

УДК 621.924

В.А. Залого, д-р техн. наук, В.В. Нагорный, Сумы, Украина

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ И СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО ЗВУКУ, СОПРОВОЖДАЮЩЕМУ ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Ефективність діагностики та оптимізація процесу різання цілком і повністю визначається інформативністю контрольованих параметрів. На практиці доводиться істотно обмежувати обсяг діагностичної інформації. Тому існує завдання вибору контрольованого параметра, що дозволяє в умовах промислового виробництва ефективно оцінювати якість металообробки. Вибору подібного параметра - звукового сигналу, супроводжуючого процес різання, і присвячена ця стаття. В результаті розрахунково-експериментальних досліджень встановлено, що частотні та часові параметри звуку, що виникає при різанні, тісно корреліровані з шорсткістю обробленої поверхні і із зміною геометричних параметрів леза інструменту.

Эффективность диагностики и оптимизация процесса резания целиком и полностью определяется информативностью контролируемых параметров. На практике приходится существенно ограничивать объем диагностической информации. Поэтому существует задача выбора контролируемого параметра, позволяющего в условиях промышленного производства эффективно оценивать качество металлообработки. Выбору подобного параметра – звукового сигнала, сопровождающего процесс резания, и посвящена данная статья. В результате расчетно-экспериментальных исследований установлено, что частотные и временные параметры звука, возникающего при резании, тесно коррелированы с шероховатостью обработанной поверхности и с изменением геометрических параметров лезвия инструмента.

Diagnostic efficiency and optimization of the cutting process entirely determined informative controlled parameters. Naturally, the more subject to the control parameters, the more precisely controlled state of the technological system of metal. However, in practice it is essential to limit the amount of diagnostic information. The fact that the actual process system unlike laboratory research facility does not permit a plurality of sensors to produce the desired amount of the original information. Therefore, there is the problem select the parameter that allows an industrial production to effectively assess the quality of metalworking. Choice of this parameter-beep accompanying the cutting process, the focus of this article. The article shows that the frequency and timing of sound produced when cutting is closely correlated with the roughness of the treated surface. The availability of this correlation allows simultaneous control in the mode of present time is not only the quality of workpiece (surface finish), but also the condition of the cutting tool, as roughness is a "mirror image" state of the cutting blade tool, responsive to changes in the process of cutting its geometry, as well as to changes in the dynamic state of practically all other elements of the technological system.

Введение. Опыт эксплуатации технологических систем, созданных на основе автоматизированных станков, показывает, что надежность их зачастую недостаточна [1]. Простой из-за отказов их элементов, поиск повреждений и брак продукции могут существенно снижать эффективность производственных процессов. Поэтому при создании производительных

обрабатывающих систем, особенно многофункциональных, гибких, необходимо использовать специальные диагностические устройства, которые могут осуществлять надежный автоматический контроль состояния ее основных узлов и процессов, реализующихся с ее помощью. При этом особое внимание в первую очередь необходимо уделять оценке (желательно прогнозной) работоспособности режущего инструмента, так как справедливо полагается [2,3,4], что несвоевременное обнаружение отказов инструмента может иметь самые различные последствия – от появления брака до аварии станка.

При этом необходимо иметь ввиду то важное обстоятельство, что контроль состояния инструмента, в общем-то, не должен являться самоцелью. В первом приближении контроль состояния инструмента позволяет только косвенно оценивать качество тех или иных показателей выполняемой с его помощью операции резания [5]. Главную же роль при этом должен играть контроль качества обрабатываемых поверхностей детали и их расположения относительно друг друга. Следует иметь ввиду и то обстоятельство, что при создании обрабатывающей системы крайне желательно обеспечивать прогнозную оценку качества детали, которая бы позволяла не фиксировать брак (неважно - он исправимый или неисправимый), а практически исключать его возникновение. Известно [3-5], что одним из управляемых и диагностируемых критериев, обуславливающих большинство качественных показателей обработанных поверхностей детали и позволяющих на их основе оптимизировать процесс резания, является износ инструмента. При этом эффективность диагностики качества обработки и оптимизация процесса резания целиком и полностью определяется информативностью контролируемых параметров. Естественно, чем больше параметров подвергается контролю, тем более точно контролируется состояние всех элементов технологической обрабатывающей системы, и, в первую очередь, качество детали.

Однако на практике приходится существенно ограничивать объем диагностической информации. Дело в том, что реальная технологическая система в отличие от лабораторной исследовательской установки не допускает размещения потребного (достаточно большого) количества датчиков для получения всей необходимой для прогноза и оптимизации всей исходной информации.

Поэтому существует задача выбора такого контролируемого параметра, который позволил бы в условиях промышленного производства с минимальными дополнительными затратами эффективно оценивать одновременно как качество процесса металлообработки, так и состояние режущего инструмента.

Целью данной статьи является разработка методологических основ выбора подобного параметра.

Постановка проблемы. Традиционно, качество металлообработки в производственных условиях, как правило, характеризуется уровнем шероховатости обработанной поверхности детали [6]. При этом под шероховатостью понимается совокупность неровностей с относительно малыми шагами, приходящаяся на определённую (базовую) длину этой поверхности [7].

Известно [3-5], что шероховатость поверхностей деталей в процессе их обработки в наибольшей степени зависит:

- от принятого метода и режима обработки;
- условий охлаждения и смазки инструмента;
- химического состава, микроструктуры и свойств обрабатываемого материала;
- конструкции, геометрии и стойкости режущего инструмента;
- типа и состояния используемого оборудования, приспособлений.

В общем случае все причины возникновения шероховатости при резании на принятых режимах можно условно разбить на 3 группы:

- количество и расположение режущих кромок инструмента относительно обрабатываемой поверхности, и их геометрические параметры;
- упругая и пластическая деформация обрабатываемого металла;
- вибрации в технологической станочной системе.

Как правило, шероховатость возникает в результате одновременного и почти равнозначного воздействия всех указанных причин, вследствие чего она не имеет четко выраженных закономерностей. Вместе с тем, нередки случаи, когда преобладающее влияние на формирование шероховатости поверхности шероховатости (характер и ее величину) оказывает только одна из указанных групп причин.

Образование неровностей обработанной поверхности, например, при точении с учетом только геометрического фактора, т.е. без учета влияния на этот параметр возможных деформационных процессов, можно представить [2-4 и др.], как след от движения режущих кромок инструмента в движениях подачи D_s и главного движения D_r (рис.1). Параметр шероховатости $R_{Z\text{ расч}}$ в этом случае описывается формулами [8]:

- при $r_g = 0$ (рис.1а) -

$$R_{Z\text{ расч}} = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}, \text{ мкм}, \quad (1)$$

- при $r_g \neq 0$ (рис.1б) -

$$R_{Z\text{ расч}} = r_g - r_g \sqrt{1 - \frac{S^2}{4r_B^2}} \approx \frac{S^2}{8r_B}, \text{ мкм}. \quad (2)$$

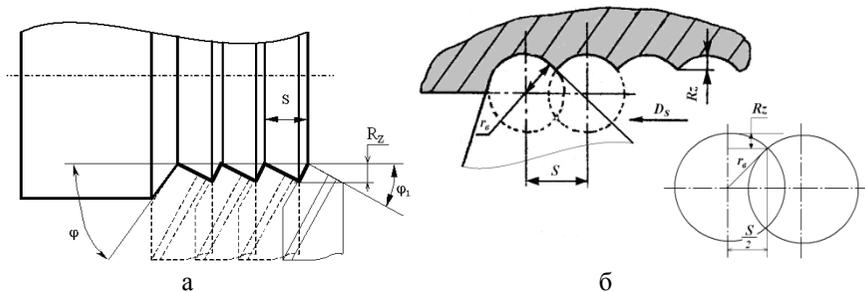


Рисунок 1– Схема образования профиля шероховатости при нулевом радиусе вершины лезвия (а) и при наличии радиуса при вершине резца (б)

В реальном процессе резания перед лезвием и под обработанной поверхностью образуется зона пластической деформации [2-4 и др.], которая вносит некоторую погрешность в регулярный профиль. Опыт показывает [2-3 и др.], что при обработке резанием пластичных металлов (сталей, особенно нержавеющей, алюминия и др.) высота микронеровностей может несколько увеличиваться, а при обработке хрупких материалов (чугунов, бронз и др.) – уменьшаться. Определенное влияние на форму и высоту микронеровностей, обуславливающих уровень шероховатости при обработке, в значительной мере зависит также как от принятых условий (режимов) обработки, так и от динамического состояния (вибрационных процессов) системы резания. В различных условиях обработки пластические и упругие деформации обрабатываемого материала и вибрация искажают геометрически правильную форму неровностей (рис. 1), нарушают их закономерное распределение на поверхности и в значительной степени могут изменять их форму и высоту. Потому реальное значение R_z может быть записано как:

$$R_{z\text{факт}} = R_z = R_{z\text{расч}} \pm \Delta R_z, \text{мкм} \quad (3)$$

где ΔR_z – приращение (+) или уменьшение (–) высоты микронеровностей, вызванное упругопластическими деформациями, вибрациями и другими особенностями процесса резания.

Таким образом, процесс возникновения неровностей вследствие геометрических причин принято трактовать как копирование на обрабатываемой поверхности траектории движения и формы режущих лезвий. С геометрической точки зрения величина, форма и взаимное расположение неровностей (направление обработочных рисок) определяются формой и состоянием лезвия режущего инструмента, а также теми

элементами режима резания, которые влияют на изменение как траектории движения инструмента относительно обрабатываемой поверхности, так и динамического состояния соответствующих элементов обрабатываемой системы.

Траектория движения лезвия при точении, сверлении и некоторых других процессах представляет собой винтовой след, оставляемый лезвием, а профиль шероховатости является мгновенным «слепок» формы лезвия с учетом его упругопластического и динамического взаимодействия со срезаемым слоем и поверхностями (резания и обработанной) на обрабатываемой заготовке (рис.2).

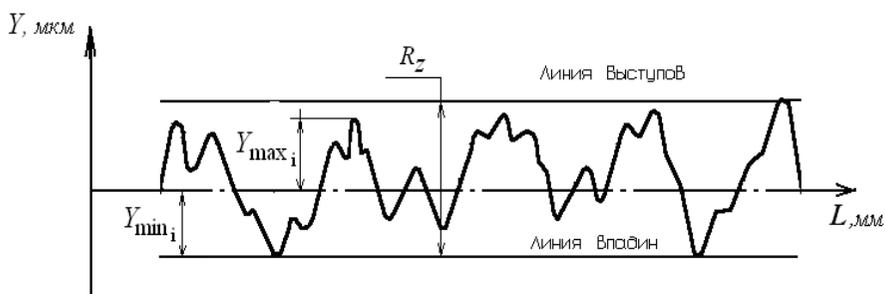


Рисунок 2 – Реальный (фактический) профиль шероховатости, формируемый при движении лезвия инструмента вдоль траектории его движения (винтовой линии) на пути резания L

Причем, что особенно важно, этот «слепок» копирует все особенности изменения как геометрии режущего лезвия (его изношенность, нарост и т.п. [4]), так и упругопластическую деформацию обработанной поверхности детали в процессе её обработки и динамического состояния системы. По сути дела, шероховатость является «зеркальным отображением» режущего лезвия инструмента и чутко реагирует на изменение его геометрии и кинематики движения при условии, что параметры режима резания и другие исходные данные остаются при этом неизменными.

В определённом приближении процесс обработки можно сопоставить с процессом записи информации (звукового сигнала) на поверхности покрытого воском вращающегося валика в фонографе Эдисона [9] (рис.3).

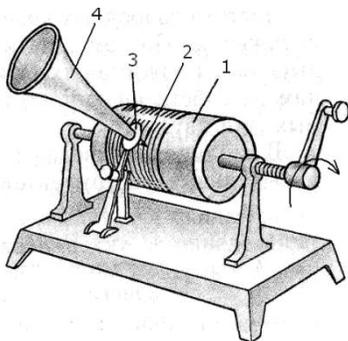


Рисунок 3 – Фонограф Эдисона:
 1-валик, покрытый воском (деталь); 2- игла (резец);
 3-мембрана (датчик);
 4- рупор (усилитель сигнала)

При точении деталь играет роль валика, а резец – иглы. В случае использования современных регистрирующих устройств (микрофона и усилителя) их можно сопоставить с тогдашними устройствами – мембраной и рупором.

При резании происходит двуединый процесс генерации звука и одновременной записи его на поверхности детали. Следовательно, контроль звукового сигнала позволяет одновременно косвенно оценивать качество обработки детали и состояние режущего инструмента, причем в режиме текущего времени.

Таким образом, можно утверждать, что шероховатость является своеобразным кумулятивным (итоговым) параметром, характеризующим колебания технологической системы, характеристики которых «записываются» в точке контакта инструмента с деталью. Поэтому установим взаимосвязь этих колебаний и порождаемого ими звука.

Взаимосвязь колебаний технологической системы с возникающим при этом звуком. Давление звукового поля, генерируемого колеблющейся поверхностью, определяется из следующего выражения [10]:

$$E_{зв} = V\rho C, \text{ Па} \quad (4)$$

где V – скорость колебаний поверхности м/с ;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

C – скорость звука в воздухе, м/с.

Пространственное звуковое поле, возникающее при работе технологической системы, характеризуется пространственным вектором звукового давления $\vec{E}_{зв\Sigma}$, являющимся векторной суммой векторов звуковых давлений, генерируемых каждым из узлов и элементов технологической системы $\vec{E}_{звi}$:

$$\bar{E}_{3B\Sigma} = \sum \bar{E}_{3Bi}, \text{Па} \quad (5)$$

Пространственные колебания поверхности технологической системы, порождающие звуковое поле, определяются законом пространственных колебаний её центра масс $\bar{\xi}_{\Sigma}$. Эти колебания описываются пространственным вектором ускорения, равным векторной сумме ускорений центров масс отдельных узлов и элементов технологической системы:

$$\bar{\xi}_{\Sigma} = \sum \frac{m_i}{M} \bar{\xi}_i, \text{м/с}^2 \quad (6)$$

Свяжем *главные векторы* звукового давления $\bar{E}_{3B\Sigma}$ и ускорения центра масс $\bar{\xi}_{\Sigma}$ друг с другом, для чего перепишем (6), выразив ускорение центра масс i -того элемента через скорость его колебаний, а массу элемента - через его объём \mathcal{G}_i и удельную плотность ρ :

$$\bar{\xi}_{\Sigma} = \sum \frac{\mathcal{G}_i \rho}{M} \bar{V}_i \omega_4 = \sum \frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}_{\Sigma}} \bar{V}_i \omega_4 = \frac{\omega_4}{K} \sum \bar{V}_i, \text{м/с}^2 \quad (7)$$

где \mathcal{G}_{Σ} – суммарный объём, занимаемый технологической системой;

K – количество частей, равных по объёму и массе, на которые условно разделена технологическая система;

ω_4 – центральная (эффективная) частота спектра колебаний технологической системы, с^{-1} .

Частота ω_4 является координатой по оси частот центра тяжести частотного спектра:

$$\omega_{Ц} = \frac{\sqrt{\int_{\omega_H}^{\omega_B} D(\omega) d\omega}}{\bar{\xi}_{\Sigma}}, \text{с}^{-1} \quad (8)$$

где $D(\omega)$ – дисперсия ускорения центра масс технологической системы, приходящаяся на i -тую частоту спектра, $\text{м}^2/\text{с}^4$;

$\bar{\xi}_{\Sigma}$ – модуль ускорения центра масс технологической системы, м/с^2 ;

ω_H, ω_B – нижняя и верхняя частоты спектра колебаний центра масс, c^{-1} .

Посредством (4) и (5) выразим сумму скоростей $\sum \vec{V}_i$ в (7) через главный вектор давления звукового поля $\vec{E}_{3B\Sigma}$.

$$\vec{\xi}_{\Sigma} = \alpha \vec{E}_{3B\Sigma}, \text{ м/с}^2 \quad (9)$$

где $\alpha = \frac{\omega_c}{K\rho C}$ – коэффициент размерности, обратный по величине поверхностной плотности конструкции технологической системы, $\text{м}^2/\text{кг}$.

Так как коэффициент α является скалярной величиной, то из (9) можно сделать вывод, что *главные векторы* ускорения центра масс технологической системы и порождаемого этими колебаниями звукового поля отличаются по модулю, но совпадают по направлению. Это говорит о том, что путем контроля звукового давления можно отслеживать динамическое поведение технологической системы.

Данное обстоятельство наглядно показано на рис. 4, где на фоне токарного станка изображена его динамическая модель с сосредоточенными параметрами.

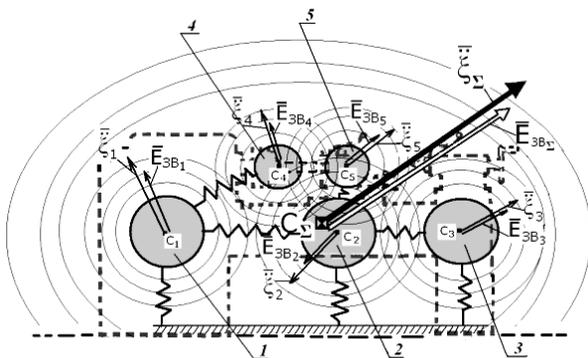


Рисунок 4– Соотношение между векторами, описывающими колебания динамической модели токарного станка, и генерируемые эти колебаниями звуковыми полями: 1- передняя бабка; 2- станина станка; 3- задняя бабка; 4- шпиндель с деталью; 5- суппорт

В практике резания параметр шероховатости R_Z можно вычислить [11], как среднее арифметическое суммы 5-ти, находящихся в пределах базовой длины, максимальных положительных Y_{max_i} и отрицательных Y_{min_i} отклонений от средней линии профиля (см. рис. 3):

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 Y \max_i + \sum_{i=1}^5 |Y \min_i|}{5}, \text{ мкм.} \quad (10)$$

Отклонение профиля Y , по сути дела, является векторной величиной, характеризующей пространственную ориентацию профиля шероховатости. Вектор \bar{Y} можно определить, как векторную разницу векторов, характеризующих ускорения шпинделя с деталью (масса 4) и суппорта (масса 5) или как векторную разницу векторов звуковых полей, генерируемых при колебаниях этих же элементов технологической системы:

$$\bar{Y} = \frac{\bar{\xi}_4 - \bar{\xi}_5}{\omega_{II}^2} = \frac{\alpha}{\omega_{II}^2} (\bar{E}_{3B_4} - \bar{E}_{3B_5}), \text{ мкм.} \quad (11)$$

Профиль шероховатости, рассчитанный по формуле (11) применительно к динамической модели технологической системы на базе токарного станка 16К20Т1 (рис. 4), приведен на рис. 5. В расчётах полагалось, что величина звукового давления соответствовала его типовому значению 90 дБ [12], что соответствует 0.6 Па.

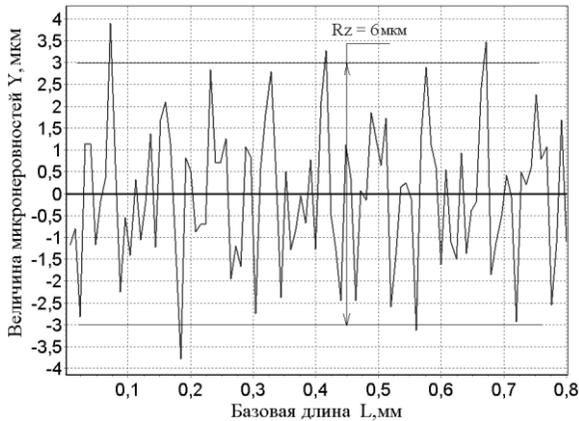


Рисунок 5 – Профиль шероховатости, рассчитанный при анализе колебаний динамической модели станка 16К20Т1

Степень взаимосвязи звука и шероховатости поверхности детали была исследована экспериментально на примере технологической системы этого же токарного станка.

Экспериментальное исследование связи между звуком и шероховатостью. Целью эксперимента являлось установление зависимости между звуком, сопровождающим продольное точение (обтачивание [13]), и шероховатостью обработанной поверхности. Эксперимент проводился на токарном станке 16К20Т1 на режимах, приведенных в табл. 1.

Таблица 1 – Режим резания и материалы заготовки и реза

Режим резания				Материал	
Обороты шпинделя n , об/мин	Скорость резания V , м/мин	Глубина резания t , мм	Подача S , мм/об	Резец	Заготовка
970	90	0.3	0.25	T15K6	Сталь 40X

В эксперименте шероховатость оценивалась по параметру R_a , измерения которого проводились периодически через каждые пять проходов реза. Результаты измерений фиксировались посредством стрелочного индикатора профилометра типа 283 и дополнительно записывались на ноутбук (рис. 6).



Рисунок 6 – Регистрация параметра шероховатости R_a посредством профилометра типа 283 и ноутбука

Измерение звукового сигнала осуществлялось в непосредственной близости от зоны резания с помощью микрофона, установленного на державке реза (рис. 7).

Звуковые сигналы фиксировались на протяжении всего процесса резания на устройство памяти ноутбука (рис. 9).



Рисунок 7 – Размещение микрофона на резце

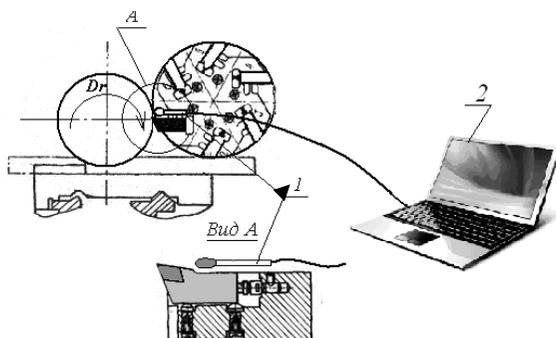


Рисунок 8 – Схема регистрации звука:
1 – микрофон; 2 – компьютер

Звуковой сигнал и сигнал, зарегистрированный с помощью профилометра, подвергались дальнейшей обработке в следующем объеме:

- определялись временные тренды звукового сигнала и параметра шероховатости R_a ;
- определялась корреляционная зависимость между трендами звука и шероховатости;
- рассчитывались спектры звукового сигнала и шероховатости;
- сравнивались профиль шероховатости и временная форма звукового сигнала.

Для облегчения процесса сравнения разнотипной информации временные графики, спектры звукового сигнала и шероховатости рекомендуется привести к безразмерному виду путём деления текущей величины этих параметров на их исходные значения, зарегистрированные при

первом измерении, т.е. осуществлять оценку только степени изменения указанных параметров в процессе обработки.

Результаты эксперимента. На рис. 9 приведены безразмерные графики тренда звукового сигнала и изменения во времени параметра шероховатости. Анализ показал, что графики достаточно хорошо согласованы, о чем свидетельствуют их регрессионная прямая, приведенная на рис.10, и коэффициент корреляции $R=0.96$. На рис.11 показаны частотные спектры шероховатости и звукового сигнала. Из рисунка следует, что спектры шероховатости и звукового сигнала также достаточно хорошо согласованы между собой.

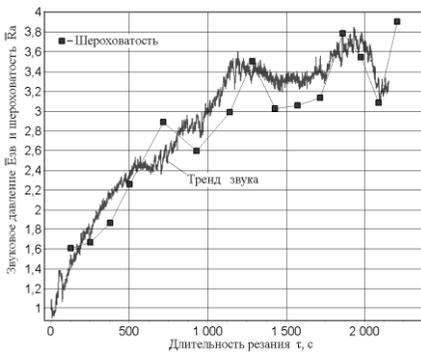


Рисунок 9 – Изменение звукового давления $E_{ЗВ}$ и параметра шероховатости R_a обработанной поверхности с течением времени

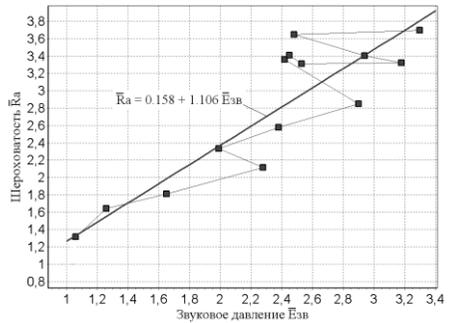


Рисунок 10– Регрессионная зависимость между параметром шероховатости R_a и уровнем звукового давления $E_{ЗВ}$

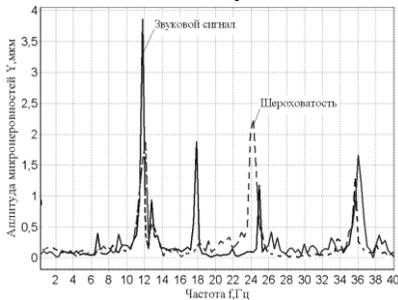


Рисунок 11 – Спектры шероховатости и звукового сигнала

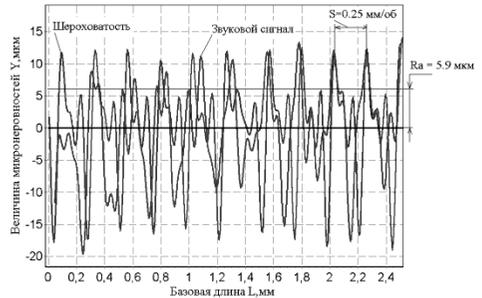


Рисунок 12– Профиль шероховатости и форма звукового сигнала

На рис.12 показан профиль шероховатости, полученный в результате обработки сигнала, полученного с помощью профилометра и записанного на компьютер. На этом же рисунке для сравнения приведена временная реализация звукового сигнала. Кроме того, на рисунке указаны величина подачи S и значение Ra шероховатости, измеренное посредством стрелочного индикатора профилометра. Анализ полученных результатов показал, что графики профиля шероховатости и звукового сигнала совпадают как по уровню, так и по шагу следования пиков.

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют о том, что между шероховатостью и звуком, генерируемым в процессе резания, существует достаточно тесная корреляция. Данное обстоятельство позволяет в режиме реального времени контролировать качество обрабатываемой поверхности путем оценки вида и уровня звукового сигнала. А так как, шероховатость непосредственно связана с геометрией режущего лезвия, то это означает, что контроль звука позволяет косвенно оценивать и состояние инструмента, прогнозируя момент остановки процесса обработки с целью исключения возможных поломок инструмента или возникновения предпосылок появления брака.

Выводы. Согласно действующих рекомендаций при оценке состояния обрабатываемой системы, в частности процесса резания, основное внимание, как правило, уделяется контролю текущего состояния режущего инструмента. Вместе с тем, в настоящее время чаще всего упускается из виду то обстоятельство, что главную роль при этом должен играть не столько контроль состояния лезвий режущего инструмента, сколько контроль качества обработанной поверхности, в частности ее шероховатости, так как контроль состояния инструмента позволяет только косвенно оценивать качество выполняемой с его помощью обработки детали. Естественно, что эффективность контроля процесса резания в определяющей мере зависит от информативности выходных контролируемых параметров, одним из которых является звук, сопровождающий процесс обработки.

Установлено, что частотные и временные параметры звука, возникающего при резании, тесно коррелированы с шероховатостью обработанной поверхности. Наличие данной корреляции позволяет одновременно контролировать в режиме текущего времени без прерывания процесса резания не только качество обработки детали (шероховатости обработанной поверхности), но и состояние режущего инструмента. Это объясняется тем, что профиль шероховатости является «зеркальным отображением» геометрии режущего лезвия инструмента и чутко реагирует на изменение в процессе резания (при прочих равных условиях) этой геометрии и динамического состояния элементов обрабатываемой технологической системы.

Список использованных источников: 1. Савинов Ю. И. Определение параметров механических систем станков / Ю.И. Савинов // Станки и инструмент. 2010. – № 10. – С. 8-10. 2. Залого В.А., Внуков Ю.Н. Износ и стойкость режущих инструментов. Конспект лекций / Ю.Н.Внуков, В.А. Залого. Изд-во СумГУ, г. Сумы.–2005.– 43 с. ил. 3. Основы теории резания материалов: учебник / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др.; Под общ. ред.: Н.П. Мазура, А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Х.: НТУ "ХПИ", 2013. – 534 с. 4. Основы теорії різання матеріалів : підручник для вищ. навч. закладів/ М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залого, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий Світ. – 2000, 2010. – 422 с. 5. Внуков, Ю.М. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навч. посіб. / Ю.М. Внуков, В.О. Залого. – Суми: СумДУ. – 2010.– 243 с. 6. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения: учебник / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с. 7. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – 308 с. 8. Методические указания к лабораторным работам и практическим занятиям по дисциплине "Технологические основы машиностроения" для студентов специальностей ИПиМС / Сост.: А.А. Попивненко, Ф.А. Фоменко – Краматорск: ДГМА, 2003. – 55 с. 9. Боданис Д. Электрическая Вселенная. Невероятная, но подлинная история электричества: пер. с англ. / Дэвид Боданис. – М.: Колибри, 2009. – 384 с. 10. Лепендин Л.Ф. Акустика / Л.Ф. Лепендин. – М.: Высш. школа, 1978.– 448 с. 11. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения. – Взамен ГОСТ 2789-59; введ. 01.01.75; М.: Изд-во стандартов, 1975. – 6 с. 12. ГОСТ 12.2.107-85 ССБТ. Шум. Станки металлорежущие. Допустимые шумовые характеристики. – Введен в действие с 01.07.1986 г., М.: Изд-во стандартов, 1994.–11 с. 13. Конспект лекции по курсу "Теория резания" на тему "Термины и определения основных понятий" /Составитель В. О. Залого. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2004.– 39 с.

Bibliography (transliterated): 1. Savinov Ju. I. Opredelenie parametrov mehanicheskikh sistem stankov / Ju. I. Savinov // Stanki i instrument. 2010. № 10. S. 8-10. 2. Zaloga V.A., Vnukov Ju.N. Iznos i stojkost' rezhushhikh instrumentov. Konspekt lekcij / Ju.N.Vnukov, V.A. Zaloga. Izd-vo SumGU, g. Sumy. – 2005. – 43 s. il. 3. Osnovy teorii rezanija materialov: uchebnik / N.P. Mazur, Ju.N. Vnukov, A.I. Grabchenko i dr.; Pod obshh. red.: N.P. Mazura, A.I. Grabchenko. – 2-e izd., pererab. i dop. – H.: NTU "HPI", 2013. – 534 s. 4. Osnovy teorii rizannja materialiv: pidruchnik dlja vishh. navch. zakladiv/ M.P. Mazur, Ju.M. Vnukov, B.L. Dobroskok, V.O. Zaloga, Ju.K. Novos'olov, F.Ja. Jakubov ; pid zag. red. M.P. Mazura. – L'viv: Novij Svit.– 2000, 2010. – 422 s. 5. Vnukov, Ju.M. Znosuvannja i stijkist' rizal'nih lezovih instrumentiv : navch. posib. / Ju.M. Vnukov, V.O. Zaloga. – Sumi: SumDU – 2010.– 243 s. 6. Balakshin B.S. Osnovy tehnologii mashinostroenija: uchebnik / B.S. Balakshin. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 358 s. 7. Jakushev A.I. Vzaimozamenjaemost', standartizacija i tehnicheskie izmerenija: uchebnik / A.I. Jakushev. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 308 s. 8. Metodicheskie ukazanija k laboratornym robotam i prakticheskim zanjatijam po discipline "Tehnologicheskie osnovy mashinostroenija" dlja studentov special'nostej IPiMS / Sost.: A.A. Popivnenko, F.A. Fomenko – Kramatorsk: DGMA, 2003. – 55 s. 9. Bodanis, D. Jelektricheskaja Vselennaja. Neverojatnaja, no podlinnaja istorija jelektrichestva: per. s angl. / Djevid Bodanis. – M.: Kolibri, 2009. – 384 s. 10. Lependin L.F. Akustika / L.F. Lependin. – M.: Vyssh. shkola, 1978.–448 s. 11. GOST 2789-73 . Sherohovatosť poverhnosti. Parametry, harakteristiki i oboznachenija. – Vzamen GOST 2789-59; vved. 01.01.75; M.: Izd-vo standartov, 1975. – 6 s. 12. GOST 12.2.107-85 SSBT. Shum. Stanki metallorehushhije. Dopustimye shumovye harakteristiki. – Vveden v dejstvie s 01.07.1986 g., M.: Izd-vo standartov, 1994. – 11 s. 13. Konspekt lekcii po kursu "Teorija rezanija" na temu "Terminy i opredelenija osnovnyh ponjatij" /Sostavitel' V. O. Zaloga. – Summy: Izd-vo SumGU, 2004.– 39 s.

Поступила в редколлегию 12.07.2014