

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИЗЕЛЕСТРОЕНИИ

М.В. Радченко, В.Г. Радченко, Ю.О. Шевцов, К.С. Кровяков

Статья посвящена теоретическим и практическим аспектам применения электронно-лучевых технологий в вакууме для сварки, упрочнения и наплавки деталей дизельных двигателей. Обобщен практический опыт решения наиболее сложных проблем, присущих конструированию тяжелонагруженных форсированных дизелей. Показаны перспективы расширения границ производственного использования электроннолучевых технологий.

Технология электронно-лучевого упрочнения зон кольцевых канавок алюминиевых поршней под компрессионные кольца

Практика эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, особенно форсированных дизельных двигателей, показывает, что наиболее слабым местом поршней являются зоны кольцевых канавок под компрессионные кольца. Образование предельного зазора между компрессионным кольцом и кольцевой канавкой поршня в основном и определяет ресурс двигателя до переборки, расход топлива и масла, а также затраты на ремонт. Поэтому, решение проблемы повышения моторесурса кольцевых канавок поршней является основным направлением для практического использования результатов научных исследований как в России, так и за рубежом.

Коллективом авторов в Межвузовской лаборатории электроннолучевой технологии АлтГТУ им. И.И.Ползунова на основе более чем 20-летнего опыта в области электронно-лучевых технологий разработана технология электроннолучевого упрочнения наиболее технологически сложных поршневых алюминиевых сплавов заэвтектического состава марки АК21М2,5Н2,5. Технология упрочнения заключается в электроннолучевом переплаве слоя металла в том месте поршня, где в последующем выполняется проточка кольцевой канавки необходимых геометрических размеров.

Упрочнение проводится на поршневых заготовках, полученных методом литья в кокиль. Предпочтительным является вариант использования технологии упрочнения как одной из технологических операций при производстве поршней. Перед упрочнением заготовку поршня очищают от грязи, пыли, масла, затем закрепляют в приспособлении для обеспечения вращения заготовки вокруг своей оси. После закрепления проводят герме-

тизацию вакуумной камеры до необходимого остаточного давления (не более 0,01 Па), и осуществляют процесс упрочнения с легированием или без него.

Основными проблемами при электроннолучевом переплаве в вакууме высококремнистого поршневого сплава, с которыми сталкиваются разработчики технологии, являются растрескивание зоны перелома и высокий уровень остаточной пористости металла.

Для анализа причин возникновения этих проблем были изучены технологии литья и дополнительной обработки алюминиево-кремниевых заготовок на специализированных предприятиях "Поршень" (г. Алма-Ата, республика Казахстан) и Новосибирском заводе им. В.П.Чкалова.

Разрешение этих проблем авторами данной статьи найдено в результате анализа структурообразования поршневых заготовок в процессе их отливки и модификации, анализа теплого состояния поршня в процессе переплава зоны упрочнения и рационального выбора траектории высокочастотного сканирования электронного луча.

Для осуществления принудительной дегазации жидкой металлической ванны и более равномерного распределения в ней легирующих элементов было необходимо оснащение электроннолучевых установок приборами управления луча (ПУЛ), позволяющими осуществлять перемешивание расплава за счет сканирования электронного луча по заданной траектории с определенной амплитудно-частотной характеристикой. Для решения последней задачи в течение 1,5...2 лет была разработана и изготовлена серия специализированных приборов управления электронным лучом, обладающих большим объемом памяти, широким диапазоном частот и траекторий перемещения электронного луча, независимым регулированием развертки по осям координат, плавным регулирование амплитуды и универсальностью в ис-

пользовании различными типами электронно-лучевых пушек.

Такие характеристики ПУЛа позволяют выполнять технологические операции как исследовательского, так и производственного характера. Одна из конструкций таких приборов представлена на рис. 1.

В результате комплексных экспериментальных исследований установлены оптимальные технологические параметры режима упрочнения, позволяющие получать практически бездефектный металл в зоне переплава с высокими показателями износостойкости.



Рис. 1. Прибор управления лучом

В процессе отработки опытно-производственной технологии электронно-лучевого упрочнения поршней для дизелей ОАО «Барнаултрансмаш» было выявлено, что в данной технологии существует серьезный резерв повышения износостойкости первой кольцевой канавки, именно, упрочнение с легированием, что позволяет значительно расширить области применения данного способа упрочнения [1].

В случае дополнительного легирования алюминиевого сплава с целью получения еще более высоких показателей износостойкости в качестве легирующего материала предложено использовать нихромовую или медную проволоку, содержание которых в наплавленном металле определяет требуемые механические свойства, например твердость, износостойкость.

Внешний вид поршневых заготовок с упрочненными зонами под кольцевую канавку показан на рис. 2. Геометрические размеры данных поршней составляют: диаметр 150 мм, высота 120 мм. Геометрические размеры компрессионных колец: радиальная ширина – $6,05^{0,2}$ мм, толщина – 3,0 мм. Данными поршнями комплектуются быстроходные форсированные дизельные двигатели.

Практическая реализация разработанного способа упрочнения кольцевых канавок осуществлена на заводе ОАО «Барнаултрансмаш», где была спроектирована и изго-

товлена электронно-лучевая аппаратура с 14-типозиционным манипулятором под данный типоразмер поршней. С использованием электронно-лучевой пушки с «холодным катодом» и манипулятором, внешний вид которых показан на рис. 3 и 4, выполняли производственную программу упрочнения поршней методом электронно-лучевой технологии без легирования.



Рис. 2. Заготовки поршней из сплава АК21М2,5Н2,5 с упрочненными зонами под роточку кольцевых канавок (показаны стрелками)



Рис. 3. Электронно-лучевая установка с пушкой с «холодным катодом» и прибором управления лучом

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИЗЕЛЕСТРОЕНИИ



Рис. 4. Многопозиционный манипулятор на 14 поршней

Проведенные производственные испытания упрочненных поршней при работе на форсированных дизелях показали повышение их моторесурса в 3 раза. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет 200 рублей на 1 упрочненный поршень в ценах 2000 г.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о перспективности применения электроннолучевой технологии с легированием для упрочнения алюминиевых поршней двигателей внутреннего сгорания.

Разработанная технология может быть рекомендована к внедрению на предприятиях РФ, специализирующихся в области двигателестроения или производства деталей и комплектов для двигателей внутреннего сгорания.

Технология электронно-лучевой сварки алюминиевых поршней ДВС

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации поршней, является сокращение их срока службы по причине растрескивания днища поршня вследствие термоусталостных напряжений. Существует ряд способов снижения термоусталостных напряжений, в том числе за счет изменения конструкции поршней, в частности создания в зоне первой поршневой канавки дополнительной полости, по которой циркулирует моторное масло.

В такой конструкции поршня благодаря более интенсивному охлаждению за счет

циркуляции моторного масла, от днища поршня происходит более равномерный отвод тепла, что приводит к снижению термоусталостных напряжений и предотвращению растрескивания алюминиевого сплава вблизи днища поршня.

Предложенная авторами технология производства сварного поршня имеет определенные преимущества перед аналогичными технологиями, используемыми для образования полости охлаждения в днище поршня, например, метод заливки соляных стержней. Использование электроннолучевой сварки в вакууме обеспечивает кинжальное проплавление, что предотвращает создание напряжений и последующих деформаций.

Такого рода конструкторские и технологические работы принципиально были известны ранее по результатам исследований германских (фирма "Мале") и российских ученых-конструкторов, в том числе сотрудников ЦКБ ОАО "Барнаултрансмаш". Однако во всех случаях использование электроннолучевой технологии относилось только к низкокремнистым алюминиевым поршневым сплавам, т.н. благополучным в отношении металлургических дефектов при переплаве высококонцентрированными потоками энергии (плазменные струи, электронные лучи).

Авторами была разработана и прошла успешное тестирование технология производства составного поршня из высококремнистого алюминиевого сплава АК21М2,5Н2,5, изготовленного из двух частей с последующей их сваркой электронным лучом. Результаты комплексного тестирования качества металла и всей конструкции поршней в целом показали практическое отсутствие каких либо дефектов, что явилось принципиальным доказательством возможности использования данной технологии производства поршней с полостью охлаждения, как показано на рис. 5.

Разработанная технология электроннолучевой сварки алюминиевых поршней рекомендована для дальнейшего использования на предприятиях страны, специализирующихся в области двигателестроения.

Технологии электроннолучевого упрочнения и наплавки других деталей ДВС

В связи с высокой стоимостью оборудования, использование высококонцентрированного источника нагрева – электронного луча в вакууме – для создания упрочняющих и защитных покрытий целесообразно в тех

случаях, когда оно приводит к получению качественно новых результатов, свойств упрочненных и наплавленных изделий, а также когда невозможно использовать другие методы поверхностного нагрева. Метод наплавки электронными пучками низких энергий (до 5 кэВ), разработанный коллективом авторов, благодаря сочетанию преимуществ порошковых материалов и вакуумной защиты металла позволяет создавать уникальные по эксплуатационным свойствам упрочняющие слои на поверхностях различных деталей дизелей [6-10].



Рис. 5. Сварной поршень с полостью охлаждения

Весьма эффективно с помощью упрочнения и наплавки электронным лучом создание защитных слоев на поверхности деталей с высоким уровнем функциональных свойств (твердость, износ- и коррозионная стойкость) на деталях или заготовках из относительно дешевых малоуглеродистых сталей. Благодаря возможности подачи энергии точной дозировки с помощью наплавки электронным лучом (ЭЛН) формируются равномерные по толщине слои с минимальным проплавлением основы, исключаются деформации нежестких деталей. Прочность сцепления с основой наплавленных методом ЭЛН покрытий, находится на уровне металлической связи. Поэтому в отличие от напыленных они не растрескиваются и не отслаиваются в результате воздействия интенсивных многоцикловых контактных нагрузений. Возможна многократная наплавка после перешлифовки наплавленных деталей. Как показывает практический опыт стоимость ремонта деталей составляет порядка 30% от

стоимости новых при существенно более высоких функциональных показателях свойств поверхности.

Например, упрочнение с оплавлением рабочих кромок матриц для горячего деформирования распылителей дизельного топлива позволило на ОАО «Алтайдизель» повысить разгаростойкость поверхности в 2 раза.

Особенно актуальным является практическое использование электроннолучевой технологии наплавки высоколегированных порошковых сплавов на основе системы Ni-Cr-B-Si для ремонта и восстановления изношенных поверхностей тяжелонагруженных деталей: коленчатых и распределительных валов ДВС (рис. 6, 7), крестовин, шаровых опор, толкателей распределительного валика, ступиц шкивов клиноременных передач, ходовых винтов и др.

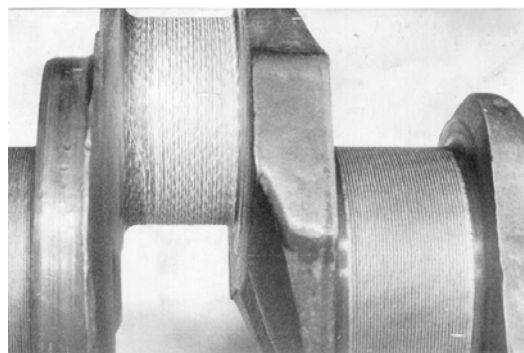


Рис. 6. Коленчатый вал ДВС с упрочненными шатунными и коренными шейками



Рис. 7. Распределительный вал ДВС после ремонта методом электроннолучевой наплавки

Использование высококонцентрированных электронных пучков для сварки, упрочнения с оплавлением и прямой порошковой наплавки является перспективной областью,

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИЗЕЛЕСТРОЕНИИ

в которой накоплен достаточно большой практический конструкторско-технологический опыт.

Перспективным представляется создание тяжело нагруженных деталей дизелей с наплавленными композиционными покрытиями, когда каждая из фаз – пластичная матрица и твердые упрочняющие частицы карбидов, боридов, силицидов тугоплавких элементов – выполняет определенные функции, создавая в комплексе материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Разработанные технологии могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях РФ, специализирующихся в области двигателестроения при производстве новых или восстановлении и ремонте изношенных деталей и комплектующих для двигателей внутреннего сгорания.

Хорошая воспроизводимость результатов упрочнения и наплавки в автоматизированном режиме, возможность полной автоматизации технологического процесса с компьютерным управлением, экологическая чистота, возможность существенного улучшения свойств поверхностного слоя изделий в сочетании с наличием выпускаемого в России и странах ближнего зарубежья надежного, апробированного в течение 30-35 лет оборудования, значительно расширяет диапазон технологических операций обработки деталей дизелей с использованием электронных пучков в вакууме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2148750. Способ упрочнения зон кольцевых канавок поршня двигателя внут-

реннего сгорания / Радченко М.В., Батырев Н.И., Кровяков К.С., Шевцов Ю.О. Заявл. 21.12.1998. Оpubл. 10.05.2000.

2. Радченко М.В., Кровяков К.С. Исследование структуры и свойств поршневого алюминиевого сплава, обработанного электронным лучом // Сварочное производство.- 1998.- № 11.- С.9-12.

4. Радченко М.В., Радченко В.Г., Кровяков К.С. Получение упрочненных слоев на поверхности поршней из силуминов методом электронно-лучевой наплавки // Сварочное производство.- 1999.- № 11.- С.48-51.

5. Кровяков К.С., Радченко М.В. Упрочнение кольцевых канавок поршня дизеля электронно-лучевой обработкой // Техника машиностроения.- 2000.- № 3.- С.23-25.

6. Радченко М.В., Радченко В.Г., Шевцов Ю.О. Упрочнение поверхности деталей и инструментов электронным пучком в вакууме // Сб. тезисов региональной научно-технической конференции.- Иркутск.- 1990.- С. 87-88.

7. Radchenko M.V., Shevtsov Yu.O., Batyrev N.I. Metallurgical coating made by electron beam surfacing/ 5 Int. Conf. On Electron beam techn.- Varna, Bulgaria, 1991.- P. 487.

8. Оценка твердости и пластичности слоев, созданных электронно-лучевым наплавлением в вакууме / М.В. Радченко, В.Г. Радченко, А.М. Кириенко, Ю.О. Шевцов // Металлург.- 1997.- № 8. – С. 33-35.

9. Радченко М.В., Белянина Т.Н. Исследование характера коррозионного износа защитных покрытий, выполненных методом электронно-лучевой наплавки порошковых сплавов в вакууме // Перспективные материалы, 1997.- № 6.- С. 56-60.

10. Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко В.Г. Комплексный анализ износостойких защитных покрытий, наплавленных электронными пучками в вакууме // Ползуновский вестник. – 2005.- №2 (ч.2).- Барнаул: Изд-во АлтГТУ.- С. 67-71.