

УДК 621.793.79

Восстановление изношенных рабочих поверхностей гильз цилиндров комбинированным методом

Денисов Вячеслав Александрович

va.denisov@mail.ru

SPIN-код: 3902-2410

Попов Никита Александрович(*)

na-popov@yandex.ru

SPIN-код: 3170-9440

ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена технология восстановления рабочих поверхностей гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания с использованием последовательной обработки изношенной поверхности холодным газодинамическим напылением (ХГДН) и микродуговым оксидированием (МДО). Приведены технологические требования для обеспечения формирования на изношенной поверхности гильзы блока цилиндров износостойкого керамического покрытия. Описаны особенности процессов ХГДН и МДО применительно к данной технологии. Представлена последовательность технологических операций для достижения требуемого эффекта. Приведены результаты апробирования разработанной технологии. Сделаны выводы о дальнейшем развитии данной технологии.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, микродуговое оксидирование, гильзы цилиндров, восстановление, износостойкость

Restoration of worn - out cylinder liner working surfaces using a combined method

Denisov Vyacheslav Alexandrovich

va.denisov@mail.ru

SPIN-code: 3902-2410

Popov Nikita Alexandrovich(*)

na-popov@yandex.ru

SPIN-code: 3170-9440

FSAC VIM, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the technology of restoring the working surfaces of the cylinder liners of internal combustion engines using sequential processing of the worn surface by cold spray (CS) and plasma electrolytic oxidation (PEO). The article provides technological requirements for ensuring the formation of a wear-resistant ceramic coating. The article highlights the features of the CS and PEO processes in relation to this technology. The article presents a sequence of technological operations to achieve the desired effect. The article presents the results of testing the developed technology. The article concludes with recommendations for further development of this technology.

Keywords: cold spray, plasma electrolytic oxidation cylinder liners, restoration, wear resistance

Введение. Наибольшее распространение в современном ремонтном производстве при восстановлении изношенных гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания нашли такие методы, как расточка под ремонтный размер, гальваническое хромирование или железнение, термоосадка, запрессовка ремонтной вставки, электродуговая наплавка и газотермическое напыление [1]. Все эти методы имеют свои недостатки и ограничения, в большинстве случаев связанные с себестоимостью восстановления и ограниченной технологичностью при восстановлении гильз разных размеров и из разных материалов. Поэтому и сегодня задача разработки универсального способа восстановления изношенных гильз цилиндров остается весьма актуальной [2].

В ФНАЦ ВИМ разработан способ восстановления изношенных гильз цилиндров с использованием керамического покрытия, нанесенного по комбинированной технологии. Покрытие представляет собой многослойную структуру, полученную нанесением на проточенную изношенную поверхность гильзы слоя алюминия методом холодного газодинамического напыления (ХГДН) с последующим микродуговым оксидированием (МДО) и созданием на поверхности износостойкого керамического слоя.

Способ комбинирования технологий ХГДН и МДО ранее предлагался [3–5] для повышения коррозионной стойкости и износостойкости стальных деталей. Применение такого подхода при разработке универсальной технологии восстановления гильз цилиндров из различных материалов (стальных, чугунных, алюминиевых) ранее не рассматривалось. В этой связи возникает ряд технологических задач, требующих решения.

Целью этой работы является разработка технологии восстановления изношенных гильз цилиндров методом холодного газодинамического напыления с последующим микродуговым оксидированием, обеспечивающим их повышенную износостойкость.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели были выделены основные требования к качеству комбинированного покрытия при восстановлении гильз цилиндров. Необходимая толщина упрочненного слоя находится в диапазоне от 80 до 120 мкм. После финишной механической обработки глубина упрочнения составит 60–100 мкм. По литературным источникам [6], микротвердость покрытия после МДО составляет 2500 HV, на практике достигаются значения около 1700 HV.

Учитывая необходимую толщину упрочнения, толщина напыленного слоя должна составлять 250 % от нее, т. е. 300 мкм [7]. Для напыления используется технология холодного газодинамического напыления с применением изогнутого сопла для внутренних поверхностей [8]. Напыление производится в автоматизированном режиме при постоянной скорости вращения и возвратно-поступательном перемещении сопла распылителя вдоль оси детали.

Микродуговое оксидирование необходимо проводить в проточном режиме для избежания контакта не обрабатываемых поверхностей гильзы с электролитом. Схемы проточного микродугового оксидирования приведены в работе [9].

Результаты. Технология восстановления рабочей поверхности гильз цилиндров включает в себя следующие технологические операции:

- выпрессовку изношенной гильзы из двигателя внутреннего сгорания;
- очистку и мойку детали;
- дефектоскопию, определение величины износа;
- предварительную проточку;
- пескоструйную обработку внутренней поверхности гильзы;
- напыление гильзы с учетом припуска на механическую обработку;
- проточку рабочей поверхности гильзы с учетом припуска на хонингование;
- микродуговое оксидирование рабочей поверхности в проточном режиме;
- хонингование;
- установку гильзы в двигатель внутреннего сгорания.

На разработанную технологию был получен патент на изобретение RU 2837057 C1. Технология опробована для восстановления гильзы блока цилиндров малой сельскохозяйственной техники GZ-195N (рисунок).



Восстановленная гильза блока цилиндров двигателя GZ-195N:
а — общий вид; б — рабочая поверхность

Результаты исследования износостойкости полученного керамического покрытия приведены в работах [10, 11].

Обсуждение полученных результатов. Разработанная технология, в отличие многих других технологий восстановления рабочих поверхностей гильз цилиндров, применима к гильзам из различных материалов: чугуном, стальным или из алюминиевых сплавов. Основное условие работы технологии — качественное сцепление напыленного слоя с металлом-основой. Для

каждого материала по отдельности может быть подобран свой оптимальный режим ХГДН.

Более того, технология применима при восстановлении малых партий гильз цилиндров, что экономически нецелесообразно для многих других технологий восстановления. При переходе на другой типоразмер гильзы необходима лишь перенастройка режущего оборудования и параметров напыления, а также изготовление недорогой оснастки для МДО. Оснастка изготавливается из фторопласта и общедоступных стальных компонентов (шпильки, гайки и т. д.) с использованием универсального токарного станка и слесарных инструментов. Подобное оборудование имеется на многих ремонтных предприятиях, что положительно влияет на себестоимость восстановления.

Заключение. Разработана технологии восстановления изношенных гильз цилиндров методом холодного газодинамического напыления с последующим микродуговым оксидированием, обеспечивающим их повышенную износостойкость. Необходимая минимальная толщина наносимого слоя составила не более 300 мкм, а глубина упрочнения — до 120 мкм. Технология опробована на гильзе блока цилиндров GZ-195N. Результаты апробации показали хорошее качество полученного керамического покрытия.

Список источников

- [1] Воробьев С.А. Анализ технологических процессов восстановления гильзы цилиндров автотракторных двигателей. *Вестник Студенческого научного общества*, 2017, т. 8, № 2, с. 108–110.
- [2] Песковацков Д.Н. Анализ способов восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров. *Наука без границ*, 2017, № 12 (17), с. 55–59.
- [3] Комаров А.И., Горанский Г.Г. Упрочнение стальных изделий микродуговым оксидированием с использованием алюминиевого подслоя, полученного холодным газодинамическим напылением. *Механика машин, механизмов и материалов*, 2018, № 3, с. 75–82.
- [4] Кузнецов Ю.А., Марков М.А., Кравченкос И.Н., Красиков А.В., Величко С.А., Чумаков П.В., Кулаков К.В. Технологические аспекты определения температуры в металле при формировании покрытий методом гетерофазного переноса и микродугового оксидирования. *ЭОМ*, 2021, № 57 (1), с. 70–74.
- [5] Кузнецов Ю.А., Марков М.А., Красиков А.В. Формирование износостойких и коррозионностойких керамических покрытий комбинированными технологиями напыления и микродугового оксидирования. *Журнал прикладной химии*, 2019, т. 92, № 7, с. 819–826. <https://doi.org/10.1134/S0044461819070016>
- [6] Фазлутдинов К.К. *Микродуговое оксидирование. Механизм и технология нанесения оксидного покрытия на алюминий*. URL: https://zctc.ru/sections/microdugovoye_oxidirovaniye_mdo_1 (дата обращения 07.06.2023).
- [7] Чавдаров А.В. Экспериментальное исследование по определению оптимального состава и толщины напыляемого слоя для дальнейшего проведения процесса МДО. *Технический сервис машин*, 2021, № 4 (145), с. 156–160. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-4-156-160>
- [8] Чавдаров А.В., Толкачев А.А. Новые технологические решения для восстановления внутренней поверхности гидроцилиндров. *Аграрная наука*, 2021, № 354 (11–12), с. 166–170. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-166-170>
- [9] Шаталов В.К., Лысенко Л.В., Минаев А.Н., Сулина О.В., Штокал А.О. Способы микродугового оксидирования поверхностей деталей из титановых сплавов. *Наука и образование*.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, № 7. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_20789149_97416512.pdf (дата обращения 07.06.2023).

- [10] Денисов В.А., Попов Н.А. Исследование износостойкости гильз цилиндров, восстановленных керамическим покрытием. *Технический сервис машин*, 2024, т. 62, № 1, с. 101–106. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2024-62-1-101-106>
- [11] Popov N., Chavdarov A. Properties of ceramic coatings in engine cylinder liners restoration using combined technology. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 583, art. no. 03020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458303020>