УДК 621.9.042

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Доктора техн. наук, профессора МРОЧЕК Ж. А., ШАТУРОВ Г. Ф., канд. техн. наук, проф. ЖОЛОБОВ А. А., ШАТУРОВ Д. Г.

Белорусский национальный технический университет, Белорусско-Российский университет

Штоки гидроцилиндров обычно работают в условиях абразивной и агрессивной сред, водных растворов кислот. Для защиты их рабочих поверхностей от коррозии и повышения износостойкости используют гальваническое покрытие хромом.

Технологический процесс механической обработки наружной рабочей поверхности штока, представляющего собой деталь типа вала, контактирующей с уплотняющей манжетой, включает ряд операций: точение (многократное), термообработку, шлифование (многократное), полирование, хромирование, шлифование, полирование и (или) суперфиниширование с формированием шероховатости поверхности R_a = = 0,32–0,08 мкм. На некоторых предприятиях ряд традиционных операций механической обработки штоков, таких как шлифование и полирование, частично заменяются или дополняются поверхностным пластическим деформированием (ППД), алмазным выглаживанием и вибронакатыванием (ВН) [1, 2], использование которых для условий эксплуатации штоков заменяет термообработку, а в некоторых случаях – хромирование [2].

Шлифование, или полирование, рабочей поверхности штока приводит к ее шаржированию мелкими зернами абразива и как следствие – к отсутствию хрома на этих поверхностях при хромировании, снижению долговечности и надежности. При эксплуатации рабочая поверхность штока с течением времени становится фактически абразивным инструментом, что способствует более интенсивному изнашиванию пары трения «шток–манжета».

Технологическим барьером для исключения шаржирования поверхности при шлифовании или полировании служат заменяющие их операции поверхностного пластического формирования и вибронакатывания [2, 3]. В этом случае точность и шероховатость обработанной поверхности перед ППД и ВН обеспечивает предшествующая токарная обработка. Однако износ инструмента приводит к наличию конусности по длине и погрешности обработки

$$\Delta Д = 2\delta_р,$$

где $\Delta Д$ – погрешность обработки; $\delta_р$ – размерный (радиальный) износ лезвия резца.

Поскольку штоки часто имеют значительную длину (до 8 м), погрешность обработки при точении достаточно велика ($\Delta Д$ = 0,1–0,2 мм).

Анализ результатов исследований позволил получить зависимость [4] по определению размерного износа лезвия резца от времени его работы

$$\delta_р = \delta_0 \left(\frac{\tau}{T_0} \right)^{n_0} K_р, \qquad (1)$$

где

$$n_0 = \left(\frac{T_0 U_0 v}{1000 \delta_0 K_р} \right)^{\frac{1}{0,6}};$$

$$K_р = \frac{\sin\varphi_1 + \sin\varphi}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \mathrm{tg}\alpha_з;$$

$\delta_р$ – величина размерного (радиального) износа резца; φ, φ_1 – главный и вспомогательный углы

в плане резца; δ_0 – оптимальный износ задней поверхности резца, δ_0 = 400–500 мкм; U_0 – относительный износ инструмента, мкм/км [5]; T_0 – период стойкости инструмента, мин [5]; v – скорость резания, м/мин; $\alpha_з$ – задний угол заточки резца.

Следовательно, используя зависимость (1), можно на стадии проектирования технологического процесса за счет выбора рациональных параметров режима резания и инструмента спрогнозировать размерный износ лезвия, а во время эксплуатации инструмента – обеспечить в любой момент времени обработки за счет его поднастройки получение необходимой точности обрабатываемой поверхности, в том числе при обработке валов на токарных станках с ЧПУ.

В этом случае проектирование технологического процесса токарной обработки проводят в такой последовательности. Сначала осуществляют выбор подачи, обеспечивающей необходимую величину шероховатости под последующее обкатывание, используя для этого известные зависимости по определению высоты микронеровностей [5]. Далее определяют условия обработки и устанавливают скорость резания v, частоту вращения шпинделя станка n, период стойкости инструмента T_0 [5] и показатель n_0 (1). Исходя из допустимого припуска и допуска под обкатывание, длины обрабатываемой поверхности и режимов резания определяют погрешность обработки ΔD, обусловленную размерным износом лезвия резца. Износ лезвия резца не должен превышать величину оптимального припуска под обкатывание:

$$\Delta D \geq 2\frac{\delta_0}{T_0^{n_0}}\tau^{n_0}k_{\text{р}}[(N+1)^{n_0} - N^{n_0}];$$

$$\tau_0 = \frac{l}{Sn},$$

где N – количество обработанных заготовок деталей; ΔD – погрешность обработки (ΔD = = 0,01–0,02 мм); τ_0 – время обработки одной заготовки детали; l – длина обрабатываемой поверхности.

Анализ параметров представленной зависимости показывает, что наибольшая погрешность имеет место при обработке первой заготовки. Поэтому первую заготовку используют для настройки. При обработке последующей заготовки погрешность обработки по сравнению с предыдущей уменьшается: второй заготовки детали – на 27–30 %, третьей – на 10 % и т. д. При получении погрешности обработки ΔD, более допустимой, проводят корректировку режимов по скорости резания и повторяют расчет до приемлемого результата.

В то же время при обработке длинномерных рабочих поверхностей штоков (l = 2–8 м) стойкость призматических резцов по-прежнему остается недостаточной.

Использование в этом случае для чистового точения вместо призматического самовращающегося (ротационного) резца позволяет вследствие увеличения длины режущей кромки (РК) несколько повысить (в 3–4 раза) общую стойкость инструмента. Однако перемещение РК со скоростью, соизмеримой со скоростью вращения заготовки, приводит к быстрому механическому и термоусталостному износу лезвия, образованию волнистости на обрабатываемой поверхности вследствие биения РК и к ухудшению качества обработки [6].

Альтернативой известным способам чистовой обработки резанием и шлифованием может служить процесс резания чашечным резцом с микрообновлением режущей кромки (МОРК), обеспечивающий обработку каждого последующего участка обрабатываемой поверхности новым участком РК. Скорость перемещения $v_{\text{п}}$ РК устанавливается на пять-шесть порядков меньше скорости вращения заготовки, а направление ее перемещения в зоне резания совпадает с направлением подачи (рис. 1). Это позволяет обеспечить минимальный износ на формообразующем обрабатываемую поверхность участке лезвия. Данное обстоятельство гарантирует неизменное и одинаковое качество обрабатываемой поверхности за определенный период времени работы резца, стойкость которого составляет от двух до восьми часов и может быть определена по зависимости [6]

$$T_{\text{м}} = 1{,}5(n_0+1)^{\frac{1}{n_0}}\frac{2\pi}{\psi_{\text{к}}}T_0,$$

где $T_{\text{м}}$ – стойкость резца с МОРК, мин; T_0 – стойкость чашечного резца с неподвижной РК;

$\psi_к$ – угол контакта РК резца с заготовкой, $\psi_к$ = = 10–15°.

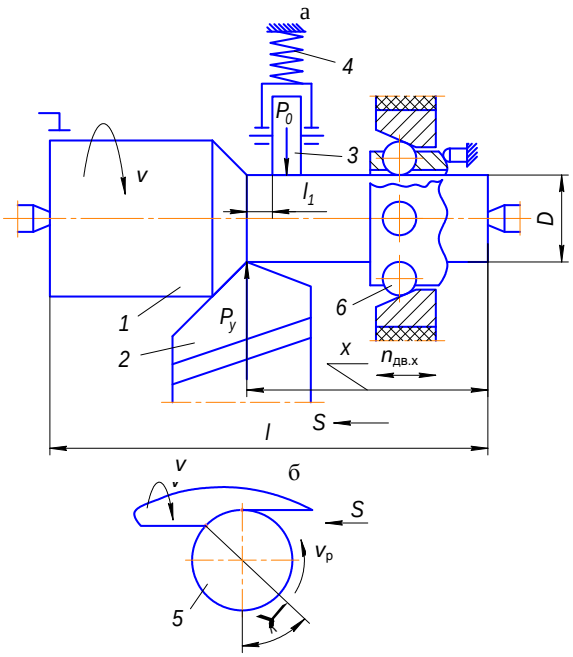

Рис. 1. Схемы обработки: а – призматическим резцом и ИСВ; б – резцом с МОРК; 1 – заготовка; 2 – призматический резец; 3 – ролик; 4 – упругий элемент (пружина); 5 – резец с МОРК; 6 – виброобкатывающая головка; v, $v_п$, S – направление вращения заготовки, резца с МОРК и перемещение резца соответственно; $n_{дв.х}$ – возвратно-поступательное движение сепаратора с шарами при ИСВ; $\psi_к$ – угол контакта чашечного резца с заготовкой; P_Y, P_0 – радиальная составляющая силы резания и усилие деформирования соответственно

Так, возможности процесса резания резцом с МОРК были подтверждены при чистовой обработке стального вала (материал заготовки – сталь 50) диаметром 850 мм и длиной 8600 мм на режимах обработки: скорость резания v = = 7,1 м/с; подача S = 0,5 мм/об; глубина резания t = 0,4 мм; скорость перемещения РК $v_п$ = = 10 мкм/с. В результате обеспечивалась шероховатость поверхности R_a = 0,7–0,8 мкм, точность обработки на всей длине вала не превышала 0,045 мм. Зависимость шероховатости поверхности от величины подачи для призматического и чашечного резцов с МОРК представлена на рис. 2. При обработке резцом с МОРК достижима шероховатость поверхности R_a = 0,4–0,8 мкм.

Технологические возможности по точности обработки: при чистовом точении резцом с МОРК соответствуют шестому-седьмому квалитету точности и полностью зависят от жесткости элементов (опор вала и заготовки) технологической системы. Сдерживающим фактором использования чистового точения как подготовительной операции перед ППД является появление дополнительной погрешности обработки, связанной с упругими деформациями элементов технологической системы, особенно при обработке нежестких валов. При точении под действием радиальной P_y силы резания технологическая система упруго деформируется, увеличивая погрешность обработки, связанную с износом резца. Для исключения этого явления оппозитно резцу устанавливают ролик [2] (рис. 1), который компенсирует действие радиальной силы резания на продольный изгиб вала и деформацию его опор.

Погрешность обработки, зависящая от упругих деформаций технологической системы:

$$\Delta Д_{ср}^{max} = 2\left(P_y - P_0\right)\left|\Delta\omega\right|,$$

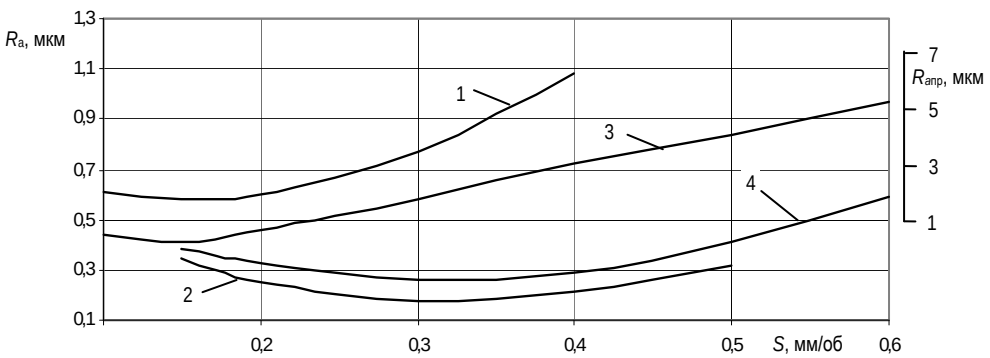

Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от величины подачи S при последовательной обработке: призматическим резцом (1 – $R_{апр} = f(s)$) и ИСВ (2); резцом с МОРК (3) и ИСВ (4); v = 120 м/мин; t = 0,5 мм

где

$$P_0 = \frac{i}{\omega_р};$$

$$\Delta\omega = \frac{1}{\frac{1}{\omega_{зб}} + \frac{1}{\omega_{пб}} + \frac{1}{\omega_р}} - \frac{1}{\frac{1}{\omega_{зб}} + \frac{1}{\omega_р}};$$

$\omega_р$ – податливость пружины (рис. 1); i – величина натяга (заглубления) деформирующего элемента относительно обрабатываемой поверхности, или величина предварительного сжатия пружины для обеспечения усилия P_0.

Основное назначение дополнительного усилия P_0 состоит в управлении упругими перемещениями элементов технологической системы, если ее жесткости будет недостаточно для компенсации силы P_Y.

Финишная обработка наружных рабочих поверхностей штоков до хромирования обычно выполняется ППД роликом или вибронакатыванием шариком [2].

Для повышения производительности процесса вибронакатывания и более широкого диапазона регулирования в получении геометрических параметров микрорельефа разработаны способ импульсно-силового вибронакатывания и инструменты для его осуществления, позволяющие одновременно осуществить комбинированную обработку, а именно: вначале упрочнить поверхность, а затем создать на этой поверхности полностью регулярный профильно-винтовой микрорельеф за один ход инструмента [6]. Процесс вибронакатывания осуществляется шариками, расположенными в одной плоскости сепаратора, совершающего возвратно-поступательное перемещение от взаимодействия с обрабатываемой заготовкой, опорным конусом и профильным кулачком (рис. 1).

Необходимое усилие для упрочнения поверхности создается за счет натяга, т. е. разницы диаметров между обрабатываемой заготовкой и шарами.

С точки зрения производительности и качества обрабатываемой поверхности, рекомендуется осуществлять процесс импульсно-силового вибронакатывания с подачами 0,2–0,4 мм/об (рис. 2). Дополнительное радиальное и поступательное движение шаров в обкатнике обеспечивает на оптимальных режимах глубину распространения наклепа на 0,4–0,6 мм, степень наклепа – 30–40 %, микротвердость $HV = 23 \cdot 10^2$ МПа, улучшение чистоты обрабатываемой поверхности на 30–40 % по сравнению со стандартным обкатыванием.

Точность обработки, достигаемая обкатными головками, находится в пределах шести-семи квалитетов и зависит от исходной точности поверхности. Припуск под вибронакатывание составляет 5–10 мкм, достижимая шероховатость при ИСВ R_a = 0,18–0,26 мкм. Большая степень сглаживания формируется для поверхностей, обработанных призматическим резцом и имеющих остроконечный профиль микронеровностей. Меньшая степень сглаживания имеет место при обкатывании поверхностей, обработанных резцом с МОРК и имеющих более пологий профиль микронеровностей [6]. Упрочняющие способы обработки обеспечивают ($r_в$ = 800 мкм) по сравнению со шлифованными ($r_в$ = 12 мкм) на порядок, а виброупрочняющие – на два порядка ($r_в$ = 1000–3000 мкм) увеличение радиуса $r_в$ закругления вершин микронеровностей. ИСВ обеспечивает получение малых углов наклона микронеровностей $\beta_н$ ($\beta_н$ = 0,5–1,0°), что при больших радиусах $r_в$ определяет пологую «обтекаемую» форму микронеровностей, способствующую удержанию масляной пленки на поверхности. В результате уменьшается в 4–5 раз время приработки и на 50–100 % повышается износостойкость поверхности. При этом повышение износостойкости за счет упрочнения поверхности имеем более чем 40 %, а за счет оптимального микрорельефа – на 42 %, в том числе за счет его пологой формы (больших радиусов $r_в$ и малых $\beta_н$) – на 14 %.

После хромирования вибронакатанной поверхности шероховатость увеличивается до R_a = 0,32–0,5 мкм (при исходной R_a = 0,18–0,26 мкм) с сохранением регулярности микрорельефа, но с меньшими высотными его характеристиками. Полирование рабочей поверхности производят тороидальным твердосплавным роликом, установленным под углом φ = 20° по отношению к направлению подачи и смещенным на величину H = 12 мм относительно оси детали с подачей S = 0,2–0,3 мм/об при усилии обкатывания P = 40–100 Н [7]. Упрочнение роликом с выглаживанием обеспечивает формирование в хромовом покрытии напряжений сжатия, завальцовывание микротрещин и снижение шероховатости поверхности до R_a = 0,16–0,2 мкм.

ВЫВОД

Технология обработки рабочей поверхности штока гидроцилиндра может быть составлена из следующих операций: точение предварительное, точение чистовое призматическим резцом (для коротких валов) и (или) резцом с МОРК (для штоков большой протяженности), вибронакатывание (ИСВ), хромирование и обкатывание тороидальным роликом. Последовательность операций представленного способа обработки рабочей поверхности штока позволяет расширить технологические возможности механической обработки по повышению точности полученных размеров, снижению шероховатости обрабатываемой поверхности и повышению ее износостойкости, осуществить выбор параметров и режимов процесса для получения необходимого качества изделия при оптимальной производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Размерно-чистовая** обработка деталей машин пластическим деформированием взамен резания. – М.: НИИмаш, 1965. – 244 с.

2. **Шнейдер, Ю. Г.** Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.

3. **Одинцов, Л. Г.** Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1981 – 160 с.

4. **Шатуров, Г. Ф.** Исследование процесса изнашивания токарного инструмента / Г. Ф. Шатуров, В. А. Лукашенко, Д. Г. Шатуров // Вестник БРУ. – 2006. – № 3. – С. 113–118.

5. **Справочник** технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.

6. **Шатуров, Г. Ф.** Прогрессивные процессы механической обработки / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск: Технопринт, 2001. – 460 с.

7. **Подураев, В. Н.** Упрочняющая обработка валов комбинированным инструментом / В. Н. Подураев, Г. Ф. Шатуров, Е. М. Шарапов // Станки и инструмент. – 1977. – № 3. – С. 37–38.

Поступила 14.04.2008

УДК 629.113.004.67

ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ ПРИПЕКАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ИХ СВОЙСТВ

Докт. техн. наук, проф. ЯРОШЕВИЧ В. К.

Белорусский национальный технический университет

Припекание в соответствии с ГОСТ 17359–82 – это технологический процесс получения покрытий, заключающийся в нанесении на поверхность детали порошковой формовки или слоя порошка, а также в нагреве их до температуры, обеспечивающей спекание порошкового материала и образование прочной диффузионной связи с деталью [1].

Электроконтактное припекание предусматривает нагрев металлического порошка, засыпаемого между деталью и электродом, за счет тепловой энергии, выделяемой электрическим током на активном сопротивлении [2]. Процесс припекания обеспечивается совместным действием на порошковый слой высокой температуры (0,9–0,95 температуры плавления порошка) и давления (до 100 МПа).

При упрочнении плоских поверхностей деталей основной технологической схемой является прокатка порошкового слоя роликовым электродом (рис. 1).

Электроконтактное припекание металлических порошков относится к числу процессов, основную роль в которых играют силовые и температурные факторы активирования [3]. Интенсивное силовое воздействие и высокая скорость нагрева порошкового слоя позволяют отказаться от химических активаторов процес-