

Сравнение эффективности обработки режущим инструментом из спеченных наноструктурных гранул твердых сплавов и стандартных твердых сплавов с наноструктурным покрытием 0,18 HfN+0,82 ZrN

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

Приведены результаты сравнения снимаемого объема материала за период стойкости, стойкость РИ из наноструктурных гранул твердых сплавов и традиционных твердых сплавов ВК8, Сандвик Коромант и МС221 с покрытием 0,18 HfN+0,82 ZrN. Обнаружено влияние размера зерна в покрытии и размера гранул на снимаемый объем материала за период стойкости и стойкость РИ: чем меньше размер зерна в покрытии и чем меньше размер гранул, тем эти характеристики выше. Показано, что эти величины выше для наноструктур в покрытии. Выявлено влияние адгезии поверхностного слоя покрытия на эффективность обработки: чем ниже адгезия между покрытием или материалом РИ и обрабатываемым материалом, тем выше эти величины.

Ключевые слова: наноструктуры, наноструктурные гранулы, твердые сплавы.

Введение

В настоящее время начинают широко применяться режущие инструменты с наноструктурированными слоями, которые могут конкурировать с обычными твердосплавными инструментами с наноструктурным покрытием. Всё это свидетельствует о важности оценки возможности каждого из типов твердосплавного инструмента. Получение твердого сплава с наноструктурами связано с довольно большими затратами, так как это зависит от создания гранул наноразмера. В то же время нанесение покрытий на обычный твердый сплав приводит к гораздо меньшим затратам и для того, чтобы оценить эффективность работы инструмента, необходимо провести сравнение по снимаемому объёму материала за период стойкости РИ, стойкости РИ и производительности обработки. Поэтому настоящее исследование является актуальным и важным для дальнейшего использования твердосплавного РИ из наноструктурированного материала и сравнения эффективности его работы с обычным твердосплавным инструментом с наноструктурированным покрытием.

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 качества 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.

1. Состояние вопроса

В настоящее время существует достаточно много работ, посвященных наноструктурам [1–10], но в них практически нет сведений о работоспособности РИ из наноструктурных материалов, что свидетельствует о необходимости такого исследования (некоторые сведения по этому вопросу есть в работе [11]). Исследования эффективности режущего инструмента с покрытием проводили в работах [1–5], а наноструктурными покрытиями – [1–3], где была показана высокая эффективность их работы. Новый класс режущих инструментов, полученный спеканием наногранул из твёрдого сплава, недостаточно изучен (обычно заготовка из твёрдого сплава обрабатывается алмазным или алмазно-искровым шлифованием). Такая технология требует достаточно больших затрат, как временных, так и финансовых. Всё это ещё раз подтверждает важность и своевременность проводимых сравнительных исследований работоспособности и эффективности РИ из наноструктур и обычного твердосплавного инструмента.

Целью данной статьи является проведение сравнения эффективности и работоспособности наноструктурного твёрдого сплава и твёрдого сплава с субмикроструктурным зерном и покрытием $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ по снимаемому объёму материала за период стойкости РИ, стойкости РИ и производительности точения.

Постановка задачи

Современное машиностроение нуждается в высокостойком режущем инструменте, обеспечивающем достаточно высокую производительность обработки на максимально возможных режимах, что позволит решить вопрос создания гибких технологических систем с высокой и сверхвысокой производительностью.

Материалы исследований: проводились исследования стойкости РИ из наноструктурных гранул твердых сплавов и твердых сплавов с наноструктурным покрытием. Стойкость определяли по аномально высокому износу при точении, который связывали с аномально высоким ростом силы резания, а ее в свою очередь измеряли динамометром УД-100 и СИИТ сигнал фиксировался на компьютере. Расчётными методами определяли снимаемый объём материала за период стойкости и производительность обработки.

Микротвёрдость режущих и твердых сплавов с покрытием $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$ измеряли на микротвердомере ПМТ-3, выбирали среднее значение из пяти измерений.

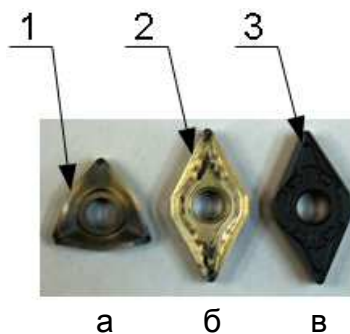


Рис. 1. Внешний вид пластин из ВК8 (а), Сандвик Коромант (H13, б) и покрытием $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ и Сандвик Коромант с двухслойным покрытием $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ (в)

Размер зерна измеряли на электронном микроскопе РЭМ-106 для покрытий 0,18 HfN + 0,82 ZrN на пластинах из твердого сплава ВК-8 (производство СССР) (рис. 1, а), Сандвик Коромант (пластина Н13) (рис. 1, б) и Сандвик Коромант двухслойным покрытием Al_2O_3 (слой на передней поверхности) и 0,18 HfN + 0,82 ZrN (слой непосредственно на пластине на передних поверхностях и на боковых поверхностях – задняя поверхность РИ) (рис. 1, в).

Кроме того, исследовали пластины из твердого сплава МС221 (производство России) с покрытиями 0,18 HfN + 0,82 ZrN и Сандвик Коромант (Н13) без покрытия.

Результаты исследований. Экспериментальные исследования начинались с определения размера зерна. Результаты такого исследования показаны на рис. 2 – 6, где изображены наиболее характерные участки поверхности покрытий на режущем инструменте с размерами характерных зерен для каждого типа покрытий. Видно, что минимальные размеры зерна реализуются на двухслойном покрытии Al_2O_3 + 0,18 HfN + 0,82 ZrN (33...63 нм) (рис. 2).

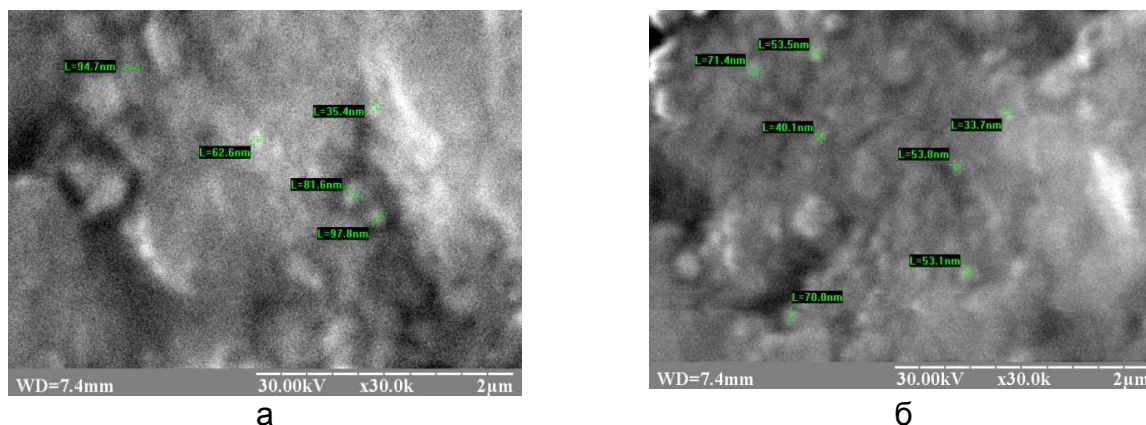


Рис. 2. Микрофотография поверхности покрытия Al_2O_3 + 0,18 HfN + 0,82 ZrN на твердом сплаве Сандвик Коромант, полученная на электронном микроскопе (для снижения влияния заряда на Al_2O_3 использовано покрытие Cu) для различных зон передней поверхности: а – вблизи вершины, б – в средней части передней поверхности пластины и вблизи отверстия для крепления

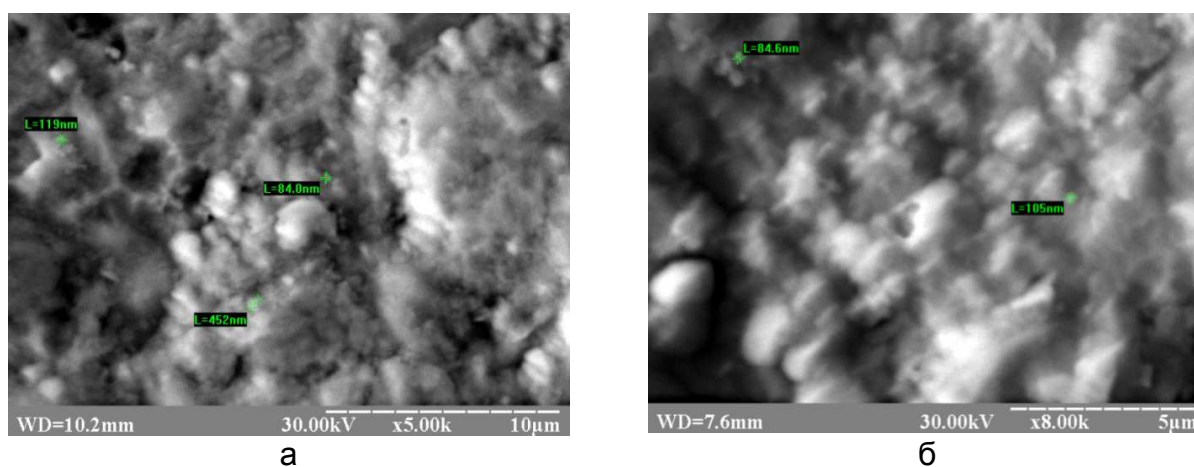
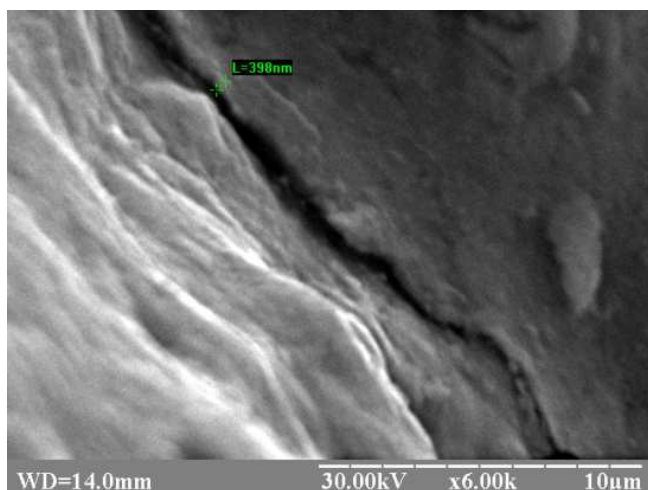


Рис. 3. Микрофотографии пластины с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN на ВК8: а – вблизи вершины, б – в средней части пластины, в – вблизи зоны излома покрытия



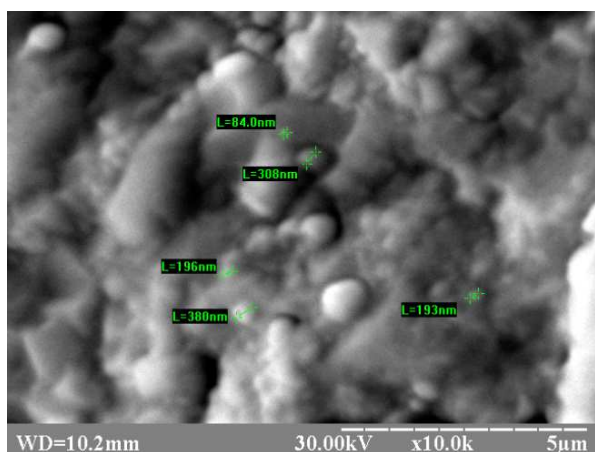
В

Рис. 3. Окончание

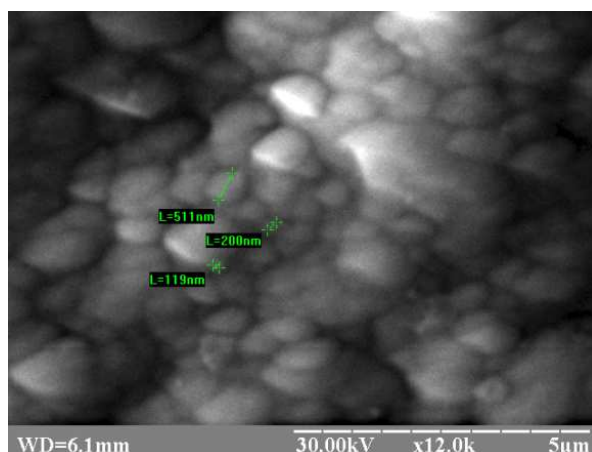
Относительно невысокие размеры зерна в покрытии 0,18 HfN + 0,82 ZrN реализуются на пластинах из твердого сплава ВК-8. Они имеют значения в диапазоне 84...119 нм, т.е. реализуются как наноструктуры ($\alpha \leq 100$ нм), так и субмикроструктуры в диапазоне размеров зерна от 100 до 119 нм (рис. 3, а, б).

Фотография в зоне излома покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN дает возможность оценить его толщину, которая в зоне изнашивания покрытия составляет $\approx 1-2$ мкм, тогда как в зоне, не подверженной интенсивному износу, она близка к первоначальному порядку 10 мкм (рис. 3, в).

Для пластин из твердого сплава Сандвик Коромант (Н13) с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN реализуются размеры зерна от 84 до 200 нм, где размер зерна субмикроструктур от 100 до 200 нм хотя и превалирует, но есть значительное число нанокластеров с размером зерна от 84 до 100 нм (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Микрофотография пластины из Сандвик Коромант с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN: а – вблизи вершины; б – в средней части пластины на передней поверхности

Фотографии покрытия на твердом сплаве MC221 изображены 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 превалируют зерна с размерами 36...58 нм, т.е. всё покрытие является наноструктурным.

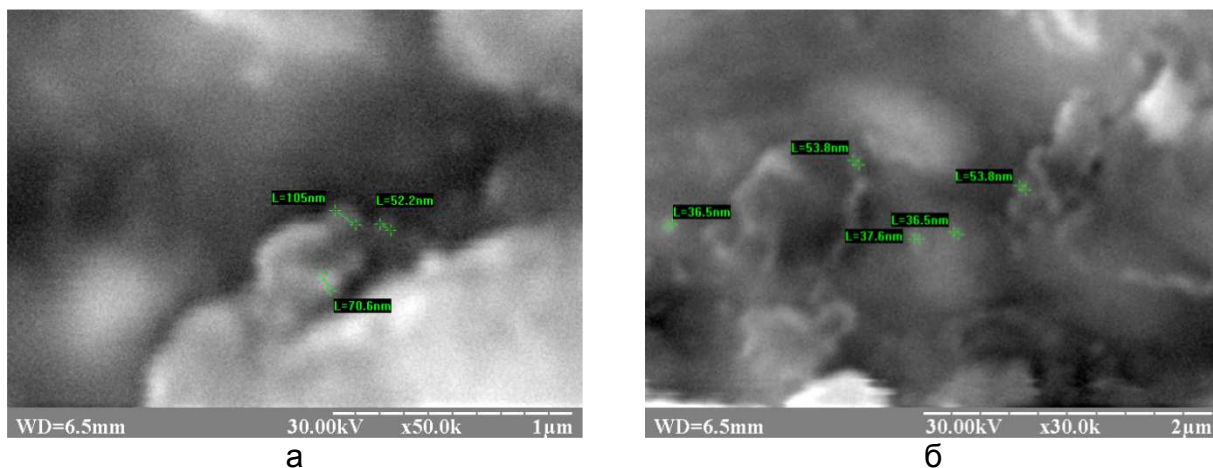


Рис. 5. Фотография покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на твердом сплаве MC221

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

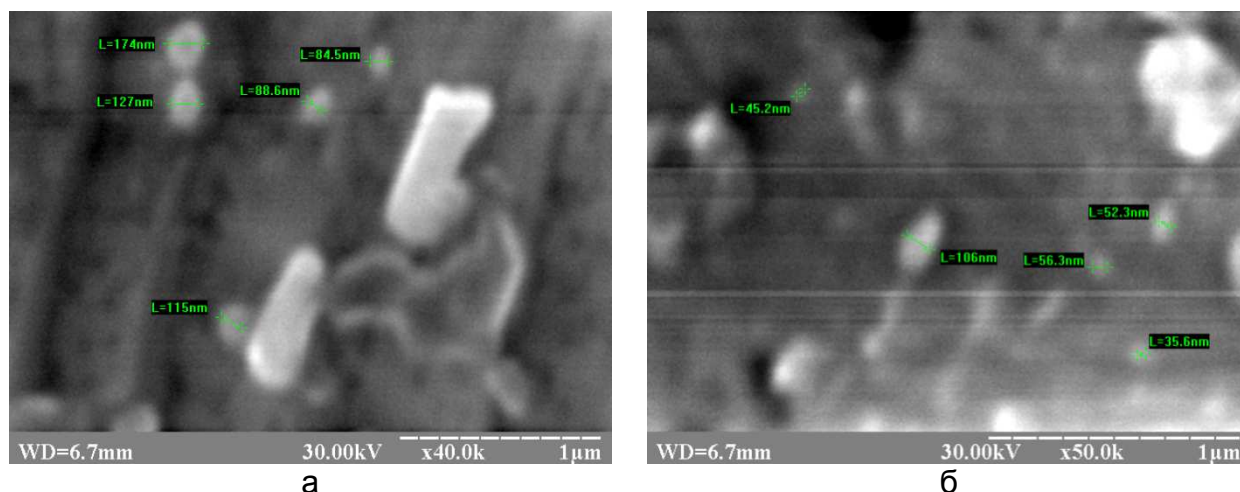


Рис. 6. Фотография твердого сплава Сандвик Коромант (Н13) без покрытия

Следовательно, не только в покрытии, но и в основном материале режущих инструментов можно реально получать наноструктуры.

Зависимость микротвердости этих пластин с покрытиями от размера зерна показаны на рис. 7, где наблюдается снижение микротвердости с ростом размера зерна. Наибольшая микротвердость реализуется для пластин ВК-8 (производство СССР), но в то же время для него реализуется и самый быстрый спад микротвердости до величины 14,67 ГПа ($\alpha = 119$ нм), тогда как для Сандвик Коромант с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN достигаем практически такого же снижения (14 ГПа) при размере зерна 200 нм. Для пластин Сандвик Коромант с двуслойным покрытием Al_2O_3 и 0,18 HfN + 0,82 ZrN микротвердость колеблется в небольших пределах (16,08...17,14 ГПа), а размер зерна меняется в пределах 33,7...63,8 нм, т.е. практически всегда реализуются наноструктуры.

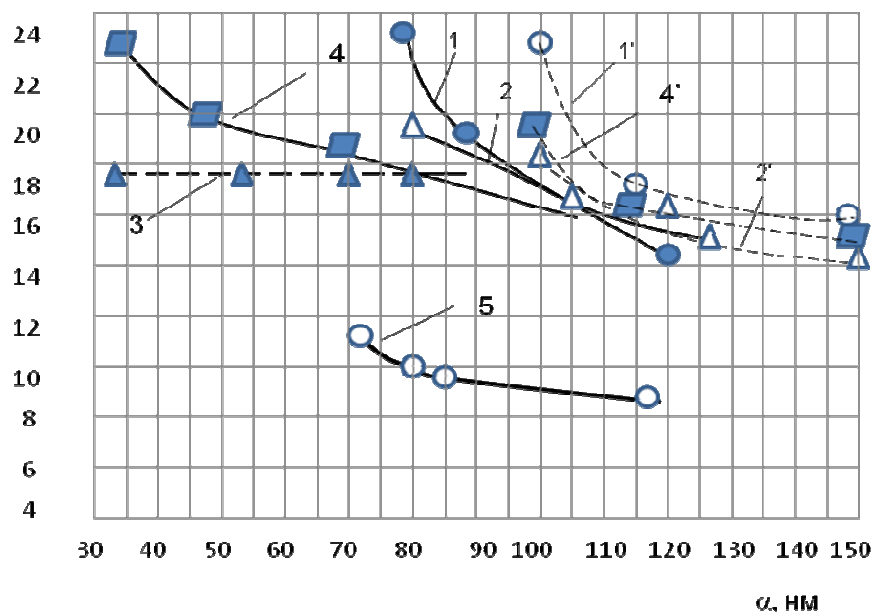


Рис. 7. Зависимость микротвердости от размера зерна для покрытия:
 1 – 0,18 HfN + 0,82 ZrN на BK8; 2 – на Сандвик Коромант (пластины H13);
 3 – для двуслойного покрытия $Al_2O_3 + 0,18 HfN + 0,82 ZrN$ на Сандвик Коромант;
 4 – покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на MC221; 5 – для Сандвик Коромант без покрытия (H13), 1'-BK8 получено спеканием наногранул (НГ),
 2' – Сандвик Коромант (пластины H13) получено спеканием нано гранул (НГ),
 4' – MC221 получено спеканием наногранул (НГ)

Для режущего инструмента из MC221 с покрытием микротвердость составляет 22,28 ГПа для зерна размером порядка 36 нм. С ростом зерна микротвердость снижается и при 105 нм становится равной 16,08 ГПа (рис. 7).

Микротвердость относительно слабо меняется в зависимости от размера зерна для пластин Сандвик Коромант 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.

Кроме того, небольшое изменение микротвердости в твердом сплаве Сандвик Коромант свидетельствует о высокой изотропности структуры, а значит, и качественной технологии изготовления пластины (рис. 7, кривая 5).

Основным критерием эффективности обработки, очевидно, необходимо считать снимаемый объем материала за период стойкости РИ. Исследования проводили для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на пластинах из BK8 (СССР), на пластинах Сандвик Коромант (H13), для двуслойного покрытия $Al_2O_3 + (0,18 HfN + 0,82 ZrN)$ на Сандвик Коромант, для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на пластинах из MC221 и для Сандвик Коромант без покрытия. Так, зависимость снимаемого объема материала за период стойкости от размера зерна для рассматриваемых покрытий и материалов РИ показана на рис. 8. Видно, что для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на BK8 (СССР) снимаемый объем материала РИ за период стойкости G колеблется около 10^6 мм³. При наноструктурном зерне 80...90 нм микротвердость $\mu_{H1} = 18,6...22,1$ ГПа, тогда как при увеличении размера зерна до 119 нм эта величина снижается до $5,8 \cdot 10^5$ мм³. Для того же покрытия на пластинах Сандвик Коромант снимаемый объем за период стойкости при размере зерна вблизи 80 нм приближается к значению, как и для BK8, но с ростом зерна

быстро падает до $3,3 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$ при $\alpha = 130 \text{ нм}$. Для двухслойного покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ на Сандвик Коромант практически всегда реализуются наноструктуры ($\alpha = 45,6 \dots 63,8 \text{ нм}$), а с учетом того, что адгезия верхнего покрытия Al_2O_3 к чугуну минимальна, снимаемый объем материала за период стойкости практически превышает или равен $9 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$.

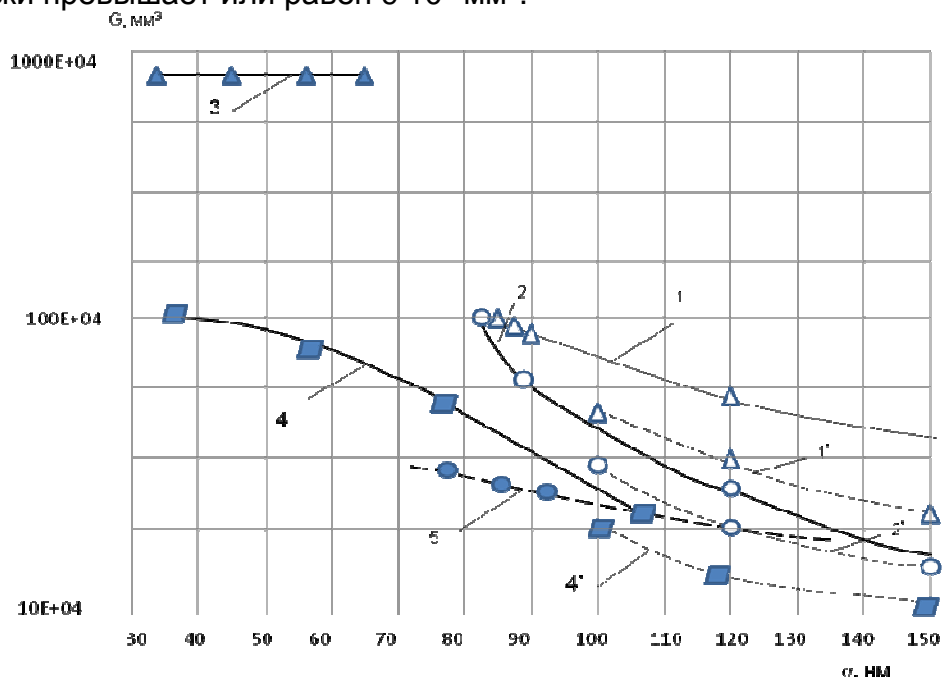


Рис. 8. Зависимость снимаемого объема материала за период стойкости от размера зерна: 1 – для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на BK8; 2 – для покрытия на Сандвик Коромант (пластины H13); 3 – для двухслойного покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ на Сандвик Коромант; 4 – для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на MC221; 5 – для Сандвик Коромант без покрытия (H13) при обработке специального чугуна (НВ), 1' – BK8 получено спеканием наногранул (НГ), 2' – Сандвик Коромант (пластины H13) получено спеканием наногранул (НГ), 4' – MC221 получено спеканием нано гранул (НГ)

Применение покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на пластинах MC221 позволяет получить довольно значительный снимаемый объем материала за период стойкости (порядка 10^6 мм^3), реализуется для наноструктурных покрытий с размером зерна от 36 до 70 нм, тогда как увеличение размера наноструктур снижает его до $3,23 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$.

Аналогичные исследования для пластин Сандвик Коромант без покрытия показали, что для пластин с наноструктурным слоем ($\alpha = 73 \dots 82 \text{ нм}$) снимаемый объем материала за период стойкости колеблется в пределах $(5,04 \dots 5,4) \cdot 10^5 \text{ мм}^3$, тогда как для субмикрозерна он снижается до $1,9 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$.

Проведено исследование следующих пластин из твердосплавных режущих инструментов: BK8 (СССР) + 0,18 HfN + 0,82 ZrN, Сандвик Коромант (H13) + 0,18 HfN + 0,82 ZrN; Сандвик Коромант + $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$, MC221 + 0,18 HfN + 0,82 ZrN и Сандвик Коромант (H13) без покрытия. На рис. 9 показаны зависимости стойкости этих пластин от размера зерна при обработке

специального чугуна (номера кривых соответствуют последовательности описания).

Видно, что для пластин ВК8 с покрытием стойкость значительной величины реализуется только для наноструктурных покрытий ($T = 1128...1280$ с) при размере зерна $\alpha = 84...88$ нм, при увеличении размера зерна даже до 115 нм стойкость снижается до 780 с (рис. 9, кривая 1). Для пластин Сандвик Коромант (Н13) с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN максимум стойкости (1695 с) реализуется при размере зерна вблизи 84 нм. Дальнейшее увеличение зерна до 119 и даже 106 нм приводит к снижению стойкости до 1395 и 1292 с, стойкость остается еще довольно высокой.

Для пластин Сандвик Коромант с двухслойным покрытием $Al_2O_3 + 0,18$ HfN + 0,82 ZrN реализуется стойкость около 9000 с (практически для всех пластин), так как размер зерна изменяется от 45 до 64 нм, т.е. всегда реализуются наноструктуры с учетом малой адгезии первого слоя из Al_2O_3 с обрабатываемым материалом (чугуном), что дополнительно повышает работоспособность пластины. Это свидетельствует о важности учета адгезионного взаимодействия обрабатываемого материала и материала покрытия или основного материала ПИ.

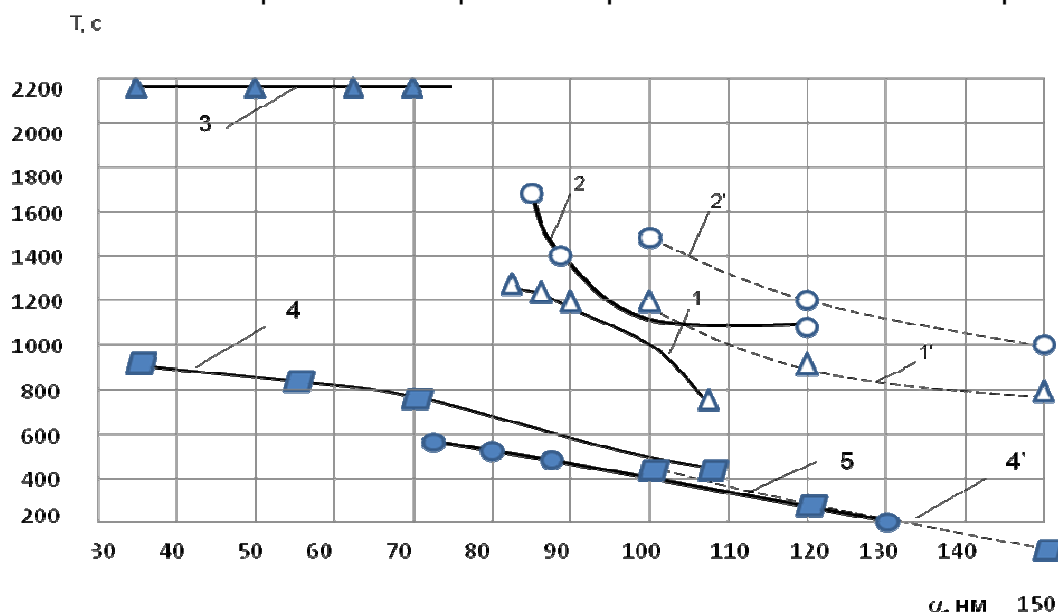


Рис. 9. Зависимость стойкости ПИ от размера зерна:

- 1 – для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на ВК8; 2 – для покрытия на Сандвик Коромант (пластины Н13); 3 – для двухслойного покрытия $Al_2O_3 + (0,18$ HfN + 0,82 ZrN) на Сандвик Коромант; 4 – для покрытия 0,18 HfN + 0,82 ZrN на МС221; 5 – для Сандвик Коромант без покрытия (Н13) при обработке специального чугуна (НВ),
 1' – ВК8 получено спеканием наногранул (НГ), 2' – Сандвик Коромант (пластины Н13) получено спеканием наногранул (НГ),
 4' – МС221 получено спеканием наногранул (НГ)

Для пластины из МС221 с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN реализуется относительно невысокие T и составляет 980, 947 и 672 с для размеров зерна 36, 53, 71 нм. Дальнейший рост зерна снижает стойкость до 447 с, и в этом случае реализуется субмикроструктура.

При обработке специального чугуна пластинами из твердого сплава Сандвик Коромант (Н13) без покрытия стойкость существенно снижается до

520...568 с при наноструктурном зерне ($\alpha = 84...88$ нм), а при субмикроструктурном зерне ($\alpha = 106$ нм) стойкость снижается до 207 с.

Видно, что создание наноструктур приводит к повышению стойкости РИ при их наличии в нанопокрытии или в основном материале РИ, что требует учета повышения стойкости и снимаемого объема материала за период стойкости за счет образования наноструктур.

Величина стойкости РИ является определяющей при обработке длинномерных деталей, когда для эффективного использования РИ необходимо, чтобы стойкость РИ была равна или кратна времени обработки длиной поверхности. Это позволит избежать смены инструмента при условиях, когда обработка длинной поверхности не закончена, что особенно важно для чистовой обработки.

Сравнения РИ с покрытием $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$ с РИ, полученным спеканием наногранул, приведены на рис. 9. Видно, что ВК8 с покрытием и ВК8 полученное спеканием из наногранул имеют близкую микротвёрдость, но для РИ из наногранул размер зерна равен 100 нм, тогда как при переходе к субмикроструктурам значения микротвёрдости снижаются. Микротвёрдость составляет 18,14 ГПа, это свидетельствует о том, что наноструктуры действительно имеют большую микротвёрдость. Как для наноструктур, так и для субмикроструктур у Сандвик Коромант с покрытием микротвёрдость снижается при переходе от нано- к субмикрозерну, то же самое наблюдается и для РИ из Сандвик Коромант, полученного из гранул, только значение микротвёрдости меньше, так, например, при зерне 150 нм микротвёрдость всего 14,5 ГПа.

Для покрытия на МС221 реализуется микротвёрдость значительной величины: в случае образования наноструктур – 24 ГПа, при увеличении нанозерна и переходе к субмикроструктурам – 16,5 ГПа. Для РИ, полученного спеканием гранул, при наноразмерах реализуется микротвёрдость 20,3 ГПа, тогда как при переходе к субмикроструктурным гранулам – 15,3 ГПа. Всё это ещё раз подтверждает тот тезис, что размер зерна в наноструктуре определяет величину микротвёрдости, как в случае нанозерна в покрытии, так и для наноразмерных гранул для снимаемого материала РИ. Микротвёрдость двухслойного покрытия на Сандвик Коромант составляет величину только 18,5 ГПа и практически не меняется для наноструктур.

В зависимостях (рис. 9) снимаемого объёма материала за период стойкости от размера зерна, для РИ из ВК8 с покрытием наблюдаются высокие значения снимаемого объёма материала за период стойкости в случае реализации наноструктур (порядка 10^6 мм^3). При переходе к субмикроструктурам он снижается до $5,6 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$. Тогда как для случая получения ВК8 спеканием гранул из наноструктур размером 100 нм снимаемый объём составляет до $5 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$, а при субмикроструктурных гранулах он понижается до значения $3 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$.

При переходе к Сандвик Коромант видно, что для наноструктур снимаемый объём материала за период стойкости практически одинаков и составляет значение порядка 10^6 мм^3 для покрытия на Сандвик Коромант, а для Сандвик Коромант, полученного спеканием наногранул это значение снижается до величины $4,5 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$. При переходе к субмикроструктурам, как и в случае покрытия и гранул, значения снимаемого объёма материала за период стойкости становятся практически одинаковыми и составляют величину $1,7 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$. В этом случае для гранул из наноструктур снимаемый объём материала становится незначительным и составляет $2,3 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$, а при переходе к субмикроструктурам до – 10^5 мм^3 . Кроме того, на рис. 9 видно, что для двухслойного покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,18 \text{ HfN} +$

+ 0,82 ZrN наблюдаются режимы с наноструктурами, а снимаемый объём приближается к 10^7 мм³ и в зоне наноструктур он не меняется, что подтверждает эффективность двухслойного покрытия на Сандвик Коромант. Сравнение с Сандвик Коромант, полученного спеканием наногранул не даёт возможности говорить о неэффективности их применения.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что наноструктуры как в случае их реализации в покрытии, так и в случае образования РИ из наногранул имеют эффективность работы покрытия и РИ из гранул определяется размером их зерна, и чем меньше размер зерна, тем выше снимаемый объём материала за период стойкости. Наиболее эффективно работает двухслойное покрытие даже по сравнению РИ с покрытием на Сандвик Коромант, не говоря уже о РИ из наногранул. Причём микротвёрдость двухслойного покрытия значительно ниже, чем однослойного, на Сандвик Коромант. Следовательно, основное влияние на снимаемый объём материала за период стойкости оказывает не микротвёрдость, а размер зерна.

Для сравнения работоспособности твёрдых сплавов с покрытием и РИ, полученных из гранул твёрдого сплава, были проведены эксперименты с РИ из сплавов ВК8(1'), Сандвик Коромант (2'), МС221(4'), полученных из нано- и субмикроранул, показанных на рис. 9. Видно, что для ВК8 реализуется меньшее значение стойкости даже при наноструктурном зерне, а при субмикроструктурном зерне стойкость становится практически равной порядка 900 с, что соответствует субмикроструктурам на покрытие. Для Сандвик Коромант, полученного из наногранул, имеем стойкость порядка 1500 с, хотя для РИ с покрытием стойкость составляет 1700 с. Для субмикроструктурного зерна это значение снижается до 1050 с, а для РИ с покрытием оно приближается к 1200 с. Аналогичные исследования проведены для спеченного МС221, где также наблюдаются и существенно более низкие значения стойкости даже для РИ из наноструктурных гранул стойкость составляет величину 470 с, тогда как для РИ с покрытием из наноструктур реализуется значение 950 с. Стойкость пластин с двухслойным покрытием $Al_2O_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ составляет величину 2600 с практически для размеров зерна от 35 до 75 нм, то есть в этом случае за счёт нанозерна мы имеем высокую стойкость, которая связана с малым адгезионным взаимодействием Al_2O_3 со специальным чугуном. Всё это ещё раз подтверждает тезис о существенном влиянии адгезионного износа на стойкость.

Выводы

1. Обнаружено снижение микротвердости с ростом размера зерна для ВК8, Сандвик Коромант, МС221 с покрытием $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$.
2. Микротвердость Сандвик Коромант с двухслойным покрытием $Al_2O_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ изменяется незначительно (в связи с тем, что реализуются практически всегда наноструктуры) с ростом зерна до 33,7...63,8 нм, при $H_{\mu}=16,08...17,14$ ГПа.
3. Обнаружено влияние размера зерна на снимаемый объём материала за период стойкости, который тем выше, чем меньше размер зерна в покрытии или основном материале режущего инструмента (РИ без покрытия).
4. Показано, что существенное влияние на величину снимаемого объёма материала за период стойкости оказывает адгезионное взаимодействие обрабатываемого материала с материалом покрытия или материалом РИ (без покрытия);

5. Получено, что применение двухслойного покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN})$ приводит к повышению снимаемого объема материала практически на порядок по сравнению с одним покрытием $0,18 \text{ HfN} + 0,82 \text{ ZrN}$, даже наноструктурированным.

6. Отличие величин снимаемого объема материала за период стойкости с наноструктурированным покрытием и субмикроструктурированными материалами составляет 5 раз, тогда как для РИ наноструктурированное покрытие и материал РИ имеют незначительное отличие (в 1,1–1,5 раза по G), а при большом размере зерна отличия по G не будет.

7. Наличие наноструктур приводит к повышению стойкости РИ с покрытием и без него.

8. Обнаружено, что MC221 даже при малой стойкости обеспечивает высокий снимаемый объем материала за период стойкости.

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. – 427 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] / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн.1: Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. – 596 с.

4. Костюк, Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2: Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. – 482 с.

5. 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.

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. Гусев, А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства [Текст] / А.И. Гусев. – Екатеринбург: Изд-во РАН, Уральское отд-ние, 1998. – 302 с.

12. Гусев, А. И. Наноматериалы наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А. И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.

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

14. Узунян М. Д. Шлифование наноструктурных твёрдых сплавов [Текст]: учеб. пособие / М. Д. Узунян, Р. М. Стрельчук. – Х. Изд-во НТУ «ХПИ», 2015. – 182с.

Поступила в редакцию 10.09.2015

Порівняння ефективності оброблення різальним інструментом із спечених наноструктурних гранул твердих сплавів і стандартних твердих сплавів з наноструктурним покриттям 0,18 HfN + 0,82 ZrN

Наведено результати порівняння об'єму матеріалу, що знімається за період стійкості, стійкість PI з наноструктурних гранул твердих сплавів і традиційних твердих сплавів BK8, Сандвик Коромант і MS221 з покриттям 0,18 HfN + 0,82 ZrN. Виявлено вплив розміру зерна в покритті і розміру гранул на об'єм матеріалу, що знімається за період стійкості і стійкість PI: чим менше розмір зерна в покритті і чим менше розмір гранул, тим ці характеристики вище. Показано, що ці величини вище для наноструктур у покритті. Виявлено вплив адгезії поверхневого шару покриття на ефективність оброблення, чим нижче адгезія між покриттям або матеріалом PI і оброблюваним матеріалом, тим вище ці величини.

Ключові слова: наноструктури, наноструктурні гранули, тверді сплави.

Comparison of processing efficiency cutting tool from sintered carbide pellets nanostructured and standard carbide with nanostructured coatings 0,18 HfN + 0,82 ZrN

Results comparing the volume of material that is removed during the period of stability, resistance CT of nanostructured carbide granules and traditional hard alloys BK8, Sandvyk Koromant and MS221 coating 0,18 HfN + 0,82 ZrN. The influence of grain size in the coating and the size of granules to the volume of material that is removed during the period of stability and resistance CT: the smaller the grain size in the coating and the smaller the grain size, the higher these characteristics. We show that these values are higher for nanostructures at coating. The influence of adhesion of the surface coating layer on the effectiveness of treatment, the lower the adhesion between the coating or material CT and the surface of the material, the higher these values.

Keywords: nanostructures, nanostructured granules, hard alloys.