

Студент гр. 10406112 Жук В. А.  
Научный руководитель Керженцева Л. Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Эксплуатация фильтрующих элементов в условиях агрессивных сред и температур возможна при изготовлении их из пористых порошковых материалов (ППМ) формованием и спеканием из сферических порошков керамики, титана, кислотостойких сталей (12X18H9T). Спекание в свободной засыпке сферических порошков практически невозможно. Применение нашла технология формования с легкоплавкими добавками при спекании в условиях упруго – пластической подпрессовки. В работе реализуется получение ППМ путем нанесения конденсата из карбидообразующих элементов и углерода или молибдена и кремния на сферические порошки титана или стали 12X18H9T магнетронным распылением комбинированных катодов Si – C или Mo – Si за счет эрозии поверхностных слоев катода при бомбардировке их ускоренными ионами рабочего газа (аргона). Использование планарной конструкции электродов позволяет в 3–5 раз повысить производительность магнетронных распылительных систем (МРС) за счет увеличения площадей одновременно участвующих в обработке. Снижение интенсивности бомбардировки вторичными электронами достигается за счет создания аксиального магнитного поля и сетчатого анода. Выбор режимов обработки рекомендуется осуществлять в диапазоне линейной зависимости вольтамперной характеристики при низком давлении рабочего газа (0,35 Па) и высокой магнитной индукции (до 100 мТл), что обеспечивает хорошую воспроизводимость и стабильность технологии. Изготовление фильтров из ППМ осуществляли по комбинированной технологии, включающей технологию нанесения нанопокровов и технологию порошковой металлургии: формование и спекание активированных порошков [1].

Разработана комбинированная технология, сочетающая активацию плазмой тлеющего разряда поверхности частиц с удалением адсорбированных газов и оксидных пленок, нанесения слоистых конденсатов, формования порошков с конденсатом в металлической пресс – форме в фильтр и его спекание. Присутствие в конденсате смеси (Si + C), и смеси (Mo + Si) с размещением между ними слоя C способствует при нагреве протеканию экзотермической реакции  $Mo + 2Si = MoSi_2$ . При взаимодействии графита с  $MoSi_2$  образуется тройная фаза (Mo – Si – C) переменного состава.

Дилатометрическими испытаниями установлена температура реакционного спекания в покрытии в интервале температур 650–850 °С, с образованием  $\alpha$  – SiC а затем при температуре 940 °С с образованием  $MoSi_2$  и тройной фазы ( $MoSi_2C$ ) при изотермической выдержке в течение часа. Реакция с образованием SiC протекает с внедрением C и объем слоя уменьшается,  $MoSi_2$  образуется по реакции замещения, объем слоя увеличивается. Формуемость порошков повышается за счет активирования их поверхности осаждением конденсата[2].

Линейное температурное расширение частиц при нагреве в зоне контакта частично выдавливает покрытие и формирует типичную шейку, образующуюся при спекании (рисунк 1). Термическое линейное расширения порошковых частиц Fe ( $\alpha = 12,4 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) приводит к растягивающим напряжениям в конденсате, т.к. коэффициент линейного термического расширения для Mo составляет  $\alpha = 5,1 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , а для Si – ( $\alpha = 3,72 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), для C – ( $\alpha = 3,02 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), что облегчает процесс диффузии. Для порошков FeSi и стали 12X18H10T с покрытием Si при 600–1000 °С происходит интенсивная усадка за счет диффузионных процессов спекания частиц через прослойку Si. Нанесение комбинированного покрытия Si + C в течение первых 15–20 мин. формирует аморфную структуру смеси, термомеханическая обработка которой плазмой тлеющего разряда приводит к

разогреву до 600 °С с поверхностным сдвигом атомов С с образованием (SiC) аморфной структуры. Реакционное спекание в объеме конденсата с формированием  $\alpha$  – (SiC) протекает при температуре 850 °С. Силициды титана и железа образуется при 1100 °С, а молибдена при 940 °С.

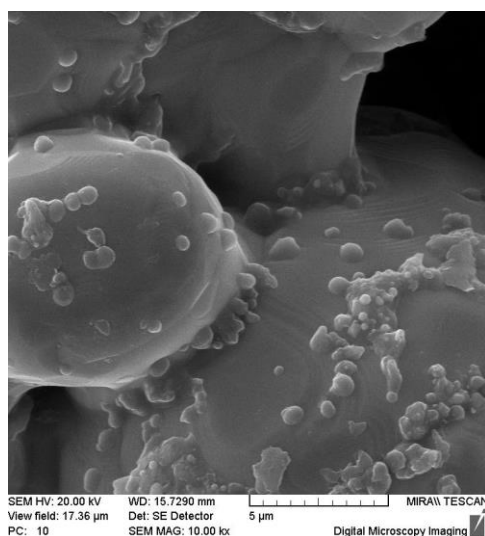


Рисунок 1 – Зона контакта частиц

Нанесение магнетронным распылением охлаждаемых моно – и комбинированных катодов слоистого конденсата с низкой скоростью и энергией связано с размещением перемешивающего устройства в области плазменной тени. Форма частиц обеспечивает хорошее перемешивание и качественное слоистое покрытие из слоев кремния и слоя из смеси кремния с молибденом, что формирует аморфно – кристаллическую структуру.

Анализ морфологии поверхностей исследованных порошков с покрытием показал, что для обеспечения качественного покрытия частиц следует использовать частицы округлой формы с повышенной сыпучестью, не склонных к агломерации. Тонкопленочные (20–100 нм) покрытия получают, размещая подложку вблизи (до 50 мм) катода, время распыления 30–600 с. Увеличение длительности процесса распыления, как минимум на порядок, позволило изготовить порошки – композиты толщиной свыше 100 нм, размещение порошка на расстоянии до 200 мм в зоне плазменной тени, где распыляемые потоки обладают низкой энергией, позволяет конденсировать кремний, молибден, графит, кобальт (сплав ЭП131) в виде смеси элементов. Полученные порошки – композиты выполняют технологическую функцию создания нового композиционного пористого или высокоплотного материала. Комбинированные катоды позволяют транспортировать и осаждать материалы в виде атомов, кластеров и дисперсных частиц (капельной фазы).

#### Список использованных источников

1. Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой для фильтрации жидкостей и газов / Л. П. Пилинович [и др.]; под ред. П. А. Витязя. – Минск: Топик. 2005. – 252 с.
2. Ковалевский, В. Н. Изготовление пористых порошковых материалов с управляемым направлением фильтрации/ Ковалевский В. Н., Алексеев Ю. Г., Жук А. Е., Ковалевская А. В., Жук В. А. // Литье и металлургия. – 2015. – №1. – С.134–140.