

УДК 621.787.4

А.П. Минаков, д-р техн. наук, проф., Е.В. Ильюшина**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В статье приведены исследования влияния пневмовибродинамической обработки на эксплуатационные свойства внутренних поверхностей гильз гидроцилиндров. Сравнительный анализ двух вариантов обработки гильз показывает преимущества поверхности, прошедшей повторное деформационное упрочнение ПВДО, с точки зрения прирабатываемости, несущей способности, износостойкости в сравнении с поверхностями после раскатывания.

На основании данных эксплуатации гидравлического привода строительных, дорожных, землеройных, подъемно-транспортных и сельскохозяйственных машин установлено, что наибольшее число отказов в таком узле, как гидроцилиндр, связано с износом уплотнительных элементов [1...3]. При этом на долю подвижных уплотнений приходится 55 % отказов, полуподвижных – 25 % и неподвижных – 20 %.

Уменьшить износ и продлить срок службы пары трения гильза гидроцилиндра – поршневое кольцо можно за счет использования высококачественного материала уплотнительных колец, а также за счет качественной обработки рабочей поверхности гильзы. Установлено, что при шероховатости стальной поверхности грубее $Ra = 0,1$ мкм износ полимера происходит интенсивнее [4], следовательно, снижение шероховатости металлической поверхности гильзы менее 0,1 мкм позволит уменьшить износ в паре трения.

Анализ традиционных способов финишной обработки внутренней поверхности гильз гидроцилиндров показал, что отделочно-упрочняющая обработка (ППД) более предпочтительна для повышения износостойкости в сравнении с абразивной (хонингование, притирка, полирование и т.п.) [5...8]. Однако использование ППД не решает проблемы снижения шероховатости менее 0,1 мкм [9].

Решение упомянутой проблемы связано с впервые разработанным способом обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки. Способ включает размерную лезвийную обработку внутренней поверхности гильзы, поверхностное пластическое деформирование жесткими рабочими элементами и центробежную пневмовибродинамическую обработку (ПВДО) [10].

Сущность способа состоит в том, что впервые удалось снизить шероховатость исходной упрочненной поверхности «сырых» заготовок повторным деформационным упрочнением ПВДО. При этом получена шероховатость $Ra < 0,1$ мкм и проведены исследования качества поверхности гильз гидроцилиндров.

Опыт эксплуатации машин и механизмов, а также исследования, проведенные специалистами и учеными [4, 5, 11], показали, что свойства поверхностей трения не ограничиваются лишь высотными показателями шероховатости. Наибольшее влияние на коэффициент трения оказывает не только среднее арифметическое отклонение профиля Ra , но и относительная опорная длина профиля t_p , определяющая несущую способность поверхности. На износ и интенсивность изнашивания контактирующих поверхностей влияют, кроме того, прирабатываемость, маслостойкость и площадь фактического контакта, определяемые кривой опорной поверхности (кривая Аббуота).

Для исследования влияния центробежной ПВДО на эксплуатационные свойства внутренней цилиндрической поверхности образцов заготовок гильз гидроцилиндров был проведен сравнительный анализ профилограмм поверхностей в соответствии с методикой, изложенной в стандарте DIN 4776 [12]. Данный стандарт применяется при

определении параметров по кривой Аббоута, которая служит для характеристики профильной кривой. Параметры, описываемые кривой Аббоута, служат для оценки надежности и долговечности поверхностей трения.

Вся глубина микрорельефа за счет сближения кривой Аббоута с тремя прямыми подразделяется на три области: центральная область профиля, область пиков и область царапин. Эти области описываются тремя отдельными параметрами, рассмотренными ниже:

- центральная высота микронеровностей R_k или глубина профиля сердцевинной шероховатости, представляющая собой высоту основного микрорельефа (рис.1). Центральная область профиля является областью максимального увеличения материала, где кривая Аббоута имеет наиболее плоский характер. Для поверхностей трения решающая для нагружаемости центральная область должна составлять на микрорельефе не менее 40 %. Поэтому при используемом в DIN 4776 методе расчета на долю центральной области выпадает не менее 40 % всех измеряемых точек профиля, соответствующих разности материальных составляющих $\Delta M_r \geq 40 \%$.

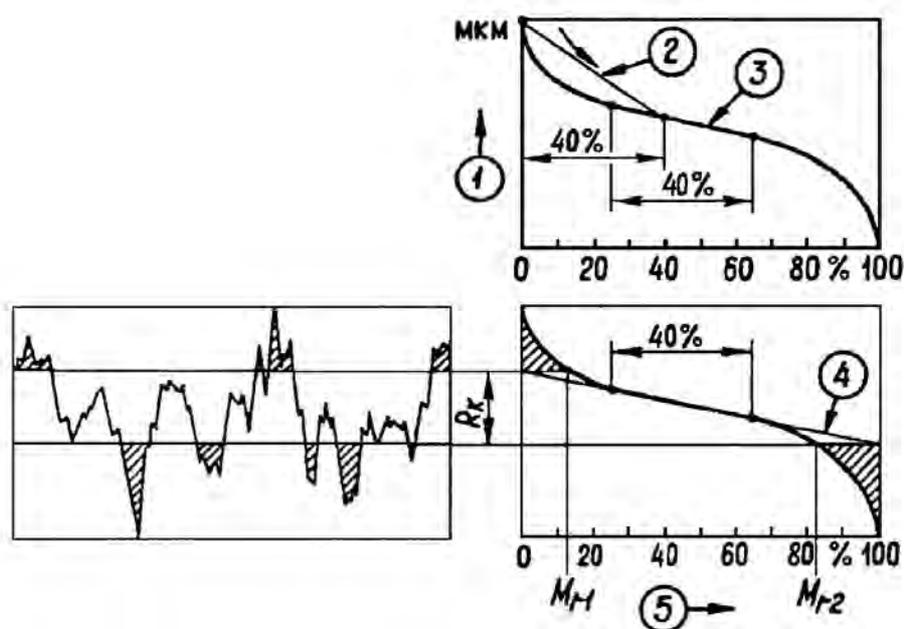


Рис.1. Схема к определению параметров R_k , M_{r1} , M_{r2} : 1 – положение линии разреза; 2 – секущая; 3 – секущая с минимальным подъемом; 4 – компенсирующая прямая; 5 – материальная составляющая

Величина R_k влияет на эксплуатационные свойства и определяет срок службы поверхностей трения. При назначении микрогеометрических характеристик рабочей поверхности необходимо стремиться задавать меньшие значения R_k , так как чем меньше R_k , тем большей несущей способностью обладает центральная область профиля;

- ограниченная высота пиков R_{pk} представляет собой долю пиков, выступающих из основного материала. Величина R_{pk} значительно влияет на время приработки поверхностей трения. С целью уменьшения времени приработки необходимо стремиться к снижению этого параметра;

- ограниченная глубина царапин R_{vk} обозначает долю царапин, проникающих из основного профиля в материал. От величины этого параметра зависит маслосъемность поверхностей трения, чем больший объем смазки могут принимать царапины (т.е. чем

больше R_{vk}), тем больше маслосъемность и меньше коэффициент трения.

Параметры R_{pk} и R_{vk} рассчитываются как длины сторон треугольников A_1 и A_2 рис. 2.

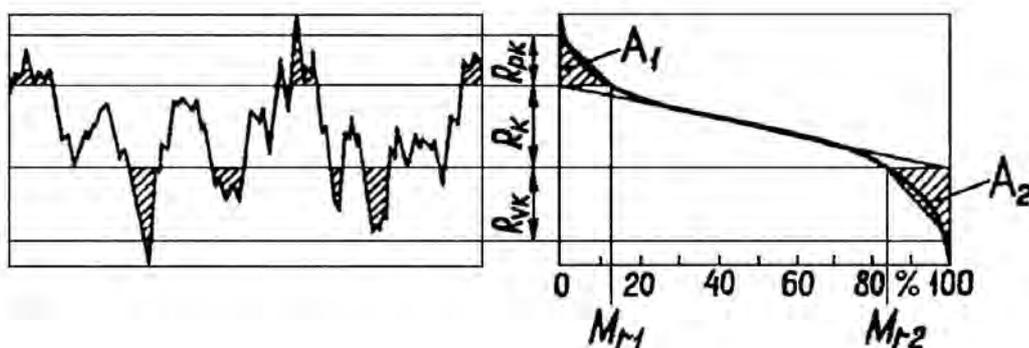


Рис.2. Схема к определению параметров R_{pk} , R_{vk} : преобразование «площади пиков» и «площади царапин» в равные по площади треугольники

Исследования эксплуатационных свойств обработанных внутренних цилиндрических поверхностей образцов заготовок проводились с использованием автоматизированной системы «Тайлор Хобсон» (ГП «БелАЗ», г. Жодино). В одном случае (рис. 3, б) финишная обработка производилась традиционным способом, а именно: жестким роликовым накатником; во втором (рис. 3, а) – включала в себя ПВДО после жесткого раскатывания.

На рис. 3, а $R_k = 0,30$ мкм, $R_{pk} = 0,14$ мкм, $R_{vk} = 0,40$ мкм, $M_{r1} = 9,87$ %, $M_{r2} = 85,48$ %. На рис. 3, б $R_k = 0,25$ мкм, $R_{pk} = 0,05$ мкм, $R_{vk} = 0,36$ мкм, $M_{r1} = 5,74$ %, $M_{r2} = 89,18$ %.

Сравнительный анализ параметров R_{vk} , R_{pk} , R_k внутренних поверхностей образцов, полученных ПВДО и жестким роликовым накатником, показал некоторое преимущество поверхностей после пневмовибродинамической обработки с точки зрения прирабатываемости и несущей способности. Ограниченная высота пиков R_{pk} поверхности после ПВДО значительно меньше чем после раскатывания, что уменьшает время приработки поверхностей трения при переходе к стадии нормального изнашивания. Параметр R_k , показывающий прирост материала в центральной области, для поверхности, прошедшей ПВДО, также немного ниже, тем самым возрастает несущая способность таких поверхностей, увеличивается их надежность и долговечность.

Параметр и удельная маслосъемность поверхности после ПВДО соизмеримы с аналогичными параметрами для поверхностей, полученных жестким раскатыванием.

Формула для расчета удельной маслосъемности поверхности Q , $\text{мм}^3/\text{см}^3$, имеет вид [13]:

$$Q = \frac{R_{vk}}{20} \left(1 - \frac{M_{r2}}{100 \%} \right). \quad (1)$$

Для поверхности, обработанной жестким роликовым накатником с последующей ПВДО, $Q = 0,0020$ $\text{мм}^3/\text{см}^3$, а для поверхности после раскатывания $Q = 0,0029$ $\text{мм}^3/\text{см}^3$.

Проведенный сравнительный анализ двух вариантов обработки внутренней поверхности гильзы гидроцилиндра показывает преимущества поверхности, прошедшей повторное деформационное упрочнение ПВДО, с точки зрения прирабатываемо-

сти, несущей способности, износостойкости в сравнении с поверхностями после раскатывания.

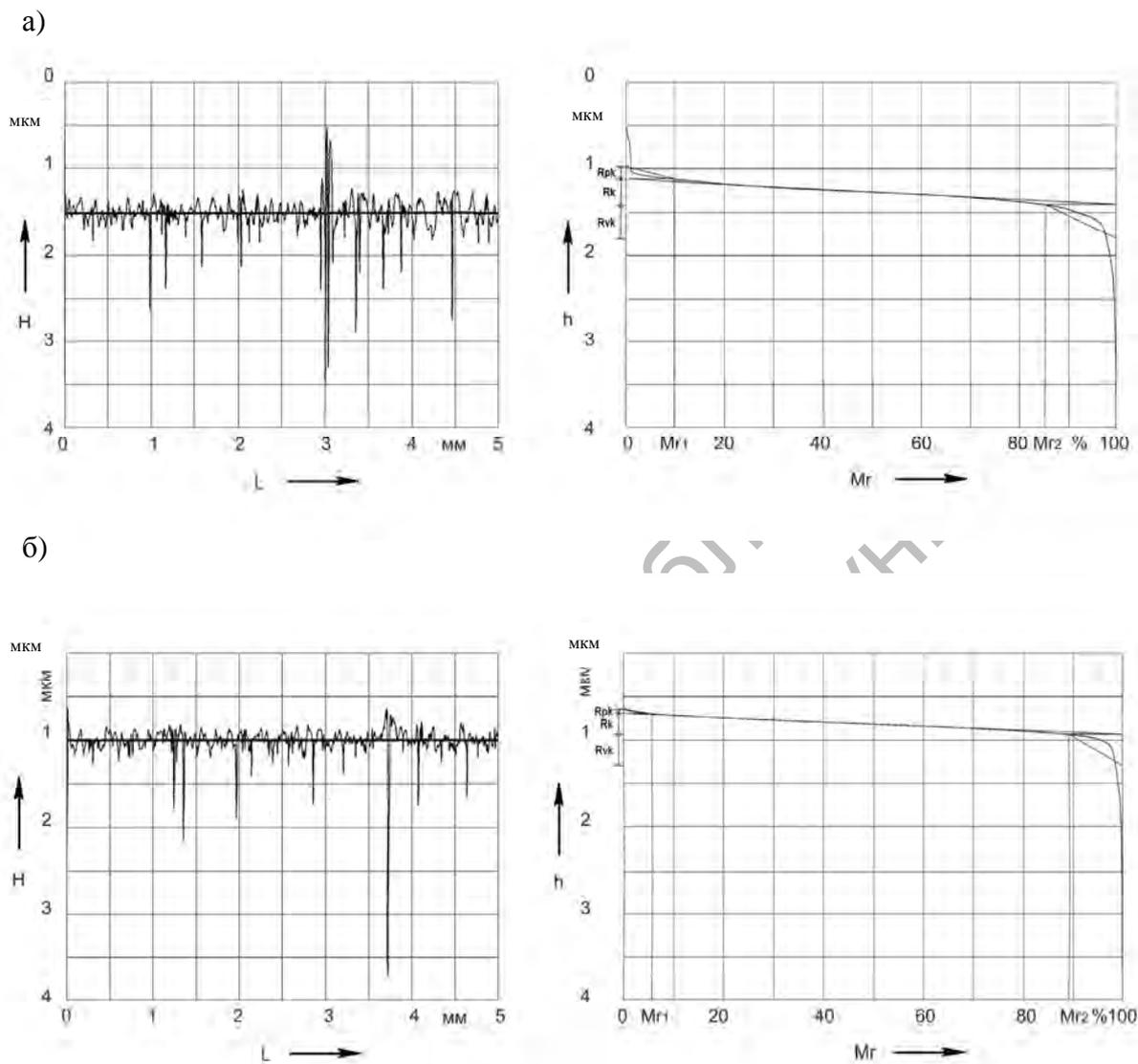


Рис. 3. Профилограммы и параметры R_{vk} , R_{pk} , R_k , M_{r1} , M_{r2} поверхностей, обработанных жестким роликовым накатником и ПВДО: H – высота неровности профиля, L – базовая длина, h – высота над линией впадин, M_r – материальная составляющая

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сырицын, Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов : учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / Т. А. Сырицын. – М. : Машиностроение, 1990. – 248 с.
2. Петров, И. В. Обслуживание гидравлических и пневматических приводов дорожно-строительных машин / И. В. Петров. – М. : Транспорт, 1985. – 168 с.
3. Богдан, Н. В. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем : учеб. пособие / Н. В. Богдан, П. Н. Кишкевич, В. С. Шевченко; под ред. Н. В. Богдана. – Мн. : Ураджай, 2001. – 396 с.
4. Гаркунов, Д. Н. Триботехника : учебник для студентов вузов / Д. Н. Гаркунов. – 2-е изд., пе-

пераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.

5. **Гасанов, Ю. Н.** Износ поверхностей деталей, обработанных при различных сочетаниях технологических операций / Ю. Н. Гасанов // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 4. - С. 50-52.

6. **Одинцов, Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справ. / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

7. Отделочные операции в машиностроении: справ. / П. А. Руденко [и др.] ; под общ. ред. П. А. Руденко. – Киев : Тэхніка, 1985. – 136 с.

8. **Орлов, П. Н.** Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки / П. Н. Орлов. – М. : Машиностроение, 1988. – 384 с.

9. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

10. **Пат. 2244619, МПК⁷ В24 В39/02.** Способ обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки / А. П. Минаков [и др.]. - № 2004102354/02; заявл. 27.01.04; опубл. 20.01.05, Бюл. № 2. – 3 с.

11. Полимеры в узлах трения машин и приборов: справ. / А. В. Чичинадзе [и др.] ; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.

12. **DIN 4776.** Rauheitsmessung; Kenngrößen R_k , R_{pk} , R_{vk} , M_{r1} , M_{r2} , zur Beschreibung des Materialanteils im Rauheitsprofil; Meßbedingungen und Auswerteverfahren. – Berlin: Alleinverkauf der Normen Verlag, 1990. – 30 с.

13. Аналитический обзор методик определения маслостойкости поверхности зеркала гильзы двигателя внутреннего сгорания / А. П. Минаков [и др.] // Вестн. машиностроения. – 1999. - № 10. – С. 14 – 16.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 31.10.2005

A.P. Minakov, E.V. Pyushina
Analysis of influence of pneumatic
vibrating dynamic treatment on the
exploitation characteristics of the
treated surface
Belarusian-Russian University

The paper presents analysis of influence of pneumatic vibrating dynamic treatment on exploitation characteristics of inner surfaces of hydraulic cylinder liner. Comparative analysis of two treatment variants shows that the surface subjected to the repeated deforming hardening by the pneumatic vibrating dynamic treatment has advantages in adjustability, bearing strength and wear resistance in comparison with the surface subjected to rolling.