

УДК 621.432

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДВС С БЛОКОМ ЦИЛИНДРОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

© 2010 М.М. Криштал, П.В. Ивашин, П.В. Коломиец

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 10.03.2010

В данной статье приведено обоснование целесообразности использования технологии микродугового оксидирования силуминов для упрочнения рабочих поверхностей блока цилиндров. Проведен анализ возможных вариантов упрочнения рабочих поверхностей, приведены результаты предварительных исследований и проектирования блока цилиндров из алюминиевого сплава без чугунных гильз для замены чугунного блока на одном из массово производимых двигателей.

Ключевые слова: ДВС, блок цилиндров, силумины, микродуговое оксидирование.

Современные требования рынка, а также постоянное ужесточение законодательных норм на выбросы токсичных веществ и окиси углерода автомобилями, обуславливают необходимость постоянного совершенствования силовых агрегатов. При этом важное место занимают мероприятия по уменьшению массы и улучшению технологичности изготовления двигателя. В Тольяттинском государственном университете ведутся работы с целью получения подробного технико-экономического обоснования разработки двигателя с блоком цилиндров из алюминиево-кремниевого сплава без чугунных гильз, создания новой высокоэффективной и экологически безопасной технологии и технологического оборудования для упрочнения рабочих поверхностей цилиндров и внедрения данной технологии в серийное производство.

Использование в конструкции двигателя легкового автомобиля блока цилиндров из алюминиевого сплава позволяет улучшить ряд показателей потребительских качеств и технологичности по сравнению с блоками цилиндров из чугуна. Например, замена чугуна на алюминий при изготовлении блока цилиндров приводит к снижению его массы примерно на 50 %. Кроме того, снижение массы двигателя позволяет уменьшить массу других деталей: передней или задней подвески (в зависимости от расположения двигателя), тормозов, рамы и т.д. Лучшая теплопроводность алюминиевых блоков цилин-

дров влечет за собой уменьшение массы радиатора. Традиционно для обеспечения работоспособности алюминиевых блоков применяются чугунные гильзы цилиндров. Однако использование алюминиевых блоков цилиндров без чугунных гильз позволяет полностью реализовать преимущества алюминиевых сплавов как конструктивных материалов. Основные преимущества связаны с массогабаритными и технологическими показателями. Например, минимальный конструктивный перекося цилиндров вследствие отсутствия залитых гильз и, соответственно, способствующих перекося факторов, обусловленных некруглостью или неточным позиционированием залитых гильз. Аналогично имеет место минимальный термический перекося цилиндров; в силу лучшей теплопроводности алюминия уменьшается термическая некруглость.

Особо следует отметить использование лучших теплопроводных свойств алюминия. Кроме снижения термических нагрузок на детали и уменьшения толщины водяной рубашки цилиндра теплопроводные свойства алюминия позволят снизить токсичность отработавших газов. Например, более быстрый прогрев двигателя позволит снизить выбросы несгоревших углеводородов. Так, по данным исследований [1], повышение средней температуры стенок цилиндра с 72 до 147 °С вдвое уменьшило концентрацию несгоревших углеводородов в отработавших газах двигателя. Сокращение времени прогрева ДВС также позволяет сократить время прогрева каталитического нейтрализатора отработавших газов до рабочей температуры, до достижения которой нейтрализатор неэффективен. Такое уменьшение времени прогрева позволяет значительно снизить токсичность отработавших газов. Например, сокращение времени прогрева двигателя легкового автомобиля с 90 до 40 секунд позволяет снизить выбросы несгоревших углево-

Криштал Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, ректор.

E-mail: krishtal@tltsu.ru.

Ивашин Павел Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели".

E-mail: iwashinpv@rambler.ru.

Коломиец Павел Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели".

E-mail: kolomietspv@yandex.ru.

дорогов по ездовому циклу с 0,1 до 0,05 г/км [2], то есть практически перейти от норм токсичности Евро-3 к нормам Евро-4. Кроме того, вследствие одинаковых коэффициентов теплового расширения поршня и цилиндра, может быть уменьшен монтажный зазор поршня. Например, при использовании алюминиевого цилиндра, монтажный зазор может быть уменьшен с 0,05–0,06 мм до 0,01–0,02 мм по сравнению с чугунным. Это позволяет снизить выбросы продуктов неполного сгорания. Основным источником эмиссии несгоревших углеводородов двигателем служат “замороженные” слои и зазоры в камере сгорания, которые слишком малы для распространения пламени. Наиболее существенным из них является зазор между поршнем и стенкой цилиндра над первым поршневым кольцом. Исследования [3] показали, что масса несгоревших углеводородов, образующихся в зазорах, где происходит гашение, прямо пропорциональна объему зазора, причем масса углеводородов, образующихся в зазоре, составляет от 40 до 60 % от общей массы несгоревших углеводородов, образующихся в цилиндре. По предварительным оценочным расчетам для бензинового двигателя объемом 1,5–2 л, только уменьшение монтажного зазора поршня с 0,05 мм до 0,02 мм позволит снизить выбросы несгоревших углеводородов на 15–20 %, а в период пуска и прогрева до 40 % от имеющегося до уменьшения зазора уровня эмиссии. То есть предполагается, что усовершенствование рабочего процесса, ускорение прогрева двигателя и снижение монтажных зазоров поршня позволят значительно снизить токсичность отработавших газов при замене чугунного блока цилиндров или алюминиевого блока с чугунными гильзами на полностью алюминиевый блок цилиндров.

В настоящее время в мире примерно половина всех блоков изготавливается из алюминиевых сплавов, однако, большинство из них – это алюминиевые блоки с чугунной гильзой. Это связано с тем, что до сих пор не найдено достаточно эффективное с технической и экономической точки зрения решение вопроса износостойкости рабочих поверхностей алюминиевого блока цилиндров без применения чугунных гильз. Применяемые в настоящее время технологии покрытия рабочих поверхностей алюминиевых блоков цилиндров (твердое хромовое покрытие (Cromal), покрытие “никель – карбид кремния” (Nikasil), локальное насыщение кремнием (Lokasil), газотермическое нанесение покрытий на рабочую поверхность блоков цилиндров, применение заэвтектических сплавов (Alusil или Silumal) при одновременной замене материалов ответных деталей) являются технологически

достаточно сложными и имеют высокую стоимость. Альтернативой этим технологиям упрочнения является технология микродугового оксидирования алюминиевых сплавов.

Микродуговое оксидирование (МДО) – эффективный и экологически чистый способ обработки алюминиевых сплавов, в результате которого на поверхности изделия под действием хаотически перемещающихся электрических дуг формируется керамический слой на основе оксида алюминия толщиной 10^1 – 10^2 мкм с твердостью до 1400HV. До сих пор не был решен вопрос оксидируемости алюминиевых сплавов с высоким (более 3 %) содержанием кремния (силуминов), которые традиционно считаются плохо поддающимися МДО. Следует отметить, что алюминиево-кремниевые сплавы составляют 90 % от объема всех литейных алюминиевых сплавов, поэтому создание износостойких поверхностей деталей из этих сплавов является актуальным для машиностроения.

Проведенные к настоящему времени под руководством М.М.Криштала исследования [4, 5, 6] позволили заложить основы решения проблемы микродугового оксидирования силуминов, обеспечивая стабильно высокое качество МДО на образцах силуминов с содержанием кремния до 22% (исследования проведены на сплавах доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов) в лабораторных условиях без оптимизации режимов МДО. В основе подхода лежит понимание и обоснование того, что исходная структура силуминов при одном и том же химическом составе сильно влияет на качество оксидных слоев, получаемых методом МДО. При этом обнаружен ряд неизвестных ранее эффектов и явлений, в том числе технологический эффект залечивания сквозной пористости и раковин при МДО силуминов, что делает этот процесс технологически устойчивым к качеству отливки, обеспечивая возможность проведения МДО без специальных требований к пористости отливок (необходимое качество МДО достигается при 2 балле пористости).

На основе результатов экспериментальных и теоретических исследовательских работ проведен комплекс испытаний и получен следующий технический задел применения МДО.

Проведены трибологические испытания пар трения, составленных из образцов сплавов АК6М2, АК9, В124, АК10М2Н, АК12ММгН, АК18, АК21 и секторов чугунных поршневых колец. Результаты показали целесообразность применения технологии МДО для упрочнения рабочих поверхностей цилиндров.

Проведены стендовые испытания экспериментального двигателя на базе ВАЗ 21083, осна-

щенного чугуном блоком цилиндров с запрессованными алюминиевыми гильзами (сплав АК6М2) с МДО покрытием рабочих поверхностей (рис. 1). В результате 300 часовых испытаний на режиме полной нагрузки показано:

величины износа цилиндров, поршней и поршневых колец находятся в интервале разброса величин износа деталей ранее испытанных двигателей ВАЗ на подобных режимах;

износостойкость верхних компрессионных поршневых колец с хромовым покрытием в паре с оксидированными гильзами выше, чем в паре с чугунными гильзами;

сколов покрытия на поверхности цилиндров не выявлено.

Для апробации технической возможности реализации МДО крупногабаритных отливок силуминов с получением качественного оксидного слоя был изготовлен прототип алюминиевого четырехцилиндрового блока цилиндров ДВС (рис. 2) из сплава АК6М2, проведена его термическая и механическая обработка. Под прототипом понимается алюминиевый блок, отлитый в форму для чугуна блока ДВС ВАЗ-21203; такой прототип не может работать в составе ДВС, однако позволяет проверить техническую возможность МДО крупногабаритных отливок.

Для микродугового оксидирования прототипа блока цилиндров была разработана и изготовлена экспериментальная технологическая установка. Обработка рабочих поверхностей цилиндров производится в проточном режиме в специальном устройстве оксидирования блока цилиндров (рис. 3). Для этого на обрабатываемый блок цилиндров, аналогично креплению головки блока, закрепляется блок электродов. На данной установке было проведено МДО внутренней поверхности блока цилиндров, сформирован оксидный слой толщиной 120...170 мкм (включая технологический рыхлый слой). Для удаления технологического слоя проводилось



Рис. 1. Экспериментальный блок цилиндров на базе ВАЗ 21083



Рис. 2. Прототип алюминиевого блока цилиндров из сплава АК6М2 с МДО рабочей поверхности цилиндров

шлифование лепестковым кругом, после чего толщина оксидного слоя составила 80 – 90 мкм.

Таким образом, показана технологическая возможность реализации МДО крупногабаритных отливок алюминиево-кремниевых сплавов с получением качественного оксидного слоя, в том числе МДО рабочей поверхности цилиндров блока в циркуляционном режиме в проточном электролите. В настоящее время ведутся работы по оптимизации работы установки с точки зрения энергопотребления и скорости образования оксидного слоя, т.е. длительности технологического процесса обработки блока цилиндров. Для этого используется новый подход к управлению процессом, связанный с собственной гипотезой образования электрических разрядов при проведении МДО. Следует отметить, что для проведения МДО используются в основном электролиты собственной разработки, которые могут быть утилизированы как обычные бытовые отходы после окончания срока службы, поскольку не являются агрессивными и токсичными.

Для получения полного технико-экономического внедрения технологии МДО в производство двигателей ведется разработка силового агрегата с блоком цилиндров из алюминиево-кремниевых сплавов с МДО рабочих поверхностей

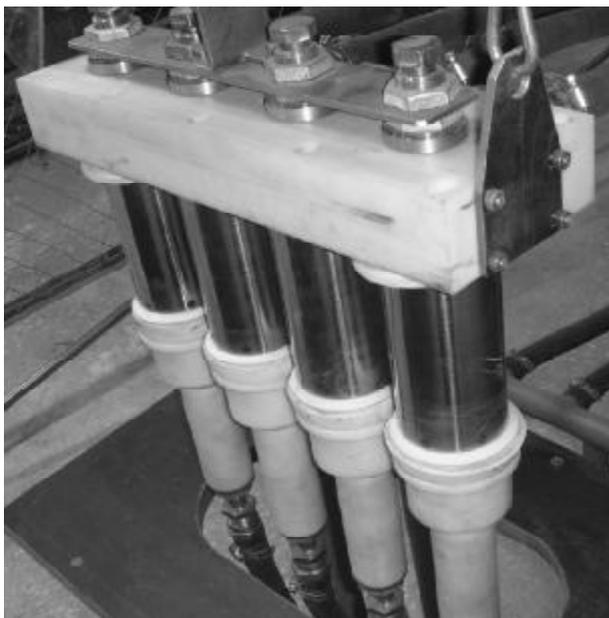


Рис. 3. Блок электродов для оксидирования блока цилиндров

цилиндров. Для сокращения затрат на первом этапе за базовый агрегат взят двигатель типа ВАЗ-11194. При проектировании нового силового агрегата соблюдалась высокая степень унификации с базовым вариантом. Т.е. сохраняются основные функциональные узлы (головка блока цилиндров в сборе, шатунно-поршневая группа и т.д.). Основные конструкторские задачи заключаются в обеспечении требуемой жесткости блока цилиндров при замене материала с чугуна на алюминиевый сплав, поскольку модуль упругости силуминов в несколько раз ниже, чем у чугуна. Сохранение головки блока цилиндров базового двигателя при проектировании экспериментального силового агрегата приводит к необходимости сохранения практически без изменений плоскости газового стыка. Это, в общем, противоречит современным принципам конструирования алюминиевых блоков цилиндров, где левая и правая части блока цилиндров должны быть симметричны относительно плоскости, проходящей через оси цилиндров. В связи с этим, для повышения жесткости конструкции экспериментального блока цилиндров (рис. 4) применен ряд мероприятий, включающий оребрение наружных боковых поверхностей рубашки охлаждения, усиление ребер жесткости в картере, увеличение толщины ребер в плоскости коленчатого вала, увеличение толщины стенок блока цилиндров. Блок цилиндров имеет алюминиевый масляный поддон повышенной жесткости. Общий корпус коренных опор, используемый как брус жесткости, на данном этапе будет изготовлен из чугуна, поскольку это повысит жесткость конструкции, но не отразится на достиже-

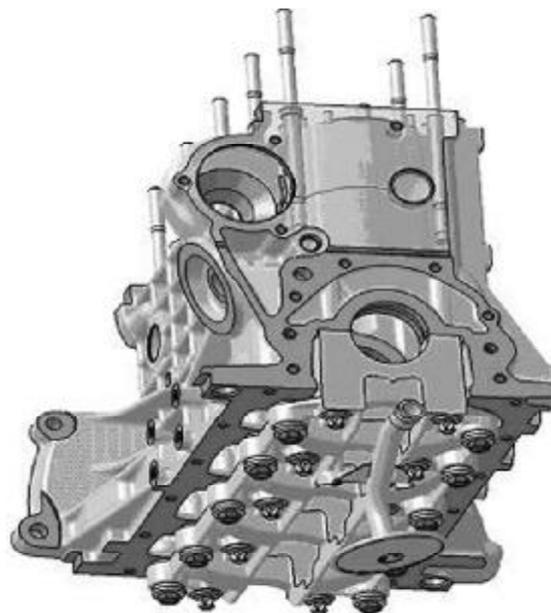


Рис. 4. Твердотельная модель экспериментального блока цилиндров

нии цели проекта. Кроме того, жесткость увеличена за счет ориентирования картера сцепления по новым точкам крепления к блоку цилиндров.

В настоящее время ведется разработка технологии изготовления экспериментального двигателя. Также планируется проведение расчетных работ по оценке и сравнительному анализу жесткости конструкции блока цилиндров.

Решение комплекса технических задач, касающихся и эффективности установки МДО, и изготовления экспериментального блока цилиндров, позволит осуществить переход к следующему этапу работы – коммерциализации технологии путем разработки серийного двигателя с блоком цилиндров из алюминиево-кремниевого сплава с МДО рабочих поверхностей. Обеспечить переход к этому этапу без проведения работ по оптимизации технологии МДО, без создания и испытаний прототипа двигателя, что позволит однозначно ответить на вопросы о свойствах оксидных слоев в реальных условиях работы ДВС, не представляется возможным. Кроме того, результаты испытаний позволят определить дальнейшие направления опытно-конструкторских работ по разработке серийного образца двигателя с алюминиевым блоком цилиндров.

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы “Развитие научного потенциала высшей школы на 2009-2010 г.” (г/б № 7172).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени: пер. с англ. [ред. Н.А. Чигир]. М.: Машиностроение. 1981.

2. Павлов Д.А. Снижение выбросов углеводородов на режимах пуска и прогрева бензинового двигателя добавкой водорода в топливовоздушную смесь. Автореф. дис... канд. техн. наук. Тольятти. 2005.
3. Hamrin D.A., Heywood J.B. Modeling of engine-out Hydrocarbon Emissions for Prototype Production Engines // SAE tech. pap. 950984. 1995.
4. Криштал М.М., Полунин В.И., Павлихин С.Е. Влияние структуры алюминиево-кремниевых сплавов на рост оксидного слоя при микродуговом оксидировании // Сборник тезисов и докладов XV Международной конференции "Физика прочности и пластичности материалов". Тольятти: ТГУ, 2003.
5. Krishtal M.M. The effect of initial structure on chemical uniformity and quality of layers hardened by micro-arc oxidation of Al-Si alloys // 21st International Conference on Surface Modification Technologies: Abstracts. Paris. 2007.
6. Krishtal M.M. The new phenomenon of oxide layer growth inhibition by the silicon particles under micro-arc (plasma electrolytic) oxidation of Al-Si alloys and applications for large-sized articles manufacturing // 1st International Conference on New Materials for Extreme Environments (June 2–4, 2008 – San Sebastian (Spain)) / Edited by: Christian Linsmeier – Max-Planck – Institut für Plasmaphysik, Matthias Reinelt – Max-Planck – Institut für Plasmaphysik and Israel Garuz – Inasmet-Tecnalia. 2008.

MICRO-ARC OXIDATION TECHNOLOGY USAGE FOR ICE WITH ALUMINIUM CILINDER BLOCK DESIGNING

© 2010 M.M. Krishtal, P.V. Ivashin, P.V. Kolomiets

Togliatti State University

In this article we base the appropriateness of micro-arc oxidation technology usage for hardening of silumin cylinder block work surfaces. Analysis of different variants of work surfaces hardening was carried out. Results of preliminary research and aluminium cylinder block designing were described.

Key words: ICE, cylinder block, silumin, micro-arc oxidation technology

*Mikhail Krishtal, Doctor of Physics and Mathematics,
Professor, rector. E-mail: krishtal@tltsu.ru.*

*Pavel Ivashin, Candidate of Techniques, Associate Professor
at the Heat Engine department. E-mail: ivashinpv@rambler.ru.*

*Pavel Kolomiets, Candidate of Techniques, Associate
Professor at the Heat Engine department.*

E-mail: kolomietspv@yandex.ru.