

Наведено результати експериментальних досліджень по створенню гібридних алмазно-твердосплавних пластин для оснащення ними бурового інструменту. Визначено фізико-механічні властивості алмазного полікристалічного шару АТП, армованого CVD-алмазом. Вивчено характер зносу алмазного полікристалічного шару АТП.

Ключові слова: твердість, структура, зносостійкість, тиск, температура, CVD-алмаз.

The results of experimental studies on the creation of hybrid diamond-carbide inserts for tipping in drilling tools are shown. Physical and mechanical properties of ATP polycrystalline diamond layer reinforced with CVD-diamond were defined. The wear character of ATP diamond polycrystalline layer was studied.

Key words: hardness, texture, wear resistance, pressure, temperature, CVD-diamond.

Литература

1. А. Н. Соколов, А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, А. В. Котко, В. П. Брикса, Р. К. Богданов, А. П. Загора, М. Г. Лошак, Л. И. Александрова. Структура и физико-механические свойства CVD-алмаза различного кристаллического совершенства в материале гибридайт // Сверхтвердые материалы. – 2013. – № 2. – С. 29–40.
2. Патент на корисну модель № 83326 Україна. МПК В22F 7/04 (2006.01), В22F 3/15 (2006.01). Алмазно-твердосплавна пластина // М. В. Новіков, О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 10.09.13, Бюл. № 17.
3. Глазов В. М., Вигдорович В. Н. Микротвердость металлов и полупроводников. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.
4. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Монография / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин, П. В. Зыбинский. – Донецк: Норд-пресс, 2007. – 244 с.

Поступила 26.05.14

УДК 621.921.34-022.513.2:539.89:621.941

А. А. Бочечка, д-р техн. наук; **Н. Е. Стахнив**, канд. техн. наук; **Л. Н. Девин**, д-р техн. наук;
С. Н. Назарчук, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТА АЛМАЗ – КАРБИД ВОЛЬФРАМА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ

Описан процесс получения нанокompозита алмаз – карбид вольфрама. Приведены результаты исследования чистового точения сплавов алюминия инструментом, оснащенный круглой режущей вставкой из полученного материала. Установлено влияние технологических режимов обработки на составляющие силы резания, вибрацию, шероховатость и волнистость обрабатываемой поверхности. Даны практические рекомендации по выбору режимов и условий обработки.

Ключевые слова: нанокompозит алмаз – карбид вольфрама, нанопорошки, спекание при высоком давлении, чистовое точение, сплавы алюминия, режимы обработки.

Перспективным способом повешения эффективности спекания алмазных порошков является введение в них добавок, которые при спекании образуют химические соединения с углеродом и таким образом связывают алмазные частицы. В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины впервые установили принципиальную возможность реакционного спекания в условиях высокого давления и высокой температуры нанопорошков алмаза и вольфрама [1]. В результате их взаимодействия при спекании в порах между алмазными наночастицами образуются наночастицы карбида вольфрама, химически связанные с алмазными, что усиливает взаимосвязь зерен полученного композита.

Для исследования использовали алмазный нанопорошок статического синтеза АСМ5 0,1/0 и нанопорошок триоксида вольфрама. Введение в алмазный порошок вольфрамсодержащей добавки производили проведением ряда физико-химических операций, описанных в [1]. Полученную смесь подвергали термической обработке в среде водорода до восстановления вольфрама. На следующем этапе эксперимента из полученной смеси формировали компакты, которые прессовали в стальной пресс-форме при комнатной температуре.

Непосредственно перед спеканием проводили десорбцию газов путем термической обработки компактов в вакууме при температуре 500 °С в течение 30 мин до давления остаточных газов 10^{-3} Па. Герметизацию рабочего объема аппарата высокого давления (АВД) осуществляли механически. Спекание проводили в АВД типа «тороид» [2] при начальном давлении 8 ГПа продолжительностью 20 с и широком температурном интервале.

Следует отметить, что введение в смесь с более крупным алмазным порошком нанопорошка вольфрама по способу, приведенному в [1], способствует улучшению физико-механических характеристик образцов спеченного композита по сравнению с образцами, полученными механическим смешиванием, причем максимально твердые образцы имеют максимальную трещиностойкость [3]. Значения этих величин и для композита на основе алмазного нанопорошка УДА, и для композита на основе алмазного нанопорошка статического синтеза АСМ5 0,1/0 при оптимальном соотношении компонентов и параметров спекания практически совпадают и составляют соответственно $HV5 = 25$ ГПа, $K_{IC} = 6,6$ МПа·м^{1/2}. Такое сочетание важных механических характеристик достигается вследствие формирования структуры композита, для которой характерно равномерное распределение частиц образованного карбида вольфрама в промежутках между алмазными. Образцы указанных композитов имеют также высокую термостабильность (при температуре 1100 °С $K_{TC} = 0,86$) [4].

Работоспособность резцов из нанокompозита алмаз – карбид вольфрама изучали с использованием автоматизированного стенда на базе токарного станка с ЧПУ модели ТПК 125ВМ [5]. Экспериментальные исследования выполняли при чистовом точении образца (диаметром $d = 60–65$ мм) из алюминиевого сплава АК6. Резец с механическим креплением круглой режущей пластины диаметром $7(\pm 0,025)$ мм имел следующие геометрические параметры: передний угол $\gamma = 0^\circ$; задний угол $\alpha = 10^\circ$. Выполнили несколько серий экспериментов с постоянной глубиной резания $t = 0,1$ мм. В каждой серии фиксировали один из режимов резания (например, подачу S), дискретно изменяя другой (например, скорость резания V). При фиксированной скорости резания V дискретно изменяли подачу S . Значение подачи находилось в диапазоне $[0,07; 0,29]$ мм/об; значение скорости резания $[0,48; 5,87]$ м/с. Составляющие силы резания P_x , P_y и P_z измеряли динамометром УДМ-100. Акселерометром (датчиком KD-35 фирмы «ММФ», Германия) преобразовывали механические колебания резца в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося инструмента, определяли параметры вибрации. Датчик закрепляли в нижней части резца максимально приближенно к зоне резания. Рабочий диапазон частоты датчика составлял 10–10000 Гц. Сигналы от динамометра по трем каналам через усилитель и от акселерометра поступали на АЦП ADA-1406. Управление АЦП ADA-1406 осуществлялось

программой Power Graph. Частота опроса составляющих сил резания и акселерометра составляла 50 кГц. Для исследования шероховатости обработанной поверхности применяли аналоговый прибор Surtronic-3 (фирмы «Renk Taylor Hobson», Великобритания), соединив его с ПК. Разработали специальную программу, которая позволяла на основании записанных профилограмм обработанных поверхностей выделять шероховатость и волнистость, а также рассчитывать их параметры. После каждого выполненного опыта для составляющих силы резания P_x , P_y , P_z и колебаний резца проводили обработку полученных данных, которая включала корригирование данных (исключение погрешностей измерений), статистические расчеты, определение корреляционных функций, спектральной плотности, аппроксимацию тригонометрическими рядами Фурье.

Результаты предварительной обработки полученных данных показали, что при измерении составляющих силы резания искажаются систематической погрешностью установки нуля, а также дрейфом нуля во время обработки. Такие погрешности исключали программными методами [6]. Для этого эксперимент начинали с измерений параметров до врезания резца в заготовку и продолжали после выхода инструмента из детали. Так получали информацию о врезании в заготовку, непрерывном процессе резания и выходе инструмента из зоны резания. Для последующего анализа из массива данных с помощью программы удаляли не имевшие отношения к стационарному процессу резания.

На рис. 1 приведены осциллограммы составляющих силы резания. Из их анализа следует, что составляющие P_x , P_y , P_z и равнодействующая R сила резания с течением времени t непрерывно изменяются, причем составляющая P_x существенно меньше составляющих P_y и P_z .

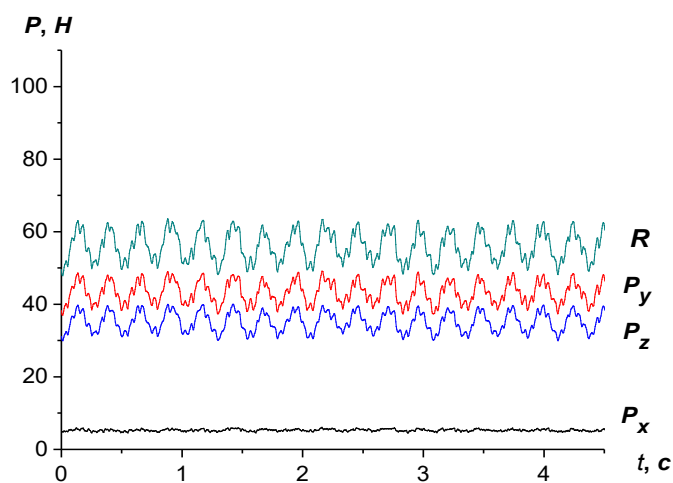


Рис. 1. Осциллограммы составляющих силы резания P_x , P_y , P_z и результирующей R при режимах обработки $V=2$ м/с; $t = 0,1$ мм, $S = 0,15$ мм/об

В результате корреляционного и спектрального анализов установили, что корреляционная функция ρ (рис. 2) и спектральная плотность s (рис. 3) равнодействующей силы резания R для приведенных экспериментов имели один из двух характерных видов. Результаты корреляционного анализа показали, что изменения равнодействующей силы резания с течением времени носят закономерный (регулярный) характер. Стохастическое возмущение сил резания в экспериментах не превышало 5–7% (рис. 2).

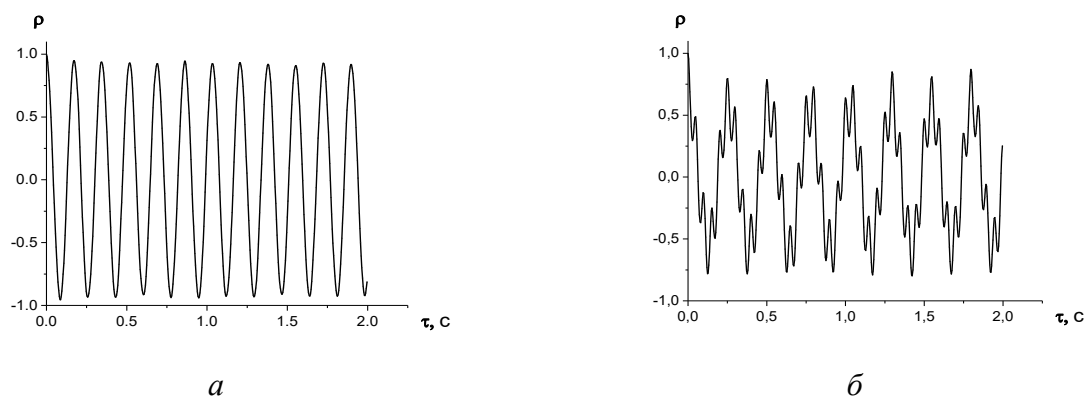


Рис. 2. Корреляционные функции ρ равнодействующей силы резания R при режимах обработки: $V = 2,93$ м/с, $S = 0,1$ мм/об (а); $V = 2$ м/с, $S = 0,295$ мм/об (б)

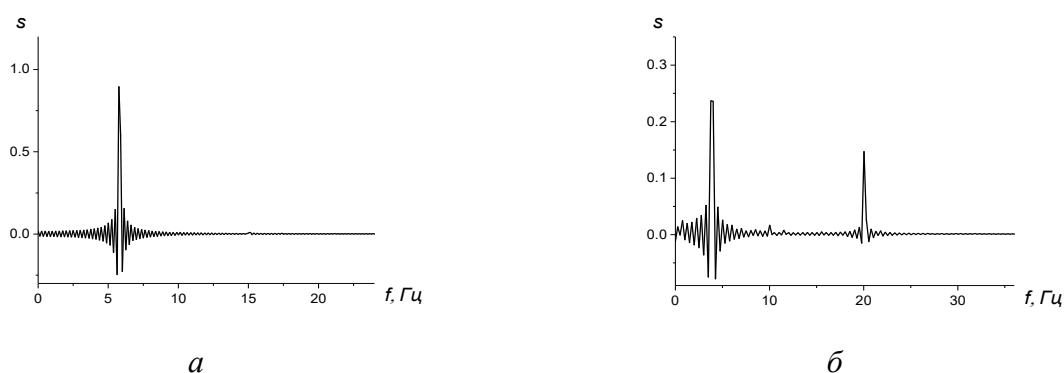


Рис. 3. Графики спектральной плотности равнодействующей силы резания R при режимах обработки: $V = 2,93$ м/с, $S = 0,1$ мм/об (а); $V = 2$ м/с, $S = 0,295$ мм/об (б)

Результаты спектрального анализа показали (рис. 3), что во всех проведенных экспериментах доминирующая составляющая равнодействующей силы резания соответствовала частоте $f_1 = 0.382f$, где f – частота вращения шпинделя станка. В спектре изменения равнодействующей силы резания также присутствовали составляющие соответствовавшие частотам $f_2 = f$ и $f_3 = 2f$ (рис. 3 б).

На рис. 4, а приведен характерный график спектра ускорений вибраций, который измерял акселерометр.

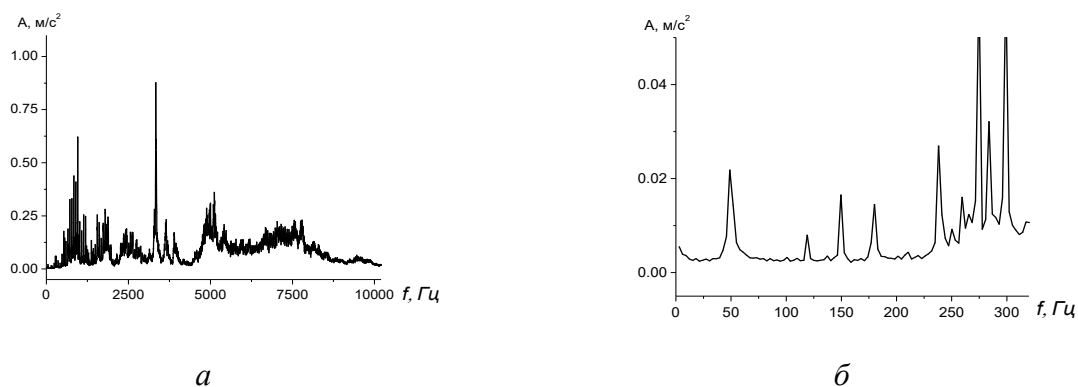


Рис. 4. Спектр амплитуд вибраций A при режиме обработки $V = 5,87$ м/с, $S = 0,1$ мм/об в частотном диапазоне: 0–10000 Гц (а); 0–350 Гц (б)

По оси абсцисс откладывалась частота вибраций, по оси ординат – ускорение. В низкочастотной области (рис. 4, б) при частоте 48–54 Гц наблюдался всплеск амплитуд, которые доминирующе влияют на формирование микропрофиля обрабатываемой поверхности [7]. Поэтому, для анализа вибраций, возникающих при обработке, целесообразно выбрать амплитуду, соответствующую частоте 48–54 Гц, а также среднеквадратическое отклонение (СКО) амплитуды вибраций [8].

На рис. 5 приведены графики изменения средних значений и СКО составляющих и равнодействующей силы резания в зависимости от величины подачи. Эксперименты проводили при скорости резания $V = 2$ м/с. Из графиков (рис. 5, а) видно, что следует выделить два диапазона подачи – $[0,05; 2,50]$ и $[2,50; 3,00]$ мм/об, которые отличаются скоростью нарастания сил. Из данных (рис. 5, б) следует, что при изменении подачи динамический диапазон равнодействующей силы резания изменяется незначительно.

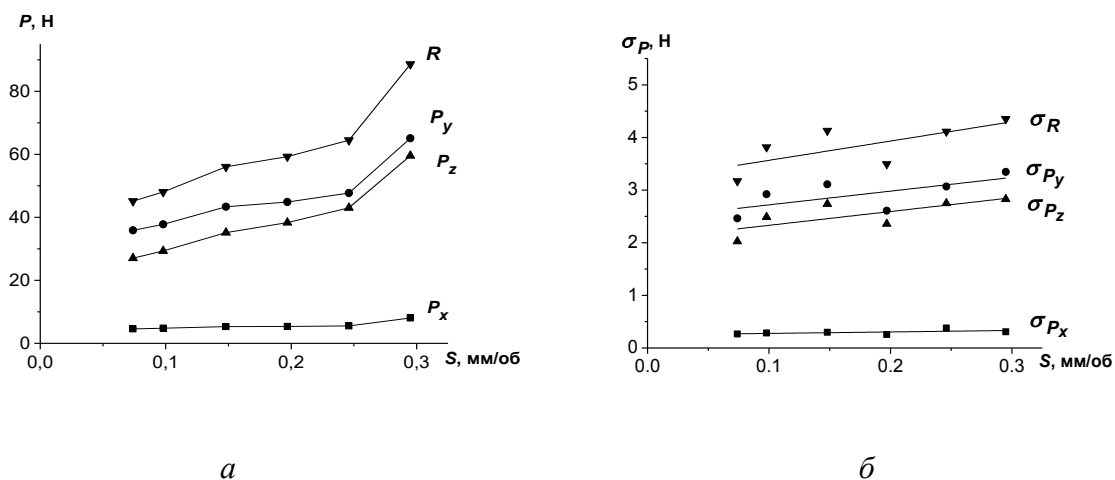


Рис. 5. Изменение средних значений (а) и СКО (б) составляющих сил резания P_x , P_y , P_z и равнодействующей R от величины подачи S

На рис.6 приведены графики изменения средних значений и СКО составляющих и равнодействующей силы резания от скорости резания.

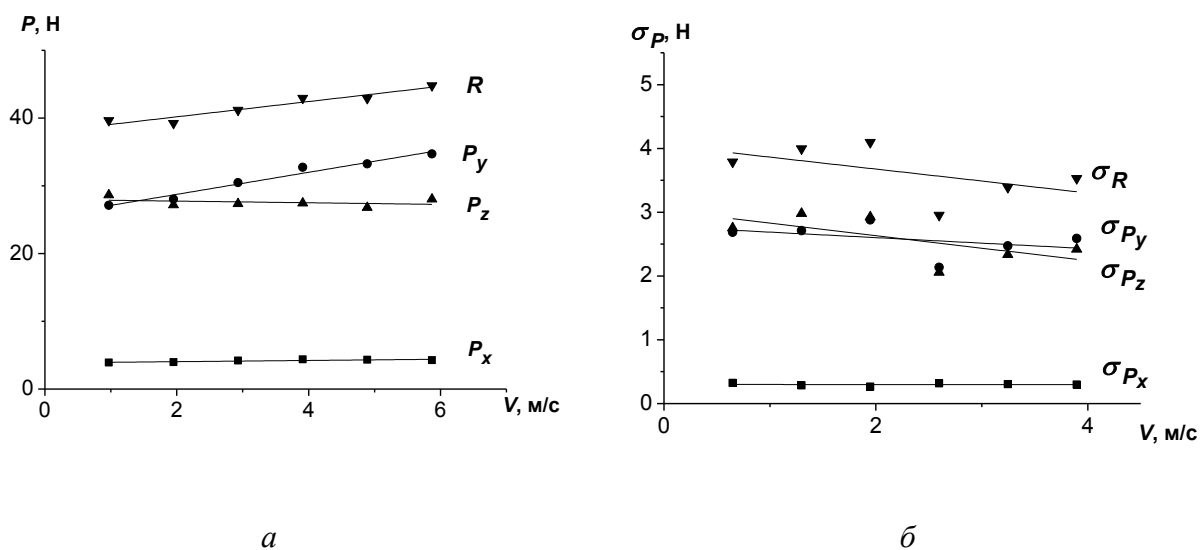


Рис. 6. Изменение средних значений (а) и СКО (б) составляющих сил резания P_x , P_y , P_z и равнодействующей R от скорости резания V

Эксперименты проводили при подаче $S = 0,1$ мм/мин. Из данных (рис. 6) видно, что при изменении скорости резания средние значения и динамический диапазон силы резания изменяются незначительно.

Результаты исследования показали, что шероховатость Ra при увеличении подачи (рис. 7, а) и скорости резания (рис. 7, б) увеличивается незначительно. Установлено, что резцы из нанокompозитов алмаз – карбид вольфрама при чистовом точении сплавов алюминия обеспечивают шероховатость поверхности $Ra = 0,4$ мкм.

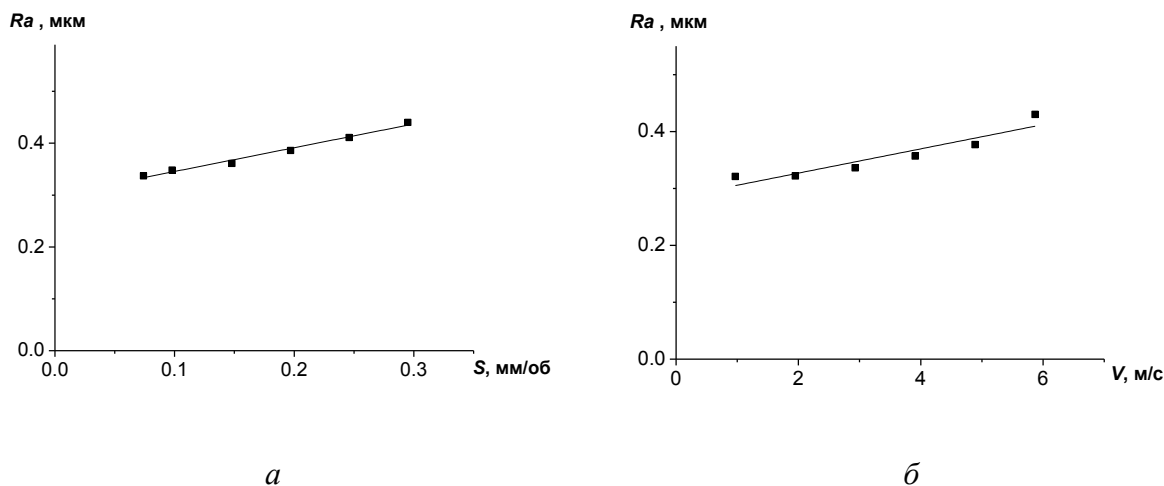


Рис. 7. Изменение параметров шероховатости Ra от подачи S (а) и от скорости резания V (б)

Результаты исследования показали, что волнистость Raw существенно увеличивается при увеличении величины подачи (рис. 8, б) и скорости резания (рис. 9, б).

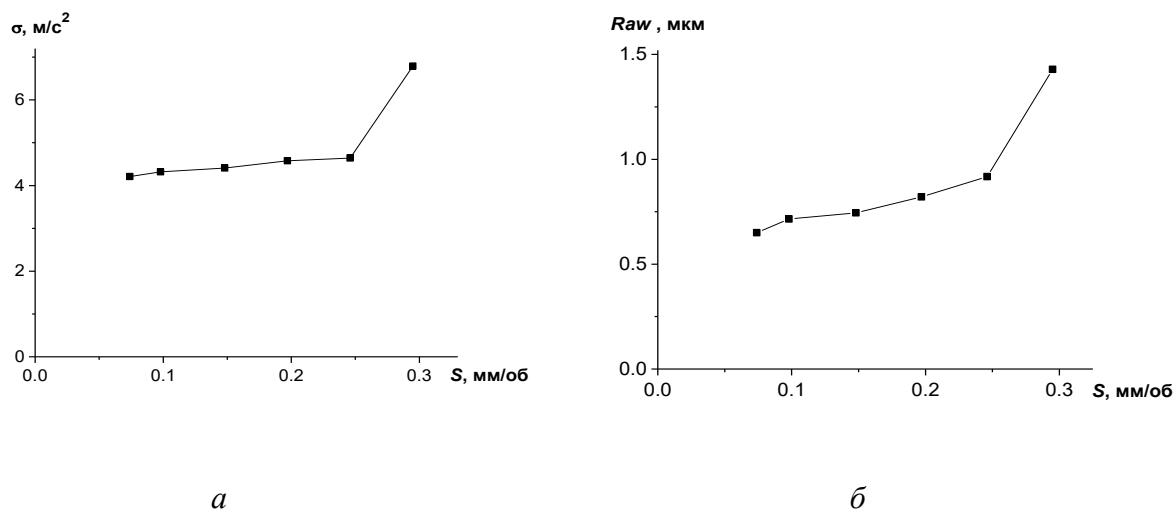


Рис. 8. Изменение СКО амплитуды вибраций (а) и волнистости Raw (б) от подачи S

При этом наблюдали корреляционную связь волнистости Raw с СКО амплитуды вибраций (рис. 8), а также с амплитудой вибраций на частоте 48–54 Гц (рис. 9).

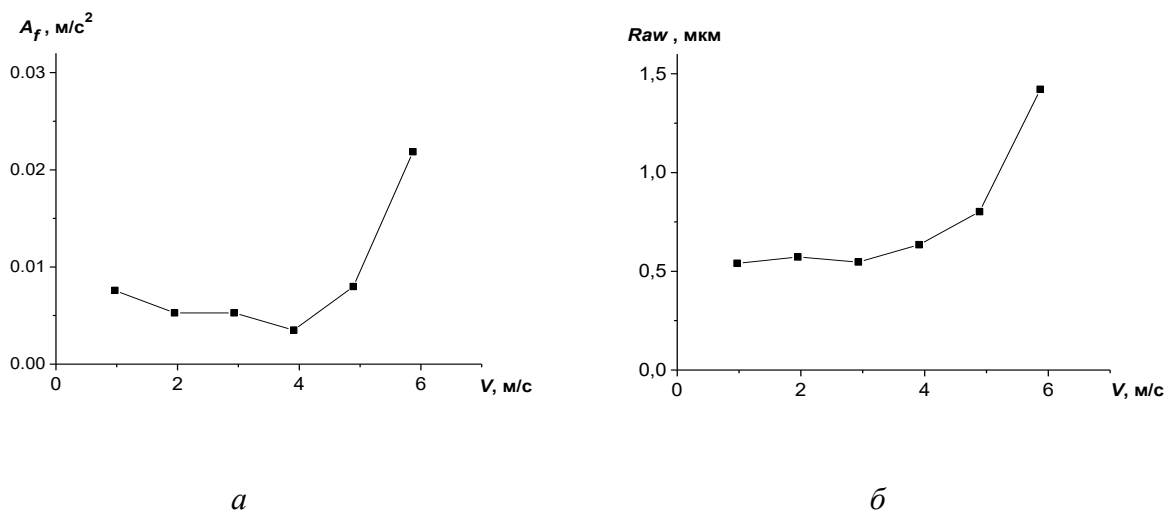


Рис. 9. Изменение амплитуды вибраций на частоте 48–54 Гц (а) и волнистости R_{aw} (б) от скорости резания V

Результаты анализа данных (рис. 8, 9) показали, что при чистовом точении сплавов алюминия резцами из нанокompозитов алмаз – карбид вольфрама подача не должна превышать 0,25 мм/об, а скорость резания – 4,5 м/с. При таких условиях обеспечивалась волнистость обрабатываемой поверхности $R_{aw} = 0,7$ мкм.

Выводы

1. Исследовано применение в качестве рабочего элемента режущего инструмента алмазного поликристаллического нанокompозита алмаз–карбид вольфрама на основе алмазного нанопорошка статического синтеза, в котором сочетаются высокая твердость ($HV5 = 25$ ГПа), трещиностойкость ($K_{Ic} = 6,6$ МПа·м^{1/2}) и термостабильность (при температуре 1100 °С $K_{TC} = 0,86$). Эти характеристики достигаются вследствие образования между алмазными частицами наночастиц карбида вольфрама, химически связанных с алмазными.

2. При чистовом точении сплавов алюминия резцами из нанокompозитов алмаз – карбид вольфрама подача не должна превышать 0,25 мм/об, а скорость резания не должна превышать 4,5 м/с. При таких условиях обеспечиваются шероховатость $Ra = 0,4$ мкм и волнистость $R_{aw} = 0,7$ мкм.

Описано процес отримання нанокompозиту алмаз–карбід вольфраму. Наведено результати дослідження чистового точіння сплавів алюмінію інструментом, оснащеним круглою ріжучою вставкою з отриманого матеріалу. Встановлено вплив технологічних режимів обробки на складові сили різання, вібрацію, шорсткість і хвилястість обробленої поверхні. Подано практичні рекомендації щодо вибору режимів і умов обробки.

Ключові слова: нанокompозит алмаз–карбід вольфраму, нанопорошки, спікання при високому тиску, чистове точіння, сплави алюмінію, режими обробки.

The article describes the obtaining diamond–tungsten carbide nanocomposite, and the investigation results of the finish turning of aluminum alloy using instrument with a circular cutting insert made of this material. The influence of technological processing modes on components of the cutting force, the magnitude of vibration, roughness and waviness of the machined surface has been researched. Practical recommendations on the choice of modes and processing conditions are presented.

Key words: *diamond - tungsten carbide nanocomposite, nanopowders, HP-HT sintering, finish turning, aluminum alloys, treatment regimens.*

Литература

1. Пат. на винахід № 93803 Україна, М. кл.⁶ МПК, В24D 3/02, В22F 3/14. Спосіб отримання алмазного композиційного матеріалу / М.В. Новіков, О.О. Бочечка, С.М. Назарчук, В.С. Гаврилова, Г.С. Олейник, Л.О. Романко, І.А. Свешніков, С.Д. Заболотний. – Опубл. 10.03.11; Бюл. № 5.
2. Поликристаллические материалы на основе алмаза / А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, В.А. Шишкин, А.А. Бочечка. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
3. Поликристаллический композиционный материал алмаз–карбид вольфрама / С.Н. Назарчук, А.А. Бочечка, В.С.Гаврилова и др. // Сверхтвердые материалы. - 2011. - № 1. - С. 3-17.
4. Бочечка О.О., Свешніков І.А., Назарчук С.М, Заболотний С.Д., Гаврилова В.С., Боженко В. М., Луцак Е.М., Романко Л.О., Ільницька Г.Д., Смекаленков С.В. Алмазний полікристалічний композиційний матеріал алмаз – карбід вольфраму для бурового інструменту / О.О. Бочечка, І.А. Свешніков, С.М. Назарчук та ін. // Інструментальний світ. – К.: ІПЦ АЛКОН НАН України, 2011. – № 1–2 (49–50). – С. 50–52.
5. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента – К.: Наукова думка, 1992. – 131 с.
6. Стахнив Н.Е., Сулима А.Г. Закономерности изменения силы резания при врезании и выходе инструмента из заготовки при точении силуминов резцами с круглыми АТП // Сверхтвердые матер. – 2009. – № 1. – С. 75–83.
7. Стахнив Н.Е. Девин Л.Н., Исследование влияния износа резца, оснащенного пластиной из композита на основе КНБ на его вибрации при чистовом точении // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 3. – С. 62–69.
8. Васин С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании – М.: Машиностроение, 2006. – 384 с.

Поступила 03.06.14

УДК 621.921.34-492.2:536.421.5:539.89

Е. М. Луцак; О. О. Бочечка, д-р техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В КОМПОЗИТІ, УТВОРЕНОМУ ШЛЯХОМ ПРОСОЧЕННЯ КОБАЛЬТОМ АЛМАЗНОГО НАНОПОРОШКУ УДА ПРИ ВИСОКИХ ТИСКУ І ТЕМПЕРАТУРІ

В роботі розглядається вплив об'ємного вмісту кобальту та графіту на значення залишкових напружень в алмазній фазі композиту, утвореного шляхом просочення кобальтом алмазного нанопорошку детонаційного синтезу УДА під дією високого тиску.

Ключові слова: *просочення, залишкові напруження, алмазний нанопорошок, багатофазний матеріал*

Вступ

Проведення спікання алмазних мікропорошків в присутності розчинників вуглецю, таких, як нікель чи кобальт активує процес спікання, дозволяє знизити температуру спікання