

ТЕХНОЛОГИЯ ФИНИШНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ГИЛЬЗ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

¹Е.В. Ильюшина, ¹А.П. Минаков, ²С.В. Гусаров

¹Белорусско-Российский университет,
г. Могилев, Республика Беларусь

²Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Исследована и показана целесообразность использования упрочняющей пневмоцентробежной обработки (ПЦО) на финишной операции изготовления и при ремонте гильз двигателей. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов ПЦО на качество обработанной поверхности.

Ключевые слова: пневмоцентробежная обработка, упрочняющая обработка, гильза двигателя, износ гильз, масляная экономичность, профилограмма поверхности, шероховатость

FINISHING STRENGTHENING TECHNOLOGY OF PNEUMATIC-CENTRIFUGAL TREATMENT OF DIESEL ENGINE LINERS

¹E.V. Ilyushina, ¹A.P. Minakov, ²S.V. Gusarov

¹The Belarusian-Russian University,
Mogilev, Belarus

²The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus

Studied and shown the usefulness of strengthening pneumatic centrifugal treatment (PCT) at the finish manufacture operation and in the engine liners repair. The results of experimental research of the effect of PCT regimes on the quality of the treated surface are presented.

Keywords: pneumatic-centrifugal treatment, strengthening treatment, engine liner, liner wear, oil efficiency, surface profilogram, roughness

E-mail: lenatit@tut.by

Гильза цилиндра является важным элементом дизельного двигателя, ресурс работы которого во многом зависит от ее срока службы. Возникновение износа в паре трения гильза – поршневое кольцо неизбежно, однако принятие мер по повышению износостойкости приводит к увеличению топливной и масляной экономичности двигателя.

Износ гильз тракторных дизелей зависит от ряда взаимосвязанных причин: условий эксплуатации двигателя, наличия смазки, агрессивности среды, топлива и смазочного материала, сочетания материалов элементов пары трения, их механических и теплофизических свойств, характера микрорельефа внутренней поверхности, качества их покрытия, условий приработки [1].

Большое влияние на компрессию двигателя и его масляную экономичность оказывает геометрическая точность гильзы, линейность образующей, цилиндричность и микрогеометрия внутренней поверхности. Неравномерность радиального износа гильз из-за несимметричности температурного поля цилиндра и постоянно изменяющейся толщины масляной пленки приводит к овализации гильз [2].

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 [3, 4].

Решение проблем износа и повышения топливной и масляной экономичности возможно различными способами, один из которых – улучшение качества обработки внутренней поверхности гильзы.

В ходе ремонта возможно устранение основных дефектов, возникающих в процессе износа рабочей поверхности гильз. Технические требования, предъявляемые к зеркалу гильзы после ремонта: нецилиндричность поверхности – не более 0,02 мм; шероховатость поверхности – $Ra = 0,32...0,25$ мкм [5].

Восстановление зеркала гильз в ремонтном производстве выгодно и экономически оправдано, так как себестоимость восстановленных деталей составляет 50–70 % от цены новых.

Такая ситуация характерна и для агропромышленного комплекса экономически развитых стран (Германия, США и др.), где отремонтированную технику после капитального ремонта реализуют на вторичном рынке и ее продажа в три раза больше, чем новых, а стоимость составляет примерно 30 % от первоначальной [6].

В настоящее время в технологии ремонта рабочей поверхности гильз ДВС финишной операцией является хонингование, обеспечивающее необходимые параметры качества поверхности в соответствии с чертежом гильзы и со стандартом на ремонт [7]. При обкатке отремонтированных двигателей относительный расход масла на угар в зоне ЦПГ должен составлять от 0,8...0,9 %, в то время как для новых двигателей этот показатель в среднем 0,3...0,4 %. Современные технологии ремонта гильз не позволяют улучшить качество их рабочей поверхности, повысить износостойкость пары трения и снизить величину относительного расхода масла на угар.

В связи с этим проблема ремонта гильз ДВС с целью повышения их износостойкости, а также качественных характеристик поверхностного слоя носит актуальный характер и требует решения.

В основном производстве финишная обработка рабочей поверхности гильз производства производится также хонингованием (черновое, полукристальное и чистовое), при этом часто с последующим фосфатированием. Такая обработка повышает размерную точность, обеспечивает плосковершинный микрорельеф, увеличивает

несущую способность, уменьшает шероховатость поверхности, создает специфическую топографию в виде маслоудерживающей хонинговальной сетки [8, 9].

Однако, получение поверхности с малой шероховатостью очень трудоемкий процесс, так как производится брусками различной зернистости за несколько переходов. При этом происходит снижение производительности процесса хонингования, так как на чистовых операциях уменьшается подача инструмента [10, 11]. 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 [9, 12, 13]. 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 в основном и ремонтном производствах 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, увеличить износостойкость, при этом исчезнет необходимость в применении операции фосфатирования и закалки [14].

Финишная упрочняющая ПЦО на окончательном этапе ремонта гильз также повышает их износостойкость за счет смятия и сглаживания микронеровностей, увеличения относительной опорной длины профиля, приводящей к уменьшению удельных контактных давлений при трении поршневого кольца по поверхности гильзы.

Технология ремонта чугунных гильз ДВС состоит из ряда последовательно выполняемых операций (табл. 1). В зависимости от величины износа рабочей поверхности гильз лезвийная обработка может производиться или отсутствовать, затем осуществляется однократное хонингование внутренней поверхности гильзы с достижением параметра шероховатости $Ra \leq 2,5$ мкм, после чего выполняют финишную упрочняющую ПЦО стальными шарами с получением параметра шероховатости $Ra \leq 0,5$ мкм [15].

Рассмотрим технологические возможности финишной упрочняющей ПЦО на примерах обработки зеркала гильз основного и ремонтного производства. Обработка проводилась на радиально-сверлильном станке мод. 2А55 двухрядным шариковым накатником (рис. 1), основные характеристики которого приведены в табл. 2.

Табл. 1

Технология ремонта рабочей поверхности гильзы ДВС

Операция ремонта рабочей поверхности гильз ДВС		Исходная шероховатость Ra , мкм	Шероховатость после обработки Ra , мкм	Улучшенное эксплуатационное свойство
Лезвийная обработка (может отсутствовать)	Растачивание	1,6...0,5	< 3,2	Восстановление геометрической формы цилиндра, соответствующей нормативной документации
Финишная обработка абразивным инструментом	Хонингование (предварительное)	3,2...0,5	< 2,5	Восстановление геометрической формы
Отделочно-упрочняющая обработка ППД	Упрочняющая ПЦО	< 2,5	< 0,5	Маслоемкость, износостойкость

Табл. 2

Основные конструктивные параметры инструмента для упрочняющей ПЦО гильз двигателей

Наименование параметра	Обозначение параметра
Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	$D_{отв} = 110$
Наружный диаметр инструмента, мм	$D_{и} = 109,7$
Диаметр осевого отверстия инструмента, мм	$d = 20$
Диаметр шаров, мм	$d_{ш} = 11,12$
Количество рабочих тел – шаров, штук	$z_{ш} = 54$
Диаметр сопл, мм	$d_c = 2$
Количество сопл, штук	$z_c = 12$
Осевой зазор, мм	$\delta = 0,098$
Зазор для выхода воздуха в атмосферу, мм	$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,15$
Радиальный зазор, мм	$\gamma = 3,88$
Материал шаров	сталь ШХ15

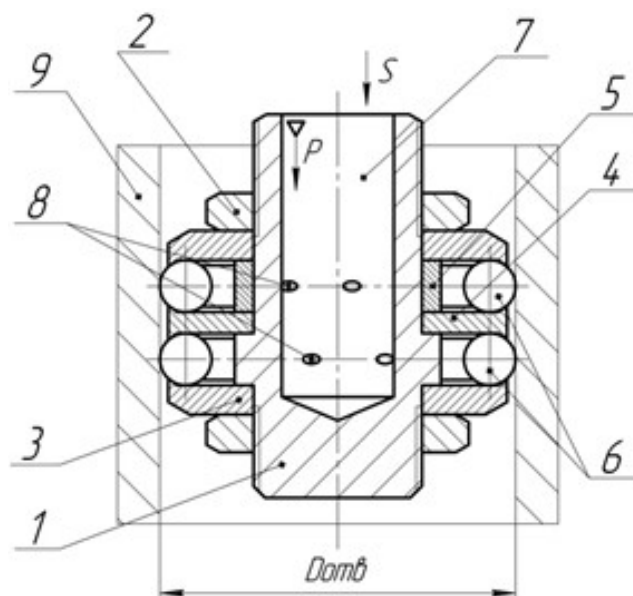


Рис. 1. Упрощенная схема и фото двухрядного шарикового накатника пневмоцентробежного действия

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 радиального 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 микрорельефа в различных направлениях за счет разнонаправленного силового вибрационного воздействия деформирующих элементов. : материал – , твердость HRC 62...64, номинальные диаметры, используемых шаров – 11,112 мм, шероховатость поверхности – $Ra = 0,125$ мкм, степень точности – 100.

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, маслоотделитель 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 [16].

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.

Табл. 3

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

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: в первом – после однократного черного хонингования ($Ra = 2,5–3,5$ мкм), во втором – после черного и чистового хонингования ($Ra = 1,2–1,4$ мкм). Профилограммы исходных поверхностей заготовок по двум вариантам хонингования представлены на рис. 4, а основные параметры микрогеометрии сведены в табл. 4.

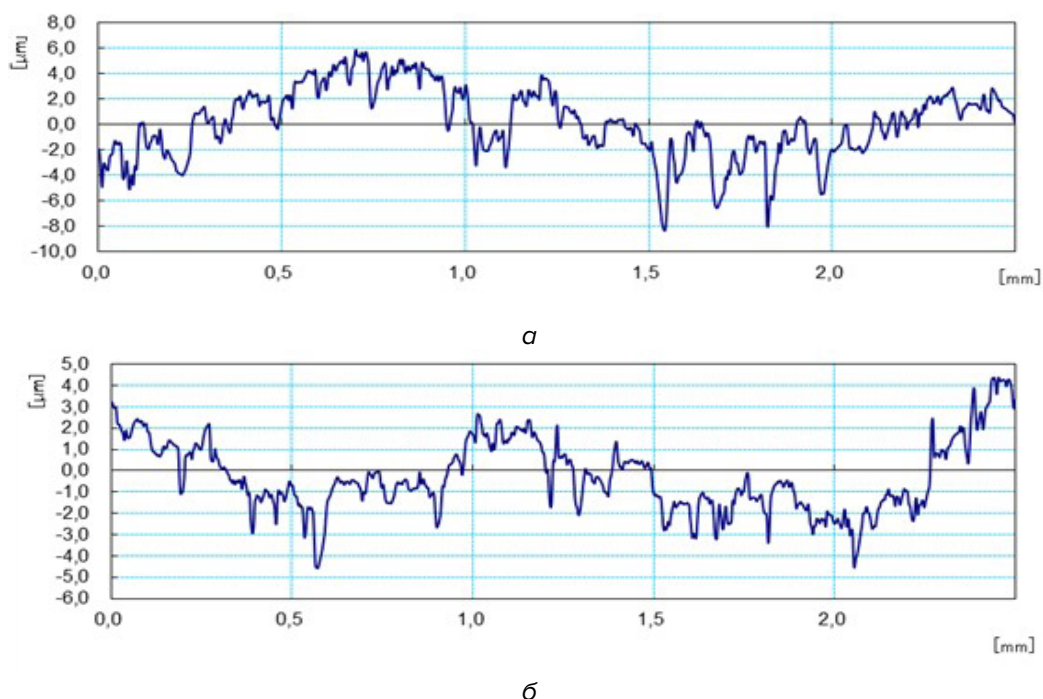


Рис. 4. Профилограммы исходных поверхностей заготовок по двум вариантам хонингования
 а – поверхность после однократного черного хонингования ($Ra = 2,5 – 3,5$ мкм);
 б – поверхность после черного и чистового хонингования ($Ra = 1,2 – 1,4$ мкм)

Табл. 4

**Параметры микрогеометрии исходной поверхности гильз
 по двум вариантам предварительной обработки [17]**

Вид предварительной обработки гильзы	R_o , мкм	R_k , мкм	R_{vk} , мкм	R_{pk} , мкм	M_{rp} , %	M_{r2} , %
Однократное черновое хонингование ($Ra = 2,5–3,5$ мкм)	2,5–3,5	7,473	2,978	1,439	8,764	90,456
Черновое и чистовое хонингование ($Ra = 1,2–1,4$ 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.

Исследование параметров качества обработанной поверхности заготовок проводили с использованием профилометра Surftest SJ-210 Mitutoyo, позволяющего измерять различные параметры шероховатости. Параметры микрогеометрии зеркала гильзы должны соответствовать указанным в технических требованиях чертежа на гильзу блока цилиндров 245-1002 021-A1-06 (табл. 5).

Табл. 5

Параметры микрогеометрии обработанной поверхности гильз в соответствии с техническими требованиями чертежа

Допустимое значение параметра	R_o , 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 однократного черного хонингования с исходной шероховатостью $Ra = 2,5 - 3,5$ мкм. Проведены исследования влияния подачи инструмента (S) на параметр шероховатости Ra обрабатываемой поверхности (рис. 5).

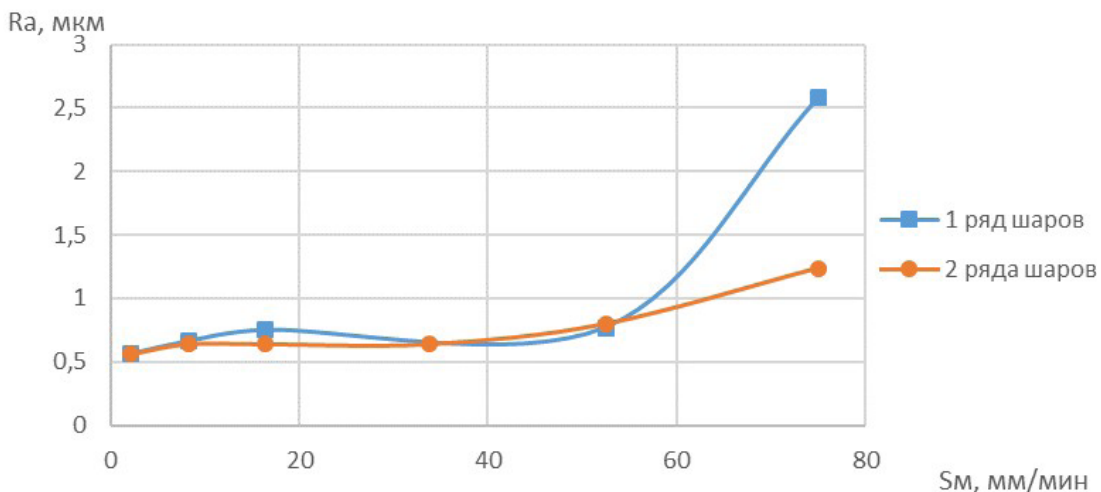


Рис. 5. Зависимость $Ra = f(S)$ при давлении сжатого воздуха $P = 0,30 \dots 0,35$ МПа и исходной шероховатости $Ra = 2,5 - 3,5$ мкм

Условия проведения эксперимента: давление сжатого воздуха $P = 0,30 \dots 0,35$ 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 $Ra = 1,2-1,4$ мкм. Проведены исследования влияния подачи инструмента (S) на параметр шероховатости Ra обрабатываемой поверхности (рис. 6). Условия проведения эксперимента: давление сжатого воздуха $P = 0,30$ МПа, обработка производилась за два прохода. Зависимость $Ra = f(S_M)$ носит линейный характер, для дальнейшего определения влияния величины подачи на шероховатость необходимо проведение экспериментов на больших подачах.

Исследования влияния параметра Ra исходной шероховатости на величину параметра Ra обработанной поверхности и производительность процесса 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: в первом – после однократного чернового хонингования ($Ra = 2,5 - 3,5$ мкм), во втором – после чернового и чистового хонингования ($Ra = 1,2 - 1,4$ мкм).

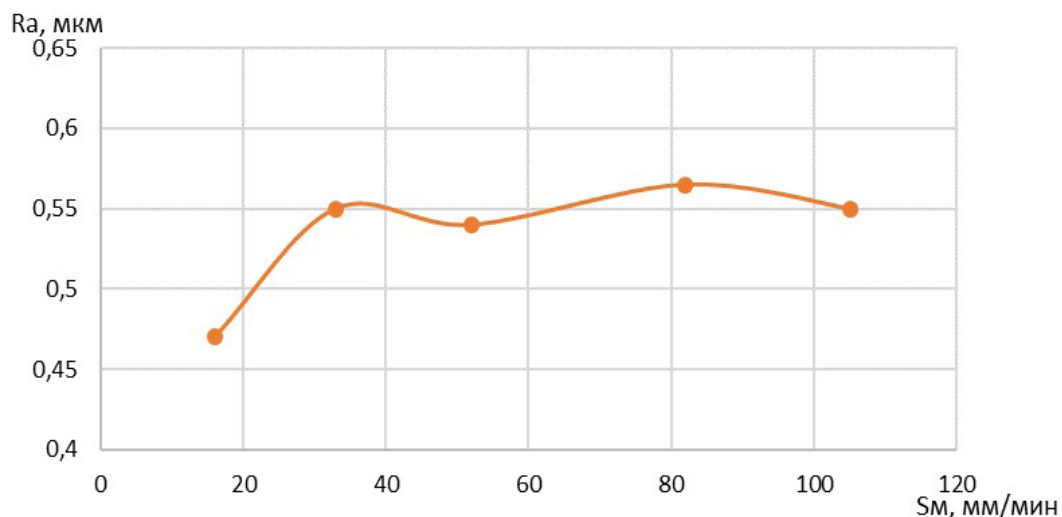


Рис. 6. Зависимость $Ra = f(S_M)$ при давлении сжатого воздуха $P = 0,3$ МПа и исходной шероховатости $Ra = 1,2-1,4$ мкм

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

Выявлена закономерность влияния величины параметра Ra 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.

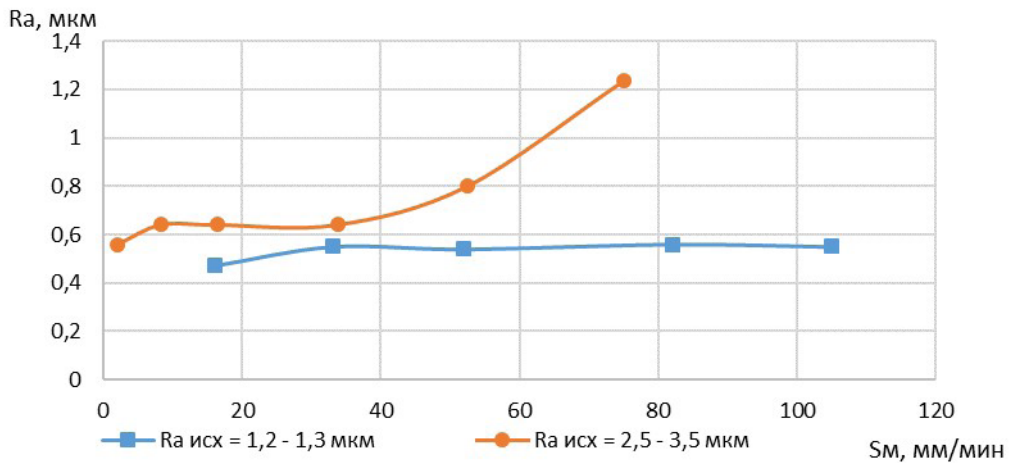


Рис. 7. Зависимость $Ra = f(Sm)$ при давлении сжатого воздуха $P = 0,3$ МПа и различной величине исходной шероховатости поверхности

Предварительные экспериментальные исследования финишной обработки зеркала гильз двигателей упрочняющей ПЦО показали, что после обработки возможно получение поверхности с параметрами микрогеометрии, соответствующими техническим требованиям чертежа (табл. 5). Для оптимизации 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 представлены на рис. 8, а основные параметры микрогеометрии сведены в табл. 6.

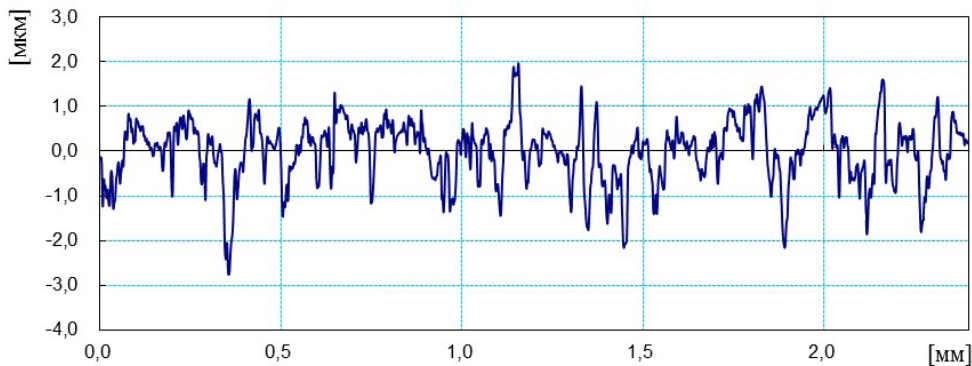


Рис. 8. Профилограмма поверхности гильзы после финишной упрочняющей ПЦО

Табл. 6

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

Обработка модельных образцов гильз в ремонтном производстве. Исследования проводили на радиально-сверлильном станке мод. 2655. В качестве инструмента был использован накатник, основные характеристики которого приведены в табл. 2.

Технологическое оснащение – приспособление, используемое для расточки гильз, базируемое по двум поясам диаметром 126 мм, 125 мм и нижнему торцу фланца гильзы с креплением гильзы прижимами по верхнему торцу.

Модельные образцы заготовок ремонтируемых гильз двигателя внутреннего сгорания модели Д-240: наружный диаметр – 123 мм; диаметр отверстия после однократного хонингования в ремонтный размер – 110,7; длина – 245 мм. Исходная шероховатость ремонтируемых гильз двигателя внутреннего сгорания, прошедших операции растачивания в ремонтный размер и однократного хонингования, $Ra = 0,50 \dots 0,75$ мкм. Материал заготовок: специальный чугун, твердость HB 229...280. Основные параметры микрогеометрии рабочих поверхностей гильз, пришедших в ремонт и прошедших операции растачивания в ремонтный размер и однократное хонингование сведены в табл. 7.

Табл. 7

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} , %
Внутренняя поверхность гильзы пришедшей в ремонт	0,35–0,85	2,231	1,856	1,251	7,438	81,797
Поверхность гильзы после растачивания в ремонтный размер и однократного хонингования	0,50–0,75	1,652	2,572	3,797	3,109	76,422

Исследование влияния давления сжатого воздуха (P), подводимого к инструменту на параметр Ra шероховатости обработанной поверхности.

Условия проведения эксперимента: осевая подача инструмента $S = 22,5$ мм/мин, обработка производилась за один или два прохода, диаметр шаров в инструменте – 11,12 мм.

На рис. 9 представлена зависимость параметра шероховатости обработанной внутренней поверхности заготовок гильз от давления сжатого воздуха $Ra = f(P)$.

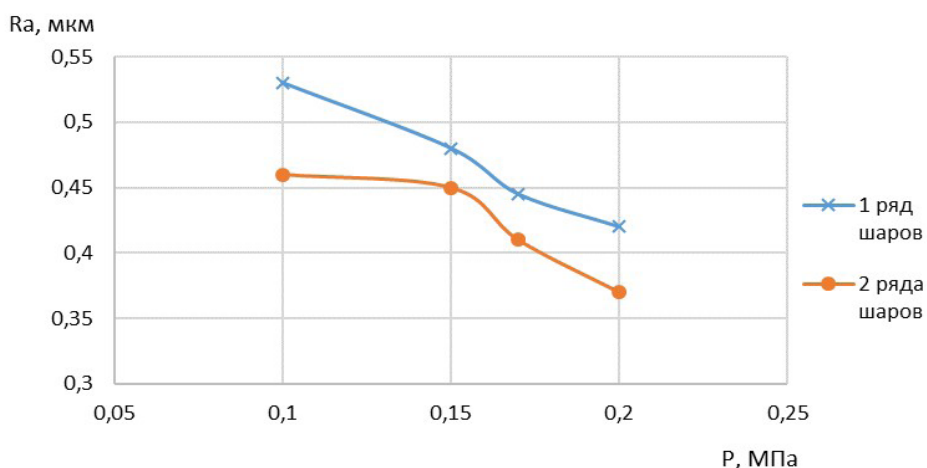


Рис. 9. Зависимость шероховатости Ra обработанной поверхности от давления сжатого воздуха при минутной подачи $S_M = 22,5$ мм/мин

Условия проведения эксперимента: осевая подача инструмента $S = 31,5$ мм/мин, обработка производилась за один или два прохода, диаметр шаров в инструменте – 7,938 мм.

На рис. 10 представлена зависимость параметра шероховатости обработанной внутренней поверхности заготовок гильз от давления сжатого воздуха $Ra = f(P)$.

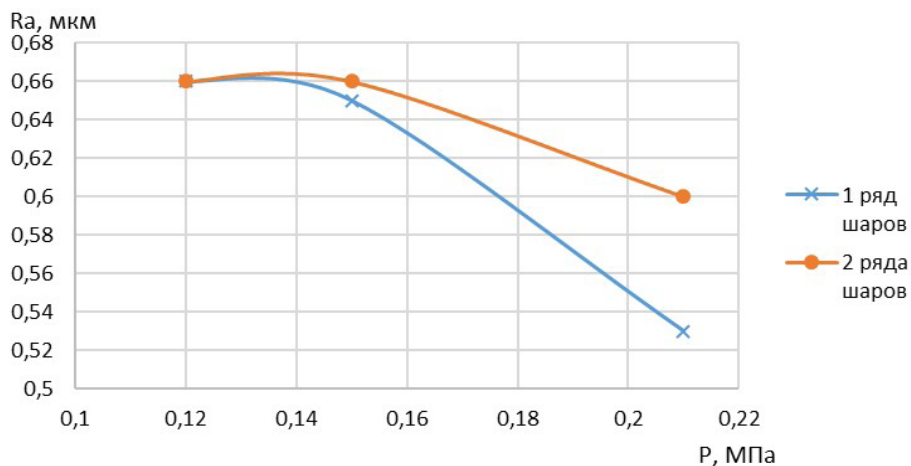


Рис. 10. Зависимость шероховатости Ra обработанной поверхности от давления сжатого воздуха при минутной подаче $S_M = 31,5$ мм/мин

Анализ графиков показал, что увеличение давления сжатого воздуха ведет к снижению шероховатости обработанной поверхности. Исследования ограничили давлением 0,2 МПа, поскольку технологические возможности пневмосистемы не позволяли большего.

Исследование влияния подачи инструмента (S) на параметр шероховатости Ra обрабатываемой поверхности.

Условия проведения эксперимента: давление сжатого воздуха $P = 0,2$ МПа, обработка производилась за два прохода, диаметр шаров в инструменте – 11,112 мм и 7,938 мм.

На рис. 11 представлена зависимость параметра шероховатости обработанной внутренней поверхности заготовок гильз от подачи инструмента $Ra = f(s)$.

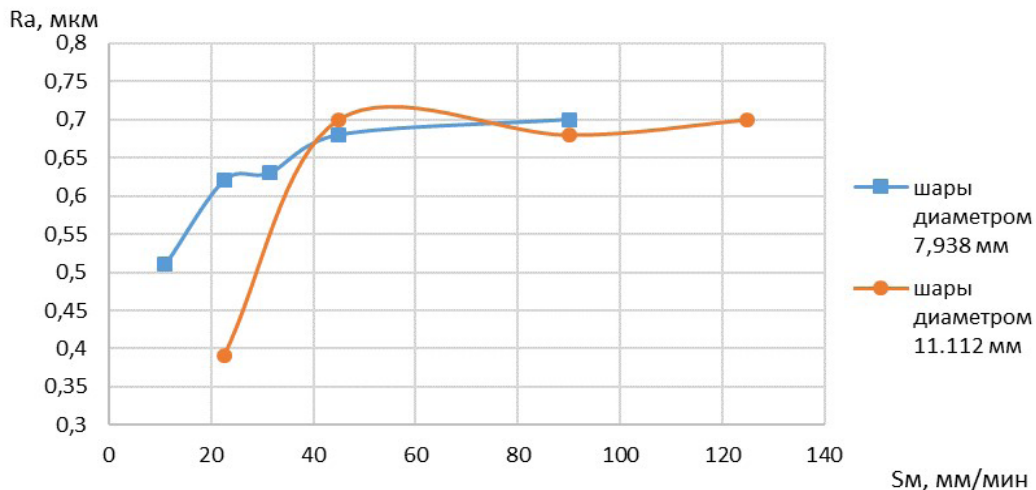


Рис. 11. Зависимость шероховатости Ra обработанной поверхности от подачи инструмента $P = 0,2$ МПа

При варьировании величиной подачи инструмента, шероховатость обработанной поверхности возрастает с увеличением подачи.

Заключение

1. Варьирование величины подачи инструмента показало, что шероховатость обработанной поверхности возрастает с увеличением подачи. При этом использование второго прохода инструмента снижает шероховатость, но незначительно.

2. Выявлена закономерность влияния величины параметра Ra 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.

3. Для оптимизации процесса финишной упрочняющей ПЦО рабочей поверхности гильз необходимо проведение дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Венцель, С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель.— М.: Химия, 1979 г.—240 с.
2. Основные эксплуатационные дефекты гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.moluch.ru/archive/85/15984/> – Дата доступа: 05.01.2016.
3. Условия работы и виды изнашивания [Электронный ресурс]. – 2015. – 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.
4. Блок цилиндров [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.77truck.net/blokci02.html> – Дата доступа: 16.12.2015.
5. Ремонт автомобилей: Учебник / Румянцев С. И., Борщов В. Ф., Боднев А. Г. и др.: Под ред. С. И. Румянцева М.: Транспорт, 1981. – 462 с.
6. Полянчикова, М.Ю. Совершенствование процесса хонингования чугуновых гильз цилиндров при их ремонте за счет применения модифицированного однокомпонентного абразивного инструмента и переменной скорости резания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / М.Ю. Полянчикова. – Волгоградский гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2011. – 16 с.
7. Дизели тракторные и комбайновые. Сдача в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта: ГОСТ 18523-79. – Введ. 01.01.81. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 16 с.
8. Основы хонингования от DELAPENA [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: http://www.ab-engine.ru/delapena_basic.html.– Дата доступа: 10.05.2018.
9. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – JL: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 248 с.
10. Наерман, М.С. Прецизионная обработка деталей алмазными и абразивными брусками / М.С. Наерман, С.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1971.
11. Прогрессивные методы хонингования. / С.И. Куликов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 135 с.
12. Фаршатов, В.М. Исследование влияния процесса гидродинамического раскатывания блоков цилиндров ВАЗ на повышение их моторесурса: автореф. ... дис. к-та техн. наук/ В.М. Фаршатов. – Завод ВТУЗ. – М., 1983. – 25 с.
13. Николаев, В.В. Технологическое обеспечение износостойкости деталей раскатыванием и обкатыванием (на примере пары: цилиндр – поршневое кольцо): Дис. ... к-та техн. наук / В.В. Николаев. – Владимир, 1986 – 227 с.
14. Пат. 2 501644 RU, МПК В24В 39/02, В23Р 9/00. Способ финишной обработки внутренних поверхностей заготовок гильз двигателей внутреннего сгорания / А. П. Минаков [и др.]. – №2 012 105 170/02; заявл. 14.02.12; опубл. 20.12.13, Бюл. №35 – 4 с.
15. Пат. №2 507 054 РФ, МКИЗ В24В 39/02, В23Р 9/00. Способ финишной обработки внутренних поверхностей гильз тракторных и комбайновых дизельных двигателей / А. П. Минаков [и др.]. – №2 012 116 180/02; заявл. 20.04.2012; опубл. 20.02.2014, Бюл. №5. – 4 с.
16. Минаков, А. П. Методика проектирования инструмента и пневмосистемы для пневмовибродинамической обработки внутренних поверхностей вращения / А. П. Минаков, Е. В. Ильюшина, И.Д. Камчицкая. – Могилев : Белорус. – Рос. ун-т, 2015. – 10 с.
17. DIN 4776–1990. Шероховатость поверхностей. Условия измерения и методы оценки параметров R_k , R_{pk} , R_{uk} , Mr_1 , Mr_2 для описания доли материала в профиле шероховатости.

REFERENCES

1. Venzel S.V. Application of lubricating oils in internal combustion engines — Moscow: Chemistry, 1979 —240 p. (in Russian)
2. The main operational defects of car internal combustion engine liners [Electronic resource]. – 2015. – Access mode: <http://www.moluch.ru/archive/85/15984/> – Access data: 05.01.2016. (in Russian)
3. Working conditions and types of wear [Electronic resource]. – 2015. – Access mode: <http://www.autoslesar.net/2010-02-23-13-55-26/77-2010-02-18-18-54-30.html> – Access data: 10.12.2015. (in Russian)
4. Cylinder barrel [Electronic resource]. – 2015. – Access mode: <http://www.77truck.net/blokciil02.html> – Access data: 16.12.2015. (in Russian)
5. Rumyancev S.I., Borschov V.F., Bodnev A.G. etc. Auto service: Manual / Ed. by S.I.Rumyancev, Moscow: Transport, 1981. – 462 p. (in Russian)
6. M.U.Polyanchikova. Improvement of the process of honing cast-iron liners during their repair using modified one-component abrasive tool and variable cutting speed: author's abstract. ... Cand. Sc.: 05.02.07 / M.U.Polyanchikova; Volgograd State Technical University. Volgograd, 2011. 16 p. (in Russian)
7. Tractor and combine diesel engines. Overhaul starting and finishing: State Standard 18523-79. – Introduction 01.01.81. – M.: Publishing house of standards, 1991. 16 p. (in Russian)
8. The basics of honing from DELAPENA [Electronic resource]. – 2018. – Access mode: http://www.ab-engine.ru/delapena_basic.html. – Access data: 10.05.2018. (in Russian)
9. Shnejder U.G. Working properties of parts with regular microrelief / Leningrad: Machine engineering, Lenindrad dept., 1982. – 248 p. (in Russian)
10. Naerman M.S., Popov S.A. Precision treatment of parts with diamond and abrasive bars.– Moscow: Machine engineering, 1971. (in Russian)
11. Kulikov S.I., Rizvanov F.F., Romanchuk V.A., Kovalevskij S.V. Honing progressive methods. Moscow: Machine engineering, 1983. – 135 p.. (in Russian)
12. Farshatov V.M. Investigation of the influence of hydrodynamic rolling processes of VAZ cylinder blocks on increasing their service life: abstract. ... Cand.Sc./ VTUZ Factory. Moscow, 1983. 25 p. (in Russian)
13. Nikolaev V.V. Technological provision of wear resistance of parts by expanding and rolling (as an example: cylinder – piston ring): Abstract. ... Cand.Sc. Vladimir, 1986 227 p. (in Russian)
14. Minakov A.P., Ilyushina E.V., Lustenkov M.E., Cumareva N.A. Pat.. 2501644 RU, IPC B24B 39/02, B23P 9/00. Method of finishing the inner surfaces of blanks of internal combustion engine liners / – N°2 012 105 170/02; stated. 14.02.12; published. 20.12.13, bulletin. N°35 4 p. (in Russian)
15. Minakov A.P., Ilyushina E.V., Lustenkov M.E., Cumareva N.A. Pat. N°2 507 054 Russia, МКИ3 B24B 39/02, B23P 9/00. Method of inner surface finishing treatment of tractor and combine diesel engine liners / N°2 012 116 180/02 ; stated. 20.04.2012 ; published. 20.02.2014, bulletin. N°5. 4 p. (in Russian)
16. Minakov A.P., Ilyushina E.V., Kamchickaya I.D. Tool design technique and pneumatic system for pneumatic vibrodynamic processing of internal surfaces of rotation / Mogilev : Bel.-Rus. University, 2015. 10 p. (in Russian)
17. DIN 4776–1990. Surface roughness. The measurement conditions and evaluation methods of R_k , R_{pk} , R_{uk} , Mr_p , Mr_2 parameters for material proportion describe in the roughness profile. (in Russian)

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 05.06.18