Таблица 2.

Состав раствора щелочного оксидирования

Концентрация, г/л		
NaOH	NaNO ₃	NaNO ₂
600	50	150

Результаты коррозионных испытаний оксидных покрытий, полученных в присутствии УНТ, приведены в табл. 3. Продолжительность оксидирования составляла 60 мин при температуре 145 °С.

Таблица 3.

Коэффициенты коррозионной стойкости покрытий в нейтральной водной среде в присутствии 3 масс. % NaCl

№ п/п	Содержание УНТ, масс. %	Δm	K·10 ⁻⁴ , г/см ² ·ч
1	–	0,0508	34,56
2	0,0001	0,0348	23,67
3	0,0033	0,0279	18,98
4	0,0066	0,0204	13,88
5	0,01	0,0112	7,62

Гравиметрический метод и визуальный осмотр выявили, что повышение коррозионной стойкости наблюдается при добавлении 0,0001 масс. % УНТ в электролит.

1. Грилихес, С.Я. Оксидирование и фосфатирование металлов. Л.: Машиностроение, 1971. – 120 с.
2. Интенсификация электрохимического оксидирования сплава АД31 в озонированном сернокислотном электролите // Н.Ф. Коленчин, В.И. Вигдорович, С.А. Нагорнов и др. // Практика противокоррозионной защиты. – 2017. – №4 (86). С. 28-34.

Полугородник И. Н., Иванов П. А., Шевырев Л. Ю.

Анализ способов восстановления и упрочнения рабочей поверхностей гильз двигателей внутреннего сгорания

*Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной аграрный университет
(Россия, Зерноград)*

doi: 10.18411/lj-10-2018-196

idsp: 000001:lj-10-2018-196

Аннотация

В статье рассмотрены основные способы восстановления и упрочнения рабочей поверхности гильз двигателей внутреннего сгорания. Проведен анализ существующих способов восстановления и даны рекомендации по использованию этих способов.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, гильза цилиндра, методы упрочнения поверхностей, упрочняющие технологии.

Восстановление внутренних поверхностей цилиндрических деталей, в том числе и значительной номенклатуры цилиндропоршневой группы автотракторных двигателей внутреннего сгорания, как ресурсопределяющих деталей, связано с определёнными трудностями. Основными деталями этой группы являются гильзы и цилиндры блоков, срок службы которых определяется износостойкостью их рабочих поверхностей.

Физико-механические свойства рабочих поверхностей цилиндров определяются структурой, микротвёрдостью, глубиной наклёпа, остаточными напряжениями, теплостойкостью, взаимодействием со смазкой и т.д.

Стандартом регламентируются макрогеометрия, шероховатость и поверхностная твёрдость, позволяющие судить о структуре приповерхностных слоев металла. Остальные перечисленные свойства учитываются только в исследовательских работах по долговечности деталей.

Техническими условиями на ремонт предусмотрена расточка рабочих поверхностей цилиндров на ремонтные размеры с последующим хонингованием их внутренней поверхности. Расточку проводят, в основном, на расточных станках модели 2Е78НП или 2Е78Н расточными резцами с твердосплавными пластинками ВКЗ с включением черновых и чистовых проходов при заданном режиме операции резания.

Основным недостатком указанного способа восстановления цилиндров блоков служит снижение послеремонтного ресурса двигателя до 40...60%. Это связано с финишной обработкой рабочей поверхности цилиндра посредством использования абразивных и алмазных брусков при хонинговании. В результате появляются микроскопические погрешности в виде огранки, овальности, корсетности, а также плохая смачиваемость хонингованной поверхности цилиндра.

С одной стороны, сдвиг поверхностного слоя металла в процессе обработки хоном «замазывает» включения углерода и не позволяет ему впитывать смазку – цилиндр лишается дополнительных масляных резервуаров. С другой стороны, хонинговальные бруски, шаржируя поверхность зеркала цилиндров, насыщают её абразивными частицами, которые, в свою очередь, в условиях эксплуатации лимитируют ресурс поршневых колец.

Несмотря на указанный недостаток, данный способ является наиболее распространённым при восстановлении работоспособности цилиндров блоков ввиду своей простоты и малых затрат времени.

Метод восстановления работоспособности цилиндров блоков двигателей автомобилей пластинированием не получил распространения ввиду быстроходности и малой толщины стенок цилиндров.

Немецкая фирма «Ауди» предложила финишную обработку зеркала цилиндров проводить мощными импульсами ультрафиолетового лазера.

Одновременно мгновенно испаряющийся тончайший слой металла, открывающий углеродные ячейки, и проплавленный чугун на глубину одного микрометра образуют металлоплазму, посредством которой поверхностный слой рабочей поверхности цилиндра насыщается на 16...18% азотом. Образовавшаяся нанокристаллическая структура по износостойкости и коррозионной устойчивости не уступает керамике. При работе двигателя приповерхностные слои зеркала цилиндра на глубине 150...200 нм преобразуются в ещё более тонкую структуру с суперпластичными свойствами, оторвать от которой атомы практически невозможно. В результате износ поршневых колец снижается на 90%.

Однако предложенный способ финишной обработки рабочей поверхности цилиндров не имеет широкого распространения, т.к. в условиях технического сервиса очень дорог и сложен в обслуживании.

При обработке чугуна резанием очень сложно добиться обусловленной ремонтным чертежом шероховатости.

Уменьшение величины шероховатости и исключение абразивно-шар-жирующей составляющей при финишных операциях рабочей поверхности цилиндра приобретают особо важное значение и возможны при использовании метода поверхностно упрочняющей обработки рабочим инструментом в виде пластической деформации.

Металл в процессе деформации упрочняется, и улучшаются его механические характеристики, особенно сопротивление усталости. Коэффициент упрочнения при степени деформации 40% составляет 1,7, а при 60% – 1,9. Пластическое деформирование оказывает влияние на структуру и механические свойства металла, из которого они изготовлены, поэтому, чтобы правильно спроектировать технологический процесс восстановления работоспособности рабочей поверхности цилиндра давлением, необходимо учитывать явления, происходящие при пластическом деформировании металлов.

Для изготовления гильз цилиндров применяют как специальный чугун с последующей закалкой внутренней поверхности ТВЧ, так и легированный, без термообработки.

Для повышения долговечности восстанавливаемых деталей применяют различные способы упрочнения пластическим деформированием, такие как: механический способ упрочнения, ультразвуковой способ упрочнения, комбинированный способ, наплавка с термомеханической обработкой и др.

Механический способ упрочнения. Сущность этого способа заключается в чистовой обработке восстанавливаемых деталей холодным пластическим деформированием, в результате чего под влиянием деформирующего элемента (шара, ролика, дорна) при взаимном относительном перемещении инструмента и детали неравномерности обрабатываемой поверхности пластически деформируются, в результате чего шероховатость уменьшается до $R_a=0,32...0,02$ и одновременно упрочняется поверхностный слой.

Этим методом можно обрабатывать все металлы, способные деформироваться в холодном состоянии: незакалённые и закалённые стали, цветные металлы и чугуны [1]. Пластическое деформирование можно использовать для обработки деталей, восстановленных некоторыми металлопокрытиями (наплавкой, железнением), которые обладают достаточно высокой сцепляемостью с основным металлом.

Глубина и интенсивность упрочнения металла зависят от параметров и режимов обкатки, свойств самого упрочняемого металла.

К числу технологических процессов обработки деталей холодным пластическим деформированием относится выглаживание алмазным и твердосплавным инструментом.

Применение алмазного выглаживания оказывается эффективным и для чистовой обработки деталей, восстановленных различными металлопокрытиями.

При обработке пластическим деформированием наружных цилиндрических поверхностей и отверстий целесообразно пользоваться способом выглаживания при помощи твердосплавных гладилок.

При пластической деформации происходит перемещение одной части кристалла по отношению к другой по плоскости наиболее лёгкого сдвига.

В результате сдвигов расположение атомов в кристаллической решётке меняется, получается искажение кристаллической решётки, причём цельность кристалла не нарушается.

В отличие от упругой деформации, вызываемой нормальными напряжениями (действующими перпендикулярно к плоскости), пластическая деформация обязана действию касательных напряжений (действующих в самой плоскости).

Вследствие сдвига, получающегося при пластической деформации, между двумя сдвинувшимися частями кристалла образуется слой металла с искажённой кристаллической решёткой с мелкими осколками зёрен и нарушениями по их границам. Мелкие осколки зёрен создают шероховатости на плоскостях сдвига и препятствуют взаимному перемещению зёрен. Всё это вместе взятое приводит к тому, что при

увеличении деформации новый сдвиг произойдёт по другим плоскостям, следовательно, область в плоскости сдвига оказывается более прочной, чем остальная часть кристалла, то есть использование пластической деформации позволяет создать наклёпанный приповерхностный слой.

Исследования по использованию поверхностно упрочняющей технологии в большей степени относятся к обработке наружных поверхностей различных марок сталей и цветных металлов, в меньшей степени – к обработке образцов, изготовленных из серого или легированного чугунов различной твёрдости [2].

Сложность при поверхностно упрочняющей технологии обработки зависит от количества, формы и характера распределения графитовых включений в основной структуре чугуна. Графит, как непрочная составляющая структуры чугуна, способствует вибрационному характеру перемещения индентора (рабочего инструмента) в процессе обработки. Кроме того, индентор в процессе перемещения измельчает графит и, смешивая его со смазывающей рабочей средой, предварительно нанесенной на обрабатываемую поверхность, образует пасту. Перемещая пасту впереди себя, индентор частично заполняет и уплотняет её в микронеровностях, подлежащих микросмятию. Схема работы рабочего инструмента (индентора) при данной технологии представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема деформации микроповерхности зеркала цилиндров блока посредством поверхностно упрочняющей технологии при заданных подаче S и нагрузке P на индентор

При заданных для индентора скорости перемещения, подаче и нагрузке и его диаметре происходят сглаживание рисок, царапин, микротрещин, ликвидация различных углублений, не носящих плавный характер, то есть устраняются дефекты поверхности, в которых концентрируются вещества, вызывающие коррозию.

Благоприятная для условий эксплуатации форма неровностей микрорельефа характеризуется пологой формой выступов и впадин с радиусами значительно большими, чем при обработке резанием, и, соответственно, большей величиной опорной поверхности как исходной после финишной обработки, так и в период обкатки.

При поверхностно упрочняющей технологии особое значение приобретает шероховатость исходной поверхности цилиндра, полученной после расточки на последующий ремонтный размер. Размер шероховатости зависит, главным образом, от геометрии заточки резца, чистоты поверхности вспомогательной грани резца, материала резца и режимов обработки отверстий цилиндров.

Чистовую расточку цилиндров необходимо осуществлять резцами с пластинками из твёрдого сплава ВК-2, ВК-3 или резцами с пластинками из синтетического материала гексанит, эльбор-р и т.д. без охлаждающей жидкости при

скорости вращения $n=420...450$ мин-1, глубине резания $t = 0,15...0,25$ мм и подаче $S = 0,05...0,1$ мм/об. Приведенные режимы обеспечивают резание без надрывов и разрушения поверхностных слоев металла с высотой шероховатости поверхности цилиндра в пределах $1,5...6,0$ микрон. Малые сечения стружки сводят к минимуму отжимы режущего инструмента, что обеспечивает высокую точность обработки. Режущие кромки резца после заточки подвергаются доводке на вращающемся чугуном диске с применением специальной пасты, что повышает его стойкость и обеспечивает минимальную шероховатость обработанной поверхности.

После обработки поверхностно упрочняющей технологией поверхность цилиндра покрывается тонким слоем графита, который в начале приработки служит твердой смазкой, которая не поддается смыву топливом и защищает стенки цилиндра от коррозии. Характер микроповерхности, полученной в результате такой обработки, способствует созданию лучшей смачиваемости и образованию масляного клина между контактируемыми поверхностями.

Ультразвуковой способ упрочнения. Для повышения износостойкости деталей целесообразно применять в процессе их восстановления ультразвуковую упрочняюще-выглаживающую обработку, предложенную ЧИМЭСХ.

Сущность процесса ультразвукового упрочнения в том, что специальный инструмент (гладилка), вибрирующий с частотой ультразвука и определенной амплитудой смещения, создает ударное воздействие на упрочняемую поверхность и подвергает её пластическому деформированию.

Наплавка с ППД. Восстановление внутренних поверхностей цилиндрических деталей наплавкой металлическими порошками с одновременным ППД происходит за счёт центробежных сил и разогрева (нагрева) металлического порошка и поверхностного слоя детали токами высокой частоты.

Электрохимическая обработка. Электрохимическая обработка (ЭМО), разработанная Ульяновским сельскохозяйственным институтом, основана на термическом и силовом воздействии, она существенно изменяет физико-механические показатели поверхностного слоя деталей и позволяет резко повысить их износостойкость, предел выносливости и другие эксплуатационные характеристики деталей. Процесс ЭМО имеет основные разновидности: электрохимическое сглаживание (ЭМС) и электрохимическую высадку металла (ЭМВ) [1]. Высадка является основной операцией электрохимического способа восстановления деталей и поэтому часто под ЭМВ подразумевается сам способ восстановления. Как правило, ЭМС сопровождается упрочнением поверхностного слоя, поэтому в некоторых случаях его называют электрохимическим упрочнением (ЭМУ), а по существу ЭМУ есть следствие ЭМС.

Сущность ЭМУ заключается в том, что в процессе обработки через место контакта инструмента с изделием проходит ток большой силы и низкого напряжения, вследствие чего выступающие гребешки поверхности подвергаются сильному нагреву, под давлением инструмента деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой металла упрочняется.

Режимами ЭМО являются: сила тока, проходящего через контакт инструмента и детали; сила прижатия обрабатываемого инструмента к детали; скорость и подача ЭМУ; число рабочих проходов инструмента.

С точки зрения металловедения, процессы ЭМО можно отнести к особому типу поверхностной термомеханической обработки (ТМО). Принципиальное отличие их от ТМО состоит в том, что этот процесс, как правило, относится к упрочняюще-отделочной обработке. К особенностям теплообразования и термических процессов следует отнести: наличие двух источников теплоты, создаваемых электрическим током и трением; локальный нагрев, сопровождающийся действием значительных давлений;

термический цикл (нагрев, выдержка и охлаждение) весьма кратковременный и измеряется долями секунды; высокая скорость охлаждения определяется интенсивным отводом теплоты внутрь детали. Эти отличия обуславливают получение особой мелкодисперсной и твёрдой структуры поверхностного слоя, обладающего высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Однако способ ЭМО используется, в основном, для деталей, у которых изношена наружная поверхность.

В производственных условиях наиболее распространен механический способ финишной обработки гильз цилиндров ДВС, который с теоретической точки зрения недостаточно полно изучен.

1. Технология ремонта машин / Е. А. Пучин, В. С. Новикон, Н. А. Очковский и др.; под ред. Е. А. Пучина. – Москва: Колос, 2007. – 488 с.
2. Моисеев О.Н., Богомягих В.А. О взаимосвязи трений скольжения и качения в системе «рабочий элемент инструмента – обрабатываемая поверхность цилиндра» / Международный технико-экономический журнал №4 2010. – с. 73-78.

Полугородник И. Н., Иванов П. А., Шевырев Л. Ю., Моисеев О.Н.
Теоретические предпосылки математического моделирования процесса
финишной обработки гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания

*Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской
государственный аграрный университет
(Россия, Зерноград)*

doi: 10.18411/lj-10-2018-197

idsp: 000001:lj-10-2018-197

Аннотация

В данной статье проведено теоретическое исследование финишной обработки рабочей поверхности цилиндров. Определены условия движения рабочего элемента инструмента и его заклинивания между поверхностью ложе и обрабатываемой рабочей поверхностью цилиндра.

Ключевые слова: математическое моделирование, финишная обработка, двигатель внутреннего сгорания, рабочая поверхность цилиндра.

Для теоретического исследования процесса финишной обработки рабочей поверхности цилиндров работе приняты следующие основные допущения:

1. Шероховатость рабочей поверхности цилиндра после растачивания на последующий ремонтный размер принята в виде одинаковых правильных трёхгранных пирамид (тетраэдров), равномерно распределённых по всей рабочей поверхности цилиндра со среднестатистическим расстоянием между ними.

2. Модуль упругости правильных трёхгранных пирамид меньше модуля упругости рабочего элемента (шарика) инструмента для финишной обработки исходной рабочей поверхности цилиндра, то есть, $E_{\text{пир}} < E_{\text{инстр}}$.

3. Движение рабочего элемента (шарика) по обрабатываемой поверхности цилиндра может происходить дискретно – со скольжением или качением.

4. Трение скольжения рабочего элемента на обрабатываемой поверхности цилиндра сухое и подчиняется закону Кулона – Амонтона.

5. Давление, создаваемое рабочим элементом инструмента на рабочей поверхности цилиндра, прямопропорционально жёсткости и деформации пружины инструмента и не превышает допустимого напряжения на разрыв материала тонкостенного цилиндра.