

УДК 621.785:669.14.08.29

Малашевич А. А., Кулешов А. К.

Белорусский государственный университет. Беларусь, г. Минск

### СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТВЕРДОГО СПЛАВА Т15К6 С ПОКРЫТИЕМ ИЗ ТИТАНА МОДИФИЦИРОВАННОГО СИЛЬНОТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

*В представленной работе исследовано влияние плотности энергии, а также длительности импульса высокоэнергетических электронных пучков, на структуру и фазовый состав твердого сплава Т15К6 с покрытием из титана. Обнаружено, что взаимодействие высокоэнергетических электронных пучков приводит к образованию модифицированного (переплавленного) слоя. Облучение образцов Т15К6 с покрытием из Ti приводит к изменению фазового состава поверхностных слоев твердого сплава, с образованием дополнительных фаз (Ti, W)C, (Ti, W).*

Ключевые слова: высокоэнергетические электронные пучки; твердый сплав; модификация поверхности; структурно-фазовые превращения

Среди различных методов модификации свойств металлов и сплавов особое место занимают методы импульсного воздействия высококонцентрированными источниками энергии – мощными ионными, электронными, компрессионными плазменными потоками [1]. Упрочнение сплавов воздействием концентрированных потоков энергии основано на быстром нагреве поверхностного слоя, в том числе выше температуры плавления и последующей его кристаллизации со сверхкритическими скоростями охлаждения ( $10^4$ – $10^8$  К/с) [1].

При воздействии высокоэнергетических электронных пучков (СЭП) поверхностный слой материала быстро нагревается до температуры плавления, а затем также быстро охлаждается. В результате этих процессов происходит модификация поверхности: уменьшается размер зерна, изменяется и гомогенизируется фазовый состав. При этом возможно появление метастабильных фаз и соединений, оказывающих влияние на изменение свойств материала [1].

Структурно-фазовые превращения в поверхностных слоях определяются исходным состоянием материала, динамики температурных полей и полей термонапряжений в области поглощения пучка и в примыкающей к ней так называемой зоне теплового влияния (ЗТВ) высоких температур [1].

В настоящей работе проведен анализ фазового состава и микроструктуры поперечных шлифов твер-

дого сплава Т15К6 с покрытием из Ti, облученного высокоэнергетическими электронными пучками с плотностями энергий позволяющими плавить поверхностные слои твердого сплава (40, 60, 80) Дж/см<sup>2</sup> и длительностью импульса (100, 150, 200) мкс изменяющей толщину и строение кристаллизующихся слоев.

Варьируемыми параметрами являлись плотность энергии воздействия одним импульсом СЭП ( $J_E$ ) и длительность импульса ( $\tau$ ). Режимы облучения и параметры решетки карбида (Ti, W)C представлены в табл. 1.

Методом рентгеноструктурного анализа был исследован фазовый состав твердосплавных пластин Т15К6 с покрытием из Ti до и после обработки высокоэнергетическими электронными пучками, результаты данного исследования приведены на рисунке 1.

На дифрактограмме исходного образца (рис. 1а) присутствуют максимумы, отвечающие карбидам (Ti, W)C с гранцентрированной кубической и  $\alpha$ -WC и примитивной гексагональной решеткой. Результатом взаимодействия СЭП с поверхностью твердого сплава являлось изменение фазового состава поверхностного слоя. Анализ дифракционных характеристик линий, соответствующих  $\alpha$ -WC и твердому раствору (Ti, W)C, позволяет сделать вывод о том, что в результате воздействия СЭП вследствие растворения WC в (Ti, W)C формируется пересыщенный вольфрамом твердый раствор (Ti, W)C. Обнаружено,

Режимы воздействия СЭП и параметры решетки карбида (Ti,W)C

Длительность импульса, мкс	100		150		200		
Плотность энергии, Дж/см <sup>2</sup>	40	60	40	60	40	60	80
Параметр решетки карбида (Ti,W)C, нм	0,4291	4,300	0,4294	0,4296	0,4296	0,4295	0,4302
Параметр решетки карбида (Ti,W)C исходного образца, нм	0.4318						

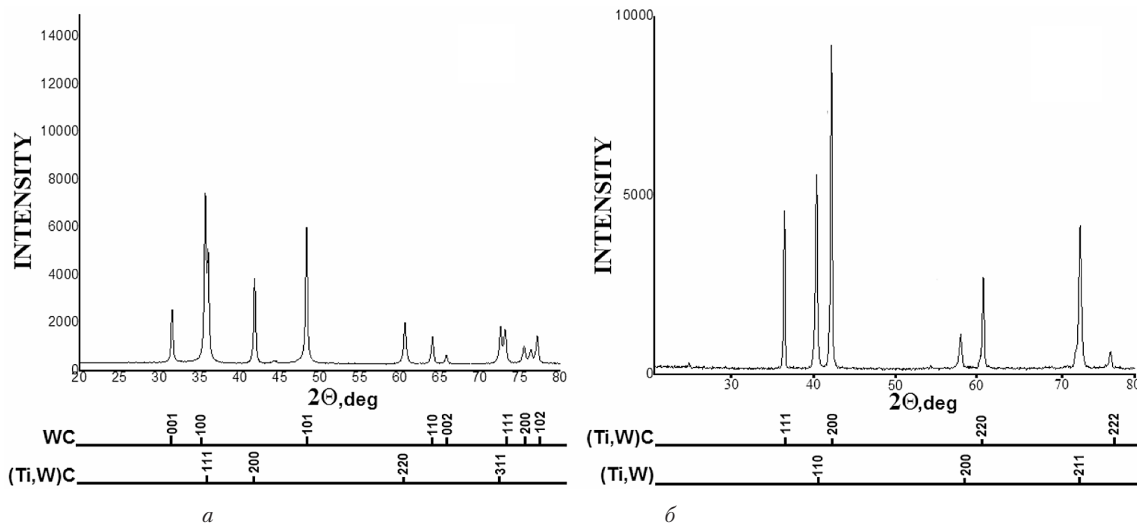


Рис. 1. Дифрактограммы образцов:

а) исходного, б) облученного СЭП с плотностью энергии 40 Дж/см<sup>2</sup> и длительностью импульса 100 мкс

электронное воздействие приводит к уменьшению параметра решетки твердого раствора (Ti, W)C (Табл. 1). Вследствие того что атомный радиус вольфрама (0.141 нм) меньше, чем титана (0.149 нм), подобное поведение параметра кристаллической решетки (Ti, W)C свидетельствует о непрерывном повышении содержания вольфрама. Следует отметить, что увеличение, как плотности энергии, так и длительности импульса СЭП не приводит к изменению фазового состава, а лишь перераспределению компонент твердых растворов (Ti,W) и (Ti, W)C.

Обработка образцов твердого сплава сильноточными электронными пучками, в использованном диапазоне режимов, приводит к разогреву поверхностного слоя твердого сплава до температуры плавления карбидов, входящих в состав исследуемого материала, что говорит о формировании модифицированного СЭП слоя. На рисунке 2

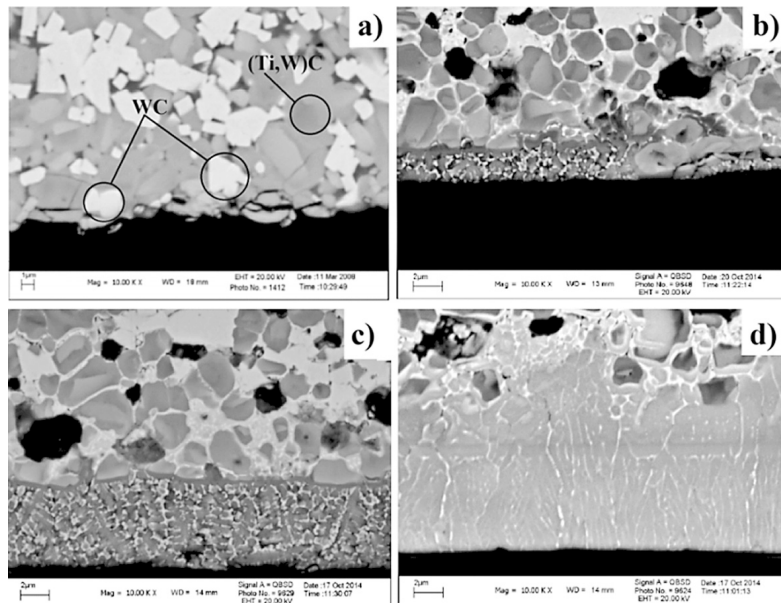


Рис. 2. РЭМ-изображения торцевых поверхностей твердого сплава:

а) исходного, облученного СЭП с плотностью энергии и длительностью импульса: б) 40 Дж/см<sup>2</sup>, 100 мкс, с) 60 Дж/см<sup>2</sup>, 200 мкс, д) 80 Дж/см<sup>2</sup>, 200 мкс

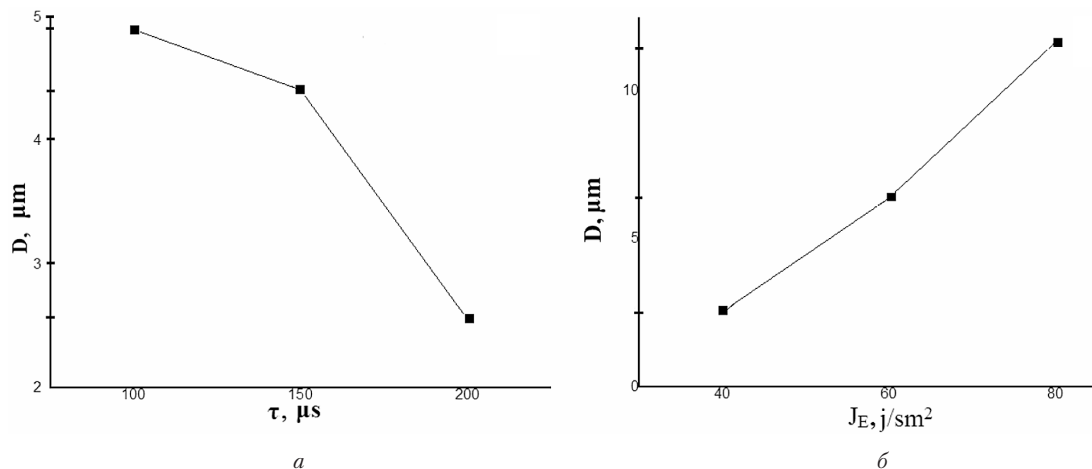


Рис. 3. Зависимость толщины модифицированного слоя от:

*a* – длительности импульса СЭП, при плотности энергии 40 Дж/см<sup>2</sup>, *b* – плотности энергии СЭП, при длительности импульса 200 мкс

показаны РЭМ-изображения торцевых поверхностей твердого сплава Т15К6 с покрытием из титана до и после обработки СЭП.

Модифицированный слой, состоит преимущественно из светлых (обогащенных вольфрамом) и серых (содержащих титан и вольфрам) выделений фаз (Ti,W), (Ti,W)C. В результате анализа РЭМ-изображений торцевых поверхностей было обнаружено, что толщина модифицированного слоя зависит как от плотности энергии, так и от длительности импульса СЭП. Зависимость толщины модифицированного слоя от режимов облучения показана на рисунке 3.

Рост толщины модифицированного слоя, в результате повышения плотности энергии, обусловлен увеличением количества теплоты, переданной поверхности твердого сплав. Результатом увеличения длительности импульса, при заданном значении плотности энергии, являлось уменьшение толщины данного.

На основе результатов исследований, проведенных в настоящей работе, было установлено, что облучение твердосплавных пластин Т15К6 сильно-

точными электронными пучками формирует модифицированную, приповерхностную область, глубина которой растет по мере увеличения плотности поглощенной энергии, при постоянной длительности импульса 200 мкс и уменьшается с ростом длительности импульса, при всех значениях плотности поглощенной энергии. Анализ фазового состава показал, что в результате облучения СЭП, при всех использованных нами режимах, приводит к формированию модифицированного слоя, фазовый состав которого отличается от фазового состава твердого сплава Т15К6. Это отличие связано с возникновением твердых растворов (Ti,W), (Ti,W)C.

### Литература

- [1] Иванов Ю.Ф, Коваль Н.Н. Высокоинтенсивные электронные пучки: получение и применение в области материаловедения // Труды 9-ой международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом».- Минск,2011. – Т.1. – С.47

*Malashevich A. A., Kuleshov A. K.*

Belarusian State University. Belarus, Minsk

### STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF T15K6 HARD ALLOY WITH TITANIUM COATING AFTER TREATMENT BY INTENSE PULSED ELECTRON BEAMS WITH DIFFERENT MODES

*In the present work investigated the influence energy density and pulse duration high-current electron beams on the structure and phase composition of T15K6 hard alloy with titanium coating. The interaction of high-current electron beams results in the formation of the modified (remelted) layer. It is found that samples irradiation leads to phase transformations namely formation of (Ti, W) and tungsten enriched (Ti, W)C solid solutions.*

*Keywords: intense pulsed electron beams; hard alloy; surface layer modification; structure; phase composition.*

#### References

- [1] Ivanov Ju. F., Koval' N. N. Vysokointensivnye elektronnye puchki: poluchenie i primenenie v oblasti materialovedenija // Trudy 9-oj mezhdunarodnoj konferencii «Vzaimodejstvie izluchenij s tverdyim telom». - Minsk, 2011. – Т.1. – P.47