

Научная статья  
УДК 629.08

## Результаты анализа уровня повреждаемости блоков цилиндров дизельных двигателей и оценка возможных способов их ремонта

Фархан Монир Фархан Алхаддадин<sup>1</sup>, Алексей Петрович Павлов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
Москва, Россия

<sup>1</sup>89777058261@mail.ru

<sup>2</sup>89037628407@mail.ru

**Аннотация.** Целью представленной статьи является выявление всех часто встречающихся критических дефектов корпусных деталей на примере блока цилиндров дизельных двигателей, приводящих их к выходу из эксплуатации и проведению капитального ремонта в условиях, эксплуатирующих или на специализированные ремонтные предприятия. Установление мест расположения указанных дефектов обеспечит возможность оценки их устранения в целом и подбора методов ремонта для каждого конкретного места их расположения на различных поверхностях блоков цилиндров. Для возможности практической реализации исследованных методов ремонта с учетом их преимуществ и недостатков в статье представлены различные по своим свойствам технологические способы, которые при их использовании оказывают негативное воздействие на изменение пространственной геометрии блоков цилиндров в процессе восстановления их работоспособности. Например, применение теплонасыщенных сварочных процессов вызывает необходимость последующей механической обработки контактных поверхностей блоков цилиндров для обеспечения требований конструкторской документации по взаимному расположению примыкающих к нему остальных деталей ДВС, что является важнейшим условием обеспечения надежной эксплуатации не только самого двигателя, но и автомобиля в целом.

**Ключевые слова:** дефект, надежность, работоспособность, блок цилиндров, восстановление, пространственная геометрия, сварка.

**Для цитирования:** Алхаддадин Ф.М.Ф., Павлов А.П. Результаты анализа уровня повреждаемости блоков цилиндров дизельных двигателей и оценка возможных способов их ремонта // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 2 (40).

Original article

## Results of analysis of the level of damage to the cylinder blocks of diesel engines and assessment of possible methods of their repair

Farhan Monir Farhan Alhaddadin<sup>1</sup>, Alexey Petrovich Pavlov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),  
Moscow, Russia

<sup>1</sup>89777058261@mail.ru

<sup>2</sup>89037628407@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the presented article is to identify all common critical defects of body parts using the example of a diesel engine cylinder block, leading them to decommissioning and overhaul in operating conditions or at specialized repair enterprises. The determination of the locations of these defects will make it possible to assess their elimination as a whole and select repair methods for each specific location of their location on different surfaces of the cylinder blocks. To enable practical implementation of the investigated repair methods, considering their advantages and disadvantages, the article presents technological methods of various properties, which, when used, have a negative effect on changing the spatial geometry of cylinder blocks in the process of restoring their performance. For example, the use of heat-saturated welding processes necessitates subsequent machining of the contact surfaces of the cylinder blocks to meet the requirements of the design documentation for the mutual arrangement of the remaining ICE parts adjacent to it, which is the most important condition for ensuring reliable operation not only of the engine itself, but also of the car as a whole.

**Keywords:** defect, reliability, operability, cylinder block, recovery, spatial geometry, welding.

**For citation:** Alhaddadin F.M.F., Pavlov A.P. Results of analysis of the level of damage to the cylinder blocks of diesel engines and assessment of possible methods of their repair. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura.* 2024. № 2 (40).

### Введение

Постоянное развитие автомобильного транспорта основано на реализации наиболее совершенных конструкторских и технологических решений базовых и основных деталей. В наибольшей степени такой подход актуален для силовых агрегатов с дизельными двигателями.

Любая корпусная деталь является базовой и формирует пространственную геометрию агрегата в целом. От уровня их работоспособности и ремонтпригодности зависит не только надежность силового агрегата, но и эффективность эксплуатации автомобиля в целом.

Необходимо более подробно рассмотреть условия эксплуатации основных корпусных деталей с позиции возникающих у них различных видов нагрузок и какие конструкторские и технологические решения обеспечивают не только их сопротивляемость постоянно действующим динамическим, статическим и тепловым нагрузкам в процессе использования.

Как правило для грузовых автомобилей корпусные детали изготавливаются из серого чугуна различных марок. Как показали многочисленные исследования [1,2,7, 8] характерными дефектами для этой группы деталей являются трещины, сколы, обломы и пробоины, что в принципе в первую очередь объясняется высоким уровнем хрупкости самого чугуна. Именно такие дефекты мы будем относить к группе критических, так как их появление влечет за собой необходимость прекращения эксплуатации всего двигателя и его капитальный ремонт. И, к сожалению, далеко не во всех случаях существует техническая возможность устранения их.

### **Основная часть**

Если рассмотреть блок цилиндров, как наиболее характерного представителя группы корпусных деталей можно считать [1,2,3], что в эксплуатации на него кроме внутренних напряжений возникающих от воздействия газовых сил, формирующихся в процессе сгорания топливо-воздушной смеси к которым относятся динамические нагрузки, а также еще имеются и статические нагрузки вызванные сборочными работами, так называемые монтажные напряжения, формирующиеся при присоединении к блоку цилиндров различных деталей и сборочных единиц с использованием различных видов резьбовых соединений.

Необходимо также учитывать постоянное влияние не только знакопеременных статических нагрузок от перепадов температуры окружающей среды (температура атмосферного воздуха), но и температурные воздействия от сгорающей топливовоздушной смеси.

Поэтому суммарное воздействие указанных факторов, а также возможные процессы перегрузки из-за несоблюдения условий технической эксплуатации могут вызвать такие дефекты как трещины. Они могут возникать на любых поверхностях блоков цилиндров в зависимости от концентрации указанных напряжений на поверхностях блоков цилиндров.

Существует несколько способов обнаружения трещин у блока цилиндров (корпусных деталей):

- с использованием ультразвуковой установки;
- с применением магнитоскопов;
- гидравлической опрессовкой;
- пневматической опрессовкой;
- с использованием метода керосиновых проб.

### ***Причины появления трещин в блоке цилиндров***

Разрушить прочный металл блока цилиндров непросто, но его структура имеет ограниченный порог по сопротивляемости. Со временем ситуация усугубляется не только процессами старения, но и постоянно действующими значительными по величине знакопеременными нагрузками, имеющими различную природу:

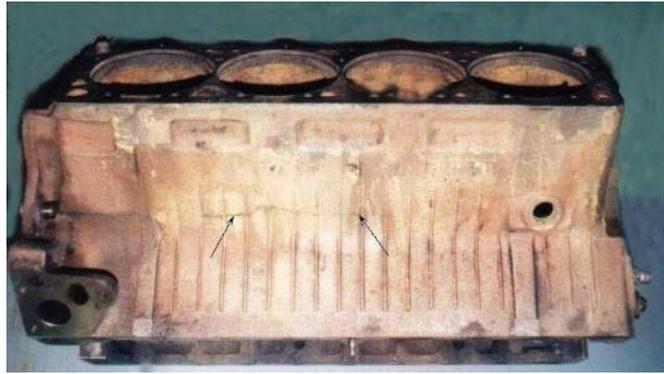
- от возникающих постоянно действующих процессов сгорания рабочей смеси в цилиндрах;
- от постоянных перепадов температуры окружающей среды, от отрицательной зимы до превышающей сто градусов после прогрева двигателя;
- от внутренних деформаций корпусных деталей, соединенных между собой за счет использования большого сборочного момента;

- от снижения прочности при неоднократных ремонтах с использованием механической обработки;
- от сборочных монтажных напряжений;
- от внутренних производственных дефектов в материале корпусных деталей;
- от грубых механических ударов, например, классический случай обрыва шатуна или разрушения поршня, когда шатун выходит наружу через стенку блока цилиндров (так называемая «рука друга»).

На основании результатов выполненных ранее исследований [1,2,4,6,10] это могут быть трещины на внешней стороне рубашки охлаждения блока цилиндров, по перемычкам между цилиндрическими гнездами под гильзы цилиндров и на коренных постелях блоков цилиндров с выходом на масляный канал, и других видов трещин и сколов, которые представлены соответственно на рисунках 1 - 6. Все перечисленные дефекты вызывают необходимость вывода двигателя из эксплуатации с обязательным выполнением ремонтно-восстановительных работ в формате проведения капитального ремонта, так как для устранения перечисленных выше дефектов необходимо полностью разобрать двигатель, что и является основным признаком капитального ремонта изделия.



*Рис. 1. Трещины по перемычкам между цилиндрами*



*Рис. 2. Трещины на рубашке охлаждения блока цилиндров*



*Рис. 3. Трещины на бобышках с резьбовыми отверстиями*



*Рис. 4. Трещины на привалочной плоскости блока цилиндров под головку блока цилиндров между водяными полостями системы охлаждения*



*Рис. 5. Пробоина в картерной части блока цилиндров – «рука дружбы»*



*Рис. 6. Трещины на коренных постелях с проворотом вкладыша*

Основными видами ремонтных воздействий в этом случае являются различные методы заварки, наложение заплат, механические виды ремонта, например засверливание отверстий по всей длине трещины с последующим нарезанием резьбы и вворачиванием штифтов с применением клеевых композиций. Наиболее современным и менее затратным методом заделки трещин является использование полимерных композиционных материалов, физико-механическими свойствами которых можно управлять за счет введения необходимых видов добавок.

Но все-таки на сегодняшний день практически наиболее распространенным методом заделки трещин является сварка, хотя она и имеет достаточно большое количество отрицательных моментов.

Необходимо отметить, что сварка изделий из чугуна из-за его конструктивной хрупкости производится достаточно сложно. Трудность выполнения сварочно-наплавочных процессов при ремонте деталей из чугуна связана с возможностью отбеливания сварочного шва, которое вызвано быстрым охлаждением наплавленного металла и выгорания кремния. При быстром охлаждении углерод, который не успевает выделиться в виде графита и сохраняется в химически связанном состоянии в виде цементита. При этом сварочный шов получается твердым и очень хрупким, что в значительной мере осложнит дальнейшую механическую обработку. В процессе сварки происходит значительный местный нагрев детали, а последующее быстрое охлаждение из расплавленного состояния вызывает большую усадку чугуна, что вызывает в блоке цилиндров значительные

внутренние напряжения. Формирующиеся в процессе сварки чугуна тугоплавкие окислы имеют очень высокую температуру плавления, около 1400 °С, в результате чего на поверхности сварочного шва возникает твердая пленка, которая перекрывает свободный выход газов из расплавленного металла, что и обеспечивает возникновение внутри шва пор, трещин и раковин.

Положительно повлиять на процесс отбеливания, можно за счет: правильного выбора способов сварки, с целью снижения уровня тепловложений, что приведет к снижению внутренних тепловых напряжений в детали; правильно организованного процесса охлаждения с обязательной окончательной проковкой шва.

Сам процесс подготовки к заварке трещин достаточно хорошо изучен и широко применяется на производстве. В начале необходимо зачистить место нахождения трещины, затем засверлить ее концы для снятия концентраторов напряжений, а затем ее разделить в зависимости от глубины трещины и толщины самого металла в этом месте. Разделка трещины производится по определенным углом в зависимости от материала детали и его толщины.

Заварка трещин у чугунных деталей может выполняться электродуговой и газовой сваркой.

Существуют три основных метода сварки: «горячая» сварка с предварительным нагревом детали, с применением локального нагрева, только зоны трещины и «холодная» сварка без какого-либо подогрева вообще.

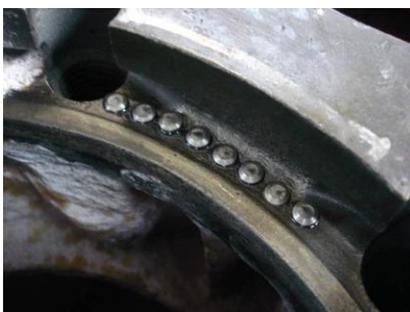
Уровень качества отремонтированных сваркой деталей оценивается уровнем герметичности сварного шва и величиной показателя усталостной прочности. Использование «горячей» сварки обеспечивает высокую прочность и плотность шва. Необходимо учитывать, что нагрев более 750 °С вызывает необратимый рост кристаллов чугуна, что является нежелательным

процессом, а при снижении температуры меньше 400 °С вызывает более быстрое охлаждение шва.

Помимо использования сварочных процессов, есть еще некоторые методы ремонта трещин у блоков цилиндров без использования теплонасыщенных процессов – это использование: эпоксидной пасты с установкой заплатки из стеклоткани и технология SEAL-LOCK. При использовании эпоксидной пасты и стеклоткани металл предварительно необходимо обезжирить, после чего поочередно наносить слои пасты и стеклоткани, последним слоем должна быть нанесена эпоксидная смола.

SEAL-LOCK удобен тем, что для ремонта не нужен сварочный аппарат и не нужно демонтировать ДВС. Смысл технологии в том, что трещина заполняется специальной прослойкой из мягкого металла.

Внешний вид шва, полученный данным способом представлен на рисунке 7.



*Рис. 7. Устранение трещины методом запыления более мягким материалом*

Нужно сказать, что шов, который получается по описанному выше методу, лучше сварного по ряду показателей. Ему не страшны перепады температур, он не получает значительного напряжения и не разрушается даже при высоких температурах.

На рисунке 8 представлен результат заварки трещин по перемычкам между цилиндрами по всей длине цилиндра. А на рисунке 9 представлен результат заварки трещин на привалочной плоскости блока цилиндров.



*Рис. 8. Пример заваривания трещин по перемычкам между цилиндрыми отверстиями*



*Рис. 9. Пример заварки трещин на привалочной плоскости блока цилиндров*

Также одним из часто встречающихся вариантов ремонта трещин и даже небольших пробоин является приварка заплата

При значительных дефектах только присадочным материалом для заплатавления трещин не обойтись. В таких случаях можно использовать металлическую заплату, которая крепится к блоку на винтах, а затем обваривается до полной герметичности, как это представлено на рисунке 10.



*Рис. 10. Приварка заплаты на внешней стороне рубашки охлаждения блока цилиндров*

Всё это возможно при наружных трещинах, например, если блок пробит оборвавшимся шатуном.

В случае острой эксплуатационной необходимости можно использовать эпоксидную пасту.

Такие клеевые соединения обладают значительной прочностью и адгезией с материалом блока, но естественно, заменить металл не в состоянии, и сваркой это называют исключительно в рекламных целях. Однако временно заделать утечку таким способом можно, выиграв время, чтобы добраться к месту настоящего ремонта.

Самый легко осуществляемый, но недостаточно надёжный способ ремонта блоков цилиндров заключается в использовании различных компаундов, обычно на основе эпоксидной смолы, в быту именуемых «холодной сваркой».

В состав эпоксидного компаунда обычно вводят армирующий наполнитель в виде металлического порошка или стружки. Это значительно повышает прочность заплатки. Следует понимать, что это не клеевое соединение, а лишь временное решение проблемы. Сколько-нибудь долгое время эпоксидный состав продержаться на металле не сможет. Пример такого способа обеспечения герметичности блоков цилиндров представлен на рисунке 11. Смола наносится с применением усиливающего резьбового крепежа в несколько слоёв. Сразу заливать большое количество не стоит из-за опасности ее перегрева из-за возникающей химической реакции и вскипания состава.



Рис. 11. Заделка трещины на внешней стороне рубашки охлаждения блока цилиндров эпоксидной пастой (холодная сварка)

### Заключение

Однако необходимо отметить, что на основании информации полученной из работ [1,2,4,5,] применение теплонасыщенных процессов сварки приводит к появлению изменений пространственной геометрии у блоков цилиндров, что в свою очередь, вызывает необходимость проведения дополнительной механической обработки, а это помимо увеличения стоимости ремонтно-восстановительных работ не всегда бывает выполнимо, так как не у всех блоков цилиндров имеется запас материала для повторной механической обработки, например как у блока цилиндров двигателя КамАЗ-740. Поэтому наиболее актуальными для рассмотренных условий является рассмотрение возможности применения различных клеевых композиций или методов заделки трещин без использования тепловых процессов.

### Список источников

1. Павлов, А. П. Изменение конструктивных параметров как фактор повышения надежности корпусных деталей двигателей / А. П. Павлов, В. А. Пономарев // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 2. – С. 51-52. – EDN KYZGQX.
2. Павлов, А. П. Исследование применяемых способов устранения трещин у корпусных деталей агрегатов машин и их влияния на изменение физико-механических свойств материалов этих деталей / А. П. Павлов, В. А. Пономарев // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 10. – С. 45-47. – EDN MUMQCH.
3. Карагодин, В. И. Ремонт автомобилей и двигателей: учебное пособие для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / В. И. Карагодин, Н. Н. Митрохин; – 8-е изд., стер. – Москва: Академия, 2012. – (Учебное пособие). – ISBN 978-5-7695-9258-4. – EDN QNYHRH.
4. Pavlov, A. P. Ensuring the processability of construction disposal during design / A. P. Pavlov, N. N. Mitrohin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019, Cholpon-Ata, 01 ноября 2019 года. Vol. 832. – BRISTOL: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012028. – DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012028. – EDN SNEJPL.

5. Ду, А. Влияние конструктивных параметров двигателя на трудоёмкость ремонта / А. Ду, И. Н. Мамчур // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2018. – № 2(16). – С. 2. – EDN XSJSAX.
6. Шатилов, А. А. Влияние износа явных технологических баз на погрешность базирования заготовок / А. А. Шатилов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – № 8. – С. 42-45. – EDN SDOJEF.
7. Мухаметшина, Р. М. Восстановление изношенных деталей / Р. М. Мухаметшина, А. В. Андреев // ИНСТРУМЕНТЫ И МЕХАНИЗМЫ СОВРЕМЕННОГО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Уфа, 13 октября 2018 года. Том Часть 2. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2018. – С. 93-95. – EDN YKXPYL.
8. Нефелов, И. С. Восстановление изношенных деталей машин при помощи дополнительных ремонтных деталей, изготовленных методами аддитивных технологий / И. С. Нефелов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 11. – С. 15-17. – DOI 10.31044/1684-2561-2018-0-11-15-17. – EDN YOGMAH.
9. URL: <https://autovogdenie.ru/kak-najti-treshhinu-v-bloke-cilindrov.html> (дата обращения 02.04.2024).
10. URL: <https://motortut.ru/stati/treshchina-v-bloke-cilindrov/> (дата обращения 02.04.2024).

### References

1. Pavlov A.P., Ponomarev V.A. *Avtotransportnoye predpriyatiye*, 2010, no. 2, pp. 51-52.
2. Pavlov A.P., Ponomarev V.A. *Avtotransportnoye predpriyatiye*, 2010, no.10, pp. 45-47.
3. Karagodin V.I. Mitrokhin N.N. *Remont avtomobiley i dvigateley* (Car and engine repair), Moscow, Akademiya, 2012, ISBN 978-5-7695-9258-4.
4. Pavlov A.P., Mitrohin N.N. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control*, Bristol, Institute of Physics Publishing, 2020, vol. 832, pp. 012028, DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012028.
5. Du A., Mamchur I.N. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2018, no. 2(16), pp. 2.
6. Shatilov A.A. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2015, no. 8, pp. 42-45.
7. Mukhametshina R.M., Andreyev A.V. *Instrumenty i mekhanizmy sovremennogo innovatsionnogo razvitiya*, Sbornik statey, Ufa, Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy", 2018, pp. 93-95.

8. Nefelov I.S. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2018, no. 11, pp. 15-17, DOI 10.31044/1684-2561-2018-0-11-15-17.

9. URL: <https://autovoogdenie.ru/kak-najti-treshhinu-v-bloke-cilindrov.html> (02.04.2024).

10. URL: <https://motortut.ru/stati/treshchina-v-bloke-cilindrov/> (02.04.2024).

Рецензент: В.Д. Александров, д-р техн. наук, проф., МАДИ

### *Информация об авторах*

**Алхаддадин Фархан Монир Фархан**, магистрант, МАДИ.

**Павлов Алексей Петрович**, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

### *Information about the authors*

**Alhaddadin Farhan M.F.**, undergraduate, MADI.

**Pavlov Alexey P.**, Candidate of Sciences (Technical), associate professor, MADI.

*Статья поступила в редакцию 11.06.2024; одобрена после рецензирования 18.06.2024; принята к публикации 18.06.2024.*

*The article was submitted 11.06.2024; approved after reviewing 18.06.2024; accepted for publication 18.06.2024.*