

УДК 674.055:621.934(043.3)

Студ. Р.А. Локун; А.С. Духович  
Науч. рук. доц. В.В. Чаевский  
(кафедра физики, БГТУ)

## ВЛИЯНИЕ WC-CO ОСНОВЫ НА Ni-НАНОАЛМАЗНЫЙ СЛОЙ

Использование ультрадисперсных алмазов (УДА) в качестве композиционного материала в электрохимических покрытиях приводит к повышению их износостойкости, существенной адгезии, снижению коэффициента трения [1]. Положительными сторонами электрохимического процесса обработки инструмента являются простота технологических операций формирования гальванического слоя, отсутствие высоких температур при изготовлении инструмента, низкая энергоемкость установок. Основной недостаток модифицированного инструмента гальваническим сплавом на основе никеля состоит в том, что Ni-матрица не обладает высокими прочностными характеристиками [2].

Целью данной работы было исследование влияния твердосплавной (из карбида вольфрама WC) основы на состав и свойства ZrC/Ni-УДА-покрытий, сформированных комбинированным методом гальванической обработки и конденсацией вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ), позволяющим существенно улучшить эксплуатационные свойства изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, в т. ч. в станкостроении и деревообработке.

Ni-УДА композиционные электрохимические покрытия (КЭП) наносили на подготовленную поверхность лезвий твердосплавных ножей фирмы Leitz (Германия) на экспериментальной установке при плотностях тока  $0,4 - 4,0 \text{ А/дм}^2$  в гальваностатическом режиме электролиза из сульфаминовокислых электролитов никелирования. В качестве дисперсной фазы использовали УДА (ТУ РБ 28619110.001-95), являющиеся продуктом детонационного превращения взрывчатых веществ с размерами 3–5 нм, развитой удельной поверхностью  $200-450 \text{ м}^2/\text{г}$ . Концентрация УДА в электролите составляла  $5 \text{ г/дм}^3$ . Процесс осаждения КЭП проводили при температуре  $40-50^\circ\text{C}$  в постоянном перемешивании электролита-суспензии для поддержания частиц УДА во взвешенном состоянии. Время электролиза не превышало 72 мин. Толщина Ni-УДА КЭП составила 10 мкм.

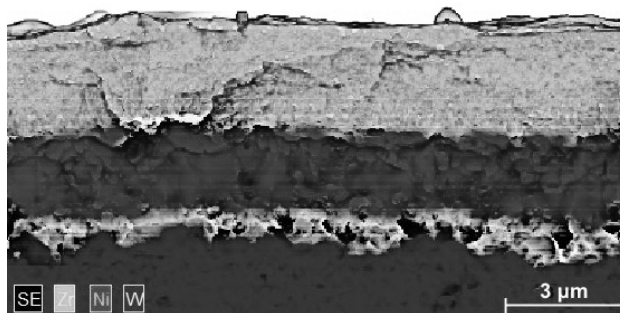
Ионно-плазменные карбида циркония ZrC-покрытия осаждались методом КИБ на поверхность ножей с Ni-УДА-покрытием на установке ВУ-1Б «Була» по стандартной методике: спредварительной обработ-

кой ионами циркония подложки в вакууме  $10^{-3}$  Па при потенциале подложки, равном  $-1$  кВ, и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода  $-100$  А и опорном напряжении, равном  $-100$  В, в атмосфере углеводорода  $\text{CH}_4$  при давлении  $10^{-1}$  Па. Температура при осаждении соответствовала  $400-450^\circ\text{C}$ . Толщина ZrC-покрытий не превышала  $1,5$  мкм.

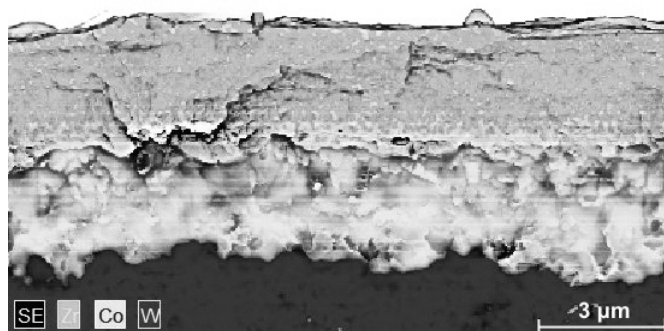
Элементный состав сформированных покрытий исследовался с помощью методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) с использованием электронного микроскопа HitachiS-4800 (Япония).

Микротвердость испытуемых покрытий определялась при нагрузке  $100$  г по методу Виккерса на микротвердомерах ПМТ-3 и AFFRI – MVDM8 (Италия).

СЭМ-снимки поперечного излома образца показывают (рис. 1), что после осаждения ZrC-покрытия в Ni-УДА слое, который не перемешивается с твердосплавной основой (рис. 1а), присутствует кобальт (рис.1б).



а



б

**Рисунок 1 – СЭМ-снимок излома ножа с ZrC/Ni-УДА-покрытием и распределение характеристического рентгеновского излучения Zr, Ni, W (а) и Zr, Co, W (б)**

На этапе ионной очистки поверхности подложки при синтезе покрытий методом КИБ температура достигает значения  $1300^\circ\text{C}$ .

Такая температура способствует выделению кобальта из зерен твердого сплава WC-Co, и формированию на поверхности твердого сплава металлической фазы кобальта  $\alpha$ -Co в результате его термической диффузии. Несмотря на то, что температура плавления кобальта (т. е. появление способности перемещаться между кристаллитами карбида вольфрама) составляет 1495°C, его выход на поверхность образца наблюдается при температурах 1100–1200°C [3]. Кроме того, показано, что интенсивность выхода кобальта на поверхность твердого сплава с уже осажденным алмазным покрытием на порядок ниже, чем без покрытия [33]. Проведенные исследования [3] также показывают, что содержание кобальта на поверхности твердого сплава существенно влияет на фазовый состав осаждаемых алмазных покрытий, и этот процесс сильно зависит от температуры осаждения.

Было установлено, что кристаллические сплавы с Ni-матрицей имеют ГЦК решетку с вакантными узлами и характеризуются способностью образовывать непрерывный ряд твердых растворов [4]. В результате образования  $\alpha$ -Co на границе с Ni-УДА-слоем происходит их взаимодействие с образованием непрерывных твердых растворов кобальта в Ni-матрице с повышенными прочностными характеристиками [3, 4].

Выполненные исследования физико-механических свойств ZrC/Ni-УДА-покрытий показали, что значение микротвердости ZrC/Ni-УДА-покрытий составляет  $25 \pm 6$  ГПа, что соответствует микротвердости ( $21 \pm 2$  ГПа) твердосплавной основы (ножа фрезы фирмы Leitz) и ZrC-покрытия (25–32 ГПа) и превосходит значение микротвердости Ni-УДА-покрытий ( $12 \pm 2$  ГПа).

Таким образом, после осаждения ZrC в Ni-УДА слое, который не перемешивается с твердосплавной (WC – 2 вес.% Co) основой, присутствует кобальт. Доказано, что присутствие кобальта в Ni-УДА-слое ZrC/Ni-УДА-покрытия обусловлено диффузией кобальта из твердого сплава WC-Co в процессе осаждения ZrC.

Наличие кобальта в Ni-УДА слое повышает микротвердость ZrC/Ni-УДА-покрытий и увеличивает адгезию ZrC/Ni-УДА-покрытий с твердосплавной основой. В результате период стойкости модифицированного ZrC/Ni-УДА-покрытием фрезерного инструмента при обработке древесно-стружечных плит увеличивается в 1,5–1,6 раза по сравнению с необработанным инструментом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долматов, В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детанационного синтеза: свойства и применение / В.Ю. Долматов // Успехи химии, 2001. – Т. 70, № 7. – С. 687-708.

2. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н.И. Полушин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2011. – № 4. – С. 49-53.

3. Линник, С.А. Влияние кобальта на адгезионную прочность поликристаллических алмазных покрытий на твердых сплавах WC-Co / С. А. Линник, А. В. Гайдайчук, В. В. Охотников // ЖТФ, 2018. – Т. 88, вып. 2. – С. 214-218.

4. Chen, K. Elastic properties of multi-component nickel solid solutions / K. Chen, L. Zhao, Prakash C. Patnaik, J. S. Tse // Superalloys 2004, 2004. – pp. 753-758.

УДК 531.19; 538.911

Студ. К.С. Унучек; студ. А.Л. Львова  
Науч. рук. проф. И.И. Наркевич,  
ст. преп. Е.В. Фарафонтова  
(кафедра физики, БГТУ)

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Введение.** Наноматериалы находят широкое применение в различных областях, таких как электроника, устройства для преобразования солнечной энергии в электрическую, лазерной технологии, химических и биологических сенсорах. Дальнейшая работа над совершенствованием теоретических обобщений особенностей формирования наночастиц может привести к разработке новых методов массового производства наноразмерных частиц из различных материалов. Кристалл – объект нанотехнологии на микроуровне. Основным отличительным признаком свойств кристаллов – их анизотропия, то есть зависимость их свойств от направления, тогда как в изотропных (жидкостях, аморфных твердых телах) или псевдоизотропных (поликристаллы) телах свойства от направлений не зависят.

Пространственная кристаллическая решётка – система параллелепипедов, равных друг другу, параллельно расположенных и смежных по целым граням.

Существует семь видов сингонии кристаллических решеток [1, 2], т. е. классификаций кристаллографических групп симметрии в зависимости от системы координат (координатного репера). К ним относятся: низшая категория (триклинная, моноклинная, ромбическая),