

## Получение наноструктур в покрытии на твердосплавном режущем инструменте из ВК8 и Т15К6

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»*

Приведены результаты сопоставления экспериментального и теоретического исследований возможности получения наноструктур в покрытии 0,18 HfN + 0,82 ZrN на твердосплавных пластинах из ВК8 и Т15К6 при действии потока ионов. В результате сравнения размера зерна, полученного экспериментально (РЭМ-106) и на основе теоретической модели, обнаружено наличие наноструктур. Выявлена удовлетворительная согласованность теории и эксперимента при учете подогрева пластины в режиме очистки и в процессе нанесения покрытия.

**Ключевые слова:** размер зерна, наноструктура, режущий инструмент, покрытие, твердый сплав.

### Введение

Как было показано в наших работах [1–9], снимаемый объем материала за период стойкости и сама стойкость режущего инструмента зависят от размера зерна. Это свидетельствует о том, что в наноструктурном покрытии на режущем инструменте можно обеспечить наибольшую работоспособность, а значит, уменьшить число режущих пластин из твердого сплава для обработки соответствующей партии деталей. Всё это выдвигает вопрос о получении наноструктур на режущем инструменте в один из ключевых для машиностроения. Появляющиеся замечания о том, что режущий инструмент с покрытием иногда работает хуже, чем инструмент без покрытия, связаны с тем, что авторы не определяли размер зерна на покрытии и на режущем инструменте без покрытия. Так, нами ранее было замечено, что режущий инструмент без покрытия с наноструктурным зерном на поверхности может работать более эффективно, чем РИ с субмикроструктурным покрытием [10–18].

Применение сложных покрытий, которые образуются при действии ионов разных материалов (металлов и неметаллов), приводит к появлению наноструктур на разных глубинах и различного размера, причем могут чередоваться наноструктурные зерна, субмикроструктурные и даже микрзерна. Это приводит к тому, что покрытие может разрушаться по границам микро- и субмикроструктурных зерен. Следовательно, необходимо рассматривать различные сложные покрытия с учетом размеров зерна, которые образуются в нем. Размер зерна можно корректировать путем варьирования энергии ионов, что и даст возможность обеспечить многослойное наноструктурное покрытие, а следовательно, высокую работоспособность РИ.

Резюмируя, можно отметить рассматриваемые проблемы как актуальные и важные для развития машиностроения.

Работа выполнена в рамках программы Министерства образования и науки Украины «Новые ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе» (подсекция 13 «Аэрокосмическая техника и транспорт») и по темам: «Создание физико-технических основ повышения качест-

ва материалов аэрокосмических конструкций» и «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники», а также подсекция 6 «Физико-технические проблемы материаловедения»; «Концепция создания наноструктур, нано- и традиционных покрытий с учетом влияния адгезии на эффективность и работоспособность деталей АТ, АД и РИ», хоздоговорных работ и договоров о сотрудничестве.

### **Состояние вопроса**

В середине прошлого века было показано, что размер зерна твердого сплава влияет на изменение его работоспособности. Так, были созданы твердые сплавы с обычным размером зерна, мелкозернистые и особомелкозернистые, что послужило созданием твердых сплавов, например: ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ, причем последние работали с большей эффективностью, обеспечивая более длительную и стабильную работу. Дальнейшее уменьшение размера зерна в то время было еще невозможно, что стало препятствием для улучшения режущего инструмента.

Появление наноструктур дает возможность управлять свойствами поверхностного слоя путем более плотного соединения зерен, т.е. повышения энергетического барьера для разрушения их связей. Следовательно, и работоспособность такого режущего инструмента существенно повышается и будет зависеть от размера зерна: чем меньше размер зерна, тем выше будет стойкость режущего инструмента и снимаемый объем материала за период его стойкости. Изучению наноструктур посвящено значительное число работ [1–18], в основном это работы экспериментальные или обобщение экспериментальных работ. Но существует необходимость прогнозирования размера зерна в зависимости от технологических параметров обработки. Этот вопрос может быть решен путем теоретического рассмотрения получения наноструктур при действии потоков ионов различных сортов, энергий, зарядов, для чего необходимо будет продолжить теоретические работы, опубликованные в монографиях [1–7] и развитые в работах [17–18]. Это позволит не только прогнозировать размер зерна, получаемый при тех или иных технологических параметрах потоков, но и оценить адекватность теоретических моделей, сравнив результаты экспериментального получения размера зерна (с помощью электронного микроскопа РЭМ-106) и теоретического прогноза.

### **Модели и экспериментальное оборудование для исследований**

В качестве основной была принята модель действия потоков ионов разных энергий, сортов и зарядов на конструкционные материалы [1], в которой дополнительно в баланс энергии была введена энергия на образование нанозерна, где учитывались все взаимодействия атомов нанозерна с соседними нанозернами.

Экспериментальное исследование проводили на установке БУЛАТ-6, модернизированной для использования источника ионов повышенных энергий, что позволяло варьировать энергии ионов от 100 до  $10^4$  эВ при плотностях ионных токов от  $10^2$  до  $5 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>. Размер зерна исследовали на растровом электронном микроскопе РЭМ-106, который позволял определять размер зерна от 1 до 5000 нм.

## Результаты расчетов и экспериментов

Так как рассматривали покрытие  $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ , то теоретически исследовали действие ионов гафния, циркония и азота на твердосплавные пластины ВК8 и Т15К6 с энергиями 100...500 эВ.

Для энергий ионов 110, 250, 350 и 500 эВ на рис. 1 показаны примеры микрофотографий с размерами зерна, полученными на РЭМ-106 в покрытии  $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$  на твердом сплаве Т15К6 на основе аналогичных микрофотографий, сделанных на пластинах, расположенных при напылении на расстояниях выше оси потока на 7,5 см, по оси потока и ниже оси потока на 7,5 см.

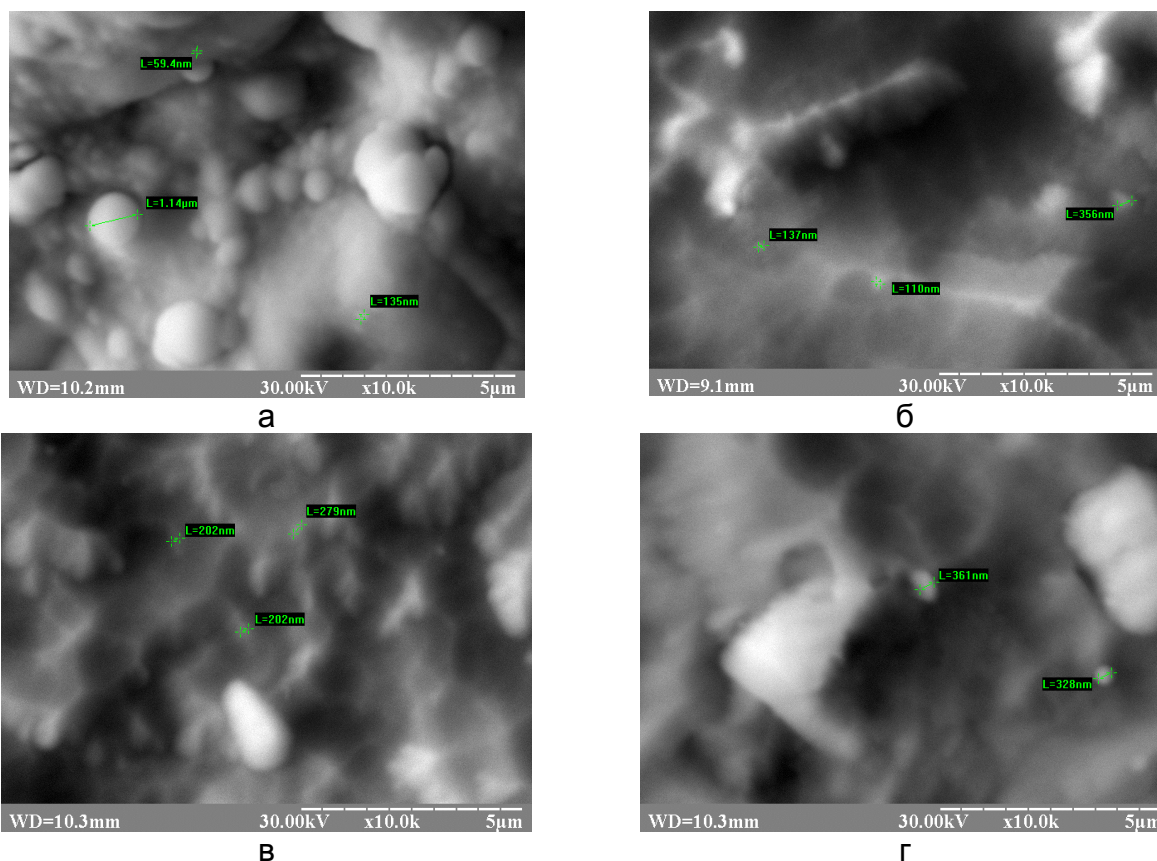


Рис. 1. Микрофотографии покрытия  $0,18 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$  на твердом сплаве Т15К6 после действия потока ионов с энергией: а – 110 эВ, б – 250 эВ, в – 350 эВ и г – 500 эВ

Статистическая обработка этих фотографий позволила построить зависимости среднего размера зерна от энергии ионов, которые для рассмотренных случаев нанесения покрытия на ВК8 (кривая 1, 2, 3) и Т15К6 (кривые 4, 5, 6) изображены на рис. 2. Видно, что для покрытия на Т15К6 наноструктуры реализуются только в одном режиме ( $E = 110 \text{ эВ}$ ), когда пластины расположены выше оси потока на 7,5 см. В остальных режимах образуются субмикроструктуры.

Для покрытия на ВК8 практически при любом размещении пластин при энергии ионов 110 эВ и в двух режимах при энергии 250 эВ существует возможность получения наноструктур, а в остальных режимах и энергиях ионов реализуются субмикроструктуры.

Необходимость сопоставления результатов расчета и эксперимента потребовала провести расчеты размеров зерна по методике [1] с учетом энергии, затрачиваемой на образование нанокластера [17], и нагрева пластины в режиме очистки и в процессе нанесения покрытия. Результаты расчетов для покрытия на ВК8 (кривые 7, 8, 9) и для покрытия на Т15К6 (кривые 10, 11, 12) для случая ионов азота (кривые 7 и 10), циркония (кривые 8 и 11) и для гафния (кривые 9 и 12) показаны на рис. 2, сопоставление которых с результатами экспериментов дают удовлетворительную согласованность.

Экспериментальное исследование показало, что рост зерна связан с ростом энергии потока ионов, действующих на твердый сплав ВК8 и Т15К6 (энергии варьировались от 110 до 500 эВ), причем сорт иона также влияет на размер зерна, минимальный размер зерна реализуется при действии иона азота, больший при действии иона циркония, еще более высокий при действии иона гафния.

Изменение величины заряда (его рост) приводит к увеличению размера зерна, что тоже влияет на свойства поверхностного наноструктурного слоя.

Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов показывает, что размер зерна полученный экспериментально, несколько выше, чем расчетный. Это, очевидно, связано с тем, что мы не смогли учесть достаточный нагрев детали и покрытия в процессе ионной очистки и нанесения покрытия. Такой учет был проведен, и он позволяет сравнить размеры зерна с учетом этого нагрева и размер, полученный экспериментально (рис. 2).

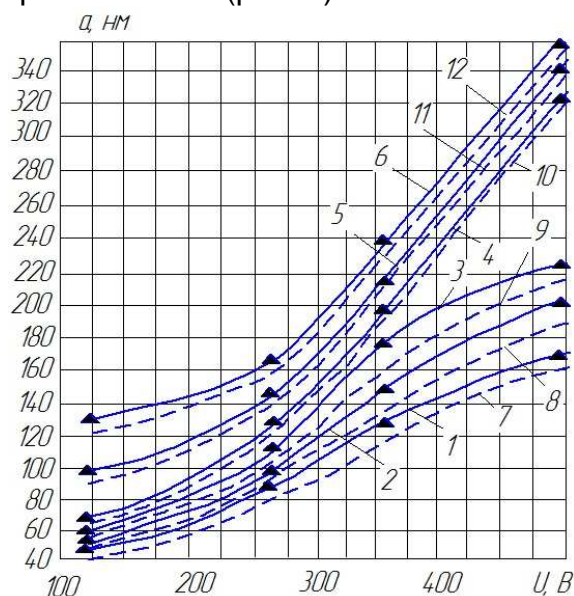


Рис. 2. Зависимость размера зерна от потенциала подложки для покрытия  $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$  на твердом сплаве ВК8 (кривые 1–3) и Т15К6 (кривые 4–6).

Эксперимент: 1–4 – пластины при напылении расположены выше оси потока на 7.5 см; 2 и 5 – ниже на 7.5 см; 3 и 6 – по оси потока.

Теория: 7, 10 – размер зерна в зоне иона азота; 8 и 11 – иона Zr; 9 и 12 – иона для ВК8 (7, 8, 9) для Т15К6 (10, 11 и 12) соответственно

Видно, что экспериментальные результаты ложатся в зону теоретических. Это подтверждает необходимость учета нагрева детали и покрытия в процессе ионной очистки и нанесения покрытия.

Все это свидетельствует о работоспособности, адекватности и достаточной точности предлагаемой модели.

## Выводы

1. Экспериментально обнаружено повышение размера зерна в зоне обработки ионами с большей энергией и зарядом.
2. Показана адекватность теоретической модели и экспериментальных исследований при условии учета роста размера зерна за счет повышения температуры в процессе ионной очистки и напыления покрытия.
3. Доказана возможность обеспечения требуемого диапазона размеров зерна при действии потоков ионов разных энергий, сортов и зарядов, обеспечивающих требуемые физико-механические характеристики наноструктурных слоев.

## Список литературы

1. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.
3. Костюк, Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст]: в 2 кн. / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – 1030 с.
4. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокрyтия: перспективы и реальность [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.
5. Костюк, Г. И. Эффективные покрытия и модифицированные упрочненные слои на режущих инструментах [Текст]: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 728 с.
6. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.
7. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.
8. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: справ. / Г. И. Костюк. – К.: Вид-во АИНУ, 2003. – 412 с.
9. Костюк, Г. И. Физико-технические основы роботизированного производства [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 614 с.
10. Гречихин, Л. И. Физика наночастиц и нанотехнологий [Текст] /Л. И. Гречихин. – М.: УП «Технопринт», 2004. – 397 с.
11. Аксенов, И. И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы [Текст] / И. И. Аксенов. – Х.: Изд-во НИИ «ХФТИ», 2005. – 211 с.
12. Гусев, А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства [Текст] / А. И. Гусев. – Екатеринбург: Изд-во РАН, Уральское отд-ние, 1998. – 302 с.
13. Гусев, А. И. Наноматериалы наноструктуры, нанотехнологии [Текст] /

А. И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.

14. Решетняк, Е. Н. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий [Текст] / Е. Н. Решетняк, А. И. Стрельницкий // Вопросы атомной науки и техники. – 2008. – № 2. – С. 119 – 130.

15. Андриевский, Р. А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы [Текст] / Р. А. Андриевский // Физика металлов и металловедение. – 2003. – Т. 91, № 1. – С. 50 – 56.

16. Состав, структура и свойства наноструктурных пленок боридов тантала [Текст] / А. А. Гончаров, П. И. Игнатенко, В. В. Петухов и др. // ЖТФ. – 2006. – Т. 76, вып. 10. – С. 84 – 88.

17. Костюк, Г. И. Оценка объема нанокластера и глубин его залегания в алюминиевом сплаве при действии ионов различных энергий [Текст] / Г. И. Костюк, Т. А. Постельник, А. Н. Костюк / Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 64. – Х., 2014. – С. 129 – 141.

18. Костюк, Г. И. Исследование влияния размера зерна в покрытии на микротвердость, снимаемый объем материала за период стойкости и стойкость РИ при точении специального чугуна [Текст] / Г. И. Костюк, А. А. Шматко / Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 64. – Х., 2014. – С. 142 – 151.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф., декан А. И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ» им. Н.Е. Жуковского, Харьков  
Поступила в редакцию 06.11.2014

## **Одержання наноструктур у покритті на твердосплавному різальному інструменті з VK8 і T15K6**

Наведено результати зіставлення експериментального та теоретичного досліджень можливості отримання наноструктур у покритті 0,18 HfN + 0,82 ZrN на твердосплавних пластинах з VK8 і T15K6 при дії потоку іонів. В результаті порівняння розміру зерна, одержаного експериментально (PEM-106) та на основі теоретичної моделі, виявлено наявність наноструктур. Одержано задовільну узгодженість теорії та експерименту при врахуванні підігрівання пластини в режимі очищення та у процесі нанесення покриття.

**Ключові слова:** розмір зерна, наноструктура, різальний інструмент, покриття, твердий сплав.

## **Preparation of nanostructures on the coat of carbide cutting tools VK8 and T15K6**

The results of a comparison of the experimental and theoretical study of the possibility of obtaining nanostructures covering 0,18 HfN + 0,82 ZrN in the solid plates of VK8 and T15K6 by the action of the flow of ions. Compared the grain size obtained experimentally (SEM-106) and on the basis of a theoretical model shows the presence of the nanostructure. A satisfactory agreement between theory and experiment, taking into account the heating plate in the cleaning mode and during the coating process.

**Keywords:** grain size, nanostructure, cutting tool coating, tungsten carbide.