

к.т.н. Еришов В. М.,  
Русанова Н. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

*Приведены результаты рентгеновского фазового анализа поверхностного слоя пластин двух- и трехфазных твердых сплавов после электроискрового легирования углеродом, вольфрамом и титаном. Выявлены новые карбидные и нитридные фазы в структурном составе легированной поверхности пластин.*

**Ключевые слова:** твердый сплав, рентгеновский фазовый анализ, карбиды, нитриды, электроискровое легирование.

Известно [1-3], что для повышения эксплуатационных характеристик инструмента из твердых сплавов, на его рабочей поверхности создают твердые износостойкие покрытия. В качестве материалов для покрытий чаще всего используют карбиды и нитриды тугоплавких металлов, т.е. соединений, придающих рабочей поверхности инструмента очень высокую твердость (2500 – 2800 HV) и, следовательно, повышающих износостойкость инструмента. Практика применения вышеперечисленных соединений показала, что при их использовании, ресурс работы твердосплавного инструмента возрастает в 2 – 5 раз.

Существенным недостатком технологий получения вышеперечисленных покрытий (КИБ, ГТ, ДТ, РЭП и другие [3]) является то, что они используются, в основном, для неперетачиваемых пластин твердых сплавов, что существенно ограничивает область их применения. В тоже время существует метод получения износостойких покрытий на изделиях с помощью электроискрового легирования (далее ЭИЛ) [4], метод, который лишен вышеперечисленного недостатка, т.к. он позволяет наносить покрытия на любом этапе подготовки и эксплуатации инструмента. Метод ЭИЛ был использован нами ранее для поверхностного упрочнения конструкционных и инструментальных сталей [5,6]

Целью настоящей работы является исследование изменений в фазовом составе поверхности пластин некоторых твердых сплавов при нанесении покрытий методом электроискрового легирования.

Для исследования были выбраны спеченные пластины двух промышленных сплавов: один – ВК6 (двухфазный – WC + Co), а другой – Т15К6 (трехфазный – WC + TiC + Co).

Пластины сплавов перед искровым легированием подвергали алмазной шлифовке, промывке ацетоном, после чего производили ЭИЛ различными материалами (вольфрамом, титаном и графитом) на экспериментальной установке конструкции автора, как и в наших ранних работах [5,6]. Параметры работы установки чистового легирования составляли:  $U_p = 50$  В,  $C = 600$  мкФ,  $I = 3-5$  А,  $R = 16$  Ом. Скорость нанесения покрытия 5 мин/см<sup>2</sup>. Учитывая необходимость создания на поверхности пластин слоя карбидной или нитридной фаз, искровое легирование выполняли в два этапа: в первую очередь на поверхность пластин наносился чистый металл (W, Ti), а затем, на втором этапе производили науглероживание ранее нанесенного слоя графитом.

После искрового легирования пластин, производился визуальный контроль их поверхности. На рисунке 1 приведены фотографии пластин после ЭИЛ С, W, Ti.

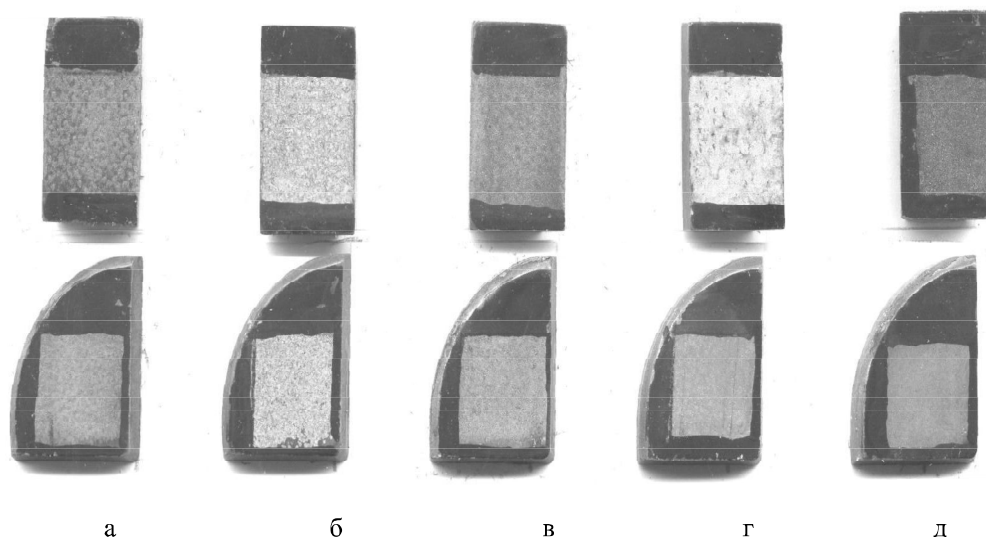


Рисунок 1 – Внешний вид пластин твердого сплава ВК6 (верхний ряд) и Т15К6 (нижний ряд) после электроискрового легирования графитом (а), вольфрамом (б), вольфрамом с науглероживанием (в), титаном (г) и титаном с науглероживанием (д)

Как видно из данных рисунка 1, пластины, прошедшие искровое легирование углеродом, вольфрамом и титаном, обладают гладкой ровной поверхностью, без заметных грубых налипаний материала анода.

Далее, для оценки структурного состава поверхности легированных пластин, производили рентгеновский фазовый анализ, для чего пластины рентгенографировали на дифрактометре ДРОН -1,5 в фильтрованном железном излучении трубки БСВ10. Для повышения чувствительности метода и оптимизации фокусировки рентгеновских лучей, использовали режим максимальной светосилы источника излучения с применением щелей Соллера. При этом, на ленте электронного потенциометра регистрировали дифракционные линии фаз в интервале углов отражения -  $2\theta$  от  $30^\circ$  до  $100^\circ$ , т.е. в области наиболее интенсивных аналитических линий фаз [7]. Индексирование дифрактограмм легированных пластин выполняли по общепринятой методике с использованием известных справочных данных [7]. При этом, присутствие той или иной фазы считалось доказанным, если регистрировались по крайней мере две наиболее интенсивные ее ди-

фракционные линии, приведенные в ранее указанном справочнике Л.И. Миркина. Изменение интенсивности линий фазы после ЭИЛ расценивалось как увеличение или уменьшение количества этой фазы.

Анализ дифрактограмм с пластин, легированных электроискровым методом, показал, что фазовый состав поверхностных слоев твердых сплавов при ЭИЛ претерпел значительные изменения.

**Легирование углеродом.** На рисунке 2 приведены фрагменты индифференцированных дифрактограмм с пластин исследуемых сплавов до и после электроискровой обработки их графитовым электродом. Дифрактограммы с пластин двухфазного сплава ВК6 ( $WC + Co$ ) до нанесения покрытия (рисунок 2 – 1) показал наличие только интенсивных линий карбида  $WC$ , а отражений от кристаллов кобальтовой связки не фиксируется. Это объясняется тем, что зерна связки имеют очень крупные размеры [1,2], достигающие в поперечник  $0.5 - 1$  мм и в облучаемом объеме их очень мало. Искровое легирование пластин сплава ВК6 графитом привело к появлению в поверхностном слое, кроме основного карбида  $WC$ , двойного  $\eta$  – карбида типа  $Co_3W_3C$  и карбида  $W_2C$  (рисунок 2 – 2).

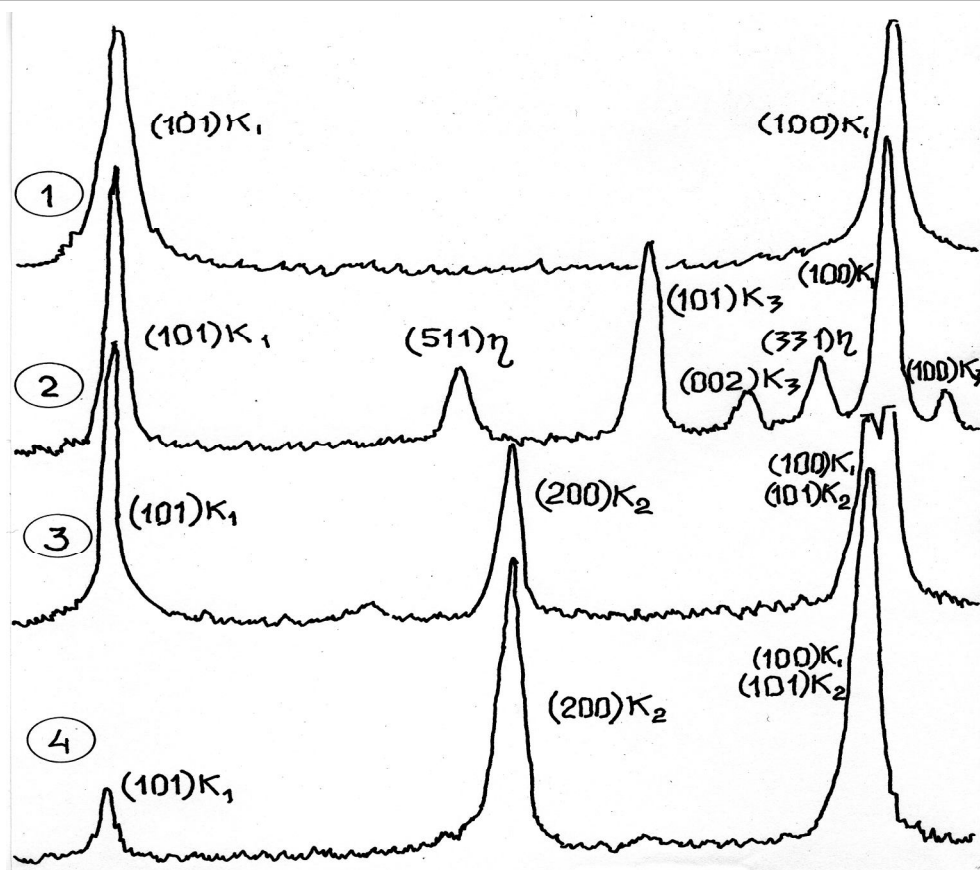


Рисунок 2 – Фрагменты дифрактограмм с пластин твердого сплава ВК6 в исходном состоянии (1) и после искрового легирования углеродом (2); пластин сплава Т15К6 в исходном состоянии (3) и после искрового легирования графитом (4).

Обозначения фаз:  $K_1$  – карбид  $WC$ ;  $K_2$  – карбид  $(Ti, W)C$ ;  $K_3$  – карбид  $W_2C$ ;  $\eta$  – карбид  $Co_3W_3$

Вроятно, ионы углерода, летящие с большой скоростью от анода к катоду, бомбардируют разогретую поверхность пластины сплава, частично испаряют кобальтовую связку, а та, в свою очередь, вступает во взаимодействие с карбидом вольфрама и образует двойной  $\eta$  – карбид. Кроме того, те же ионы углерода, при бомбардировке поверхности пластины, вызывают в структуре сплава диссоциацию монокарбида вольфрама и после завершения разряда, в условиях быстрого охлаждения, образуют богатый вольфрамом карбид  $W_2C$ .

Иная ситуация складывается в случае науглероживания трехфазного твердого сплава Т15К6 ( $WC + TiC + Co$ ). Сопоставление дифрактограмм с пластин исходного состояния сплава (рисунок 2 – 3) и с пластин, прошедших ЭИЛ графитом (рисунок 2 – 4), показало, что новой фазы в струк-

туре поверхностного слоя, как в сплаве ВК6, не образовалось, только значительно возросла интенсивность дифракционных линий твердого раствора на основе карбида титана  $(Ti, W)C$ , а линии монокарбида вольфрама существенно ослабли. То есть титан воспрепятствовал образованию новых карбидов в структуре поверхностного слоя пластин трехфазного сплава.

**Легирование пластин сплава ВК6.** На рисунке 3 приведены дифрактограммы сплава ВК6 до и после электроискровой обработки электродами из вольфрама, титана и графита.

Из анализа дифрактограмм, приведенных на рисунке 3 следует, что легирование поверхности пластин вольфрамом привело к образованию фаз аналогичных легированию углеродом (рисунок 2 – 2), т.е. к образованию карбидов  $W_2C$  и  $Co_3W_3C$ .

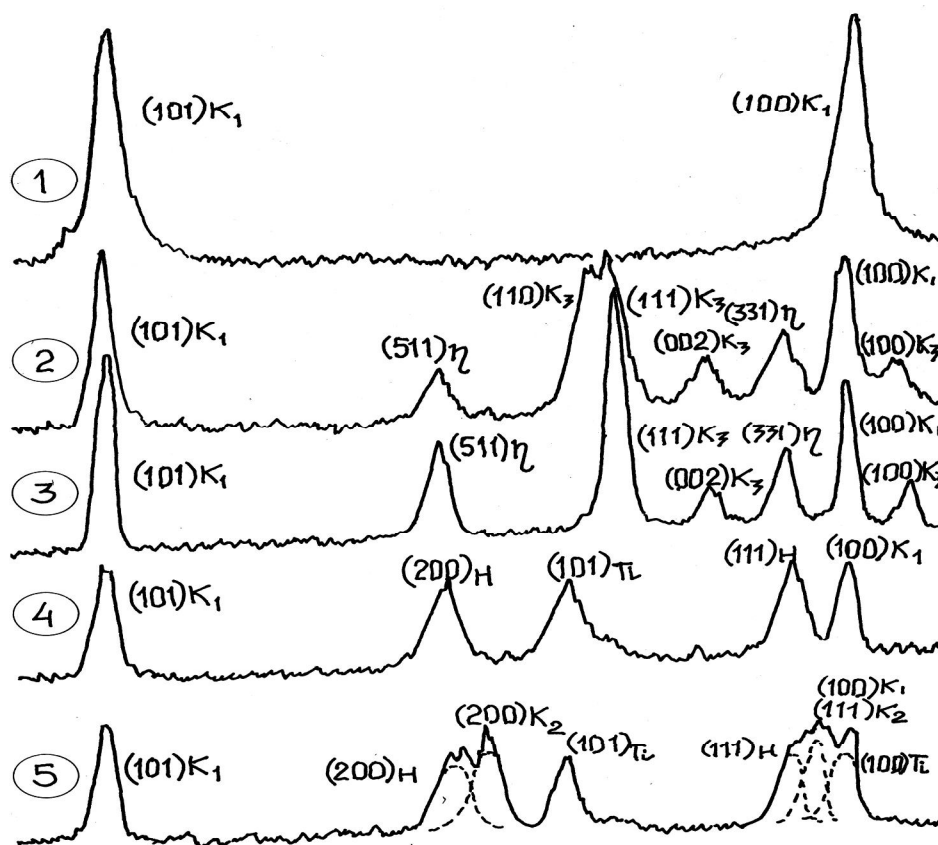


Рисунок 3 – Фрагменты диффрактограмм с пластин твердого сплава ВК6 в исходном состоянии (1) и после искрового легирования вольфрамом (2), вольфрамом, с последующим науглероживанием (3), титаном (4) и титаном, с последующим науглероживанием (5).

Обозначение фаз:  $K_1$  – карбид WC;  $K_2$  – карбид  $(Ti.W)C$ ;  $\eta$  – карбид  $Co_3W_3C$ ;  $K_3$  – карбид  $W_2C$ ; H – нитрид титана TiN.

Отсюда следует, что ионы вольфрама, бомбардирующие поверхность пластины сплава ВК6, вызывают диссоциацию монокарбида и вольфрама, что при охлаждении объема, нагретого в результате разряда, приводит к образованию двух новых карбидов.

Когда пластины сплава ВК6, прошедшие ЭИЛ вольфрамом, подвергли науглероживанию электроискровой обработкой графитом, то, как видно из диффрактограмм рисунка 3 – 3, изменений в фазовом составе сплава не произошло, т.е. он остался тем же, что и был после вольфрамирования (рисунок 3 – 2).

Электроискровое легирование двухфазного сплава ВК6 титаном, как видно на диффрактограмме рисунка 3 – 4, привело к образованию в поверхностном слое нитрида титана TiN с небольшим количеством

однофазного ГП – титана. При науглероживании пластин сплава, прошедших ЭИЛ титаном, вызвало образование карбида на основе титана  $(Ti.W)C$  при сохранении тех фаз, что образовались при ЭИЛ титаном на начальном этапе обработки (рисунок 3 – 5).

#### Легирование пластин сплава Т15К6.

На рисунке 4 приведены диффрактограммы сплава Т15К6 до и после ЭИЛ вольфрамом и титаном с последующим науглероживанием.

Диффрактограмма исходного состояния сплава подтвердила, что сплав имеет трехфазное состояние, хотя дифракционных линий кобальтовой связки на ленте не обнаружено, зато дифракционные линии монокарбида вольфрама WC и карбида на основе титана  $(Ti.W)C$ , имеют большую интенсивность (рисунок 4 – 1).

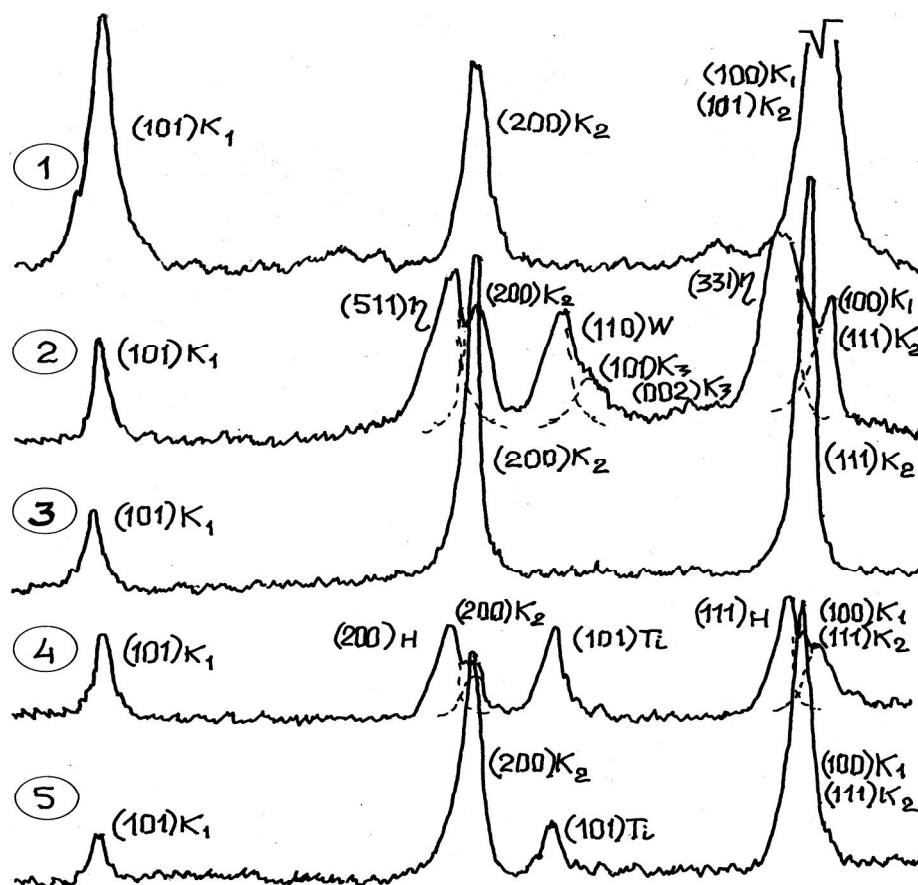


Рисунок 4 – Фрагменты дифрактограмм с пластин твердого сплава Т15К6 в исходном состоянии (1) и после искрового легирования вольфрамом (2), вольфрамом, с последующим науглероживанием (3), титаном (4), титаном, с последующим искровым науглероживанием (5).  
Обозначение фаз по данным рисунка 3.

Искровое легирование сплава вольфрамом существенно изменило фазовый состав поверхностного слоя (рисунок 4 – 2).

Это относится прежде всего к появлению дополнительных дифракционных линий  $\eta$  – фазы ( $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ), линий чистого вольфрама и слабых линий карбида  $\text{W}_2\text{C}$ . Вероятно, бомбардировка поверхности пластины ионами вольфрама, как и у сплава ВК6, привела к диссоциации монокарбида –  $\text{WC}$  и титана –  $\text{TiC}$ , что при охлаждении вызвало образование вышеуказанных фаз.

Когда вольфрамированную пластину подвергли ЭИЛ графитом, то дифракционные линии всех дополнительных фаз ( $\eta$  – фазы ( $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ), чистого  $\text{W}$  и карбида  $\text{W}_2\text{C}$ ), исчезли (рисунок 3). Таким образом, фазовый состав науглероженных пластин

вернулся к исходному структурному состоянию сплава, т.е. состоящему из двух карбидов:  $\text{WC}$  и  $(\text{TiW})\text{C}$ . Только количество карбида титана в структуре существенно возросло, а монокарбида вольфрама – уменьшилось.

Как видно из дифрактограмм рисунка 4 – 3, легирование поверхности пластин сплава Т15К6 титаном, привело к появлению в структуре нитрида титана  $\text{TiN}$ , который, надо полагать, образовался во время движения ионов титана в воздушном зазоре между анодом и катодом. Кроме того, на поверхности пластин зарегистрировано небольшое количество объемов чистого титана, также, как и у сплава ВК6 (рисунок 3 – 4). Науглероживание титанированных пластин сплава, привело к исчезновению нитрида титана и сохранению

в структуре небольшого количества чистого титана (рисунок 4 – 5). При этом отмечается значительное возрастание интенсивности линий карбида титана при заметном ослаблении линий монокарбида вольфрама, что свидетельствует об образовании на поверхности пластин своеобразной «корки» из твердого карбида титана.

Все вышеприведенные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что задача создания на поверхности пластин твердых сплавов покрытия из карбидов вольфрама и титана, может быть решена электроискровым методом, путем последовательной обработки тугоплавким металлом с последующим науглероживанием.

### Библиографический список

1. Третьяков В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В.И.Третьяков. – М. : Металлургия, 1976. – 528 с.
2. Креймер Г.С. Прочность твердых сплавов / Г.С.Креймер. – М.: Металлургия, 1966. – 200 с.
3. Верецака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С.Верецака, И.П.Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
4. Верхотуров А.А. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.А.Верхотуров, И.М.Муха. – К.: Техника, 1982. - 192 с.
5. Еришов В.М. Карбидообразование металлов при электроискровом науглероживании / В.М. Еришов // Сборник научных трудов сотрудников ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ. – 2007. – Вып. 24. – С. 212-217.
6. Еришов В.М. Цементация стальной поверхности при электроискровой обработке графитом / В.М. Еришов // Сборник научных трудов сотрудников ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ. – 2011. – Вып. 31 – С. 219 – 225.
7. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов. Справочник / Л.И. Миркин. – М.: Машиностроение, 1979. – 134 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С. Н.

Статья поступила в редакцию 20.09.13.

к.т.н. Еришов В. М., Русанова Н. В. (ДонГТУ, м Алчевськ, Україна)

### ВПЛИВ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ НА СТРУКТУРУ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

Приведені результати рентгенівського фазового аналізу поверхневого шару пластин дво- і трифазних твердих сплавів після електроіскрового легування вуглецем, вольфрамом і титаном. Виявлені нові карбідні і нітридні фази в структурному складі легованої поверхні пластин.

**Ключові слова:** твердий сплав, рентгенівський фазовий аналіз, карбіди, нітрид, електроіскрове легування.

Ershov V. M., Rusanova N. V. (DonSTU, ,Alchevsk, Ukraine)

### INFLUENCE OF THE ELECTRIC-SPARK ALLOYING ON THE STRUCTURE OF CARBOLOIES

Results over of x-ray photography phase analysis of an external layer of plastins of two- and three-phase carboloies are brought after the alloying a carbon, the electric-spark tungsten and titan. Found out new carbidic and nitrid phases in structural composition of the alloyed surface of plastins.

**Keywords:** hard alloy, x-ray phase analysis, carbides, nitride, electric-alloying.