

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

УДК 621.753.5

П.Ф. КОТИКОВ, Э.А. СВИДЕРСКИЙ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Разработан способ обработки ППД, обеспечивающий выравнивание по фазе и амплитуде упругих перемещений инструмента и детали. Между опорной поверхностью станка и базирующей поверхностью детали располагают вязкоупругий элемент, а между обрабатываемым инструментом и базирующей поверхностью станка – упругий элемент.

Согласно работе [1], уравнения, описывающие данный процесс, имеют вид:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c) \dot{x}_1 - c \dot{x}_2 + (k_1 + k) x_1 - k x_2 = F \sin \omega t ; \\ m_2 \ddot{x}_2 + (c_2 + c) \dot{x}_2 - c \dot{x}_1 + (k_2 + k) x_2 - k x_1 = 0 , \end{cases} \quad (1)$$

где m_1 – приведенная масса детали; m_2 – приведенная масса подвижной части инструмента; c_1 – коэффициент демпфирования вязкоупругого элемента, расположенного между опорной поверхностью станка и базирующей поверхностью детали; c_2 – коэффициент демпфирования элемента, расположенного между инструментом и базирующей поверхностью станка; c – коэффициент демпфирования в зоне контакта детали и инструмента; k_1 – жесткость вязкоупругого элемента, расположенного между опорной поверхностью станка и базирующей поверхностью детали; k_2 – жесткость элемента, расположенного между инструментом и базирующей поверхностью станка; k – жесткость контакта детали и инструмента.

Массы детали и инструмента приведены к центру масс этих элементов.

Возмущающая сила, действующая на деталь, изменяется по гармоническому закону $F \sin \omega t$, где ω – частота; t – время.

Решение уравнений (1) при условии установившихся колебаний будет иметь вид:

$$x_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1); \quad x_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2) . \quad (2)$$

Систему уравнений (1) следует решать при условии равенства по фазе и амплитуде упругих перемещений детали и инструмента, т. е. $A_1 = A_2$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$.

Возмущающую силу можно представить в виде

$$F \sin \omega t = F \sin [(\omega t + \varphi) - \varphi] = F \cos \varphi \sin(\omega t + \varphi) - F \sin \varphi \cos(\omega t + \varphi) . \quad (3)$$

Подставив выражения (2), (3) в уравнения (1), имеем

$$\begin{aligned}
 & -A_1 m_1 \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) + (c_1 + c) A_1 \omega \cos(\omega t + \varphi) - c A_2 \omega \cos(\omega t + \varphi) + \\
 & + (k_1 + k) A_1 \sin(\omega t + \varphi) - k A_2 \sin(\omega t + \varphi) = \\
 & = F \cos \varphi \sin(\omega t + \varphi) - F \sin \varphi \cos(\omega t + \varphi).
 \end{aligned}$$

Приравнявая коэффициенты при $\sin(\omega t + \varphi)$ и $\cos(\omega t + \varphi)$, получаем:

$$-A_1 m_1 \omega^2 + (k_1 + k) A_1 - k A_2 = F \cos \varphi ;$$

$$(c_1 + c) A_1 \omega - c \omega A_2 = -F \sin \varphi ,$$

или

$$(k_1 + k - m_1 \omega^2) A_1 - k A_2 = F \cos \varphi ;$$

$$(c_1 + c) \omega A_1 - c \omega A_2 = -F \sin \varphi .$$

Второе уравнение системы (1) имеет вид

$$\begin{aligned}
 & -m_2 A_2 \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) + (c_2 + c) \omega A_2 \cos(\omega t + \varphi) - c \omega A_1 \cos(\omega t + \varphi) + \\
 & + (k_2 + k) A_2 \sin(\omega t + \varphi) - k A_1 \sin(\omega t + \varphi) = 0.
 \end{aligned}$$

Приравнявая коэффициенты при $\sin(\omega t + \varphi)$ и $\cos(\omega t + \varphi)$, получаем:

$$(k_2 + k) A_2 - k A_1 - m_2 \omega^2 A_2 = 0;$$

$$(c_2 + c) \omega A_2 - c \omega A_1 = 0.$$

Тогда

$$(k_1 + k - m_1 \omega^2) A_1 - k A_2 = F \sin \varphi ;$$

$$(c_1 + c) \omega A_1 - c \omega A_2 = -F \sin \varphi ;$$

$$(k_2 + k - m_2 \omega^2) A_2 - k A_1 = 0 ;$$

$$(c_2 + c) A_2 - c A_1 = 0.$$

При $A_1 = A_2$ и $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ имеем:

$$k_2 + k - m_2 \omega^2 - k = 0 \Rightarrow k_2 = m_2 \omega^2 ;$$

$$c_2 = 0; c \neq 0 \Rightarrow c_2 = 0 .$$

Амплитуда установившихся колебаний

$$A = - \frac{F}{c_1 \omega} \sin \varphi .$$

Жесткость вязкоупругого элемента, расположенного между опорной поверхностью станка и базирующей поверхностью детали:

$$k_1 = m_1 \omega^2 - c_1 \omega \operatorname{ctg} \varphi .$$

Для обеспечения равенств $A_1 = A_2$, $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ необходимо, чтобы $k_1 = m_1 \omega^2 - c \omega \operatorname{ctg} \varphi$, $k_2 = m_2 \omega^2$, $c_2 = 0$. Отсюда следует, что демпфирование элемента, расположенного между инструментом и базирующей поверхностью станка, должно быть минимальным и стремиться к нулю.

Экспериментальные исследования данного способа ППД проводились при обработке фланца, изготовленного из алюминиевого сплава АД1Т. Между фланцем и опорной поверхностью станка располагалась резиновая прокладка толщиной 12 мм. Деформирующий инструмент закреплялся упруго. Деталь имела огранку, равную 0,2 мм. Обработка ППД производилась при следующих режимах: подача – 0,2 мм/об; усилие деформирования – 100 Н; частота вращения детали – 1000 об/мин; частота возмущающей силы $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$. Динамические характеристики детали: приведенная масса $m_1 = 5,3$ кг; коэффициент демпфирования $c_1 = 106$ кг/с; жесткость $k_1 = 523333,3$ Н/м. Динамические характеристики инструмента: приведенная масса $m_2 = 1,01$ кг; коэффициент демпфирования $c_2 = 5,05$ кг/с; жесткость $k_2 = 99682,5$ Н/м. Исследование качественных характеристик обработанной поверхности осуществлялось с помощью профилографа-профилометра мод. 201. Измерение параметров шероховатости поверхности производилось в направлении радиальной оси фланца детали через 10° . При всех измерениях $Ra = 0,12 \dots 0,14$ мкм. Средний параметр шероховатости поверхности составлял $Ra = 0,12 \dots 0,13$ мкм.

Обработка детали при закреплении ее в патроне станка позволяет получить поверхность с параметром шероховатости в пределах $Ra = 0,1 \dots 0,26$ мкм.

Таким образом, использование ППД приводит к существенному повышению качества обработанной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сургунт Я.М., Котиков П.Ф., Свидерский Э.А. Моделирование процесса поверхностного пластического деформирования // Машиностроение. – Мн.: Выш. шк., 1986. – Вып. 11. – С. 46–49.

УДК 762.8:621.787.4

В.А. ФЕДОРЦЕВ

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Эффективность применения ППД для упрочнения рабочих поверхностей подшипниковых колец из металлического порошка ЖГр1ДЗ, предварительно обработанных чистовым точением или шлифованием, оценивалась по износостойкости упрочненных поверхностей.

Исследования выполнялись на специальных образцах, полученных из колец, торцовые поверхности которых были обработаны жестким многороликовым обкатником с различными усилиями ППД. Обработку осуществляли без СОЖ, так как выделявшегося в процессе деформирования из детали пропи-