

УДК 621

**В.И. Шаповалов, проф., д-р техн. наук***Materials and Electrochemical Research Corporation, Tucson, Arizona 85706***А.С. Высоцкий, доц., канд. техн. наук***Кировоградский национальный технический университет*

## Газоармированные поршневые компрессионные кольца двигателей внутреннего сгорания

В статье рассмотрены актуальные вопросы современного материаловедения в двигателестроении. Представлены новейшие технологии получения и обработки композиционных пористых материалов – газаров. Показаны перспективные направления применения газаров в качестве триботехнических материалов цилиндро-поршневой группы ДВС.

**газар, водород, газоэвтектическое превращение, пористый металл**

Совершенствование силовых установок, применяющихся, в том числе, на сельскохозяйственных машинах, предполагает улучшение их экологичности, ресурсосбережения, литровой мощности. Современные технологии предлагают разнообразные решения этих задач. Так, в конструкции поршневых ДВС, успешно реализуется проект ДизОтто, суть которого состоит в конструктивном объединении в одном агрегате силовой установки, работающей в дизельном либо искровом режиме в зависимости от нагрузки [1].

Реализация таких новаторских технологий, как ДизОтто, невозможна без использования современных материалов.

Исследования фазовых равновесий и превращений в металлах, насыщенных водородом, выявили закономерности газоэвтектического распада расплавов. С учетом этих закономерностей были созданы технологии новых высокопрочных пористых материалов на базе железа, магния, меди, алюминия и других металлов. Эти материалы, получившие название ГАЗАРОВ (т.е. газом армированных), имеют широкую перспективу использования при производстве облегченных конструкций и триботехнических изделий, фильтров, теплообменников, катализаторов и т.п [2-4].

Авторы предлагают на основании результатов исследования применение газоармированных композитов – газаров в качестве материалов основных деталей цилиндро-поршневой группы ДВС, в частности, построенных по технологии ДизОтто (рис.1).



Рисунок 1 - Газоармированные материалы и изделия из них

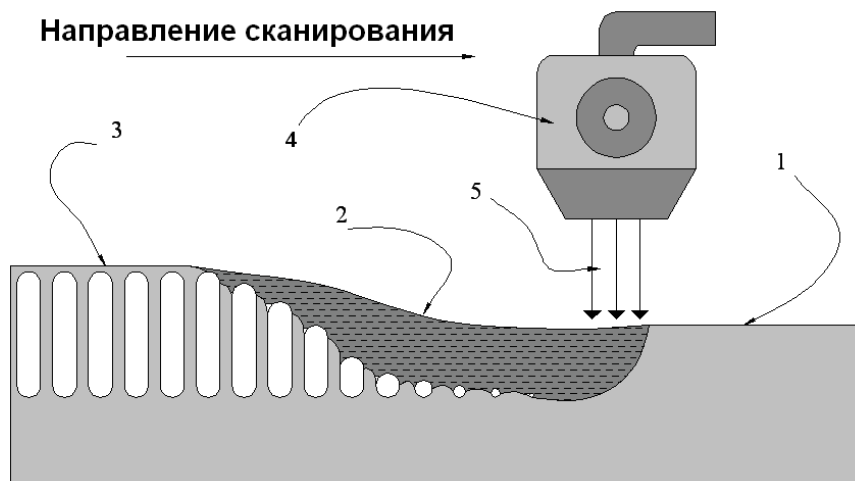
Компрессионные кольца в совокупности с системой поршневых канавок и зазоров выполняют функции лабиринтного и сальникового уплотнений. На кольца действуют силы от давления газов, силы упругости и трения кольца о стенки цилиндра, силы инерции кольца. Рабочая температура верхнего кольца –  $350 \dots 450^0$  С. Компрессионные кольца изготавливают из различных материалов, в зависимости от служебных требований к изделиям.

Материал поршневых колец должен обладать возможно меньшим коэффициентом трения на всех режимах работы двигателя, в том числе при «холодных пусках», т.е. в условиях недостатка смазки. Обычно потери на трение при работе поршневых колец и поршней составляют 50 - 60 % всех механических потерь в двигателе. Поэтому поверхности трения основных триботехнических деталей современных ДВС – поршневых колец, гильз цилиндров должны обладать маслоудерживающим эффектом. Эти поверхности традиционно изготавливают пористыми либо рифлеными. Такая макрогеометрия достигается различными технологиями – термической, химической, химико – термической, нанесением микрорельефа в ходе размерной обработки и т.п. [5]. Например, треть толщины слоя трения снаружи обычно представляет собой пористый хром, осажденный электролитическим способом. Пористость этого слоя определяется микротрещинами в матрице покрытия, что снижает его долговечность. Однако удается минимизировать режимы сухого трения при работе трибопар двигателя.

В целом, можно констатировать, что параметры морфологии структуры и пористости традиционных материалов не удовлетворяют возрастающим эксплуатационным характеристикам деталей цилиндропоршневой (ЦПГ) группы ДВС.

Весьма перспективно использовать для изготовления компрессионных колец плазменно-сканирующий способ получения газаров. Этим способом можно получать пористый наружный слой, сохраняя внутреннюю часть кольца монолитной. Такое кольцо будет иметь намного более высокую прочность, чем полностью пористое. Это новый способ получения пористых покрытий и объемных изделий из газаров, разработанном в США сравнительно недавно [6]. Этот 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 температурой 4000-5000 градусов. 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. 2). 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. 3). Можно также использовать вместо плазмотрона лазер, но этот вариант несколько дороже, хотя и имеет свои преимущества. Таким способом можно получать поры, закрытые с поверхности, а также поры, выходящие на поверхность (рис. 4, 5).



1- базовый материал (изделие); 2- расплав; 3- пористое покрытие; 4- плазматрон; 5- плазменный пучок, содержащий активный газ (водород)

Рисунок 2 – Общая схема получения пористых покрытий на монолитных изделиях путем сканирования пучком высокотемпературной плазмы

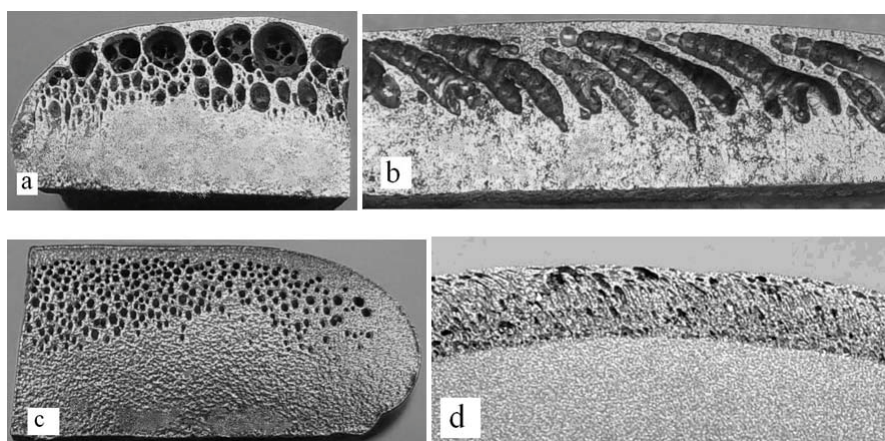


Рисунок 3 – Разные типы структуры пористых покрытий с монолитной корочкой (диаметр пор 0.5-1.5 мм)

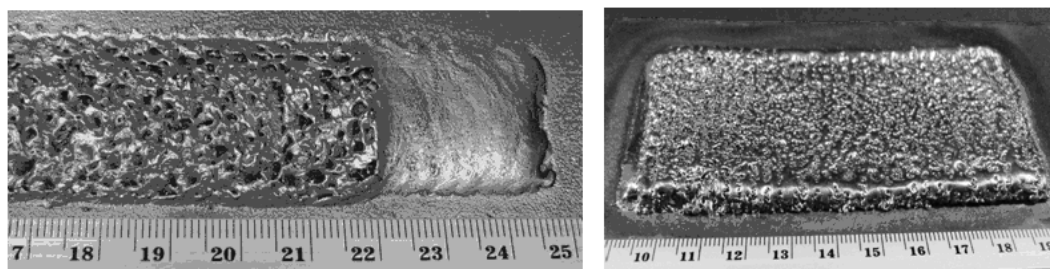
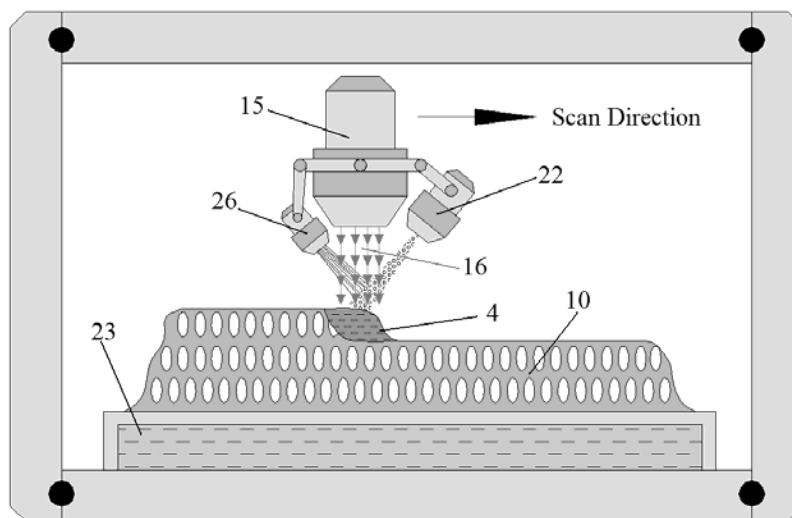


Рисунок 4, 5 – Пористое покрытие с открытой пористостью (слева – аустенитная сталь; справа – титановый сплав)

Если 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. 6, 7). 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 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 вплоть до титана и таких тугоплавких металлов как вольфрам и молибден. Камера, в которой происходит формирование газара (рис. 8, 9), заполняется инертным газом при нормальном или слегка повышенном давлении, что обеспечивает безопасность и невысокую стоимость всего устройства.



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

Рисунок 6 – Общая схема получения изделий из газаров путем сканирования плазмотроном

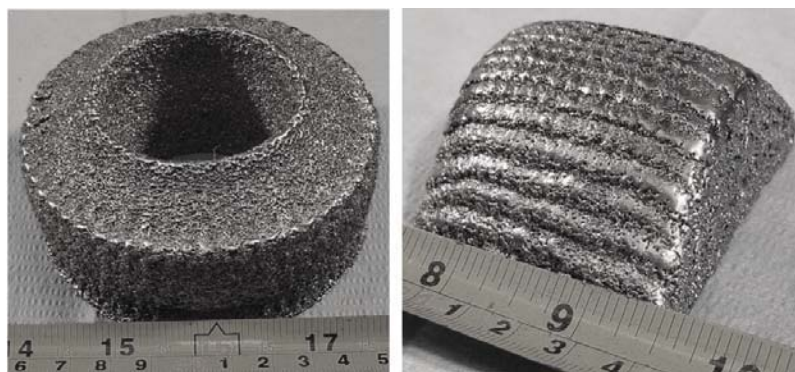
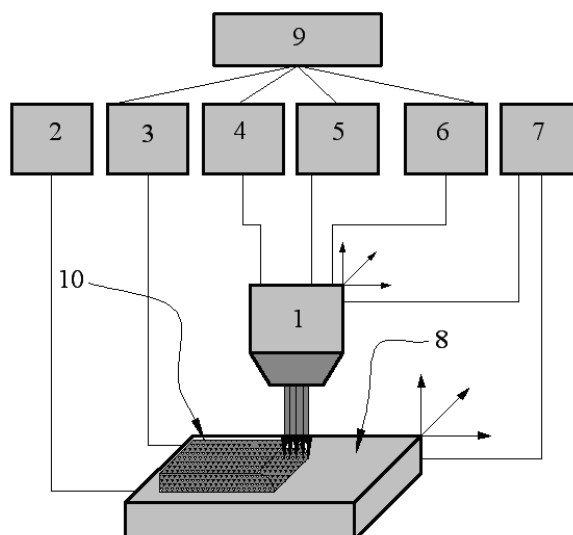


Рисунок 7 – Вид изделия из титановых газаров с открытой пористостью, полученные методом ПС



1- плазмотрон; 2- система охолодження підложки; 3- система нагрівання підложки; 4- подача активного газу; 5- управління потужністю плазменного пучка; 6- система подачі порошку або дроту базового металу (кераміки); 7- система, що керує тривимірним рухом підложки або плазмотрона; 8- охолоджує підложка; 9- комп'ютерна система управління; 10- сформована структура газу

Рисунок 8 – Загальна схема технології отримання газів за допомогою плазменного сканування

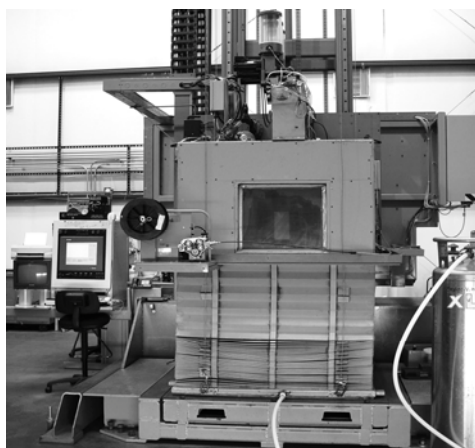


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд установки для отримання газів методом плазменного сканування (ПС)

Можно получать также отливки колец из газоармированного чугуна по несколько иной технологии, также имеющей свои преимущества. В этом случае расплав чугуна эвтектического состава обрабатывался водородом при расплавлении и кристаллизации. В процессе кристаллизации направленное охлаждение производили от температуры  $T_{пл.} + 50 - 250^{\circ}\text{C}$ , обеспечивающей высокие литейные свойства, до температуры затвердевания, а давление водорода в автоклаве при этом монотонно поднимали в диапазоне  $0,005 \dots 10\text{МПа}$  со скоростью  $0,001 - 3\text{МПа/с}$  для выравнивания диаметра пор и прекращения процесса их коагуляции. Кристаллизатор установки – кокиль.

После окончания кристаллизации и охлаждения до  $T_{пл.} - 200^{\circ}\text{C}$  давление в автоклаве снижали до  $0,1\text{МПа}$  и заготовки из газара окончательно остывали до комнатной температуры -  $18 \dots 20^{\circ}\text{C}$ .

Отливка кольца имела микроструктуру эвтектического белого чугуна – ледебурит; макроструктура характеризовалась анизотропной пористостью (рис 10). Диаметр пор –  $0,01\text{мм}$ .

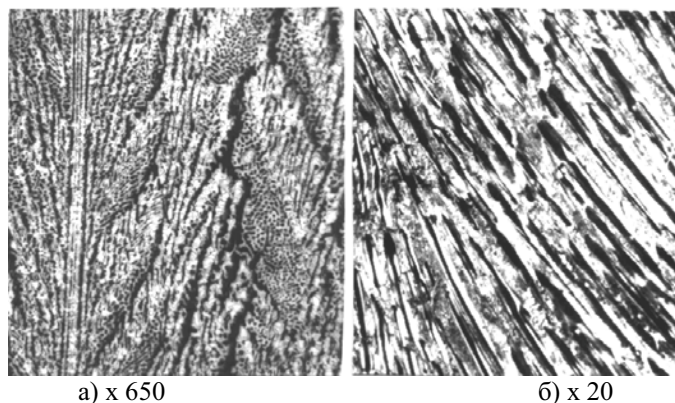


Рисунок 10 – Микро а) и макроструктура б) газоармированного белого чугуна

Поры газоармированного компрессионного кольца располагаются нормально к поверхности трения, взаимопараллельны и взаимоизолированы (рис. 11). Такая структура в триботехнике классифицируется, как структура «идеального пористого тела». На данном этапе развития технологий пористых триботехнических материалов лишь газартехнологии способны обеспечить подобные параметры.

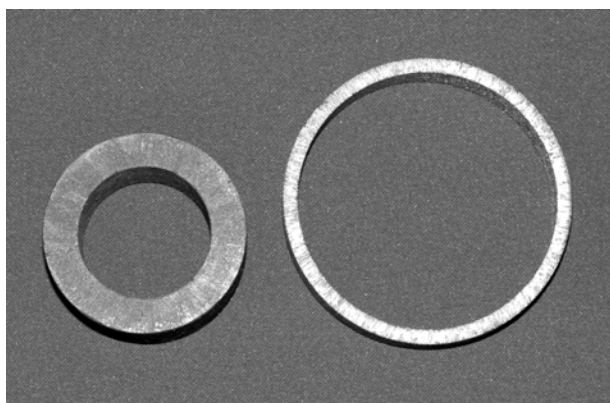


Рисунок 11 – Заготовки газоармированных компрессионных колец ДВС с нормальной к поверхности трения ориентацией цилиндрических пор

Пористость изделий составила  $P=15\%$ . Как известно, поршневые кольца и поршни ДВС составляют т.н. «динамическую массу», даже незначительное снижение которой приводит к существенному возрастанию индикативной мощности двигателя.

Оптимальной с точки зрения долговечности является перлитно-ферритная микроструктура чугуновых компрессионных колец. С целью обеспечения такой структуры был произведен графитизирующий отжиг газоармированных поршневых колец (ГПК). Режим отжига: температура –  $970...1000^{\circ}\text{C}$ , продолжительность – 10 часов. В результате получена перлитно-ферритная микроструктура ковкого чугуна твердостью 250 ... 270 НВ (НВ 2,5 ... 2,7 ГПа).

Далее, термодиффузионным насыщением поверхностного хромового слоя, получили на поверхности трения покрытие толщиной до 30 мкм с микротвердостью  $H_{100}$  7000 МПа, представляющее собой твердый раствор хрома в  $\alpha$  железе с концентрацией хрома до 60%, а далее слой толщиной до 200 мкм, характеризующийся мелкодисперсным эвтектоидом с компактными включениями графита.

По представлению авторов, после некоторой модернизации установки по изготовлению чугуновых газаров возникнет возможность совмещения процессов графитизирующего отжига и диффузионной металлизации изделий. Это приведет к существенному удешевлению данной технологии.

Авторы считают, что результат проведенных исследований доказывает возможность применения газар-технологий в совершенствовании традиционных и новейших конструкций поршневых ДВС. Можно прогнозировать, что применение газоармированных композитных пористых материалов для изготовления компрессионных колец позволит:

- повысить индикативную мощность дизельных и искровых ДВС за счет снижения динамических масс;
- преодолеть «конструктивную невозможность» в поршневом ДВС обеспечения постоянной подачи смазки на поверхность трения кольца за счет эффекта самосмазывания;
- увеличить компрессию ДВС за счет способности «прилипания» пористого кольца к зеркалу цилиндра при работе ДВС, что определяется капиллярным эффектом пор газа;
- повысить долговечность и надежность цилиндро-поршневой группы ДВС за счет замены гальванической металлизации поверхности трения колец диффузионной.

## Список литературы

1. Высоцкий А.С., Карпов В.Ю. Применение газоармированных гильз блока цилиндров в концептуальном двигателе внутреннего сгорания ДизОтто//, Тезисы VI международной научно-практической конференции «Наука и технология: шаг в будущее - 2010» Прага. Чехия. 27.10.2010-05.11.2010. 36-38С.
2. Шаповалов В.И. Газоармированные материалы – 30-летний путь проблем и прогресса. Сообщение 1. Металл и Литье Украины, 2011, №3, С. 3-12.
3. Шаповалов В.И. Газоармированные материалы – 30-летний путь проблем и прогресса. Сообщение 2. Металл и Литье Украины, 2011, №3, С. 3-9.
4. Shapovalov V. Method for manufacturing porous articles. USA Patent #5181549, Jan. 26, 1993.
5. Высоцкий А.С., Карпов В.Ю. Размерная обработка изделий общетехнического назначения из газоармированных капиллярно-пористых материалов//, Тезисы II международной научно-практической конференции «Наука и технология: шаг в будущее - 2010» Прага. Чехия. 13.11. 2010-18.11. 2010. 53-56 с.
6. Withers J., Shapovalov V., Method and Apparatus for Producing Porous Articles. US Patent Application Serial No. 60/956,374. Filed: August 16, 2007.
7. Naydek V. L., Pereloma V., Shapovalov V., Lenda Y. Method for the production of porous cast products. World Patent WO9811264. Filed September 16, 1996.

*В.Шаповалов, О.Висоцький*

### **Газоармовані поршневі компресійні кільця двигунів внутрішнього згорання**

У статті розглянуті актуальні питання сучасного матеріалознавства в двигунобудуванні. Представлені новітні технології отримання і обробки композиційних пористих матеріалів – газарів. Показані перспективні напрямки вживання газарів в якості триботехнічних матеріалів циліндро-поршневої групи ДВЗ.

*V. Shapovalov, A. Vysotsky*

### **Compression piston-rings of combustion engines of internal-combustion**

The article deals with topical issues of modern materials in engine. The newest technology of production and processing of composite porous materials - Gazarov. Showing promising areas of application Gazarov as tribological material cylinder-piston WIS.

Получено 11.10.11