

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

ФРУЦКИЙ В. А., ПИЛИПЕНКО С. В., ШТЕМПЕЛЬ О. П.

ПИЛИПЁНОК И. И., КОНОН М. В.

**(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;
г. Новополоцк, Республика Беларусь)**

Введение. Наиболее типичными и опасными повреждениями для деталей из литейных алюминиевых сплавов (Al-Si-Cu-Mg системы) и серого чугуна (СЧ) являются трещины. Их появление обусловлено усталостными явлениями, термическими напряжениями, а также следствиями аварийных ситуаций (детонация, перегрев, замерзание охлаждающей жидкости).

Традиционные подходы к восстановлению зачастую носят паллиативный характер.

Целью данной работы разработка технологий восстановления: деталей из алюминиевых сплавов с обеспечением необходимой прочности сварного соединения и для чугунных деталей с ориентацией на ресурсосбережение и вовлечения вторичного сырья в производственный цикл.

Объекты и методы исследования. Для алюминиевых сплавов: В качестве объекта исследования использовались дефектные блоки цилиндров двигателей ВАЗ, отлитые из сплава АК12М2МгН (аналог АЛ25).

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

Базовая микроструктура после литья и неполного искусственного старения – пересыщенный твердый раствор на основе алюминия с эвтектическим кремнием.

Для чугуна: Исследования проводились на образцах, вырезанных из блоков цилиндров из серого чугуна марки СЧ-26. Микроструктура – пластинчатый графит в перлитно-ферритной матрице.

Таблица 2. Состав литейного чугунного сплава в %

(C) %:	(Si) %:	(Mn): %	Сера (S): %	Фосфор (P): %	Железо (Fe): %
3,5-3,7	2-2,4	0,5-0,8	до 0,15	до 0,2	~93

Анализ проблем и выбор базового метода. Восстановление литейных алюминиевых сплавов, таких как АК12М2МгН, осложнен рядом факторов, поэтому существующие методы сварки имеют ряд недостатков [1].

В качестве оптимального базового метода восстановления выбрана трехфазная аргонодуговая сварка. Для минимизации общих тепловложений и предотвращения коробления предложена система локального контактного подогрева зоны сварки. Подогрев осуществляется с помощью гибких термоэлектрических матов, что позволяет поднять температуру детали до 180–200°С, этого достаточно для снижения градиента температур и остаточных напряжений.

Сварка, даже по оптимизированной технологии, неизбежно приводит к формированию в зоне шва и околошовной зоне литой структуры и разупрочнению. Для радикального решения этой проблемы предложена и исследована комплексная послесварочная низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) сварного соединения. Предложенная технологическая схема НТМО показана на рисунке 1.



Рисунок 1. – Предложенная технологическая схема низкотемпературной термомеханической обработки

Обоснования каждой стадии обработки приведены в работах [2].

Таблица 3. – Показатели прочности соединения при различных вариантах технологии восстановления

Вариант	Технология восстановления	σ_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

Таким образом, предложенный комплекс мер не просто компенсирует разупрочнение от сварки, но и обеспечивает прирост прочности на 14 % относительно исходного состояния материала детали.

При разработке ресурсосберегающей технологии восстановления чугунных корпусных деталей, был произведен критический анализ классических методов сварки чугуна [3]. Определено, что имеется риск образования отбеленных зон (хрупкого ледебурита) и холодных трещин.

В качестве альтернативы предложена технология, основанная на использовании композиционного порошка, методика получения которого описана в работах [4]

На рисунке 2 показана схема технологического процесса восстановления корпуса.

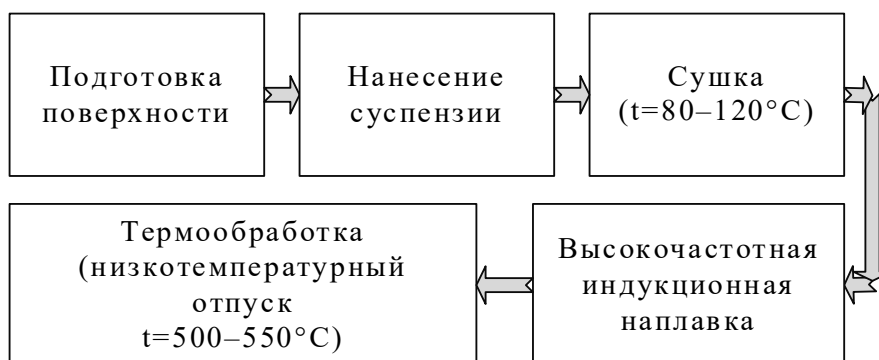


Рисунок 2. – Схема предложенного технологического процесса высокочастотной индукционной наплавки

Металлографический анализ образцов восстановленных поверхностей показал, что формируется сложная композитная структура. Металлическая матрица в виде феррито-перлитная смеси, с дисперсными включениями графита. Упрочняющие фазы присутствуют в виде мелких, равномерно распределенных карбидов и боридов (Fe_3C , Fe_2B). Медные включения наблюдаются в виде не растворившихся частиц меди, расположенных по границам зерен.

Произведенные механические испытания образцов восстановленных деталей, приведены в таблице 4.

Таблица 4 Результаты испытаний

Твердость соединения, HB	230–250
Прочность на сдвиг, МПа	280–300
Пористость: не более %	2–3

На основе проведенных исследований предлагается унифицированная последовательность операций для восстановления БЦ и ГБЦ с учетом материала изделия. Схема предложенного технологического процесса показана на рисунке 3.

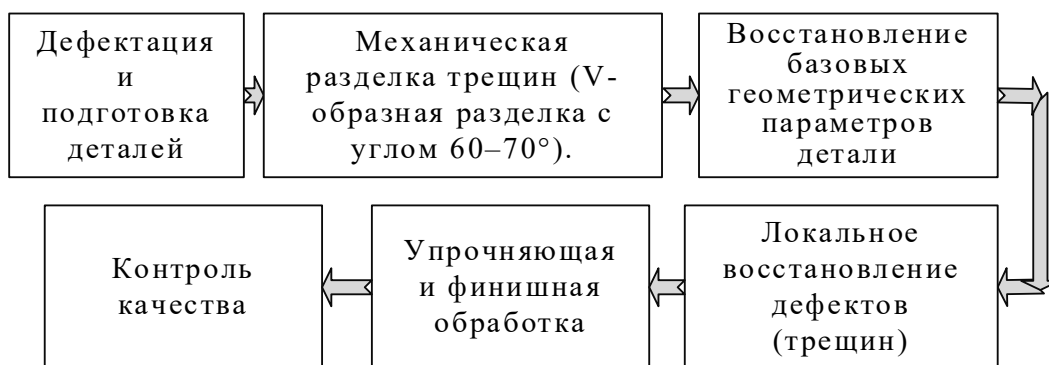


Рисунок 3. – Схема технологии унифицированной универсальной технологии восстановления рабочих поверхностей деталей с учетом материала изделия

Детальное описание технологии восстановления приведено в работе [5].

Заключение. Для алюминиевых корпусных деталей ДВС, разработана и апробирована высокоэффективная технология, преодолевающая ключевой недостаток сварки – разупрочнение зоны восстановления. Комбинация трехфазной аргонодуговой сварки с контролируемым подогревом и последующей низкотемпературной термомеханической обработкой позволила не только восстановить, но и существенно повысить прочность сварного соединения. Прирост предела прочности на 14 % относительно основного металла открывает перспективу для восстановления высоконагруженных деталей, ранее считавшихся неремонтопригодными.

Для чугунных корпусных деталей предложена инновационная ресурсосберегающая технология, основанная на принципах циркулярной экономики. Использование композиционных порошков на основе чугунной стружки, легированной медью и бором, обеспечивает высокое качество восстановления (адгезия 0.9–0.95, твердость 230–250 НВ) при снижении себестоимости процесса на 35–40 %. Технология решает, как техническую задачу надежного восстановления, так и экономическую задачу снижения издержек, и экологическую задачу утилизации металлоотходов.

Разработанные технологии носят модульный и адаптивный характер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фазовые превращения в сплавах системы Al-Mg-Si-Cu при искусственном старении. Анастасия Анисимова Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва. 2023 г. – URL: <https://pandia.ru/text/82/381/39436.php>.
2. А.Г. Потапьевский «Сварка в защитных газах плавящимся электродом» М., «Машиностроение», 2004.
3. С. В. Пилипенко, В. А. Фруцкий, М. В. Конон «Термофизические свойства газотермических ремонтных покрытий валов под посадку подшипника.»// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2019. – № 11. – С. 57–62.

4. Константинов В.М., Фруцкий В.А. Взаимосвязь структуры и свойств антифрикционных газотермических покрытий из боромедненной чугунной стружки // Вестник Полоцкого государственного университета, серия В, 2003. – Т. 2, № 2. – С. 7–11.
5. Штемпель, О. П. Технология ремонта трещин чугунной головки блока цилиндров / О. П. Штемпель, М. В. Конон, И. М. Конон // Инновационные технологии в машиностроении: электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21–22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк, 2020. – С. 184–186.