*Моисеев В.В. к.т.н., доцент СахГУ*

*Семенов Н.С. зав. кафедрой эксплуатации транспорта к.п.н., доцент СахГУ*

 *Семенов А.С. к.п.н., ст. преподаватель СахГУ*

**СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ**

Наиболее распространенным материалом, применяемым для изготовления гильз цилиндров автотракторных двигателей, является серый чугун - дешевый и технологичный материал, обладающий в нормальных условиях эксплуатации достаточной долговечностью и надежностью. В настоящее время, когда перед производством ставится задача повышения нормативов на показатели надежности двигателя, серый чугун требует дальнего совершенствования за счет введения износостойких легирующих элементов или упрочнения его поверхности. НАМИ [1] для изготовления монометаллических гильз разработал хромокремнистый сплав состава: С – 2%, Сг - 12...15%, SI - 1,0%, Мп - 0,8%, Ni<0,3%. Эксплуатационных испытания хромокремнистых гильз цилиндров свидетельствует о том, что износ их примерно в 4 раза меньше, чем износ гильз из серого чугуна. К достоинствам сплава следует отнести его повышенную жесткость, которая в 1,5...2 раза больше, чем у комбинированных гильз. Однако, приведенный сплав имеет плохую обрабатываемость и низкую прирабатываемость.

В НАМИ разработаны еще два типа износостойких хромистых чугунов с карбидами в структуре и компактным графитом - ИЧК-33К, с карбидами в структуре и пластинчатым графитом - ИЧК-33, кото­рые превышают износостойкость серого чугуна в 1,9 и 2,2 раза соответственно. Однако, все указанные выше износостойкие спла­вы обладают общим недостатком - перерасходом дорогостоящего дефицитного материала, плохой обрабатываемостью и потому не нашли широкого применения в производстве.

С целью повышения износостойкости гильз цилиндров из серого чугуна производят объемную, изотермическую или поверхностную закалку внутренней поверхности гильзы. При этом за счет мелкодисперсной структуры мартенсита или троостита в аустените и высокой твердости закаленной поверхности (НRС 42...46) повышается износостойкость поверхности при закалке объемной, изотермической, ТВЧ соответственно в 1,4, 1,6 и 1,7 раза [2]. Однако, несмотря на широкое распространение закалки гильз в производстве, этот способ имеет такие недостатки, как значительное коробление детали, нестабильность процесса, плохая обрабатываемость гильз после закалки. Кроме того, закалка уже не удовлетворяет возросшим требованиям к износостойкости гильз в связи с созданием форсированных двигателей. В связи с перечисленными недостатками в производстве закалка гильз не нашла широкого применения.

Другим способом повышения износостойкости рабочей поверхности гильзы является азотирование [3], при котором на рабочей поверхности образуется слой нитридов с высокой микротвердостью (Нµ=12500...13000 МПа). Азотирование проводится в газовой или жидкой средах при температурах 793...8I3K (520...540°С). По данным [3] износ азотированного чугуна в 3 раза меньше, чем неазотированного легированного. К недостаткам данного процесса следует отнести длительность процесса, коробление деталей и неоднородные свойства по толщине нитридного слоя, особенно на чугуне.

В работах [2,3] рассмотрено повышение долговечности гильз с помощью термодиффузионного сульфидирования. При этом образуются сравнительно толстые и легкоизнашивающие пленки, облегчающие обработку и предохраняющие от заедания в начальный период эксплуатации, но не позволяющие длительное время защищать поверх­ность трения от интенсивного износа.

Повышение износостойкости гильз цилиндров достигается хромированием [2,4]. Этот вид упрочнения позволяет увеличить срок службы гильз в 2...3 раза. Высокую твердость и хорошую сцепляемость покрытия с основным металлом до 600 МПа обеспечивает гладкое хромирование, но оно имеет плохую прирабатываемость и недостаточную маслоудерживающую способность. Лучшие результаты дает пористое хромирование, которое исключает указанные выше недостатки. От пористости и твердости этого покрытия зависят его антифрикционные свойства. Минимальный износ у трущейся пары с хромированной гильзой наблюдается при мик­ротвердости Нµ = 10000...10500 МПа и пористостью 20...30%. Такое покрытие на чугунных втулках тепловозных дизелей обеспечило пробег тепловоза до 1000000 км. Электролитическое хромирование гильз, обеспечивая рабочим поверхно­стям высокую стойкость против химических, электрохимических, тем­пературных и механических воздействий все же, как способ упрочнения изношенных гильз не удовлетворяет всем требованиям современного производства. Основными причинами явля­ются низкая производительность и высокая стоимость процесса при осаждении покрытий. Кроме того, хром обладает низкой стойкостью к схватыванию с алюминием, его сплавам и другими материалами. ;Важным недостатком хромирования как и других гальванических про­цессов, является необходимость иметь на заводе дорогие очистите­льные сооружения в целях защиты окружающей среды.

К повышению износостойкости гильз цилиндров следует отнести поверхностное пластическое деформирование [5], заключающее в раскатке внутренней поверхности гильз шариками диаметром 8,23 и 9,53 мм при режимах: скорость - 100...150 м/мин; подача - 0,01...0,03 мм/об, натяге - 0,03...0,05 мм. Обработанные по этой технологии гильзы цилиндров ГАЗ-53 и ЗИЛ-130 показали повышение износостойкости в 1,2 раза по сравнению с серийными. Однако, этого уже недостаточно для современных форсированных двигателей, кроме этого к недостаткам этого способа следует отнести то, что процесс не обеспечивает требуемой точности, получаемой обычно хонингованием.

Для повышения эффективности обработки поверхностным пластическим деформированием автором предложено проводить ее в сочетании с нагревом поверхностных слоев электрическим током, что ведет к повышению износостойкости до 2 раз. К недостаткам способа следует отнести низкую стойкость инструмента, малую толщину упрочненного слоя, так как значительная часть упрочненного слоя снимается последующим хонингованием, а также наличием деформаций гильз цилиндров.

Для двигателей ЗМЗ-53 и ЗИЛ-130 получил применение способ изготовления комбинированных гильз путем за­прессовки в верхнюю часть специальной вставки из легированного сплава - нирезиста. При этом достигнуто повышение долговечности гильз в среднем в 2,5 раза [6]. Однако, применение вставок име­ет ряд существенных недостатков. Запрессовка вставок с натягом по диаметру 0,14...0,30 мм вызывает коробление гильзы, а малейшие отклонения в размерах и несоблюдение цилиндричности посадочных поверхностей приводят к выжиманию вставки из гильзы после ее запрессовки. В процессе эксплуатации двигателя наблю­дается перемещение вставки в гильзе, в результате чего образуется кольцевой зазор между нижним торцом вставки и проточной в гильзе, что приводит к проникновению сюда масла, которое коксу­ется и затрудняет теплоотвод от рабочей поверхности вставки к охлаждающей жидкости. Установлено, что в гильзах со вставками ова­льность в верхнем поясе примерно в два раза больше, чем в ниж­нем, в то время как в гильзах без вставок изменение овальности оди­наковое.

Повышение долговечности гильз цилиндров возможно создани­ем маслоудерживающей поверхности. Для этого применяют фосфатирование цилиндров [7], искусственное создание пористости и маслоудерживающего рельефа [8]. При фосфатировании масло­удерживающая поверхность образуется при обработке чугунов гильз в солях «Мажеф». При этом происходит травление перлита, а фосфидная эвтектика, не взаимодействующая с солями «Мажеф», обра­зует выступы. После фосфатирования поверхность гильзы имеет

высоту микронеровностей 3,0...6,0 мкм. Фосфатированные гильзы цилиндров по износостойкости примерно в 3 ра­за выше серийных. Однако, эффективность фосфатирования тем в выше, чем больше в чугуне фосфидной эвтектики. Но фосфор являет­ся нежелательной примесью в чугуне гильз. Недостатком фосфатирования является и повышенный износ колец, несмотря на их хо­рошую прирабатываемость.

Маслоудерживающий рельеф на рабочей поверхности гильз ав­тотракторных двигателей создавали с помощью вибронакатывания [2,8,9]. При этом отмечалось повышение износостойкости гильз в 1,5...2 раза. К недостатку этого способа следует отнести повышенный угар масла, деформацию гильз при обкатывании.

Анализ способов восстановления гильз цилиндров, с позиций повышения их долговечности, показывает, что не все способы удовлетворяют этому требованию. Так способы восстановления гильз цилиндров методами ремонтных размеров, теплового формоизменения, установкой легкосъемной втулки, запрессовки легкосъемных вставок, приварки стальной ленты не позволяют увеличить долговечность гильз и имеют ряд сущест­венных недостатков, таких как ослабление жесткости гильзы, увеличение ее деформации и теплонапряженности в эксплуатации. Кроме того, включение в размерную цепь цилиндро-поршневой группы дополнительных деталей ужесточает допуски, которые в условиях массового производства значительно удорожают стоимость готового изделия.

В отличие от способов восстановления гильз цилиндров с применением дополнительных деталей (компенсаторов), способы создания монолитной гильзы за счет металлизации, наплавки в принципе позволяют восстанавливать утраченную сопряжениями работоспособность и повысить ее износостойкость.

 В работе [10 ]был предложен способ восстановления внутренних поверхностей гильз цилиндров посредством наплавки аустенитного чугуна (нирезиста). Металл в расплавленном состоянии заливали в заранее подготовленную внутреннюю расточку быстровращающейся вокруг вертикальной оси гильзы, нагретой до температуры 1173K (9000С) и он сваривался с ее основой. При этом повышалась жесткость гильзы и ее эксплуатационные характеристики, недостаткам следует отнести раздельный нагрев наплавленного материала, применение флюсов, что заметно усложняет процесс наплавки. Восстановление внутренних цилиндрических поверхностей ряда деталей центробежной индукционной наплавкой твердым сплавом типа сормайт, обеспечивает быстрый и равномерный нагрев детали и сормайта по всей восстанавливаемой поверхности. Износостойкость наплавленной поверхности повышается в 2,0...2,5 раза.

В работе А.И. Шевцова [11] предложен способ повышения износостойкости чугунных тракторных гильз посредством центробежной индукционной наплавки самофлюсующим порошковым материалом ПГ-ХН80СР4, который обеспечил повышение износостойкости гильз цилиндров более чем в 5 раз.

 Однако, способы наплавки имеют существенные недостатки, высокая температура, при которой ведется наплавка, вызывает изменение структуры подложки и наплавляемого материала, что отрицательно сказывается на износостойкости покрытий. Кроме того, из-за высокой температуры наплавки при вращении детали происходят заметные деформации, которые влекут введение дополнительных обработок для их устранения. К недостатку следует отнести применение специальных флюсов и трудность последующей механической обработки.

 Эти недостатки исключаются в работах [12,13], в которых при центробежном индукционном способе нанесения порошковых покрытий вместо наплавки предлагается термодиффузионное напекание порошков. При выборе порошкового материала при напекании необходимо, чтобы он в своем составе имел не менее 85% ферромагнитных эле­ментов. Температура плавления порошка должна быть близка к мпературе плавления основного металла, чтобы они одновременно достигали температуры спекания, лежащей в пределах 0,7...0,85 температуры плавления. Порошок в своем составе должен содержать активирующие элементы (такие как бор, кремний и др.), способные выполнять роль флюса и образующих жидкую фазу при более низких температурах нагрева, чем основа порошка. В работе [12] исследован процесс восстановления гильз цилиндров двигателя 3M3-53 центробежным индукционным напеканием твердосплавного порошка ПГ-СР2. Для восстановления использованы гильзы, отработавшие два межремонтных срока и предназначенные на расстачивание под третий ремонтный размер. У этих гильз извлекалась нирезистовая вставка, так как она в большинстве случаев проворачивалась из-за ослабления посадки, и на ее месте напекали твердосплавный порошок. При этом износостойкость вос­становленных гильз цилиндров повышалась в 5...8 раз по сравне­нию с серийными, а износ сопрягаемых поршневых колец не превы­сил износа колец, работавших в паре с серийными гильзами. При этом покрытие имело пористость порядка I5%, хорошую сцепляемость с основой гильзы (200 МПа).

В работе [13] исследованы вопросы нанесения порошко­вого покрытия ПГ-СР2 на внутреннюю поверхность гильз цилиндров, разработано оборудование для центробежного индукционного папекания, изучены вопросы механической обработки порошко­вого покрытия и напеченной гильзы растачиванием с последующим хонингованием.

Анализируя рассмотренные способы упрочнения и восстановления гильз цилиндров, их преимущества и недостатки с позиции повышения их долговечности, можно предположить, что качественное восстановление гильз цилиндров обеспечит способ, удовлетворяющий следующим основным требованиям:

- наименьшее температурное влияние на металлическую основу гильзы, исключающее изменение ее микроструктуры и появление значительных остаточных деформаций;

- качественное сцепление наносимых слоев с основой;

- повышение износостойкости восстановленных гильз в 3 и более раз;

- доступность используемых при восстановлении оборудования материалов;

- возможность выполнения последующей механической обработки на стандартном оборудовании, имеющемся на ремонтных предприятиях;

- высокая производительность нанесения слоев;

- технология и оборудование должны отвечать требованиям техники безопасности;

- применение способа должно быть экономически целесообразным.

Анализ рассмотренных в статье способов упрочнения и восстановления гильз цилиндров показывает, что наиболее перспективным способом упрочнения и восстановления гильз цилиндров является центробежное индукционное напекание металлическими порошками. Этот способ проводится при температурах, существенно не влияющих на структуру металличес­кой основы гильзы и наносимого материала, при малых де­формациях гильзы. Напекание позволяет получить износостойкий слой на поверхности гильзы за счет сохранения физико-механичес­ких свойств порошкового материала и создания маслоемкой поверх­ности за счет оптимальной пористости покрытия. При напекании по­лучается монолитная гильза, что увеличивает ее жесткость и уме­ньшает деформацию при установке ее в блок и в процессе эксплуа­тации. Процесс последующей механической обработки требует стандартного металлорежущего в виде расточных и хонинговальных станков. Процесс напекания порошкового покрытия на внутреннюю поверхность гильзы цилиндра и последующей механической обработки может быть автоматизирован.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лингарт А.А., школьников Э.М., Енукидзе Б.М. Гильзы цилиндров автомобильных двигателей из хромокремнистого сплава // Сб. докладов 2-го научно-технического совещания по повышению износостойкости деталей цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания. М.: Гос.НИИ машиностроения, 1991. – С.64-67.
2. Трение, изнашивание и смазка. Справочник.в 2-х кн. Кн.2/Под ред. И.В.Крагельского, В.В. Алисина. М.:Машиностроение, 1979.-358 с.
3. Семенов Р.А., Садофьев В.Н., Лахтин Ю.Н. Повышение износостойкости втулок цилиндров и поршневых колец из высокопрочного чугуна азатированием //Сб. докладов 2-го научно-технического совещания по повышению износостойкости деталей цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания. М.: Гос.НИИ машиностроения, 1991. – С.70-73.
4. Петров Ю.Н., Косов В.П., Стратулат М.П. Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями. Кишинев: Картя Молдовеняске. 1986. – 150 с.
5. Голицин М.А., Усенко В.И. Физико-механические свойства и износостойкость чугунных гильз, упрочненных раскаткой шариками // Вестник машиностроения. 1987. №4. – С.60-62.
6. Лакедомский А.В., Абраменко Ю.В., Васильев В.А. Материалы для карбюраторных двигателей. –М.: Машиностроение, 1989. – 223 с.
7. Исследование влияния фосфидной эвтектики и химической обработки поверхности чугунных деталей цилиндро-поршневой группы дизелей на износостойкость /Фролов В.К., Садофьев В.Н., Семенов Р.А., Александров И.И.// Сб. докладов 2-го научно-технического совещания по повышению износостойкости деталей цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания. М.: Гос.НИИ машиностроения, 1991. – С.36-39.
8. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л.:Машиностроение, 1982. -240 с.
9. Шариковая раскатка для вибрационной обработки деталей гильз двигателей /Берлянд А.К., Батаев Н.К., Поцелуев В.В. //Автомобильный транспорт. 1976. - №8. –С.26.
10. Вологдин В.В., Балуева Т.А. Структура биметаллических гильз, наплавленных при нагреве индукционным способом //Промышленное применение токов высокой частоты. Труды ВНИИ токов высокой частоты. –Л.: Машиностроение, вып.10, 1969. – С.136-140.
11. Швецов А.И. Повышение износостойкости гильз цилиндров тракторных двигателей индукционной центробежной наплавкой: Дисс…канд. техн. наук. 05.20.03. – Минск.:1974. - 218 с.
12. Илямов Х.М. Восстановление гильз цилиндров ДВС центробежным индукционным напеканием порошкового твердого сплава в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий: Дисс… канд. техн. наук. 05.20.03. – М.:1983. - 181 с.
13. Моисеев В.В. Повышение межремонтного ресурса гильз цилиндров автомобильных двигателей центробежным индукционным напеканием в условиях ремонтных предприятий госагропрома: Дисс… канд. техн. наук. 05.20.03. – М.: 1987. - 334 с.