

## О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТУГОПЛАВКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОРОШКАМИ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО СПЕКАНИЯ

**Исследовано взаимодействие тугоплавких и жаропрочных материалов с металлическими порошками в процессе электроразрядного спекания (ЭРС). Полученные результаты могут быть полезными для развития теоретической технологии в порошковой металлургии. Установлены технологические принципы создания более стойкого комбинированного пресс-инструмента для электроразрядного спекания.**

В последние годы традиционные технологические процессы порошковой металлургии – прессование с последующим спеканием в печах – все чаще заменяются более производительными и эффективными методами, в которых совмещены процессы прессования и спекания, а спекание в печах заменяется электроспеканием. Эти методы более кратковременны, требуют меньших затрат энергии и труда, позволяют высвободить производственные площади, занятые оборудованием. Их применение дает возможность изготавливать изделия из таких порошков, как алюминий или содержащих его смесей, которые не поддаются обработке традиционными методами порошковой металлургии. К таким методам и относится способ электроразрядного спекания (ЭРС), который следует считать новым и перспективным, обеспечивающим использование теплоты, выделяющейся в результате электрических микроразрядов.

Вместе с тем, электроразрядное спекание характеризуется интенсивным массопереносом не только между компонентами спекаемых порошковых смесей, но и между порошковыми частицами и деталями прессформ. Результатом массопереноса, вызываемого электроразрядной обработкой являются процесс припекания (адгезии) порошка к электродам-пуансонам и матрицам, а так же возникновения новых фаз на контакте между порошком и электродом-пуансоном.

В этой связи принципиальное значение для использования способа в промышленности приобретает проблема выбора и разработки материалов для пресс-инструмента – электродов-пуансонов и матриц, изыскания путей повышения его эксплуатационной стойкости.

Существующие рекомендации и отрывочные сведения по материалам пресс-инструмента для ЭРС являются недостаточными, и они нуждаются в опытной проверке.

В настоящей работе предлагаются одно из возможных решений этой задачи. Полное решение этого вопроса невозможно без детального исследова-

ния взаимодействия в системах электрод-пуансон – спекаемый порошок, матрица – спекаемый порошок и установления общих закономерностей взаимодействия в этих системах с различными металлами в процессе электроразрядной обработки.

Методика включала проведение процесса электроразрядного спекания на установке, сконструированной и изготовленной в Институте проблем материаловедения Академии Наук Украины.

Для создания более стойких инструментальных материалов были взяты за основу жаропрочный графит марки МПГ-6, жаропрочная инструментальная сталь 3Х2В8Ф, асбестоцемент и весьма широкий класс металлоподобных и ковалентных тугоплавких соединений ( $TiC$ ,  $Cr_3C_2$ ,  $TiN+Si_3N_4$ ,  $AlN$ ,  $Si_3N_4$ ,  $Al_2O_3$ ), используемых в качестве облицовок или покрытий электродов-пуансонов и матриц. Спекались такие типичные и широко применяющиеся объекты порошковой металлургии, как порошки железа, меди, никеля, алюминия, титана и некоторые смеси на их основе.

Изучение взаимодействия различных тугоплавких и жаропрочных материалов с рядом металлических порошков в процессе электроразрядной обработки проводилось с применением современных физических методов исследования.

Твердофазное взаимодействие в системах электрод-пуансон – спеченный порошок исследовалось на образцах полученных путем запрессовывания компактных образцов из исследуемых жаропрочных материалов в порошок, который подвергался электроразрядному спеканию.

Изучение микроструктуры зоны контакта в системах жаропрочный материал – спеченный порошок проводилось с помощью металлографического анализа на микроскопе МИМ-8М, фазовые превращения в поверхностных контактных слоях электродов-пуансонов контролировали рентгенографическим фазовым анализом на установках ДРОН-0,5 и УРС-50И. Концентрационные кривые распределения элементов по глубине зоны проникновения в системе электрод-пуансон – спеченный

порошок снимались с помощью микрорентгеноспектрального (проводимого на установке IXA-5) и послыйного микроспектрального анализом. Измерение микротвердости в зоне контакта проводилось на установке ПМТ-3. Микрорельеф поверхности электродов-пуансонов определяется на профилографе «Калибр-ВЭИ».

Покрyтия из тугоплавких соединений на графите и сталях получали следующими методами: диффузионным насыщением, электроискровым легированием, детонационным напылением, плазменным напылением.

### **Исследование взаимодействия графита с порошками Al, Ti, Cu, Ni при электроразрядном спекании**

Исследовано взаимодействие графитовых электродов-пуансонов с порошками Al, Cu, Ti, смесью порошков Cu+Ni при их электроразрядном спекании. Установлено, что при доведении порошка алюминия до оплавления (эффективная плотность тока  $4 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup>) происходит пропитка металлом графитовых электродов-пуансонов, которые имеют существенную исходную пористость.

Исследование процесса пропитки графитовых электродов-пуансонов алюминием показало, что воздействие давлением  $\sim 10^2$  МН/м<sup>2</sup> (1 тс/см<sup>2</sup>) интенсифицирует процесс пропитки, глубина пропитки за 1 цикл составляет 5-6 мм, степень пропитки достигает 70 %.

Полученный эффект пропитки графита алюминием в процессе электроразрядного спекания можно объяснить тем, что электрические микро-разряды возникают не только между частицами алюминия, но и между поверхностью электрода-пуансона и частицами алюминия в результате чего происходит разрушение окисных пленок частиц алюминия и их частичное оплавление. Известно, что алюминий не смачивает графит до 1200 °С, но разрушение окисной пленки улучшает смачивание графита алюминием, что и приводит к проникновению частиц и капель алюминия в поры графита как за счет капиллярных сил, так и сил внешнего давления.

Явление пропитки пористых графитовых электродов-пуансонов обнаружено так же и при спекании бронзового порошка.

При исследовании графитовых электродов-пуансонов, использовавшихся при ЭРС титана, обнаружено образование в зоне контакта карбида титана, толщина слоя которого достигает 50-100

мкм (длительность обработки 90 с) и сильное схватывание спекаемого объекта с электродами-пуансонами.

В процессе электроразрядной обработки меди и смеси медь-никель с использованием графитовых электродов-пуансонов возникновения дополнительных фаз в контактной зоне не установлено и припекания не наблюдается.

Установлено сильное выгорание графитовых электродов-пуансонов в результате взаимодействия с воздухом, что ограничивает их использование до 10 спеканий. Таким образом, графитовые электроды-пуансоны могут быть рекомендованы для электроразрядного спекания порошков меди, смеси медь-никель, причем стойкость графита определяется его стойкостью против окисления.

### **Исследование условий получения и свойств композиционных материалов на основе графита и углеродной ткани, пропитанных алюминием**

Обнаруженный экспериментальный факт пропитки графита алюминием представляет значительный интерес для получения композиционного материала для трения на основе графита и алюминия методом ЭРС. Для получения этого композита использовался графит МПГ-6 и алюминиевый порошок ПА-4. Режим электроразрядной обработки для получения композита графит-алюминий: давление подпрессовки 6 МН/м<sup>2</sup>, эффективная плотность тока 370 А/см<sup>2</sup>, частота переменной составляющей 2750 Гц, время обработки 120 с, давление прессования 100 МН/м<sup>2</sup>. Метод ЭРС для получения композиции графит-металл является более простым и экономически целесообразным, он не требует приготовления расплава, раздельного нагрева изделий и металла, создания вакуума, что позволит получить значительный экономический эффект при внедрении этого способа в промышленность.

Полученный композит может найти применение при изготовлении щеток электрических бритв, автотракторных электрических машин, уплотнительных или контактных колец в электрических машинах, электроприборах.

Метод электроразрядного спекания является перспективным способом получения новой перспективной композиции алюминий – углеродное волокно. Для получения указанной композиции использовалась углеродная лента ЛУ-1М. Алюминий использовался в виде порошка марки ПА-4 или фольги марки АМП-2.

Получение образцов композиции алюминий – углеродное волокно осуществлялось в пресс-форме из графита МПГ-6, в которую послойно укладывалась углеродная лента и фольга или вместо фольги засыпался порошок алюминия. Получены образцы с однонаправленным расположением волокон.

Исследования влияния параметров процесса электроразрядной обработки на механические свойства полученной композиции показали, что существенное влияние на прочность при изгибе оказывают давление подпрессовки, время обработки и эффективная плотность тока. Варьируя эти параметры, удалось получить материал, обладающий прочностью при изгибе 300-350 МН/м<sup>2</sup>.

Существующие технологии получения композиции алюминий – углеродное волокно сложны и не позволяют реализовать все потенциальные возможности, заложенные в матрице и упрочнителе. Метод ЭРС может оказаться перспективным, экономически целесообразным и достаточно простым.

#### Исследование взаимодействия графита, покрытого тугоплавкими соединениями, с металлическими порошками при электроразрядном спекании

На основании исследований установлено, что комплексное покрытие на графите с включением ковалентных тугоплавких соединений (TiN+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) обладает большей адгезией к графиту, чем покрытия из металлоподобных тугоплавких соединений, представленных карбидами хрома и титана. Этим объясняется отсутствие трещин и отслаивания этого покрытия, в то время как покрытия из карбида хрома и карбида титана в процессе ЭРС трескаются и отслаиваются.

С помощью микроспектрального анализа показано, что существенное взаимодействие карбидохромового покрытия с железным порошком в процессе его электроразрядного спекания объясняется интенсификацией диффузионных процессов на контакте электрод-пуансон – спекаемый порошок. В процессе ЭРС железо интенсивно проникает в карбидохромовое покрытие и далее в графит. Хром из покрытия (рис. 1) переносится как в железо, так и в графит. Глубина проникновения хрома в железо составляет 35 мкм, при эффективной плотности тока  $4,6 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> и длительности обработки 60 с.

Отсутствие взаимодействия комплексного покрытия из TiN+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> с железным и медным порошком позволяет рекомендовать графитовые электро-

ды-пуансоны, покрытые этим составом, для ЭРС железа и меди, учитывая также их высокую стойкость против окисления.

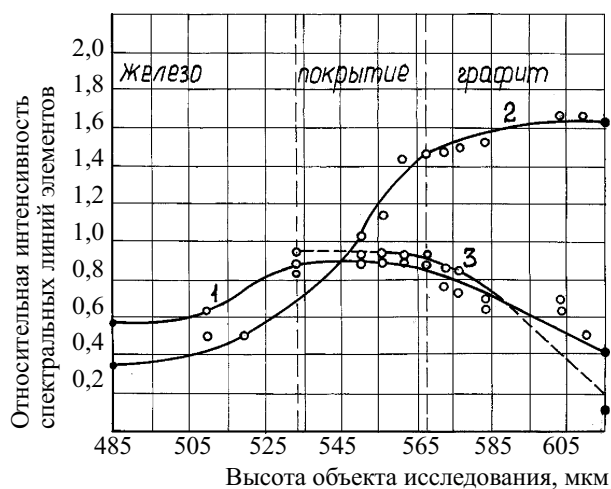


Рис. 1. Распределение элементов в системе графит – карбидный слой – железо после ЭРС железного порошка по данным послойного микроспектрального анализа: 1 – хром; 2 – углерод; 3 – железо.

#### Исследование стойкости электродов-пуансонов из жаропрочных инструментальных сталей и их взаимодействия с порошками Cu, Ni, Mo, Al, Ti при электроразрядном спекании

На основании исследований стойкости и поведения электродов-пуансонов из стали 3Х2В8Ф установлена потеря формы электродами-пуансонами под нагрузкой, что связано со снижением твердости, разупрочнением электродов-пуансонов в процессе их эксплуатации.

Причиной разупрочнения стальных электродов-пуансонов является обеднение твердого раствора легирующими элементами (W, C) вследствие резкого увеличения количества карбидной фазы состава Fe<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C в поверхностном слое, толщиной ~ 120 мкм. Металлографические исследования также показали, что параллельно в процессе старения интенсивно протекает коагуляция карбидной фазы в поверхностных слоях электродов-пуансонов из стали. В исходном электроде-пуансоне карбидные включения в основном были размером от 1 до 4 мкм и распределены равномерно, в работавшем электроде-пуансоне размеры карбидных включений колеблются от 4 до 20 мкм, причем распределение их неравномерно.

Электроды-пуансоны из стали 3Х2В8Ф не взаимодействуют с медью и могут быть рекомендо-

ваны для более успешного применения их по сравнению с выгорающим графитом.

С помощью микрорентгеноспектрального и рентгенофазового анализов установлено существенное взаимодействие стальных электродов-пуансонов с порошковыми смесями Cu+Ni, Ni+Mo, а также с Al и Ti. В качестве примера на рис. 2 приведены данные микрорентгеноспектрального анализа, выполненного с помощью микроанализатора JXA-5; эти данные характеризуют взаимодействие в системе сталь 3Х2В8Ф – медно-никелевый сплав. Из рис. 2 видно, что имеет место диффузия железа в медно-никелевый сплав (кривая 1) и никеля в сталь (кривая 2).

Благодаря большей тепло- и электропроводности металлических электродов-пуансонов увеличиваются теплототери в процессе спекания по сравнению с использованием графитовых электродов-пуансонов.

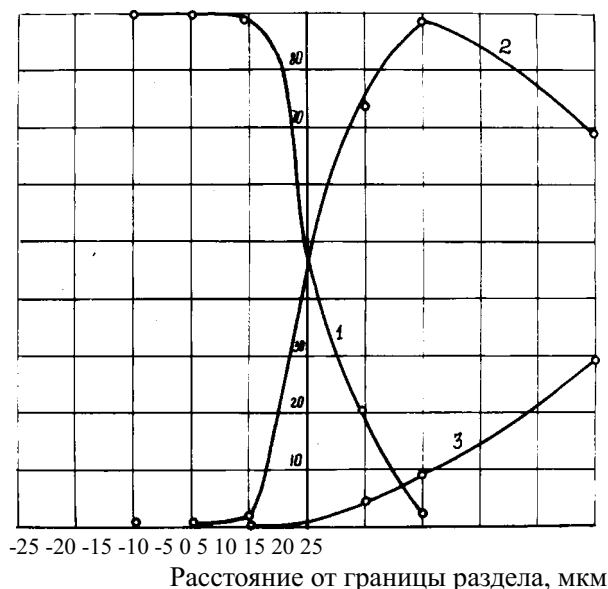


Рис. 2. Распределение элементов в системе сталь 3Х2В8Ф – Cu+Ni после ЭРС по данным микрорентгеновского анализа (по оси ординат отложены относительно

$$\frac{C_i}{\sum_{i=1}^3 C_i}:$$

1 – железо; 2 – никель; 3 – медь.

### Исследование взаимодействия жаропрочных инструментальных сталей, покрытых тугоплавкими соединениями, с металлическими порошками при электроразрядном спекании

Для снижения теплототерь, а также уменьшения взаимодействия с металлическими порошка-

ми проведены исследования по покрытиям электродов-пуансонов из стали 3Х2В8Ф.

В результате установлено, что наиболее приемлемыми способами нанесения покрытий на жаропрочную сталь 3Х2В8Ф являются диффузионное насыщение и плазменное напыление карбидов хрома и титана. Электроды-пуансоны из стали 3Х2В8Ф с такими покрытиями обеспечивают качественное спекание порошков меди, железа, смесей Cu+Ni, Cu+Sn+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Разработанные в результате этих исследований рекомендации, касающиеся электродов-пуансонов, используются в технологическом процессе производства хонинговальных брусков методом электроразрядного спекания, внедренном в особом конструкторско-технологическом бюро Института проблем материаловедения Академии Наук Украины.

Покрытия из карбидов хрома и титана не препятствуют взаимодействию электродов-пуансонов с металлическими порошками алюминия и бронзы в случае их оплавления. Порошок титана взаимодействует при спекании в твердой фазе.

### Исследование условий получения и свойств некоторых износостойких антифрикционных материалов

Метод электроразрядного спекания опробован для получения износостойких композиционных материалов матрично-наполненного типа. Проведено исследование по выбору оптимального содержания наполнителя и размера его фракций для обеспечения оптимальной работоспособности материала.

Для нахождения оптимального режима ЭРС образцов композиции стеллит-бронза использован метод математического планирования эксперимента.

Исследование износостойкости композиционных материалов позволяет сделать вывод о том, что несущая способность композиционных материалов в 1,5-2 раза превышает несущую способность матричной основы, а максимальную нагрузку выдерживает композиция содержанием сормита 60% (по массе) крупной фракции (табл.). Имеется тенденция к уменьшению предельной нагрузки с уменьшением размера фракции наполнителя. Содержание наполнителя незначительно сказывается на износе контртела, более существенное влияние на износ оказывает фракция наполнителя: износ контртела увеличивается с уменьшением фракции наполнителя.

Показано, что с повышением скорости скольжения средний коэффициент трения уменьшается для пар трения с композиционными материалами и увеличивается для пар трения с матричной основой Бр. 010 (табл. 1).

Способ электроразрядного спекания композиций стеллит-бронза, сормайт-бронза имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной технологией: не требуется длительных трудоемких операций при подготовке к пропитке, не используется инертная среда и вакуум, процесс кратковремен и является экономически целесообразным.

Применение способа электроразрядного спекания перспективно при получении антифрикционных износостойких композиционных материалов и, в частности, подшипниковых материалов матрично-наполненного типа, успешно испытанных в опорах скольжения шарошечных бурильных долот.

Исследование поведения электродов-пуансонов из стали с покрытиями карбидов хрома и титана, полученными при диффузионном насыщении, при ЭРС стеллито-бронзовых композиций показало, что схватывания в этих случаях нет, но покрытие в связи с его малой толщиной (10-20 мкм) продавливается зёрнами твердого наполнителя. Установлено, что наиболее перспективным из использованных методов упрочнения рабочей поверхности электродов-пуансонов для ЭРС композитов матрично-наполненного типа является метод плазменного напыления. Электроды-пуансоны из стали 3Х2В8Ф с карбидтитановым покрытием на никелевой связке, полученным плазменным напы-

лением, обеспечивают многократное спекание композитов без отслоения покрытия. Этот инструмент позволил осуществить технологию ЭРС стеллито-бронзовой композиции.

### Исследование взаимодействия в системах ковалентные тугоплавкие соединения – спекаемый порошок

С целью выбора наиболее перспективных материалов матриц для электроразрядного спекания металлических порошков в задачу исследования входило изучение зоны контакта в системах ковалентное тугоплавкое соединение – спеченный порошок, оценка адгезионного взаимодействия в этих системах и влияние суммарной плотности тока, времени обработки на поведение тугоплавких соединений и характер взаимодействия их со спекаемыми порошками в процессе ЭРС.

В экспериментах по определению адгезии, а также при металлографическом исследовании взаимодействия неметаллоподобных тугоплавких соединений с порошками Cu, Al, Fe при ЭРС установлено отсутствие взаимодействия и схватывания указанных порошков с AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>+SiC+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Поэтому для матриц при электроразрядной обработке порошков Al, Cu, Fe могут быть рекомендованы нитриды Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, карбиды кремния SiC, окись алюминия. Однако проблемы, связанные с низкой теплопроводностью такого рода материалов, еще ждут своего решения.

Таблица. Характеристики трения композиции бронза-стеллит и бронза-сормайт, полученных ЭРС

Материал:	Фракция наполнителя:	Несущая способность, МН/м <sup>2</sup>			Износ контртела, мг			Коэффициент трения		
		Содержание наполнителя, % вес								
		40	50	60	40	50	60	40	50	60
Бр. 010+ сормайт	Мелкая	44,0*	42,5	45,0	55-10	48-6	18-1	0,40**	0,30	0,35
		10,	7,0	9,0				0,21	0,22	0,16
	Средняя	40,0	40,0	46,0	35-4	48-3	23-4	0,31	0,40	0,40
		9,0	8,0	10,0				0,29	0,17	0,24
	Крупная	46,0	44,0	46,0	37-2	19-4	32-2	0,18	0,30	0,37
		10,	10,0	12,5				0,26	0,28	0,23
Бр. 010+ стеллит	Мелкая	43,0	20,0	-	32-4	4-1	-	0,34	0,30	-
		10,0	6,0	-				0,23	0,22	-
	Средняя	42,5	45,0	-	45-7	29-1	-	0,37	0,26	-
		7,0	10,0	-				0,31	0,29	-
Бр. 010	-	35,0-5,0			27-6			0,35-0,38		

\* – в таблице первая цифра относится к скорости скольжения 0,75 м/с, а вторая цифра – к 6 м/с.

\*\* – сухое трение, контртело – сталь P18.

### Исследование стойкости матриц из асбестоцемента и тугоплавких соединений при электроразрядном спекании металлических порошков

Из тугоплавких соединений на основе нитридов кремния и алюминия, окиси алюминия путем прессования и спекания с последующей шлифовкой были изготовлены облицовочные пластины для сборной матрицы толщиной 14 мм, высотой ~ 30 мм, длиной ~ 20, 50, 90 мм. Облицовочные пластины устанавливались в обойме из стали. Исследования показали, что на одинаковом режиме ЭРС порошки спекаются при использовании облицовочных пластин из асбестоцемента и не спекаются при использовании облицовок из тугоплавких соединений. Одной из причин этого является более высокая теплопроводность тугоплавких соединений по сравнению с теплопроводностью асбестоцемента.

Для уменьшения отвода тепла и обеспечения спекания была видоизменена конструкция пресс-формы и разработана комбинированная пресс-форма, в которой в качестве теплоизолятора использовался асбестоцемент. В результате использования облицовок из износостойких неметаллических тугоплавких соединений в сочетании с асбестоцементом осуществлено спекание порошков и увеличена стойкость пресс-форм при спекании по сравнению с пресс-формами, изготовленными непосредственно из асбестоцемента или изолирующих тугоплавких соединений.

Существенное влияние на стойкость комбинированных пресс-форм окажет толщина облицовочных пластин. В связи с этим использовался метод плазменного напыления для изготовления матриц из тугоплавких окислов с целью выяснения минимальной толщины облицовок из тугоплавких соединений, обеспечивающей их эксплуатационную стойкость. Показало, что матрица из окиси алюминия, напыленный слой которой имел толщину 2-3 мм, обеспечивала многократное спекание медно-никелевой порошковой смеси. Таким образом, метод плазменного напыления является перспективным методом для изготовления матриц из тугоплавких окислов.

### Выводы

1. Результаты исследований позволили установить оптимальные технологические принципы создания более стойкого комбинированного пресс-инструмента ЭРС с использованием традиционных материалов: графита, жаропрочной стали, асбес-

тоцемента. Установлено, что с графитом лучше совместимыми являются комплексные покрытия, включающие ковалентные тугоплавкие соединения ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), чем металлоподобные, а лучшими способами нанесения покрытий на жаропрочную сталь являются способы диффузионного насыщения и плазменный.

2. Рекомендуются по результатам исследований облицовки матриц из ковалентных тугоплавких соединений изготавливать методом горячего прессования или наносить плазменным напылением.

3. Разработаны стойкие против окисления графитовые электроды-пуансоны с комплексным покрытием из нитридов титана и кремния, рекомендуемые для спекания способом ЭРС железа, меди, алюминия и бронзы в твердой фазе; разработаны электроды-пуансоны из жаропрочной стали 3Х2В8Ф с композиционными покрытиями из карбида титана на никелевой связке для спекания композиций с крупными включениями (бронза-стеллит), а также железа, меди, смеси медь-никель.

4. На основании исследований разработаны комбинированные матрицы на основе асбестоцемента с облицовками из карбида кремния, нитридов кремния и алюминия с добавками окиси магния или бора, а также с композиционными облицовками на основе окиси алюминия.

5. С помощью нанесения поверхностных покрытий достигнуто повышение стойкости пресс-инструмента в 3-4 раза, что позволяет использовать его в производстве изделий методом электроразрядного спекания.

6. Установлено, что в области контакта электрода-пуансона с порошком в процессе электроразрядной обработки резко интенсифицируются процессы массопереноса, проникновения металла в несплошности, синтеза тугоплавких соединений.

7. Исследованиями установлен факт интенсивной пропитки пористого графита алюминием или бронзой при пропускании пульсирующего тока через систему графит-порошок и на этой основе разработан рациональный способ пропитки углеграфитовых материалов металлами и сплавами.

8. В работе показана возможность получения методом электроразрядного спекания, без использования вакуума и инертных сред, композиционных материалов, состоящих из графита или графитовой ткани и алюминия, и износостойких подшипниковых материалов матрично-наполненного типа (бронза-стеллит, бронза-сормайт).

9. Полученные результаты исследований полезны для развития теоретических представлений о процессах электроразрядной технологии в порошковой металлургии.

**Список использованной литературы:**

1. Рябинина О.Н., Райченко А.И., Верхотуров А.Д., Шавловский Е.А., Котляренко Л.А. Исследование стойкости стальных электродов-пуансонов при их эксплуатации в процессе электроразрядного спекания. – «Порошковая металлургия», 1976, № 9, с. 53-56.
2. Рябинина О.Н., Райченко А.И., Буренков Г.Л. Структурные изменения в спеченных объектах и материалах оснастки при электроразрядном спекании смесей металлических порошков. – «Порошковая металлургия», 1976, № 11, с. 16-21.
3. Рябинина О.Н., Райченко А.И., Верхотуров А.Д. О материалах электродов-пуансонов для электроразрядного спекания металлических порошков – «Технология и организация производства», 1976, № 8. Деп. УкрНИИИТИ, № 471 от 20.08.76.
4. Рябинина О.Н. Взаимодействие электродов-пуансонов из графита с алюминием в процессе электроразрядного спекания. – в сб. «Исследования в области новых материалов», Киев, Издательство ИПМ АН УССР, 1977, с. 132-137.
5. Рябинина О.Н., Райченко А.И., Фушич О.И., Евтушок Т.М., Легкова Г.В. Исследование взаимодействия электрода-пуансона с металлическим порошком в процессе его электроразрядного спекания. – «Порошковая металлургия», 1977, № 3, с. 37-41.
6. Райченко А.И., Рябинина О.Н. Стойкость материалов электродов-пуансонов и матриц в процессе электроразрядной обработки металлических порошков. – «Электронная обработка материалов», 1977, № 3, с. 38-41.
7. Рябинина О.Н., Байденко А.А., Лещинский В.И. Выбор материалов пресс-форм и исследование их эксплуатационной стойкости в процессе электроразрядного спекания металлических порошков. – в сб. «Получение и исследование свойств новых материалов», Киев, 1978, ИПМ АНУССР, с. 141-146.
8. Рябинина О.Н., Райченко А.И. Способ пропитки углеродистых материалов металлургии и сплавов, авторское свидетельство №621474, бюллетень №32, 1978.