

УДК 621.923

Д.Е. Сидоров, канд. техн. наук*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: tm@sevntu.com.ua***ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Анализируются динамические свойства процесса шлифования, оказывающие существенное влияние на параметры качества деталей.

Динамику процесса плоского шлифования полнее всего отражает нормальная сила шлифования [1]. В состав такой силы входят ее среднее значение и составляющие, вызванные остаточным дисбалансом шлифовального круга, а также отклонения форм инструмента и заготовки в зоне их взаимодействия.

Целью статьи является анализ динамических свойств процесса шлифования, которые оказывают существенное влияние на параметры качества деталей.

На рисунке 1 изображена схема динамической системы плоскошлифовального станка.

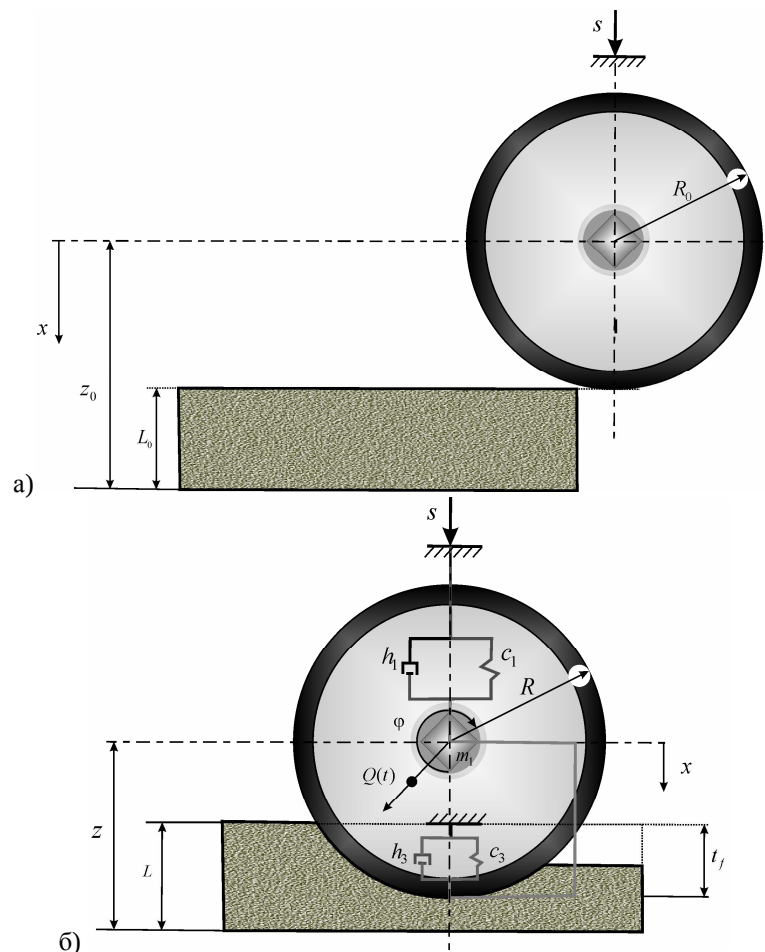


Рисунок 1 – Схема динамической системы плоского шлифования

Величина среднего значения нормальной силы шлифования зависит от средних значений взаимоположения центра шлифовального круга и поверхности заготовки и определяется технологическими режимами и параметрами жесткости c_1 и c_3 обработки. В свою очередь она определяет среднее значение перемещений упругой системы станка, которое может быть идентифицировано и учтено на этапе разработки технологического процесса.

Составляющие, вызванные динамическим проявлением эффектов дисбаланса и вариациями формы шлифовального круга и заготовки, приводят к соответствующим отклонениям от номинального технологического режима обработки и, следовательно, к разбросу показателей качества обработанной поверхности.

С использованием принципа Даламбера, с учетом того, что обрабатываемая деталь жестко закреплена, а явление дисбаланса легко устраняется процессом балансировки, модель динамики процесса плоского шлифования представляется в виде

$$m_1 \ddot{x} + h_1 \dot{x} + c_1 x = -h_3 \dot{t}_f - c_3 t_f + h_1 \dot{s} + c_1 s, \quad (1)$$

где m_1 – приведенная масса шлифовального круга и шлифовальной бабки; h_1 – приведенный коэффициент демпфирования шлифовального круга; c_1 – приведенная жесткость шлифовальной бабки; h_3 – демпфирование зоны контакта шлифовального круга с деталью; c_3 – жесткость зоны контакта шлифовального круга с деталью; x – координата перемещения центра вращения шлифовального круга; s – перемещение шлифовального круга в направлении подачи; t_f – фактическая глубина резания.

Фактическая глубина резания [2] (размер зоны контакта заготовки с инструментом), согласно рисунку 1, определяется как

$$t_f = R + L - z, \quad (2)$$

где L – расстояние от стола до поверхности заготовки; R – радиус шлифовального круга по направлению к обрабатываемой детали; z – текущее расстояние от базовой поверхности до центра вращения шлифовального круга, равное

$$z = z_0 - x, \quad (3)$$

где z_0 – расстояние от базовой поверхности до центра вращения шлифовального круга в начальный момент времени ($z_0 = R_0 + L_0$).

При условии отсутствия дисбаланса (центр вращения совпадает с центром масс), толщина детали L и радиус шлифовального круга R имеют отклонения от номинальных значений, т.е.

$$L = L_0 + \Delta L, \quad R = R_0 + \Delta R. \quad (4)$$

После подстановки (2) – (4) в выражение (1) получим:

$$m_1 \ddot{x} + h_1 \dot{x} + c_1 x = -h_3 (\dot{L} + \dot{R} + \dot{x}) - c_3 (L_0 + \Delta L + R_0 + \Delta R - z_0 + x) + h_1 \dot{s} + c_1 s. \quad (5)$$

Соотношение (5) позволяют осуществить анализ динамической системы плоского шлифования.

Важным элементом классического подхода к динамическому анализу систем является выбор наиболее подходящего метода исследования модели [2]. Выбор необходимо производить при широком спектре частот возбуждения колебаний, чему в наибольшей степени отвечают частотные методы исследований с анализом амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), построение которых предполагает получение из дифференциальных уравнений движения передаточных функций.

Для нахождения передаточных функций и построения АЧХ целесообразно использование пакетов прикладных программ, например, «Maple 10» или подобных, позволяющих получить решение системы дифференциальных уравнений в аналитическом виде и графическое изображение амплитудно-фазовых частотных характеристик (АФЧХ) и АЧХ.

В общем виде АЧХ, описываемая функцией $A(\omega)$, равна модулю зависимости отношения амплитуд от частоты. Входом является амплитуда внешнего воздействия.

$$A_h(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)}, \quad (6)$$

и фаза

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}. \quad (7)$$

Соотношение (6) увязывает динамические параметры системы: силы, массы, жесткости, коэффициенты демпфирования, перемещения, и позволяют получить аналитическое решения для амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных характеристик (ФЧХ) с целью оценки воздействия на процесс основных источников колебаний.

Например, для оценки влияния погрешности перемещения шлифовального круга на координату его центра легко получить аналитические выражения вещественной и мнимой составляющих АЧХ:

$$\text{Re}(\omega) = \frac{\omega^2 (-c_3 \cdot m_1 + h_1 \cdot h_3 + h_1^2) + c_3 \cdot (c_1 + c_3)}{2\omega^2 \cdot \left((h_1 \cdot h_3 - m_1 \cdot (c_1 + c_3)) + \frac{1}{2} (h_3^2 + h_1^2 + m_1^2 \cdot \omega^2) \right) + (c_1 + c_3)^2}, \quad (8)$$

$$\text{Im}(\omega) = \frac{\omega \cdot ((c_1 - m_1 \cdot \omega^2) \cdot h_3 - h_1 \cdot c_3)}{2\omega^2 \cdot \left((h_1 \cdot h_3 - m_1 \cdot (c_1 + c_3)) + \frac{1}{2}(h_3^2 + h_1^2 + m_1^2 \cdot \omega^2) \right) + (c_1 + c_3)^2}. \quad (9)$$

После подстановки (8) и (9) в (6), (7) получим зависимости для расчета АЧХ

$$A(\omega) = 20 \log \sqrt{A_h(\omega)},$$

$$A(\omega) = 10 \ln \left(\frac{h_3^2 \cdot \omega^2 + c_3^2}{2\omega^2 \cdot \left((h_1 \cdot h_3 - m_1 \cdot (c_1 + c_3)) + \frac{1}{2}(h_3^2 + h_1^2 + m_1^2 \cdot \omega^2) \right) + (c_1 + c_3)^2} \right), \quad (10)$$

и ФЧХ

$$\varphi(\omega) = \arctg \left(\frac{((c_1 - m_1 \cdot \omega^2) \cdot h_3 - h_1 \cdot c_3) \cdot \omega}{\omega^2 \cdot (-c_3 \cdot m_1 + h_1 \cdot h_3 + h_3^2) + c_3 \cdot (c_1 + c_3)} \right). \quad (11)$$

Для возможности сравнения АЧХ вертикальной подачи, отклонения формы шлифовального круга, влияния вертикальной подачи на АЧХ и ФЧХ процесса плоского шлифования были выбраны численные значения постоянных в уравнениях (10), (11) ($h_1 = 1 \cdot 10^3$ Н·с/м, $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м, $h_3 = 2 \cdot 10^3$ Н·с/м, $c_3 = 2 \cdot 10^4$ Н/м): 1 – $m_1 = 100$ кг; 2 – $m_2 = 200$ кг; 3 – $m_3 = 250$ кг; 4 – $m_4 = 300$ кг.

На рисунках 2 и 3 показаны полученные АЧХ и ФЧХ для четырех значений масс.

При исследовании влияния отклонений формы шлифовального круга на АЧХ процесса плоского шлифования приняли следующие численные значения постоянных в уравнениях (13), (14): $h_1 = 5 \cdot 10^3$ Н·с/м, $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м, $c_3 = 2 \cdot 10^4$ Н/м, $h_3 = 0,2 \cdot 10^3$ Н·с/м: 1 – $m_1 = 100$ кг; 2 – $m_2 = 200$ кг; 3 – $m_3 = 250$ кг; 4 – $m_4 = 300$ кг.

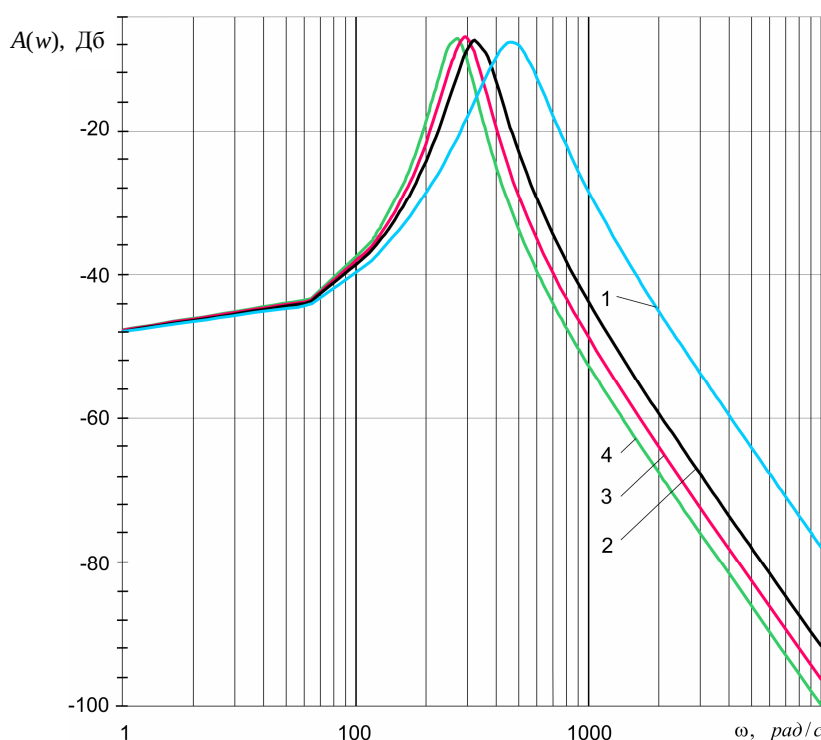


Рисунок 2 – Влияние массы шлифовальной бабки и шлифовального круга на АЧХ процесса плоского шлифования ($h_1 = 1 \cdot 10^3$ Н·с/м, $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м, $c_3 = 2 \cdot 10^4$ Н/м, $h_3 = 2 \cdot 10^3$ Н·с/м): 1 – $m_1 = 100$ кг; 2 – $m_2 = 200$ кг; 3 – $m_3 = 250$ кг; 4 – $m_4 = 300$ кг

АЧХ позволяют оценить устойчивость процесса для различных его параметров.

Поскольку при построении и анализе АЧХ в качестве обобщенной координаты принято изменение глубины шлифования, амплитудой выхода является амплитуда гармонического изменения глубины шлифования.

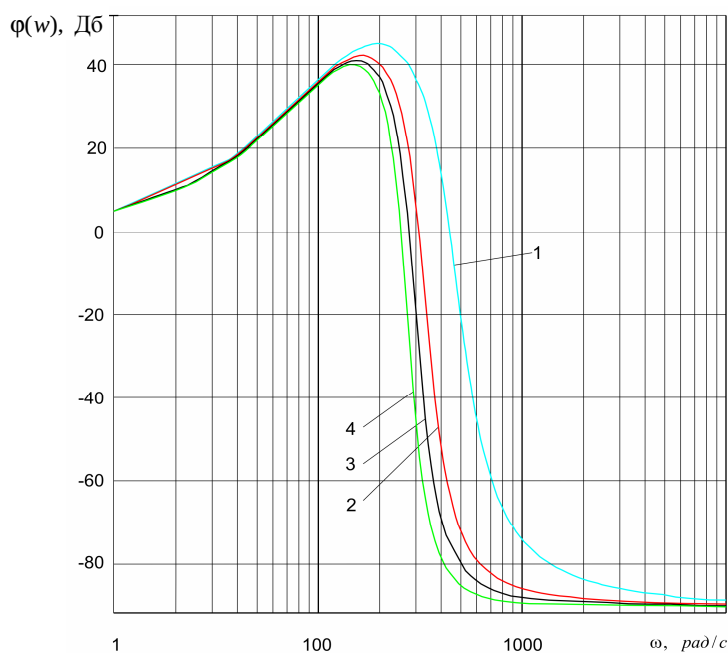


Рисунок 3 – Влияние массы шлифовальной бабки и шлифовального круга на ФЧХ процесса плоского шлифования ($h_1 = 1 \cdot 10^3$ Н·с/м, $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м, $c_3 = 2 \cdot 10^4$ Н/м, $h_3 = 2 \cdot 10^3$ Н·с/м): 1 – $m_1 = 100$ кг; 2 – $m_2 = 200$ кг; 3 – $m_3 = 250$ кг; 4 – $m_4 = 300$ кг

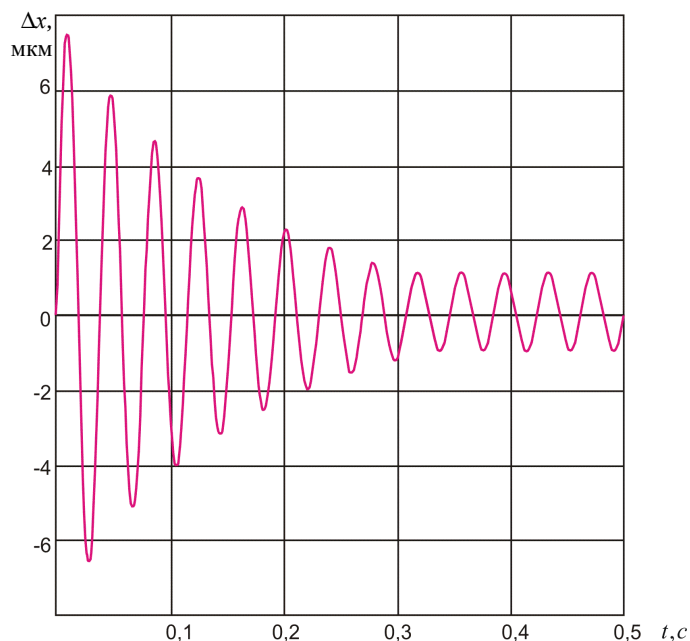


Рисунок 4 – Переходный процесс при врезании круга в заготовку на операциях плоского шлифования с параметрами $h_1 = 5 \cdot 10^3$ Н·с/м, $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м, $c_3 = 2 \cdot 10^4$ Н/м, $h_3 = 0,2 \cdot 10^3$ Н·с/м, $m_1 = 200$ кг

На практике данная амплитуда практически будет равна наибольшему отклонению глубины шлифования Δt_f от заданной технологией величины, что можно проследить по переходному процессу. Из рисунка 4 видно, что при величине подачи 0,01 мм максимальное отклонение глубины шлифования, учитывая этап первого всплеска, составляет примерно 0,007 мм, время переходного процесса равно 0,3 секунды.

Дальнейшая разработка методик будет связана с выбором характеристик шлифовальных кругов и коррекции режимов программного управления, что составляет перспективу исследований в данном направлении.

Библиографический список

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. — 232 с.
2. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.В. Королев. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. — 189 с.

Поступила в редакцию 18.10.2008 г.