

**Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев, Е. В. Сенчуров**

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь*

## **ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

Получение высокого параметра шероховатости хромированных поверхностей при достаточно большой производительности и точности геометрических параметров представляют серьезную проблему. Рассмотрен процесс магнитно-абразивной обработки штоков гидроцилиндров, который обеспечивает уменьшение шероховатости рабочих поверхностей. Образцами служили штоки гидроцилиндров, изготовленные из стали 20Х ГОСТ 4543-71. Образцы подвергались термообработке до HRC 61–64, шлифованию до получения шероховатости поверхности  $Ra$  0,8 мкм, полированию под хромирование методом магнитно-абразивной обработки и последующему хромированию (толщина слоя хрома 0,02–0,03 мм). Проведенные исследования магнитно-абразивной обработки хромированных штоков гидроцилиндров показали, что шероховатость поверхности уменьшается на 54 % при изменении времени обработки от 60 до 150 с. Дальнейшее увеличение времени обработки приводит к падению интенсивности съема материала, в результате чего уменьшение шероховатости при времени обработки от 60 до 210 с равно 61 %. Применение метода магнитно-абразивной обработки для штоков гидроцилиндров до их хромирования обеспечило за 90 с обработки снижение шероховатости  $Ra$  с 0,8 до 0,2 мкм. Это позволяет сделать вывод, что механизм процесса магнитно-абразивной обработки, обеспечивающий массовый и размерный съем металла хромированных поверхностей, аналогичен процессу обработки нехромированных. Разница в интенсивности съема объясняется тем, что хромовое покрытие деталей, обладая значительной износостойкостью и твердостью, препятствует более интенсивному протеканию процесса.

*Ключевые слова:* шток гидроцилиндра, магнитно-абразивная обработка, шероховатость, качество поверхности

**L. M. Akulovich, L. E. Sergeev, E. V. Senchurov**

*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus*

## **PARTICULARITIES OF MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING OF RODS OF HYDRAULIC CYLINDERS**

Obtaining high parameter of roughness of chrome-plated surfaces with rather big productivity and accuracy of geometrical parameters represents a serious problem. A process of magnetic and abrasive processing of rods of hydraulic cylinders which provides reduction of roughness of working surfaces is considered. Hydraulic cylinders which have been made of steel 20Cr GB 3077-88 were used as samples. Samples were exposed to heat treatment to HRC 61–64, grounded to obtain roughness of a surface of  $Ra$  0.8 microns, prepared for chromium plating by polishing by the method of magnetic and abrasive processing and then chromeplated (thickness of a layer of chrome of 0.02–0.03 mm). The conducted researches of magnetic and abrasive processing of the chrome-plated rods of hydraulic cylinders have shown that the roughness of a surface decreases by 54 % at change of time of processing from 60 to 150 seconds. Further increase of the processing time leads to falling of intensity of material removal therefore decrease of a roughness at time of processing within the range from 60 to 210 seconds is equal to 61 %. Application of the method of magnetic and abrasive processing for rods of hydraulic cylinders before their chromium plating has provided the decrease of roughness  $Ra$  from 0.8 to 0.2 microns in 90 seconds of processing. It allows drawing a conclusion that the mechanism of process of magnetic and abrasive processing, which provides mass and dimensional removal of metal of chrome-plated surfaces is similar to the processes of treatment of not chrome-plated ones. The difference of removal intensity is explained by the fact that the chromic covering of details, having considerable wear resistance and hardness, interferes with more intensive course of process.

*Key words:* hydraulic cylinder rod, magnetic and abrasive processing, roughness, quality of a surface

**Введение.** Гидроцилиндры широко применяют в гидросистемах как источники привода рабочих органов мобильных машин и исполнительных механизмов промышленного оборудования. В гидросистеме с одним, реже – двумя насосами может быть установлено до 6–10 гидроцилиндров. По функциональным признакам гидроцилиндры – это объемные гидродвигатели, предназначенные для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена с возвратно-поступательным движением. Причем подвижным звеном может выступать как шток, так и корпус (гильза) гидроцилиндра [1].

Без специального технологического оборудования для чистовой расточки и раскатки внутренней поверхности гильз, шлифования и полирования штоков, обеспечивающего параметры шероховатости по ГОСТ 2789–73 рабочих уплотняемых поверхностей штоков и гильз гидроцилиндров, а также хромирования наружной поверхности штоков путем электролитического нанесения пленки толщиной 20–30 мкм невозможно изготовить коррозионно- и износостойкие штоки. Среднее арифметическое отклонение профиля рабочей поверхности штока после хромирования и полирования должно быть не более 0,16 мкм, рабочей поверхности гильзы гидроцилиндра –  $Ra$  0,32 мкм по ГОСТ 2789–73 [2].

Поэтому все материалы, используемые для их изготовления, должны быть устойчивыми к механическим воздействиям, чтобы не произошло выдавливания уплотнений в зазоры при высоком давлении и при возникновении радиальных нагрузок, вызывающих смещение штока относительно передней направляющей втулки или поршня относительно гильзы.

**Постановка задачи исследования.** Для изготовления штоков гидроцилиндров современного технического уровня и качества необходимо специально металлообрабатывающее и гальваническое оборудование, что требует организации производства с экологически вредным участком и больших финансовых затрат.

Традиционная технология изготовления штоков гидроцилиндров достаточно трудоемка, особенно при изготовлении крупногабаритных изделий с большой длиной рабочих поверхностей. При использовании в качестве заготовки горячекатаных прутков обработка наружных поверхностей выполняется в три и более операции, что требует значительных затрат времени и средств. Первой операцией при обработке длинномерных штоков является черновая обточка, затем производится получистовая и чистовая обработка.

Так, штоки и плунжеры, выпускаемые по одному типоразмеру, должны обрабатываться по наружной цилиндрической поверхности с параметром шероховатости  $Ra$  0,2–0,1 мкм и точности по 2-му или 3-му качеству.

Обеспечение высокого параметра шероховатости хромированных поверхностей при достаточно большой производительности и точности геометрических параметров представляет серьезную проблему, которая решается разными путями. В условиях крупносерийного и массового производства шероховатость наружных цилиндрических поверхностей  $Ra$  0,4–0,1 мкм обеспечивается на станках для суперфиниширования. Однако относительно низкая производительность и высокая стоимость абразивного инструмента, в том числе и алмазного, являются недостатками процесса суперфиниширования и ограничивают его применение.

В условиях серийного и индивидуального производства наибольшее распространение получили машинно-ручная и ручная доводка и полировка при помощи наждачной бумаги типа Л1Э620×50П215А25-НМА (ГОСТ 6456-82) или войлочных кругов с различными пастами. Указанные технологические процессы не обеспечивают достаточно высокой производительности и стабильности шероховатости обрабатываемой поверхности и, кроме того, не поддаются автоматизации. Это приводит к необходимости поиска новых методов финишной обработки штоков гидроцилиндров и их использования для обработки как хромированных поверхностей, так и поверхностей под хромирование.

**Полученные результаты и их обсуждение.** Одним из направлений совершенствования технологии изготовления штоков является комбинированная обработка резанием и поверхностное пластическое деформирование (ППД) за счет совмещения получистовой и чистовой обработки путем создания упрочненного слоя, улучшающего эксплуатационные свойства детали [3].

Однако производительность обработки резанием и ППД в значительной степени зависит от количества режущих элементов, и это связано с тем, что режимы обкатывания поверхности роликами и обработки резцами различны и определяются глубиной резания, подачей и скоростью резания. Учитывая, что пятно контакта от деформирующего элемента на обкатываемой поверхности имеет протяженность, измеряемую в миллиметрах, а величины подач для резцов измеряются в десятых долях миллиметра, то могут возникать условия, при которых возможен перенаклеп поверхностного слоя и его отслоение. С целью исключения подобного дефекта необходимо снижать припуск под обкатывание и повышать точность в поперечном сечении детали при со-

хранении низких скоростей резания. Увеличение скоростей резания, а следовательно, чисел оборотов вращения детали может вызвать вибрации в системе СПИД по причине биения заготовки.

Одним из новых методов финишной обработки деталей машин является магнитно-абразивная обработка (МАО) [4, 5]. Метод позволяет получать на закаленных цилиндрических наружных поверхностях шероховатость  $Ra$  0,05–0,63 мкм с высокой производительностью. Для установления возможности финишной обработки штоков гидроцилиндров методом МАО была проведена серия опытно-экспериментальных работ.

В качестве оборудования применялась установка СФТ 2.150.00.00.000 для МАО при наличии бункера-дозатора и следующих режимах подачи ферроабразивного порошка (ФАП) в зону обработки: напряжение на катушках – 24 В; ток в катушках – 0,2 А; масса порции порошка – 0,012–0,024 кг.

Параметры и режимы МАО: скорость резания – 2 м/с; частота осцилляции – 1420 дв. ход/мин; амплитуда осцилляции – 3 мм; величина рабочего зазора – 3,5 мм; магнитная индукция – 0,6–1,0 Т. ФАП: Ж15КТ ТУ 6-09-483-81, размерность частиц ФАП – 0,16–0,2 мм, смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) – СинМА-1 ТУ 38-5901176-91, 3%-ный водный раствор; время обработки – 60–210 с.

Шероховатость образцов измерялась до и после обработки в трех разных сечениях на профилографе-профилометре 252-Калибр. В каждом сечении делалось четыре замера. По результатам всех замеров каждого образца находилось среднеарифметическое значение шероховатости его поверхности.

Образцами служили штоки гидроцилиндров, изготовленные из стали 20Х ГОСТ 4543-71 (рис. 1). Образцы подвергались термообработке до HRC 61–64, шлифованию до получения шероховатости поверхности  $Ra$  0,8 мкм, подготовкой под хромирование методом МАО и последующим хромированием (толщина слоя хрома 0,02–0,03 мм). Шероховатость поверхности образцов после хромирования составила  $Ra$  0,32–0,63 мкм.

Следует отметить, что принятая величина рабочих зазоров между полюсными наконечниками и заготовкой составляет

$$\delta = 5\Delta,$$

где  $\Delta$  – наибольший размер отдельной частички ФАП.

В данном случае  $\delta = 5\Delta \cdot 0,2 = 1$  мм, который является оптимальным, поскольку увеличение данного зазора приводит к снижению жесткости ферроабразивной щетки, падению давления и повышению шероховатости поверхностного слоя, а его уменьшение связано с падением качественных характеристик обработанной поверхности.

Практическое использование метода МАО штоков гидроцилиндров заключалось в исследовании влияния времени обработки на шероховатость их поверхности до и после хромирования. Остальные параметры оставались неизменными в течение обработки всей партии образцов. Результаты исследований представлены на рис. 2.

Проведенные исследования МАО хромированных штоков гидроцилиндров показали, что шероховатость поверхности уменьшается на 54 % при изменении времени обработки от 60 до 150 с. Дальнейшее увеличение времени обработки приводит к падению интенсивности съема материала, в результате чего изменение шероховатости при времени обработки от 60 до 210 с равно

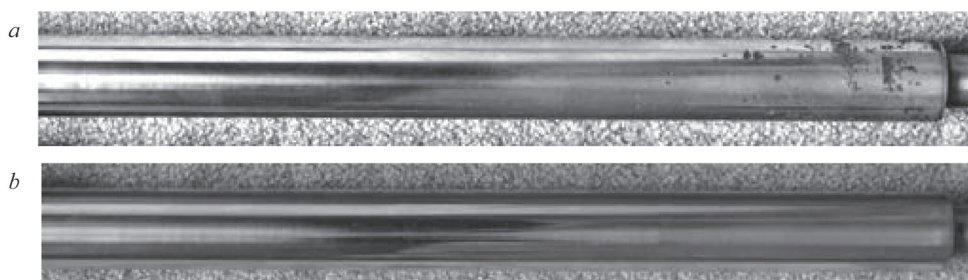


Рис. 1. Образцы штоков гидроцилиндров: *a* – до обработки; *b* – после обработки  
Fig. 1. Samples of rods of hydraulic cylinders: *a* – before processing; *b* – after processing

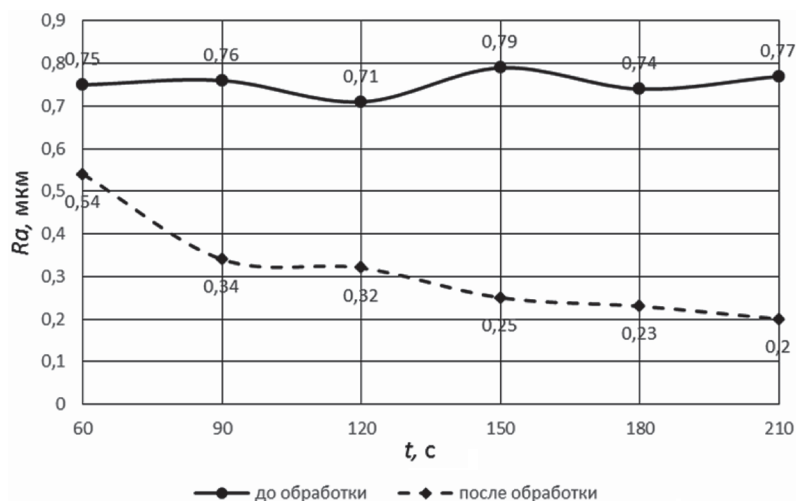


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхностей хромированных штоков гидроцилиндров от времени обработки  
Fig. 2. Dependence of surface roughness of chrome-plated rods of hydraulic cylinders on processing time

61 %. Применение метода MAO для штоков гидроцилиндров до их хромирования обеспечило за 90 с обработки снижение шероховатости  $Ra$  с 0,8 до 0,2 мкм.

Это позволяет сделать вывод, что механизм процесса MAO, обеспечивающий массовый и размерный съем металла хромированных поверхностей, аналогичен процессам нехромированных. Разница съема объясняется тем, что хромовое покрытие деталей, обладая значительной износостойкостью и твердостью, препятствует более интенсивному протеканию процесса. Профилограммы шероховатости поверхности штоков гидроцилиндров после шлифования и MAO представлены на рис. 3.

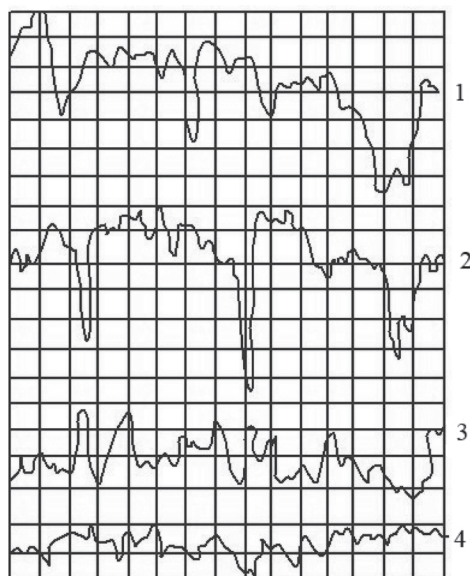


Рис. 3. Профилограммы исходной и обработанной поверхности штоков гидроцилиндров различными методами финишной обработки: 1 – шлифование,  $Ra$  0,8 мкм; 2 – магнитно-абразивная обработка,  $Ra$  0,4 мкм; 3 – магнитно-абразивная обработка,  $Ra$  0,2 мкм; 4 – магнитно-абразивная обработка,  $Ra$  0,1 мкм

Fig. 3. The valid profile of the initial and processed surface of rods of hydraulic cylinders by various methods of finishing processing: 1 – grinding,  $Ra$  0.8 microns; 2 – magnetic and abrasive processing,  $Ra$  0.4 microns; 3 – magnetic and abrasive processing,  $Ra$  0.2 microns; 4 – magnetic and abrasive processing,  $Ra$  0.1 microns

На шероховатость обработанной хромированной поверхности большое влияние оказывает сцепление хромового покрытия с матрицей материала. В случае низкого качества раствора хрома при гальваническом покрытии и низкого сцепления с основным металлом штока наблюдаются задиры на обрабатываемой поверхности или слой хрома полностью отслаивается. При качественном хромировании подобные явления отсутствуют.

**Заклучение.** Гидроцилиндры, на которых были установлены обработанные методом MAO штоки, при приемодаточных испытаниях проверялись при использовании минерального масла с кинематической вязкостью 8–2000 мм<sup>2</sup>/с в диапазоне температур окружающей среды от –50 до +55 °С и температур рабочей жидкости от –10 до +80 °С при тонкости фильтрации рабочей жидкости 25 мкм.

Функционирование совершалось путем последовательного сообщения полостей с напорной и сливной магистралями, осуществляя трехкратное перемещение штока по всей длине в обе стороны.

Продольная устойчивость штока проверялась при давлении, равном 1,5 номинального, в течение не менее 3 мин при неподвижном штоке на гидроцилиндре, закрепленном в соответствии с креплением на фланце.

Испытательные стенды и условия проведения испытаний соответствовали ГОСТ 18464-96 и требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.086-83.



В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что использование метода MAO для штоков гидроцилиндров до и после хромирования обеспечивает высокое качество обработки для хромированных с  $Ra$  0,32–0,63 мкм до  $Ra$  0,2 мкм и до хромирования с  $Ra$  0,8 до  $Ra$  0,2 мкм.

### Список использованных источников

1. Санкович, Е. С. Гидравлика, гидравлические машины, гидроприводы / Е. С. Санкович, А. Б. Сухоцкий. – Минск: БГТУ, 2005. – 137 с.
2. Гаврилов, К. Л. Основы гидропривода дорожно-строительных и сельскохозяйственных машин / К. Л. Гаврилов. – СПб.: Деан, 2011. – 232 с.
3. Повышение производительности обработки штоков пневмо- и гидроцилиндров за счет усовершенствования устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием / Б. Е. Пини [и др.] // Изв. Моск. гос. техн. ун-та МАМИ. – 2012. – Т. 2, № 2 (14). – С. 164–166.
4. Коновалов, Е. Г. Чистовая обработка деталей в магнитном поле ферромагнитными порошками / Е. Г. Коновалов, Г. С. Шулев. – Минск: Наука и техника, 1967. – 128 с.
5. Акулович, Л. М. Основы профилирования режущего инструмента при магнитно-абразивной обработке / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2014. – 280 с.

### References

1. Sankovich E. S., Suhotskiy E. S. *Hydraulics, hydraulic machines, hydraulic actuators: educational and methodical benefit*. Minsk, Belarusian State Technological University, 2005. 137 p. (in Russian).
2. Gavrilov K. L. *Bases of a hydraulic actuator of road-building and farm vehicles*. Sankt Petersburg, Dean Press Ltd, 2011. 232 p. (in Russian).
3. Pini B. E., Maksimov Yu. V., Ankin A. V., Adeev A. S. Increase in productivity of processing of rods of air- and hydraulic cylinders due to improvement of the device for the combined processing by cutting and superficial plastic deformation. *Izvestiya MGTU MAMI* [Izvestiya MGTU MAMI], 2012, vol. 2, no. 2 (14), pp. 164–166 (in Russian).
4. Kononov E. G., Schulev G. S. *Fine processing of details in magnetic field with ferromagnetic powders*. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1967. 128 p. (in Russian).
5. Akulovich L. M., Sergeev L. E. *Bases of profiling of the cutting tool at magnetic and abrasive processing*. Minsk, Belarusian State Agrarian and Technical University, 2014. 280 p. (in Russian).

### Информация об авторах

*Акулович Леонид Михайлович* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология металлов», Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Республика Беларусь). E-mail: leo-akulovich@yandex.ru

*Сергеев Леонид Ефимович* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология металлов», Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Республика Беларусь). E-mail: l.sergeev.mail@gmail.ru

*Сенчуров Евгений Витальевич* – начальник отдела внедрения научно-технических разработок, Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Республика Беларусь). E-mail: senchurov@tut.by

### Для цитирования

Акулович, Л. М. Особенности магнитно-абразивной обработки штоков цилиндров / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев, Е. В. Сенчуров // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2017. – № 2. – С. 73–77.

### Information about the authors

*Akulovich Leonid Mihailovich* – D. Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology of Metals, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti Ave., 220023, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: leo-akulovich@yandex.ru

*Sergeev Leonid Efimovich* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Metals, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti Ave., 220023, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: l.sergeev.mail@gmail.ru

*Senchurov Evgeniy Vital'evich* – Head of the Department of Introduction of Scientific and Technical Developments, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti Ave., 220023, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: senchurov@tut.by

### For citation

Akulovich L. M., Sergeev L. E., Senchurov E. V. Particularities of magnetic-abrasive machining of rods of hydraulic cylinders. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series], 2017, no. 2, pp. 73–77 (in Russian).