

УДК 621.787

А. П. Минаков, М. Е. Лустенков, Е. В. Ильюшина, К. А. Бычинский

НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕМОНТА ГИЛЬЗ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТОНКИМ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

UDC 621.787

A. P. Minakov, M. Y. Lustenkov, E. V. Ilyushina, K. A. Bychinsky

A NEW EFFECTIVE METHOD FOR REPAIRING CYLINDER SLEEVES OF DIESEL ENGINES BY USING FINE SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Аннотация

Рассмотрена одна из актуальных проблем в ремонтном производстве, связанная с современным технологическим обеспечением для получения принципиально нового качества рабочей поверхности гильзы на основе применения финишной операции упрочняющей пневмоцентробежной обработки (ПЦО) вместо плосковершинного хонингования. Использование ПЦО позволяет уменьшить относительный расход масла на угар, расход топлива, повысить ресурс работы дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Ключевые слова:

хонингование, пневмоцентробежная обработка, микро- и макрогеометрия гильз блока цилиндров ДВС, относительный расход масла на угар, расход топлива, толщина масляной пленки в парах трения.

Abstract

The paper considers one of the pressing problems of repair production associated with modern technological support for obtaining a fundamentally new quality of the working surface of the cylinder sleeve by using strengthening pneumatic centrifugal treatment as a finishing operation instead of plateau honing, which reduces relative waste of oil and fuel consumption, and increases service life of the diesel internal combustion engine (ICE).

Key words:

honing, pneumatic centrifugal treatment, micro- and macrogeometry of sleeves of the cylinder block of the internal combustion engine, relative waste of oil, fuel consumption, thickness of oil film in friction pairs.

Необходимость выполнения ремонтных работ машин определяется экономической эффективностью (табл. 1). Наибольшую трудоемкость составляет ремонт двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [1].

Одним из основных критериев оценки экономичности ДВС является относительный расход масла на угар, который определяется согласно ГОСТ 18509-88 по формуле [2]

$$g_{\text{м.уг.}} = \frac{\Delta G_{\text{м.уг.}}}{G'_T} \cdot 10^2, \quad (1)$$

где $\Delta G_{\text{м.уг.}}$ – изменение массы масла в двигателе за время угарного цикла, кг; G'_T – расход топлива за время измерения масла на угар, кг.

По нормативам ГОСТ 18523-79 в ремонтном производстве относительный расход масла на угар в зоне цилиндропоршневой группы (ЦПГ) дизельно-

го ДВС не должен превышать $g_{м.уг.} = 0,8...0,9 \%$ в зависимости от объема цилиндров для конкретной модели [3]. Усредненный показатель этого параметра в действующем ремонтном производстве

составляет $g_{м.уг.} = 0,5...0,6 \%$. Это позволяет судить о необходимости дальнейшего совершенствования технологии ремонта гильз блока цилиндров.

Табл. 1. Расход ресурсов и затраты при производстве и капитальном ремонте машин

Ресурсы, затраты на одну машину	Производство	Капитальный ремонт
Металл, т	6,0...9,0	1,5...2,7
Электроэнергия, тыс. кВт·ч	4,0...5,5	1,2...2,2
Затраты труда, чел.-ч	75...240	135...620
Основные фонды, тыс. р. (РФ) на одну машину	3,0...6,0	0,6...1,2

Одним из путей решения этой актуальной проблемы является технологическое обеспечение улучшенного качества изготовления гильз для достижения $g_{м.уг.} < 0,5 \%$. При этом крайне важно решить проблему уменьшения расхода топлива, повышения износостойкости деталей ЦПГ двигателя, а в целом повышения ресурса работы и надежности дизеля.

Известно, что то или иное технологическое обеспечение качества поверхности детали существенным обра-

зом влияет на ее эксплуатационные свойства, в свою очередь, зависящие от микро- и макрорельефа поверхности.

Микрорельеф поверхности классифицируют [4] по двум признакам: геометрической структуре и характеру профиля.

На рис. 1 показаны характер корреляционной функции $\rho(\tau)$ и плотность вероятностей распределения ординат профиля $f(h)$, характеризующих закономерности изменения шероховатости по длине и высоте.

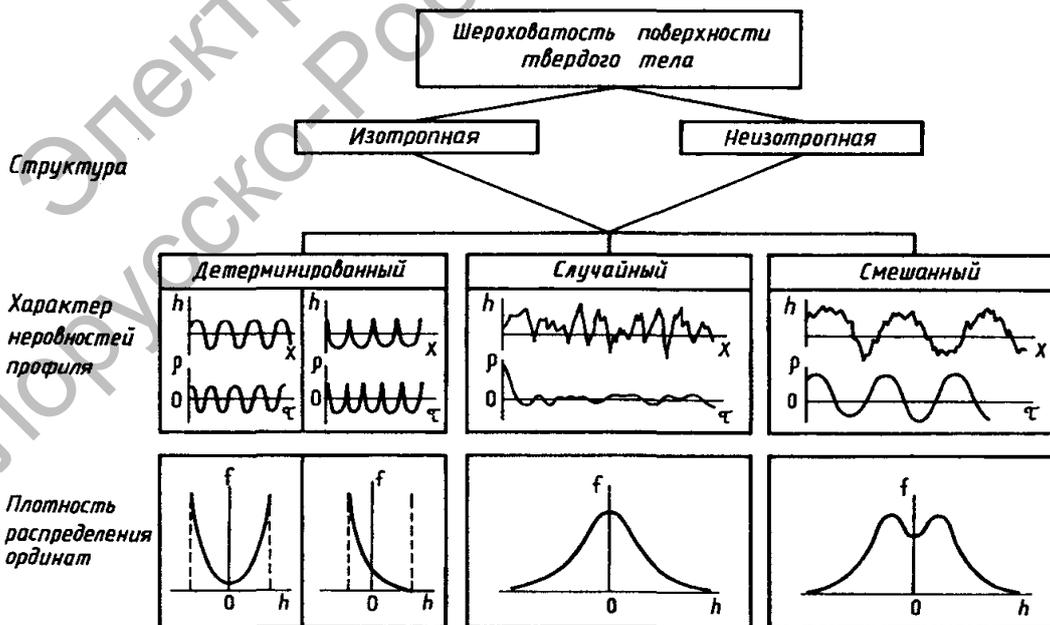


Рис. 1. Классификация шероховатых поверхностей

Для изотропной поверхности характерна одинаковая шероховатость по всем направлениям (например, поверхность, полученная виброобкатыванием с регулярным микрорельефом), для не изотропной, в отличие от изотропной, – четкая направленность следов обработки. Это поверхности, полученные фрезерованием, точением, протягиванием. Вместе с тем, поверхности, одинаковые по структуре, могут иметь различный характер неровностей, что видно из профилограмм микрорельефов (см. рис. 1).

Профиль может быть детерминированным, случайным и смешанным в зависимости от характера неровностей. Для детерминированного профиля характерно периодическое сочетание неровностей, практически мало отличающихся друг от друга. Такой профиль описывается периодической функцией (например, поверхность, полученная точением, виброобкатыванием). Корреляционная функция такого профиля сходна с самим профилем. Плотность распределения ординат зависит от формы профиля. Так, для симметричного профиля она симметрична, для несимметричного – несимметрична (см. рис. 1).

Случайные профили, представляющие вторую группу, характеризуются нерегулярным расположением микронеровностей по высоте и нерегулярным их очертанием. Корреляционная функция случайного профиля быстро убывает, что характерно, например, для гидроабразивной обработки поверхности, доводки поверхности свободным абразивом, пневмовибродинамической обработки (ПВДО) и т. д. (см. рис. 1). Плотность распределения ординат шероховатости для профиля со случайным характером близка к нормальной.

Группа смешанных профилей образуется при совместном взаимодействии детерминированных и случайных и занимает промежуточное положение между первой и второй группой профилей. Смешанные профили разнообразны по форме, их характер зависит от спо-

соба суммирования отдельных составляющих. Корреляционная функция такого профиля в основном имеет незатухающие колебания. Плотность распределения ординат имеет два максимума и более.

Известно, что, наряду с характеристикой шероховатости рабочей поверхности, влияющей на повышение надежности деталей машин с лезвийной и абразивной обработкой, большое значение имеют способы поверхностно-пластического деформирования (ППД).

Этому посвящены работы [5–7], общей тенденцией которых в большинстве случаев является использование ППД, обеспечивающего эффект упрочнения рабочей поверхности для получения ее высоких эксплуатационных свойств.

В отечественном ремонтном производстве наибольшее распространение получил способ ремонта гильз ДВС растачиванием с последующим хонингованием под ремонтный размер либо только хонингованием (предварительное и окончательное – плосковершинное) [8]. Однако использование плосковершинного хонингования зеркала гильзы ДВС не позволяет решить проблему уменьшения выброса вредных веществ в зоне работы ЦПГ.

Ввиду отсутствия работ с применением способов ППД для уменьшения угара масла в ДВС в ремонтном производстве особый интерес представляют технологии Ю. Г. Шнейдера, внедренные в СССР на Ярославском моторном заводе в серийное производство [6].

В [6] значительное место уделено исследованию возможности повышения износостойкости деталей ЦПГ за счет вибронакатывания на рабочей поверхности гильзы ДВС микрорельефов различного вида. В табл. 2 представлены режимы обработки и результаты стендовых испытаний вибронакатанных гильз.

Для определения эпюр износа гильз, обработанных хонингованием и вибронакатанных, были изготовлены

модельные образцы гильз тракторного двигателя из серого перлитного чугуна.

Твердость поверхности гильзы составила 40 HRC на глубине не менее 1,5 мкм.

Табл. 2. Режимы обработки и результаты испытаний различных двигателей с вибронакатанными гильзами из различных металлов [6]

Марка двигателя	Гильза цилиндра		Режим вибронакатывания					
	D, мм	Материал	n _з , рад/с	s, мм/об	l, мм	d _ш , мм	P, Н	n _{дв.х} , 1/мин
ЯМЗ-236	130	Хромо-кремнистый сплав	119,38	1,56	1	4	343	1400
ЗИЛ-130	100		119,38	1,74	1	4	343	1400
ГАЗ-21	92		119,38	1,56	1	4	343	1400
М-412	82	Серый чугун	238,75	3	1,38	7,94	392	1400
ЗИЛ-130	100	Серый чугун	191,0	2,08	1	4	343	1400
Д-60К	100	Чугун СЧ21	393,03	5,28	1	3,15	687	2800
Марка двигателя	Глубина канавки, мм	Шаг волны канавки, мм	Площадь, занимаемая канавками, %	Объем канавок, мм ³	Эффект применения вибронакатывания			
ЯМЗ-236	0,0129	3,58	37,6	0,003062	Устранение задиров, натиров, схватывания			
ЗИЛ-130	0,008	2,73	34,8	0,001858				
ГАЗ-21	0,0095	2,565	39,7	0,002398				
М-412	0,0055	4,604	44,8	0,001600	Увеличение износостойкости в 1,5...1,7 раза			
ЗИЛ-130	0,020	4,43	35,6	0,004734	Увеличение износостойкости в 1,4...1,6 раза			
Д-60К	0,020	4,43	32,7	0,004734	Увеличение износостойкости в 1,5...1,8 раза			

Износ гильз и колец определяется методом искусственных баз (вырезания лунок) прибором УПОИ-6 [6]. Лунки вырезались в пяти поясах по восемь в каждой. Замер лунок производился через 10, 26, 36, 46 и 56 мото-ч наработки с начала испытания. Температура воды и масла составляла 80...85 °С, нагрузка на двигатель – 118,5...148 Н при частоте коленчатого вала (1570 ± 10) мин⁻¹. Результаты испытаний по выявлению оптимального вида микроструктуры показаны на рис. 2.

Из эюр следует, что износ по всем поясам в различных точках по окружности достаточно неравномерен, однако он во всех случаях в результате вибронакатывания заметно снижается. Создание системы канавок любого вида значительно снижает износ хонингованной поверхности, имевшей шероховатость Ra = 0,16 мкм.

Если принять за 100 % износ гильз, прошедших в качестве окончательной операции хонингование, то износ вибронакатанных гильз составил соответственно для систем канавок с микрорельефами видов: III – 49,91 %, II – 45,78 %, I – 24,08 %.

Применение вибронакатывания оказалось эффективным по увеличению износостойкости гильз, а также для предотвращения появления натиров и задиров на поверхности юбки поршня и шатунных втулок двигателей [6].

Однако, несмотря на ряд преимуществ, рассмотренный способ вибронакатывания не нашел применения ввиду необходимости создания специального оборудования, сложности оснастки, необходимости ввода в техпроцесс дополнительной технологической операции для снятия наплывов в канавках [6]. Это позволило бы обеспечить, как показали ис-

следования авторов, относительный расход масла на угар в размере 0,4...0,5 %.

Следует отметить, что масляная экономичность ДВС определяется также толщиной масляной пленки (рис. 3) [9].

На износ пары трения цилиндр-поршневое кольцо оказывают влияние

большое количество разнообразных факторов [10], при этом определить наиболее важные из них затруднительно.

По мнению авторов, проблемы, рассматриваемые в статье, решает предлагаемый ниже способ финишной обработки (ремонта) гильз блока цилиндров.

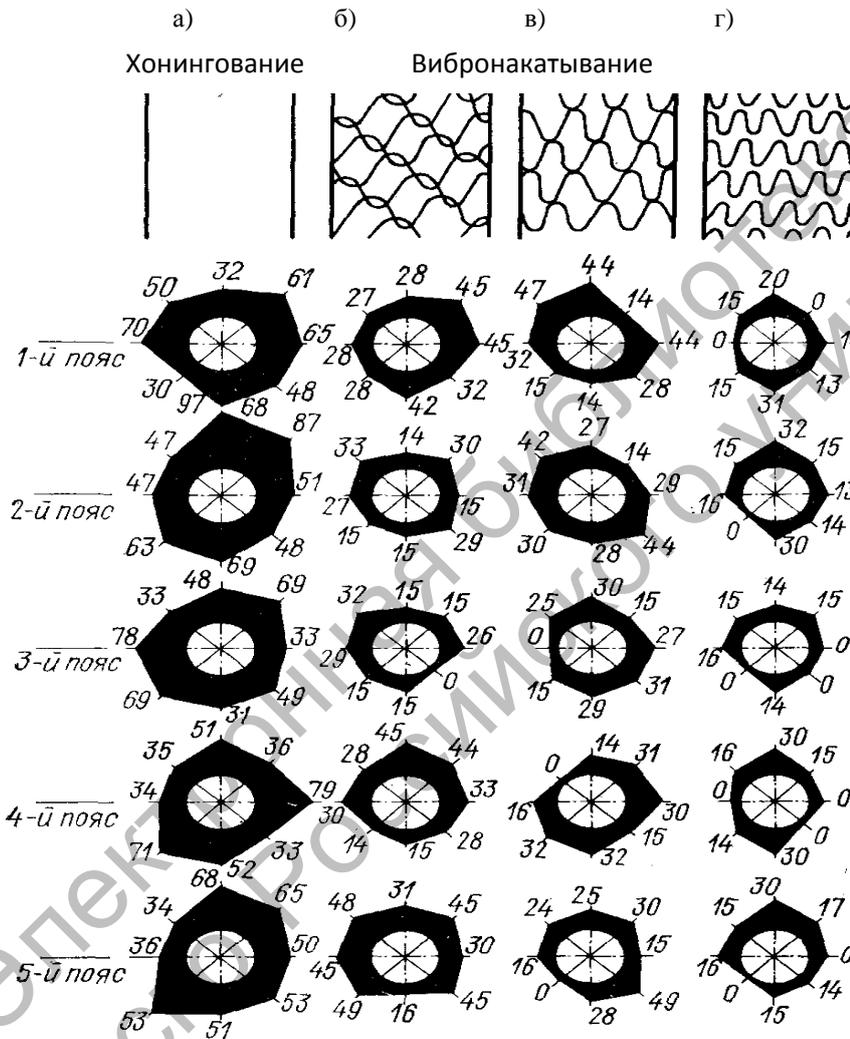


Рис. 2. Эшоры износа гильз, обработанных хонингованием (а) и вибронакатыванием с микрорельефами видов III (б), II (в) и I (г)

Сущность способа состоит в том, что в технологическом процессе восстановления зеркала гильзы вместо применяемого плосковершинного хонингования производят тонкое пластическое деформирование стальными шарами посредством упрочняющей пневмоцентрической обработки (ПЦО).

Особенность процесса ПЦО состоит в том, что стальные шары (инденторы) воздействуют на обрабатываемую поверхность под действием струй сжатого воздуха, находясь в кольцевом вихревом потоке и совершая свободные виброколебания при их круговом вращательном перемещении относительно

продольной оси заготовки [11, 12].

Благодаря виброколебаниям каждого из шаров сила, необходимая для ППД микрогребешка, существенно

снижается [11] в отличие от процесса накатывания жестким шариковым или роликовым инструментом [6, 13].

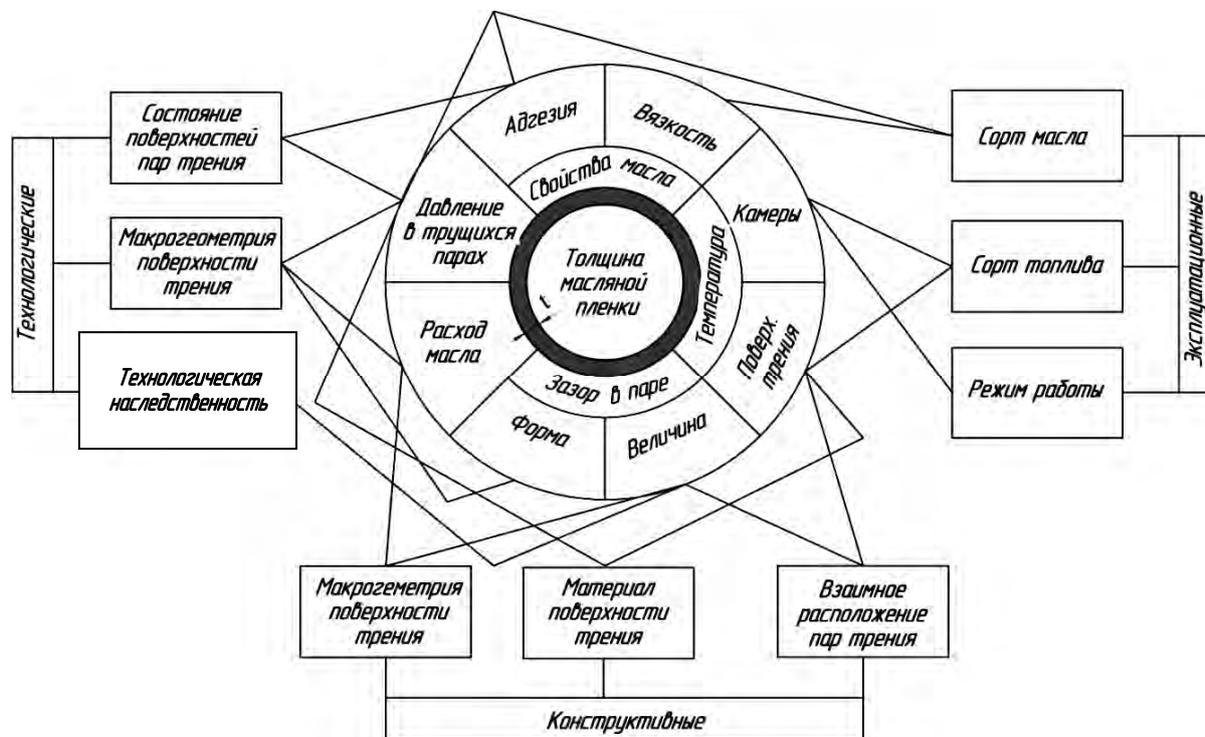


Рис. 3. Влияние различных факторов на толщину масляной пленки

При этом происходит деформационное упрочнение поверхности на весьма малую величину ($\leq 0,06$ мм) (что очень важно для нормальных условий работы пары сухого и полусухого трения гильза–поршневое кольцо), создавая оптимальные (равновесные) условия шероховатости поверхности [14]. Более того, процесс становится предпочтительным для финишной обработки нежестких деталей, каковой является гильза ДВС, не ухудшается макрогеометрия гильзы, полученная на операции хонингования.

Упомянутый процесс упрочняющей ПЦО реализован инструментом, представленным на рис. 4.

Пневмоцентробежный накатник устанавливается в оправке соосно шпинделю радиально-сверлильного

станка относительно оси неподвижной гильзы 7 в вертикальном положении, гильза крепится в специальном приспособлении.

Сжатый воздух от пневмосистемы подводится к центральному отверстию 6 инструмента и проходит сквозь тангенциально расположенные сопла 8, приводя во вращение деформирующие шары 9, свободно размещенные в камере расширения 10. При перемещении инструмента вдоль заготовки пластическое деформирование происходит под действием центробежной силы, развиваемой шарами. Однако движение шаров в инструменте не ограничивается только вращением. Имея шесть степеней свободы, шары совершают осциллирующее и радиальное перемещения по отношению к обрабатываемой по-

верхности гильзы в пределах осевого δ и радиального γ зазоров в камере расши-

рения, а также вращаются вокруг собственной оси (рис. 5).

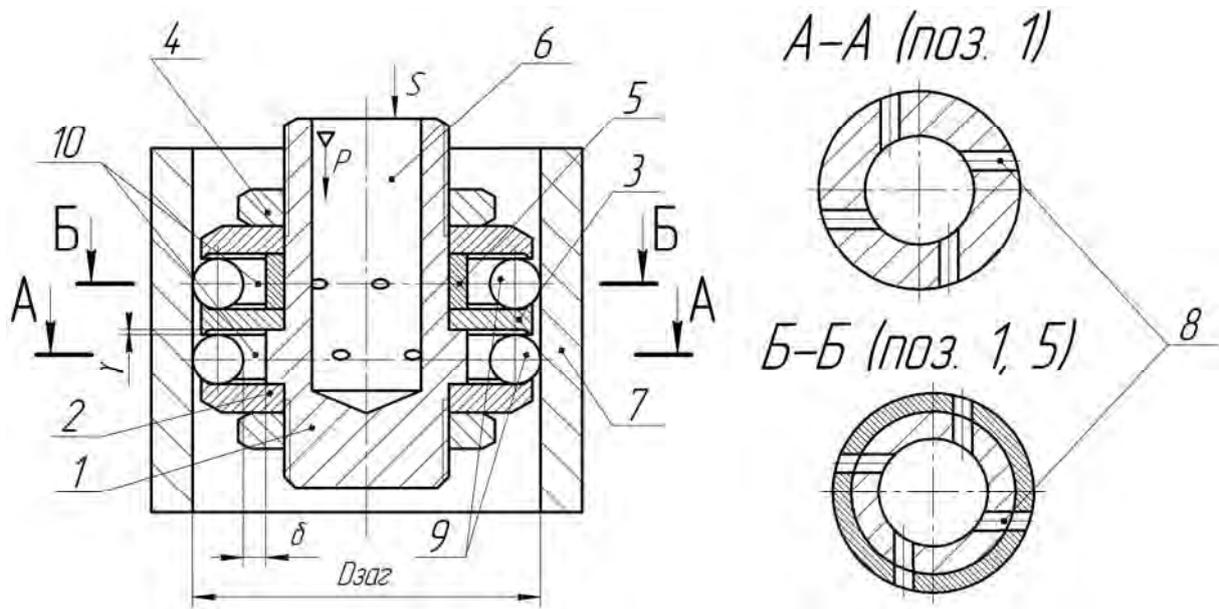


Рис. 4. Схема инструмента для упрочняющей ППО гильз ДВС: 1 – корпус; 2, 3 – диски; 4 – гайки; 5 – втулка; 6 – осевой канал; 7 – гильза блока цилиндров; 8 – тангенциальные сопла; 9 – шары; 10 – камера расширения

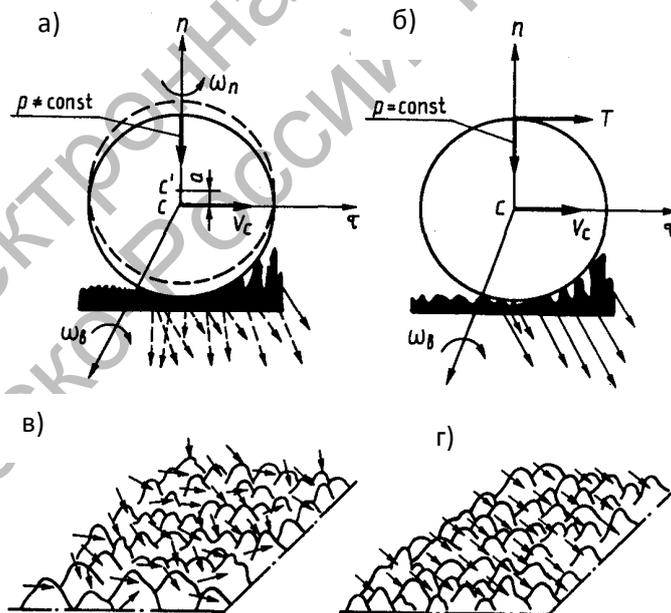


Рис. 5. Схема силового воздействия деформирующих элементов на исходный микро рельеф: а, в – пневмоцентробежная обработка; б, г – жесткое деформационное упрочнение

Механизм формирования микро рельефа приближается к вибронакатыванию с преобладающим направлением

силы по нормали к обрабатываемой поверхности. Изменения траектории движения шаров по эллипсу способствуют

непрерывному периодическому изменению направления и усилия, что резко снижает силу, необходимую для ППД микрогребешков поверхности, и улучшает качество ее формирования. Установлено, что на процесс формирования микрорельефа и топографии поверхности существенное влияние оказывают процессы, происходящие в камере расширения инструмента.

Локальное кратковременное воздействие деформирующих шаров в режиме автоколебательного движения на микронеровности в различных направлениях, согласно дислокационной теории, способствует увеличению количества плоскостей скольжения в блоках в различных направлениях и уменьшению сопротивления развитию очагов деформации. В результате этого поверхность получается не разрыхленной, а цельной. Микротрещины как концентраторы напряжений, полученные на предшествующей операции (хонингование), будут «залечиваться» [11, 12].

Поверхность гильзы ДВС для последующей ПЦО должна быть сухой и чистой. Смазочно-охлаждающей средой является сжатый воздух. В процессе ПЦО поверхность гильзы, как и инструмент, не нагревается.

Ниже приводятся результаты первых предварительных поисковых исследований обработки гильз блока цилиндров мод. Д-245 упрочняющей ПЦО без плосковершинного хонингования (ПВХ).

Материал гильзы – специальный серый чугун. Твердость – 229...269 НВ. Номинальный диаметр – 110 мм, высота – 245 мм, толщина стенки – 7,25 мм, цилиндричность рабочей поверхности – не более 0,01 мм.

Рабочая поверхность гильзы по чертежу должна представлять собой сетку впадин глубиной 1,5...5 мкм, шириной 10...70 мкм, с площадками между ними с глубиной микронеровностей 0,1...1 мкм. Шероховатостью поверхности гильзы – 0,63...0,25 мкм. Базовая относительная опорная длина профиля

должна составлять 60...85 %. Маслосъемность рабочей поверхности должна быть 0,008...0,041 мм³/см². Впадины, образующие сетку хона, должны быть перекармливаемыми и наклонены к оси рабочей поверхности под углом 50...65°.

Технологическое оснащение процесса упрочняющей ПЦО: радиально-сверлильный станок мод. 2А55, двухрядный пневматический шариковый накатчик центробежного действия, оригинальное приспособление для базирования гильзы по центрирующему пояску ($\varnothing 126f7_{-0,083}^{-0,043}$ мм) и по нижнему торцу ее буртика (наружный диаметр $\varnothing 133d11_{-0,395}^{-0,145}$ мм). Предусмотрено устройство для установки в шпиндель станка, позволяющее соединять пневмосистему с инструментом и исключать его вращение.

В качестве заготовок использовались гильзы после операции полустого хонингования с шероховатостью поверхности Ra = 1,12...1,33 мкм.

Режимы процесса упрочняющей ПЦО гильз, определенные в результате поисковых исследований: давление сжатого воздуха на входе в осевую полость инструмента P = 0,25...0,35 МПа, минутная подача s_{мин} = 100...150 мм/мин, количество ходов инструмента i = 1. Производительность процесса упрочняющей ПЦО соизмерима с производительностью плосковершинного хонингования.

Измерение шероховатости поверхности проводилось на профилометре-профилографе мод. 252 завода «Калибр», а также на профилометре-профилографе «RTHALYSURF 5M» фирмы «Тейлор Хопсон». Шероховатость поверхности гильз после упрочняющей ПЦО составила до Ra = 0,70 мкм, а относительная опорная длина профиля t_{p50} = 85 %, что соответствует техническим требованиям чертежа.

Определение маслосъемности осуществлялось с использованием графических построений на кривой Аббота со-

гласно стандарту DIN 4776 [15, 16]. Значения маслоёмкости составили для гильз: после ПВХ – $Q = 0,269 \text{ мм}^3/\text{см}^2$; после упрочняющей ПЦО – $Q = 0,0092...0,0150 \text{ мм}^3/\text{см}^2$.

Стендовые испытания проводились в соответствии с ГОСТ 18509-88 по 60-часовой программе [17]. В табл. 3 приведены результаты 60-часовых стен-

довых испытаний дизеля Д-245 с гильзами после ПВХ и после упрочняющей ПЦО. Принятые обозначения в табл. 3: Q_r – расход картерных газов; $P_{к.г.}$ – давление картерных газов; n – частота вращения коленчатого вала; N_e – эффективная мощность; g_e – удельный расход топлива; P_m – давление масла.

Табл. 3. Результаты стендовых 60-часовых испытаний дизелей Д-245, комплектовавшихся гильзами цилиндров, прошедшими ПВХ и упрочняющую ПЦО

Комплектация	$g_{м.уг.}$, %	Q_r , л/мин	$P_{к.г.}$, мм вод. ст.	n , мин ⁻¹	N_e , кВт	g_e , г/кВт·ч	P_m , МПа
Дизель Д-245 ТУ 23.1.365-84	0,8 после ремонта	–	40 не более	2200 ⁺⁴⁰ –25	77 ⁺⁴	220 + 3 % не более	0,343233 не более
Гильзы, прошедшие ПВХ	0,29	48	18	2200	80	222,5	0,254541
Гильзы, прошедшие ПЦО (комплект № 1)	0,60	55	22	2200	80	220,5	0,251541
Гильзы, прошедшие ПЦО (комплект № 2)	0,54	53	20	2200	80	221,6	0,251541

Представленные на испытания опытные гильзы цилиндров 245-1002021-А с проведенной упрочняющей ПЦО для получения зеркала цилиндра имеют расход масла на угар $g_{м.уг.} = 0,54...0,6$ %, что меньше допустимого после капитального ремонта $g_{м.уг.} = 0,8$ %. Расход топлива уменьшился до 1 % за счет снижения коэффициента трения в паре гильза–поршневое кольцо до величины $k \leq 0,1$ [5] по сравнению со штатной комплектацией дизеля Д-245 гильзами, прошедшими ПВХ (рис. 6).

Исследования, описанные выше, по совершенствованию технологии обработки гильзы, исключаяющие операцию плосковершинного хонингования, выполнены в основном производстве, однако они позволяют сделать вывод о возможности и необходимости использования в ремонтном производстве в качестве финишной операции обработки гильз упрочняющую ПЦО.

В настоящее время выполняются исследования по внедрению технологии

упрочняющей ПЦО в ремонтное производство на Могилевском ремонтном заводе.

Выводы

1. Анализ данных о капитальном ремонте гильз ДВС показал, что использование ППД на окончательной операции обработки зеркала гильз было бы предпочтительнее, чем плосковершинное хонингование.

2. Создан способ восстановления зеркала гильзы, согласно которому вместо применяемого плосковершинного хонингования производят тонкое пластическое деформирование стальными шарами посредством упрочняющей ПЦО.

3. На основании исследований обработки зеркала гильз ДВС с использованием ресурсосберегающей технологии ПЦО в основном производстве созданы предпосылки для дальнейшей разработки, исследования и внедрения ее в ремонтное производство.

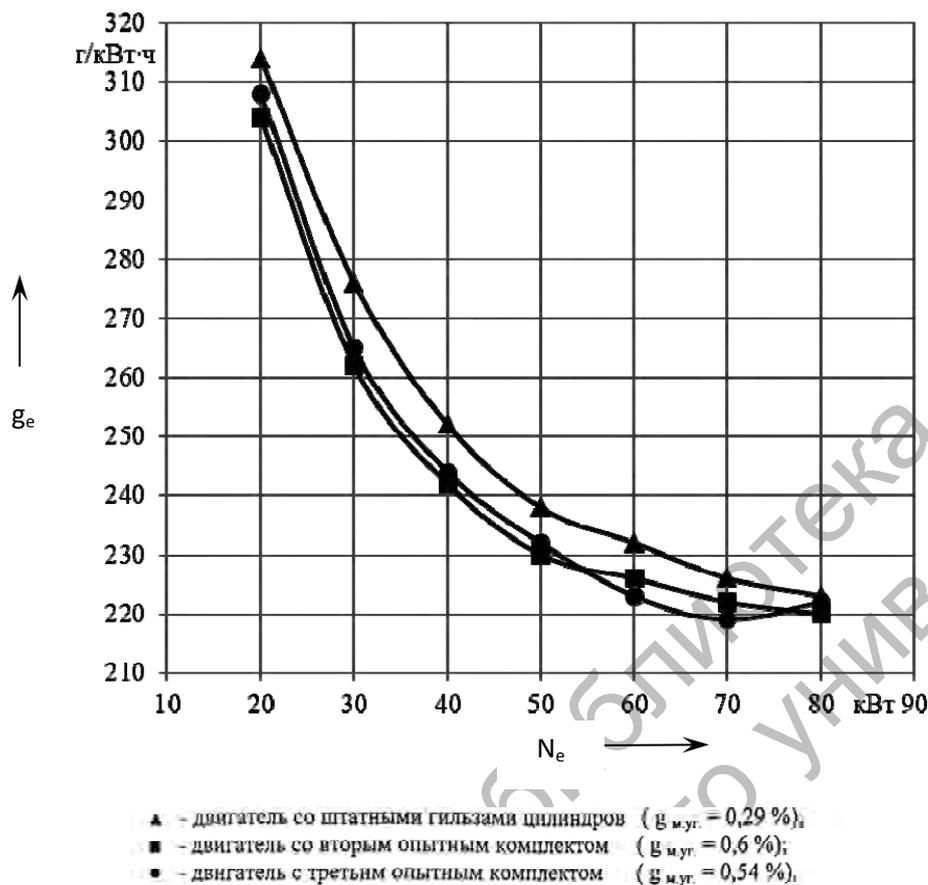


Рис. 6. Удельный расход топлива испытанных гильз после ПВХ и упрочняющей ПЦО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгополов, Б. П. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин : учебник / Б. П. Долгополов, Г. Н. Доценко, В. А. Зорин ; под общ. ред. В. А. Зорина. – М. : Академия, 2010. – 576 с.
2. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.
3. ГОСТ 18523-79. Дизели тракторные и комбайновые. Сдача в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта. Технические условия. – Введ. 08.08.79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 16 с.
4. Рудзит, Я. А. Исследование нерегулярной шероховатости и процесса контактного взаимодействия поверхностей : дис. ... д-ра техн. наук / Я. А. Рудзит. – Рига, 1981. – 516 с.
5. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
6. Шнейдер, Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. – Л. : Машиностроение, 1982. – 246 с.
7. Елизаветин, М. А. Технологические способы повышения долговечности машин / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. – М. : Машиностроение, 1969. – 400 с.
8. Практикум по ремонту машин : учеб. пособие / Е. А. Пучин [и др.] ; под ред. Е. А. Пучина. – М. : КолосС, 2009. – 327 с.
9. Минаков, А. П. Пневмовибродинамическая обработка – предпочтительный метод изготовления поверхностей пар трения и сопрягаемых поверхностей в неподвижных соединениях / А. П. Минаков, В. Н. Соколов, Н. С. Гарлачов // Вестн. машиностроения. – 2002. – № 8. – С. 39–44.
10. Мишин, И. А. Долговечность двигателей / И. А. Мишин. – Л. : Машиностроение, 1976. – 288 с.

11. **Минаков, А. П.** Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос ; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск : Навука і тэхніка, 1995. – 304 с.
12. **Ящерицын, П. И.** Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении / П. И. Ящерицын, А. П. Минаков. – Минск : Наука и техника, 1986. – 215 с.
13. **Кудрявцев, И. В.** Современное состояние и перспективы развития методов повышения прочности и долговечности деталей машин поверхностным пластическим деформированием / И. В. Кудрявцев // Вестн. машиностроения. – 2002. – № 8. – С. 39–44.
14. **Носихин, П. И.** Повышение качества и ускорение обкатки отремонтированных дизелей на основе современных достижений трибологии : автореф. ... дис. д-ра техн. наук : 05.20.03 / П. И. Носихин ; МГАУ. – М., 1997. – 34 с.
15. **DIN 4776.** Rauheitsmessung ; Kenngrößen R_k , R_{pk} , R_{vk} , M_{r1} , M_{r2} , zur Beschreibung des Materialanteilsim Rauheitsprofil ; Meßbedingungen und Auswerteverfahren. – Berlin : Alleinverkauf der Normen-Verlag, 1990. – 30 с.
16. Аналитический обзор методик определения маслостойкости поверхности зеркала гильзы двигателя внутреннего сгорания / А. П. Минаков [и др.] // Вестн. машиностроения. – 1999. – № 10. – С. 14–16.
17. **ГОСТ 18509-88.** Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.

Статья сдана в редакцию 27 сентября 2012 года

Анатолий Петрович Минаков, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-24-18-15.

Михаил Евгеньевич Лустенков, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-25-36-71.

Елена Валерьевна Ильюшина, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0298-45-25-55.

Константин Александрович Бычинский, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Anatoly Petrovich Minakov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-24-18-15.

Mikhail Yevgenyevich Lustenkov, PhD (Engineering), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-25-36-71.

Yelena Valeryevna Ilyushina, PhD (Engineering), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0298-45-25-55.

Konstantin Aleksandrovich Bychinsky, post-graduate student, Belarusian-Russian University.