

Я.М.СУРГУНТ, канд.техн.наук,
П.Ф.КОТИКОВ,
Э.А.СВИДЕРСКИЙ (ММИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО
ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Колебания деформирующего элемента при поверхностном пластическом деформировании описываются дифференциальным уравнением вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P_{\text{деф}}(t),$$

где m — масса деформирующего элемента; c — коэффициент демпфирования системы СПИД; k — жесткость системы СПИД; $P_{\text{деф}}(t)$ — нормальная сила деформирования.

Колебания деформирующего элемента рассматриваются с учетом упруго-пластических деформаций в зоне контакта инструмента и заготовки (рис.1).

Начало отсчета перемещения x вершины инструмента 1 выбираем таким образом, чтобы при $x = 0$ она была внедрена в деталь 2 на глубину h_0 . Предварительный натяг пружины 3 составляет $h_{\text{пр}}$. При установке детали с биением δ и ее вращении с угловой скоростью ω деформирующий элемент имеет перемещение, что приводит к изменению глубины его внедрения h_i . Из рис. 1 следует, что

$$h_i = h_0 + \delta \sin(\omega t) - x.$$

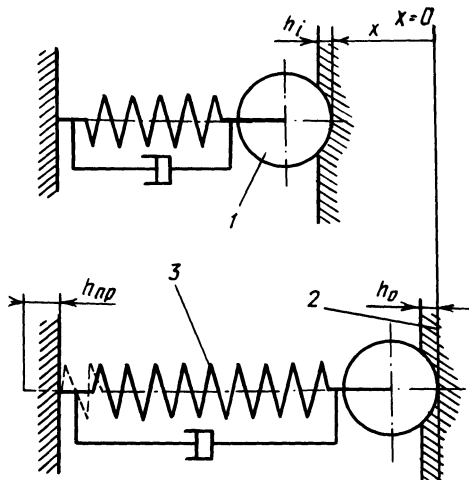


Рис. 1. Схема взаимодействия деформирующего ролика с деталью

Сжатие пружины

$$h = h_{\text{пр}} + x.$$

Тогда уравнение колебаний деформирующего элемента можно представить в следующем виде:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + k(h_{\text{пр}} + x) = p_{\text{ср}} Sf(h_i),$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднее контактное давление; $p_{\text{ср}} = 2,5 \cdot 2R$; R — предел текучести материала при чистом сдвиге; $R = \sigma_s/2$; σ_s — напряжение текучести; $Sf(h_i)$ — площадь пятна контакта.

Процесс поверхностного пластического деформирования смоделирован, как решение дифференциального уравнения:

$$\ddot{x} - 100\dot{x} + 25(3 + x) = 75Sf[0,02 + 0,15 \sin(\omega t) - x]. \quad (1)$$

Для определения адекватности математической модели с помощью осциллографа были записаны колебания деформирующего элемента, возникающие при обработке деталей с параметрами уравнения (1). Использовался тензометрический щуп малых перемещений. Под действием перемещений деформирующего ролика шток тензошупа деформирует упругий элемент и тем самым приводит к дисбалансу моста сопротивлений. Полученные импульсы тока усиливаются тензометрической станцией УТ4-1, на выходе которой включается универсальный запоминающий осциллограф С8-13.

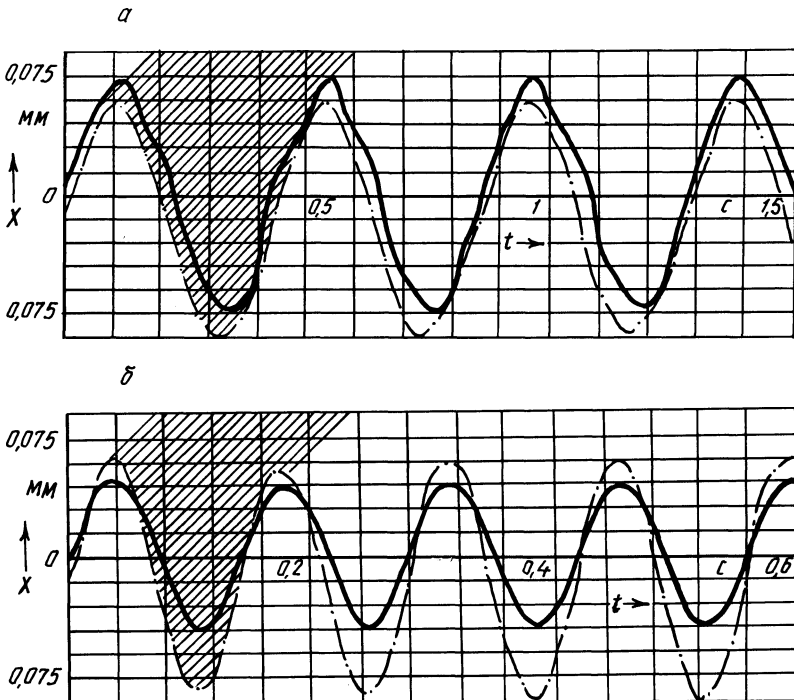


Рис. 2. Колебания деформирующего ролика: а — при частоте вращения 125 об/мин; б — при частоте вращения 400 об/мин

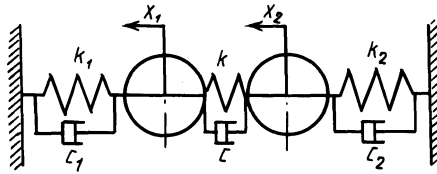


Рис. 3. Схема обработки детали методом ППД при ее упругом закреплении

Как следует из рис. 2, на котором представлены экспериментальные кривые колебаний деформирующего элемента при обработке вращающихся деталей, при накатывании деталей с биением цилиндрической поверхности 0,15 мм при частоте вращения 125 об/мин деформирующий ролик постоянно взаимодействует с обрабатываемой поверхностью, при обработке с частотой вращения 400 об/мин периодически взаимодействует с поверхностью детали.

Сравнение экспериментальных кривых с теоретическими данными, полученными путем решения уравнения (1) методом Рунге-Кутты на вычислительном комплексе "Искра 1256", показало почти полное их совпадение.

Представляет значительный интерес обработка методом ППД при упругом закреплении детали (рис. 3). Уравнения, описывающие процесс ППД с возмущающей силой $P \sin(\omega t)$, действующей на деформирующий элемент, в соответствии с теорией механических колебаний можно представить следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c) \dot{x}_1 - c \dot{x}_2 + (k_1 + k) x_1 - k x_2 &= P \sin(\omega t); \\ m_2 \ddot{x}_2 + (c_2 + c) \dot{x}_2 - c \dot{x}_1 + (k_2 + k) x_2 - k x_1 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m_1, m_2 — масса соответственно деформирующего элемента и детали; c_1, c_2, c — коэффициент демпфирования соответственно инструмента, в упругом закреплении, при взаимодействии детали и инструмента; k_1, k_2, k — жесткость соответственно инструмента, закреплении детали, зоны контакта детали и инструмента.

Из уравнения (2) можно определить передаточные функции системы:

$$\left. \begin{aligned} W_1(s) &= \frac{(k+k_2-m_2\omega^2)A - B\omega(c^2+c) + j[A\omega(c_2+c) + B(k+k_2-m_2\omega^2)]}{A^2 - B^2}; \\ W_2(s) &= \frac{kA - B\omega c + j(A\omega c + Bk)}{A^2 - B^2}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \omega^2 m_1 m_2 - \omega^2 [m_2 (k_1 + k) + m_1 (k_2 + k) + (c_1 + c)(c_2 + c) + (k_1 + k)(k_2 + k)]; \\ B &= \omega [-\omega^2 (c_1 + c) m_2 - \omega^2 (c_2 + c) m_1 + (c_2 + c)(k_1 + k) + (c_1 + c)(k_2 + k)]. \end{aligned}$$

Анализ уравнений (3) показывает, что при равенстве передаточных функций $W_1(s)$ и $W_2(s)$ колебания детали и инструмента имеют равные амплитуды и нулевое смещение по фазе. Это условие выполняется при $k_2 = m_2 \omega$ и $c_2 \rightarrow 0$. Например, при $m_2 = 1$ кг и угловой скорости $\omega = 20$ рад/с жесткость $k_2 = 400$ Н/м, при $\omega = 100$ рад/с $k_2 = 10\,000$ Н/м.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что использование способа обработки методом ППД с упругим закреплением детали при расчетных параметрах процесса обеспечивает возможность значительного повышения производительности обработки и улучшение качества поверхности. Моделирование процесса ППД позволяет обоснованно устанавливать режимы обработки, обеспечивающие постоянное взаимодействие деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью детали.

УДК 621.762.8:621.727.4

И.Л.БАРШАЙ, канд.техн.наук,
С.Г.БОХАН (БПИ)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В проведенных ранее исследованиях для компактных материалов (сталь 20) за геометрические параметры зоны деформирования были приняты углы охвата φ_1 и φ_2 ролика материалом детали (рис.1). Эти углы отсчитываются от радиуса профиля ролика, проведенного из верхней точки волны материала, возникающей перед роликом в первом случае в направлении подачи, во втором — в направлении, противоположном подаче, до оси симметрии профиля ролика.

Степень пластической деформации материала в продольном сечении детали и зоны пластической деформации в процессе обкатки определяются суммарным углом охвата $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ ролика материалом детали.

Углы охвата определялись по фотографиям зоны деформации в проходящем свете. Обкатывание втулок из материала ЖГр-2 осуществлялось на токарно-винторезном станке мод. 16К20 роликом с радиусом рабочего профиля $R = 5$ мм, изготовленным из стали ШХ15. Параметры режима обкатывания изменялись в следующих пределах: продольная подача s — 0,05; 0,15; 0,3 мм/об; усилие обкатывания P — 1000, 1500, 2000 Н; частота вращения шпинделя — 400 об/мин.

Анализ полученных зависимостей (рис. 2) свидетельствует о том, что в исследованных пределах изменения параметров режима обработки зона пластической деформации изменяется в меньшей степени, чем при аналогичной обработке компактных материалов. Такое отличие объясняется прежде всего особенностями обрабатываемого порошкового материала, в частности, наличием

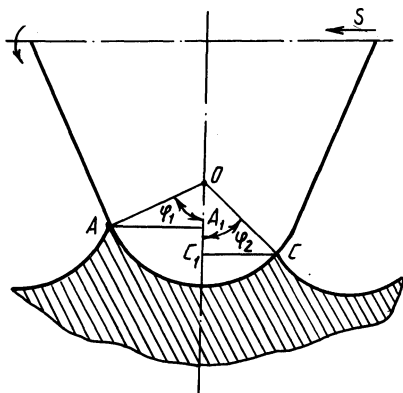


Рис. 1. Схема для определения углов φ_1 и φ_2