

УДК. 691.793

**ЭЛЕКТРОДУГОВОЕ НАПЫЛЕНИЕ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫМИ СПЛАВАМИ  
В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ****канд. техн. наук, доцент В.М. КОНСТАНТИНОВ,  
А.С. ГУБАНОВ**

*Проанализированы перспективы совершенствования технологии восстановления некоторых деталей на ОАО «Проммашремонт». Предложена технология восстановления поверхностей коренных опор электродуговым напылением железоалюминиевой композиционной проволоки с содержанием алюминия 4 – 5 %, полученной путем диффузионного легирования. В результате исследований получено экспериментальное подтверждение эффективности предлагаемой технологии и перспективности применения электродугового напыления диффузионно-легированными сплавами в ремонтном производстве.*

Полоцкий завод ОАО «Проммашремонт» является одним из крупнейших ремонтных предприятий Республики Беларусь. Завод специализируется на проведении ремонтов карбюраторных двигателей легковых и грузовых автомобилей. При этом значительные объемы работ приходится на восстановление изношенных поверхностей деталей двигателя, к числу которых относятся коленчатый вал, распределительный вал, ступица шкива коленчатого вала, коренные опоры блока цилиндров и др. Эти детали являются, как правило, элементами трибосопряжений, поэтому они подвержены различным видам изнашивания. Исключение составляют коренные опоры коленчатого вала, которые удерживают коленчатый вал в корпусе блока и воспринимают основную нагрузку от усилия, передаваемого поршнем коленчатому валу при сгорании горючей смеси. В процессе работы опоры деформируются из-за значительных нагрузок, поэтому до 93 % блоков цилиндров нуждаются в восстановлении [1].

В настоящее время для восстановления указанных деталей на заводе используются технологии, включающие наплавку. При этом применяются прутки из медных и алюминиевых сплавов для восстановления коренных опор и проволока марки Св-30ХГСА – при наплавке под слоем флюса наружных цилиндрических поверхностей валов. Недостаток наплавки в том, что она снижает усталостную прочность деталей, нанесение большого слоя материала приводит к большим срезам при последующей обработке. При восстановлении коренных опор она проводится вручную с низкой производительностью и использованием труда высококвалифицированного сварщика. Расходуется дорогостоящие газ и присадочный материал (стоимость аргона – 2623 руб./м<sup>3</sup>, стоимость латунного прутка – 6230 руб./кг, стоимость алюминиевого прутка – 6920 руб./кг).

Очевидно, что применяемые технологии восстановления сопряжены с повышенным расходом материалов и энергоресурсов и требуют совершенствования.

**Цель работы** состояла в поиске эффективного и экономичного способа восстановления деталей в условиях завода ОАО «Проммашремонт».

Устранить указанные недостатки наплавки возможно, заменив ее более производительным и экономичным напылением. Кроме того, напыление является предпочтительным способом формирования покрытий, от которых требуется высокая износостойкость и твердость.

Среди всех способов газотермического напыления необходимо отметить электродуговую металлизацию. Электродуговое напыление (ЭДН) лучше других способов напыления по таким показателям, как тепловая эффективность, стоимость напыляемых материалов, простота обслуживания. Расход электроэнергии на 1 кг распыляемого материала при ЭДН составляет 0,6 кВт·ч/кг. При плазменном напылении удельные энергетические затраты составляют 5 – 7 кВт·ч/кг для порошкового напыления и 2 – 3 кВт·ч/кг – для проволоочного [2]. Относительная стоимость покрытий, полученных электродуговым напылением, в 3 – 10 раз дешевле покрытий, полученных другими методами газотермического напыления при обеспечении их высокой прочности, что видно из рис. 1 [3, 4].

Исследование кинетики взаимодействия напыляемого материала с кислородом при ЭДН показывает, что основное поступление кислорода (85 – 95 %) происходит в зоне горения дуги и диспергирования металла воздушным потоком (рис. 2) [5].

Это обусловлено чрезвычайно высоким значением коэффициента массопередачи в газе и большой удельной поверхностью частицы. На этой стадии весь поступающий кислород растворяется в металле частицы (участок ab). На стадии полета (участок bc) вследствие резкого падения предела насыщения идет только образование шлака за счет кислорода, выделяющегося из пересыщенного раствора и поступающего из атмосферы. Видно, что, обеспечив защиту металла от доступа кислорода на участке ab, можно снизить содержание оксидов в покрытии.

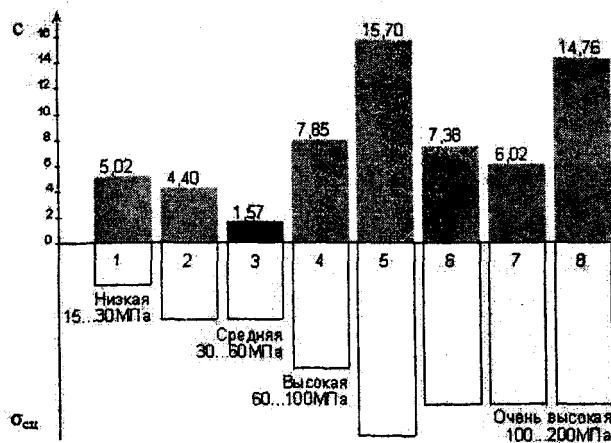


Рис. 1. Техничко-экономические показатели способов напыления:

1 – газопламенное порошковое; 2 – газопламенное проволочное; 3 – электродуговое; 4 – плазменное; 5 – детонационное; 6 – газопламенное сверхзвуковое; 7 – плазменное высокоскоростное; 8 – плазменное в динамическом вакууме; С – стоимость нанесения 1 кг покрытия, тыс. руб.; σсц – адгезионная прочность покрытия, МПа

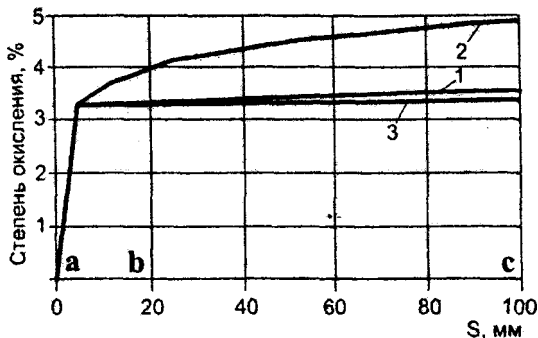


Рис. 2. Зависимость степени окисления капель Ψ:

1 – суммарная; 2, 3 – для крайних фракций (от дистанции полета частицы S)

Реально это достигается при использовании в качестве распыляющего газа защитных газов, используемых при сварочных процессах, например аргона, углекислого газа или пропановоздушной смеси. Такой механизм защиты нашел отражение в разработках активированной дуговой металлизации (АДМ-технологий) [6]. За счет особенностей сопла, применения активных газовых смесей в качестве распыляющего газа, рационального взаимного расположения сопла и электродов удалось снизить окисляемость покрытий, повысить прочность сцепления покрытий [6]. Разработанные аппараты довольно дороги (3500 у.е.), поэтому приобретение их зависит от финансовых возможностей предприятия.

Другим вариантом достижения высоких свойств ЭДН покрытий является применение композиционных самозащитных порошковых проволок. К числу таких можно отнести порошковую проволоку ПП-ТП-1, разработанную в ВНИИТВУД «Ремдеталь» (г. Москва, Россия) или ФМИ-2, разработанную в Физико-механическом институте им. Г.В. Карпенко НАН Украины (г. Львов, Украина). Защита от окисления и высокие свойства покрытий достигаются за счет взаимодействия компонентов порошковой шихты между собой, при этом происходят процессы восстановления оксидов и легирования стальной основы. Структура покрытий представляет собой слоистую систему, состоящую из вытянутых зерен (ламелей), фазовый состав которых соответствует твердому раствору хрома в α-железе, с мелкодисперсными включениями сложнелегированных боридных соединений хрома и железа [7]. Однако высокая стоимость порошковых проволок также ограничивает область их широкого применения. Наибольшего эффекта можно добиться сочетанием АДМ-технологий с применением порошковой проволоки.

Несмотря на большое количество разработок в области ЭДН исследования развиваются активно и в настоящее время, причем они приобрели направленность на рациональное активирование процесса.

Как показала практика, альтернативой дорогим самофлюсующимся никельсодержащим сплавам могут быть самофлюсующиеся диффузионно-легированные материалы на железной основе [8]. Поэтому как вариант рационального активирования процесса ЭДН была предложена технология напыления серийно

выпускаемой цельнотянутой проволоки, предварительно модифицированной флюсующе-упрочняющими элементами с помощью диффузионного легирования. Следует отметить, что проволока, получаемая после диффузионного легирования, имеет композиционное строение и состоит из наружного легированного слоя с высокой концентрацией легирующего элемента и сердцевины, не содержащей его (рис. 3).



Рис. 3. Диффузионно-легированная проволока  $\times 75$ :  
а – борированная при помощи ХТО; б – алитированная при помощи ЭХТО

Существующий градиент концентрации элемента в материале будет стремиться к выравниванию (диффузионному перераспределению) при нагреве, причем, чем выше температура, тем интенсивнее будет происходить процесс. Таким образом, если перевести такой материал в состояние плавления при непрерывном диспергировании воздушным потоком, то одновременно будет происходить диффузия легирующего элемента в расплаве и насыщение каплей расплава кислородом из атмосферы. При этом возможно интенсивное взаимодействие флюсующего элемента с кислородом. За счет такого взаимодействия предполагалось обеспечить защиту от окисления при ЭДН [9]. Для проверки этой гипотезы проводились исследования.

В качестве исходного материала выбиралась проволока на железной основе серийно выпускаемая промышленностью марок Св-08ГС, Св-30ХГСА диаметром 1,6 – 1,8 мм. Такой диаметр проволок обеспечивает стабильность напыления и высокую прочность сцепления при распылении из металлизаторов с распыляющими соплами диафрагменного типа (ЭМ-14) [9].

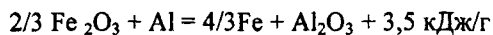
В качестве флюсующе-упрочняющего элемента использовался алюминий. О его положительном влиянии на структуру и свойства покрытий при ЭДН свидетельствуют ранее проведенные исследования [10, 11]. Увеличение содержания алюминия в исходной проволоке способствует повышению твердости покрытий (300 HV – максимальное значение). Это обусловлено уменьшением пористости покрытия, повышением структурной однородности и образованием интерметаллидов. Во всем интервале увеличения концентрации алюминия наблюдается монотонное возрастание адгезии и когезии. Положительное влияние алюминия на прочностные свойства покрытий можно объяснить присутствием зерен чистого алюминия в покрытии, что способствует релаксации напряжений растяжения в процессе формирования покрытий и последующего охлаждения [10].

Нанесение покрытий из проволоки производили электродуговым металлизатором марки ЭМ-14, при силе тока 180 А, давлении 0,50 – 0,55 МПа и дистанции напыления 120 мм. Напыление производилось на образцы из малоуглеродистой стали. Предварительная подготовка поверхности – пескоструйная обработка. Результаты исследований представлены в таблице.

Влияние времени химико-термической обработки (ХТО) проволоки на свойства покрытий

Время ХТО проволоки, ч	Толщина диффузионного слоя на проволоке, мкм	Расчетное содержание алюминия в проволоке, %	Прочность сцепления напыленного покрытия с подложкой, МПа	Твердость покрытия, HV	Пористость покрытия, %
1	50	1,8	18,4	215	14
2	110	3,8	23,8	255	11
3	140	4,8	26,1	280	10
4	170	5,7	27,2	290	10
5	190	6,3	27,8	295	9
6	210	6,8	28	300	9

В результате проведенных исследований установлено, что прочность сцепления напыленного покрытия с подложкой повышается с увеличением содержания алюминия, что согласуется с ранее проведенными исследованиями. Повышение прочности сцепления покрытий, скорее всего, обусловлено протеканием при напылении в расплаве капель экзотермических реакций:



С ростом содержания алюминия в проволоке возрастает прочность напыленного покрытия, но при этом возрастает хрупкость используемой проволоки. При продолжительности легирования более 6 ч проволока становится нетехнологичной. Таким образом, максимальное содержание алюминия в проволоке, получаемое диффузионным легированием, составляет 6,8 – 7 %. Этим значениям соответствует прочность покрытия 28 – 30 МПа.

С ростом содержания алюминия в проволоке твердость покрытия растет пропорционально увеличению толщины диффузионного слоя, твердость которого составляет 230 – 450 НВ, против твердости основного материала проволоки 180 – 220 НВ.

Таким образом, получено экспериментальное подтверждение эффективности и перспективности применения ЭДН диффузионно-легированными сплавами. Полоцкому заводу ОАО «Проммашремонт» была предложена технология восстановления поверхностей опор напылением методом электродугового напыления железоалюминиевой композиционной проволоки с содержанием алюминия 4 – 5 %, полученной путем диффузионного легирования.

Напыление и обработка экспериментальной партии крышек подтвердили возможность применения указанной технологии для восстановления корпусных деталей. Используя вместо наплавки ЭДН возможно снизить затраты на материал за счет снижения толщины наносимого покрытия на детали. Однако большего эффекта можно достичь заменив дорогостоящие латунь и алюминий на более дешевую стальную проволоку, диффузионно-легированную алюминием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коробко В.И., Иванов В.П., Семенов В.И. Технологическое оснащение ремонтного производства. – Мн.: Універсітэцкае, 1994. – 140 с.
2. Преимущества активированной дуговой металлизации. Ю.С. Коробов, В.Л. Луканин, А.С. Прядко, В.Л. Изойтко // Сварщик. – 2002. – № 2.
3. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
4. Теория металлургических процессов / Под ред. Д.И. Рыженкова. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.
5. Коробов Ю.С., Бороненков В.Н. Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металлизации // Сварочное производство. – 2003. – № 7. – С. 30 – 36.
6. Карп И.Н., Петров С.В., Рудой А.П. Установка для ЭДМ в сверхзвуковом потоке продуктов сгорания природного газа // Сварочное производство. – 1991. – № 2. – С. 22 – 23.
7. Похмурский В.И., Сидорак И.И., Студент М.М. Опыт применения порошковой проволоки ФМИ-2 для электрометаллизационного нанесения восстановительных покрытий // Сварочное производство. – 2002. – № 2. – С. 3 – 4.
8. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.
9. Губанов А.С. Диффузионно-легированная проволока для газотермического напыления // Материалы, технологии и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Мн.: УП «Технопринт»; Новополоцк: ПГУ, 2003. – 390 с.
10. Матвейшин Е.Н. Нанесение слоев с высокой прочностью сцепления методами электродуговой металлизации // Автоматическая сварка. – 2000. – № 8. – С. 20 – 22.
11. Порошковые проволоки систем FeCrB + Al и FeCr + Al + C для электродуговой металлизации / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунук, И.И. Сидорак // Автоматическая сварка. – 2002. – № 3. – С. 32 – 35.