

УДК 621.787

А. П. Минаков, Е. В. Ильюшина, О. А. Бернадская, А. В. Бернадский

ФИНИШНАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОБРАБОТКА ГИЛЬЗ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

UDC 621.787

A. P. Minakov, E. V. Ilyushina, O. A. Bernadskaya, A. V. Bernadsky

FINISHING STRENGTHENING PNEUMO-CENTRIFUGAL PROCESSING OF DIESEL ENGINE CYLINDER LINERS

Аннотация

Показана необходимость использования пневмоцентробежного упрочнения на финишном этапе обработки рабочей поверхности гильз дизельных двигателей. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов пневмоцентробежной обработки (ПЦО) на качество поверхности модельных образцов заготовок гильз. Приведены профилограммы рабочих поверхностей гильз после хонингования и упрочняющей ПЦО.

Ключевые слова:

пневмоцентробежная обработка, упрочняющая обработка, гильза двигателя, износ гильз, масляная экономичность, профилограмма поверхности, шероховатость.

Abstract

The paper shows the necessity of using pneumo-centrifugal strengthening in the final stage of processing the working surface of diesel engine cylinder liners. The results from experimental studies on the effect of pneumo-centrifugal processing (PCP) on the surface quality of model specimens of cylinder liners are presented. The profilograms of working surfaces of cylinder liners after honing and strengthening PCP are given.

Keywords:

pneumo-centrifugal processing, strengthening treatment, cylinder liner, cylinder liner wear, oil efficiency, surface profilogram, roughness.

Важнейшей проблемой при эксплуатации дизельных двигателей является снижение износа в паре трения гильза – поршневое кольцо, а также повышение топливной и масляной экономичности двигателя.

Рабочая поверхность гильз подвержена механическому, молекулярно-механическому и коррозионно-механическому износу, при этом интенсивность износа по длине гильзы различна. Наибольший износ возникает в верхней части гильзы, когда поршень начинает движение вниз из верхней мертвой точки, где произошло сгорание

рабочей смеси и полное выгорание масляной пленки [1–3].

Большое влияние на компрессию двигателя и его масляную экономичность оказывает геометрическая точность гильзы, линейность образующей, цилиндричность и микрогеометрия поверхности. Неравномерность радиального износа гильз из-за несимметричности температурного поля цилиндра и постоянно изменяющейся толщины масляной пленки приводит к овализации гильз [4].

Решение проблем износа и повышения топливной и масляной эконо-



мичности возможно различными способами, один из которых – улучшение качества обработки внутренней поверхности гильзы за счет использования новых технологий.

Финишная обработка рабочей поверхности гильз двигателей в мировой практике машиностроительного производства производится в основном хонингованием (черновое, получистовое и чистовое), при этом часто с последующим фосфатированием. Такая обработка повышает размерную точность, обеспечивает плосковершинный микро-рельеф, увеличивает несущую способность, уменьшает шероховатость поверхности, создает специфическую топографию в виде маслоудерживающей хонинговальной сетки [5, 6].

Однако получение поверхности с малой шероховатостью – очень трудоемкий процесс, т. к. производится брусками различной зернистости за несколько переходов. При этом происходит снижение производительности процесса хонингования, т. к. на чистовых операциях уменьшается подача инструмента [7, 8]. Абразивные бруски сильно шаржируют поверхность гильзы, а хонинговальная сетка в системах с высоким уровнем компрессии не обеспечивает требуемую ее величину, что ограничивает использование процесса хонингования на завершающей операции обработки гильз.

Применение на окончательном этапе обработки гильз дополнительной операции фосфатирования для придания высоких противозадирных и антикоррозионных свойств поверхности требует больших затрат электроэнергии и приводит к удорожанию обработки.

С целью повышения износостойкости в массовом производстве рабочую поверхность гильз подвергают закалке токами высокой частоты (ТВЧ) для упрочнения поверхностного слоя на глубину до 2,5 мм с твердостью 38...48 HRC. Применение закалки также увеличивает стоимость обработки

гильз и может привести к появлению сквозных трещин и геометрической деформации.

Использование методов поверхностного пластического деформирования (ППД) для финишной обработки рабочей поверхности гильз двигателей уже давно доказало свою эффективность [6, 9, 10]. Обработка ППД повышает износостойкость, поверхностную твердость, усталостную прочность и коррозионную устойчивость материала за счет залечивания микротрещин и рисков на поверхности.

Совершенствование процесса финишной обработки зеркала гильзы видится в сохранении хонинговальной сетки и создании тонкодеформированного поверхностного слоя с новой топографией и параметрами микро- и макрорельефа. Финишная обработка внутренней поверхности гильзы двигателя хонингованием с последующей упрочняющей пневмоцентробежной обработкой (ПЦО) позволит получить небольшой по глубине упрочненный поверхностный слой металла, очистить обработанную поверхность от отходов хонингования и увеличить износостойкость, при этом исчезнет необходимость в применении операции фосфатирования и закалки [11].

Обработка отверстий гильз двигателей упрочняющей ПЦО проводилась на радиально-сверлильном станке мод. 2А55 двухрядным шариковым накатником (рис. 1), основные характеристики которого приведены в табл. 1.

Принцип работы инструмента. Заготовка 9 закрепляется неподвижно на столе радиально-сверлильного станка. Инструмент располагается соосно заготовке в специальном приспособлении (муфта), которое предотвращает вращение и устанавливается в шпинделе станка. В процессе обработки накатник перемещается с осевой подачей. В корпус 1 инструмента через осевой канал 7 от цеховой системы питания подается сжатый воздух,



который, проходя через тангенциальные сопла 8, приводит в движение стальные шары 6. Выпадению шаров 6 из инструмента препятствуют диски 3 и 4, а также фиксирующие их гайки 2. Шары в инструменте вращаются по окружности под действием центробежной силы и совершают при этом осциллирующее и радиальное перемещения по отношению к обрабатываемой поверхности гильзы в пределах осевого и радиаль-

ного зазоров в камере расширения, а также вращаются вокруг собственной оси (главной оси инерции). В результате происходит тонкое упрочнение поверхностного слоя зеркала гильзы, наблюдается смятие и сглаживание микро-рельефа в различных направлениях за счет разнонаправленного силового вибрационного воздействия деформирующих элементов.

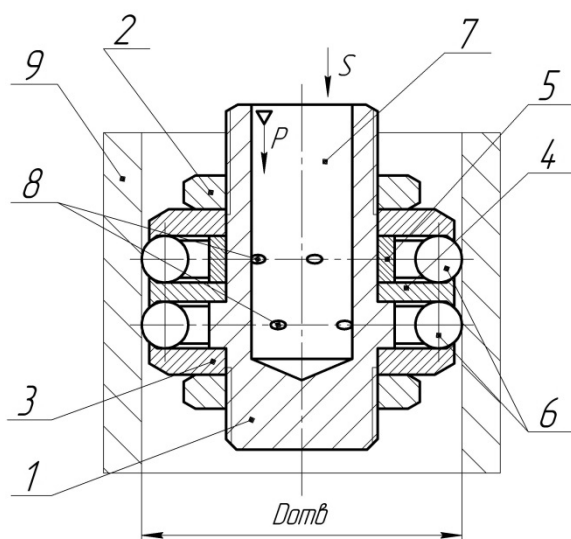


Рис. 1. Упрощенная схема и фотография двухрядного шарикового накатника пневмоцентробежного действия

Табл. 1. Основные конструктивные параметры инструмента для упрочняющей ПЦО гильз двигателей

Наименование параметра	Обозначение параметра
Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	$D_{отв} = 110$
Наружный диаметр инструмента, мм	$D_u = 109,7$
Диаметр осевого отверстия инструмента, мм	$d = 20$
Диаметр шаров, мм	$d_{ш} = 11,112$
Количество рабочих тел – шаров, шт.	$z_{ш} = 54$
Диаметр сопл, мм	$d_c = 2$
Количество сопл, шт.	$z_c = 12$
Осевой зазор, мм	$\delta = 0,098$
Зазор для выхода воздуха в атмосферу, мм	$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,15$
Радиальный зазор, мм	$\gamma = 3,88$

Для подвода сжатого воздуха к инструменту разработана пневмосистема (рис. 2), соединяющая корпус инструмента с цеховой системой подачи воздуха. Она включает манометры 8 для контроля давления на входе в систему и инструмент, вентили 7 для регулировки подачи воздуха, масловлагоотдели-

тель 9 для очистки воздуха от загрязнений и воды. Диаметры сечений рукавов 10 для подвода воздуха и диаметры условного прохода вентилей 7 подобраны исходя из имеющихся рекомендаций методики по проектированию инструмента и пневмосистемы [12].

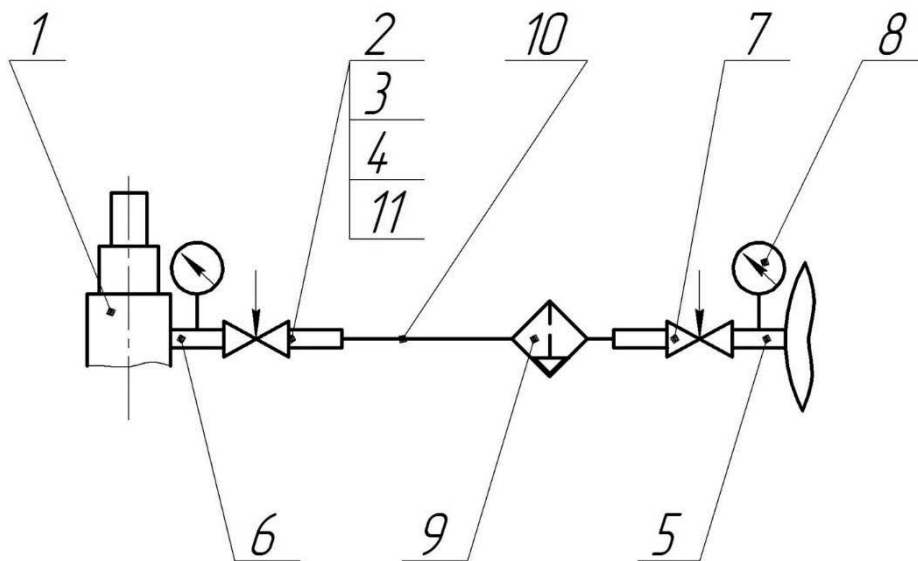


Рис. 2. Принципиальная пневматическая схема для упрочняющей ПЦО: 1 – инструмент; 2 – штуцер; 3 – гайка специальная; 4 – ниппель; 5 и 6 – переходники; 7 – вентиль; 8 – манометр; 9 – масловлагоотделитель; 10 – рукав; 11 – хомут

Для установки гильзы в процессе ее обработки используется простое приспособление, закрепляемое на столе радиально-сверлильного станка и неподвижно фиксирующее заготовку.

Пневмосистема, инструмент, муфта и приспособление для установки гильз (рис. 3) составляют вместе систему, позволяющую производить экспериментальные исследования пневмоцентробежной обработки отверстий

гильз двигателей.

При исследовании влияния режимов упрочняющей пневмоцентробежной обработки на качество рабочей поверхности гильз использовались модельные образцы заготовок гильз двигателя внутреннего сгорания модели Д-245 (чертеж 245-1002021-A1-06) из специального чугуна (229...280 НВ), химический состав которого приведен в табл. 2.

Табл. 2. Химический состав чугуна

В процентах

C	Si	Mn	P	Cr	Cu	S
3,0...3,4	1,7...1,9	0,5...0,7	0,1...0,2	0,2...0,4	0,4...0,6	Не более 0,1





Рис. 3. Установка для проведения экспериментальных исследований

Размеры заготовок: номинальный внутренний диаметр гильзы – 110 мм, наружный диаметр – 125,5 мм, длина заготовки – 230 мм. Исходная поверхность была получена хонингованием. Внутренняя поверхность заготовок гильз под упрочняющую ПЦО была обработана по двум вариантам: по первому – после однократного черного хонингования ($Ra = 2,5 \dots 3,5$ мкм), по второму – после черного и чистового хо-

нингования ($Ra = 1,2 \dots 1,4$ мкм). Профилограммы исходных поверхностей заготовок по двум вариантам хонингования представлены на рис. 4, а основные параметры микрогеометрии сведены в табл. 3.

Исследование параметров качества обработанной поверхности заготовок проводили с использованием профилометра SurfTest SJ-210 Mitutoyo, позволяющего измерять различные пара-

метры шероховатости. Параметры микрогеометрии зеркала гильзы должны соответствовать указанным в техниче-

ских требованиях чертежа на гильзу блока цилиндров 245-1002021-A1-06 (табл. 4).

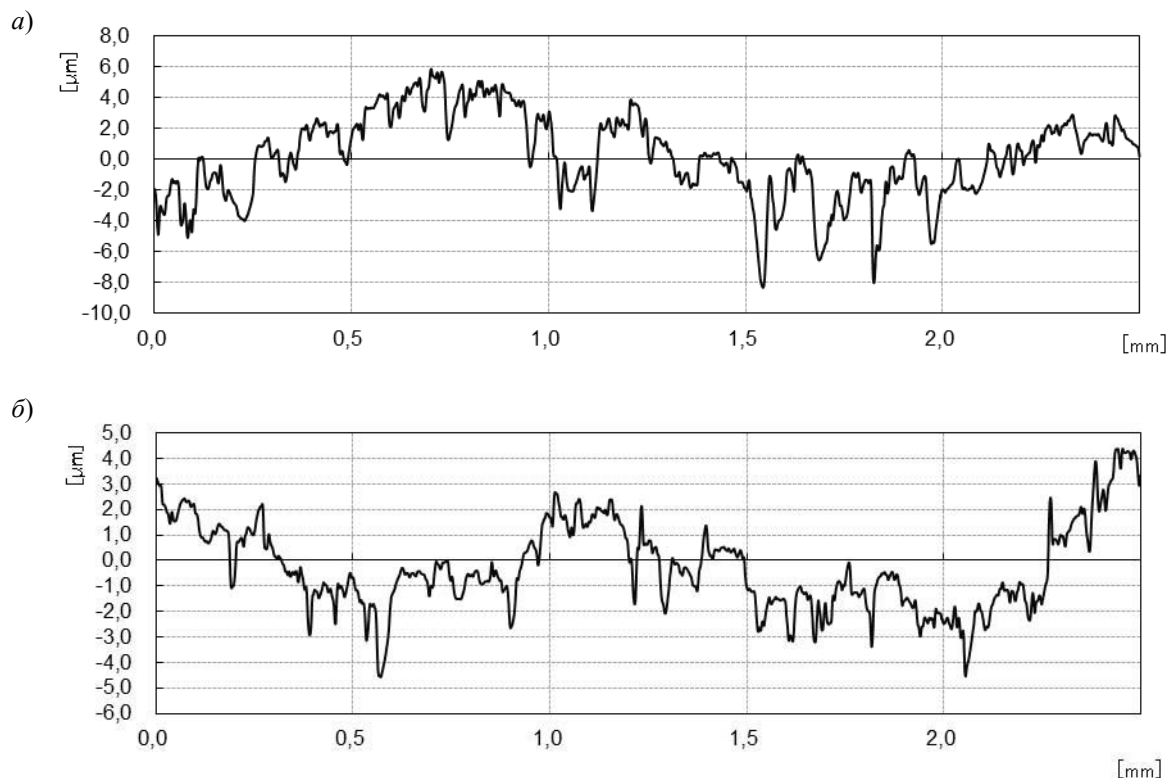


Рис. 4. Профилограммы исходных поверхностей заготовок по двум вариантам хонингования: а – поверхность после однократного черного хонингования ($R_a = 2,5 \dots 3,5$ мкм); б – поверхность после черного и чистового хонингования ($R_a = 1,2 \dots 1,4$ мкм)

Табл. 3. Параметры микрогеометрии исходной поверхности гильз по двум вариантам предварительной обработки

Вид предварительной обработки гильзы	R_a , мкм	R_k , мкм	R_{vk} , мкм	R_{pk} , мкм	M_{r1} , %	M_{r2} , %
Однократное черновое хонингование ($R_a = 2,5 \dots 3,5$ мкм)	2,5...3,5	7,473	2,978	1,439	8,764	90,456
Черновое и чистовое хонингование ($R_a = 1,2 \dots 1,4$ мкм)	1,2...1,4	3,595	1,253	2,086	21,128	89,856

Примечание – R_k – центральная высота микронеровностей или глубина профиля сердцевинной шероховатости; R_{pk} – ограниченная высота пиков, представляет собой долю пиков, выступающих из основного материала; R_{vk} – ограниченная глубина впадин, обозначает долю впадин, проникающих из основного профиля в материал; M_{r1} – материальная составляющая, определяется для линии разреза, которая отделяет выступающие пики от основного микрорельефа; M_{r2} – материальная составляющая, определяется для линии разреза, которая отделяет впадины от основного микрорельефа



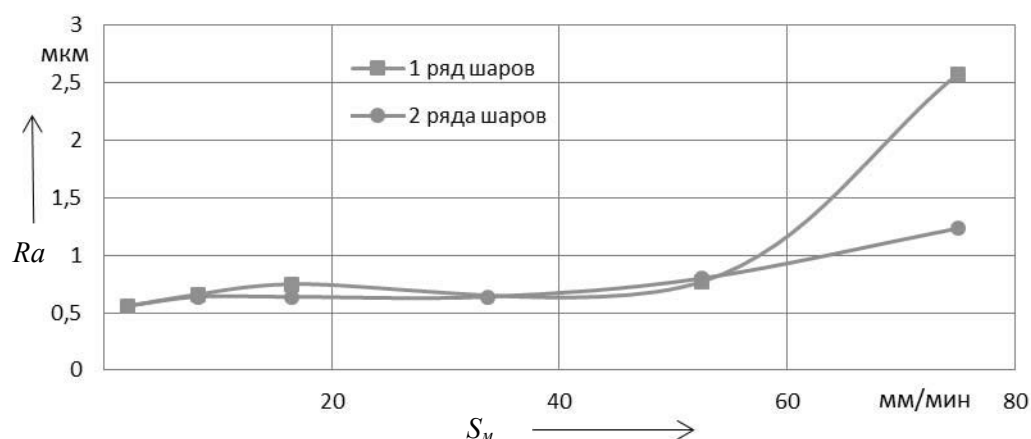
Табл. 4. Параметры микрогеометрии обработанной поверхности гильз в соответствии с техническими требованиями чертежа

Допустимое значение параметра	R_a , мкм	R_k , мкм	R_{vk} , мкм	R_{pk} , мкм	M_{r1} , %	M_{r2} , %
Внутренняя поверхность гильзы после окончательной обработки	0,45...0,9	0,7...2	1,4...4,5	Не более 1 мкм	3...10	70...85

Результаты исследований позволили отметить, что исходная шероховатость существенно влияет на производительность процесса ПЦО и качество обработанной поверхности, поэтому их следует разбить на ряд диапазонов.

Обработка заготовок после одно-

кратного чернового хонингования с исходной шероховатостью $R_a = 2,5...3,5$ мкм. Проведены исследования влияния подачи инструмента S на параметр шероховатости R_a обрабатываемой поверхности (рис. 5).

Рис. 5. Зависимость $R_a = f(S_m)$ при давлении сжатого воздуха $P = 0,30...0,35$ МПа и исходной шероховатости $R_a = 2,5...3,5$ мкм

Условия проведения эксперимента: давление сжатого воздуха $P = 0,30...0,35$ МПа, обработка производилась за один или два прохода.

При варьировании величиной подачи инструмента шероховатость обработанной поверхности возрастает с увеличением подачи. При этом использование второго прохода снижает шероховатость, но незначительно.

Обработка заготовок после чернового и чистового хонингования с исходной шероховатостью $R_a = 1,2...1,4$ мкм. Проведены исследования влияния подачи инструмента S на параметр шероховатости R_a обрабатываемой поверхности (рис. 6).

Условия проведения эксперимента: давление сжатого воздуха $P = 0,30$ МПа, обработка производилась за два прохода.

При варьировании величиной подачи в диапазоне от 16 до 105 мм/мин произошло снижение параметра шероховатости R_a менее 0,6 мкм. Зависимость $R_a = f(S_m)$ носит линейный характер, для дальнейшего определения влияния величины подачи на шероховатость необходимо проведение экспериментов на больших подачах.

Исследования влияния параметра R_a исходной шероховатости на величину параметра R_a обработанной поверхности и производительность про-



цесса пневмоцентробежной обработки.

Условия проведения эксперимента: давление сжатого воздуха $P = 0,30$ МПа, обработка производилась за два прохода; внутренняя хонингованная поверхность заготовок была получена по двум вариантам обработки: по первому – после однократного чернового хонингования ($Ra = 2,5 \dots 3,5$ мкм),

по второму – после чернового и чистового хонингования ($Ra = 1,2 \dots 1,4$ мкм).

На рис. 7 представлена зависимость параметра шероховатости обработанной внутренней поверхности заготовок гильз от подачи инструмента $Ra = f(S_m)$ при различной шероховатости исходной поверхности.

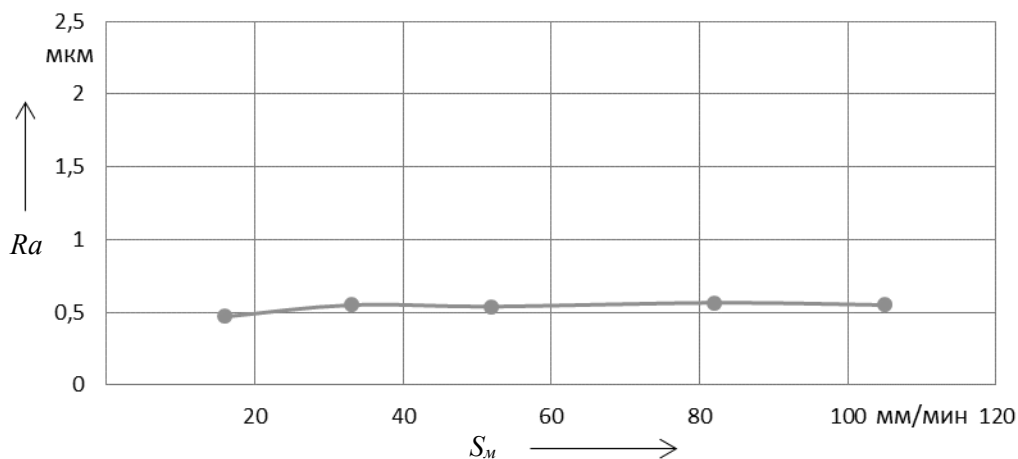


Рис. 6. Зависимость $Ra = f(S_m)$ при давлении сжатого воздуха $P = 0,3$ МПа и исходной шероховатости $Ra = 1,2 \dots 1,4$ мкм

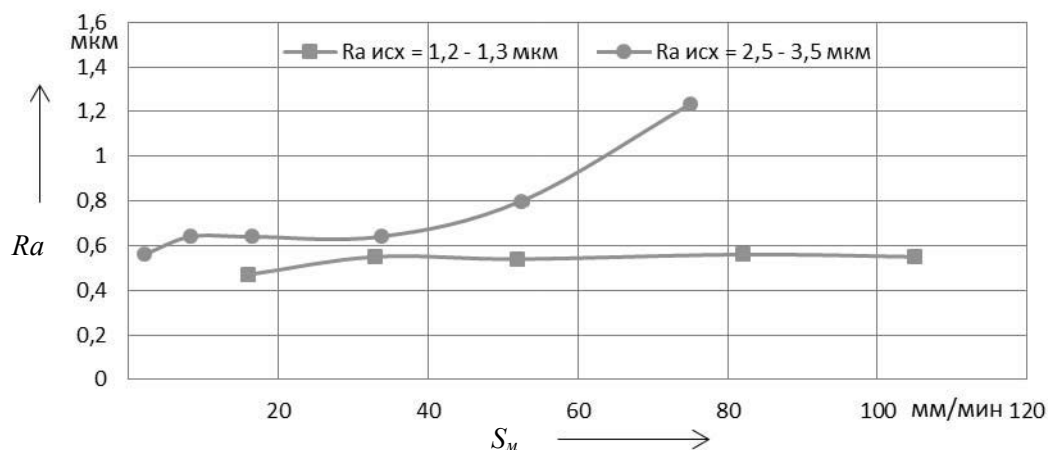


Рис. 7. Зависимость $Ra = f(S_m)$ при давлении сжатого воздуха $P = 0,3$ МПа и различной величине исходной шероховатости поверхности

Выявлена закономерность влияния величины параметра Ra исходной шероховатости на качество рабочей по-

верхности гильз цилиндров двигателей и производительность обработки. Со снижением исходной шероховатости



поверхности увеличивается производительность процесса упрочняющей ПЦО за счет увеличения величины подачи инструмента.

Предварительные экспериментальные исследования финишной обработки зеркала гильз двигателей упрочняющей ПЦО показали, что после обработки возможно получение поверхности с параметрами микрогеометрии, соответствующими техническим требованиям чертежа (см. табл. 4). Для оптимиза-

ции процесса упрочняющей ПЦО необходимо проведение дальнейших исследований, связанных с варьированием конструктивными параметрами инструмента и направленных на увеличение производительности процесса. Профилограмма поверхности гильзы после финишной упрочняющей ПЦО представлена на рис. 8, а основные параметры микрогеометрии сведены в табл. 5.

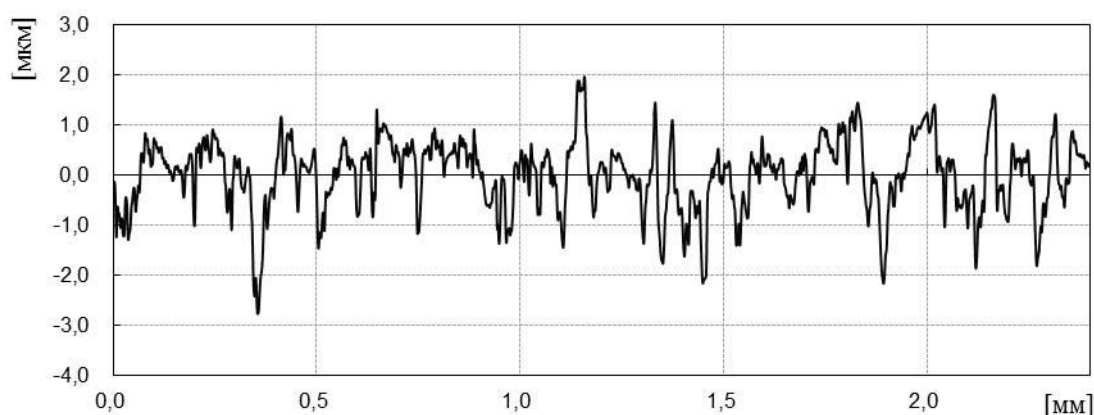


Рис. 8. Профилограмма поверхности гильзы после финишной упрочняющей ПЦО

Табл. 5. Параметры микрогеометрии обработанной поверхности гильзы после финишной упрочняющей ПЦО

Допустимое значение параметра	R_a , мкм	R_k , мкм	R_{vk} , мкм	R_{pk} , мкм	M_{r1} , %	M_{r2} , %
Внутренняя поверхность гильзы после окончательной обработки	0,54	1,41	1,40	0,60	9,37	80,50

Выводы

1. Получены закономерности влияния режимов процесса ПЦО и величины параметра R_a исходной шероховатости на качество рабочей поверхности гильз двигателей и производительность обработки.

2. Варьирование величины подачи инструмента показало, что шероховатость обработанной поверхности возрастает с увеличением подачи. При этом использование второго прохода

инструмента снижает шероховатость, но незначительно.

3. Выявлена закономерность влияния величины параметра R_a исходной шероховатости на качество рабочей поверхности гильз цилиндров двигателей и производительность обработки. Со снижением исходной шероховатости поверхности увеличивается производительность процесса упрочняющей ПЦО за счет увеличения величины подачи инструмента.

4. Для оптимизации процесса фи-



нишной упрочняющей ПЦО рабочей поверхности гильз необходимо проведение дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мишин, И. А.** Долговечность двигателей / И. А. Мишин. – Ленинград : Машиностроение, 1967. – 394 с.
2. Условия работы и виды изнашивания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autoslesar.net/2010-02-23-13-55-26/77-2010-02-18-18-54-30.html>. – Дата доступа: 10.12.2015.
3. Блок цилиндров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.77truck.net/blokci02.html>. – Дата доступа: 16.12.2015.
4. Основные эксплуатационные дефекты гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moluch.ru/archive/85/15984/>. – Дата доступа: 05.01.2016.
5. Основы хонингования от DELAPENA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ab-engine.ru/delapena_basic.html. – Дата доступа: 10.05.2018.
6. **Шнейдер, Ю. Г.** Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 248 с.
7. **Наерман, М. С.** Прецизионная обработка деталей алмазными и абразивными брусками / М. С. Наерман, С. А. Попов. – Москва : Машиностроение, 1971. – 260 с.
8. Прогрессивные методы хонингования / С. И. Куликов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1983. – 135 с.
9. **Фаршатов, В. М.** Исследование влияния процесса гидродинамического раскатывания блоков цилиндров ВАЗ на повышение их моторесурса : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. М. Фаршатов ; За-вод ВТУЗ. – Москва, 1983. – 25 с.
10. **Николаев, В. В.** Технологическое обеспечение износостойкости деталей раскатыванием и об-катыванием (на примере пары: «цилиндр – поршневое кольцо») : дис. ... канд. техн. наук / В. В. Никола-ев. – Владимир, 1986 – 227 с.
11. Способ финишной обработки внутренних поверхностей заготовок гильз двигателей внутренне-го сгорания : пат. 2501644 RU, МПК В24В 39/02, В23Р 9/00 / А. П. Минаков, Е. В. Ильюшина, М. Е. Лустенков, Н. А. Цумарева. – Оубл. 20.12.13.
12. **Минаков, А. П.** Методика проектирования инструмента и пневмосистемы для пневмовибро-динамической обработки внутренних поверхностей вращения / А. П. Минаков, Е. В. Ильюшина, И. Д. Камчицкая // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 4 (41). – С. 58–68.

Статья сдана в редакцию 28 февраля 2018 года

Анатолий Петрович Минаков, д-р техн наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-291-11-91-84.

Елена Валерьевна Ильюшина, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-298-45-25-55.

Алексей Викторович Бернадский, студент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-291-66-05-17.

Ольга Александровна Бернадская, студент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-293-98-46-66.

Anatoly Petrovich Minakov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-291-11-91-84.

Elena Valeryevna Ilyushina, PhD (Engineering), Associate Prof. Belarusian-Russian University. Phone: +375-298-45-25-55.

Aleksey Viktorovich Bernadsky, student, Belarusian-Russian University. Phone: +375-291-66-05-17.

Olga Aleksandrovna Bernadskaya, student, Belarusian-Russian University. Phone: +375-293-98-46-66.

