

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  $m_1 = 5,3 \text{ кг}$ ; коэффициент демпфирования  $c_1 = 106 \text{ кг/с}$ ; жесткость  $k_1 = 523333,3 \text{ Н/м}$ . Динамические характеристики инструмента: приведенная масса  $m_2 = 1,01 \text{ кг}$ ; коэффициент демпфирования  $c_2 = 5,05 \text{ кг/с}$ ; жесткость  $k_2 = 99682,5 \text{ Н/м}$ . Исследование качественных характеристик обработанной поверхности осуществлялось с помощью профилографа-профилометра мод. 201. Измерение параметров шероховатости поверхности производилось в направлении радиальной оси фланца детали через  $10^\circ$ . При всех измерениях  $Ra = 0,12 \dots 0,14 \text{ мкм}$ . Средний параметр шероховатости поверхности составлял  $Ra = 0,12 \dots 0,13 \text{ мкм}$ .

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

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-

точного смазочного материала на основе графита было достаточно для реализации процесса ППД без схватывания обрабатываемого материала с деформирующими коническими роликами.

Для определения износостойкости поверхностных слоев образцов, полученных из металлопорошка и обработанных методами точения, шлифования и ППД, была использована специальная машина трения, обеспечивающая коэффициент взаимного перекрытия трущихся тел, близкий к нулю, при испытании на износостойкость малых (пальчиковых) образцов в условиях охлаждения в закрытой масляной ванне. Узел трения такой машины состоит из патрона, насаженного на конический шпиндель станка (в данном случае настольно-сверлильного мод. НС-12), контртела и специальной державки (качалки) с тремя исследуемыми пальчиковыми образцами, закрепляемой в патроне и обеспечивающей равномерное распределение усилия прижима образцов к контртелу.

Пальчиковые образцы размером  $4 \times 4 \times 10$  мм устанавливались в державке под углом  $120^\circ$  и зажимались при помощи винтов и планок.

Рабочая поверхность образцов (площадью порядка  $16 \text{ мм}^2$ ) выставлялась при помощи индикатора часового типа с ценой деления  $0,01$  мм на одной высоте над базовой плоскостью державки. Затем образцы маркировались, промывались, сушились и взвешивались.

Параметр  $Ra$  шероховатости обработанной рабочей поверхности образцов составлял  $2,5 \dots 0,63$  мкм.

Рабочие поверхности чугунных контртел подвергались тонкому точению при постоянных режимах обработки, чтобы обеспечить параметр шероховатости в пределах  $Ra = 1 \dots 1,25$  мкм (в качестве контртел использовались диски диаметром  $60$  мм и высотой  $15$  мм из серого чугуна СЧ 24).

Интенсивность изнашивания образцов небольших размеров определяли по снижению их массы. Для повышения точности измерений образцы взвешивались на лабораторных аналитических весах мод. ВЛА 200-2М. Износ образцов, упроченных ППД, сравнивался с износом таких же образцов, обработанных точением или шлифованием. Общая продолжительность испытаний во всех случаях устанавливалась опытным путем исходя из износа образцов. Периодичность их взвешивания в процессе испытания составляла  $3, 10, 15, 30, 60, 120$  мин, что соответствовало пути трения  $0,5 \cdot 10^3, 1,2 \cdot 10^3, 2,4 \cdot 10^3, 4,8 \cdot 10^3, 9,6 \cdot 10^3, 19,2 \cdot 10^3$  м.

Износ определялся как среднее арифметическое результатов взвешивания трех образцов, одновременно подвергавшихся истиранию. Результат считался удовлетворительным, если при повторном взвешивании образцов отклонение от предыдущего показания не превышало  $0,01$  мг.

Исследование износостойкости образцов производилось при постоянной скорости их вращения в условиях трения скольжения, равной  $0,5$  м/с (или  $800$  об/мин), и при давлении  $5$  МПа.

Твердость порошкового спеченного материала марки ЖГр1ДЗ, из которого изготавливаются детали подшипников, работающих в условиях трения скольжения, характеризуется большими колебаниями: от  $85$  НВ (по требованиям чертежа) до  $95 \dots 121$  НВ. Это значит, что твердость торцовых рабочих поверхностей таких деталей неодинакова и сказывается на их износе.

Наибольший износ имеют принятые за эталон образцы, обработанные точением. Меньше износ у образцов, обработанных шлифованием. Это можно

объяснить тем, что параметр исходной шероховатости торцовых рабочих поверхностей образцов при обработке точением находится в пределах  $Ra = 1,4...2$  мкм, а при шлифовании –  $Ra = 0,6...1,2$  мкм.

Наименьший износ наблюдается у образцов деталей, обработанных ППД, при усилии обкатывания 1500 Н, что можно объяснить повышенной поверхностью микротвердостью при исходном параметре шероховатости поверхности  $Ra = 0,18...2$  мкм.

Упрочненные ППД образцы имеют износ в 1,3 раза меньший, чем шлифованные, и почти в 1,5 раза меньший, чем обработанные точением.

Таким образом, применение метода ППД для деталей из порошкового материала марки ЖГр1ДЗ позволяет повысить износостойкость трущихся поверхностей изделий в 1,3...1,5 раза.

УДК [621.941:621.787.4] : 62-187

Я.М. СУРГУНТ, А.М. ДОВГАЛЕВ

### ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ И ППД

Точность формообразования поверхности при совмещенной обработке (СО) резанием и ППД определяется возникающими упругими отжатыми формообразующего элемента инструмента и детали. С целью ее достижения важно разработать методы активной компенсации возникающих в процессе обработки упругих отжятий элементов системы СПИД.

Суммарные упругие отжятия элементов системы СПИД следует представлять как сумму аperiодических и периодических (колебательных) отжятий. Продолжительность изменения аperiодических упругих отжятий соизмерима с основным технологическим временем операции СО, а доминирующая частота периодических соизмерима с частотой вращения обрабатываемой детали. Тогда

$$\Sigma y = y + y_{\omega},$$

где  $\Sigma y$  – суммарные упругие отжятия в системе СПИД;  $y$  – аperiодическая составляющая упругих отжятий;  $y_{\omega}$  – периодическая составляющая.

Суммарные упругие отжятия при СО поверхностей резанием и ППД комбинированным инструментом одностороннего действия (КИОД) определяются выражением

$$\Sigma y = \frac{\Sigma P_y}{j_c} = \frac{P_p + P_d + P_{и}}{j_c}, \quad (1)$$

где  $\Sigma P_y$  – суммарная сила, действующая на систему СПИД;  $P_p, P_d$  – радиальная составляющая соответственно силы резания и деформирования;  $P_{и}$  – уси-