

УДК 621.793.7.001.5(045)

Ю.В. БРУСИЛО

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Представлен сравнительный анализ технических характеристик и технологических параметров выпускаемого в настоящее время отечественного и зарубежного оборудования для электродугового напыления. Даны рекомендации по выбору оборудования для упрочнения и восстановления деталей двигателя внутреннего сгорания. Показано, что правильный выбор конструкции оборудования для напыления позволяет увеличить скорость и температуру струи транспортирующего газа и частиц, уменьшить диаметр капель, повысить плотность и снизить окисляемость покрытий. Использование в качестве распыляющего газа продуктов сгорания пропано-воздушной смеси позволит активировать процесс электродугового напыления.

Ключевые слова: поршневой двигатель, упрочнение, восстановление, покрытия, электродуговое напыление, оборудование.

Введение

Повышение надежности и долговечности деталей поршневых двигателей является важнейшей задачей двигателестроения. Увеличить надежность и долговечность деталей и тем самым уменьшить зависимость от зарубежных поставщиков, по основным наиболее дорогостоящим и металлоемким деталям, позволит использование технологий упрочнения новых и восстановлению изношенных деталей. Способ упрочнения и восстановления деталей, должен обеспечивать высокий ресурс эксплуатации деталей, экологическую чистоту производства, быть достаточно универсальным, простым и доступным.

В мировой практике, по разработке и применению технологий упрочнения и восстановления деталей поршневых двигателей, все большее внимание уделяется электродуговому напылению (ЭДН) [1 – 6]. Это обусловлено многими достоинствами метода, однако в первую очередь тем, что разработанное оборудование для электродугового напыления позволяет наносить покрытия по качеству, не уступающему покрытиям, нанесенным плазменным и детонационным методами.

1. Постановка проблемы

Качество наносимого покрытия, производительность процесса в значительной мере зависят от технических характеристик применяемого оборудования. При этом решающее влияние на эксплуатационные свойства покрытия оказывает конструкция оборудования. В настоящее время в эксплуатации находится широкая номенклатура установок для

электродугового напыления различных фирм. Однако не достаточно изучен и не проведен сравнительный анализ влияния основных технических характеристик установок для напыления на физико-механические свойства получаемых покрытий, не разработаны научно обоснованные рекомендации по взаимозаменяемости и применению оборудования для электродугового напыления. Вышеуказанные причины делают затруднительным правильный выбор оборудования для организации участков электродугового напыления и применение технологических процессов, обеспечивающих высокую производительность и качество покрытий, соответствующих современному мировому уровню развития данной области техники.

Электродуговое напыление находит в настоящее время самое широкое применение и постепенно вытесняет традиционный газопламенный метод. Это связано [2, 4], в основном, с более высокой производительностью электродугового метода (в 3...4 раза выше, чем при газопламенном напылении), распространенностью и доступностью источника энергии для плавления металла, получением более качественных покрытий с несколько большей прочностью сцепления с основным металлом, возможностью механизации и автоматизации процесса. Электродуговой метод обладает более высокой тепловой эффективностью, достигающей 57 % по сравнению с 13 и 17 % при газопламенном и плазменном напылении. Поэтому в последнее время наметилась тенденция к замене газопламенного напыления электродуговым напылением.

Анализ научно-технических источников и практических исследований за последнее [1 – 9] де-

сятилетие показали, что развитие оборудования для электродугового напыления идет по пути расширения технологических возможностей и увеличения ресурса работы, повышения производительности и удобства эксплуатации, сокращения потерь напыляемого материала и повышения качества покрытий. При этом основные усилия направлены на решение задачи управления параметрами газотермического потока: скоростью и температурой газа и частиц, коэффициентом сосредоточенности потока, гранулометрическим составом частиц, свойствами частиц и несущей среды.

Ведущие фирмы в области разработки и производства оборудования для газотермического напыления создают модульные системы установок электродугового напыления, большим преимуществом которых является совместимость отдельных узлов, таких как электрометаллизаторы, пакеты шлангов и т.д., со всеми источниками питания и специальной оснасткой, входящими в систему.

С целью получения покрытий с высокими характеристиками прочности сцепления, плотности, износостойкости и повышения ресурса деталей поршневых двигателей был сделан сравнительный анализ технических характеристик и технологических параметров выпускаемого в настоящее время оборудования для электродугового напыления, качества получаемых ним покрытий.

2. Результаты исследований

Наилучшими показателями обладает оборудование разработанное Физико-механическим институтом НАН Украины (г. Львов) совместно с ГМП «Газотермик» при ФМИ НАН Украины и оборудовании, производимое НПООО «МАД» (г. Минск).

Пути совершенствования конструкции оборудования для электродугового напыления и повышения защитно-энергетического уровня факела расплава была решена задача повышения физико-механических свойств покрытий за счёт снижения окисления диспергированного металла в факеле расплава и повышения скорости полёта частиц [7]. Оборудование для электродугового напыления монтируется на суппорте токарно-винторезного станка 16К20 и состоит из приводного механизма и механизма подачи, системы распыления. В приводной механизм входит электропривод (двигатель переменного тока) и одноступенчатый червячный редуктор с горизонтальной приводной осью. Выходные концы оси в верхней части оборудованы роликами, которые служат активными протяжными элементами правой и левой части механизма протяжки электродных проволок. Прижатие проволоки осуществляется пассивными роликами, которые размещены в откидной крышке

металлизатора. Правая и левая части подающего механизма электроизолированы между собой и корпусом металлизатора. Изменяя скорость вращения шпинделя и расстояние между суппортом и шпинделем, осуществляется регулирование скорости перемещения установки для электродугового напыления относительно поверхности образца и дистанции напыления. Толщина напыленного слоя регулируется скоростью перемещения металлизатора и числом его проходов относительно поверхности покрытия.

Для нанесения покрытий используются аппараты с различной дутьевой системой и геометрией сопла. В настоящее время известно несколько схем формирования гетерогенного металловоздушного потока при электродуговом напылении: диафрагмовая, центральносопловая, дифференциальная и закрытая [7]. В серийном производстве самое широкое распространение получила диафрагмовая схема, в частности она использована при изготовлении установок для электродугового напыления Барнаульского аппарата-механического завода и фирм "Metco" и "Mogul" в США. При использовании этой схемы формируется достаточно широкий металло-воздушный поток. Применение этой дутьевой системы эффективно для нанесения антикоррозийных покрытий. Центрально-сопловая схема использована в металлизаторе ЭМ-17 (г. Барнаул, Россия), где создается узкий металловоздушный поток, который является особенно эффективным при нанесении покрытий на тела вращения, например, на валы, в том числе и коленчатые [7, 10].

С целью повышения качества покрытий целесообразно использовать распылительную головку для металлизатора, в основу которой положена закрытая схема формирования металло-воздушного потока. В работе [7] отмечается преимущество аппаратов с закрытой схемой и дифференциальным соплом по сравнению с открытой схемой центрального сопла. Закрытая схема формирования металло-воздушного потока позволяет получать чрезвычайно мелкие фракции распыляемых частиц (диаметром менее 50 мкм), которые определяются высокой скоростью полета (50...130 м/с). Такую схему распыления следует использовать, когда возникает необходимость нанесения мелкодисперсного покрытия (50...200 мкм) распылением порошковых проволок, в состав шихты которых входят тугоплавкие компоненты. Закрытая схема формирования металло-воздушного потока использована в аппаратах производства ДМП "Газотермик" при ФМИ НАН Украины. Закрытая схема имеет свои преимущества в том случае, когда размер дуги в сечении становится соизмеримым с сечением цилиндрического канала, в котором она горит. Закрытая схема формирования металло-воздушного потока позволяет реализовы-

вать два режима напыления: непрерывный и импульсный. При уменьшении диаметра цилиндрической части сопла давление в сопле может стать равным давлению в дуге в промежутке. При таком соотношении давлений холодный воздух активно будет проникать в зону горения дуги и обусловит сокращение ее длины. Когда длина сократится настолько, что расплав замкнет дугу в промежутке, возникает импульсный режим. Соотношение давлений в дуге сильно зависит от диаметра сопла и мощности дуги. Экспериментально установлено, что чем больший диаметр сопла, тем большей должна быть мощность дуги, чтобы реализовался импульсный режим работы аппарата. При работе аппарата для ЭДН в импульсном режиме, торцы проволок, которые плавятся, становятся параллельными между собой. Жидкая фаза, замыкая торцы электродов-проволок, реализуется рейкотронный эффект. Рейкотронный эффект проявляется в том, что в щели между двумя параллельными направляющими электродами действует электродинамическая сила, которая направлена параллельно к поверхностям электродов, которые плавятся. Расплав выбрасывается электродинамическими силами из промежутка и возникает пауза, после которой цикл повторяется. Частота выбросов зависит от скорости подачи проволоки-электрода. Чем выше скорость подачи проволоки, тем выше частота выброса расплава. При таком способе электродугового напыления за счет рейкотронного эффекта порции жидкого металла получают дополнительный импульс, который повышает скорость полета в начальный момент и способствует диспергированию расплава. При использовании "закрытой" схемы максимальный размер распыленных частиц не превышает 50 мкм.

Оборудование для электродугового напыления характеризуется следующими параметрами: напряжение – 18...36 В, сила тока – 50...600 А, мощность дуги – 5...20 кВт, расстояние от сопла до напыляемой поверхности (дистанция напыления) – 50...200 мм, скорость продольного перемещения металлатора – 5...10 мм/об, частота вращения вала – 0...60 об/мин, давление сжатого воздуха (распыляющего газа) – 0,35...0,5 МПа, расход сжатого воздуха (распыляющего газа) – 60...150 м³/час, диаметр проволоки – 1,6...2,0 мм, скорость подачи проволоки – 0,05...0,35 м/с.

Установки для электродугового напыления, производимые НПО «МАД» (г. Минск) соединяют в себе достоинства электродугового и высокоскоростного напыления. Отличительной особенностью является наличие малогабаритной высокоэффективной камеры сгорания пропано-воздушной смеси, которая используется в качестве транспортирующего газа. Продукты сгорания образуют на вы-

ходе из сопла сверхзвуковую струю со скоростью свыше 1500 м/с при 2200 К.

Важное достоинство предлагаемой аппаратуры – работа камеры сгорания на пропано-воздушной смеси. Отсутствие кислорода в качестве окислителя топлива значительно снижает себестоимость наносимых покрытий и повышает надежность и безопасность проводимых работ. Оригинальная конструкция камеры сгорания, использование эффективного катализатора горения, отсутствие водяного охлаждения камеры и наличие устройства автоматического поджига смеси существенно повышает надежность оборудования и облегчает работу обслуживающего персонала.

Аппарат имеет следующие технические характеристики:

- диаметр применяемой проволоки – 1,5...2,2 мм;
- максимальный рабочий ток – 380 А;
- расход воздуха – 60 м³/ч;
- расход пропан-бутана – 0,011 кг/ч;
- габариты – 290×255×75 мм;
- масса аппарата – 3,1 кг;
- производительность при диаметре проволоки 2 мм:
 - по стали – 18,4 кг/ч;
 - по алюминию – 6,5 кг/ч;
 - по цинку – 16,8 кг/ч.

К конструкционным достоинствам предлагаемого оборудования следует отнести: быстросъемные распылительные головки, легкая и быстрая замена проволоки и переход с одного диаметра проволоки на другой, высокая электро-термозащищенность, отсутствие регулировок, быстрый доступ ко всем узлам аппарата, простые и быстро заменяемые токосъемные элементы, замена подающих роликов без разборки аппарата, блочно-узловая сборка, быстрое техобслуживание и ремонт.

В основе работы установок лежит процесс плавления проволок электрической дугой и распыление расплавленного металла высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси. В аппаратах используются восстановительные транспортирующие газы с оригинальной подачей через профилированные сопла, камера сгорания в системе подачи газов, особое взаимное расположение токоподводов и распыляющего сопла. Скоростной напор потока, выражающийся отношением кинетической энергии к единице объема газа и характеризующий силу, действующую на частицу в потоке, составляет 234 кПа по сравнению с 75 кПа при традиционном электродуговом напылении. При этом частицы расплавленного металла разгоняются в потоке до скорости 500 м/с и формируют покрытие, которое имеет прочность сцепления вдвое выше, чем при традиционном электродуговом напылении и достаточное для работы в самых экстремальных условиях, в том числе

и при наличии ударно-абразивного изнашивания. Использование в качестве расплывающего газа продуктов сгорания пропано-воздушной смеси значительно снижает окисление напыляемого материала и выгорание легирующих элементов. При равном отношении воздуха и пропана углерода в покрытии вдвое меньше, чем в исходном материале, а при распылении чистым воздухом (традиционное ЭДН) содержание углерода уменьшается почти в три раза. Условия образования, транспортировки частиц и формирования покрытия, отличные от других методов газотермического напыления, приводят к образованию иных структур в материале покрытия. Малое количество хрупких оксидов, значительное количество интерметаллидов, наряду с образованием закалочных структур и достаточно высокой пластичностью напыленного слоя создают предпосылки для использования данного оборудования при упрочнении и восстановлении ответственных деталей поршневых двигателей и существенно расширяют номенклатуру обрабатываемых деталей. Кроме того, в условиях высокоскоростного напыления происходит изменение коэффициента сосредоточенности материала в струе в сторону его увеличения, поскольку угол расхождения двухфазных сверхзвуковых струй меньше, чем дозвуковых и составляет $5...7^\circ$. Как следствие уменьшается диаметр пятна напыления, возрастает коэффициент использования материала. Он достигает 0,85 против 0,75 при традиционном электродуговом напылении.

Таким образом, к достоинствам аппаратов можно отнести: снижение окисления напыляемого материала и выгорание легирующих элементов; увеличение скорости частиц напыляемого материала; угол раскрытия струи не превышает 10 градусов; коэффициент использования материала увеличивается до 0,85 (против 0,75 у обычных аппаратов для ЭДН); пористость стальных покрытий $5...7\%$, плотность покрытий из алюминиевых сплавов приближается к плотности литого металла.

Заключение

На основании анализа результатов научно-технических, практических и экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

– основным преимуществом метода электродуговой металлизации является его высокая производительность, которая достигает 50 кг/г максимальное значение энергетических КПД распыления и напыления;

– основным недостатком электрометаллизационных покрытий является относительно низкая плотность ($60...70\%$) и прочность сцепления ($20...30$ МПа), что отрицательно влияет на качество покрытий и эксплуатационные свойства.

Устранить эти недостатки и сохранить преимущества метода электродугового напыления позволит использование для нанесения покрытий установки для электродугового напыления ЭМ-14 с закрытой схемой формирования металло-воздушного потока и аппарата для активированной электродугового напыления АДМ-8.

Применение закрытой схемы формирования металло-воздушного потока при электродуговом напылении [7] позволит получить покрытия с плотностью свыше 90 % и прочностью сцепления до 180 МПа.

Совершенствование оборудования для напыления [1 – 10], позволит увеличить скорость и температуру струи транспортирующего газа и частиц, уменьшить диаметр капель, повысить плотность и снизить окисляемость покрытий.

Используются в качестве расплывающего газа продукты сгорания пропано-воздушной смеси для активирования процесса электродугового напыления. Варьированием расходов пропана и воздуха можно создавать нейтральную или восстановительную атмосферу в зоне плавления электродной проволоки и тем самым снижать окисление металла и выгорание легирующих элементов [2, 4, 5].

Подбор состава напыляемого материала так, чтобы создать условия для протекания экзотермических реакций между его компонентами, для получения дополнительного количества тепла, которое выделяется при протекании реакции и создания покрытий из карбидов, оксидов, боридов, алюминидов и силицидов, которые увеличивают твердость покрытия [6 – 13].

Таким образом, анализ результатов исследований позволяет рекомендовать для упрочнения и восстановления деталей поршневых двигателей установки для электродугового напыления ЭМ-14 с закрытой схемой формирования металло-воздушного потока и аппараты для активированного электродугового напыления АДМ-8. Конструкция выбранного оборудования обеспечивает создание покрытий различного функционального назначения с высокими эксплуатационными свойствами, что очень важно для повышения ресурса деталей поршневых двигателей.

Литература

1. Мчедлов С.Г. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин / С.Г. Мчедлов // Свароч. пр-во. – 2007. – № 10. – С. 35-45.
2. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с.
3. Кудинов В.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование / В.В. Кудинов, Г.В. Бобров. – М.: Металлургия, 1992. – 250 с.

4. Куприянов И.Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления / И.Л. Куприянов, М.А. Геллер. – Мн.: Беларуская навука, 1990. – 176 с.

5. Куприянов И.Л. Электродуговая металлизация – перспективный метод нанесения защитных покрытий / И.Л. Куприянов, В.С. Ивашико, Г.И. Лытко и др. – Мн.: Беларуская навука, 1988. – 321 с.

6. Газотермические покрытия из порошковых материалов: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – К.: 1987. – 544 с.

7. Студент М.М. Розробка захисних та відновних електрометалізаційних покриттів з використанням порошкових дрітків: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.01 "Матеріалознавство" / М.М. Студент. – Львів, 1998. – 18 с.

8. Оборудование для восстановления деталей: [каталог]. – [М.: Информагротех, 1990]. – 40 с.

9. Сварочное оборудование, расходные материалы, вспомогательное оборудование, сырье для изготовления электродов, газосварочное оборудо-

вание, оборудование для специальных способов сварки, резки, наплавки и напыления: справочник / К: Салон «Сварка», 1994. – 100 с.

10. Воронай Н.М. Распределение температуры в воздушной струе и напыляемой основе при электродуговой металлизации / Н.М. Воронай, А.И. Мажейка, С.И. Маркович // Автоматическая сварка. – 2004. – № 5. – С. 18-21.

11. Современ. пробл. свароч. науки и техн. «СВАРКА-95»: матер. Рос. науч.-техн. конф., (Пермь, 23-25 мая, 1995). – Ч.1. – С. 103-105.

12. Козырев В.В. Получение и перспективы использования металлизированных порошковых материалов для упрочнения деталей машин / В.В. Козырев, М.Ю. Петров // Технология машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 40-41.

13. Сердобинцев Ю.П. Самофлюсующийся порошок для газотермического нанесения покрытий с пониженной температурой оплавления (ПГНТ-1) / Ю.П. Сердобинцев, А.Г. Схиртладзе // Технология металлов. – 2005. – № 6. – С. 17-18.

Поступила в редакцию 28.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой А.А. Тамаргазин, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОДУГОВИМ НАПИЛЕННЯМ

Ю.В. Брусіло

Представлений порівняльний аналіз технічних характеристик і технологічних параметрів вітчизняного та імпортного обладнання, яке випускається в теперішній час для електродугового напилення. Приведені рекомендації з вибору обладнання для зміцнення і відновлення деталей двигунів внутрішнього згорання. Показано, що правильний вибір конструкції обладнання для напилення дозволяє збільшити швидкість і температуру струї транспортуючого газу і часток, зменшити діаметр капель, підвищити щільність і зменшити окисляємість покриттів. Використання у якості розпилюючого газу продуктів згорання пропано-повітряної суміші дозволить активувати процес електродугового напилення.

Ключові слова: поршневі двигун, зміцнення, відновлення, покриття, електродугове напилення, обладнання.

SAMPLING OF THE EQUIPMENT FOR THE REINFORCEMENT AND RESTORATION OF RECIPROCATING ENGINES DETAILS BY THE ELECTRIC ARC SPRAYING

J.V. Brusilo

The comparative assaying of technical datas and technological parameters of the domestic now domestic and foreign equipment for an electric arc spraying is presented. Recommendations for choice the equipment for a reinforcement and restoration of details the explosive motor are given. It is displayed, that correct sampling of a construction of the equipment for a spraying allows to augment speed and temperature of a stream of carrying gas and corpuscles, to diminish diameter of drops, to raise density and to lower oxidizability of coverages. Use of in the capacity of volatilising gas of products of combustion of propano-air mixture will allow to activate process of an electric arc spraying.

Keywords: reciprocating engine, reinforcement, restoration, coverages, electric arc spraying, equipment.

Брусіло Юрій Володимирович – студент факультета ракетно-космічної техніки Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: alex@khai.edu.