

II. Результати наукових досліджень

УДК 539.431+620.178.32

В. И. Шаповалов, А. С. Высоцкий

ГАЗОАРМИРОВАННЫЕ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Зростаючі потреби до екологічності, поливної економічності, надійності та витривалості порошкових ДВЗ визначають режими роботи їх вузлів тертя, що викликає до необхідності створення більш досконалих трибоматеріалів. Одним з таких є використання “газом армованих” композиційних матеріалів “газарів” для виготовлення гільз циліндрів ДВЗ. Дослідження показали, що їх використання значно підвищує тривалість та надійність системи “гільза–поршньові кільця–поршень”. Ця технологія є конкурентоздатна в порівнянні з традиційною в масовому виробництві. Використання анізотропних пористих газоармованих матеріалів в двигуні в цілому відкриває унікальні можливості для покращання традиційних технологій.

Ключові слова: *новітня технологія “газарів”, трибо технічні матеріали, двигуни внутрішнього згорання.*

Вступ

Материалы деталей пар трения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) должны обладать обширным комплексом служебных свойств, и, прежде всего, оптимальными прочностью, теплопроводностью, определяемых условиями смазывания, нагружения и т. п. В двигателестроении обеспечение постоянно ужесточающихся требований к свойствам материалов достигается оптимизацией легирования, режимов термической и химико-термической обработок, созданием упрочненных рабочих слоев с соответствующими физико-химическими свойствами и т. п. Однако возможности “классических” конструкционных материалов не безграничны... . Поэтому серьезный практический интерес представляет разработка технологий получения новых материалов и изделий. Газары (газом армированные материалы) – новый класс пористых анизотропных композиционных материалов с матрицей, практически соответствует известному в триботехнике понятию “идеальное пористое тело”. Уникальность пористой матрицы этих композитов определяет их возможное использование в триботехнике в качестве самосмазывающихся материалов, в том числе, для высоконагруженных узлов трения, поскольку прочность газаров с пористостью 30–40% не меньше прочности монолитных аналогов. Газартех-

© Шаповалов В. И., докт. техн. наук, професор, головний металовед Materials and Electrochemical Research Corporation, Tucson, Arizona 85706 (США), Высоцкий А. С., канд. техн. наук, доцент кафедри “Матеріалознавство та ливарне виробництво”, Кіровоградський Національний технічний університет, м. Кіровоград

нологии, основанные в результате открытия украинских ученых в области взаимодействия металлов и сплавов с водородом при кристаллизации, успешно развиваются в ряде стран, прежде всего в США. Они представляют возможный интерес к организации совместных межгосударственных разработок.

Авторы газаров — газом армированных анизотропных пористых композиционных материалов акцентируют внимание на том, что газары в качестве конструкционных либо функциональных материалов применимы там, где использование пористых материалов, полученных иными технологиями, нерационально либо невозможно [1, 2]. Часто это обстоятельство делает трудновыполнимыми важные функции, в частности, трибологических объектов.

Так, моторостроители констатируют конструктивную сложность организации качественного смазывания поверхности трения трибопары поршень-цилиндр в процессе работы ДВС. Смазывание этих поверхностей “масляным туманом” из картера двигателя чревато повышенным износом при холодных пусках, катастрофическим износом либо заклиниванием в результате аварийной потери смазки и т. п. Очевидно, речь идет о случаях работы трибопары в условиях граничного трения.

Анизотропная пористая матрица газаров с цилиндрическими порами, нормальными к поверхности трения цилиндр-кольцо практически аналогична известному в триботехнике “идеальному пористому телу” [3].

Современное развитие газартехнологий может обеспечить изготовление самосмазывающихся в процессе всего срока эксплуатации гильз цилиндров ДВС [4].

Весьма перспективно использовать для их изготовления плазменно-сканирующий способ получения газаров. Этим способом можно получать пористый слой поверхности трения, сохраняя посадочную часть гильзы монолитной. Такая гильза будет иметь намного более высокую прочность, чем полностью пористая.

Следует особо остановиться на этом совершенно новом способе получения пористых покрытий и объемных изделий из газаров, разработанном в США сравнительно недавно [5, 6]. Способ основан на том, что ионизация водорода резко повышает скорость насыщения металла и увеличивает его концентрацию до газо-эвтектической точки даже без применения высокого давления. Такая ионизация происходит в плазменном потоке при температуре 4000–5000 °С. Ранее плазменно-дуговой нагрев для получения газаров (без сканирования) был предложен в Украине [7].

Используя возможность контролируемого сканирования плазменной горелки, этим методом можно получать пористые покрытия на монолитных изделиях, расплавляя только поверхностный слой материала (рис. 1). Водород или другой активный газ подаются в зону горения дуги, газ ионизируется и быстро насыщает небольшой объем расплавленного металла. Затем при затвердевании происходит газо-эвтектическая реакция и в поверхностном слое формируется структура газара (рис. 2). Можно также использовать вместо плазматрона лазер, но этот вариант несколько дороже, хотя и имеет свои преимущества. Таким способом можно получать поры, закрытые с поверхности, либо поры, выходящие на поверхность (рис. 3, 4).

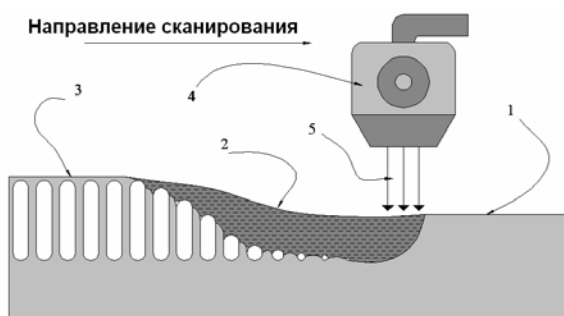


Рис. 1. Общая схема получения пористых покрытий на монолитных изделиях путем сканирования пучком высокотемпературной плазмы: 1 — базовый материал (изделие); 2 — расплав; 3 — пористое покрытие; 4 — плазматрон; 5 — плазменный пучок, содержащий активный газ (водород)

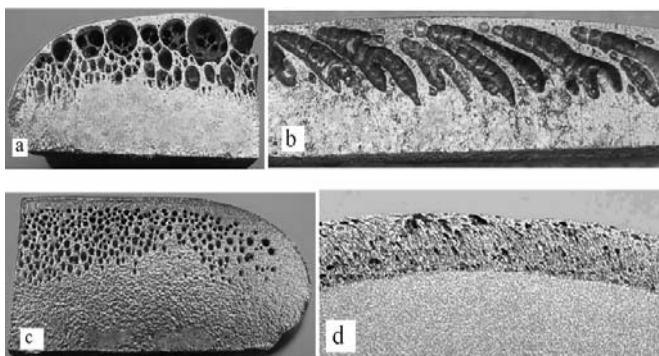


Рис. 2. Разные типы структуры пористых покрытий с монолитной корочкой (диаметр пор 0,5–1,5 мм)

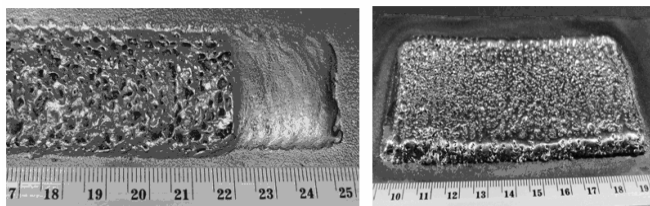


Рис. 3, 4. Пористое покрытие с открытой пористостью (слева — аустенитная сталь; справа — титановый сплав)

Если же подавать в зону дуги базовый материал в виде порошка или проволоки, то можно слой за слоем наращивать газар в виде изделий любой формы и любого размера (рис. 5, 6).

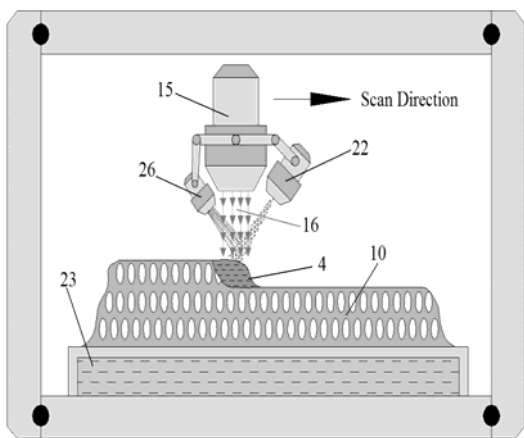


Рис. 5. Общая схема получения изделий из газаров путем сканирования плазматроном: 23 — водо-охлаждаемый холодильник-кристаллизатор; 15 — высокотемпературная плазменная горелка; 16 — поток плазмы; 4 — насыщенная водородом или другим активным газом жидкость; 10 — газар; 26 — устройство доставляющее в зону горения дуги водород в виде газа, жидкости (например, воды) или твердых частиц (например, гидридов); 22 — устройство, доставляющее в зону горения дуги базовый материал в виде порошка, проволоки или ленты

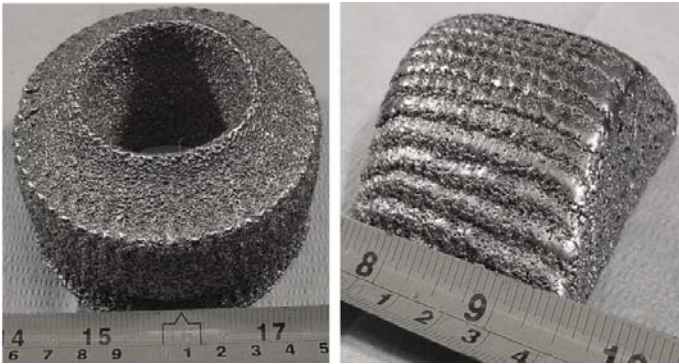


Рис. 6. Вид изделия из титановых газаров с открытой пористостью, полученных методом плазменного сканирования

В этом случае активный газ может поставляться в зону горения дуги не только в газообразном, но и в жидком состоянии или в виде соединений, которые разлагаются под воздействием очень высоких температур (вода, гидриды, углеводороды, окислы металлов). Для получения газаров таким методом отпадает необходимость высокого давления активного газа. Другим достоинством этого метода является возможность получения газаров практически любого размера и любой формы с абсолютно равномерной структурой по всему объему. Для получения изделий из газаров таким методом не требуется литейной формы, так как само изделие формируется слой за слоем и движение плазменной горелки контролируется компьютером. Этим способом можно получать газары на основе практически любого металла или сплава (титан, вольфрам или молибден). Камера, в которой происходит формирование газара (рис. 7, 8), заполняется инертным газом при нормальном или слегка повышенном давлении, что обеспечивает безопасность и невысокую стоимость всего устройства.

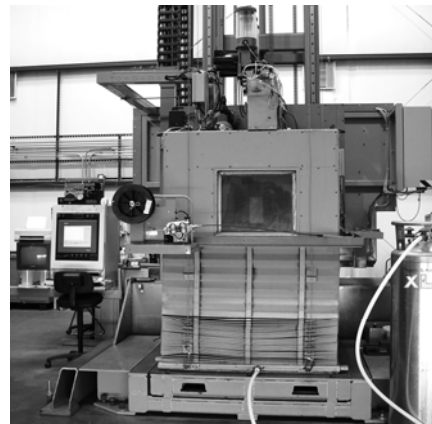
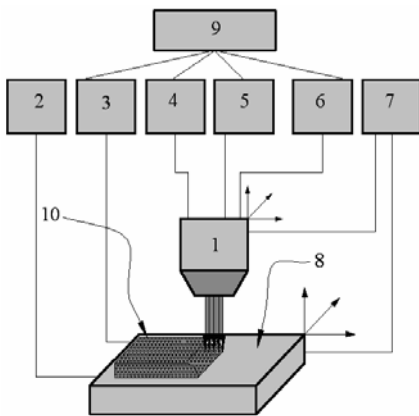


Рис. 7. Общая схема технологии получения газаров с помощью плазменного сканирования: 1 — плазматрон; 2 — система охлаждения подложки; 3 — система нагревания подложки; 4 — подача активного газа; 5 — управление мощностью плазменного пучка; 6 — система подачи порошка или проволоки базового металла (керамики); 7 — система, управляющая трехмерным движением подложки или плазматрона; 8 — охлаждаемая подложка; 9 — компьютерная система управления; 10 — сформировавшая структура газара

Рис. 8. Внешний вид системы для получения газаров методом плазменного сканирования (ПС)

Весьма актуален вопрос размерной обработки поверхности трения газоармированной гильзы [8]. Традиционная технология обработки монолитных гильз предполагает последовательное растачивание и плосковершинное хонингование. Плосковершинное хонингование состоит собственно из двух операций — черновой и чистовой.

Растачивание обеспечивает “макрогеометрические” параметры цилиндрической поверхности трения; черновое хонингование создает маслоудерживающую “сетку” на поверхности трения; чистовое сглаживает вершины гребней, образующих сетку, облегчая приработку трибоповерхностей.

Очевидно, для пористой газоармированной гильзы отпадает надобность в хонинговании, поскольку маслоудерживающие поры составляют матрицу газара (рис. 9). Исключение хонингования из технологического процесса размерной обработки гильзы чрезвычайно важно, поскольку отсутствует шаржирование поверхности трения абразивом хонинговальных брусков, резко снижающей долговечность гильзы.

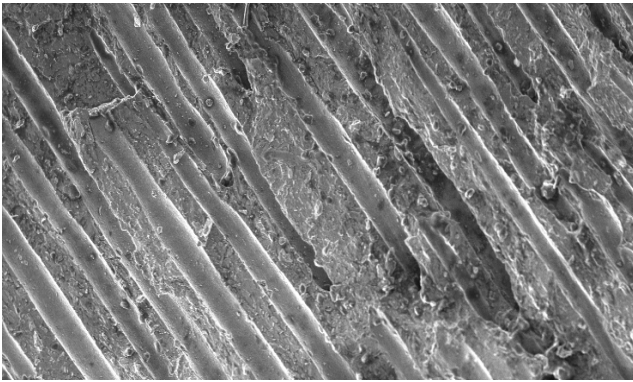


Рис. 9. Цилиндрические поры гильзы цилиндра ДВС, нормальные к поверхности трения. Антифрикционный газоармированный серый чугун, $\times 30$

Одним из вариантов альтернативной хонингованию финишной размерной обработки поверхности трения гильзы авторы предлагают электроэрозионное резание. В этом случае силовое воздействие на обрабатываемую поверхность минимально и поры не завальцовываются (рис. 10).

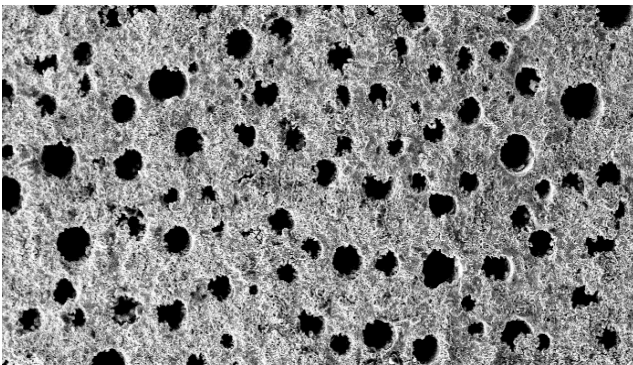


Рис. 10. Поверхность трения гильзы цилиндра ДВС после электроэрозионной размерной обработки, $\times 30$

Конструктивные варианты газоармированных гильз достаточно разнообразны и приведены рис. 11.

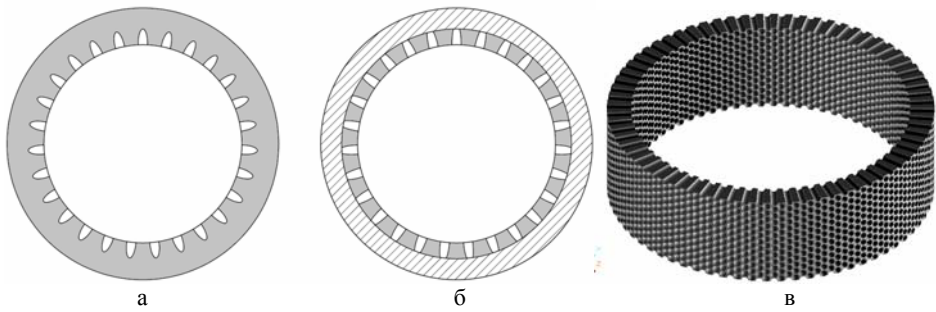


Рис. 11. Схема макроструктуры гильзы, изготовленной путем внутреннего сканирования монолитной заготовки и последующей размерной обработки (а); составная гильза изготовленная путем запрессовки газармированного цилиндра в стальную обойму (б); вид газармированного цилиндра в пространственном изображении (в)

Если перед запрессовыванием газармированного цилиндра в стальную обойму проточить по его образующей винтовую канавку, можно организовать подачу смазки под давлением на поверхность трения гильзы изнутри. Смазка подается из штатной смазочной магистрали двигателя, поэтому принципиально конструкция поршневого ДВС не меняется. Таким образом, в результате применения газаров, преодолевается известная всем моторостроителям “конструктивная невозможность” организации принудительной смазки трибопары “цилиндр-поршень”. Оптимизируя систему “давление масла-диаметр пор” можно практически обеспечить “всплывание” поршня, то есть его работу по поверхности цилиндра в режиме жидкостного трения.

По оценкам, на долю цилиндра-поршневой группы ДВС приходится около 30% потерь на трение, которые в предлагаемом “газарном конструктивном” варианте можно существенно уменьшить. Авторы надеются, что новые триботехнические композитные пористые материалы – газары найдут достойное применение в промышленности Украины и за её пределами [9].

Растущие требования к экологичности, топливной экономичности, надежности и долговечности поршневых ДВС определяют режимы работы их узлов трения, что требует применения все более совершенных триботехнических материалов. Одно из наиболее перспективных направлений — “газармированных” композитных пористых материалов “газаров” для изготовления гильз цилиндров ДВС. Исследования показывают, что использование в качестве материала гильзы газара существенно увеличивает долговечность и надежность трибосистемы “гильза-поршневые кольца-поршень”. Эта технология вполне конкурентоспособна с традиционной в массовом производстве. Использование анизотропных пористых газармированных материалов в двигателе в целом открывает уникальные возможности для улучшения традиционных технологий.

Ключевые слова: новая технология “газаров”, триботехнические материалы, двигатели внутреннего сгорания.

Constantly increasing demands for environmental performance, fuel economy, reliability and durability of piston engines is tightening their modes of friction, which requires more sophisticated tribological materials. One of the most promising areas USBD reinforced composite

gas for the production of porous materials “gazars” in engine cylinder liners. Studies indicate that the use of gazars as thermowell material increases the number of essential service characteristics tribosystem “liner-piston ring-piston”. It is also clear that the proposed technology is quite competitive with traditional in terms of mass production. Furthermore, the use of anisotropic porous materials gazars in engine as a whole presents a significant opportunity to improve traditional technologies and creating new tribosystems with unique parameters.

Keywords: new technologies “gazars”, tribotechnical materials, internal combustion engines.

1. Шаповалов В. И. Газоармированные материалы — 30-летний путь проблем и прогресса. Сообщение 1. Металл и Литье Украины, 2011, № 3. – С. 3–12.
2. Шаповалов В. И. Газоармированные материалы – 30-летний путь проблем и прогресса. Сообщение 2. Металл и Литье Украины, 2011, № 3. – С. 3–9.
3. Белов С. В. Пористые материалы в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
4. Высоцкий А. С. Применение газоармированных гильз блока цилиндров в концептуальном двигателе внутреннего сгорания ДизОтто / А. С. Высоцкий, В. Ю. Карпов // Тезисы VI международной н.-практ. конференции “Наука и технология: шаг в будущее — 2010” (27. октября–05ноября 2010, Прага, Чехия). – С. 36–38.
5. Pat. No. 5181549 USA. Method for manufacturing porous articles / V. Shapovalov. – Jan. 26, 1993.
6. Pat. No. 60/956,374 US Application Serial. Method and Apparatus for Producing Porous Articles / J. Withers, V. Shapovalov. – Filed: August 16, 2007.
7. Pat. WO9811264. Method for the production of porous cast products / V. Naydek, V. Pere-loma, V. Shapovalov, Y. Lenda. – Filed September 16, 1996.
8. Высоцкий А. С. Размерная обработка изделий общетехнического назначения из газоармированных капиллярно-пористых материалов / А. С. Высоцкий, В. Ю. Карпов // Тезисы II международной н.-практ. конференции “Наука и технология: шаг в будущее — 2010” (13–18 ноября 2010, Прага, Чехия). – С. 53–56.
9. Отрошенко В. А. “Сплав со структурой лотоса”, Украинская техническая газета. 7 ноября 2011.