

УДК 621.789

Е. В. Овчинников, д-р техн., проф., **В. Ч. Белаш**,**Г. А. Костюкович**, канд. техн. наук, проф.

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь

Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: ovchin@grsu.by

ИННОВАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье представлены результаты исследований по разработке новых конструкций электроискрового оборудования, предназначенного для формирования аддитивных покрытий триботехнического назначения. В предложенной конструкции оборудования применяется схема вращающегося электрода, вместо возвратно-поступательного движения электрода в традиционных конструкциях. Проведенные исследования по определению значений твердости модифицированных стальных субстратов на разработанном электроискровом оборудовании показали, что данное конструкторское решение позволяет получить защитные покрытия, не уступающие по своим физико-механическим характеристикам покрытиям на стандартном электроискровом оборудовании. Проведен расчет экономической эффективности разработки для модифицирования металлообрабатывающего инструмента для действующего производства.

Ключевые слова: электроискровое легирование, конструкция, свойства, покрытия, металлы, плазма

Y. Aurchinnikau, V. Belash, G. Kostyukovich

INNOVATIVE DESIGNS OF ELECTRIC SPARK EQUIPMENT

The article presents the results of research on the development of new designs of electrospark equipment intended for the formation of additive coatings for tribotechnical purposes. The proposed equipment design uses a rotating electrode scheme, instead of the reciprocating movement of the electrode in traditional designs. The studies carried out to determine the hardness values of modified steel substrates on the developed electrospark equipment showed that this design solution makes it possible to obtain protective coatings that are not inferior in their physical and mechanical characteristics to coatings on standard electrospark equipment. The calculation of the economic efficiency of the development for modifying the metalworking tool for the existing production has been carried out.

Keywords: electrospark doping, design, properties, coatings, metals, plasma

1. Введение.

Нанесение электроискровых покрытий с применением RC-схемы и образованием так называемой «накопительной искры» приводит формированию защитных слоев с повышенными физико-механическими характеристиками по отношению к модифицируемому материалу и развитой морфологией. Сочетание данных характеристик дает возможность применять изделия, модифицированные данным методом, в узлах трения эксплуатируемых в условиях граничной смазки или ограниченного доступа смазочного материала в зону фрикционного контакта. Наличие различного рода углублений в структуре электроискровых покрытий будет играть роль микрорезервуаров, в которых находится смазочный материал и в случае его расходования в зоне трения обеспечится поступление смазки в зону фрикционного контакта за счет капиллярных эффектов, что позволит получить низкий коэффициент трения и высокую износостойкость эксплуатируемых изделий. Формирование высокотвердых защитных слоев на поверхности металлорежущего инструмента является перспективным направлением развития применения электроискровых покрытий. Данный вид покрытий необходимо формировать на большом негабаритном инструменте, предназначенном для металлообработки, где нанесение вакуумных покрытий методом PVD, CVD и PCVD невозможно вследствие больших геометрических размеров изделий.

© Овчинников Е. В., Белаш В. Ч., Костюкович Г. А.; 2022

Перспективным направлением развития полученных исследований является создание композиционных покрытий на базе электроискровых покрытий, модифицированных полимер-олигомерными соединениями по растворной или ротапринтной технологии. В виду того, что электроискровые покрытия обладают достаточно высокой шероховатостью, наличием пустот и каверн, то процессы коррозионного воздействия на границах раздела «субстрат-покрытие» будут протекать достаточно интенсивно. Для снижения данного явления предлагается формирование покрытий из растворов или ротапринтным нанесением на базе фторсодержащих соединений. Заполняя поверхностные дефекты ЭИЛ покрытий, данные соединения будут способствовать снижению коррозионных процессов, а также улучшению триботехнических характеристик композиционных покрытий [1-6].

Целью исследований является разработка конструкции электроискровой установки, принципиально отличающейся от имеющегося в производственной эксплуатации технологического оборудования.

Методика эксперимента.

Электроискровые покрытия формировали путем применения электрода ВК8 на электроискровых установках ЭИЛБ-1 и UR-121 В качестве подложек использовали сталь Р6М5. Покрытия наносили на металл в состоянии поставки и проводили шлифовку до чистоты не ниже 10 класса. Для измерения микротвердости покрытий, сформированных на металлах, использовали микротвердомер НВММТ-Х7.

Результаты исследований.

В ходе выполнения договора был разработан опытный образец установки электроискрового легирования ЭИЛБ-1. Прибор относится к области технологических процессов обработки металлов и может быть использован для электроискрового легирования (ЭИЛ) металлических изделий любой произвольной конфигурации: режущий инструмент, оснастка для штамповки, детали машин и механизмов, маркировка металлических деталей с нанесением цифробуквенной информации на поверхность, посадочные места для подшипников и т.д. ЭИЛ основано на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (электрода) на катод (деталь) при протекании импульсных разрядов в газовой среде. В результате ЭИЛ на поверхности детали формируется слой покрытия (0,01 – 0,2 мм), состоящий из износостойких, жаро- или эрозийно-стойких материалов. При использовании порошков, полученных по СВС технологии (самораспространяющийся высокотемпературный синтез), предварительно нанесенных на поверхность детали, возможно формировать покрытия (0,1 – 0,5 мм) на основе тугоплавких износостойких материалов (TiC, WC, CrC).

Усовершенствованная технология, сочетающая ЭИЛ и СВС, позволяет наносить покрытия из широкой гаммы тугоплавких соединений, которые повышают ресурс работы деталей. Технология позволяет восстанавливать работоспособность изношенных деталей и проводить упрочнение рабочих поверхностей новых деталей, что позволяет продлить срок службы узлов и агрегатов машин. Преимущества данного оборудования заключаются в следующем: надежность и сравнительная простота оборудования и технологического процесса; относительно небольшие габариты и вес оборудования и оснастки; мобильность оборудования и применимость его в условиях любого производства; возможность локального нанесения покрытия на детали; высокая прочность сцепления покрытия с подложкой (деталью); незначительность нагрева поверхности детали (не более 300°C); возможность формирования покрытий из любых токопроводящих ма-

териалов на любые токопроводящие детали; экологичность процесса. На рис. 1 представлена блок-схема данного прибора. В корпусе прибора располагаются следующие блоки:

- импульсный блок питания с выходным напряжением 24 В, максимальный ток в нагрузке 9 А;
- регулируемый понижающий модуль постоянного тока в диапазоне напряжений от 1.2 В до 20 В с максимальным током в нагрузку до 12 А
- четырехступенчатый блок накопительной емкости (2200 мкФ – 8800 мкФ);
- электромагнитный вибратор с регулируемой амплитудой колебаний (частота колебаний 50, 100 Гц).

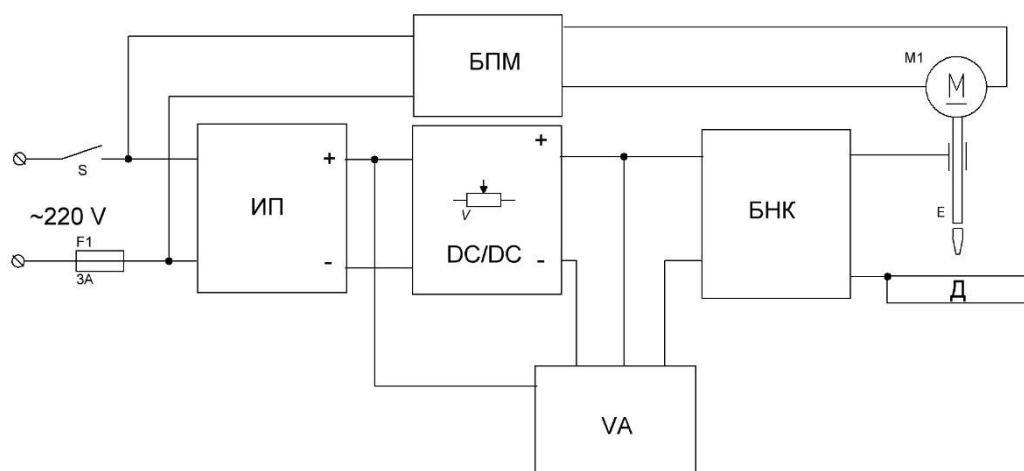


Рисунок 1. Блок-схема прибора

Внешний вид прибора представлен на рис. 2 – 3. На рис. 2 представлен манипулятор, с помощью которого осуществляют процесс электроискрового легирования.

Манипулятор вращающегося электрода представляет собой корпус с пистолетной ручкой. В нижней части ручки расположено отверстие для проводов питания электрода и электродвигателя манипулятора. Схема устройства манипулятора приведена на рис. 3.

Под металлическим кожухом (2) располагается электродвигатель (3) привода электрода, прикрепленный к рукоятке (1) (рис. 2). С помощью гибкой муфты (4) вращательный момент электродвигателя передается на вал с патроном крепления (6) электрода (7). Напряжение питания передается на рабочий электрод через графитовый контакт (5), который также выполняет роль подшипника вала с патроном крепления.



Рисунок 2. Конструктивные элементы разработанного электроискрового оборудования. а-блок питания прибора электроискрового легирования ЭИЛБ-1; б – Манипулятор вращающегося электрода

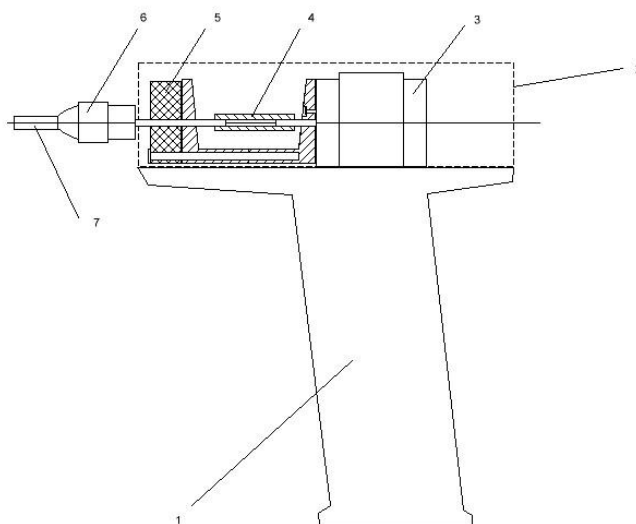


Рисунок 3. Устройство манипулятора вращающегося электрода

Проведенные исследования по модифицированию поверхности стального субстрата на данном оборудовании показали, что получаемые физико-механические характеристики покрытий на базе твердого сплава ВК8, фактически не отличаются от значений покрытий, получаемых на специализированном оборудовании UR-121 (Россия) (таблицы 1 – 2).

Таблица 1. – Физико-механические характеристики ЭИЛ покрытий, сформированных на установке ЭИЛБ-1.

Параметры нанесения на подложку Р6М5	Исходная подложка Р6М5	Режим нанесения			
		№1	№2	№3	№4
микротвердость Н, МПа	3590	8340	9440	9036	12200

Покрытия на установке ЭИЛБ-1 формировали при следующих режимах:

1. Режим нанесения №1: напряжение на выходе блока питания 12,2 В, электрическая ёмкость накопительного конденсатора 2200 мкФ;
2. Режим нанесения №2: напряжение на выходе блока питания 18 В, ёмкость конденсатора $C=2200$ мкФ;
3. Режим нанесения №3: напряжение на выходе блока питания 12,2 В, ёмкость конденсатора $C=8800$ мкФ;
4. Режим нанесения №4: напряжение на выходе блока питания 18 В, ёмкость конденсатора $C=8800$ мкФ.

Таблица 2. – Физико-механические характеристики ЭИЛ покрытий, сформированных на установке UR-121

Параметры нанесения на подложку P6M5	Исходная подложка P6M5	Режим нанесения			
		№1	№2	№3	№4
микротвердость Н, МПа	3590	7582	9600	10630	8350

Покрyтия на установке UR-121 формировали при следующих режимах:

- 1 Режим нанесения №1: 1 Norma;
- 2 Режим нанесения №2: 2 Norma;
- 3 Режим нанесения №3: 3 Norma;
- 4 Режим нанесения №4: 1 Turbo.

Нумерация режимов работы установки UR-121 приведена в соответствии с паспортными данными к прибору.

Полученные в ходе выполнения научно-исследовательских работ результаты послужили основой для разработки методологии создания защитных, антифрикционных покрытий, в частности, для ОАО «Белкард». Это позволило ОАО «Белкард» совершенствовать научную базу для расширения марочного ассортимента применяемого металлообрабатывающего инструмента на производстве и усилило конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке.

В прикладном аспекте данные работы позволили снизить затраты на приобретение обрабатывающего инструмента в 1,5 – 2,5 раза за счет увеличения эксплуатационного ресурса при обеспечении отечественных потребителей изделиями с требуемыми параметрами служебных характеристик.

Средняя стоимость применяемого в производстве металлообрабатывающего и протяжного инструмента равна 2 500 рублей для протяжки, 533 рублей для накатного ролика и 375 для пуансона. Тогда при стоимости одного процесса нанесения покрытия 250 рублей (100 у.е.) цена инструмента составит $2500+333=2833$ для протяжки (3 шт. в процессе), $533+106=639$ для накатного ролика (10 шт. в процессе) и $375+40=415$ для пуансона (10 шт. в процессе). Но, так как планируемая долговечность инструмента повысится не менее чем в 1,6 – 1,8 раза, то потребность в металлообрабатывающем и протяжном инструменте на ОАО «Белкард» уменьшится и составит в месяц 10 протяжек, 40 роликов и 50 пуансонов.

В течение года ОАО «Белкард» планирует выпустить продукции на сумму: протяжка – $2833 \times 120 = 339\ 960$ рублей; накатный ролик – $639 \times 480 = 255\ 840$ рублей; пуансон – $415 \times 600 = 240\ 000$ рублей.

Таким образом, прямой экономический эффект от применения модифицированных изделий составит:

$$\begin{aligned} \Delta_r = & (2500 \times 120 + 533 \times 480 + 375 \times 600) - \\ & - (2833 - 2833 \times 120 + 639 \times 480 + 415 \times 600) / 1,6 = 328\,425 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Одним из основных путей дальнейшего развития работ в данном направлении является создание опытного производства по выпуску оборудования для электроискрового легирования. В настоящее время оборудование, используемое для формирования покрытий методом ЭИЛ, широко применяется в автомобилестроении, авиационной и химической промышленности, агропромышленном комплексе. Согласно имеющимся в литературе данным в 2020 г. только в Японии было реализовано порядка 1000 шт. данного вида оборудования. С учетом того, что цена на рынке Союзного государства на оборудование ЭИЛ колеблется от 3750 рублей до 25 000 белорусских рублей, то экономическая целесообразность выпуска данного вида продукции является достаточно экономически целесообразной.

Заключение. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы на предприятиях, занимающихся литьем и обработкой цветных металлов, а также на предприятиях, занимающихся металлообработкой при производстве изделий машиностроительного назначения. Разработанная конструкция электроискрового оборудования позволяет существенно увеличить износостойкость металлообрабатывающего инструмента и технологической оснастки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Stojadinovic, S. Characterization of the plasma electrolytic oxidation of titanium in sodium metasilicate / Stojadinovic S, Vasilic R, Petkovic M, Kasalica B, Belca I, Zekic A, Zekovic L // Applied Surface Science – 2013 – Vol. 265 – P.226–233.
2. Овчинников, Е. В. Структурные особенности нанокпозиционных покрытий, получаемых методом электроискрового легирования / Овчинников Е. В. [и др.] // Горная механика и машиностроение. - 2020. - № 1. - С. 93-100.
3. Wang, R. J. Structural and interfacial analysis of WC92–Co8 coating deposited on titanium alloy by electrospark deposition / Wang R. J., Qian Y.Y., Liu J. // Applied Surface Science. – 2004. – Vol. 228 (1). – p. 405 – 409.
4. Nanocomposite corrosion-resistant electrospark coatings / Auchynnikaу Y.V // сборник: Fundamental and applied science today XXV – 2021 – p. 134–139.
5. Electric Spark Allouing of Metal Surfaces / A. E. Gitlevich [et al.]. – Kishinev: Stiintsa, 1985. – 196 p.
6. Gitlevich, A. E. Electrode processes during electrospark alloying – transformations at the cathode / A. E. Gitlevich, A. I. Mikhailuk, V. V. Mikhailov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 1995. – № 3. – P. 16-32.

Поступила в редколлегию 21.03.2022 г.