

# Исследование процессов обработки

УДК 621.941

Н. Е. Стахнив, Л. Н. Девин (г. Киев)

## **Исследование влияния износа резца, оснащенного пластиной из композита на основе КНБ, на его вибрации при чистовом точении закаленных сталей**

*Установлено влияние износа резца, оснащенного круглой режущей пластиной из композита на основе КНБ, на его вибрацию при чистовом точении закаленных сталей различной твердости. Исследовано влияние вибрации на шероховатость обработанной поверхности.*

***Ключевые слова:** точение закаленных сталей, вибрации, круглая режущая пластина, композит на основе КНБ, спектральный анализ.*

При резании материалов возникают вибрации элементов технологической системы, которые оказывают отрицательное влияние на качество обработанной поверхности и надежность режущего инструмента [1]. Для снижения уровня вибраций повышают вибрационную устойчивость и жесткость деталей и механизмов металлорежущих станков, создают специальные виброгасящие устройства [2], разрабатывают для режущих инструментов новые материалы со специальными свойствами [3].

В Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан новый материал – композит  $c\text{NB}/\text{Si}_3\text{N}_4$  [3]. Исследование оснащенных им инструментов показало, что при чистовом точении закаленных сталей существуют режимы обработки, обеспечивающие высокую вибрационную устойчивость процесса резания [4].

По мере увеличения износа резца его параметры, а также условия взаимодействия с обрабатываемым материалом изменяются. Это приводит к усилению вибрации элементов технологической системы [2], что, в свою очередь, отрицательно сказывается на шероховатости обработанной поверхности.

Целью данной работы было экспериментальное исследование влияния износа резца, оснащенного круглой режущей пластиной из композита  $c\text{NB}/\text{Si}_3\text{N}_4$ , на величину и характер его вибрации при чистовом точении закаленных сталей, а также влияния вибрации на шероховатость обработанной поверхности.

Исследования выполняли при точении двух заготовок из закаленной стали марки ХВГ твердостью в радиальном сечении 56–60 и 59–60 HRC резцом

© Н. Е. СТАХНИВ, Л. Н. ДЕВИН, 2012

с механическим креплением круглой режущей пластины RNMN070300T из ПСТМ cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (передний угол  $\gamma = -10^\circ$ , задний угол  $\alpha = 10^\circ$ ). Подача  $S$ , глубина резания  $t$  и скорость резания  $v$  были фиксированными:  $S = 0,25$  мм/об,  $t = 0,1$  мм,  $v \approx 2$  м/с.

Вибрация элементов технологической системы при резании – полигармонические колебания, содержащие много составляющих [2]. Экспериментально можно исследовать вибрацию, записывая сигналы перемещения, скорости или ускорения. Предпочтение отдают измерению ускорения, поскольку при этом учитываются высокочастотные составляющие исследуемого процесса [2]. Применение датчика, чувствительного к изменению ускорения, дает возможность анализировать не только ускорение, но также скорость и перемещение инструмента (выполнив интегрирование и двойное интегрирование соответственно).

В данной работе для измерения параметров вибрации резца использовали акселерометр (датчик KD-35 немецкой фирмы MMF), величина сигнала которого пропорциональна ускорению. Датчик закрепляли в нижней части резца, максимально близко к зоне резания. В соответствии с паспортными данными рабочий диапазон частот датчика – 10–10000 Гц. Сигнал от акселерометра через усилитель подавали на аналоговый цифровой преобразователь АЦП ADA-1406, управление которым осуществлялось программой PowerGraph с частотой опроса 85 кГц. Величину сигнала акселерометра умножали на коэффициент градуировки и таким образом устанавливали зависимость ускорения от времени. Для выделения резонансных пиков и определения соответствующих им частот использовали быстрые преобразования Фурье и строили зависимости амплитуд сигнала акселерометра (ускорения перемещения резца) от частоты (спектр сигнала, амплитудно-частотная характеристика).

На рис. 1 приведен спектр сигнала акселерометра, соответствующий холостому ходу станка (включено вращение шпинделя и подача, резание отсутствовало). Основные резонансные колебания находились в диапазоне частот 0–2500 Гц. Резонансные пики наблюдали на частотах  $750 \pm 3$ ,  $830 \pm 4$ ,  $1610 \pm 4$  Гц, амплитуды сигнала акселерометра на этих частотах были  $0,07 \pm 0,02$  м/с<sup>2</sup>, в дальнейшем эти значения учитывали при анализе влияния процесса резания на вибрацию резца.

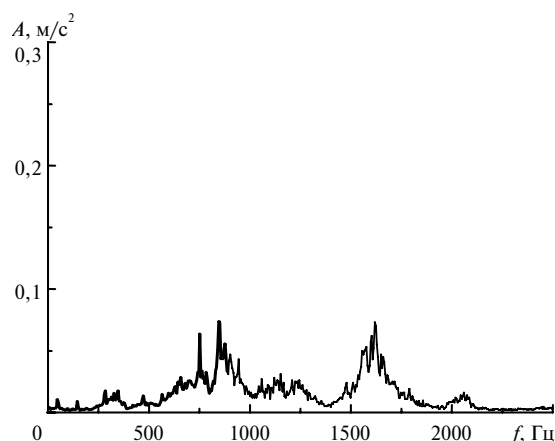


Рис. 1. Спектр сигнала акселерометра на холостом ходу станка.

При обработке заготовок из закаленной стали твердостью 56–60 и 59–60 HRC резцами с величинами износа резца  $h_3 = 0,05$  и  $0,35$  мм были исследованы спектры сигналов акселерометра в двух частотных диапазонах: 0–2500 (рис. 2) и 2500–10000 Гц (рис. 3).

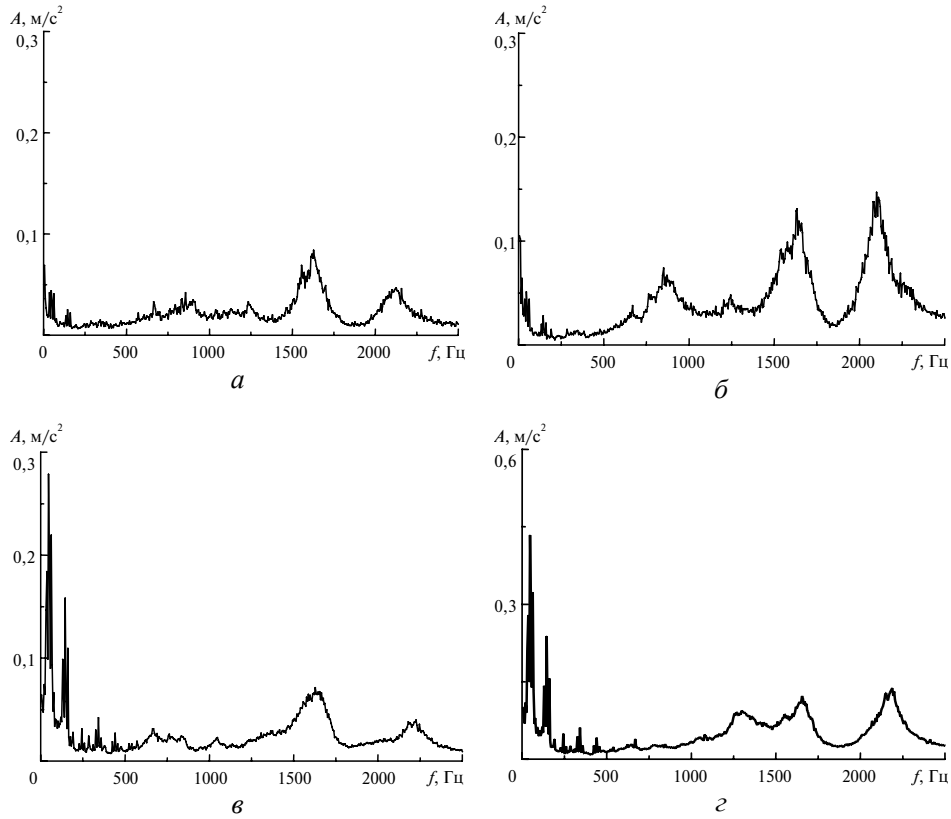


Рис. 2. Спектр сигнала акселерометра в частотном диапазоне 0–2500 Гц при твердости заготовок 59–60 (а, в) и 56–60 (б, г) HRC и износе резца  $h_3 = 0,05$  (а, б),  $0,35$  (в, г) мм.

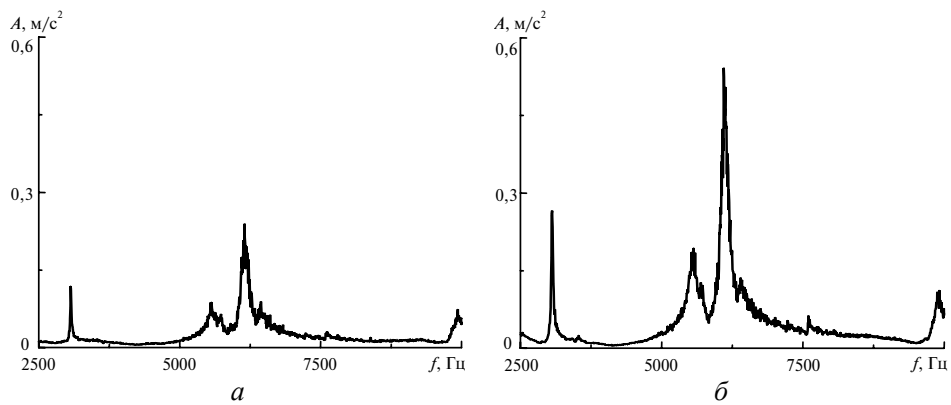


Рис. 3. Спектр сигнала акселерометра в частотном диапазоне 2500–10000 Гц при твердости заготовок 59–60 (а, в) и 56–60 (б, г) HRC и износе резца  $h_3 = 0,05$  (а, б),  $0,35$  (в, г) мм.

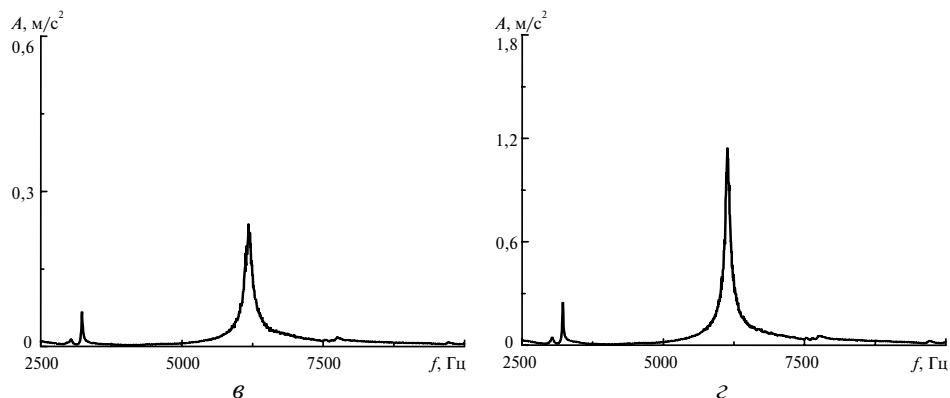


Рис. 3. (Продолжение).

При обработке заготовок твердостью 59–60 HRC резцом с малой (0,05 мм) величиной износа на частотах  $2150 \pm 4$ ,  $3060 \pm 5$ ,  $5530 \pm 6$ ,  $6090 \pm 6$  Гц возникают резонансные колебания, при твердости заготовки 56–60 HRC амплитуды резонансных колебаний на тех же частотах возрастают в 2–3 раза.

Обработка резцом с большим (0,35 мм) износом приводит к увеличению количества резонансных пиков:  $36 \pm 1$  ( $f_1$ ),  $47 \pm 1$  ( $f_2$ ),  $62 \pm 2$  ( $f_3$ ),  $130 \pm 2$  ( $f_4$ ),  $145 \pm 2$  ( $f_5$ ),  $160 \pm 2$  ( $f_6$ ),  $2150 \pm 4$  ( $f_7$ ),  $3060 \pm 5$  ( $f_8$ ),  $5530 \pm 6$  ( $f_9$ ),  $6090 \pm 6$  ( $f_{10}$ ) Гц (см. рис. 2, 3).

В соответствии с классификацией, приведенной в [2], из данной совокупности частот выделим две группы. Первая группа – низкие ( $f_1$ – $f_6$ ) частоты колебаний резца, вторая – средние ( $f_7$ – $f_{10}$ ) частоты, соответствующие собственным колебаниям резца. Учитывая геометрические параметры державки резца ( $H = 25$  мм,  $B = 20$  мм), величину ее вылета ( $l_p = 32$  мм) и результаты расчетов [2], а также спектры сигналов акселерометра (см. рис. 2, 3) определяли значения собственных частот колебаний резца (таблица).

#### Собственные частоты колебаний резца

Колебание резца	Частота
В направлении действия составляющей	
$P_x$	$f_9 = 5530 \pm 6$
$P_y$	$f_{10} = 6090 \pm 6$
$P_z$	$f_8 = 3060 \pm 5$
Изгибное	$f_7 = 2150 \pm 4$

На рис. 4 и 5 приведено изменение амплитуд сигнала акселерометра  $A_1$ ,  $A_2$ , ...  $A_{10}$  на резонансных частотах  $f_1$ ,  $f_2$ , ...  $f_{10}$  в зависимости от износа резца при обработке заготовок различной твердости. Из анализа спектров следует, что амплитуды сигнала акселерометра на частотах  $f_1$ – $f_6$  остаются практически неизменными до  $h_3 \approx 0,25$  мм. Дальнейшее увеличение износа обуславливает рост амплитуд, наибольшие значения которых соответствуют  $h_3 = 0,35$  мм.

Исследование собственных колебаний резца (резонансные частоты  $f_7$ – $f_{10}$ ) показало, что при точении заготовок твердостью 56–60 HRC амплитуды сигнала акселерометра в 1,5 раза выше, чем в случае точения заготовок твердостью 59–60 HRC. Кроме того, отличался и характер полученных зависимостей: при обработке заготовок твердостью 59–60 HRC с увеличением  $h_3$  ам-

плитуда сигнала акселерометра  $A_{10}$  в направлении составляющей  $P_y$  силы резания изменялась слабо (см. рис. 4,  $\varepsilon$ ), а для заготовок с твердостью 56–60 HRC при  $h_3 > 0,25$  мм она значительно возросла (см. рис. 5,  $\varepsilon$ ).

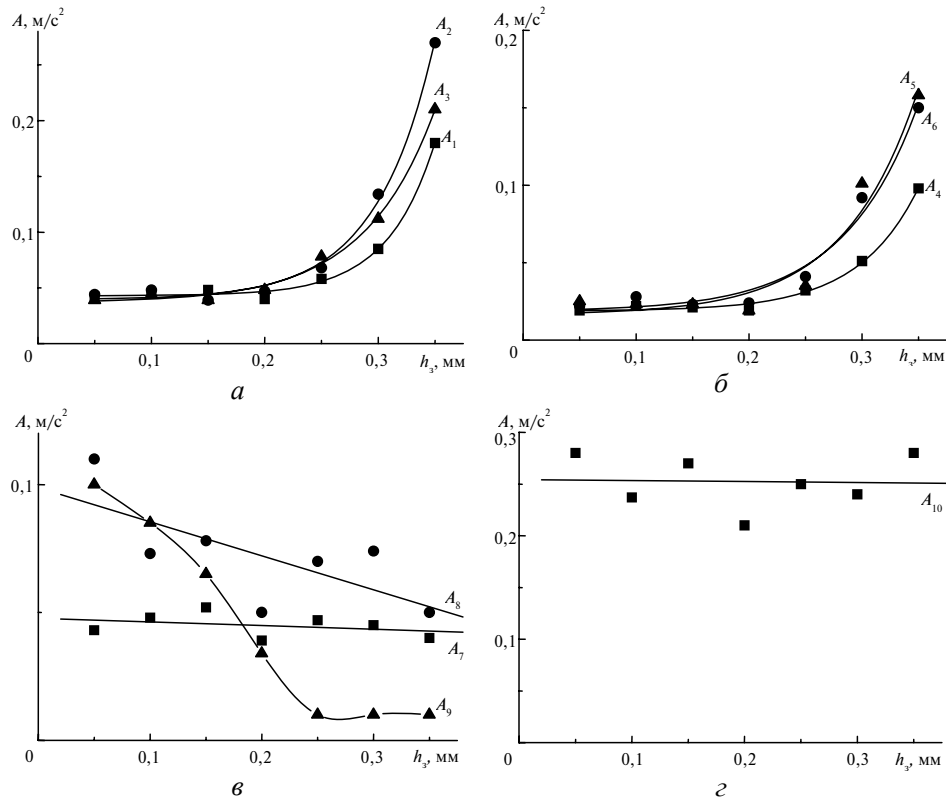


Рис. 4. Изменение амплитуд сигнала акселерометра  $A_1, A_2, \dots, A_{10}$  на резонансных частотах  $f_1, f_2, \dots, f_{10}$  соответственно в зависимости от износа инструмента  $h_3$  при точении заготовки твердостью 59–60 HRC.

Следует отметить две тенденции, характерные для заготовок с различной твердостью. С увеличением износа резца  $h_3$  амплитуда  $A_8$  колебания резца вдоль направления действия составляющей  $P_z$  силы резания уменьшилась, а амплитуда изгибных колебаний  $A_7$  резца изменялась незначительно (см. рис. 4,  $\nu$  и 5,  $\nu$ ).

Весьма интересным оказалось изменение амплитуды сигнала акселерометра  $A_9$ , которая соответствовала собственной частоте колебаний резца  $f_9$  в направлении действия составляющей  $P_x$ . С увеличением износа инструмента амплитуда  $A_9$  резонансного пика уменьшалась, а при  $h_3 > 0,25$  мм резонансный пик не наблюдали (см. рис. 4,  $\nu$  и 5,  $\nu$ ).

Значительная вибрация резца оказывает влияние на шероховатость обработанной поверхности [2]. Для оценки этого влияния рассчитаны амплитуды перемещений  $A_{п1}, A_{п2}, \dots, A_{п10}$ , соответствующие максимальным смещениям режущей кромки резца относительно обрабатываемой поверхности:

$$A_{ni} = \frac{A_i}{(2\pi f_i)^2},$$

где  $A_i$  – амплитуда резонансного пика ускорения на частоте колебаний  $f_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, 10$ .

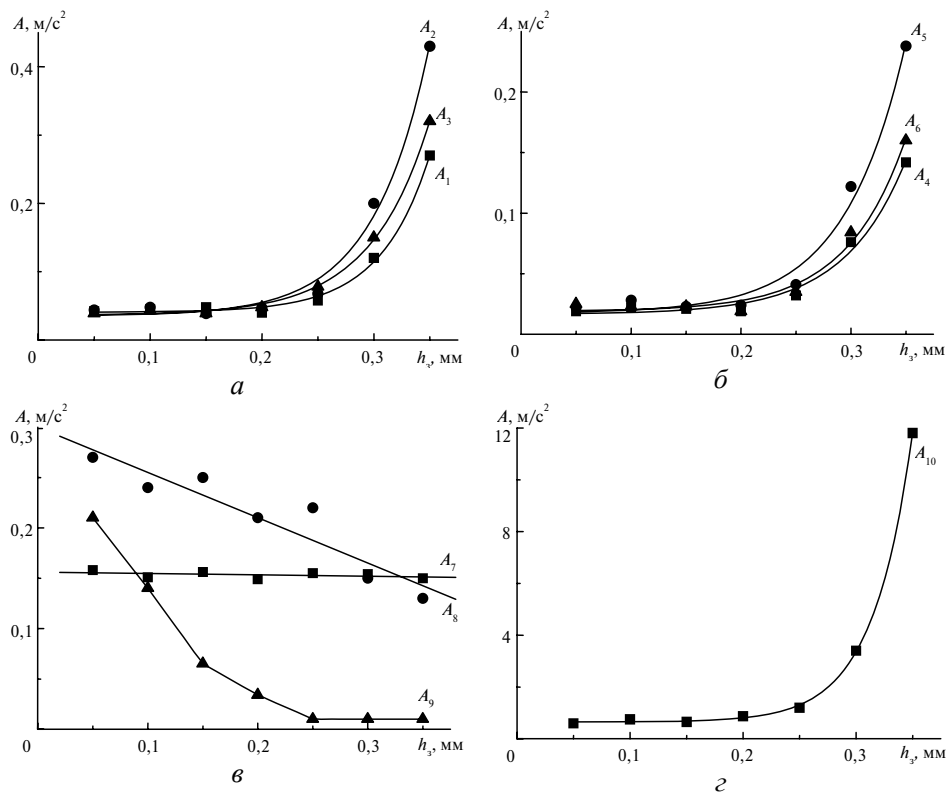


Рис. 5. То же, что на рис. 4 при точении заготовки твердостью 56–60 HRC.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что амплитуды колебаний  $A_{п7}–A_{п10}$  составляют тысячные доли микрометра, поэтому колебания на частотах  $f_7–f_{10}$  не оказывают существенного влияния на шероховатость обработанной поверхности. Максимальные амплитуды колебаний  $A_{п4}$ ,  $A_{п5}$ ,  $A_{п6}$  не превышали 0,19–0,28 мкм и их влияние на шероховатость поверхности также несущественно. Амплитуды колебаний  $A_{п1}$ ,  $A_{п2}$ ,  $A_{п3}$  на частотах  $f_1, f_2, f_3$  при значительном износе инструмента составляли несколько микрометров, поэтому исследовали изменение только этих амплитуд в зависимости от износа резца (рис. 6).

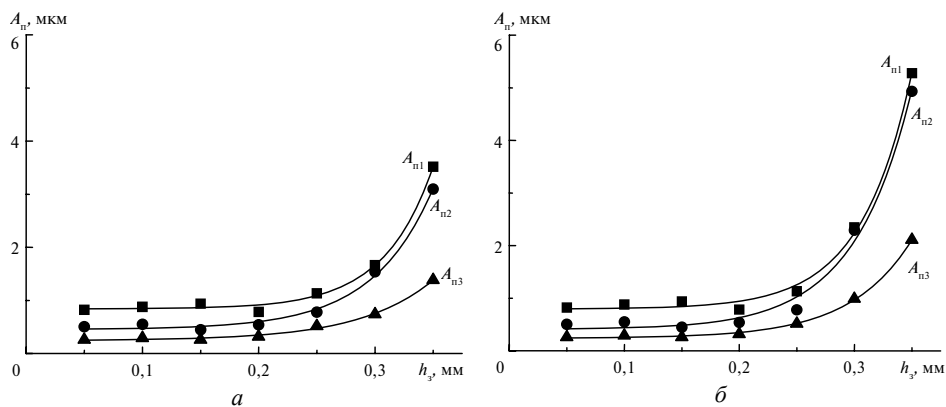


Рис. 6. Изменение амплитуд колебаний  $A_{п1}$ ,  $A_{п2}$ ,  $A_{п3}$  в зависимости от износа инструмента  $h_3$  при обработке заготовок твердостью 59–60 (а) 56–60 (б) HRC.

Из анализа полученных результатов (см. рис. 6) следует, что при износе инструмента  $h_3 < 0,25$  мм амплитуды колебаний резца  $A_{п1}$ ,  $A_{п2}$ ,  $A_{п3}$  не превышают 1 мкм. Дальнейшее увеличение износа резца обуславливает их рост до 1–4 мкм (для заготовок твердостью 59–60 HRC). Для заготовок твердостью 56–60 HRC амплитуды колебаний  $A_{п1}$ ,  $A_{п2}$ ,  $A_{п3}$  возросли до 2–7 мкм. Измерение шероховатости обработанной поверхности показало, что в зависимости от износа резца аналогичным образом изменяется и параметр  $Ra$  шероховатости обработанной поверхности (рис. 7).

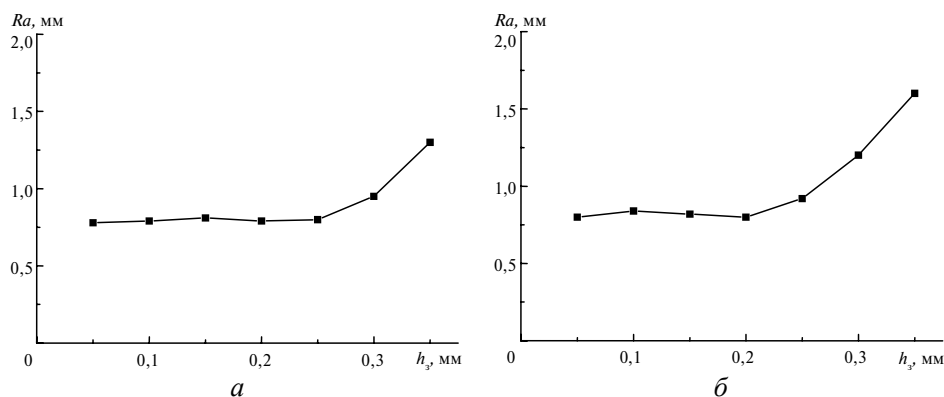


Рис. 7. Изменение параметра  $Ra$  шероховатости обработанной поверхности в зависимости от износа инструмента  $h_3$  при обработке заготовок твердостью 59–60 (а) 56–60 (б) HRC.

Анализ изменения  $Ra$  в зависимости от  $h_3$  (см. рис. 7) позволил установить критическую величину износа инструмента (0,3 и 0,25 мм для заготовок твердостью 59–60 и 56–60 HRC соответственно) для данных условий обработки, при превышении которой существенно возрастают амплитуды колебаний резца на частотах  $f_1, f_2, f_3$ , что обуславливает увеличение параметра  $Ra$  в 1,5–2,0 раза.

Из сопоставления зависимостей на рис. 4, 5 и 7 следует, что амплитуды сигнала акселерометра  $A_1–A_6$  на резонансных частотах  $f_1–f_6$  могут быть использованы в качестве диагностических параметров, так как характер их изменения с течением времени позволяет установить момент достижения резцом критической величины износа.

## ВЫВОДЫ

При точении закаленной стали резцами с круглой режущей пластиной RNMN070300T из ПСТМ cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> при различной величине износа инструмента в спектре сигнала акселерометра имеют место резонансные пики, которые стабильно соответствуют частотам  $36 \pm 1$  ( $f_1$ ),  $47 \pm 1$  ( $f_2$ ),  $62 \pm 2$  ( $f_3$ ),  $130 \pm 2$  ( $f_4$ ),  $145 \pm 2$  ( $f_5$ ),  $160 \pm 2$  ( $f_6$ ),  $2150 \pm 4$  ( $f_7$ ),  $3060 \pm 5$  ( $f_8$ ),  $5530 \pm 6$  ( $f_9$ ),  $6090 \pm 6$  ( $f_{10}$ ) Гц.

Увеличение износа резца до достижения его критической величины не оказывает существенного влияния на вибрацию резца (амплитуды сигнала акселерометра, соответствующие резонансным частотам, уменьшались или оставались неизменными).

Превышение критической величины износа резца обуславливает существенный рост амплитуд колебаний резца, при этом параметр  $Ra$  шероховатости обрабатываемой поверхности увеличивается в 1,5–2,0 раза.

Критическая величина износа резца существенно зависит от диапазона изменения твердости обрабатываемых заготовок. При режимах резания  $S =$

0,25 мм/об,  $t = 0,1$  мм,  $v \approx 2$  м/с она составляет 0,3 и 0,25 мм для заготовок твердостью 59–60 и 56–60 HRC соответственно.

Амплитуды низкочастотных колебаний резца (частоты  $f_1$ – $f_6$ ) могут быть использованы в качестве диагностических параметров, так как характер их изменения с течением времени резания позволяет установить момент достижения резцом критической величины износа.

*Встановлено вплив зносу інструменту на вібрації різця з круглою ріжучою пластиною із композиту на основі КНБ при чистовому точінні загартованих сталей різної твердості. Показано вплив вібрацій на шорсткість оброблюваної поверхні.*

**Ключові слова:** *точіння загартованих сталей, вібрації, круга ріжуча пластина, композит на основі КНБ, спектральний аналіз.*

*It has been found out that wear of a cutting tool with an insert of cBN-based composite material has an effect on the tool vibrations in finish turning of hardened steels with various hardness values. The influence of the tool vibrations on the machined surface roughness has been studied.*

**Keywords:** *turning of hardened steels, vibrations, round cutting insert, cBN-based composite, spectral analysis.*

1. Девин Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента – Киев: Наук. думка, 1992. – 131 с.
2. Васин С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. – М.: Машиностроение, 2006. – 384 с.
3. Петруша А. І., Осипов О. С., Смірнова Т. І. та ін. Різальний композит кубічного нітриду бору з низько модульною добавкою жароміцного нітриду кремнію // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сб. науч. тр. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 206–212.
4. Стахнив Н. Е., Девин Л. Н., Петруша И. А., Осипов А. С. Динамические явления при чистовом точении закаленных сталей инструментом из композита на основе КНБ // Сверхтв. материалы. – 2009. – № 3. – С. 75–83.

Ин-т сверхтвердых материалов  
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 01.06.09