

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫМ СПЕКАНИЕМ

В работе показана возможность получения методом электроразрядного спекания композиционных материалов, состоящих из графита или графитовой ткани и алюминия, и износостойких подшипниковых композиционных материалов матрично-наполненного типа (бронза-стеллит, бронза-сормайт). Исследованы их физико-механические свойства и определены физические параметры технологического процесса получения композитов. Полученные результаты исследований могут быть полезными для развития теоретических представлений о процессах электрофизической технологии в порошковой металлургии и при разработке более стойких инструментальных материалов для электроразрядного спекания.

Разработка нового и перспективного технологического процесса порошковой металлургии – электроразрядного спекания (ЭРС) – является одной из актуальных задач порошковой металлургии и, в частности, исследование взаимодействия деталей технологической оснастки с порошком при ЭРС, разработка на этой основе пресс-инструмента и технологии электроразрядного спекания некоторых композиционных материалов [1, 2].

Настоящая работа и посвящена выбору и разработке материалов пресс-инструмента (электродов-пуансонов и матриц) для электроразрядного спекания, а также изысканию путей повышения его эксплуатационной стойкости. С этой целью проводилось систематическое исследование взаимодействия различных тугоплавких и жаропрочных материалов с рядом металлических порошков в сложных условиях комплексного электротермомеханического воздействия при электроразрядном спекании. Результаты этих исследований могут быть полезными при разработке рекомендаций по использованию исследованных материалов для изготовления технологической оснастки.

Для решения поставленной задачи были выбраны материалы, используемые в родственных технологиях обработки (горячая штамповка, горячее прессование, электросварка): графит марки МПГ-6, способный выдерживать механические напряжения при прессовании до 100 МПа, жаропрочные стали 4Х5МФС и 3Х2В8Ф, используемые для изготовления инструмента при горячей обработке материалов, композиции на основе ковалентных тугоплавких соединений нитрида и карбида кремния, окиси алюминия, а также композиции на основе металлоподобных тугоплавких соединений карбида хрома, карбида титана, нитрида титана [2].

Электроды-пуансоны для электроразрядного спекания изготавливали из материалов, обла-

дающих достаточно высокой электропроводностью, в виде цилиндров диам. 15÷20 мм или прямоугольные. Неметаллические тугоплавкие соединения, а также асбестоцемент использовали для изготовления матриц. Электроразрядное спекание проводили на установке, сконструированной и изготовленной в Институте проблем материаловедения Академии наук Украины. Спекали порошки алюминия, меди, смеси меди + никеля, титана, железа, бронзы. Качество спеченных образцов оценивали визуально по излому, а также путем измерения их плотности, твердости и металлографически с помощью микроскопа МИМ-8М.

Эксплуатационную стойкость материалов электродов-пуансонов и матриц оценивали следующими критериями: сохранение формы и геометрических размеров; отсутствие трещин; отсутствие припекания изделия к инструменту. Фазовые изменения, происходящие в поверхностных слоях материала электродов-пуансонов при электроразрядной обработке, исследовали с применением рентгенофазового и микрорентгеноспектрального анализов [3].

Для этого применяли соответственно установки УРС-50И и JXA-5. В процессе электроразрядного спекания порошков варьировали плотность суммарного (постоянного и переменного) тока от 3×10^6 до 5×10^6 А/м², частоту переменной составляющей от 2750 до 6000 Гц, давление прессования от 5 до 100 МПа, время обработки не превышало 1-2 мин.

Исследованиями было установлено следующее. Графитовые электроды-пуансоны не взаимодействуют с медным и железным порошком при спекании. Однако добавление марганца к порошку железа усиливает адгезионное взаимодействие графитовых электродов-пуансонов со спекаемой смесью. В этом случае наблюдается припекание порошковой смеси к электродам-пуансонам. При спекании алюминия, когда

плотность тока достигает $(3.7 \div 4) \times 10^6 \text{ А/м}^2$, происходит пропитка поверхностного слоя графитовых электродов-пуансонов алюминием (рис. 1). Аналогичная пропитка имеет место и в случае спекания бронзового порошка Бр 010. Анализ процесса пропитки среды с сообщающейся пористостью под влиянием действия электрического тока показал следующее [4].

Интенсифицировать процессы диффузии и массопереноса в порошковом объекте возможно: 1) путем предварительной обработки порошков электронными, ионными, молекулярными пучками; 2) путем термообработки порошковых заготовок под давлением в вакууме; 3) путем воздействия на объект магнитными и электрическими полями. В работе при электроразрядном спекании получены экспериментальные данные по активированию процесса спекания кратковременным воздействием переменного тока на порошковую заготовку. Интенсификация процессов диффузии и массопереноса достигается за счет того, что на стадии воздействия электрическим током на обрабатываемый материал (алюминий, бронза) происходит пробой оксидных изолирующих поверхностных пленок, сопровождающийся их разрушением и образованием участков физического контакта.

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 получе-

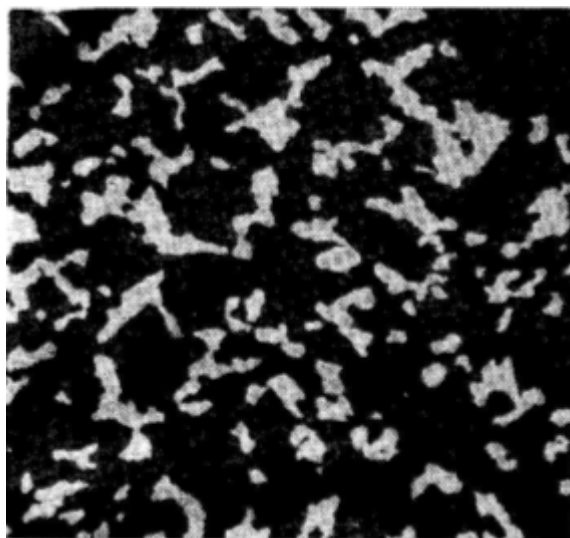


Рисунок 1. Пропитка электродов-пуансонов из графита алюминием при электроразрядном спекании; $\times 300$

ния этого композита используется графит МПГ-6 и алюминиевый порошок ПА-4. Режим электроразрядной обработки для получения композита графит-алюминий: давление подпрессовки 6 МН/м^2 , эффективная плотность тока 370 А/см^2 , частота переменной составляющей тока 2750 Гц, время обработки 120 с, давление прессования 100 МН/м^2 . Метод ЭРС для получения композиции графит-металл является более простым и экономически целесообразным, он не требует приготовления расплава, отдельного нагрева изделий и металла, создания вакуума, что позволит получить экономический эффект при внедрении этого способа в промышленности.

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 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 волокна.

Исследования влияния параметров процесса электроразрядной обработки на механические свойства полученных композиций 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 $300\text{-}350 \text{ МН/м}^2$.

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 простым.

Электроды-пуансоны из графита МПГ-6 активно взаимодействуют при электроразрядном спекании с титановым порошком с обра-

зованием карбида титана в области контактной зоны, что установлено с помощью металлографического и рентгенофазового анализов. Вместе с тем в процессе электроразрядного спекания происходит окисление и выгорание графитовых электродов, что изменяет их форму и геометрические размеры, а это, в свою очередь, ограничивает их использование до 10 спеканий медного порошка или смеси медь + никель. В связи с этим исследовали графитовые электроды-пуансоны, покрытые тугоплавкими соединениями карбида хрома, карбида титана, нитрида кремния и нитрида титана. Установлено, что наиболее стойким покрытием на графите (при многократном использовании не отслаивалось, не было схватывания с порошком) является комплексное покрытие $TiN + Si_3N_4$, которое можно рекомендовать для спекания медных и железных порошков.

Наиболее высокую стойкость при спекании железного порошка ПЖ1М2 показало комплексное покрытие на графите, состоящее из нитрида титана и нитрида кремния ($TiN + Si_3N_4$). Это покрытие характеризуется высокой прочностью сцепления с основой и значительно меньше окисляется в процессе эксплуатации по сравнению с карбидохромовым или карбидотитановым покрытиями. Отслоение и растрескивание комплексного покрытия при спекании порошка ПЖ1М2 (эффективная плотность тока 460 А/см^2 , длительность 90 с) не наблюдалось. Сравнительно более высокую стойкость комплексного покрытия ($TiN + Si_3N_4$) на графите при ЭРС можно объяснить тем, что неметаллические тугоплавкие соединения (такие как BN , SiC , Si_3N_4) по ряду физико-механических свойств (в том числе и по к.т.р.) более близки к углеродным материалам, что способствует их совместности. Поэтому покрытия с включением этих соединений, нанесенные на углеродные материалы, выдерживают резкие изменения температур успешнее покрытий из металлоподобных соединений. Кроме того, неметаллические тугоплавкие соединения характеризуются ковалентным характером их межатомной связи, и атомы углерода если и проникают в их кристаллическую решетку, то не могут внедряться в междоузлия, а вынуждены замещать атомы кремния, что также обеспечивает их высокую стойкость в контакте с углеродом [5].

Покрытия из карбидов хрома и карбида титана на графите отслаивались при использовании таких электродов-пуансонов в процессе

электроразрядного спекания металлических порошков.

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 композиций сормайт-бронза, стеллит-бронза использован метод математического планирования эксперимента [7].

Исследование износостойкости полученных способом ЭРС 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 с содержанием сормайта 60% (по массе) крупной фракции. 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.

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 используются инертная среда и вакуум, процесс кратковременен 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 зернами

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

При исследовании стальных электродов-пуансонов в процессе электроразрядного спекания металлических порошков установлено взаимодействие на контакте электрод-пуансон – спекаемый порошок в виде припекания, об-

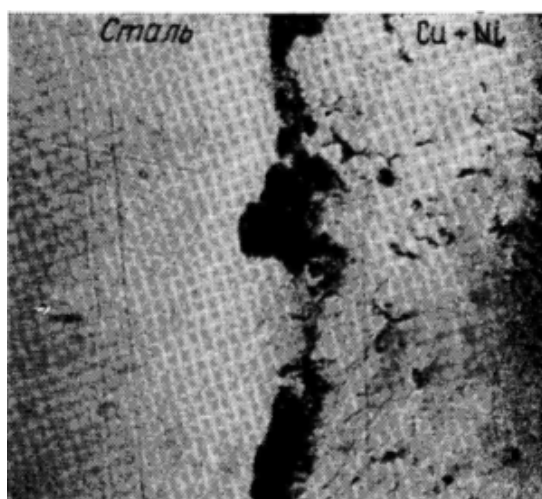


Рисунок 2. Взаимодействие стальных электродов-пуансонов с порошками при электроразрядном спекании; образование локальных мостиков схватывания в системе сталь - смесь меди и никеля; x300

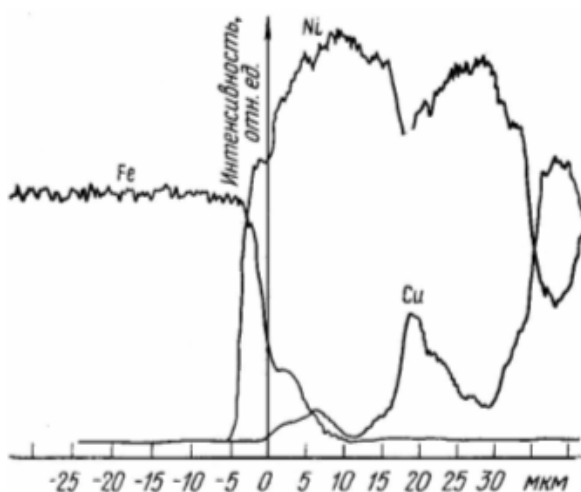


Рисунок 3. Распределение железа, никеля, меди на контактной границе сталь – медно-никелевый сплав, полученное на электроннозондовом микроанализаторе JXA-5

разования локальных мостиков схватывания (рис. 2), внедрения спекаемого металла в поверхность электродов-пуансонов. Взаимодействие в системе сталь – Cu + Ni носит диффузионный характер, что подтверждается данными микрорентгеноспектрального анализа (рис. 3). Из рис. 3 видно, что никель диффундирует в сталь, а железо – в медноникелевый сплав. С целью уменьшения этого взаимодействия и повышения эксплуатационной стойкости стальных электродов-пуансонов на них наносили покрытия из тугоплавких металлоподобных соединений: карбида хрома, карбида титана, и вместе с тем исследовано комплексное карбидохромотитановое покрытие. Покрытия получали разными способами: диффузионным насыщением, детонационным и плазменным напылением, электроискровым легированием. Наиболее стойкими при электроразрядном спекании оказались диффузионные покрытия; они обладали хорошей адгезией к основе, не отслаивались, обеспечивали высокий класс чистоты поверхности, существенно уменьшили припекание и схватывание спеченных изделий с электродами-пуансонами.

Следует заметить, что вследствие высокой теплопроводности стальные электроды-пуансоны увеличивают теплоотвод из зоны спекания по сравнению с графитовыми электродами-пуансонами. Это существенно меняет режим электроразрядной обработки. Так, графитовые электроды-пуансоны обеспечивают спекание медного порошка при эффективной плотности тока $(3\div 4)\times 10^6$ А/м² за 15-20 с.

С помощью стальных электродов-пуансонов спекание медного порошка обеспечивается при плотности тока $(6\div 7)\times 10^6$ А/м² в течение 40-50 с.

В качестве материала матриц при электроразрядном спекании широко используется электротехнический асбестоцемент, который характеризуется низкой тепло- и электропроводностью. Однако использование матриц из асбестоцемента ограничено 2-3 спеканиями в связи с разрушением асбестоцемента в зоне спекания. Испытания комбинированных матриц, полученных на основе асбестоцемента с облицовками из тугоплавких соединений, как Si₃N₄, Al₂O₃, и композиций Si₃N₄ + SiC, Si₃N₄ + Al₂O₃, Si₃N₄ + Al₂O₃ + MgO показали, что эксплуатационная стойкость матриц повышается в 3-4 раза. Однако облицовки из тугоплавких соединений имеют высокую хрупкость и зачастую треска-

ются. Хорошую стойкость показала матрица, полученная путем плазменного напыления окиси алюминия Al_2O_3 на медный сплав. Такая матрица выдержала без разрушения 15 циклов спекания смеси медь + никель [6].

Вывод. Сложному комплексу противоречивых требований, предъявляемых к материалам оснастки для электроразрядного спекания, могут удовлетворять инструменты (электроды-пуансоны и матрицы) сложного комбинированного строения, полученные с применением композиционных покрытий и облицовок, сочета-

ющие в себе свойства различных материалов. В области контакта электрода-пуансона с порошком в процессе электроразрядной обработки резко интенсифицируются процессы массопереноса, проникновения металла в несплошности, синтеза тугоплавких соединений. Титан, а также алюминий и бронза при оплавлении взаимодействуют с исследованными электродными материалами, медь не взаимодействует с ними, а смесь медь – никель и железо взаимодействуют с жаропрочной сталью без покрытия и не взаимодействуют с карбидными покрытиями на этой стали.

Список использованной литературы:

1. Киеси Иноуэ. Метод и установка для спекания электрическим разрядом. Патент Японии №1685, Кл.10А501, 1971.
2. Киеси Иноуэ. Способ изготовления формы для электроразрядного спекания. Патент Японии №45-1528, Кл.10А601, 1970.
3. Масленков С.Б. Применение микрорентгеноспектрального анализа, М.: Металлургия, 1968. 110 с. с ил.
4. 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.
5. Рябинина О.Н. О взаимодействии тугоплавких и жаропрочных материалов с металлическими порошками в процессе электроразрядного спекания // Вестник Оренбургского государственного университета, 2002, №1, с. 114-120.
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. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с. С ил.