

МИКРОТВЕРДОСТЬ НАНО- И СУБМИКРОСТРУКТУР В ПОКРЫТИИ НА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТАХ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Приведены результаты исследования взаимосвязи микротвердости покрытия $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ на режущих инструментах из твердых сплавов ВК8, Т15К6, МС221 и СандвикКоромант и размером зерна (измерялся РЭМ-106). Показано, что рост размера зерна приводит к снижению микротвердости, а для двухслойного покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ микротвердость практически не зависит от размера зерна для наноструктурного покрытия, а снижение ее величины связано наличием первого слоя из Al_2O_3 имеющего низкую микротвердость. Переход от наноструктурного покрытия к субмикроструктурному приводит к существенному уменьшению микротвердости.

Ключевые слова: микротвердость, наноструктуры, режущий инструмент, твердый сплав, покрытие, субмикроструктура.

Введение

Широкое применение наноструктур и нанопокровтий в авиастроении может существенно улучшить служебные характеристики деталей и режущего инструмента (РИ) но не обоснованное применение наноструктур и нанопокровтий может загубить саму идею их использования. Все это говорит о необходимости исследования влияния наноструктур в покрытиях и основном материале детали или РИ на их физико-механические характеристики и работоспособность.

Поэтому данная работа посвящена исследованию влияния размера зерна на микротвердость РИ из твердых сплавов ВК8, МС221, Т15К6 и СандвикКоромант с однослойным и многослойным покрытием и без покрытия является важной и актуальной задачей для применения покрытий с наноструктурами в авиастроении, двигателестроении и агрегатостроении.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки Украины «Новые и ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе» (подсекция 13 «Аэрокосмическая техника и транспорт») и по темам: «Создание физико-технических основ повышения качества материалов аэрокосмических конструкций» и «Разработка технологических основ интегрирования технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники», «Концепция создания наноструктур, нано и традиционных покрытий с учетом влияния адгезии на эффективность и работоспособность деталей АТ, АД и РИ», хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

1. Постановка задачи

В настоящее время есть значительное число экспериментальных работ по изучению наноструктур, результаты их обобщения представлены в монографиях [1...10], но оригинальных работ по применению наноструктурных покрытий для упрочнения режущего инструмента очень мало и в монографиях этим вопросам уделено незначительное место, в лучшем случае несколько страниц [8], а в основном только декларируется возможность применения наноструктур для повышения работоспособности РИ [9].

2. Оборудование и методы исследования

Нанесение покрытий осуществилось на установке Булат-6 модернизированной для нанесения равнотолщинных покрытий, размер зерна в покрытии и в основном материале режущего инструмента определялся с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-106, а микротвердость – прибором ПМТ-3.

3. Микротвердость и размер зерна в однослойном покрытии $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ и в двухслойном покрытии $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ на РИ из твердых сплавов ВК8, Т15К6, МС221 и СандвикКоромант

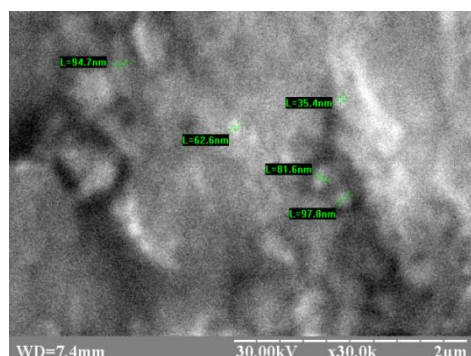
Микротвердость режущих и твердых сплавов с покрытием $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ измерялась на микротвердомере ПМТ-3 выбиралось среднее значение из 5-ти измерений.

Размер зерна измерялся на электронном микроскопе РЭМ-106 для покрытий $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ на пластинах из твердого сплава ВК-8 (производства СССР) (рис. 1, 1), СандвикКоромант (пластина Н13) (рис. 1, 2) и СандвикКоромант двуслойным покрытием Al_2O_3 (слой на передней поверхности) и $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ (слой непосредственно на пластине на передних поверхностях и на боковых поверхностях – задняя поверхность РИ) (рис. 1, 3).

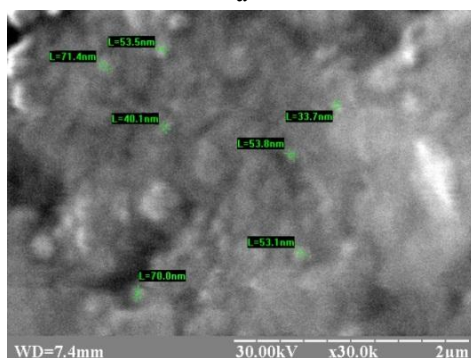


Рис. 1. Внешний вид пластин: 1 – из ВК8, 2 – СандвикКоромант (Н13) и покрытие $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$, 3 – СандвикКоромант с двухслойным покрытием $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$

Также исследовались пластины из твердого сплава МС221 (производства России) с покрытиями $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ и СандвикКоромант (Н13) с покрытием и без покрытия.



а

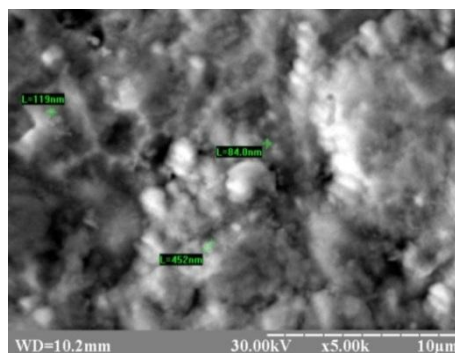


б

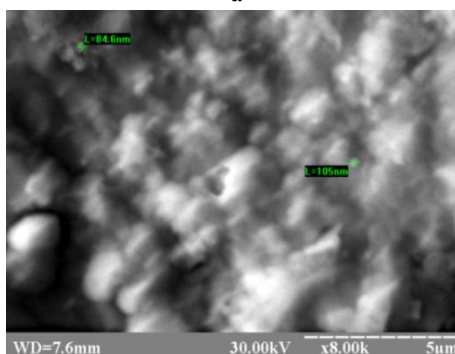
Рис. 2. Микрофотография поверхности покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ на твердом сплаве СандвикКоромант получены на электронном микроскопе (для снижения влияния заряда на Al_2O_3 использовалось покрытие Cu) для различных зон передней поверхности: а – вблизи вершины, б – в средней части передней поверхности пластины

На рис. 2 – б представлены наиболее характерные участки поверхности покрытий на режущем инструменте, где даны размеры характерных зерен для каждого типа покрытий. Видно, что минимальные размеры зерна реализуются на двуслойном покрытии $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ (33...63 нм) (рис. 2).

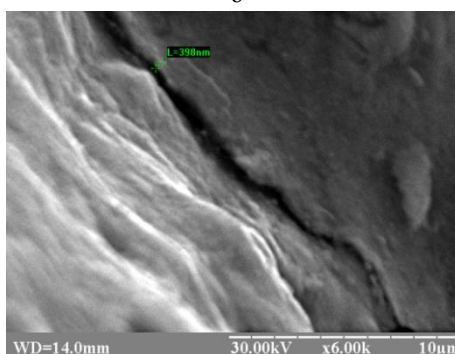
Относительно невысокие размеры зерна в покрытии $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ реализуются на пластинах из твердого сплава ВК-8, они имеют значения в диапазоне 84...119 нм, т.е. реализуются как наноструктуры ($\alpha \leq 100 \text{ нм}$) так и субмикроструктуры в диапазоне размеров зерна от 100 до 119 нм (рис. 3, а, б).



а



б

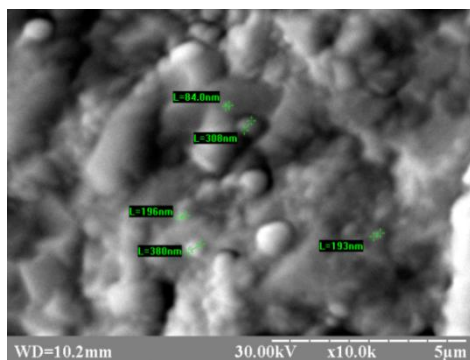


в

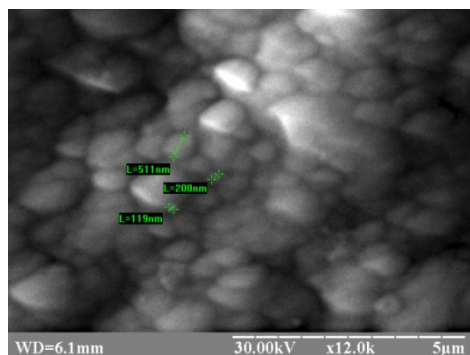
Рис. 3. Микрофотографии пластины из покрытием $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ на ВК8: а – вблизи вершины, б – в средней части пластины, в – вблизи от зоны излома покрытия

Фотография в зоне излома покрытия 0,2 HfN + 0,8 ZrN дает возможность оценить его толщину, которая в зоне изнашивания покрытия составляет $\approx 1\text{--}2$ мкм, тогда как в зоне не подтвержденной интенсивному износу она близка к первоначальному порядку 10 мкм (рис. 3, в).

Для пластин из твердого сплава СандвикКоромант (Н13) с покрытием 0,2 HfN + 0,8 ZrN реализуются размеры зерна от 84 до 200 нм, где размер зерна субмикроструктур 100 до 200 нм хотя и преобладает, но есть значительное число нанокластеров размер зерна от 84 до 100 нм (рис. 4).



а

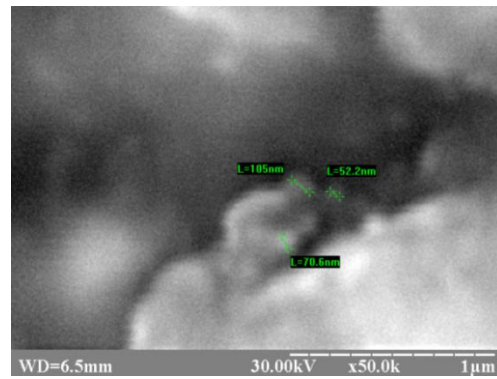


б

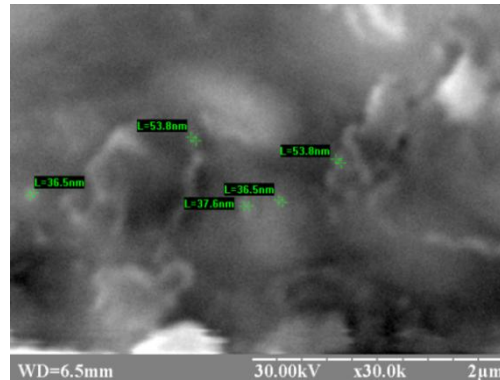
Рис. 4. Микрофотография пластины из СандвикКоромант с покрытием 0,2 HfN + 0,8 ZrN: а – вблизи вершины; б – в средней части пластины на передней поверхности

Фотографии покрытия на твердом сплаве МС221 представлены на рис. 5. Видно, что реализуются размеры зерна от 36,5 до 105 нм, причем зерен с размером 100–105 нм очень мало, а практически преобладают зерна с размерами 36–58 нм, т.е. практически все покрытие является наноструктурным.

Фотография твердого сплава СандвикКоромант (Н13) без покрытия представлены на рис. 6. Видно, что размеры зерна лежат в пределах от 35,6 до 115 нм, причем значительное число зерен лежат в диапазоне от 40 до 88 нм, т.е. реализуются наноструктуры в достаточно большой части объема пластины.

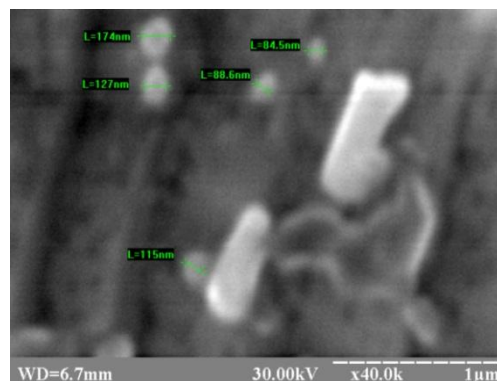


а

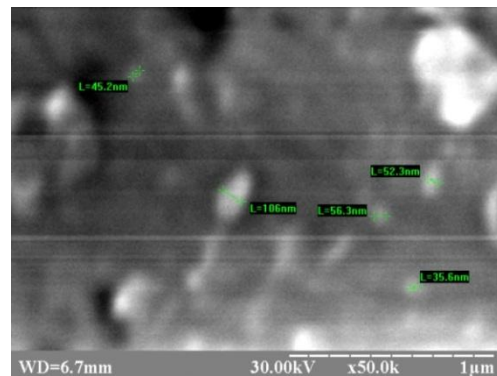


б

Рис. 5. Микрофотография покрытия 0,2 HfN + 0,8 ZrN на твердом сплаве МС221



а



б

Рис. 6. Микрофотография твердого сплава СандвикКоромант (Н13) без покрытия

Все, выше изложенное, говорит о том, что не только в покрытии, но и в основном материале режущих инструментов реально получать наноструктуры.

Зависимость микротвердости этих пластин с покрытиями от размера зерна представлены на рис. 7, где наблюдается снижение микротвердости с ростом размера зерна. Наибольшая микротвердость реализуется для пластин ВК-8 (производство СССР), но в тоже время для него реализуется и самый быстрый спад микротвердости до величины 14,67 ГПа ($\alpha = 119$ нм), тогда как для СандвикКоромант с покрытием 0,2 HfN + 0,8 ZrN такого снижения достигаем практически до того же значения (14 ГПа), при размере зерна 200 нм. Для пластин СандвикКоромант с двуслойным покрытием Al_2O_3 и 0,2 HfN + 0,8 ZrN микротвердость колеблется в небольших пределах 16,08–17,14 ГПа размер зерна меняется в пределах 33,7–63,8 нм, т.е. практически всегда реализуются наноструктуры.

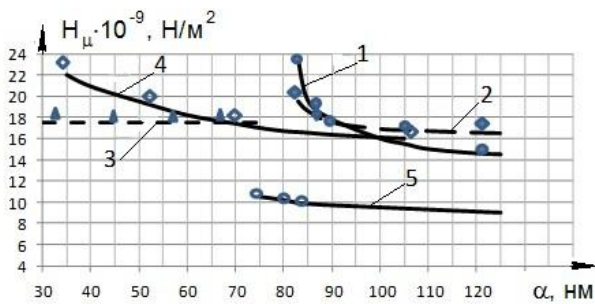


Рис. 7. Зависимость микротвердости от размера зерна для покрытия:

- 1 – 0,2 HfN + 0,8 ZrN на ВК8; 2 – на СандвикКоромант (пластин Н13); 3 – для двуслойного покрытия Al_2O_3 + 0,2 HfN + 0,8 ZrN на СандвикКоромант;
- 4 – покрытия 0,2 HfN + 0,8 ZrN на МС221;
- 5 – для СандвикКоромант без покрытия (Н13)

Для режущего инструмента из МС221 с покрытием микротвердость составляет 22,28 ГПа для зерна размером порядка 36 нм с ростом его размера микротвердость снижается и при размере зерна 105 нм становится равной 16,08 ГПа (рис. 7, кривая 5).

Микротвердость относительно слабо меняется от размера зерна для пластин СандвикКоромант без покрытия (рис. 7). Видно, что изменение размера зерна от 36 до 176 нм приводит к снижению микротвердости от 10,42 до 8,9 ГПа.

Также небольшое изменение микротвердость в твердом сплаве СандвикКоромант говорит о достаточно высокой изотропности структуры, а значит и качественной технологии изготовления пластины (рис. 7, кривая 5).

Для покрытия 0,18HfN+0,82ZrN на Т15К6 аналогичные зависимости микротвердости от размера зерна представлены на рис. 8 (размер зерна рассматривался как среднестатистический, измеренный на РЭМ-106, а микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3).

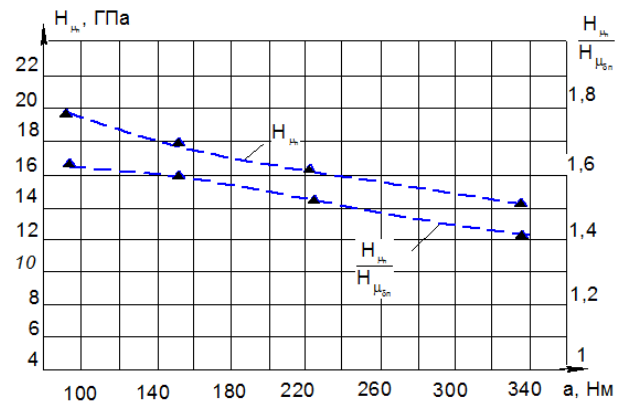


Рис. 8. Зависимость микротвердости Т15К6 с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN $-H_{\mu n}$ и относительной микротвердости от размера зерна $-a$, нм

Видно, что с ростом размера зерна микротвердость покрытия снижается, но все равно остается большей чем каждого из нитридов гафния и циркония. В связи с тем, что наноструктуры реализуются в одном режиме, при энергии ионов 110 эВ (рис. 9), то очевидно ожидать достаточно эффективной работы РИ из Т15К6 не представляется возможным.

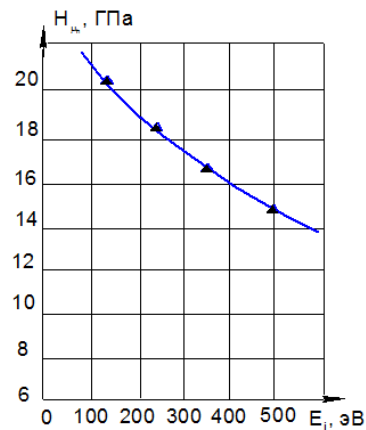


Рис. 9. Зависимость микротвердости от энергии ионов

Относительное изменение микро твердости (РИ с покрытием по отношению к РИ без покрытия) от размера зерна представлена на рис. 8. Видно, что максимальное повышение микротвердости реализуется в случае наноструктурного покрытия.

Все это подтверждает тезис, что наноструктуры существенно повышают микротвердость.

Выше изложенное говорит о том, что для эффективного применения покрытий необходимо условие: размер зерна в покрытии должен быть меньше, чем в основном материале РИ и предпочтительнее, чтобы реализовывались наноструктуры

Заключение

1. Обнаружено снижение микротвердости с ростом размера зерна для ВК8, СандвикКоромант, МС221 с покрытием $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$.

2. Микротвердость СандвикКоромант с двухслойным покрытием $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN})$ изменяется незначительно, (в связи с тем, что реализуется практически всегда наноструктуры) с ростом зерна ($33,7 \dots 63,8 \text{ нм}$, $H_{\mu} = 16,08 \dots 17,14 \text{ ГПа}$)

3. Микротвердость Т15К6 с покрытием $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ ниже, чем остальных твердых сплавов с тем же покрытием, что связано с существенно большим размером зерна, которое от наноструктурного при $E_i = 110 \text{ эВ}$ переходит в субмикроструктурное при $E_i = 250 \dots 500 \text{ эВ}$

4. Критерием эффективного применения покрытия будет условие: размер зерна в покрытии должен быть меньше, чем в основном материале РИ.

5. Показана наиболее эффективная работа покрытий с наноструктурами.

Литература

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 нанопокрывания: 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. Кос-

тюк. – 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. 17 – 25.

17. Костюк, Г. И. Оценка объема нанокластера и глубины его залегания в алюминии в сплаве при действии ионов различной энергии [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 стой-

кость 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. – X. – 2014. – С.142 – 151.

Поступила в редакцию 00.00.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. производства двигателей летательных аппаратов, декан факультета авиационных двигателей А. И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ» им. Н. Е. Жуковского, Харьков.

МІКРОТВЕРДІСТЬ НАНО-ТА СУБМІКРОСТРУКТУР В ПОКРИТТІ НА РІЗУЧИХ ІНСТРУМЕНТАХ З ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

Г.І. Костюк, Є.В. Миргородська, О.О. Бруяка

Наведено результати дослідження взаємозв'язку мікротвердості покриття $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ на різучих інструментах з твердих сплавів VK8, T15K6, MC221 і СандвикКоромант і розміром зерна (вимірювався РЕМ-106). Показано, що зростання розміру зерна призводить до зниження мікротвердості, а для двошарового покриття $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ мікротвердість практично не залежить від розміру зерна для наноструктурного покриття, а зниження її величини пов'язано з наявністю першого шару з Al_2O_3 що має низьку мікротвердість. Перехід від наноструктурного покриття до субмікроструктурного призводить до суттєвого зменшення мікротвердості.

Ключові слова: мікротвердість, наноструктури, різучий інструмент, твердий сплав, покриття, субмікроструктура.

MICROHARDNESS NANO AND SUBMICROSTRUCTURE IN COATINGS ON SOLID CARBIDE CUTTING TOOL

G.I.Kostyuk, E.V.Mirgorodskaya, O.O.Bruyaka

The results of studies on the relationship coating microhardness $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ on cutting tools with carbide VK8, T15K6, MS221 and SandvikKoromant and grain size (measured by REM-106). It was shown that growth of grain size leads to a reduction of microhardness, and for two-layer coating $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ the microhardness is practically independent of time, to measure the grain nanostructured coating and decrease its value associated with the presence of the first layer Al_2O_3 having a lowest microhardness. transition from a nanostructured coating to submicrostructure loosed leads to a substantial decrease in microhardness.

Keywords: microhardness, nanostructures, cutting tools, tungsten carbide coating, submicrostructure.

Костюк Геннадий Игоревич – д-р техн. наук, проф., проф. каф. теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский аэрокосмический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: g.kostyuk206@mail.ru.

Миргородская Екатерина Викторовна – аспирант каф. теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский аэрокосмический институт», г. Харьков, Украина.

Бруяка Ольга Олеговна – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. физики, Автомобильно-дорожный институт при Донецком национальном техническом университете, г. Горловка, Украина.