

УДК 621.762+621.923.74-408

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ-ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКЕ

Оглезнев Н.Д., Оглезнева С.А., Доливец О.В., Мазуренко К.А., Морозов О.П.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, fastrex@mail.ru

Рассмотрены требования к электродам-инструментам для электроэрозионной прошивки. Методом порошковой металлургии изготовлены композиционные материалы на основе меди с различным содержанием тугоплавкой фазы. Исследовано влияние содержания тугоплавкой фазы в системах «медь-тугоплавкий металл», «медь-графит», «медь-керамика» на пористость, электросопротивление, относительную износостойкость электродов-инструментов из композиционного материала. Установлено, что с увеличением содержания любой добавки, кроме графита, увеличивается пористость и электросопротивление композиционных материалов. Определено, что относительная износостойкость при электроэрозионной прошивке электрода-инструмента из композиционных материалов на основе меди, содержащих тугоплавкие металлы, более всего зависит от жаростойкости тугоплавкого металла; в системах на основе меди с неметаллами относительный износ уменьшается при использовании электропроводных и обладающих капиллярным эффектом керамических фаз.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, электрод-инструмент композиционный материал, медь, тугоплавкие металлы, графит, керамика, электросопротивление, эрозионная стойкость

STUDY EROSION RESISTANCE ELECTRODE TOOL FROM COMPOSITE MATERIALS FOR ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

Ogleznev N.D., Oglezneva S.A., Dolivets O.V., Mazurenko K.A., Morozov O.P.

Perm national research polytechnic university, Russia, Perm, fastrex@mail.ru

The requirements to the tool electrode are studied. Composite materials were made by powder metallurgy from copper with different content of the refractory phase. The influence of the content of the refractory phase of systems "copper-refractory metal", "copper-graphite", "copper-ceramics" on the porosity, electrical resistivity, relative wear resistance of the electrode made of composite material. It is found that by increase of the content of any additives, in addition to graphite, increases porosity and electrical resistivity of a composite material. It is determined that the relative wear resistance at EDM firmware electrode-tool made of composite materials based on copper, containing refractory metals, more just depends on the heat resistance of the refractory metal; systems based on copper with nonmetals relative wear is reduced when using electrically conductive and having a capillary effect ceramic phases.

Keywords: electrical discharge machining, the tool-electrode, composite material, copper, refractory metals, graphite, ceramics, electrical resistance, erosion resistance

Разработка новых технологических процессов создания эрозионностойких материалов, обладающих низкой стоимостью и высокой износостойкостью, представляет собой весьма важную задачу и имеет большое экономическое значение, так как эрозионный износ электродов - инструментов (ЭИ), изготовленных из меди, латуни, чугуна, может быть в 10-100 раз выше, чем объем снятого металла с детали, что значительно снижает эффективность или делает даже нецелесообразным применение метода электроэрозионной обработки (ЭЭО) [9]. Наиболее предпочтительными для удовлетворения требований к ЭИ являются композиционные материалы типа псевдосплавов. При переходе в такой гетерогенной структуре одной из фаз в жидкое состояние она силами поверхностного натяжения удерживается в порах тугоплавкой фазы, образующей капилляры [1]. В настоящее время разработаны композиционные материалы на основе меди с дисперсными добавками

окислов, боридов, нитридов и бора, позволяющие улучшить эксплуатационные свойства ЭИ [9]. При увеличении доли тугоплавкой составляющей повышается твердость и эрозионная стойкость электрода, но ухудшается электро- и теплопроводность, поэтому оптимизация состава материала может быть связана с заменой тугоплавкой фазы на твердую и электропроводную. В пользу улучшения износостойкости электродов за счет повышения электропроводности свидетельствуют исследования свойств электродов с токопроводящими покрытиями, например, покрытия из меди и цинка на стальные электроды [3, 10]. О этой причине физико-механические свойства медно-графитовых электродов лучше, чем графитовых – они менее хрупки, допустимая плотность тока больше, поэтому производительность выше [8]. Учитывая слоистую структуру карбосилицида титана, подобную структуре графита (обладающую капиллярными свойствами), и независимость его удельного электросопротивления от температуры, как у большинства карбидов [4, 6] можно считать карбосилицид титана новым перспективным наполнителем для матрицы электрода-инструмента.

Цель работы – исследование влияния физико-механических характеристик композиционных материалов электродов-инструментов на относительный износ при электроэрозионной прошивке сталей.

Материалы и методы исследования. Для изготовления электродов из композиционных материалов использованы порошки меди ПМС-1 (ГОСТ 49-60-75), хрома ПХ-1С (ГОСТ14-1-1474-75), молибдена МПЧ (ТУ 48-19-69-80), вольфрама ПВ-0 (ТУ 48-19-101-84) твердого сплава ВК-8 (92 % карбида вольфрама) (ГОСТ 3882-74), карбонитрида титана КНТ-20-80 (ТУ МИХМ-2009), карбида титана углетермического (ТУ 6-09-492-75), карбосилицида титана, полученного методом механоактивации в НЦПМ, препарат сухого коллоидального графита марки С-1 (ТУ 113-08-48-63-90). Порошок меди смешивали с порошками тугоплавких фаз, из смесей прессовали образцы, затем образцы отжигали в вакуумной печи и проводили повторное прессование, прессовки окончательно спекали в вакуумной печи при температуре 1100 °С, 2 часа. Испытания эксплуатационных свойств электродов [9] проводили при электроэрозионной прошивке листа стали Х12Ф толщиной 5,5 мм с твердостью 58 HRC на станке Electronica Smart CNC на черновых режимах обработки E81 (длительность импульса 100 мкс, пауза 32 мкс, сила тока 15 А) и E92 (длительность импульса 150 мкс, пауза 32 мкс, сила тока 20 А). Относительный износ электрода определяли по отношению глубины прошитого в стали отверстия к линейному износу электрода. В качестве РЖ использовалось масло EDM Oil – IPOL SEO 450.

Результаты исследования и их обсуждение. Экспериментальные исследования физико-механических свойств композиционных материалов системы «медь-тугоплавкий

металл» показали, что, при увеличении добавки тугоплавкой фазы у образцов увеличивается пористость, что связано с отсутствием химического взаимодействия при спекании меди с металлическими тугоплавкими фазами [4] и сокращением площади металлического контакта

Увеличение количества добавок с высоким электросопротивлением и одновременно рост пористости приводят к увеличению удельного электросопротивления композиционного материала, рис. 1. Оба фактора – пористость и электросопротивление – оказали влияние на относительный износ электрода: чем больше были пористость и электросопротивление композиционного материала, тем больше был износ (система медь-молибден), рис. 2 а, б.

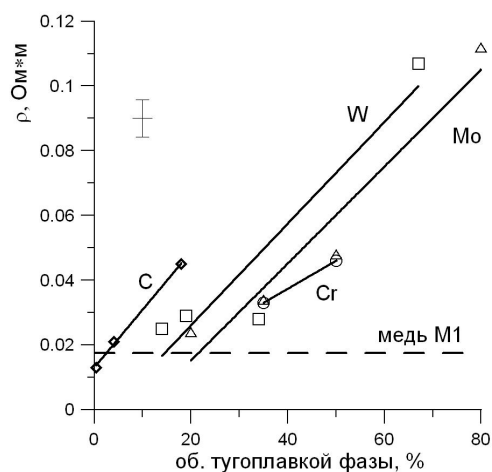


Рисунок. 1. Удельное электросопротивление композиционных материалов систем «медь-хром», «медь-вольфрам», «медь-молибден», «медь-графит» в зависимости от содержания тугоплавкой добавки

Относительный износ электрода из чистой меди на этих же режимах обработки E81и E92 составил, соответственно 5,6 и 6,9 %. Меньшее значение износа было в системах «медь-хром» и «медь-вольфрам». Относительный износ систем, содержащих молибден, был самым высоким, возможно ввиду окисления молибдена (оксид молибдена образуется при 600 °С и способен к испарению [7]). При исследовании относительного износа ЭИ на разных режимах, было установлено, что наилучшей износостойкостью обладают электроды системы Cu-Cr, на обоих режимах (E81 и E92) он показал наилучшие эксплуатационные свойства (относительный износ при одинаковом времени меньше в 2 раза).

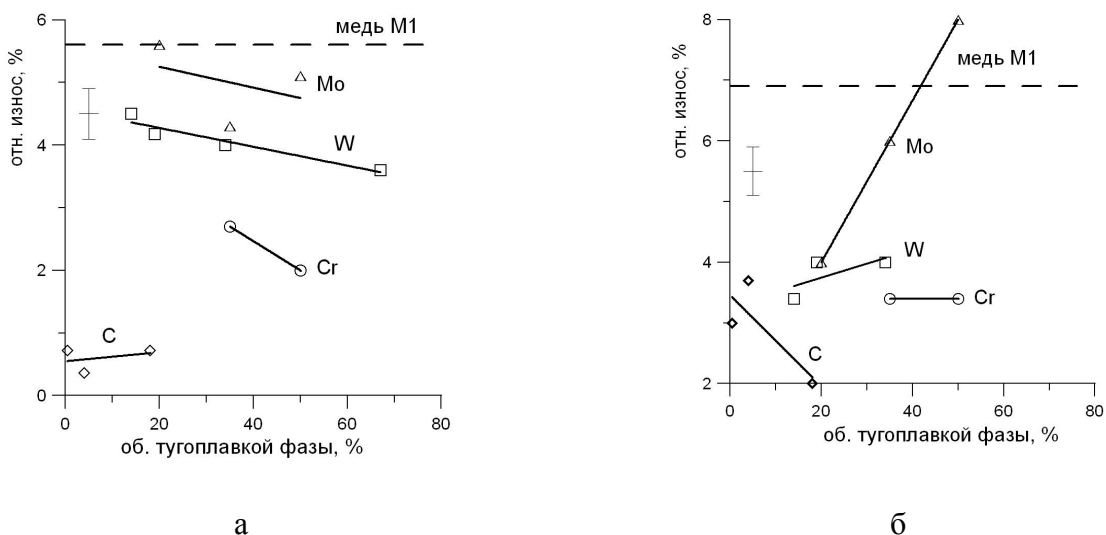


Рисунок. 2. Износ электрода от содержания тугоплавкой фазы в системах «медь-хром», «медь-вольфрам», «медь-молибден», «медь-графит» при электроэрозионной прошивке стали, а - при режиме E81, б - при режиме E92

В отличие от молибдена, взаимодействие хрома с кислородом протекает сначала довольно активно, затем резко замедляется благодаря образованию на поверхности металла оксидной пленки, которая разрушается при 1200 °С [7]. Особенно значительный износ был в системах с молибденом и вольфрамом на режиме E 92, что связано с окислением молибдена и вольфрама, а также более интенсивном плавлении меди в этих материалах за счет более высокого удельного электросопротивления.

При добавлении коллоидального графита к порошку меди пористость незначительно снижалась с увеличением его содержания, так как при прессовании меди с добавками графита, действующего как твердая смазка, в прессовке была достигнута более высокая плотность. Наблюдали незначительное повышение электросопротивления при увеличении объема коллоидального графита до 18 об. %, возможно, связанное с образованием дополнительной пористости при сокращении металлического контакта при спекании, ухудшающей свойства проводимости по сравнению с чистой медью, рисунок 1. Относительный износ ЭИ из спеченного порошка чистой меди был больше в 15 раз, чем в композиционных материалах «медь-графит», рисунки 2а и 2б.

В системе «медь-графит» улучшение эксплуатационных свойств достигнуто за счет низкого электросопротивления композиционных материалов даже с достаточно высокой пористостью (до 13 %). Кроме того, улучшение свойств обусловлено формированием трехмерной сетки из тугоплавкой фазы с меньшим размером ячейки (капилляра) за счет более высокой дисперсности частиц тугоплавкой фазы - графита.

При увеличении объема тугоплавкой керамической фазы у всех образцов увеличивается пористость ввиду сокращения металлического контакта при спекании.

Наибольшая пористость была у систем с карбидами вольфрама, титана и карбонитридом титана, так как эти соединения не взаимодействуют с медью [5], а наименьшая - в системах с карбосилицидом титана. При увеличении объема тугоплавкой фазы, обладающей высоким значением электросопротивления по сравнению с медью, наблюдали повышение электросопротивления, рис. 3.

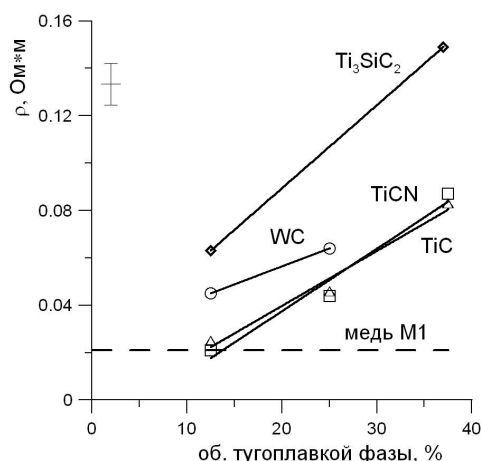


Рисунок. 3. Удельное электросопротивление композиционных материалов на основе меди с добавлением карбида вольфрама, карбида титана, карбонитрида титана, карбосилицида титана

Увеличение количества добавок с высоким электросопротивлением и одновременно рост пористости приводят к увеличению удельного электросопротивления композиционного материала. Наиболее высокие значения электросопротивления установлены в системах с карбосилицидом титана, у которых пористость была наиболее низкой, но, очевидно, имеется химическое взаимодействие с медью с образованием неэлектропроводных фаз. В системах с карбидами вольфрама и титана, а также с карбонитридом титана, электросопротивление было меньше и при увеличении количества тугоплавкой добавки изменялось незначительно, так как не было взаимодействия с медью этих добавок и рост электросопротивления был обусловлен только уменьшением объема меди в материале.

Относительный износ электродов-инструментов сравнивали между собой и с медью марки M1 при разных режимах прошивки, результаты испытаний по режиму E81 представлены на рис. 4, зависимости на режиме E 92 аналогичны результатам E81, но по абсолютным значениям немного больше.

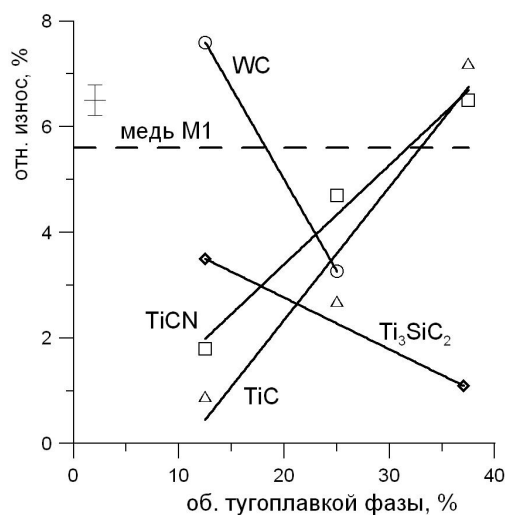


Рисунок. 4. Относительный износ электрода на основе меди с различным содержанием карбида вольфрама, карбида титана, карбонитрида титана, карбосилицида титана при электроэрозионной прошивке стали на режиме E81

При повышении концентрации WC в меди износ электрода при прошивке на режиме E81 уменьшался, рис. 4, при увеличении содержания от 12,5 до 25 %, так как в системе есть смачивание и образуется более прочный каркас из тугоплавких частиц, который удерживает расплав меди капиллярными силами [5], и чем больше объем твердой фазы, тем капилляры мельче и силы поверхностного натяжения больше. У систем с карбидом титана и карбонитридом титана износ электрода возрастал при повышении их концентрации, рис. 4 а,б, так как медь не смачивает поверхности этих тугоплавких фаз [5] и в этих материалах довольно высокая пористость. Однако, при невысоких концентрациях (12,5 %) относительный износ примерно в 2 раза меньше, чем у меди.

Износ электродов с Ti₃SiC₂ на обоих испытанных режимах был меньше, чем у меди, особенно на E81, рис. 4. Хорошие эксплуатационные свойства обусловлены низкой пористостью, а также вероятно, его слоистой структурой, образующей наноразмерные капилляры для удержания расплава меди, и постоянством электросопротивления карбосилицида титана в диапазоне температур при ЭЭО. На режиме E81 наиболее эффективно проявили себя системы медь-25%WC, медь-12,5% TiC и медь- 12,5 % TiCN. В режиме E92 - медь-12,5% TiC и медь- 12,5 % TiCN.

Выводы. В системах с отсутствием химического взаимодействия между медью и тугоплавкими фазами при увеличении концентрации тугоплавкой фазы увеличилась пористость, обусловленная сокращением площади металлического контакта при спекании композиционных материалов. К увеличению электросопротивления КМ привело увеличение количества добавки с высоким электросопротивлением, пористость и химическое взаимодействие между медью и добавкой. При исследовании относительного износа ЭИ при

прошивке инструментальной стали на черновых режимах было установлено, что наилучшей износостойкостью обладают системы: Cu-Cr за счет формирования прочного каркаса из хрома благодаря незначительному химическому взаимодействию с медью и жаростойкости хрома при температуре обработки (износ в 2 раза меньше, чем у M1); Cu-C за счет низкого электросопротивления, низкой пористости и формирования тонких капилляров в графитовой сетке, удерживающих расплавленную медь (износ в 8-15 раз меньше, чем у M1); Cu- Ti₃SiC₂ за счет низкой пористости, а также вероятно, его слоистой структуры, образующей наноразмерные капилляры для удержания расплава меди, и постоянства электросопротивления карбосилицида титана в диапазоне температур при ЭЭП; Cu-TiC, Cu-TiCN при содержании до 12, 5 об. % (износ в 2 раза меньше).

Список литературы

1. Авраамов Ю. С., Шляпин А. Д. Новые композиционные материалы на основе несмешивающихся компонентов: получение, структура, свойства. — М.: МГИУ, 1999. 208с.
2. Двойные и многокомпонентные системы меди / Под редакцией С.В. Шухардина: Наука. 1979. 248 с.
3. Елисеев Ю.С., Савушкин Б.П. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники /под ред. Б.П. Савушкина.- М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2010. 437с.
4. Заявка НА ИЗОБРЕТЕНИЕ: 99106787/02. МПК 7 В23Н1/04 ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОД ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ. БАРТЕЛЬ Бернд (DE), ГРООС Хайнрих (DE), ХЕРМАННИ Ханс (DE), ТАУБЕР Клаус (DE). Патентообладатель: БЕРКЕНХОФФ ГМБХ (DE). Заявл. 22.08.1997. Оpubл.: 20.03.2001.
5. Каченюк М. Н. Получение и исследование износостойкости композиционного материала на основе карбосилицида титана // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. — 2010 .— № 1 .— С. 23-27.
6. Косолапова Т.Я. Карбиды. М.: Металлургия. 1968. 300 с.
7. Пат. 2341839 Российская Федерация, МИК H01C7/00. Электропроводящий композиционный материал, шихта для его получения и электропроводящая композиция /Левакова О. К., Голобоков Н. Н., Китлер В. Д., Шульпеков А. М., Максимов Ю. М.; патентообладатель ТОМСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ТНЦ СО РАН). Заявл. 31.10.2007; опубл. 20.12.2008.
8. Свойства неорганических соединений. Справочник/ Ефимов А.И. и др. – Л.: Химия, 1983 - 392 с.

9. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов/ Под ред. В.П.Смоленцева. Т. 1. М.: Высшая школа, 1983.-247 с.

10. Ярмонов А.Н., Оглезнев Н.Д. Исследование влияния электропроводящего покрытия на износостойкость электродов-инструментов при электроэрозионной прошивке//ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО И СЕРВИС В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ [Текст]: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции (4-5 июня 2014 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); В 3-х томах, Том 2., Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. 310 с.С. 300-304.

Рецензенты:

Ханов А.М., д.т.н., проф., зав. каф. «Материалы, технологии и конструирование машин» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, г. Пермь.

Анциферова И.В., д.т.н., проф. каф. «Менеджмент и маркетинг» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, г. Пермь.