

УДК 621.9.048.6

Шаповал А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНОВ ИЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЦИРКОНИЯ

Характерной тенденцией современного этапа научно-технического прогресса является широкомасштабное освоение наукоемких и экологически чистых технологий. В области машиностроения эта тенденция прослеживается, например, в развитии электроплазменных методов обработки [1–3]. Эффективность их в существенной мере определяется эксплуатационно-технологическими свойствами деформированных композиционных материалов с матрицей из меди или бронз и тонкими внутренними слоями из сплавов и металлов IVA и VA подгрупп. Указанные материалы применяют в электроплазменной технике в качестве активного элемента термохимических электродов, которые подвергаются экстремальным электрическим, термическим и эрозионным нагрузкам. Именно от работоспособности электродов зависит расширение сферы плазменной обработки [2].

Целью работы являлась разработка электрода и способа его изготовления, предусматривающие формирование в процессе соединения корпуса электрода и активной вставки плотного контакта между ними, а также создание технологии производства композиционного материала для активной вставки электрода плазмотрона с барьерным слоем из нитрида циркония.

Промышленное внедрение разработанной [4] технологии производства композиционных биметаллических материалов потребовало глубокого изучения влияния электрической дуги на структуру и химический состав рабочей зоны электродов. С этой целью в ГП «ИЦТС «Светкермет» и НПП «Тангстен» выполнено комплексное исследование электродов, полученных по разработанной технологии, с активными вставками диаметром $2,5 \times 2$ мм (сердечник – циркониевый сплав $110 : \text{Zr} + 1\% \text{ Nb}$; оболочка – циркониевая бронза БрЦр 0,1) в сравнении с электродами производства ведущих зарубежных фирм.

Установлено, что важнейшим показателем, определяющим ресурс электрода, является уровень теплопроводности и электрической проводимости через контактную поверхность между вставкой и обоймой, который обуславливается технологией изготовления электродов [3]. Совершенствование технологии изготовления электродов и увеличение их эрозионной стойкости позволяет не только экономить дорогостоящие электродные материалы, но и повысить производительность плазменных установок за счет сокращения частоты смены электродов, расширяет их технические возможности, обеспечивает получение продукции повышенного качества и снижает угар металла.

Плотный металлургический контакт между активным сердечником и оболочкой гарантированно обеспечивается в ходе деформации биметалла по разработанной нами технологической схеме [5].

Не менее важное значение имеет обеспечение надежного контакта между поверхностями корпуса электрода и оболочки. В случае, когда электрод изготавливают из цельного биметаллического прутка, ответственной за плотный контакт между корпусом и активной вставкой является технология обработки давлением композита. Из-за больших потерь дорогостоящего и дефицитного металла активного сердечника при вытачивании электродов из биметаллического прутка этот вариант технологии не нашел массового применения [6].

В комбинированном способе изготовления электродов соединение с корпусом активной биметаллической вставки осуществляется методом штамповки.

Авторами предложен и реализован в промышленности [7, 8] способ изготовления электрода, согласно которому, в процессе запрессовки активного элемента в обойму на торцевых поверхностях обоймы формируют кольцевые углубления параболического сечения.

На рис. 1 показана пресс-форма двухстороннего действия, обойма которой состоит из двух частей 7 и 8, соединенных штифтами 9. В полостях 10 обоймы размещен пуансон 6, рабочие торцы 1 которого имеют параболическую форму. Рабочая поверхность 3 штампа 4 также имеет параболическую форму. В ходе запрессовки активной вставки 2 в корпус 5 электрода на его поверхностях формируются углубления параболического сечения, которые позволяют интенсифицировать, с одной стороны, охлаждение корпуса, с другой – наружной – формирование струи плазмообразующего газа. Кроме того, более глубокое проникновение зоны пластической деформации в процессе штамповки повышает плотность контакта между корпусом и активной вставкой, что улучшает теплофизические характеристики электрода и повышает его ресурс.

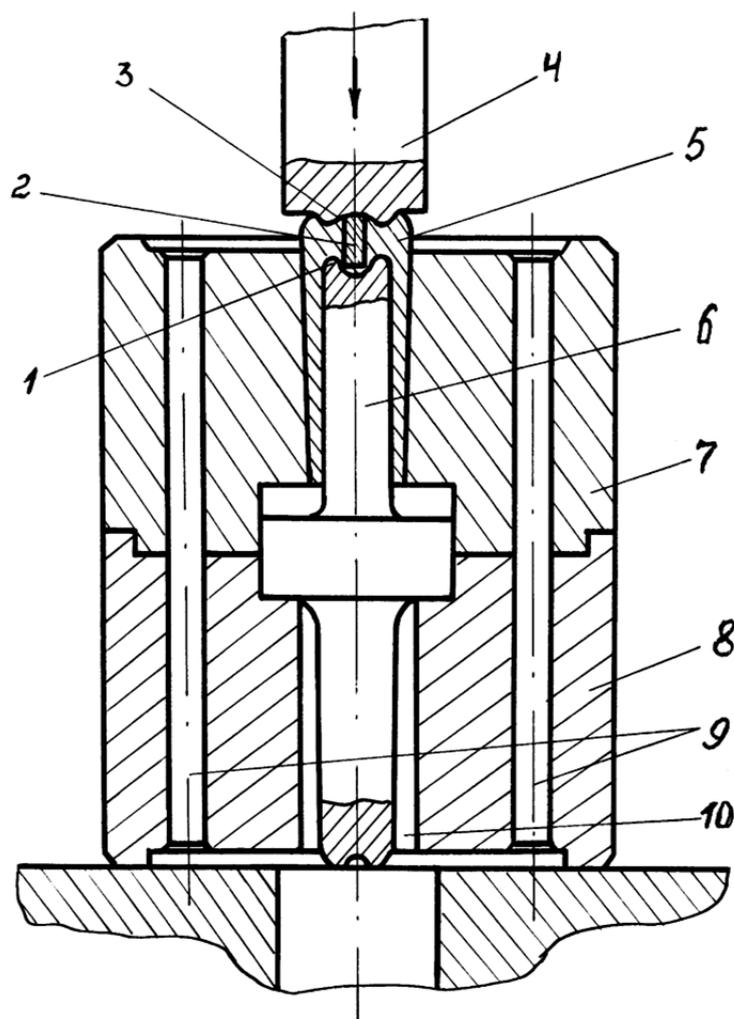


Рис. 1. Пресс-форма двухстороннего действия

Эффективным приемом, повышающим ресурс электродов, является введение в конструкцию электрода барьерных слоев между активной вставкой и корпусом. Известен, например, электрод плазмотрона, содержащий корпус из электропроводного материала и активный элемент с сердечником из циркониевого сплава, установленный в корпусе с промежуточным тугоплавким слоем, выполненным в виде нанесенного на активный элемент слоя коллоидального графита.

Недостатком данного электрода плазмотрона является недостаточная эксплуатационная стойкость, так как коллоидальный графит, представляющий собой ультрадисперсную суспензию графита в воде, не обеспечивает получения сплошного углеродного слоя и, следовательно, неизбежно появляются «мостики» непосредственного контакта материалов активного

элемента и корпуса. В результате имеет место взаимный диффузионный массоперенос материалов корпуса и активного элемента, образование локальных участков легкоплавкой эвтектики и выгорание электрода.

Авторами разработан [8] электрод новой конструкции с композиционным барьерным слоем, обеспечивающим повышение ресурса.

Повышение эксплуатационной стойкости достигается тем, что в электроде плазмотрона, содержащем корпус из теплопроводного материала и активный элемент с сердечником из циркониевого сплава, установленный в корпусе с промежуточным тугоплавким слоем, в качестве промежуточного слоя на сердечник нанесен слой нитрида циркония с подслоем чистого циркония, при этом промежуточный слой покрыт внешним слоем материала корпуса. Отношение толщины слоя нитрида циркония к диаметру сердечника 0,002–0,01, подслоя из чистого циркония имеет толщину 0,5–2,5 мкм, а сам промежуточный слой покрыт слоем из материала корпуса.

На рис. 2 показан предлагаемый электрод плазмотрона; на рис. 3 – активный элемент электрода, продольный разрез.

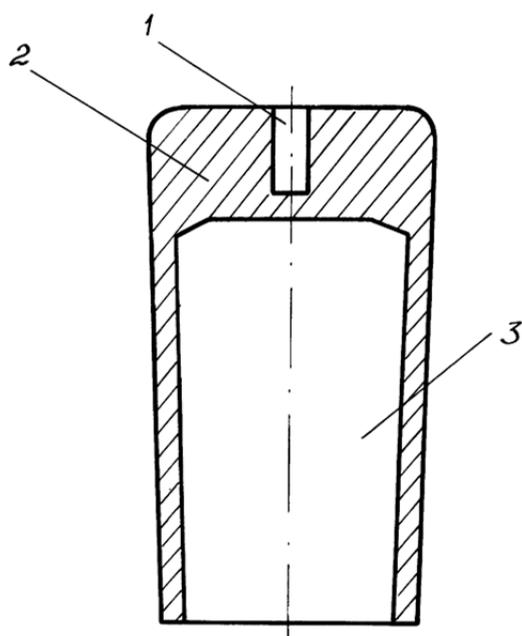


Рис. 2. Электрод плазмотрона

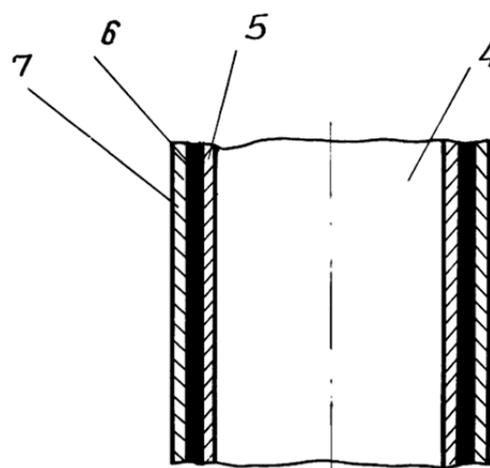


Рис. 3. Активный элемент электрода (продольное сечение)

Предлагаемый электрод плазмотрона содержит активный элемент 1, размещенный в корпусе 2, выполненном из материала с высокой теплопроводностью, например из меди, и содержащем полость 3 для подвода охлаждающей воды.

Активный элемент содержит сердечник 4 из циркониевого сплава, например сплава Э110 (основа – цирконий; 1 % масс. ниобия), на который нанесены последовательно подслоя 5 чистого циркония, слой 6 нитрида циркония, и внешний слой 7 из материала корпуса электрода, в данном случае – из меди. Активный элемент электрода соединен с корпусом путем запрессовки.

Изготовлением по разработанной технологии сердечника 4 активного элемента из сплава циркония с ниобием достигается высокая технологичность при производстве исходных прутков и проволоки, а также отсутствие в сердечнике расслойных трещин и несплошностей.

Наличие на поверхности сердечника из циркониевого сплава тонкого подслоя 5 чистого циркония позволяет, при горении дуги, создать положительный (от центра к периферии) градиент термоэмиссионных свойств активного элемента, что положительно сказывается на его стойкости.

Барьерный промежуточный слой 6 из нитрида циркония предотвращает диффузию материала корпуса электрода в активный элемент. Это обусловлено значительной тугоплавкостью нитрида циркония и его химической инертностью по отношению к близлежащим компонентам электрода.

Внешний слой 7 из меди позволяет повысить степень контакта активного элемента с корпусом электрода при запрессовке, поскольку на поверхность слоя 6 из нитрида циркония он может быть нанесен предварительно с обеспечением плотного контакта (например, осаждением), а с корпусом слой 7 соединяется плотно за счет химического сродства материалов корпуса и слоя и одинаковых физико-механических свойств.

Особенностью конструкции разработанного электрода является то, что отношение толщины барьерного слоя из нитрида циркония к диаметру сердечника составляет 0,002–0,01. При значениях указанного отношения, меньших 0,002, абсолютная толщина барьерного слоя при употребляемых диаметрах сердечника (2–2,5 мм) становится недостаточной для выполнения барьерных функций. При значениях указанного отношения более 0,01, диффузия материала корпуса в активный элемент прекращается и дальнейшее увеличение толщины барьерного слоя нецелесообразно.

Подслой 5 из чистого циркония имеет толщину 0,5–2,5 мкм. Испытаниями электродов установлено, что уменьшение толщины слоя ниже 0,5 мкм и увеличение свыше 2,5 мкм не оказывает существенного влияния на эксплуатационную стойкость электрода.

Толщина внешнего слоя 7 из материала корпуса электрода не регламентируется. Электрод плазмотрона получают следующим способом. Из материала с высокой теплопроводностью, например из меди, вытачивают корпус с посадочным отверстием под активный элемент. Активный композиционный элемент получают путем последовательного физического осаждения на сердечник-подложку (проволоку из циркониевого сплава) слоев чистого циркония, нитрида циркония и меди.

Осаждение нитрида циркония может производиться любым из известных способов, позволяющих проводить процесс осаждения при температурах подложки ниже температуры рекристаллизации материала активного элемента (при применении в качестве материала активного элемента циркония способ должен обеспечить осаждение нитрида циркония при температуре ниже 860 °С). Одним из таких способов является ионно-плазменный метод конденсации вещества в вакууме ионной бомбардировкой, позволяющий осаждать как чистый цирконий, так и нитрид циркония последовательно за один цикл.

После разогрева сердечников, покрытых слоем чистого циркония до 500–600 °С, в камеру подается азот и устанавливается опорное напряжение 90–110 В при неизменном токе подложки 2–2,5 А, при этом происходит осаждение слоя нитрида циркония. При токе подложки меньше 2 А и опорном напряжении меньше 90 В процесс осаждения резко замедляется и не носит устойчивого характера. С увеличением силы тока свыше 2,5 А и напряжения свыше 110 В в слое нитрида циркония появляются макрочастицы чистого циркония, что нарушает сплошность и однородность слоя нитрида циркония и отрицательно сказывается на его барьерных свойствах.

Исследования эксплуатационной стойкости электродов разработанной конструкции проведено в сравнении с электродами известного исполнения. Критерием эксплуатационной стойкости принят ресурс электрода – предельное количество зажиганий дуги при сохранении целостности рабочего торца электрода.

Как показали металлографические и рентгеноструктурные исследования зоны эрозивного кратера, повышение ресурса электродов обусловлено в определяющей степени барьерными свойствами слоя нитрида циркония (содержание меди в кратере снизилось в 3, 4 раза по сравнению с известными электродами). В то же время эта конструкция электрода плазмотрона характеризуется высокой плотностью контакта между сердечником и упомянутым слоем, чем интенсифицируется теплоотвод, снижается переходное электросопротивление.

Наличие внешнего слоя из меди на активном элементе обеспечивает увеличение плотности контакта между активным элементом и корпусом электрода и, как следствие, увеличение ресурса электродов.

Повышение ресурса электродов, достигнутое введением эффективного барьерного слоя, позволяет в более полной мере использовать возможности созданной в ИЭС им. Е. О. Патона плазменно-дуговой аппаратуры.

ВЫВОДЫ

Таким образом, экспериментальное исследование электрической эрозии и ресурса электродов с биметаллическими активными вставками, полученными по разработанной технологии, показало прямую связь между плотностью металлургического контакта компонентов и сварочно-технологической характеристикой – ресурсом. С учетом этого положения разработана конструкция электрода плазмотрона и способ его изготовления, которые предусматривают формирование в ходе сборки плотного контакта между компонентами уже между биметаллом и корпусом электрода.

Показано, что наличие барьерного тугоплавкого слоя между активным сердечником и корпусом электрода плазмотрона повышает ресурс электрода за счет ограничения диффузии материала корпуса в сердечник. Разработан композит для активного элемента электрода плазмотрона, состоящего из тугоплавкого сердечника (циркониевый, гафнийциркониевый сплав), получаемого по разработанной технологической схеме, на поверхность которого последовательно нанесены слои чистого циркония, нитрида циркония (барьерный слой) и материала корпуса (медь или циркониевая бронза).

Полученные результаты исследований подтверждают широкие технологические возможности разработанной технологии получения композитов в плане получения высококачественных активных тугоплавких композитов для плазменно-дуговой техники.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаповал А. Н. Получение и свойства биметаллической проволоки из циркониевых сплавов для плазменных технологий / А. Н. Шаповал // Цветные металлы. – 2000. – № 3. – С. 106–111.
2. Шаповал А. Н. Разработка композиционных материалов для активных элементов электродов плазмотронов / А. Н. Шаповал // Сварщик. – 2003. – № 5.
3. Опытнo-промышленный стан для бесконтейнерного прессования вольфрамoвых и молибденовых прутков / Драгобецкий В. В., Шаповал А. А., Савелов Д. В. и др. // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 4 (33). – С. 257–261.
4. Шаповал А. Н. Интенсивные процессы обработки давлением вольфрама и молибдена / Шаповал А. Н., Горбатюк С. М., Шаповал А. А. – М. : Издательский дом «Руда и металлы», 2006. – 352 с.
5. Амосов В. М. Электродные материалы на основе тугоплавких металлов / В. М. Амосов, Б. А. Карелин, В. В. Кубышкин. – М. : Металлургия, 1976. – 233 с.
6. Эсибян Э. М. Плазменно-дуговая аппаратура / Э. М. Эсибян. – Киев: Техника. – 1971. – 164 с.
7. Шаповал О. М. Одержання та властивості цирконієвих композитів – активного матеріалу електродів плазмoвого різання / О. М. Шаповал // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : Международный сборник научных трудов. – Донецк : Дон ГТУ, 1999. – Вып. 7. – С. 203–207.
8. Шаповал А. Н. Разработка технологии производства электродов плазменной резки металла / А. Н. Шаповал, В. И. Познанский, Ю. Г. Хохлов // Прогрессивная техника и технологии машиностроения : тезисы докладов Международной научно-технической конференции. – Донецк : Дон ГТУ, 1995. – С. 263.

Шаповал А. А. – канд. техн. наук, дир. НПП «Тангстен».

НПП «Тангстен» – Научно-производственное предприятие «Тангстен», г. Светловодск.

E-mail: tungsten@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.03.2013 г.