

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) на токарных станках с ЧПУ, имеющих сравнительно высокую жесткость суппортной группы (не менее 25000 Н/мм), достижима точность диаметральных размеров соответствует 8-му качеству при обработке с модулированной подачей и 9-му качеству при обработке с прерыванием подачи; 2) точность продольных размеров практически не зависит от закономерности изменения подачи и может быть обеспечена по 8-му качеству; 3) погрешности формы деталей, обработанных с модулированной подачей, практически соответствуют погрешностям формы деталей, обработанных с постоянной подачей, равной среднему значению модулированной подачи.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Каштальян И.А., Кочергин А.И., Зайцев В.Б. Поддержание заданного закона изменения подачи на токарных станках с ЧПУ. //Машиностроение. – Мн., 1979. – Вып. 2. С. 83 – 90.
2. Kashtalyan I.A. Improvement of Manufacturing Software for Microprocessor Program Controllers // Micro and Precision Mechanics: Proceeding of the 41TH International Colloquium . – Ilmenau, 1996. V. 1. P. 441 – 444.
3. Большов Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, // 1963. – 464 с.
4. Кораблев П.А. Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении. – М.: Машиностроение, 1962. – 228 с.
5. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. – М.: Машиностроение, // 1974. – 239 с.

УДК 621.91.002

**С. В. Маруга , А. С. Козерук , И. П. Филонов , Ф. Ф. Климович**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

В настоящее время в машино- и приборостроении при изготовлении деталей с высокоточными цилиндрическими поверхностями применяют способы притирки, особенностью которых является зависимость точности и качества обработки от свойств и твердости материала заготовки, зернистости применяемого абразива, а также от кинематических, геометрических, силовых факторов процесса и, что самое важное, от их сочетания. При этом выбор режимов осуществляет рабочий, основываясь на своем опыте и интуиции, что значительно увеличивает трудоемкость [1].

С целью формализации действий рабочего, механизации процесса и создания методики управления доводочными операциями при получении указанного класса изделий из различных материалов нами предложен метод свободной притирки, основанный на силовом замыкании пары «инструмент – заготовка», их самоустановке и сложной траектории относительного перемещения [2]. При этом заготовку вращают вокруг оси, а шлифовальнику в виде сегмента кольцевого цилиндра сообщают продольные осциллирующие движения с различными скоростями и амплитудами, в результате чего существенно усложняется траектория его движения и возрастает путь трения относительно детали, что повышает качество и производительность обработки.

Для практической реализации данного способа создано устройство (рис.1), устанавливаемое на серийно выпускаемых шлифовально-полировально-доводочных рычажных станках моделей ШП и ПД. Устройство работает следующим образом.

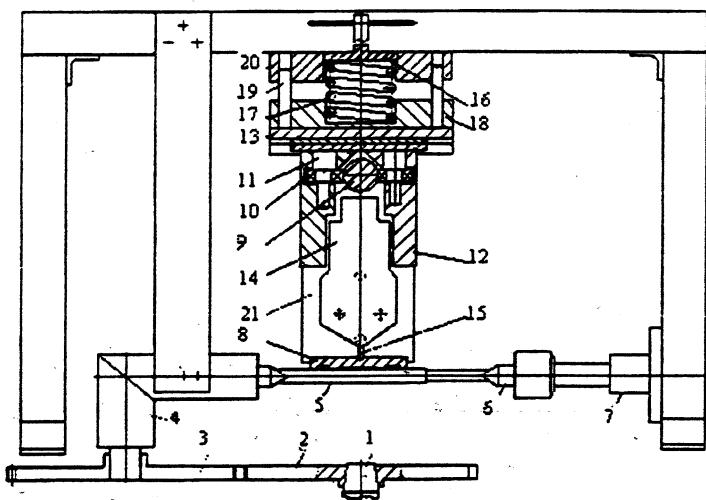


Рис. 1. Схема устройства для притирки цилиндрических поверхностей.

От шпинделя станка 1 через зубчатые колеса 2, 3 и конический редуктор 4 вращение передается заготовке 5, которая поджимается задним центром 6 при помощи механического устройства 7. Возвратно-поступательное перемещение инструменту 8 сообщается от штанги станка 9, совершающей возвратно-качательное движение, через подшипники 10, ось 11, корпус 12, перемещающийся по направляющей 13, источник вибраций 14 и поводок 15, входящий в контакт с пазами на поверхно-

сти инструмента и передающий, к тому же, продольные вибрации от электромагнитного источника. Усилие прижима инструмента к детали создается винтом 16 и пружиной 17. Далее через плиту 18, перемещающуюся по направляющим 19 призм 20, усилие передается на корпус 12. Прижим осуществляется пластинами 21, имеющими возможность регулировки по высоте в зависимости от диаметра обрабатываемой заготовки.

Нами разработана математическая модель закономерностей обработки, положенная в основу методики управления съемом материала по поверхности детали в зависимости от наладочных параметров технологического оборудования.

Предлагаемая методика основана на гипотезе Престона [3] о пропорциональности величины снимаемого припуска пути трения  $L_{mp}$ , проходимого произвольно выбранной точкой  $M$  на поверхности заготовки за цикл обработки  $T$ , причем

$$L_{mp} = \int_0^T V dt,$$

где  $V$  – абсолютная линейная скорость скольжения детали относительно инструмента.

Для получения точек  $M$  поверхность детали разбивают на  $n$  колец и  $m$  полос.

При этом образуются элементарные площадки  $S_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ , в центре которых определяют точки  $M_{ij}$  с координатами, рассчитываемыми из выражений

$$x_{i,j}^{\partial} = L_{\partial} \frac{2i - n - 1}{2n}; \quad y_{i,j}^{\partial} = -r_{\partial} \sin\left(\frac{2\pi}{m}\left(j - \frac{1}{2}\right)\right); \quad z_{i,j}^{\partial} = r_{\partial} \cos\left(\frac{2\pi}{m}\left(j - \frac{1}{2}\right)\right),$$

где  $L_{\partial}$  – длина детали.

Согласно определению, вектор скорости  $\vec{V}$  в точке  $M_{ij}$  можно записать в виде равенства

$$\vec{V} = \vec{V}_{\partial} - \vec{V}_u,$$

где  $\vec{V}_{\partial}$ ,  $\vec{V}_u$  – векторы линейных скоростей притира и детали, определяемые из соотношений

$$\vec{V}_{\partial} = \vec{\omega}_{\partial} \times \vec{R};$$

$$\vec{V}_u = (V_u^n + V_u^s) \vec{i},$$

где  $\vec{R}$  – радиус-вектор рассматриваемой точки  $M_{ij}$ ;  $\vec{\omega}_{\partial}$  – угловая скорость вращения заготовки;  $V_u^n$ ,  $V_u^s$  – линейные скорости соответственно возвратно-поступательного и вибрационного движений инструмента.

Раскрыв соответствующие векторные произведения, получим выражение для расчета абсолютного значения скорости скольжения в виде

$$V = \sqrt{(V_u^n + V_u^s)^2 + (w_b R_x^d)^2 + (w_b R_z^d)^2}.$$

При этом скорость возвратно-поступательного движения притира  $V_u^n$  определяется из выражения

$$V_u^n = \frac{a}{\cos^2 \Psi} \dot{\Psi},$$

где  $a$  – амплитуда возвратно-поступательного движения инструмента;  $\Psi = \Psi(t)$  – закон движения выходного звена исполнительного механизма станка, подробно описанный в литературе [4].

Поскольку в процессе обработки перемещение инструмента под действием вибраций в произвольный момент времени  $t$  подчиняется синусоидальному закону, то можно записать, что

$$e = e_{\max} \sin\left(\frac{2\pi}{T_B} t\right) = e_{\max} \sin(w_B t),$$

где  $e_{\max}, w_B, T_B$  – соответственно амплитуда, частота и период вибраций, сообщаемых шлифовальнику.

Тогда скорость вибрационного движения инструмента определяется из соотношения

$$V_u^s = \dot{e} = w_b e_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{T_B} t\right).$$

Из анализа закономерностей обработки цилиндрических поверхностей по предлагаемому методу следует, что притир находится в контакте с деталью, если выполняются неравенства

$$x_{\min}^u \leq R_x \leq x_{\min}^d \text{ или } x_{\max}^u \leq R_x \leq x_{\max}^d \\ |R_y| \leq y_{\max}^u \text{ и } |R_z| \geq 0,$$

где  $x_{\min}^u, x_{\max}^u, x_{\min}^d, x_{\max}^d, x_{\max}^u$  – координаты крайних точек инструмента, определяемые по формулам

$$x_{\min}^u = -\frac{L_u}{2} + S; \quad x_{\max}^u = \frac{L_u}{2} + S; \\ x_{\min}^d = -\frac{L_d}{2} + S; \quad x_{\max}^d = \frac{L_d}{2} + S; \quad y_{\max}^u = \frac{d_u}{2}.$$

В последних выражениях  $L_u, d_u$  – соответственно длина и ширина инструмента;  $S = a \operatorname{tg} \Psi + e$  – смещение центра притира относительно центра детали;  $L_m$  – ширина центральной канавки на рабочей поверхности шлифовальника.

Используя приведенные выражения, с помощью ЭВМ были выполнены численные исследования закономерностей распределения путей трения вдоль образующей цилиндрической поверхности детали в различных ее сечениях в зависимости от наладочных параметров технологического оборудования.

В результате расчетов установлено, что при обработке сплошным притиром получается погрешность в виде седлообразности, для устранения которой на его рабочей части были предусмотрены продольные и диаметральные канавки, снизившие непрямолинейность образующей цилиндра. Помимо указанной, продольная канавка выполняет еще одну не менее важную функцию – служит для выравнивания эпюры давления в зоне обработки и обеспечивает полный контакт заготовки и шлифовальника по мере изнашивания последнего. Установлены также области оптимальных значений ширины и длины инструмента, числа и размеров канавок на его рабочей части, частоты вращения детали, а также амплитуды и числа двойных ходов выходного звена исполнительного механизма станка.

Проведенные экспериментальные исследования выявили достаточно высокую степень соответствия характера съема припуска с закономерностями распределения путей трения вдоль образующей обработанной цилиндрической поверхности, что указывает на адекватность разработанной математической модели реальным условиям процесса притирки.

На основании данных, полученных в ходе численных и экспериментальных исследований, разработаны рекомендации для определения режимов формообразования цилиндрических деталей с учетом исходной погрешности, благодаря чему можно с достаточной точностью прогнозировать отклонение формы обрабатываемой поверхности от заданной. В результате представляется возможным формализовать действия рабочего, в значительной мере механизировать процесс притирки и, в итоге, снизить трудоемкость изготовления указанных изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Орлов П.Н. и др. Доводка прецизионных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 256 с.
2. Козерук А.С., Маруга С.В., Филонов И.П., Климович Ф.Ф. Способ обработки прецизионных цилиндрических поверхностей. Заявка 970671. Решение ГПК РБ от 26.02.98: МКИ В 24 В 1/00 3. Preston F.W. The Theory and Design Plate Glase Polishing Machines // Journal of the Society Technology. – 1927. – № 1 – P. 214 – 256
4. Филонов И.П., Климович Ф.Ф., Козерук А.С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов. – Мн.: ДизайнПРО, 1995. – 208 с.