

# Исследование износостойкости концевых твердосплавных фрез с нанопокрытием

Волосова М.А., Гречишников В.А., Могилевский А.М. (МГТУ «Станкин»)

Методы нанесения покрытий на рабочие поверхности инструмента позволяют в широких пределах целенаправленно изменять свойства инструментальных материалов. В зависимости от решаемых задач поверхностный слой может выполнять функции [1, 2]:

- высокопрочного поверхностного слоя, препятствующего абразивному изнашиванию рабочих поверхностей инструмента в процессе резания;
- промежуточной среды, обладающей низким трением с обрабатываемым материалом и препятствующей интенсивному адгезионному изнашиванию;
- твердой смазки, уменьшающей налипание обрабатываемого материала на инструмент в процессе резания;
- барьерного слоя, препятствующего отпуску поверхностного слоя инструмента при повышенных тепловых нагрузках;
- барьерного слоя, останавливающего распространение усталостных трещин, приводящей к выкрашиванию рабочих поверхностей.

Поэтому сегодня особый интерес во всем мире вызывают исследования, связанные с получением нанопокровов с размерами зерен менее 100 нм, позволяющие реализовать в одном покрытии весь вышеперечисленный комплекс свойств.

Тонкая наноразмерная пленка имеет характеристики, значительно отличающиеся от объемного (монокристаллического) материала, и чем тоньше покрытие, тем сильнее отличаются его свойства [3].

Тем не менее, при всей важности структуры наноматериала, ключевой является роль среднего размера элемента покрытия – его зерна, определяющего микротвердость.

Микротвердость многослойных нанопокровов, содержащих соединения с микротвердостью не менее 20 ГПа, увеличивается приблизительно в 2 раза по сравнению с традиционными покрытиями, то есть достигает значений не менее 40 ГПа.

При формировании многофазных покрытий зерна нанокристаллической фазы внедряются в аморфную матрицу. Для создания таких композиций могут быть использованы различные твердые материалы. Одним из примеров такой композиции является система  $AlTiN/Si_3N_4$ .

Преимуществами этого покрытия являются: а) высокая твердость; б) высокая термостойкость; в) возможность обработки труднообрабатываемых материалов; г) возможность высокопроизводительной обработки (High Performance Cutting).

Проведены исследования износостойкости концевых твердосплавных фрез с нанопокрытием. Для достоверности исследования износостойкости концевых твердосплавных фрез с нанопокрытием был проведен цикл работ по подготовке эксперимента.

В качестве заготовок режущего инструмента использовали стержни из твердого сплава фирмы Güding (ФРГ). Исследования качества твердых сплавов проводились по фотографиям,

полученным на металлографическом микроскопе отраженного света Carl Zeiss Axiovert 40 MAT.

Размер карбидов определялся методом секущей по ГОСТ 21073.3-75. Выбиралось 5 непараллельных секущих, длина которых составляла не менее 10 карбидных частиц. Длина промежутков или кобальтовой связки между частицами вычиталась из длины секущей. Для определения длин секущей и промежутков между частицами использовалась программа обработки изображений ImageExpert Pro 3 (рис. 1).

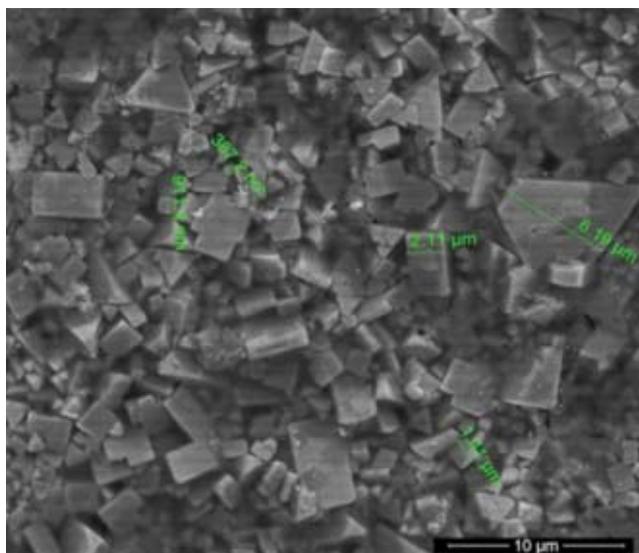


Рис. 1. Определение размеров частиц крупных карбидов

Для определения максимальной силы, воспринимаемой образцами при нагружении до разрушения, были проведены испытания образцов стержней на сжатие на машине Fritz Heckert, предназначенной для статических испытаний на сжатие, растяжение, разрыв и изгиб с усилием до 200 кН. Измерение механической характеристики по ГОСТ 25.503-97 показало, что разрушение образцов наступает при усилии 108 кН.

Из проверенных стержней на инструментальном заводе «ТВИНТОС» (г. Серпухов) на шлифовально-заточном станке с ЧПУ ВЗ-392Ф4 по технологии скоростного вышлифовывания канавок кругами простой формы были изготовлены концевые твердосплавные фрезы.

Всего было изготовлено 20 штук экспериментальных образцов концевых фрез конструкции, рекомендованной заводом-изготовителем для обработки титановых сплавов. На 10 концевых твердосплавных фрез было нанесено наноструктурное покрытие  $AlTiN/Si_3N_4$ .

Исследования нанесенного нанопокровов проводились на сканирующем электронном микроскопе FEI PHENOM, который позволяет изучать морфологию поверхности, проводить измерения размеров, формы, ориентации и других параметров микро- и нанообъектов в диапазоне размеров от нескольких сантиметров до десятков нанометров с увеличением от 20 до 24 000.

Для сканирования нанопокрyтия использовали отечественный нанотехнологический комплекс «Нанофаб 100», установленный в Центре нанотехнологий МГТУ им. Н.Э. Баумана. Комплекс включает: а) сканирующей зондовой микроскопии; б) модуль фокусированного ионного пучка с минимальным диаметром ионного пучка 10 нм; в) 4 камеры загрузки зондов и образцов. Комплекс позволяет исследовать рабочее поле образцов с размерами 300×300 мкм в условиях высокого вакуума  $1 \times 10^{-7}$  Па.

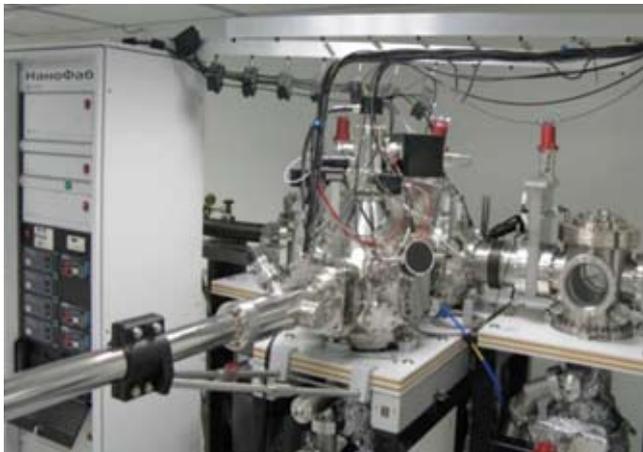


Рис. 2. Нанотехнологический комплекс «Нанофаб 100»

Для сканирования нанопокрyтия были изготовлены специальные образцы срединных частей режущих частей фрез. Подготовка металлографических шлифов осуществлялась на оборудовании фирмы Struers (Дания), в состав которого входят электроэрозионный отрезной станок, устройства для шлифования и последующей полировки микрошлифов.

Для запрессовки использовали станок фирмы Struers – ProntoPress-20. Для шлифовки образцов использовалась специальная шлифовальная бумага фирмы Struers. Шлифование выполняли в специальных держателях на станке для подготовки единичных образцов мод. Tegra Force-5.

Применяли круги для алмазного полирования MD-DAC с размером зерна 6 мкм. Далее использовали шлифовальный круг MD-NAP с размером зерна 1 мкм. Пример образца со шлифами 3-зубых фрез диаметром 8 мм и 4-зубых фрез диаметром 6 мм показан на рис. 3.



Рис. 3. Образец для сканирования

Сравнительные испытания 4-зубых концевых твердосплавных фрез диаметром 6 мм без покрyтия и с покрyтием (рис. 4) проводились в ГИЦ МГТУ «Станкин» на 5-координатном высокоскоростном станке Roeders RXP 600 DSH (рис. 5) с максимальной частотой вращения шпинделя 32 000 мин<sup>-1</sup>. Закреп-

ление концевых фрез производилось с помощью вспомогательного инструмента – термopатрона с полым коническим хвостовиком HSK 63F по DIN 69893-5.

Для испытаний использовалась заготовка из титанового сплава BT 20. Критерием сравнения служил путь резания до достижения износа  $h_z = 0,3$  мм по задней поверхности зубьев концевых фрез на цилиндрической и на торцовой частях. Выполнялось попутное фрезерование уступа высотой  $h = 6$  мм, при глубине резания  $t = 0,65$  мм (по нормали к оси фрезы); без использования СОЖ на скорости резания  $V = 130$  м/мин ( $6900$  мин<sup>-1</sup>) с подачей  $s = 450$  мм/мин.



Рис. 4. Фотография фрез



Рис. 5. Рабочая зона станка «Roeders RXP 600» во время эксперимента

Для измерения использовалась установка на базе большого инструментального микроскопа (рис. 6), оснащенная специализированным программным комплексом [4]. Окно компьютера специализированного комплекса показано на рис. 7. Помимо измерения величины износа инструмента, установка позволяет непрерывно измерять составляющие силы резания и крутящие моменты.

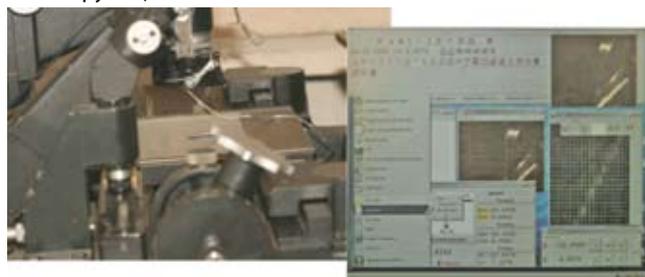


Рис. 6. Большой инструментальный микроскоп (а), оснащенный видеонасадкой, использующей технологию ПЗС (приборов с зарядовой связью), специализированным программным комплексом, и окно дисплея (б)

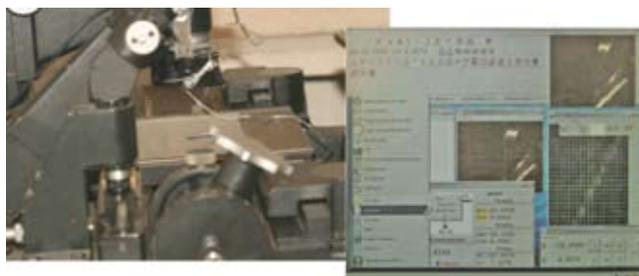


Рис. 7. Окно с результатами измерения износа по задней поверхности (величина износа 0,0209 мм) и крутящего момента силы резания

Результаты измерения износа фрез и крутящего момента представлены в таблице. На рис. 8 показаны зависимости износа  $h_z$  от пути резания  $L_\phi$  для фрез без покрытия и с нанопокрытием. Дальнейшее фрезерование показало, что установленная величина предельного износа  $h_z = 0,3$  мм фрезы с нанопокрытием достигается при достижении пути фрезерования  $L_\phi = 1100$  м.

Сравнение результатов измерения износа фрез и крутящего момента силы резания

| Путь резания, м | Величина износа фрез, мм |                 | Величина крутящего момента на фрезе, Н*м |                 |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--|-----------------|
|                 | без покрытия             | с нанопокрытием | без покрытия                             | с нанопокрытием |
| 100             | 0,0209                   | 0,0130          | 5,3                                      | 5,5             |
| 150             | 0,0821                   | 0,0277          | 6,5                                      | 5,7             |
| 200             | 0,1389                   | 0,0415          | 7,2                                      | 6,1             |
| 250             | 0,2948                   | –               | 8,0                                      | –               |
| 300             | 0,4543                   | 0,0542          | 9,3                                      | 6,2             |
| 600             | –                        | 0,0656          | –  | 6,6             |

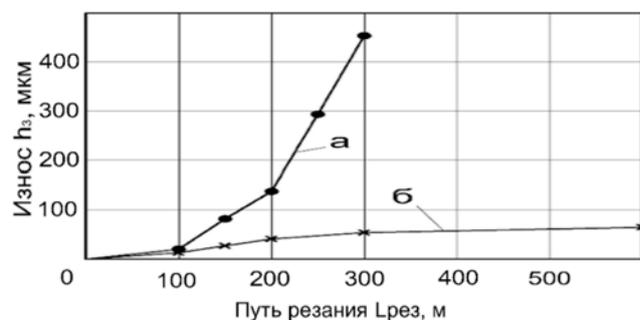


Рис. 8. Результаты исследования износа фрез: а) без покрытия; б) с нанопокрытием

Выводы.

Применение нанопокрытия существенно повышает работоспособность концевых твердосплавных фрез, что позволяет расширить область их применения на операциях механической обработки, где возникают нагрузки, зачастую приводящие к разрушению обычных покрытий уже в самом начале работы инструмента, в частности при фрезеровании заготовок из труднообрабатываемых материалов с большими толщинами среза.

#### Литература.

1. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2009. 368 с.
2. Волосова М.А., Григорьев С.Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокрытий для применения в инструментальном производстве // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. №6, с. 37-42.
3. Панфилов Ю.В. Нанотехнология в инженерии поверхности // Справочник. Инженерный журнал. 2007. №8, с.1- 24.
4. Телешевский В. И., Шулепов А.В., Красюк О.Ю. Компьютеризация измерительных микроскопов с цифровым анализом изображений // Измерительная техника. 2006. №8, с. 39-42.



## Уважаемые читатели!

Предлагаем Вам подписаться  
на «Комплект: ИТО»  
на первое полугодие 2013 года

Подписаться можно в любом почтовом отделении  
по объединенному каталогу

## «ПРЕССА РОССИИ»

Цена на 6 месяцев – 2442 рублей!  
(см. каталог <http://www.pressa-rf.ru/cat/1/indx/42049/>)

Цена на 12 месяцев – \_\_\_\_\_ рублей! (см. каталог)

индекс **42049**

Для оформления подписки в почтовом отделении можно вырезать и заполнить данную форму

|                        |               |  |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
|------------------------|---------------|--|------|-----------------------|---|---|---|---|----|----|----|
| Ф. СП-1                |               | <b>АБОНЕМЕНТ</b> на <del>газету</del> <b>42049</b><br><small>журнал</small> (индекс издания) |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>«Комплект: ИТО»</b> |               | Количество комплектов:   |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| на 2013 год по         |               | месяц а м:   |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| 1                      | 2             | 3  | 4    | 5                     | 6 | 7   | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|                        |               |  |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| Куда                   |               | (почтовый индекс)  |      | (адрес)               |   |   |   |   |    |    |    |
| Кому                   |               | (фамилия, инициалы)  |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| ПВ                     |               | место  |      | ли-тер                |   | <b>ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА</b>   |   |   |    |    |    |
|                        |               |  |      |                       |   | на <del>газету</del> <b>42049</b><br><small>журнал</small> (индекс издания) |   |   |    |    |    |
|                        |               |  |      |                       |   | <b>«Комплект: ИТО»</b>  |   |   |    |    |    |
| Стои-мость             | подписки      | руб.   | коп. | Количество комплектов |   |   |   |   |    |    |    |
|                        | переадресовки | руб.   | коп. |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| на 2013 год по         |               | месяц а м  |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| 1                      | 2             | 3  | 4    | 5                     | 6 | 7   | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|                        |               |  |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |
| Куда                   |               | (почтовый индекс)  |      | (адрес)               |   |   |   |   |    |    |    |
| Кому                   |               | (фамилия, инициалы)  |      |                       |   |   |   |   |    |    |    |

ООО «Инструменты. Техно логия. Оборудование»  
107023, РФ, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 49, оф. 334  
Тел./факс: +7 (095) 366-98-00, 369-57-08  
e-mail: exp@ito-baza.ru; www.ito-news.ru

