

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-

лие предварительного нагружения системы СПИД;  $j_c$  – жесткость системы СПИД.

Анализ выражения (1) показывает, что для компенсации возникающих упругих отжатый необходимо обеспечить условие

$$\Sigma P_y = P_p + P_d + P_{и} = \text{const}$$

В процессе осуществления операции СО (вследствие непостоянства глубины резания, физико-механических характеристик обрабатываемого материала и т. д.) имеет место отклонение радиальной составляющей силы резания от ее номинального значения на  $\pm \Delta P_p$ , т. е. появляется избыточная сила резания, вызывающая упругие отжатыя в системе.

Избыточная сила резания

$$\Delta P_p = [\Delta P + \Delta P' \cos(\omega_1 t + \varphi)] ,$$

где  $\Delta P$  – аperiodическая составляющая избыточной силы резания;  $\Delta P' \cos(\omega_1 t + \varphi)$  – периодическая составляющая избыточной силы резания;  $\omega_1$  – частота воздействия на систему СПИД периодической составляющей избыточной силы резания;  $t$  – время;  $\varphi$  – фаза воздействия на систему СПИД периодической составляющей избыточной силы резания.

Из условия отсутствия упругих отжатый в системе СПИД следует:

$$P_p + P_d + P'_{и} \pm [\Delta P + \Delta P' \cos(\omega_1 t + \varphi)] \pm [\Delta P_c + \Delta P'_c \cos(\omega_2 t + \psi)] = \text{const} , \quad (2)$$

где  $P'_{и}$  – фактическое усилие предварительного нагружения системы СПИД при введении стабилизирующей силы;  $\Delta P_c$  – аperiodическая составляющая стабилизирующей силы;  $\Delta P'_c \cos(\omega_2 t + \psi)$  – периодическая составляющая стабилизирующей силы;  $\omega_2$  – частота воздействия на систему СПИД периодической составляющей стабилизирующей силы;  $\psi$  – фаза воздействия на систему СПИД периодической составляющей стабилизирующей силы.

Как видно из выражения (2), для компенсации избыточной силы резания необходимо воздействовать на систему СПИД стабилизирующим усилием, противоположно направленным, имеющим аperiodическую и периодическую составляющие, изменяя усилие  $P_{и}$ .

Предварительное нагружение системы СПИД усилием  $P_{и}$  можно осуществлять одним из указанных методов: 1) нагружением корпуса комбинированного инструмента со стороны станины станка; 2) одновременным нагружением корпуса инструмента и детали с помощью упора-регулятора.

Пусть предварительное нагружение корпуса комбинированного инструмента со стороны станины станка осуществляют с помощью специального динамометрического устройства путем сжатия пружины, имеющей жесткость  $j_{п}$ . Тогда предварительное сжатие пружины

$$y_{п.о} = P_{и} / j_{п} ,$$

но

$$P_{и} = 0,5 C_{P_y} (D_{\max} - D_{\min}) x_P y_S y_P y_v^n K_{P_y} .$$

Тогда выражение (3) примет вид

$$y_{п.о} = \frac{0,5C_{P_y} (D_{\max} - D_{\min})^{x_P} y_S^{y_P} y v^n K_{P_y}}{j_{п}},$$

где  $j_{п}$  – жесткость пружины динамометрического устройства;  $C_{P_y}$ ;  $x_P$ ;  $y_P$ ,  $n$  – коэффициенты и показатель степени для расчета радиальной составляющей силы резания при выполнении операции СО;  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  – соответственно максимальный и минимальный диаметры обрабатываемых деталей;  $S$  – подача инструмента;  $v$  – скорость вращения детали;  $K_{P_y}$  – поправочный коэффициент на радиальную составляющую силы резания для переменных условий обработки.

Подставим в выражение (2) значения составляющих стабилизирующей силы, выраженных через жесткость комбинированного инструмента, жесткость пружины динамометрического устройства нагружения инструмента и их перемещения:

$$P_p + P_d + P'_и \pm [\Delta P + \Delta P' \cos(\omega_1 t + \varphi)] \pm \pm [j_{п} \Delta y_{п} + j \Delta y'_{п} \cos(\omega_2 t + \psi)] = \text{const}, \quad (4)$$

где  $j$  – жесткость комбинированного инструмента;  $\Delta y_{п}$  – регулировочное перемещение пружины динамометрического устройства нагружения инструмента;  $\Delta y'_{п}$  – амплитуда колебательных перемещений корпуса инструмента при действии на систему СПИД стабилизирующей силы.

Из уравнений (2), (4) следует, что максимальная компенсация периодических отжаты в системе имеет место, если избыточная и стабилизирующая силы действуют на систему СПИД в противофазе и обеспечивается равенство частот их воздействий.

Упрощенные схемы компенсации упругих отжаты в системе СПИД при СО деталей резанием и ППД представлены на рис. 1 и 2.

Для компенсации аperiodической составляющей упругих отжаты в системе СПИД разработан комбинированный инструмент (рис. 1), имеющий корпус 1 с установленными в нем режущим 3 и деформирующим 5 элементами. Инструмент снабжен упором-регулятором 10 с телом качения 8 и опорной пластиной 7. Между корпусом 1 и упором-регулятором 10 имеется пружина 11, для регулирования сжатия которой предусмотрен винт 4. Опорная пластина 7 неподвижно крепится к станине 9 станка.

Корпус инструмента закрепляют в резцедержателе 6, вводят тело качения 8 в контакт с опорной пластиной 7. Посредством поворота винта 4 сжимают пружину 11, нагружая тем самым корпус инструмента усилием  $P'_и$ , которое определяют по вышеприведенной методике. Детали сообщают вращение и перемещают инструмент с подачей  $S$  вдоль обрабатываемой поверхности. В процессе обработки с помощью измерительных преобразователей

определяют аperiodическую составляющую упругих отжати́й корпуса инструмента и детали 2, которая преобразуется в электрический сигнал и вместе с сигналом от задающего устройства поступает в сравнивающее устройство системы автоматического регулирования станка. Сигнал рассогласования усиливается и поступает на исполнительный механизм. Последний, согласно сигналу рассогласования, осуществляет поворот винта 4 и вызывает перемещение пружины 11 на  $\Delta y_n$ . При приближении сигнала рассогласования к нулю исполнительный механизм прекращает поворот винта.

Для компенсации периодической составляющей упругих отжати́й (колебаний) в системе СПИД предназначен комбинированный инструмент (рис. 2), состоящий из корпуса 1 и установленных в нем режущего 2 и деформирующего 3 элементов. На корпусе жестко закреплено основание 4 электромагнитно-

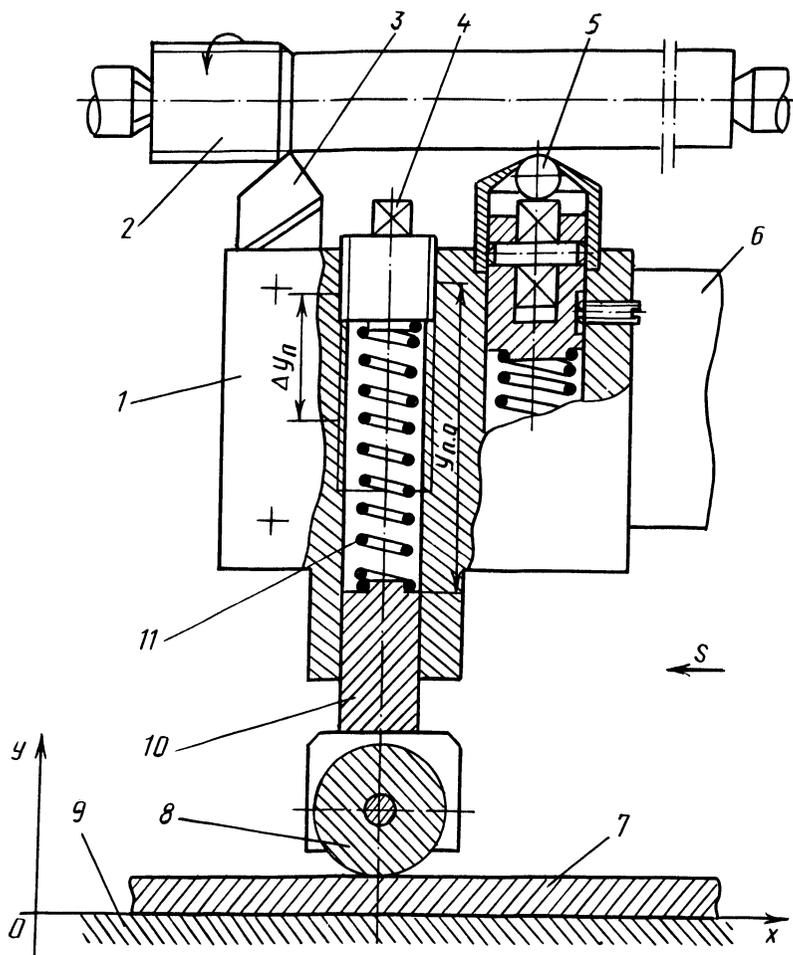


Рис. 1. Схема осуществления способа СО деталей резанием и ППД с активной компенсацией аperiodической составляющей упругих отжати́й в системе СПИД

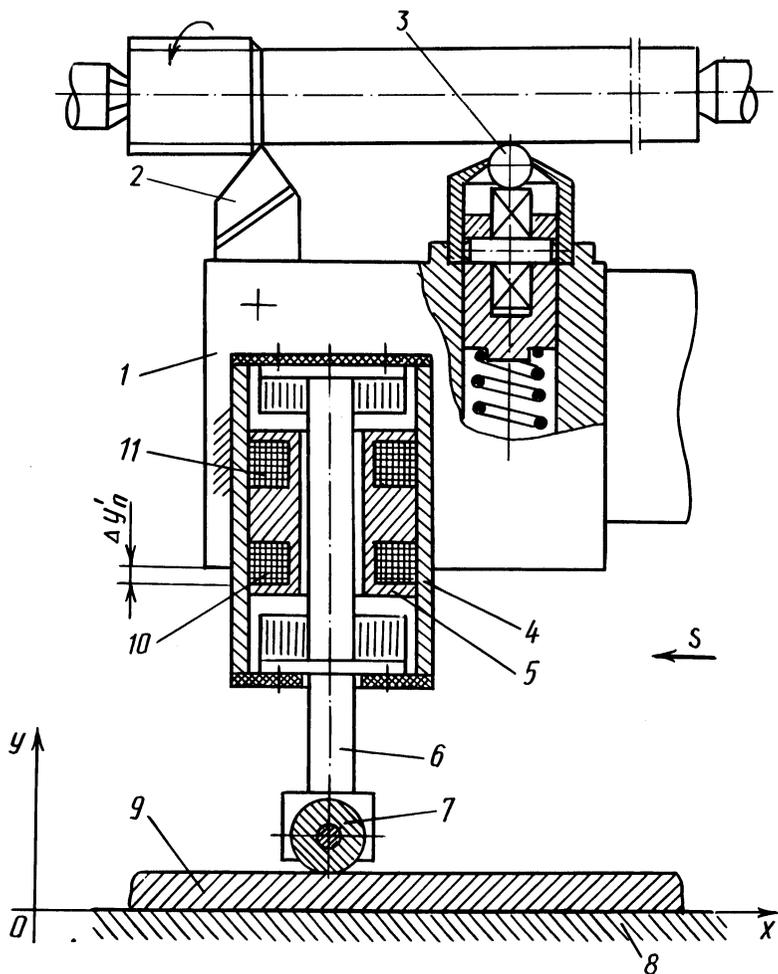


Рис. 2. Схема осуществления способа СО деталей резанием и ППД с активной компенсацией периодической составляющей упругих отжатий в системе СПИД

го генератора механических колебаний с вибрирующим стержнем 6. На конце стержня установлено с возможностью вращения тело качения 7. Статор 5 имеет две рабочие обмотки 11 и две обмотки подмагничивания 10. Измерительными преобразователями определяют периодическую составляющую упругих отжатий (колебаний) в системе СПИД, и в противофазе отжатиям на рабочие обмотки 11 генератора подается изменяемое по гармоническому закону напряжение. Одновременно напряжение подается и на обмотки подмагничивания. Стержень 6 вибратора при взаимодействии с неподвижной опорой 9 на станине 8 станка вызывает стабилизирующие колебательные перемещения корпуса инструмента с амплитудой  $\Delta y'_{п}$  в противофазе к колебаниям в системе СПИД. Периодическая составляющая упругих отжатий в системе СПИД при этом компенсируется.