

УДК 621.923

В.А. Титков, ст. преподаватель*Севастопольский национальный технический университет,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053
tm@sevntu.com.ua***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
НА ОПЕРАЦИЯХ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Разработана экспериментальная установка вибрационной обработки деталей на операциях круглого наружного шлифования, учитывающая отклонения рабочей поверхности шлифовального круга.

Ключевые слова: шлифование, шлифовальный круг, вибрации, геометрическое моделирование, поверхность.

Прогресс в машиностроении повышает требования к надежности и долговечности машин. Производительность, быстроходность, точность и экономичность машин неизменно возрастают. При этом одновременно усложняются конструкции машин и деталей, повышаются требования к точности размеров и геометрической формы деталей, к качеству поверхности и поверхностного слоя, ужесточаются нормы на контактную жесткость соединений, расширяется применение труднообрабатываемых материалов. В этих условиях роль абразивного и алмазного инструмента в технологии машиностроения еще более возрастает, так как многие требования к деталям практически невозможно выполнять без абразивной и алмазной обработки.

Прогрессивным методом финишной обработки является - вибрационное круглое шлифование. Этот метод широко применяют при обработке деталей из труднообрабатываемых и при том хрупких сплавов, в частности магнитных, он обеспечивает большую производительность процесса и меньшую шероховатость обработанной поверхности детали [1].

Целью данной статьи является разработка установки вибрационной обработки деталей на операции круглого наружного шлифования с учетом отклонений рабочей поверхности шлифовального круга.

Отклонения рабочей поверхности шлифовального круга существенно влияют как на качественные показатели обрабатываемой детали (шероховатость, волнистость), так и на производительность процесса шлифования (увеличивается и время на обработку за счет процесса выхаживания, и износ режущего инструмента, и т.д.), что приводит к повышению себестоимости процесса шлифования и снижению конкурентоспособности детали и изделия в целом.

Для повышения эксплуатационных характеристик деталей и производительности операции круглого наружного шлифования необходимо применять прогрессивные методы обработки с учетом негативных факторов процесса обработки.

На рисунке 1 представлена установка вибрационной обработки деталей на операциях круглого наружного шлифования.

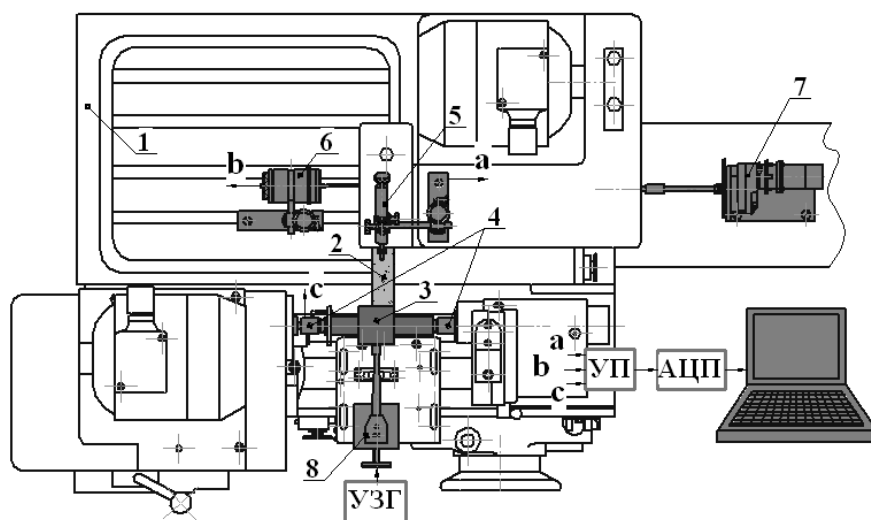


Рисунок 1 – Экспериментальная установка вибрационной обработки деталей на операциях круглого наружного шлифования (вид сверху)

Експериментальна установка смонтована на базі круглошлифовального полуавтомата 1 моделі ВІА-16. На станку встановлено шлифовальний круг (ШК) 2. В тензодатчиках 4 встановлена заготовка 3, яка сопрягається з магнітострикційним преобразователем 8.

На корпус шлифовальної бабки встановлена і закріплена стойка з пристроєм профілювання шлифовального круга 5. Справа, на гідростанцію полуавтомата встановлено привод медленних обертів шлифовального круга 0,5 об/хв для забезпечення профілювання. Зліва встановлено датчик кута повороту - безконтактний обертаючийся трансформатор моделі 5БВТ-Д.

Принцип роботи установки наступний:

- проводиться балансування за станком і правка, на станку, ШК методом точення;
- проводиться профілювання ШК за допомогою пристрою 5 і приводу 7.

Основним елементом пристрою 5 є вимірний шпатель, виконаний у вигляді плоскопружинної балочки рівного опору з твердосплавним радіусним наконечником. Балочка виготовлена з берилевої бронзи і має довжину 30 мм, ширину основи - 5 мм, товщину - 0,4 мм. Наклеєні на неї тензодатчик 2 з'єднані по півмостовій схемі. Наконечник з твердого сплаву ВК8 має радіус закруглення $r_3 = 0,25$ мм і забезпечує механічну фільтрацію микронеровностей. Собст. частота коливань шпателя на два порядки вище частоти його примусових коливань за профілювання. Також пристрій 5 оснащено микровинтами, що дозволяють з точністю 0,1 мм позиціювати вимірний шпатель у горизонтальній і вертикальній площинах, забезпечуючи контакт вимірного шпателя з поверхнею і налаштування на досліджуване поперечне сечение ШК.

Інструменту 2 від електродвигателя через редуктор і муфту (привод 7) передається повільне обертання 0,5 об/хв.

За дією нерівностей на кругі 2 шпатель деформується. Електричний сигнал, що виникає в результаті розбалансування півмоста, передається з тензодатчиків на підсилювач УП і після перетворення реєструється на моніторі ПК за допомогою 16-ти каналного АЦП моделі ЛА-50USB. Записана крива представляє собою профіль поперечного сечения інструмента у прямокутній системі координат.

Одночасно з процесом профілювання за допомогою безконтактного обертаючогося трансформатора 6 здійснюється збір даних об кутовому положенні шлифовального круга. Електричний сигнал з пристрою 6 передається на підсилювач УП і після перетворення реєструється на моніторі ПК за допомогою АЦП.

- проводиться аналіз отриманих даних за допомогою розробленого програмного забезпечення в середовищі MATLAB і Microsoft Excel.

Таблиця 1 – Результати тригонометричної апроксимації даних профілювання ШК

№ гармоніки n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Середнє значення
Значення Амплитуд, мкм $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$	-	138,387678	100,603824	60,4752134	133,089363	157,448251	62,686493	115,983688	120,513704	120,493102	175,705258	54,6604403	77,6605999	103,300596	156,710503	139,000114	89,6368607	121,995736	74,0642755	92,1826899	104,365972	149,602404	183,834103	115, 10913
Значення фаз, рад $\varphi = \arctg \frac{b_n}{a_n}$	-	0,34161	2,446181	2,365337	2,599079	3,114058	2,148124	1,822622	2,318163	1,86731	0,198243	2,643074	2,468225	0,63335	2,810413	0,409208	0,244248	0,698455	1,966023	0,42114	0,140366	2,792485	0,913819	1,607343
Примечание: уровень значимости $q = 0,01$																								

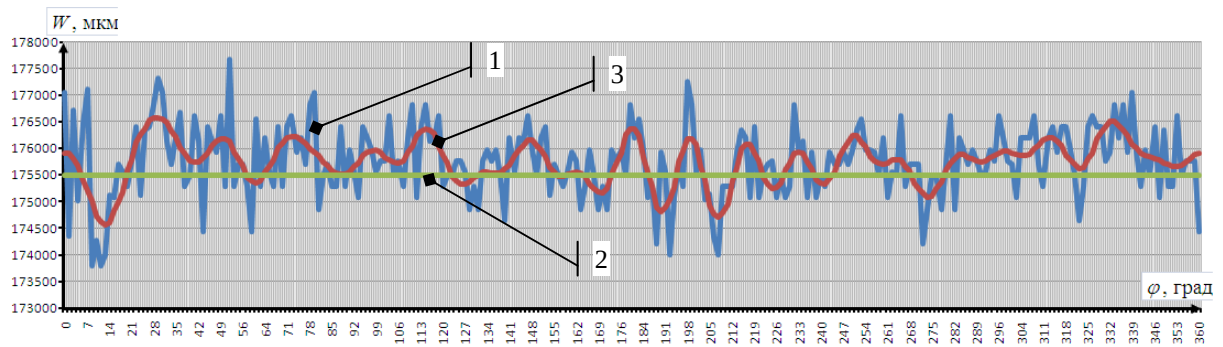
Експериментальні дані згенеровані в txt-файл на ПК у вигляді таблиці формату:

$$\varphi | K_1 | K_2 | \dots | K_n,$$

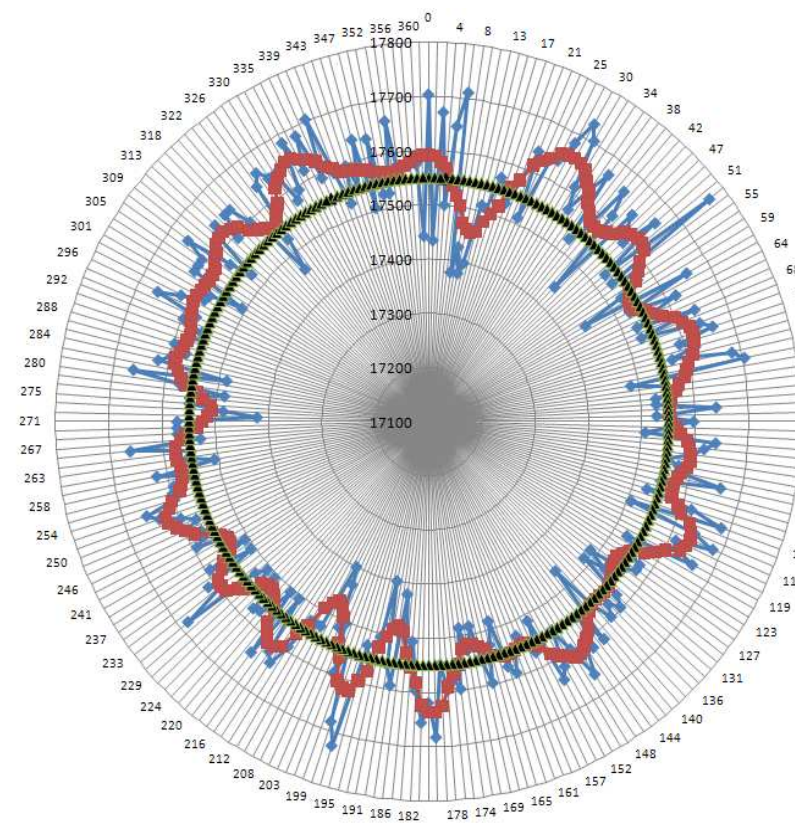
де φ - значення кута повороту ШК (сигнал з безконтактного обертаючогося трансформатора 6); $K_1, K_2, \dots, K_n$ - значення сигналів з профілографа 5; n - кол-во вимірюваних поперечних сечень ШК.

Табличні дані обробляються, проводиться тарифікація вольт - значень у кутові (φ) і мікрометричні ($K_1, K_2, \dots, K_n$). Визначаються середні значення $K_{cp}(\varphi) = \sum_{i=1}^n K_n(\varphi) / n$, за якими проводиться тригонометрична апроксимація рядом Фур'є. В результаті генерується функція виду [2]:

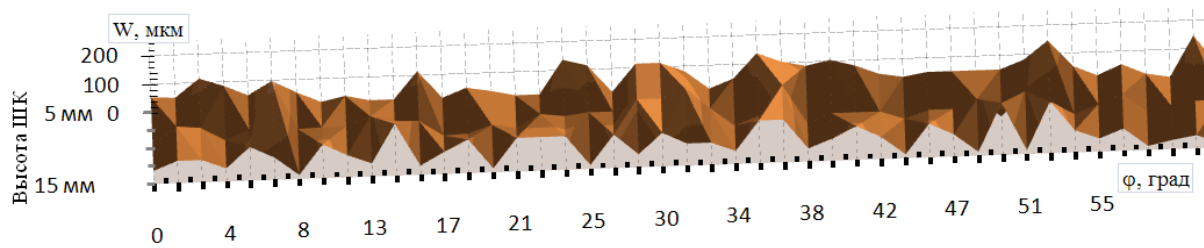
$$W(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\varphi) + b_n \sin(n\varphi)), \quad -\pi \leq \varphi \leq \pi.$$



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Результаты анализа экспериментальных данных

Проводиться гармонический анализ, численно определяются значения амплитуд и фаз каждой гармоники и их средние значения, выделяются преобладающие гармоники. Результаты анализа сводятся в таблицу (см. таблица 1).

Также в результате анализа строится профиль поперечного сечения инструмента в прямоугольной системе координат (рисунок 2, а), на котором представлены экспериментальные данные – кривая 1, среднее значение диаметра круга – прямая 2 и усредненный профиль ШК, полученный путем тригонометрической аппроксимации данных профилографирования – кривая 3. Так же для наглядности строится круглограмма ШК (рисунок 2, б) и 3-D модель профиля шлифовального круга (рисунок 2, в).

Весь спектр, проведенных анализов, позволяет численно определить параметры для настройки ультразвукового генератора (УЗГ) рисунок 1. Начальная амплитуда вибрационного сигнала соответствует средней амплитуде волнистости рабочей поверхности ШК, но может регулироваться в процессе обработки за счет величины подводимого напряжения к магнитострикционному преобразователю 8 рисунок 1[3]. Частота вибрационного сигнала определяется как :

$$f = \omega \times \omega_{0cp}^{ШК},$$

где ω – частота вращения шлифовального круга; $\omega_{0cp}^{ШК}$ – число волн на рабочей поверхности ШК.

Она соответствующая частоте УЗГ и, так же, регулируется в процессе обработки.

Рассмотрим динамическую схему вибрационной обработки деталей на операции круглого наружного шлифования.

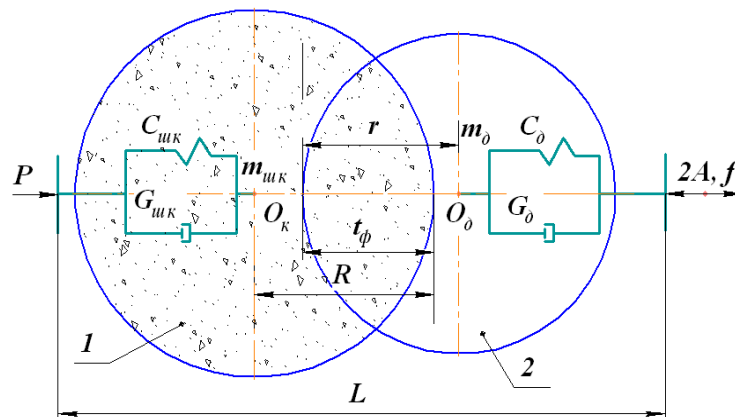


Рисунок 3 – Динамическая модель вибрационной обработки деталей на операции круглого наружного шлифования

Динамическая модель вибрационной обработки деталей на операции круглого наружного шлифования (рисунок 3) представляет собой двухмассовую систему взаимодействия ШК 1 и детали 2.

Вынужденные колебания система получает за счет отклонения рабочего профиля ШК $W(\varphi) \cos(\omega t)$ и принудительной вибрации со стороны детали $A \cos(2\pi f t)$.

Собственные колебания системы являются затухающими, они возникают в процессе обработки (контакта ШК с заготовкой) и зависят от податливости (жесткости) приводных узлов. Так как со стороны заготовки действует вибрационный сигнал и масса привода заготовки меньше привода ШК, то собственными колебаниями привода заготовки можно пренебречь.

Собственные колебания подсистемы «ШК – привод ШК» вызваны податливостью шпиндельных подшипников шлифовальной бабки, и могут быть описаны зависимостью:

$$A_{ШБ} \cos(2\pi k t),$$

где $A_{ШБ}$ – амплитуда собственных колебаний подсистемы «ШК – привод ШК», она равна значению амплитуды 0-й гармоники и описывает эксцентricность ШК; $k = \sqrt{C_{шк}/m_{шк}}$ – частота собственных колебаний подсистемы «ШК – привод ШК».

Система уравнений описывающая динамическую модель вибрационной обработки деталей на операции круглого наружного шлифования имеет вид:

$$\begin{cases} m_{шк} \ddot{y} + G_{шк} \dot{y} + C_{шк} y = P + P(W(\varphi)) \\ m_d \ddot{y} + G_d \dot{y} + C_d y = P - P(A, f) \end{cases},$$

где P – сила резания при шлифовании; $P(W(\varphi))$ – колебательная составляющая силы резания, вызванная отклонением рабочего профиля ШК; $P(A, f)$ – колебательная составляющая силы резания, вызванная принудительной вибрацией детали; $m_{шк}$ – приведенная масса шлифовального круга и шлифовальной бабки; m_d – приведенная масса детали; $G_{шк}$ и G_d – приведенный коэффициент демпфирования шлифовального круга и детали соответственно; $C_{шк}$ и C_d – приведенная жесткость шлифовального круга с шлифовальной бабкой и детали соответственно; ω – частота вращения шлифовального круга; f – частота вибрационного сигнала; t – время обработки.

Величина фактической глубины резания (рисунок 1) будет изменяться за счет вынужденных и собственных колебаний системы и может быть определена как:

$$t_\phi = t - A \cos(2\pi ft) + W(\varphi) \cos(\omega t) - A_{ШБ} \cos(2\pi kt),$$

где t – глубина резания по лимбу станка.

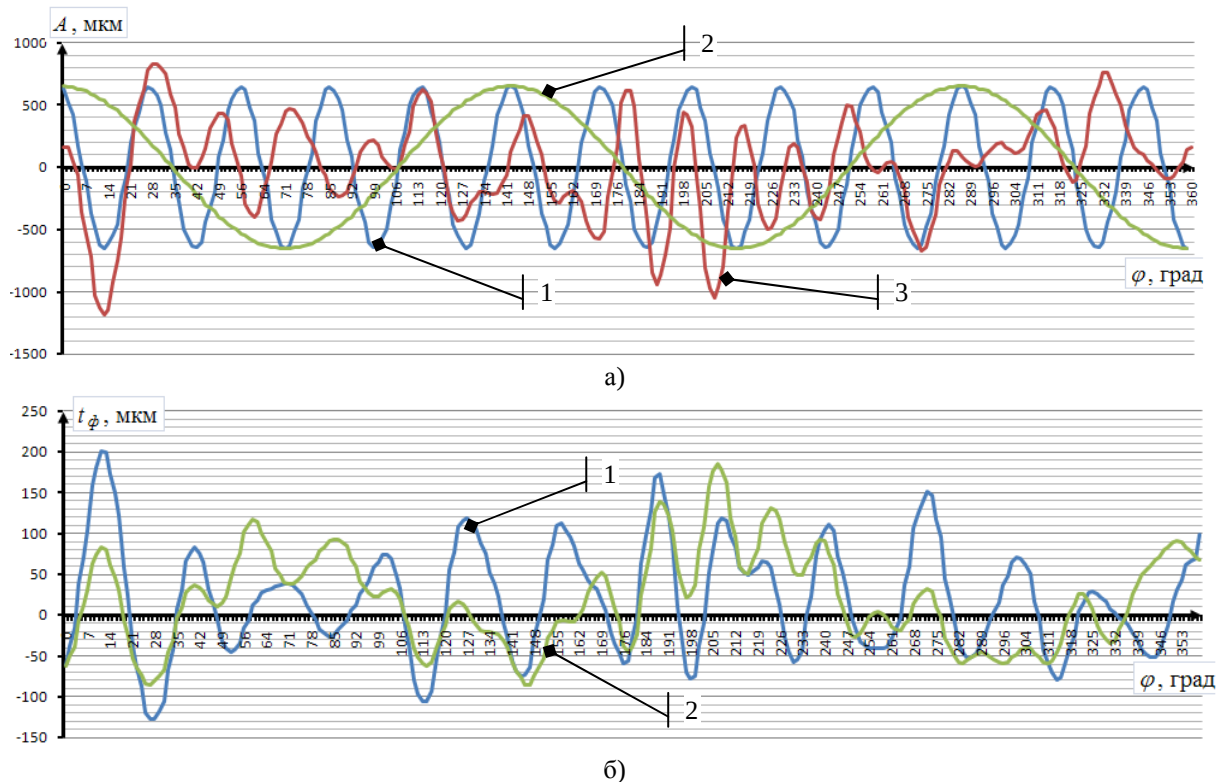


Рисунок 4 – Результаты моделирования вибрационной обработки

а) наложение вибрационного сигнала разной частоты на отклонения рабочего профиля ШК, б) значения фактической глубины резания при разных частотах вибрационного сигнала при $C_{шк} = 2 \times 10^5$ Н/м, $m_{шк} = 50$ кг, $t = 500$ мкм

1 – $f = 500$ Гц; 2 – $f = 2500$ Гц; 3 – волнистость рабочего профиля ШК.

Выводы. Разработанная установка вибрационной обработки на операциях круглого наружного шлифования позволяет корректировать параметры обработки с учетом отклонений рабочей поверхности шлифовального круга; появляется возможность управления фактической глубиной резания, что позволяет стабилизировать параметры резания и, как следствие, повышает качество обработанной поверхности. Это связано с тем, что каждое зерно проходит путь по косинусоиде в результате принудительных колебаний, увеличивается путь, проходимый зернами круга, толщина снимаемой стружки, приходящаяся на один контакт с зерном круга, уменьшается, по сравнению с обычным шлифованием, вследствие чего силы резания получаются небольшие, способность выкрашивания уменьшается и класс чистоты поверхности увеличивается. С увеличением амплитуды колебаний мощность, затрачиваемая на шлифование, снижается. При вибрационном шлифовании коэффициент трения резко снижается. Потребляемая мощность при вибрационном шлифовании почти такая же, как при обычном шлифовании с охлаждением.

Библиографический список использованной литературы

1. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей / А.П. Бабичев. — М.: Машиностроение, 1974. — 136 с.
2. Жук В.В. Тригонометрические ряды Фурье и элементы теории аппроксимации / В.В. Жук, Г.И. Натансон. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. — 188 с.
3. Демин С.Б. Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования / С.Б. Демин. — Пенза: Инф.-изд. центр ПГУ, 2002. — 182 с.

Поступила в редакцию 24.03.2013 г.

Тітков В.А. Експериментальна установка вібраційної обробки деталей на операціях круглого зовнішнього шліфування

Розроблено експериментальну установку вібраційної обробки деталей на операціях круглого зовнішнього шліфування, що враховує відхилення робочої поверхні шліфувального круга.

Ключові слова: шліфування, шліфувальний круг, вібрації, геометричне моделювання, поверхня.

Titkov V.A. The experimental vibratory processing of details on the operation of the round outer grinding

The experimental vibratory processing of parts on the round outer grinding operation, taking into account the deviations of the working surface of grinding wheel is developed.

Keywords: grinding, grinding wheel, vibration, geometric modeling, surface.