

УДК 620.184.4 (623.43.038)

DOI 10.52928/2070-1616-2024-50-2-97-101

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

канд. техн. наук, доц. В.А. ФРУЦКИЙ, М.В. СЕМЕНЧЕНКО  
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

*Раскрыты вопросы разработки технологии ремонта корпусов двигателей внутреннего сгорания.*

*Рассмотрена конструкция корпуса двигателя, выделены наиболее ремонтпригодные зоны. Определено, что элементами корпуса двигателя, которые разрушаются в первую очередь, являются зоны разборочно-сборочных и регулировочных мероприятий и зоны, подверженные влиянию повышенных температур. Проанализированы процессы, вызывающие деформацию либо разрушение отдельных частей корпуса двигателя. Замечено, что основные эксплуатационные поломки сосредотачиваются в верхней и нижней зонах корпуса двигателя, что накладывает определенные ограничения на методы и технологии ремонта и восстановления.*

*Предложенная технология восстановления работоспособности корпусов двигателей включает в себя операции по полной подготовке дефектно-аварийной зоны, устранению поломок, последующей термической обработке и проведение испытаний сборочного узла в целом. Даны подробные рекомендации по восстановлению исходных размеров и механических свойств поверхностей двигателя.*

*Испытания восстановленных по данной технологии корпусов показали, что работоспособность и технико-эксплуатационные параметры восстановленных узлов имеют приемлемые для эксплуатации значения.*

**Ключевые слова:** отказ, корпус двигателя, трещина, скол, ремонт-восстановление, сопряжение.

**Введение.** В связи со сложившейся в последнее время политико-экономической ситуацией, по нашему мнению, следует особое внимание уделять ремонту и восстановлению уже имеющегося автомобильного парка. Однако нельзя игнорировать и тот факт, что на многих международных форумах [1] поднимаются вопросы, связанные с резким ухудшением экологической обстановки, вызванным непосредственной деятельностью человека. В этой связи видится целесообразным как продление срока службы узлов и агрегатов автомобилей, так и ремонт деталей при участии ресурсосберегающих технологий с применением отходов машиностроительного производства. Все чаще в литературе и высказываниях ведущих специалистов указывается на важность развития стратегий, направленных на различные приемы, повышающие сроки эксплуатации, ремонтпригодность и наработку на отказ узлов и механизмов существующего автомобильного парка. Таким образом, разработки технологий ремонта деталей автомобилей, их восстановления – важные научно-технические задачи, направленные в т.ч. на решение экологических проблем.

В условиях отсутствия дефицита на запасные части и комплектацию иностранных фирм-производителей авто вопросам ремонта блоков и головок блоков цилиндров, изготавливаемых из чугуна и алюминия, уделялось недостаточное внимание, хотя технология их восстановления была отработана (рисунок)<sup>1</sup> [2; 3]. При этом не учитывались специальные вопросы сварочных операций. В нынешних условиях вопрос заделки трещин в блоке цилиндров считаем актуальным.

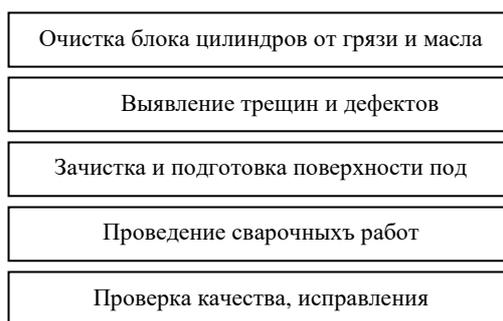


Рисунок. – Общая технология заварки дефектов

**Цель работы:** разработка технологии ремонта блока цилиндров и головки блока цилиндров двигателей, выполненных из литейного алюминия. В рамках этого: разработка технологии восстановления исходных технико-эксплуатационных характеристик различных зон корпуса блока цилиндров.

**Основная часть. Анализ исследований.** Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) работают в условиях резких перепадов температур и воздействия как внешних, так и внутренних физико-механических факторов

<sup>1</sup> Piezo-Injektoren [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.audi-technology-portal.de/de/antrieb/motor-effizienztechnologien/piezo-injektoren>

(например, повышенная температура и детонация). Частыми ошибками в ремонте являются перетяжка крепежа головки блока цилиндров, в эксплуатации – замерзание жидкости в рубашке охлаждения двигателя или удары элементов шатунно-поршневой группы о блок цилиндров. Выявлению этих дефектов посвящено множество работ<sup>2,3</sup> и останавливаться на них подробно не имеет смысла.

Анализ мест появления трещин (по плоскости прилегания блока цилиндров к ГБЦ между водяными и масляными каналами; в зонах вкручивания болтов головки блока; между каналами циркуляции моторного масла и рубашкой охлаждения; между седлом и форкамерой; и т.д.) показал, что они, как правило, появляются в труднодоступных местах, что сопряжено с определенными технологическими неудобствами. При этом существующие технологии включают либо технологию холодной сварки, которая подразумевает участие составов на основе эпоксидных смол (не проявляют необходимой стойкости при возникновении детонации), либо применение электросварки (предполагающей нагрев всего корпуса до температуры 250 °С для корпусов из алюминиевых сплавов), что влечет необходимость полного демонтажа, разборки двигателя и помещения корпуса в технологическую печь с соответствующими параметрами рабочей зоны. Все это влечет дополнительные затраты и не гарантирует качественный ремонт.

*Результаты исследований.* Для проведения исследований воспользовались блоком цилиндров, выполненных из литейного сплава АК12М2МгН (АЛ25) с химическим составом (таблица 1).

Таблица 1. – Состав литейного алюминиевого сплава, в %

Si	Mg	Cu	Mn	Ni	Ti
11...13	0,8...1,3	1,5...3,0	0,3...0,6	0,8...1,3	0,05...0,2

В качестве термообработки применяется режим неполного искусственного старения с ускоренным охлаждением. В результате образуется пересыщенный твердый раствор с небольшим упрочнением вследствие наличия дендритной ликвации с низкой концентрацией легирующих элементов. При этом необходимо предотвратить закаливание материала корпуса из-за возможного образования дефектов.

На данном этапе существует множество технологий заварки трещин на блоках цилиндров ДВС. Проанализируем применимость методов согласно теории восстановления работоспособности (таблица 2) [4].

Заметим, что в анализ не вошли технологии, предусматривающие участие материалов на основе эпоксидных смол и заменителей. По мнению авторов, такие технологии не способны в полной мере обеспечить надежность соединения и не стойки в условиях знакопеременных нагрузок.

Таблица 2. – Рекомендуемые методы заваривания дефектов при ремонте блока цилиндров

Материал	Газопламенный	РДС	Применением инвертора	3-фазная аргонодуговая + ТМО	Холодная молекулярная	Подогрев местный	Подогрев общий
Алюминиевая отливка	–	+/-	+/-	+	+/-	+	+

*Примечание.* + уверенно «да»; – уверенно «нет»; +/- проблематично

Итак, при применении открытого источника пламени материалы на основе алюминиевых сплавов склонны к окислению, следовательно, данный метод не приемлем для восстановления.

При применении ручной дуговой сварки на поверхности основного материала возникают тугоплавкие окислы, которые в общем случае легко преодолеваются при травлении 10%-м раствором щелочи, однако не все зоны устранения дефектов в корпусе блока цилиндров достаточно доступны. И в данном случае присутствие масляной ванны в рабочей зоне предусматривает более тщательную зачистку места обработки (до 0,5 мм).

При применении инверторного аппарата сварки и плавящегося электрода окисная пленка с основной поверхности удаляется под воздействием механизма катодного распыления, который возникает при наличии обратной полярности и увеличении частоты сварочного тока<sup>4</sup>.

При применении холодной молекулярной сварки, разработанной в Московском автомеханическом институте (МАМИ)<sup>5</sup>, адгезионной основой служат микрогетерофазные композитные материалы (реком), состоящие из полимерной основы, воспринимающей основные нагрузки, и различного рода дискретных наполнителей. В качестве наполнителей можно выбрать стружечные отходы, в избытке имеющиеся на механообрабатывающих предприятиях Беларуси. Огромным преимуществом метода является отсутствие нагрева, и сама технология не требует дорогостоящего оборудования. В данном случае тонкостенность детали при любом, даже минимальном, нагреве может привести к термическим деформациям, что негативно скажется на присоединительных и базовых плоскостях. Его отсутствие не нарушит физико-химический состав основного материала и его

<sup>2</sup> Piezo-Injektoren [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.audi-technology-portal.de/de/antrieb/motor-effizienztechnologien/piezo-injektoren>

<sup>3</sup> Основные дефекты и причины их появления [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/5332569/page:85/>

<sup>4</sup> Сплавы алюминия [Электронный ресурс]. – URL: <https://extxe.com/17546/aljuminij-i-ego-splavy-3/>

<sup>5</sup> Холодная молекулярная сварка [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/8850773/page:31/>

геометрические характеристики. Кроме того, из-за тонкостенности изделия уменьшается площадь наложения шва. Даже при рекомендованных значениях параметра шва 0,5...1 мм это может сыграть негативную роль.

Таблица 3. – Показатели прочности соединения при различном направлении прикладываемых нагрузок

Показатель прочности, МПа	Исходное состояние	Изгиб	Сжатие
$\sigma_b$	186	75	135
$\sigma_{0,2}$	166	50	110

По данным<sup>6</sup> стойкость соединения при нагрузке 20 Н составляет от 105 до 115 мин при наличии знакопеременных нагрузок (вибрация либо детонация двигателя). Такие значения нельзя признать положительными при заданных условиях эксплуатации деталей.

Ведущие Российские университеты авиационной промышленности стали апробировать ремонт и восстановление деталей из алюминиевых сплавов при помощи трехфазной дуги в защитных атмосферах, преимущественно в аргоне<sup>7</sup>.

Анализ известных применяемых методов ремонта и восстановления деталей из алюминиевых сплавов подтвердил известные факты, приводящие к дефектам и некачественному ремонту: вследствие большого коэффициента теплопроводности деталь подвержена значительным линейным деформациям. Для борьбы с этим явлением необходимо за короткий промежуток времени достичь температур плавления, что возможно при применении высокой погонной энергии источника тока. Такой прием может привести к значительным температурным деформациям детали, что нельзя назвать приемлемым с учетом допусков на межосевые размеры в пределах  $\pm 0,1$  мм.

Как выход из создавшегося положения можно рекомендовать предварительный подогрев всей детали до температур 300...400 °С. Но в условиях ремонтного предприятия это не всегда осуществимо.

В качестве альтернативы для комплексного решения возникающих проблем был предложен вариант применения трехфазной дуги, где дуги зажигаются в определенной последовательности, при этом одна из них может перекрывать другую. Способ может быть осуществлен как для громоздких деталей с толщиной стенок до нескольких десятков сантиметров, так и для деталей с толщиной стенки до 0,3...0,5 см. При таком подходе постоянно появляющаяся на поверхности оксидная пленка удаляется за счет механизма катодного распыления, который реализуется при наличии обратной полярности сварочного тока при 6...12 А.

Вторая часть комплексного решения заключается в применении местного подогрева под сварку. При этом необходимо избежать дополнительного окисления поверхности. При существующих отработанных технологиях при ведении нитки трубопровода подогрев можно осуществить при помощи термоковриков<sup>8</sup>. При осуществлении такой технологии снимается вопрос дополнительного окисления поверхности и появляется возможность влияния на изменения температурного поля в любой точке технологического процесса.

Однако для получения технико-эксплуатационных параметров детали на уровне нового изделия необходимо введение низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО)<sup>9</sup>.

Для осуществления процесса НТМО была предложена следующая технология: заварка – естественное старение. При этом происходит частичная закалка изделия, в последующем – естественное старение, при котором пересыщенный твердый раствор, образовавшийся при закалке, путем естественного старения переходит к равновесному состоянию. Затем для увеличения технико-эксплуатационных характеристик добавляются процессы холодной деформации + искусственное старение. Однако согласно рекомендациям [5] нагрев и выдержка изделия должны производиться при температуре 120...130 °С, при этом предварительная пластическая деформация должна быть на уровне 5–10% (по данным<sup>10</sup>). Согласно проведенным исследованиям предел прочности шва увеличивается до 12%, на такую же величину увеличивается предел текучести, что уже может быть сопоставимо с значениями нового изделия (таблица 4).

Таблица 4. – Показатели прочности соединения при деформации, в %

Показатель прочности	0	2	4	6	8
$\sigma_b$ , МПа	186	200	210	188	190
$\sigma_{0,2}$ , МПа	166	180	182	174	172

Таким образом, пик прочностных показателей для сварочных швов, примененных на материалах данной системы, приходится на процент пластических деформаций 2...4%. При этом, согласно рекомендациям<sup>10</sup>, для увеличения прочностных характеристик материала рекомендуется прилагать знакопеременное нагружение

<sup>6</sup> Пути совершенствования технологий ремонта [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-sovershenstvovaniya-tehnologii-remonta-detaley-i-soedineniy-sostavami-hms-holodnaya-molekulyarnaya-svarka/viewer>

<sup>7</sup> Сварка алюминиевых сплавов [Электронный ресурс]. – URL: <https://extxe.com/2846/svarka-aljuminievyyh-splavov>

<sup>8</sup> Нагреватели для термообработки [Электронный ресурс]. – URL: <https://rem-teh.ru/catalog/nagrevateli-dlya-termoobrabotki/>

<sup>9</sup> Сплавы алюминия [Электронный ресурс]. – URL: <https://extxe.com/17546/aljuminij-i-ego-splavy-3/>

<sup>10</sup> Справочник авиационные материалы. [Электронный ресурс]. – URL: [https://viam.ru/reference\\_book](https://viam.ru/reference_book)

одинаковой амплитуды. Для проверки данного факта к сварочному шву прилагали усилие деформации 3%. При этом образец 1 подвергали статическому растяжению, к образцу 2 прилагалось знакопеременное нагружение с частотой, равной проценту скорости перемещения горелки. Результаты сведены в таблицу 5.

Таблица 5. – Показатели прочности соединения при различных типах нагружения

Показатель прочности	Статическое нагружение	Знакопеременное, частота $\nu_n/4$	Знакопеременное, частота $\nu_n/2$
$\sigma_b$ , МПа	202	212	208
$\sigma_{0,2}$ , МПа	188	192	187

При анализе полученных данных выявлено улучшение прочностных характеристик при приложении знакопеременных нагрузок на сварочный шов в сравнении с нагрузками однонаправленными, что также хорошо согласуется с [6].

Согласно многолетним исследованиям<sup>11</sup> на прочностные характеристики материала в значительной мере влияет время естественного старения (таблица 6).

Таблица 6. – Показатели прочности соединения при различной продолжительности естественного старения, ч

Показатель прочности	0	6	12	24	48
$\sigma_b$ , МПа	186	186	189	191	192
$\sigma_{0,2}$ , МПа	166	168	169	170	172

Разбор приведенных результатов показывает, что за период прохождения процесса до 12 ч прочностные показатели детали увеличились менее, чем на 1%. При продолжительности процесса 12...24 ч характеристики выросли до 2%, при дальнейшем увеличении времени прирост составляет до 1%.

Согласно рекомендациям<sup>11</sup> [6] для увеличения прочностных характеристик применили нагрев до температур 150–200 °С (по рекомендациям<sup>12</sup> нагрев до 350...400 °С) и выдержку 5...15 ч, используя процесс искусственного старения к выбранной области (таблица 7).

Согласно теории Гинье–Престона и данным в научных источниках в материалах данной системы выделяются две равновесные фазы: кубическая  $\beta$  (Mg<sub>2</sub>Si) и гексагональная Q (Al<sub>5</sub>Cu<sub>2</sub>Mg<sub>8</sub>Si<sub>6</sub>). Таким образом, можно выделить зону Гинье–Престона, а затем при искусственном старении при распаде пересыщенного раствора еще две равновесные фазы.

Таблица 7. – Показатели прочности соединения при различных вариантах технологии восстановления

Вариант	Технология ремонта	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
1	Сварка + естественное старение + ХД + искусственное старение	212	192
2	Сварка + искусственное старение + ХД	189	169
3	Сварка + искусственное старение + ХД + искусственное старение	202	189

Так, при варианте 1 реализации технологии прирост показателей прочности составил 14%. При варианте 2 – 1%. При варианте 3 – 7%.

**Заключение.** Учитывая технико-экономическое положение Беларуси в современном технологическом пространстве видится более целесообразным выдвигание стратегий, учитывающих ремонт и восстановление узлов и деталей. До недавнего времени, с точки зрения авторов, вопросам ремонта и восстановления корпусных деталей двигателей было уделено недостаточное внимание, хотя направление исследований очень перспективное.

Первоначальный анализ восстановления целостности корпусных деталей выявил узкие места в существующих методиках восстановления корпусных деталей, а при проведении дальнейшего синтеза решений была предложена следующая технология:

1. Визуальный контроль внешнего вида.
2. Сварка+естественное старение.
3. Термообработка+холодная деформация.
4. Искусственное старение.
5. Окончательная механическая обработка.
6. Окончательная сборка блока.

Для заварки дефектов из существующих способов восстановления была выбрана ручная сварка трехфазной дугой в среде защитных газов. Для устранения появления холодных и горячих трещин рекомендуется подогрев в зонах проведения работ при помощи термоодеял с электроподогревом.

При отмеченной технологии параметры эксплуатационной прочности могут быть достигнуты в течение 16...20 ч. При применении холодного циклического знакопеременного деформирования в диапазоне 2...4% отмечалась максимальная эффективность процесса с точки зрения показателя прочности соединения.

<sup>11</sup> Труды ВИАМ [Электронный ресурс]. – URL: <http://viam-works.ru/ru/>

<sup>12</sup> Анисимова А. Фазовые превращения в сплавах системы Al-Mg-Si-Cu при искусственном старении / Всерос. науч.-исслед. ин-т авиацион. Материалов. – М., 2023. – URL: <https://pandia.ru/text/82/381/39436.php>

После применения рекомендуемой технологии эксплуатационные свойства корпусов повышались на 10...15% по сравнению с проводимыми стандартными операциями восстановления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Schwab K.M., Malleret T. COVID-19: The Great Reset. – Geneva: World Economic Forum. Forum publishing, 2020. – 212 p.
2. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демьянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением: учеб. для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
3. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение, 2004. – 240 с.
4. Восстановление работоспособности соединения «игла-корпус» распылителя форсунок дизельных двигателей / С.В. Пилипенко, О.П. Штемпель, В.А. Фруцкий и др. // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2021. – № 11. – С. 65–72.
5. Лукин В.И., Арзамасов В.Б., Иода А.А. Влияние пластической деформации на свойства алюминиевого сплава ВАД15 и его сварных соединений. // Сварочное производство. – 1999. – № 11. – С. 78.
6. Пилипенко С.В., Фруцкий В.А., Конон М.В. Теплофизические свойства газотермических ремонтных покрытий валов под посадку подшипника // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2019. – № 11. – С. 57–62.

## REFERENCES

1. Schwab, K.M. & Malleret, T. (2020). *COVID-19: The Great Reset*. Geneva: World Economic Forum. Forum publishing.
2. Akulov, A.I., Bel'chuk, G.A. & Demyantsevich, V.P. (1997). *Tekhnologiya i oborudovanie svarki plavleniem: Uchebnik dlya studentov vuzov*. Moscow: Mashinostroenie. (In Russ.)
3. Potap'evskii, A.G. (2004). *Svarka v zashchitnykh gazakh plavyashchimsya elektrodom*. Moscow: Mashinostroenie. (In Russ.)
4. Pilipenko, S.V., Shtempel', O.P., Frutskii, V.A. & Kostritskii, V.V. (2021). Vosstanovlenie rabotosposobnosti soedineniya «igla-korpus» raspylitelya forsunok dizel'nykh dvigatelei [Restoring the Functionality of the “Needle-body” Connection of the Diesel Engine Nozzle Sprayer]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (11), 65–72. (In Russ., abstr. in Engl.)
5. Lukin, V.I., Arzamasov, V.B. & Ioda, A.A. (1999). Vliyanie plasticheskoi deformatsii na svoistva alyuminievogo splava VAD15 i ego svarnykh soedinenii. *Svarochnoe proizvodstvo*, (11), 78. (In Russ.)
6. Pilipenko, S.V., Frutskii, V.A. & Konon, M.V. (2019). Teplofizicheskie svoistva gazotermicheskikh remontnykh pokrytii valov pod posadku podshipnika [Thermal Properties of Gas-Thermal Repair Coatings Shafts to Fit Bearings]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (11), 57–62. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 28.06.2024

## TECHNOLOGY FOR RESTORING THE PERFORMANCE OF ENGINE BODY PARTS

V. FRUTSKII, M. SEMENCHENKO  
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*The work reveals the development of the technology for repairing the housings of internal combustion engines (ICE).*

*The design of the engine housing is considered, the most repairable zones are identified. It is determined that the elements of the engine housing, which are destroyed in the first place, are the zones most often in contact with the elements of the road surface, as well as the zones of disassembly and adjustment measures and the zones affected by elevated temperatures. Processes causing deformation or destruction of individual parts of engine housing are considered. It has been observed that the main operational defects are concentrated in the upper and lower zones of the engine housing, which imposes certain restrictions on repair and recovery methods and technologies.*

*Proposed technology includes operations for complete preparation of defective emergency zone, elimination of defects, subsequent heat treatment and testing of assembly assembly as a whole. The recommendations for restoring the initial dimensions and mechanical properties of the engine surfaces, taking into account various types of materials, are considered in detail.*

*The operability tests of the housings restored using this technology showed that the operability and technical and operational parameters of the restored units have values that are quite acceptable for operation.*

**Keywords:** *internal combustion engine, failure, engine housing, chip crack, repair-recovery, coupling.*