

# Исследование процессов обработки

УДК 621.941

**Л. Н. Девин\*, Н. Е. Стахнив, Ю. А. Мельнийчук**

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

\**ldevin@ism.kiev.ua*

## **Влияние шероховатости режущих пластин из композита алмаз–карбид вольфрама на силы резания и качество обработки при точении сплавов алюминия и латуни**

*Исследовано влияние шероховатости передней поверхности режущих пластин из нанокompозита алмаз–карбид вольфрама на силы резания, вибрации и качество поверхности при чистовой обработке сплавов алюминия и латуни. Обоснованы оптимальные режимы резания для получения поверхностей с минимальной шероховатостью и волнистостью.*

***Ключевые слова:** нанокompозит, алмаз, карбид вольфрама, силы резания, вибрации, шероховатость, волнистость.*

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ**

В последнее время появились публикации [1, 2], описывающие различные поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе алмаза, которые целесообразно применять для чистовой обработки цветных сплавов. Указано, что для чистовых (финишных) операций лезвийной обработки следует выбирать мелкозернистые высокоплотные материалы, которые позволяют при заточке инструмента получить острую режущую кромку, обеспечивающую уменьшение высотных параметров шероховатости обработанной поверхности. Такие требования характерны для резцов при массовом изготовлении корпусов часов, производстве поршней двигателей внутреннего сгорания автомобилей, металлооптики и т. д. В связи с этим создание и применение резцов для чистовой обработки из новых сверхтвердых материалов является актуальным направлением совершенствования технологии современного машино- и приборостроения.

### **СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

Одним из перспективных способов получения мелкозернистых поликристаллов является спекание алмазных нанопорошков при введении добавок,

© Л. Н. ДЕВИН, Н. Е. СТАХНИВ, Ю. А. МЕЛЬНИЙЧУК, 2018

которые при спекании образуют химические соединения с углеродом и, таким образом, связывают алмазные частицы. В [3, 4] описаны примеры получения таких алмазных композитов из нанопорошков алмаза и вольфрама при высоком давлении.

Использование алмазного порошка статического синтеза АСМ5 0.1/0 и нанопорошка вольфрама обеспечивало улучшение физико-механических характеристик спеченного композита. Так, при оптимальном соотношении компонентов и параметров спекания твердость композита составляла  $HV_5 = 25$  ГПа, а трещиностойкость  $K_{Ic} = 6,6$  МПа·м<sup>1/2</sup>, что вполне достаточно для использования в инструментах для чистовой обработки. Нужно отметить, что образцы, имеющие максимальную твердость, имели и максимальную трещиностойкость [5]. Однако применение мелкозернистых ПСТМ само по себе не может обеспечить остроту кромки резца и низкую шероховатость обработанной поверхности, так как важную роль в процессе получения острого лезвия инструмента играют заточка и доводка режущих кромок.

Влияние радиуса кромки резцов на их стойкость и качество обработанной поверхности исследовано в ряде работ, например [6, 7]. В большинстве подобных работ основное внимание обращается на необходимость обеспечения минимального радиуса режущей кромки. Однако известно, что шероховатость передней поверхности инструмента также оказывает большое влияние на процессы трения в контактной зоне резец–заготовка, а значит и на силы резания, вибрацию и качество обработанной поверхности.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы было изучение влияния шероховатости (доводки) передней поверхности режущих инструментов из нанокompозита алмаз–карбид вольфрама на силы резания, вибрацию и качество обработки при точении сплавов алюминия и латуни. Также целесообразным было обоснование оптимальных режимов резания для получения поверхностей с минимальными высотными параметрами шероховатости и волнистости при чистовой обработке деталей из сплавов алюминия и латуни резцами из новых ПСТМ на основе нанокompозита алмаз–карбид вольфрама.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования выполняли при чистовом точении образцов из латуни Л80 и сплава алюминия АК6 диаметром  $d = 55–65$  мм. Заготовки для исследования состояли из шести участков, разделенных концентричными канавками для создания участков входа и выхода резца. Это позволило при постоянной глубине резания обрабатывать каждый из участков с различными скоростями резания или подачи.

Резец с датчиком ускорения (акселерометр KD 35a фирмы “Metra Mess und Frequenztechnik” (Германия) с рабочим диапазоном частот от 10 до 10000 Гц) размещали в динамометре УДМ100 (рис. 1) в составе автоматизированной системы исследования процесса резания [8] на базе высокоточного токарного станка ТКП-125ВМ с ЧПУ Электроника CNC. Амплитуду вибраций оценивали по величине средне-квадратического отклонения (СКО) сигнала акселерометра.

Сигналы от динамометра и акселерометра через усилители поступали на аналого-цифровой преобразователь ADA-1406, который соединяли с компьютером через порт USB 2.0. Управление АЦП ADA 1406 фирмы “HOLIT Data Systems” (Украина) производили с помощью программы Power Graph [8], которая позволяла оператору в реальном времени наблюдать за процес-

сом резания на мониторе, а после окончания эксперимента записывать на жесткий диск результаты измерений и коэффициенты усиления по каждому измерительному каналу. Опрос датчиков производили на частоте 50 кГц.



Рис. 1. Резец с датчиком ускорения в динамометре УДМ-100.

Предварительную обработку результатов измерений (коррекцию дрейфа нуля, вычисление среднего значения и среднеквадратического отклонения) выполняли с помощью программы Power Graph.

Для измерения параметров шероховатости и волнистости обработанной поверхности применяли аналоговый прибор Surtronic-3 фирмы “Rank Taylor Hobson” (Великобритания), соединенный с компьютером. С использованием специальной программы на основании записанных профилограмм обработанных поверхностей совокупность неровностей разделяли на шероховатость и волнистость, а также рассчитывали их параметры.

Использовали круглые режущие пластины диаметром  $7,000 \pm 0,025$  мм с передним  $\gamma = 0^\circ$  и задним  $\alpha = 10^\circ$  углами. Режущие пластины изготавливали из композита алмаз–карбид вольфрама с содержанием вольфрама 30 % (по массе). Пластины были обротаны по двум различными технологиям – без доводки передней поверхности (параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,12\text{--}0,16$  мкм) и с доводкой алмазными микропорошками ( $Ra = 0,05\text{--}0,08$  мкм). При доводке использовали метод свободного абразива с последовательным применением зерен АСМ 28/20–3/2.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При точении сплавов алюминия были проведены шесть серий экспериментов при подаче  $S = 0,1$  мм/об, скорости резания  $v = 1,0, 2,0, 3,0, 3,9, 4,9, 5,9$  м/с, глубине резания  $t = 0,1, 0,2$  и  $0,3$  мм.

Проведенные эксперименты показали, что доводка режущих пластин привела к снижению составляющих  $P_y, P_z$  и равнодействующей силы резания  $R$  в 1,1 раза (рис. 2, а). Изменение составляющей  $P_x$  находилось в пределах погрешности измерений. Однако СКО составляющих и равнодействующей силы резания для всех режимов обработки уменьшились в 1,2–1,3 раза (см. рис. 2, б).

Амплитуда вибраций уменьшилась на 14–16 % (рис. 3, а). При этом параметр шероховатости  $Ra$  обработанной поверхности уменьшился на 11–12 % (см. рис. 3, б), а параметр волнистости  $Raw$  – на 5–16 % (см. рис. 3, в), причем уменьшение параметра волнистости  $Raw$  наблюдали при скорости резания более 4 м/с.

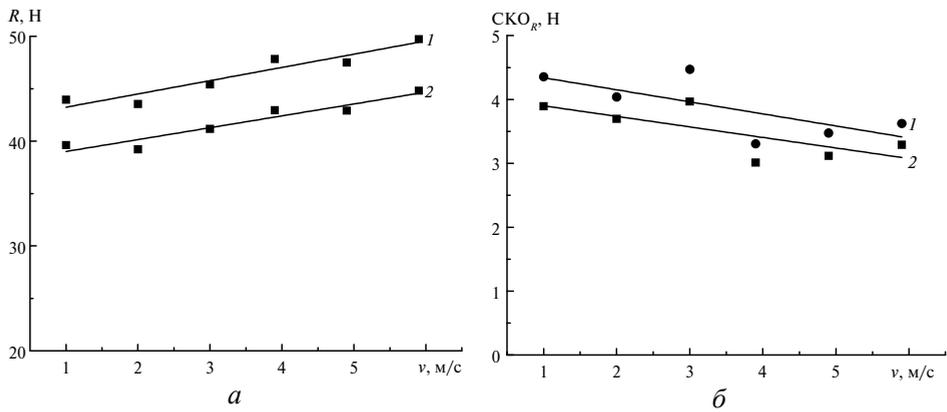


Рис. 2. Влияние скорости резания на равнодействующую силу резания  $R$  (а) и ее СКО $_R$  (б) при точении алюминиевого сплава АК6 инструментом с исходной (1) и доведенной (2) режущими пластинами;  $t = 0,1$  мм.

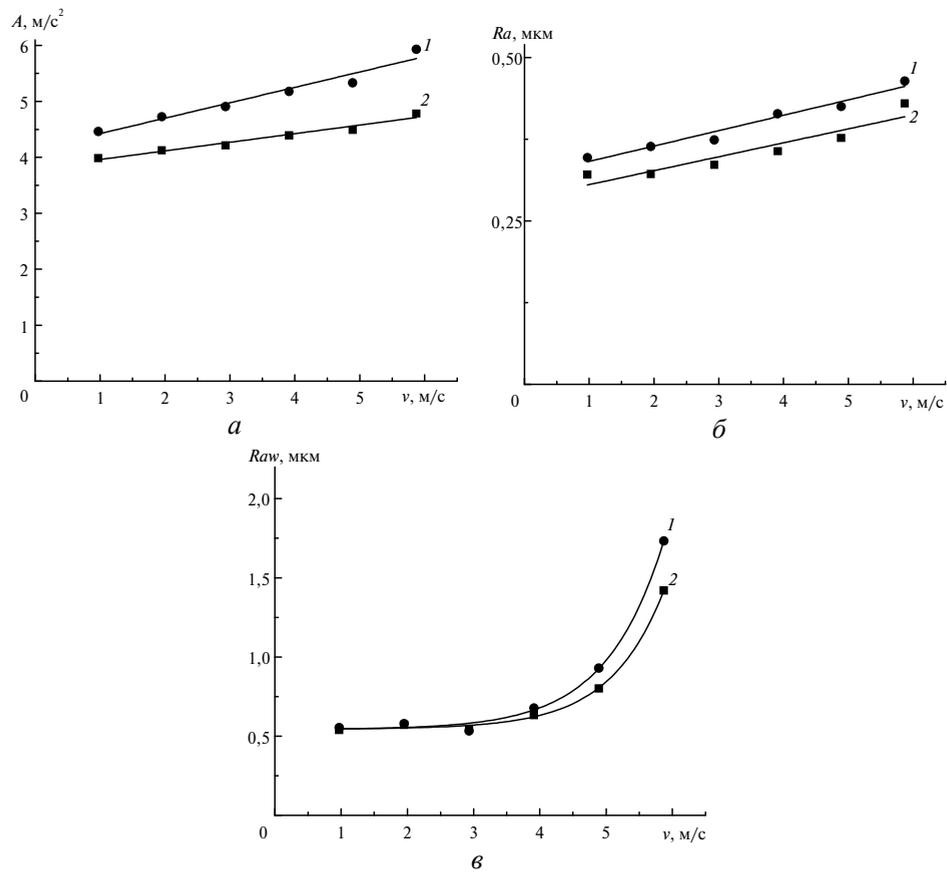


Рис. 3. Влияние скорости резания на амплитуду вибраций  $A$  (а), параметры шероховатости  $Ra$  (б) и волнистости  $Raw$  (в) поверхности алюминиевого сплава АК6 при точении инструментом с исходной (1) и доведенной (2) режущими пластинами;  $t = 0,1$  мм.

При точении латуни были проведены также шесть серий экспериментов при подаче  $S = 0,1$  мм/об, скорости резания  $v = 1,0, 2,0, 3,0, 3,9, 4,9, 5,9$  м/с, глубине резания  $t = 0,1, 0,2$  и  $0,3$  мм.

Проведенные эксперименты показали (рис. 4), что доводка режущих инструментов до шероховатости  $Ra = 0,05-0,08$  мкм привела к снижению составляющих  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  соответственно на 8, 17 и 15 %, а равнодействующей  $R$  на 17 %. СКО равнодействующей силы резания уменьшилось в 1,2–1,3 раза.

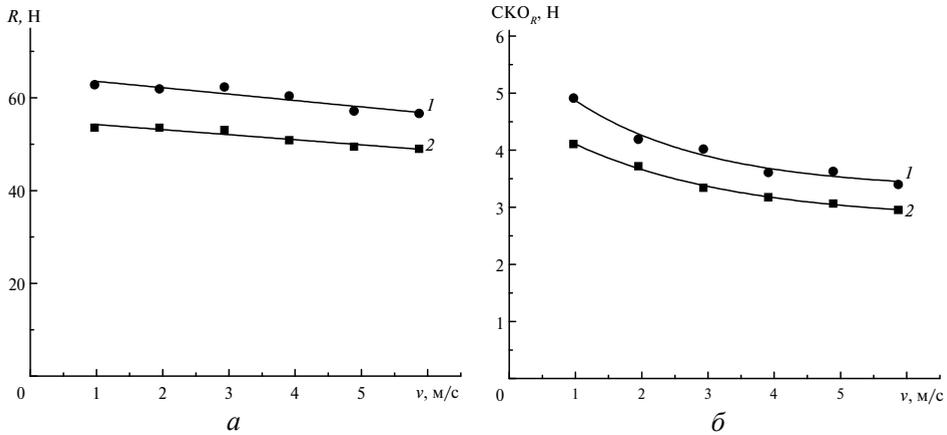


Рис. 4. Влияние скорости резания  $v$  на равнодействующую силу резания  $R$  (а) и ее СКО $_R$  (б) при точении латуни Л80 инструментом с исходной (1) и доведенной (2) режущими пластинами;  $t = 0,1$  мм.

Амплитуда вибраций уменьшилась на 12–18 % (рис. 5, а). При этом параметр шероховатости  $Ra$  обработанной поверхности уменьшился на 4–8 % (см. рис. 5, б), а параметр волнистости  $Raw$  – на 4–12 % (см. рис. 5, в), уменьшение  $Raw$  наблюдали при скорости резания более 4 м/с.

Эксперименты при глубинах резания 0,1–0,3 мм показали, что при обработке алюминиевого сплава и латуни доводка режущих инструментов до  $Ra = 0,12-0,16$  мкм позволяет уменьшить в 1,3 раза силы резания и вибрации, снизить их разброс (СКО), уменьшить параметры шероховатости  $Ra$  и волнистости  $Raw$  обработанной поверхности на 30 %.

Установлено, что при точении латуни параметр шероховатости  $Ra$  с ростом подачи существенно не изменяется и остается равным 0,6 мкм (рис. 6, а), а при увеличении скорости резания уменьшается до с 0,7 до 0,5 мкм (см. рис. 6, б).

На рис. 6 видно, что при  $S > 0,2$  мм/об и  $v > 4$  м/с параметр волнистости  $Raw$  увеличивается наиболее интенсивно. Для объяснения причин роста  $Raw$  было проведено дополнительное исследование, которое позволило установить влияние подачи и скорости резания на амплитуду вибраций (рис. 7). Эти данные свидетельствуют об отрицательном влиянии вибраций на волнистость.

Исследования показали, что снижения вибраций можно достичь, если под режущей пластиной разместить подложку из никелида титана [9, 10]. Полученные экспериментальные данные подтверждают снижение амплитуды вибраций в резцах с подложкой из никелида титана. Спектральный анализ вибраций (рис. 8) показал, что наиболее заметно снижение амплитуды вибраций на частоте  $280 \pm 12$  Гц, поэтому эта частота была выбрана для дальнейшего анализа.

На рис. 9, а приведена зависимость амплитуды вибраций на частоте 280 Гц ( $A_{280}$ ) от скорости резания для обычного резца (1) и с демпфирующей подложкой (2).

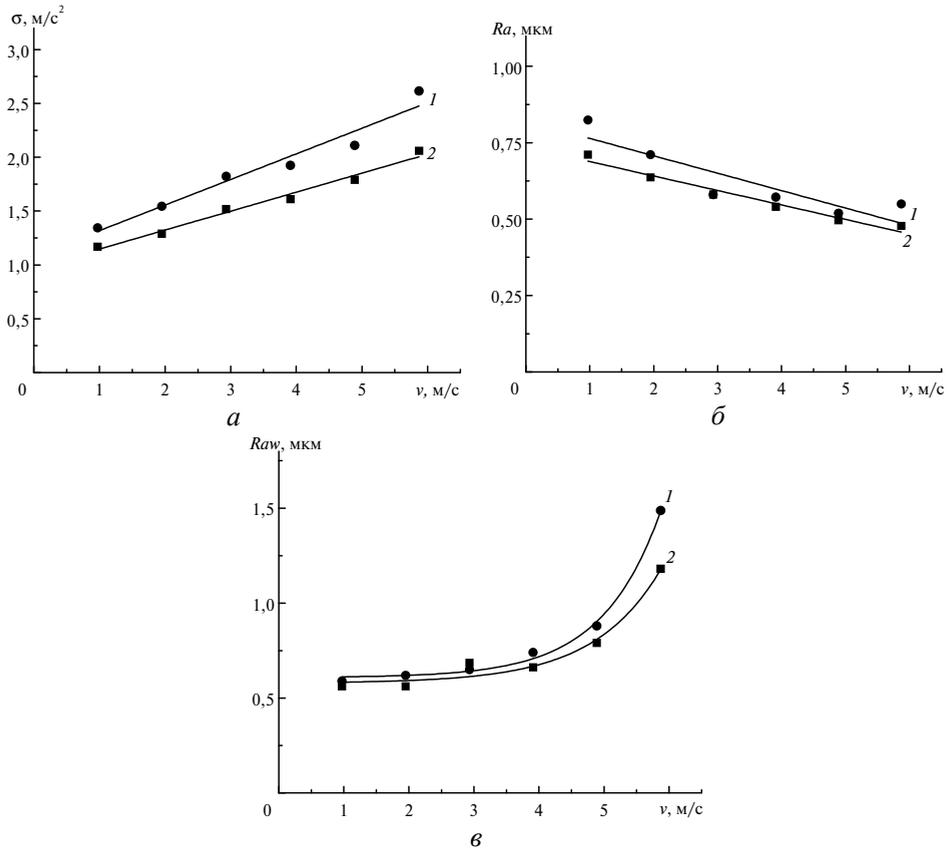


Рис. 5. Влияние скорости резания  $v$  на амплитуду вибраций  $A$  (а), параметры шероховатости  $Ra$  (б) и волнистости  $Raw$  (в) обработанной поверхности латуни Л80 при точении инструментом с исходной (1) и доведенной (2) режущими пластинами;  $t = 0,1$  мм.

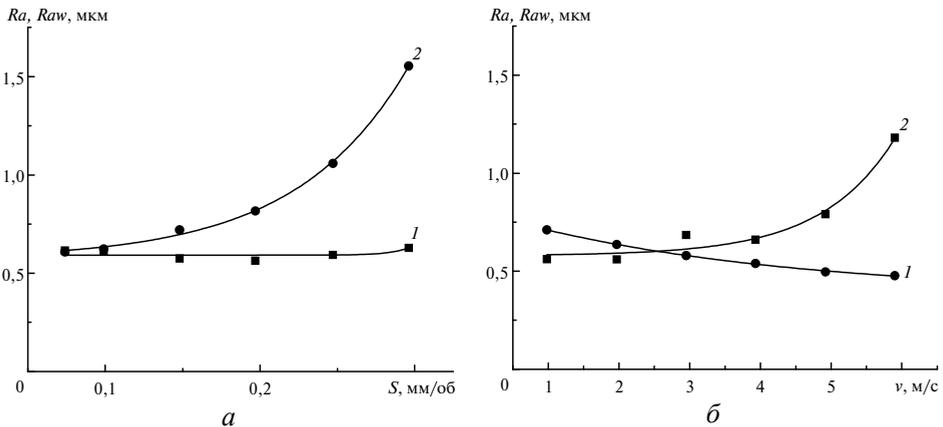


Рис. 6. Влияние подачи  $S$  (а) и скорости резания  $v$  (б) на параметры шероховатости  $Ra$  (1) и волнистости  $Raw$  (2) обработанной поверхности латуни Л80 при точении инструментом с доведенной режущей пластиной.

Видно, что применение демпфирующих подложек снижает амплитуду вибраций в 1,5 раза. При этом с увеличением скорости резания параметр шероховатости  $Ra$  обработанной поверхности существенно не изменяется (см. рис. 9, б, кривые 5 и б), а параметр волнистости  $Raw$  возрастает (см. рис. 9, б,

кривые 3 и 4). Учитывая тенденцию изменения амплитуды вибраций (см. рис. 9, *a*), следует предположить, что вибрация оказывает существенное влияние на значение параметра волнистости  $R_{aw}$  (см. рис. 9, *б*, кривые 3 и 4).

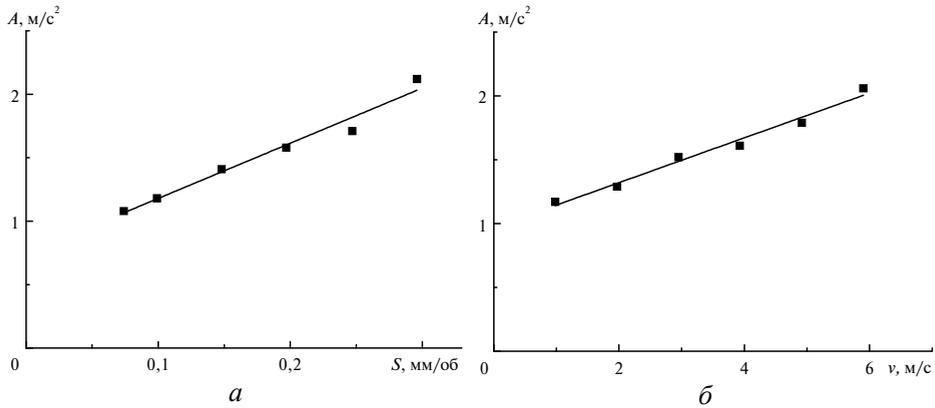


Рис. 7. Влияние подачи  $S$  (*a*) и скорости резания  $v$  (*б*) на амплитуду  $A$  вибраций при точении латуни Л80 инструментом с доведенной режущей пластиной:  $v = 2,0 \text{ м/с}$ ,  $t = 0,1 \text{ мм}$  (*a*);  $S = 0,1 \text{ мм/об}$ ,  $t = 0,1 \text{ мм}$  (*б*).

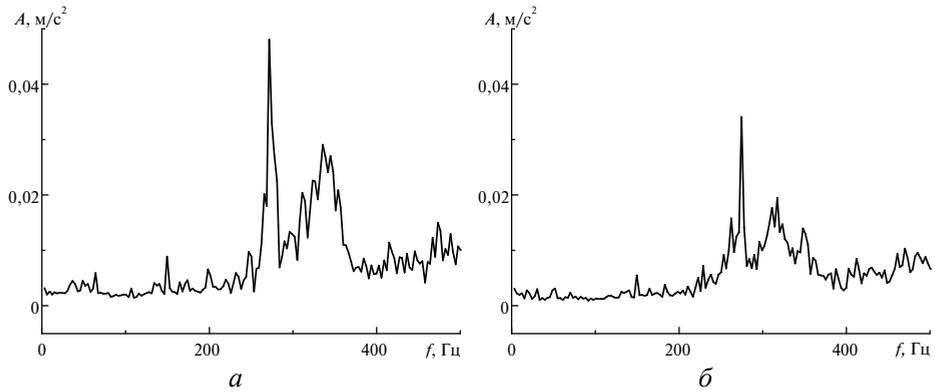


Рис. 8. Спектр вибраций при точении латуни обычным резцом (*a*) и резцом с демпфирующей подложкой (*б*):  $v = 2,9 \text{ м/с}$ ,  $S = 0,2 \text{ мм/об}$ ,  $t = 0,1 \text{ мм}$ .

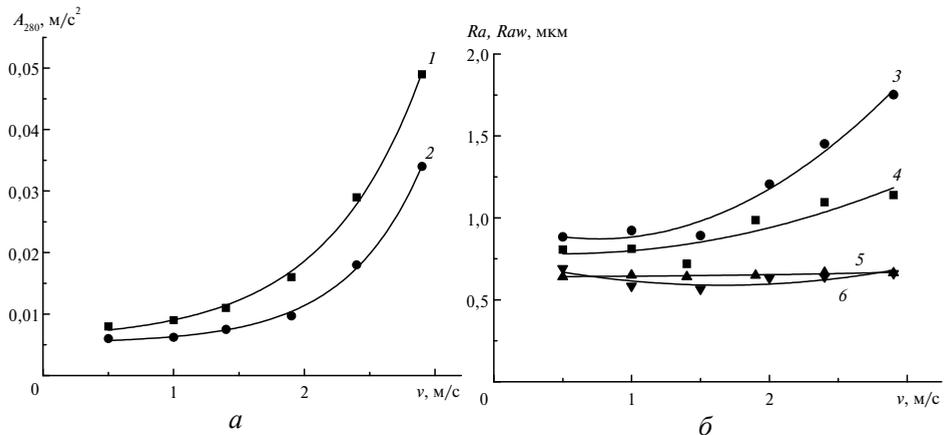


Рис. 9. Влияние скорости резания на амплитуду вибраций  $A_{280}$  (*a*), параметры шероховатости  $Ra$  (5, *б*) и волнистости  $R_{aw}$  (3, 4) (*б*) поверхности, обработанной обычным резцом (1, 3, 5) и резцом с подложкой (2, 4, *б*).

## ВЫВОДЫ

Доводка контактных участков режущих пластин из нанокompозита алмаз–карбид вольфрама до шероховатости  $Ra = 0,05–0,08$  мкм приводит к уменьшению сил резания до 20 %, вибраций – до 24 %, шероховатости – до 21 %, волнистости – до 30 %.

Увеличение подачи выше 0,2 мм/об и скорости резания выше 5 м/с приводит к резкому увеличению волнистости обработанной поверхности за счет роста амплитуды вибраций.

Для уменьшения колебаний целесообразно применять резец с демпфирующими вставками из никилида титана. При этом параметр волнистости  $Raw$  обработанной поверхности снижается на 50 %.

Установлены оптимальные режимы для чистовой обработки при точении алюминиевых сплавов и латуни резцами из нанокompозита алмаз–карбид вольфрама: скорость – 3–5 м/с, подача – 0,15–0,2 мм/об. При этом достигается шероховатость обработанной поверхности до 0,5 мкм и волнистость – до 0,75 мкм.

*Досліджено вплив шорсткості передньої поверхні ріжучих пластин з нанокompозита алмаз–карбід вольфраму на сили різання, вібрації і якість поверхні при чистовій обробці сплавів алюмінію і латуні. Обґрунтовано оптимальні режими різання для отримання поверхонь з мінімальною шорсткістю і хвилястістю.*

**Ключові слова:** нанокompозит, алмаз, карбід вольфраму, сили різання, вібрації, шорсткість, хвилястість.

*The paper addresses the effect of face roughness of cutting inserts made of diamond–tungsten carbide nanocomposite on cutting forces, vibration, and machined surface quality in finish turning of aluminum alloys and brass. The authors have substantiated the optimal cutting conditions to produce workpiece surfaces with the minimum roughness and waviness.*

**Keywords:** nanocomposite, diamond, tungsten carbide, cutting forces, vibration, surface roughness, surface waviness.

1. Инструмент из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова, С. А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Назарчук С. Н., Бочечка А. А., Гаврилова В. С., Романко Л. А., Белявина Н. Н., Александрова Л. И., Ткач В. Н., Кузьменко Е. Ф., Заболотный С. Д. Поликристаллический композиционный материал алмаз–карбид вольфрама // Сверхтв. материалы. – 2011. – № 1. – С. 3–17.
3. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
4. Бочечка А. А., Назарчук С. Н., Девин Л. Н., Стахнив Н. Е. Применение нанокompозита алмаз–карбид вольфрама при чистовом точении латуни // Породоразрушающий и металлообработывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 428–434.
5. Бочечка А. О., Свешников И. А., Назарчук С. М., Заболотный С. Д., Гаврилова В. С., Боженок В. М., Луцак Е. М., Романко Л. О., Лыницька Г. Д., Смекаленков С. В. Алмазный поликристаллический композиционный материал алмаз–карбид вольфраму для бурового инструмента // Инструментальный світ. – 2011. – № 1–2 (49–50). – С. 50–52.
6. Миндалин Я. Б. Заточка, доводка и полирование прецизионного режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1975. – 40 с.
7. Попов С. А. Заточка и доводка режущего инструмента. – М.: Высш. шк., 1986. – 223 с.
8. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика (ПиКАД). – 2008. – № 3. – С. 24–26.
9. Девин Л. М., Осадчий О. А., Сулима А. Г. Повышение стойкости резцов путем демпфирования режущих пластин из поликристаллов КНБ // Новітні технології в машинобудуванні: металообробка, інструмент, реновація: Зб. наук. пр. / Редкол.: С. С. Самотугін та ін. – Маріуполь: ПДТУ, 2010. – Вип. 2. – С. 25–37.
10. Девин Л. Н., Осадчий А. А. Повышение эксплуатационных характеристик резцов из КНБ путем увеличения их демпфирующих свойств / Сверхтв. материалы. – 2012. – № 5. – С. 62–71.

Поступила 17.11.16