

УДК 621.941:681.586

Л. Н. Девин, д-р техн. наук, Н. Е. Стахнив, канд. техн. наук

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

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ СТВ

Разработана информационно-измерительная система исследования процессов тонкого и чистового точения труднообрабатываемых материалов инструментом из поликристаллов сверхтвердых материалов.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, сила резания, вибрации, инструмент из поликристаллов сверхтвердых материалов.

Ученые Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины создали информационно-измерительную систему исследования процесса резания (рис. 1) [1], необходимую для контроля сил резания и вибраций при чистовом и тонком точении инструментами из поликристаллов сверхтвердых материалов. Система состоит из высокоточного токарного станка ТКП-125ВМ с ЧПУ «Электроника CNC», динамометра УДМ-100 (три канала для измерения составляющих силы резания P_x , P_y , P_z), блока усилителей «Топаз», акселерометра KD 35а фирмы «Metra Mess und Frequenztechnik» (Германия) с согласующим усилителем, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) ADA 1406 фирмы «HOLIT Data Systems» и компьютера IBM.

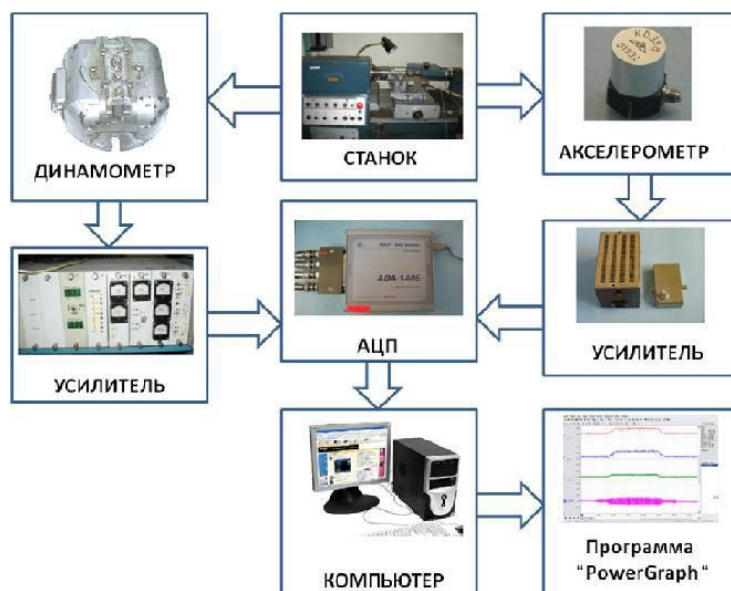


Рис. 1. Блок-схема системы исследования резания

Составляющие силы резания P_x , P_y , P_z измеряли динамометром УДМ-100. Тензометрические датчики динамометра соединены в схему моста Уинстона и являются частью измерительного усилителя блока «Топаз». Сигналы, пропорциональные составляющим силы резания, поступают в аналого-цифровой преобразователь. Каждый усилитель снабжен индикатором и переменными резисторами для балансировки и

настройки необходимого диапазона сигнала. Рабочий диапазон частот измерения составляющих силы резания – до 100 Гц.

Вибрации в процессе резания измеряли акселерометром KD 35a с рабочим диапазоном частот 10–10000 Гц. Акселерометр закрепляли в нижней части резца максимально приближенно к зоне резания (рис. 2). Акселерометр имеет большое выходное сопротивление, поэтому для его согласования с АЦП разработали специальный усилитель и блок питания (рис. 3, а). Усилитель состоит из двух каскадов, собранных на современных операционных усилителях OPA2604. Электрическая принципиальная схема согласующего усилителя показана на рис. 3, б.

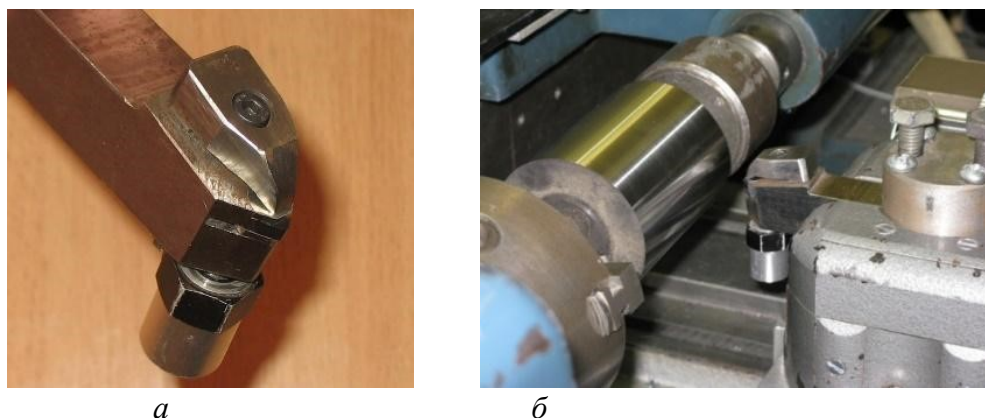


Рис. 2. Общий вид резца с датчиком ускорения (а) и крепления в динамометре (б)

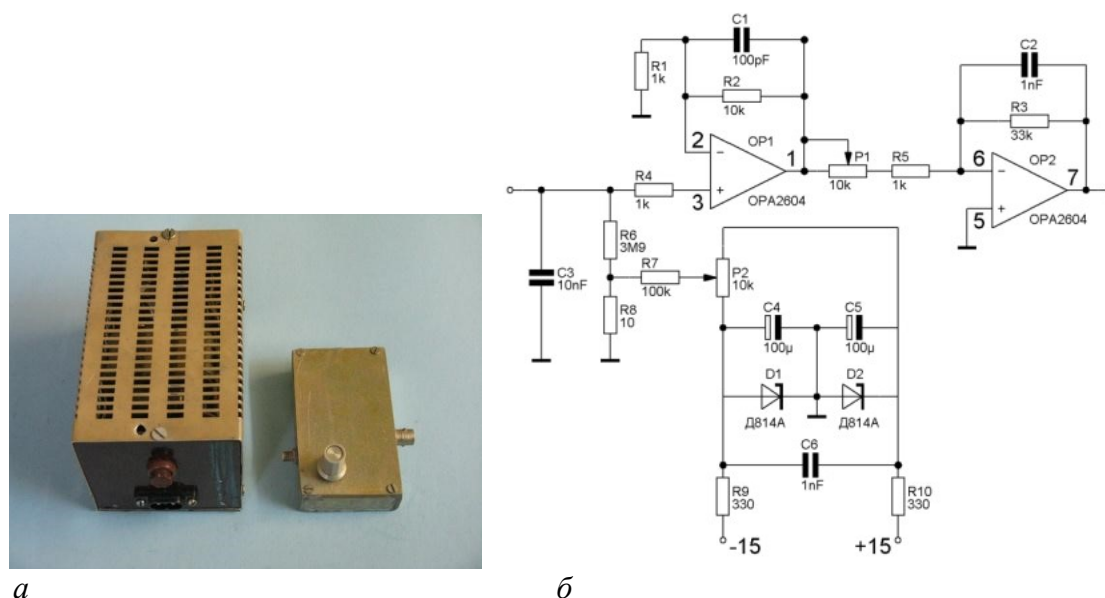


Рис. 3. Общий вид усилителя и блока питания акселерометра (а), и схема усилителя (б)

Сигналы от динамометра и акселерометра через усилители поступали на АЦП ADA-1406, соединенный с ПК USB кабелем. Максимальная частота опроса входных каналов АЦП – 350 кГц.

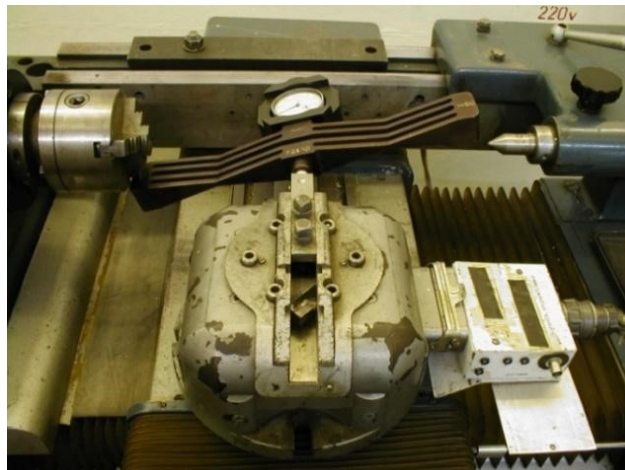
Управляли АЦП ADA 1406 с помощью программы «PowerGraph» [2; 3], которая позволяла оператору в реальном времени наблюдать за процессом резания на экране компьютера, а по окончании эксперимента записать на жесткий диск не только результаты, но и настройки по каждому измерительному каналу. При этом с помощью программы «PowerGraph» выполняли предварительную обработку результатов измерений.

Особенности градуировки системы

Максимальная точность измерений на разработанной системе обеспечивается в результате тщательной градуировки динамометра. Для градуировки использовали эталонный динамометр ДОСМ-3. Градуировку динамометра УДМ-100 выполняли независимо по каждой составляющей силы резания (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Общий вид размещения эталонного динамометра при градуировке динамометра УДМ-100 для составляющих P_z (а) и P_y (б)

Рассмотрим особенности использования программы управления «PowerGraph» при градуировке составляющей P_z . Эталонный динамометр размещали на станке в соответствии с рис 4,а. С помощью эталона несколько раз нагружали динамометр УДМ 100, прикладывая фиксированные силы 0, 100, 200, 300, 400 и 500 Н (рис. 5).

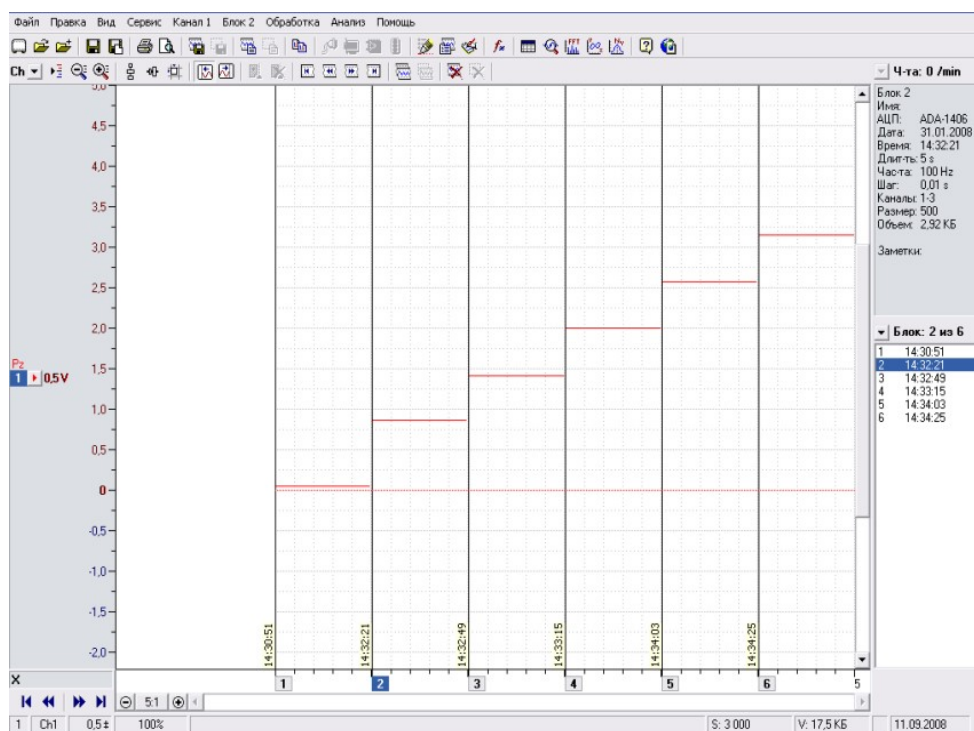


Рис. 5. Окно программы «PowerGraph» при градуировке составляющей P_z

После каждого нагружения динамометра с помощью программы «PowerGraph» записывали результаты. Всего записали 6 блоков данных. Каждый блок имел фиксированную длительность, а значит, одинаковое количество измерений. Такие условия опроса АЦП обеспечивались программно («PowerGraph») с помощью стоп-триггера в меню синхронизации. Таким образом, общее количество измерений составило 1000.

Программа «PowerGraph» позволила выполнить необходимую математическую и статистическую обработку данных в два этапа. На первом этапе выполняли коррекцию данных на величину погрешности установки нуля. Для этого использовали данные первого блока, где было записано выходное напряжение без нагрузки, т.е. среднее арифметическое напряжения в первом блоке соответствовало погрешности установки нуля. В дальнейшем от всех полученных данных это значение отнимали. На втором этапе для каждого блока рассчитывали средние значения P_x , которые в дальнейшем использовали для построения графика и расчета коэффициента градуировки.

Особенности предварительной обработки данных

Графически три составляющие силы резания и сигнал акселерометра после обработки с помощью программы «PowerGraph» для одного эксперимента изображены на рис. 6.

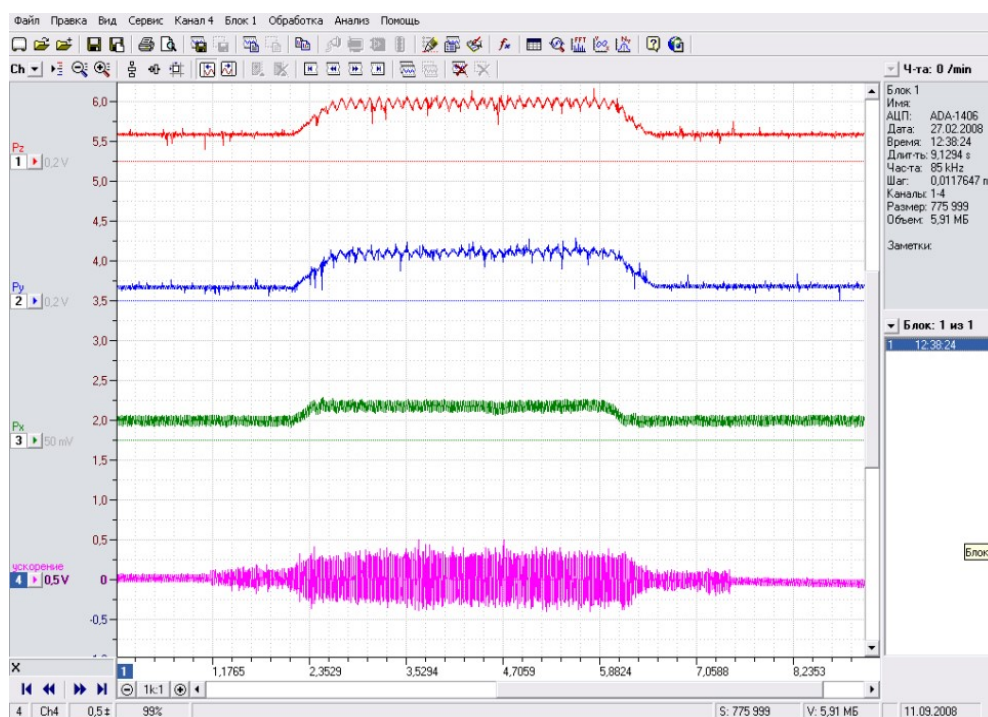
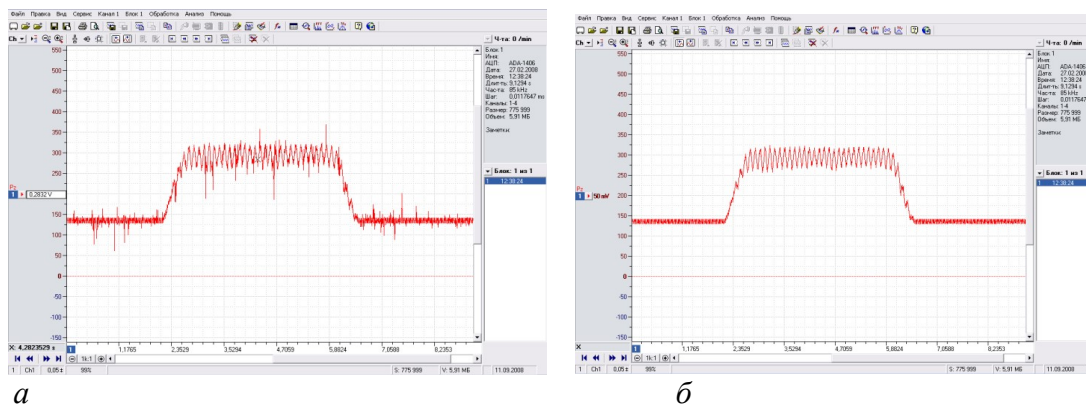


Рис. 6. Графическое отображение результатов одного эксперимента

Полученные данные по каждому каналу фильтровали, исключая случайные выбросы. Для этого использовали операцию «Noisefilter». Пример фильтрации сигналов составляющей силы резания P_z показан на рис. 7, где видна эффективность фильтрации с помощью «PowerGraph».



а б
Рис. 7. Использование «NoiseFilter» для P_z до фильтрации (а) и после нее (б)

С помощью операции калибровки «Calibrate» сигнал программно сместили для исключения систематической погрешности и умножали на коэффициент градуировки. В результате получили графики изменения составляющих силы резания в единицах СИ (Н).

Двойное использование опции «Magnitude» (корень суммы квадратов) позволило рассчитать равнодействующую силу R для каждой точки и таким образом построить график ее изменения во времени.

Записанные графики при необходимости разбивали и отдельно выделяли специфические участки резания. Например, на графике составляющей силы резания (рис. 8) выделили пять таких участков: подвод резца к детали, врезание, стационарное резание и выход инструмента из детали. Каждая выделенная область становится самостоятельным блоком данных, который хранится отдельно в виде текстового файла, что особенно удобно для дальнейшей обработки, например, в среде «Mathcad».

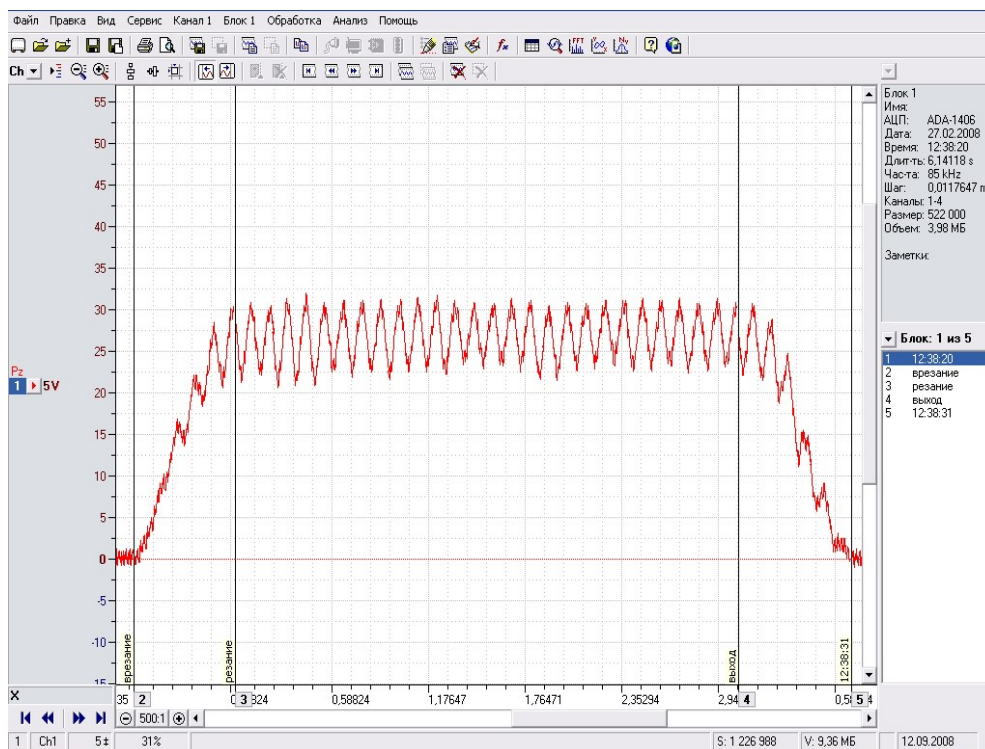


Рис. 8 Разбивка графика сил на этапы резания

Для исследования процесса резания рассчитывали статистические характеристики процесса, которые относятся к стационарному резанию: средние значения и среднеквадратические отклонения составляющих и равнодействующей силы резания.

Пример применения разработанной системы для выбора режимов резания с вибрационной устойчивостью

Для увеличения стойкости инструмента при динамических нагрузках в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан режущий композиционный материал на основе кубического нитрида бора, содержащий низко модульную химически инертную к нитриду бора добавку нитрида кремния cBN/Si₃N₄ [4].

Экспериментальные исследования выполняли при чистовом точении образца из закаленной стали ХВГ твердостью 60–62 HRC. Резец с механическим креплением круглой режущей пластины диаметром 7 мм имел передний угол $\gamma = -10^\circ$ и задний угол $\alpha = 10^\circ$. Экспериментальная серия состояла из шести опытов. Скорость и глубина были фиксированы: соответственно $V = 2$ м/с; $t = 0,1$ мм. Изменение подачи обуславливало многообразие динамических явлений при обработке (от отсутствия до наличия максимальных автоколебаний). Использовали следующие дискретные значения подачи S : 0,021; 0,042; 0,083; 0,125; 0,166; 0,208 мм/об.

Характерные амплитудно-частотные спектры силы резания P_y показаны на рис. 9. Как видим, при $S = 0,125$ мм/об P_y содержит две доминирующие частоты – $f_1 = 4,57$ Гц и $f_2 = 11,61$ Гц (рис. 9, а), а при $S = 0,208$ мм/об – одну $f_1 = 4,46$ Гц (рис. 9, б). Следует также отметить, что частота $f_2 = 11,65 \pm 0,14$ Гц с высокой точностью совпадает с частотой вращения шпинделя, которая в данных экспериментах составила $11,7 \pm 0,2$ Гц.

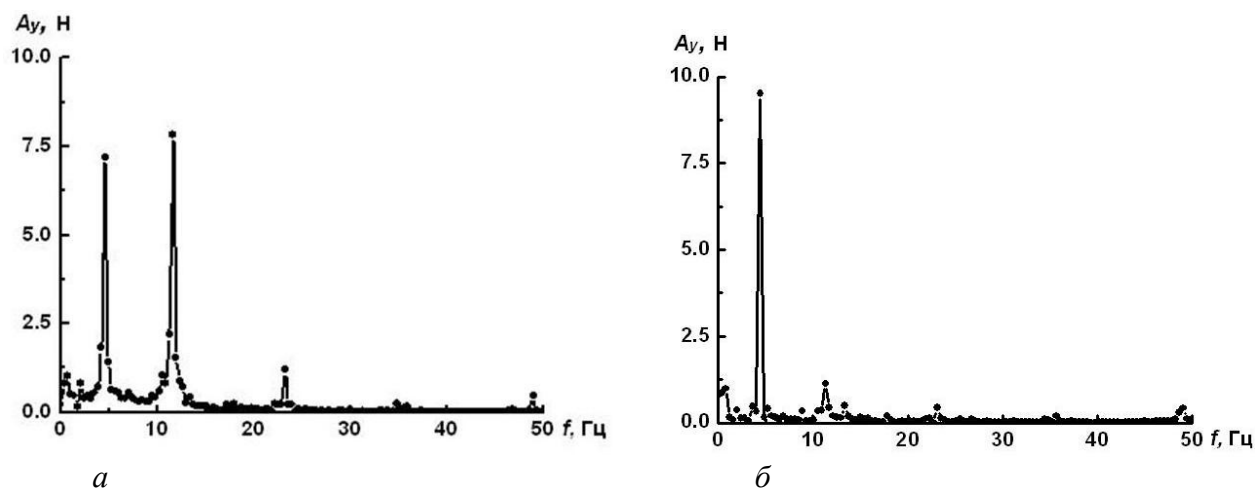


Рис. 9. АЧХ силы P_y при $S = 0,125$ мм/об (а) и $S = 0,208$ мм/об (б)

Характерные спектры сигналов акселерометра показаны на рис. 10. Амплитуда вибраций прямо пропорциональна выходному напряжению. Как видим, при $S = 0,125$ мм/об. доминирующие частоты вибраций составляют 446,2; 902,7; 1359,3 1629,7; 2762,1; 6211,3 Гц (рис. 10, а), при $S = 0,208$ мм/об – 2763,2 и 6212,4 Гц (рис. 10, б).

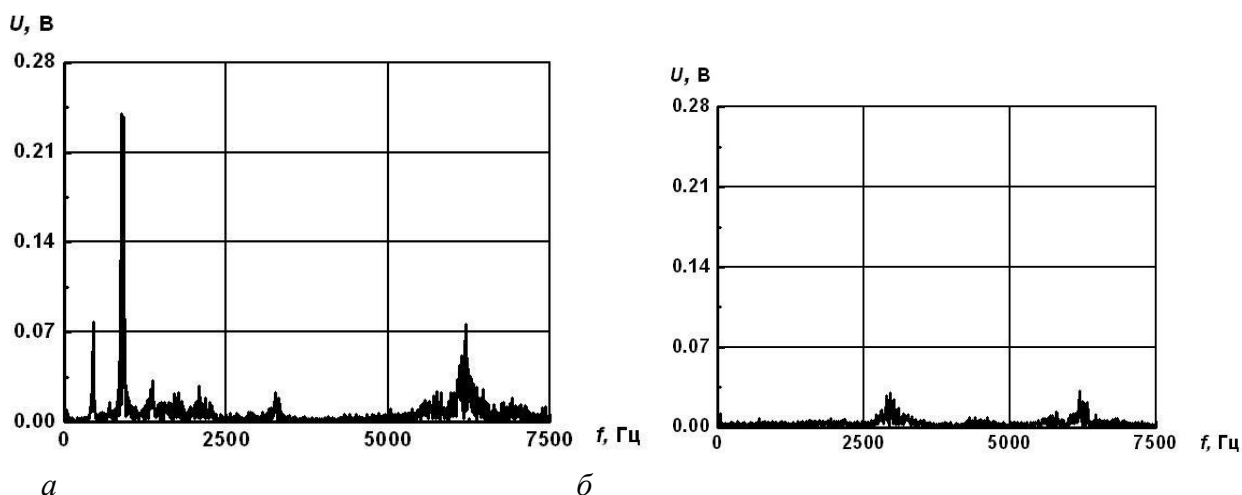


Рис. 10. Спектр выходного напряжения акселерометра при режимах обработки: $V = 2$ м/с; $t = 0,1$ мм; $S = 0,125$ мм/об (а); $S = 0,208$ мм/об (б)

Из анализа спектров сигналов акселерометра следует, что при варьировании подачи наиболее существенно изменяется амплитуда на частоте $902,7 \pm 10,5$ Гц. В этой связи для анализа вибраций, возникающих в процессе обработки, целесообразно измерять амплитуду на этой частоте.

На основании полученных данных было установлено влияние подачи на АЧХ колебаний, которые характеризуют динамические явления при резании.

Проанализировав влияние подачи на изменение шероховатости поверхности (рис. 11, а), установили режимы точения, приводящие к вибрационной неустойчивости резания. Минимальная шероховатость Ra и соответственно максимальная вибрационная устойчивость соответствовали подаче $0,208$ мм/об. На основании дальнейшего сопоставления шероховатости Ra подачи можно расположить в ряд: $0,166 - 0,021 - 0,042 - 0,083 - 0,125$ мм/об.

Информация о колебательных процессах содержится также в осциллограммах составляющих силы резания. Для выявления этой информации были построены графики влияния подачи на амплитуды составляющих и равнодействующую силы резания, соответствующие частотам $f_1 = 4,50 \pm 0,08$ Гц (см. рис. 4, а) и $f_2 = 11,65 \pm 0,14$ Гц (рис. 12). В результате совместного анализа графиков на рис. 11, а и рис. 12 установили, что между шероховатостью поверхности Ra и амплитудой A_2 составляющей силы резания P_y на частоте $f_2 = 11,85 \pm 0,2$ Гц наблюдается корреляционная связь.

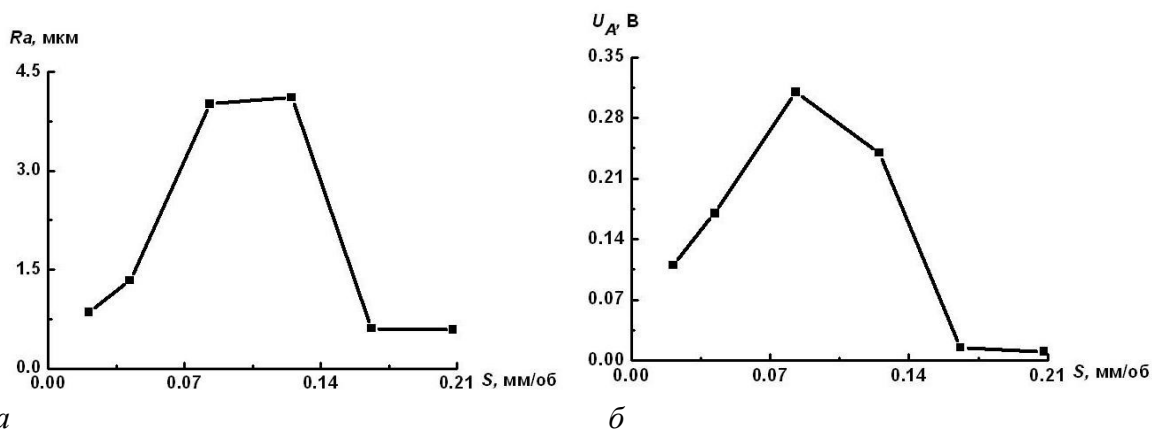


Рис. 11. Графики влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности Ra (а) и амплитуду напряжения акселерометра на частоте $902,7 \pm 10,5$ Гц – (б) при $V = 2$ м/с; $t = 0,1$ мм

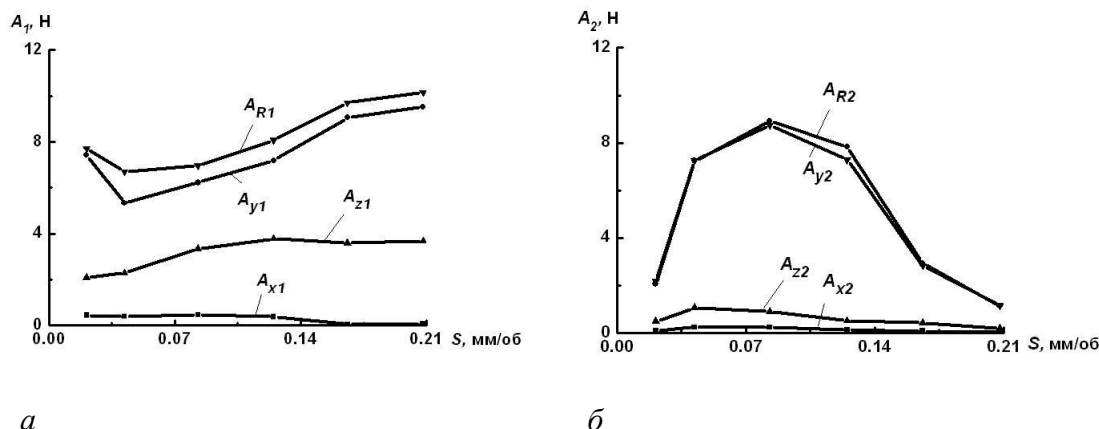


Рис. 12. Графики влияния подачи на амплитуды составляющих и равнодействующей силы резания, соответствующих частотам $f_1 = 4,50 \pm 0,08$ Гц – (а) и $f_2 = 1,65 \pm 0,14$ Гц – (б) при $V = 2$ м/с; $t = 0,1$ мм

Колебания составляющей силы резания P_y на частоте f_2 обусловлены эксцентricностью припуска. Учитывая, что во всех опытах припуск был примерно одинаковой, предположим, что при подачах $S = 0,083$ и $0,125$ мм/об неравномерность припуска более $0,02$ мм инициирует возникновение автоколебаний, амплитуды которых достигают значительных значений. При подачах $S = 0,166$ мм/об. и $S = 0,208$ мм/об неравномерность припуска $0,02$ мм автоколебаний не вызывает, т. е. наблюдается вибрационная устойчивость обработки. Подачи $S = 0,021$ мм/об. и $0,042$ мм/об занимают промежуточное положение, т.е. обработка сопровождается автоколебаниями, амплитуда которых еще не достигла критических значений.

Выводы

1. Создана информационно-измерительная система для исследования процесса резания, эффективная при определении оптимальных условий и режимов обработки.
2. При точении закаленной стали ХВГ (твердостью 60–62 HRC) круглыми пластинами из композита кубического нитрида бора cBN/Si₃N₄ с постоянной скоростью и глубиной резания наблюдались автоколебания с различной амплитудой, величина и характер которых зависели от подачи и проявлялись на профилограммах обработанных поверхностей, спектрах составляющих силы резания и амплитуд акселерометра.
3. Для достижения вибрационной устойчивости процесса резания закаленной стали ХВГ (твердостью 60–62 HRC) резцами с круглыми пластинами из композита на основе кубического нитрида бора cBN/Si₃N₄ следует выбирать такие условия резания, при которых колебания силы резания на частоте вращения шпинделя минимальны. Это условие обеспечивается при скорости резания $V = 2$ м/с, глубине $t = 0,1$ мм и подаче $S = 0,166–0,208$ мм/об.

Розроблено інформаційно-вимірювальну систему дослідження процесів тонкого і чистового точіння важкооброблюваних матеріалів інструментом з полікристалів надтвердих матеріалів.

Ключові слова: *інформаційно-вимірювальна система, сила різання, вібрації, інструмент з полікристалів надтвердих матеріалів.*

Information-measuring system was developed for studying the processes of fine and finish turning of hard materials tool of polycrystalline superhard materials.

Key words: *information-measuring system, the cutting force, vibration, cutting tool of polycrystalline superhard materials.*

Литература

1. Девин Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. – К.: Наук. думка, 1992. – 131 с.
2. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета PowerGraph для исследования процесса резания // Промышленные измерения и контроль, автоматизация, диагностика. – 2008. – №3. – С. 24–26.
3. Измайлов Д. Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph // Промышленные измерения и контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. – №3. – С. 42–45.
4. Різальний композит кубічного нітриду бору з низько модульною добавкою жароміцного нітриду кремнію І. А. Петруша, О. С. Осіпов, Т. І. Смирнова та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 206–212.

Поступила 06.05.13