования микропор в поверхностном слое является плавление и испарение кобальтовой связки.

Металлографические исследования структуры поперечных шлифов и сколов системы пленка (Ti) – подложка (BK8) после электронно-пучковой обработки показали, что с увеличением плотности энергии и длительности импульса электронного пучка толщина слоя, сформировавшегося из расплава растет и достигает ~20 мкм (70 Дж/см², $\tau = 200$ мкс). При плотности энергии электронного пучка 50 Дж/см²

и длительности импульса 200 мкс толщина расплавленного слоя составляет ~7 мкм (рис. 3).

Полученные методом рентгеноспектрального микроанализа распределения концентраций элементов по глубине модифицированного слоя системы пленка-подложка показывают, что атомы титана проникают на всю глубину расплава, и это подтверждает факт перемешивания пленки титана с подложкой (рис.3).

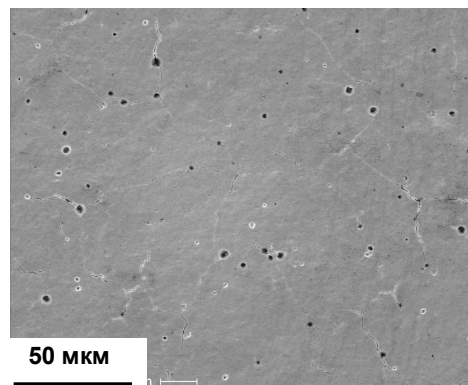


Рис. 2. РЭМ изображение структуры поверхности системы Ti пленка – подложка (BK8), обработанной электронным пучком: $\tau = 200$ мкс, $E_s = 50$ Дж/см²

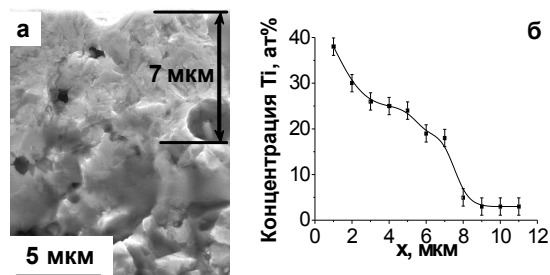


Рис. 3. РЭМ изображение структуры поперечного скола системы пленка (Ti) – подложка (BK8) после электронно-пучкового воздействия (а) и изменение концентрации титана по глубине модифицированного слоя (б) ($E_s = 50$ Дж/см², $\tau = 200$ мкс)

По данным рентгеноструктурного анализа электронно-пучковое легирование поверхностного слоя твердого сплава титаном за счет жидкофазного перемешивания материалов пленки и подложки привело к существенному изменению фазового состава модифицированного слоя. В результате электронно-пучкового перемешивания системы пленка-подложка основной фазой поверхностного слоя становится карбид (Ti, W)C с ГЦК решеткой – твердый раствор на основе TiC (рис. 4). Отметим, что в исходном состоянии основной фазой твердого сплава BK8 является гексагональный карбид WC (рис. 4). Поскольку титан не растворяется в карбиде вольфрама, то образование твердого раствора (Ti, W)C является процессом диффузии атомов вольфрама в решетку карбида титана [4]. Исходя из этого, можно предположить, что образование твердого раствора (Ti, W)C в поверхностном слое происходит следующим образом: при

кристаллизации расплава первыми появляются зародыши карбида TiC, так как температура кристаллизации карбида титана (3160°C) выше, чем у карбида вольфрама (2870°C). Затем, в процессе роста частиц карбида TiC, происходит насыщение его кристаллической решетки атомами вольфрама. При всех режимах облучения в модифицированном слое в небольшом количестве (1 - 5 об. %) присутствует карбид W_2C (рис. 4). При плотности энергии пучка 30, 40 Дж/см² наблюдается выделение фазы $\text{Co}_{0,9}\text{W}_{0,1}$, а также графита при плотности энергии пучка 60, 70 Дж/см².

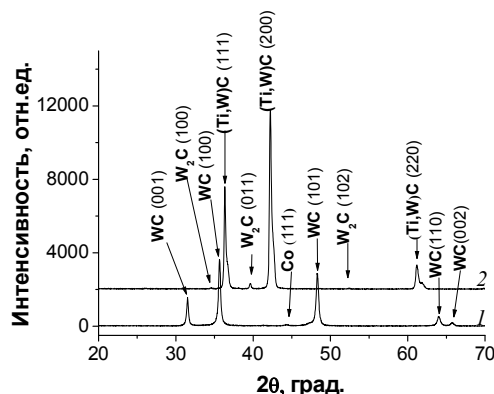


Рис. 4. Участки рентгенограмм поверхностного слоя твердого сплава ВК8 (1) и системы Ti пленка – подложка (ВК8), обработанной электронным пучком с длительностью импульса $\tau = 200$ мкс и плотностью энергии 50 Дж/см² (2)

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (анализировали фольги, приготовленные из пластинок, вырезанных из поперечного сечения образца) установлено, что в поверхностном слое системы после электронно-пучкового перемешивания формируется пластинчатая структура (рис. 5).

Средний поперечный размер пластинок составляет 70 нм. По мере удаления от поверхности облучения пластинчатая структура замещается структурой глобулярного типа, подобной структуре исходного состояния.

Заключение

Установлено, что воздействие импульсным электронным пучком на систему пленка (Ti) – подложка (ВК8) в режимах, при которых

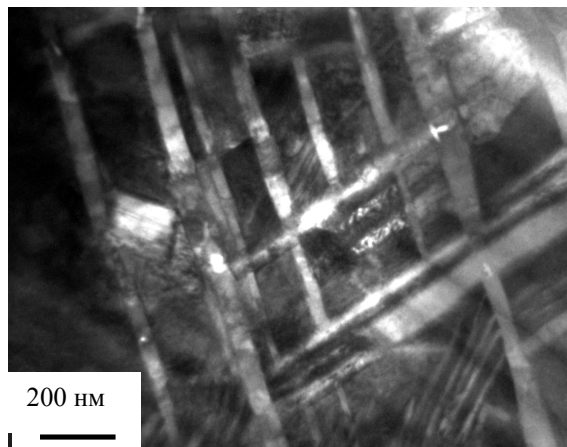


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхностного слоя системы пленка (Ti) – подложка (ВК8), обработанной электронным пучком с длительностью импульса $\tau = 200$ мкс и плотностью энергии 50 Дж/см²

происходит плавление как пленки, так и подложки, приводит к образованию в зоне расплава карбида (Ti, W)C, имеющего более высокую твердость по сравнению с карбидом вольфрама. Формирование в поверхностном слое нанокристаллической структуры на основе (Ti, W)C карбида является одной из основных причин повышения микротвердости поверхностного слоя.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 11-08-00453) и Проекта №5 фундаментальных исследований НАН Беларуси и СО РАН.

Список литературы

1. Коваль Б.А., Месяц Г.А., Озур Г.Е. и др. // Письма в ЖТФ. - 1981. - Т.14, №5. - С. 413.
2. Бугаев С.П., Крейндель Ю.Е., Щанин П.М. Электронные пучки большого сечения. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - С. 112.
3. Engelko V., Mueller G., Blum H. // Vacuum. - 2001. - Vol.62/2-3. - P. 97.
4. Панов В.С., Чувиллин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. Учебное пособие для вузов - М.: МИСИС, 2001. - С. 428.

ELECTRON-ION-PLASMA MODIFICATION OF WC-8%Co HARD ALLOY SURFACE LAYER

Yu.A. Denisova¹⁾, V.E. Ovcharenko²⁾, A.D. Teresov¹⁾, P.V. Moskvina¹⁾

¹⁾Institute of High Current Electronics SB RAS, 634055, Tomsk, Russia, yukolubaeva@mail.ru

²⁾Institute of Strength Physics and Materials Science, 634021, Tomsk, Russia, ove45@mail.ru

It is shown that due to the electron-beam mixing of the Ti film - substrate (WC-8%Co) system a surface layer with nanocrystalline structure based on the solid solution (Ti, W)C is formed. The microhardness of this surface layer is 1,4 times higher than the microhardness of the initial sample.