

УДК 629.113.8

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

МАТЕРИАЛЫ СОВРЕМЕННЫХ БЛОКОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ: КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ

Драгуленко Владислав Владимирович
кандидат технических наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 2088-7914
400vlad@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Ефимов Николай Романович
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Хохлачев Дмитрий Сергеевич
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Богдан Александр Владимирович – младший
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Малахатка Владислав Юрьевич
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Рассмотрены современные конструкционные материалы, используемые при производстве блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Проанализированы особенности эксплуатации блоков из чугуна и алюминиевых сплавов, включая механические, теплотехнические и экологические характеристики. Установлены преимущества и ограничения использования алюминия в условиях массового машиностроения. Представлены выводы о целесообразности применения различных материалов в зависимости от области использования силового агрегата

Ключевые слова: ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, БЛОК ЦИЛИНДРОВ, ЧУГУН, АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ДЕФОРМАЦИЯ, РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-210-051>

<http://ej.kubagro.ru/2025/06/pdf/51.pdf>

UDC 629.113.8

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

MATERIALS OF MODERN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BLOCKS: DESIGN AND OPERATIONAL ASPECTS

Dragulenko Vladislav Vladimirovich
Candidate of technical sciences, Associate Professor
RSCI SPIN-code: 2088-7914
400vlad@mail.ru
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

Efimov Nikolay Romanovich
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

Khokhlachev Dmitry Sergeevich
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

Bogdan Alexander Vladimirovich - Jr.
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

Malakhatka Vladislav Yuryevich
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

We consider modern structural materials used in the production of cylinder blocks of internal combustion engines (ICE). The features of operation of cast iron and aluminum alloy blocks, including mechanical, thermal and environmental characteristics, are analyzed. The advantages and limitations of using aluminum in the conditions of mass engineering have been established. Conclusions about the expediency of using different materials depending on the field of use of the power unit are presented

Keywords: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, CYLINDER BLOCK, CAST IRON, ALUMINUM ALLOY, THERMAL CONDUCTIVITY, DEFORMATION, REPAIRABILITY

Исторически для изготовления блоков цилиндров и головок ДВС преимущественно применялся чугун. Это было обусловлено его доступностью, прочностными характеристиками и технологичностью литья. Однако развитие экологических норм и стремление к снижению массы транспортных средств привели к активному внедрению алюминиевых сплавов, что обозначило новый вектор в двигателестроении [1].

Чугун обладает высокой прочностью и жесткостью, устойчив к перегреву, вибрациям и обладает хорошими демпфирующими свойствами. Однако его недостатками являются значительная масса и склонность к коррозии: чугун активно окисляется на воздухе, особенно при воздействии влаги и температурных колебаний, что приводит к образованию ржавчины (Fe_2O_3). Без специальной обработки поверхности – чугунные детали быстро теряют внешний вид и могут разрушаться в условиях длительной эксплуатации. Для защиты от окисления применялись и применяются термостойкие покрытия (см. рисунок 1), часто выполнявшиеся в цветовой гамме, отражающей объем двигателя: например, Волжский автомобильный завод свои чугунные блоки красил серым цветом блок объемом 1,5 литра, а синим 1,6 литра).



Рисунок 1 – Внешний вид ДВС серии ВАЗ 21116 рабочего объема 1,6 литра с чугунным блоком

Однако с каждым новым поколением производители стремятся улучшить характеристики новых поколений ДВС, и одним из таких показателей является расход топлива: при уменьшении потребляемого топлива на единицу мощности двигателя уменьшаются и выбросы вредных веществ в атмосферу [3]. Как раз с этой целью и стали применять алюминий в двигателестроении.

Появление алюминиевых блоков стало возможным благодаря заимствованию технологий авиационной промышленности. Основное преимущество алюминия – снижение массы силового агрегата до 40% по сравнению с чугуном, что приводит к уменьшению нагрузки на переднюю ось авто и экономии топлива. Это подтверждается массовым применением алюминиевых ДВС, например, агрегатов концерна Volkswagen (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Внешний вид полностью алюминиевого ДВС концерна Volkswagen серии SAHA рабочим объемом 1,6 л

Несмотря на меньшую плотность алюминия ($2,7 \text{ г/см}^3$ против $7,8 \text{ г/см}^3$ у чугуна), блоки из алюминиевых сплавов требуют утолщенных стенок и дополнительных ребер жесткости вследствие их худших механических свойств [2]. В настоящее время практически 90% современных автомобилей выпускаются с полностью алюминиевым двигателем.

Алюминий превосходит чугун по теплопроводности ($200\text{--}220 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ против $50\text{--}70 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и теплоемкости ($920 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ против $540 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$). Это обеспечивает более эффективный тепловой режим и способствует быстрому прогреву двигателя, особенно летом.

Немаловажным преимуществом алюминиевых блоков является процесс их отливки. Изготовление таких блоков происходит намного легче, чем чугунных. Кроме того, литье алюминия в разы экологичнее, чем чугуна, так как требуется меньшее число энергетических ресурсов.

Преобладающее большинство алюминиевых блоков оснащаются чугунными гильзами ввиду низкой износостойкости алюминия, так как по

своей сути чугун – это сплав железа с углеродом (и другими элементами), где содержание углерода не менее 2,14%, то углерод в чугуне присутствует в виде графита, что обеспечивает низкий коэффициент трения в паре «чугун-алюминий (поршни) и чугун-сталь (поршневые кольца)». Кроме того, именно за счет графитовых включений чугун – материал самосмазывающийся и прекрасно удерживает в своих порах моторное масло. Поэтому в 95% случаев ДВС с алюминиевым блоком имеют залитые чугунные гильзы. В других 5% двигателях порой применяют алюминивно-кремниевое или никель-кремниевое покрытие алюминиевых цилиндров (алюсил и никасил, использовавшиеся, например, концерном BMW), чтобы рабочее сопряжение поршневых колец и юбок поршня осуществлялось непосредственно с поверхностью цилиндра без использования чугунных гильз [5].

Несмотря на свои преимущества, данные покрытия обладают высокой чувствительностью к эксплуатационным условиям. В частности, при перегреве двигателя или использовании моторного масла с недостаточными смазочными и термическими характеристиками [4] возможно частичное разрушение покрытия в виде его отслоения, что приводит к обнажению алюминиевой основы (см. рисунок 3).

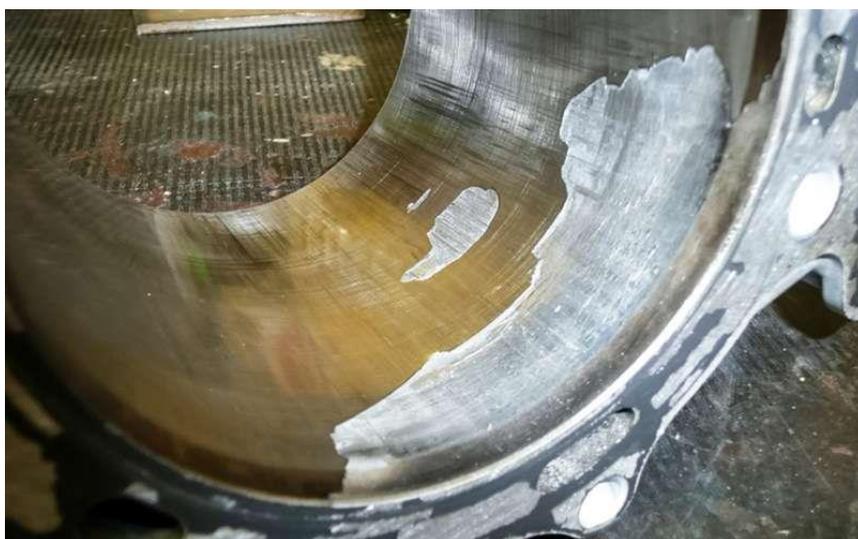


Рисунок 3 – Отшелушивание специального покрытия с алюминиевого цилиндра

Такие повреждения являются критическими, поскольку исключают возможность восстановления цилиндропоршневой группы традиционными ремонтными методами. В подобных случаях требуется полная замена силового агрегата или приобретение шорт-блока, стоимость которого может составлять 40–50% от рыночной цены автомобиля.

Алюминиевые блоки цилиндров с залитыми чугунными гильзами также обладают ограниченным эксплуатационным ресурсом и подвержены износу в процессе длительной работы. В большинстве случаев производители не предусматривают возможность механической обработки (расточки) таких блоков с установкой ремонтных поршней и колец, что существенно затрудняет проведение капитального ремонта. Такой ремонт является технологически сложным, экономически затратным и не всегда обеспечивает требуемое качество восстановления.

В противоположность этому, чугунные блоки позволяют многократную расточку цилиндров непосредственно в теле блока, что делает их более пригодными для повторного использования. Данный фактор особенно важен для владельцев, планирующих длительную эксплуатацию автомобиля.

Некоторые специализированные мастерские осуществляют замену изношенных чугунных гильз путем их вырезания и последующего запрессовывания новых. Однако теплопередача в зоне посадки таких гильз значительно уступает заводскому литью, в результате чего снижается термическая стабильность и общий ресурс восстановленного блока.

Одним из конструктивных недостатков алюминиевых блоков является их пониженная жесткость, особенно в вариантах с архитектурой «Open Deck», при которой охлаждающая рубашка доходит до верхней плоскости блока. Такая конфигурация недостаточно эффективно поддерживает геометрию цилиндров, что приводит к их постепенной деформации (см. рисунок 4).



Рисунок 4 – Внешний вид хона на стенке цилиндра, свидетельствующий о неравномерности износа стенок

Указанный эффект наиболее выражен в двигателях с наддувом, где вследствие высоких нагрузок ресурс блока существенно ограничен и зачастую лишь незначительно превышает гарантийный срок эксплуатации.

В отличие от алюминиевого блока цилиндров чугунный отличается высокой жесткостью, что позволяет уменьшать толщину его стенок по сравнению с алюминиевыми аналогами без ущерба для прочностных характеристик. Кроме того, чугун обладает высокой термической инерционностью и устойчивостью к перегревам, а также эффективно демпфирует акустические и механические колебания. Благодаря этим свойствам работа двигателя на базе чугунного блока сопровождается меньшим уровнем шума и вибрации, что особенно критично для дизельных силовых агрегатов.

Алюминиевый блок, в свою очередь, характеризуется ускоренным тепловым откликом и большей теплоемкостью, что обеспечивает его быстрое прогревание в сравнении с чугунным аналогом. Однако данный эффект практически не влияет на скорость нагрева теплообменника

отопительной системы, поскольку основное теплосъемное воздействие осуществляется через алюминиевую головку блока цилиндров, которая используется во всех современных двигателях.

Следует также отметить, что в зимних условиях алюминиевый блок интенсивно отдает тепло внешней среде, что может снижать эффективность терморегуляции. В то же время в летний период благодаря высокой теплопроводности алюминий способствует более эффективному охлаждению двигателя, чем чугун.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что алюминиевые сплавы существенно способствуют развитию моторостроения, позволяя снижать массу и улучшать тепловой режим двигателя. Тем не менее, их использование сопряжено с сокращением ресурса и повышенной чувствительностью к эксплуатационным условиям. Таким образом, выбор материала для блока цилиндров должен быть обусловлен спецификой применения агрегата и требованиями к его ремонтпригодности и ресурсу.

Список литературы (References)

1. Василюк, К. В. Повышение надежности блока цилиндра ДВС / К. В. Василюк, В. С. Щемирский, А. А. Снежко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т. 2, № 4(14). – С. 541-543.

2. Денисенко, Д. В. Предложения по повышению эксплуатационных характеристик алюминиевых цилиндров ДВС / Д. В. Денисенко // Тенденции и инновации современной науки : материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нур-Султан, 28 сентября 2021 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2021. – С. 7-10.

3. Драгуленко, В. В. Анализ современных технологий улучшения показателей экономичности и экологичности ДВС / В. В. Драгуленко, Я. А. Корж // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты : Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 04–05 февраля 2021 года. Том I. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова", 2021. – С. 64-67.

4. Драгуленко, В. В. Задиры и преждевременное разрушение цилиндропоршневой группы современных ДВС / В. В. Драгуленко, Я. А. Корж // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты : Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 04–05

февраля 2021 года. Том I. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова", 2021. – С. 67-70.

5. Широких, Э. В. Улучшение эксплуатационных характеристик поршневых колец ДВС применением эффективных материалов / Э. В. Широких, А. Д. Денисов // Вестник Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – № 13. – С. 36-47.

References

1. Vasilyuk, K. V. Povysheniye nadezhnosti bloka tsilindra DVS / K. V. Vasilyuk, V. S. Shchemirskiy, A. A. Snezhko // Actual problems of aviation and cosmonautics. – 2018. – Vol. 2, No. 4 (14). – P. 541-543.

2. Denisenko, D. V. Predlozheniya po povysheniyu ekspluatatsionnykh kharakteristik alyuminiyevykh tsilindrov DVS / D. V. Denisenko // Trends and innovations in modern science: materials of the International (correspondence) scientific and practical conference, Nur-Sultan, September 28, 2021. – Neftekamsk: Scientific and Publishing Center "World of Science" (IP Vostretsov Alexander Ilyich), 2021. – P. 7-10.

3. Dragulenko, V. V. Analiz sovremennykh tekhnologiy uluchsheniya pokazateley ekonomichnosti i ekologichnosti DVS / V. V. Dragulenko, YA. A. Korzh // Actual problems of agricultural science: applied and research aspects: Collection of scientific papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Nalchik, February 4-5, 2021. Volume I. – Nalchik: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov", 2021. – P. 64-67.

4. Dragulenko, V. V. Zadiry i prezhdevremennoye razrusheniye tsilindroporshnevoy gruppy sovremennykh DVS / V. V. Dragulenko, YA. A. Korzh // Actual problems of agricultural science: applied and research aspects: Collection of scientific papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Nalchik, February 4-5, 2021. Volume I. – Nalchik: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov", 2021. – P. 67-70.

5. Shirokikh, E. V. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik porshnevykh kolets DVS primeneniye effektivnykh materialov / E. V. Shirokikh, A. D. Denisov // Bulletin of the Kolomna Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University. Series: Natural and technical sciences. – 2020. – No. 13. – P. 36-47.