

Структурное исследование медных порошковых материалов в изделиях сельскохозяйственной техники

Т.В. Рожкова, к.т.н., Н.И. Смолин, к.т.н., профессор, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

Современное состояние сельскохозяйственного машиностроения остро нуждается в новейшей технике, а та в свою очередь – в новых материалах и сплавах. Такие материалы, обладая уникальными физико-механическими свойствами, способны не только работать в различных атмосферных и почвенных условиях, но и выдерживать конкуренцию на отечественном и зарубежном рынках.

Порошковую металлургию в настоящее время всё чаще используют не столько как безотходную технологию, сколько для получения уникальных материалов, которые нельзя получить традиционными методами. Особые требования должны предъявляться к изделиям, работающим в условиях повышенного износа. Порошковые подшипниковые материалы призваны уменьшить коэффициент трения и понизить износ трущихся деталей сельскохозяйственных машин и механизмов – в узлах тракторов, комбайнов и многой другой сельхозтехники [1].

Исследование структуры порошковых материалов имеет большое значение для качественного спекания и получения готового изделия, которое по своим физико-механическим характеристикам не должно уступать литым аналогам. Состав, строение, сочетание частиц, их расположение в пресс-форме необходимо учитывать для формирования порошковой заготовки.

Необходимо заметить, что подбирая форму и размеры частиц, можно получить изделие с плотностью до 95% от теоретической. Технология этого процесса заключается в виброформовании с одновременным приложением небольшого внешнего давления. Мелкодисперсные частицы могут составлять конгломераты, образуя при этом ещё более рыхлую структуру (рис. 1).

Приложенная внешняя нагрузка $P_{вн}$ к такой системе позволяет разрушать конгломераты и сравнительно свободно смещать частицы относительно друг друга до получения определённой плотности. Следовательно, исходные свойства порошкового материала позволяют создавать заготовки с различной плотностью, характеризующие

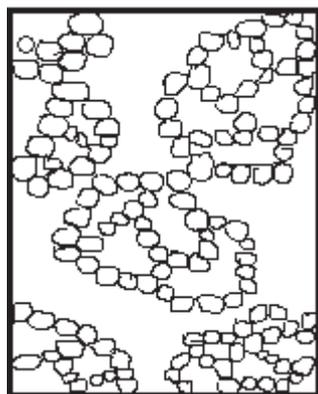


Рис. 1 – Образование конгломератов дисперсных частиц

уплотнения элементарных объёмов. Порошковую среду можно представить в виде совокупности таких элементарных объёмов, выделяя при этом этапы уплотнения на микроуровне. На конечном же этапе весь процесс уплотнения оценивается на макроуровне [2].

Цель исследования – рассмотреть структуру медных порошковых материалов с добавлением карбида кремния до и после электроконтактного спекания.

Материал и методы исследования. Для исследования использовали композиционный материал, состоящий из порошков меди (Cu) и карбида кремния (SiC). Такой композиционный материал должен обладать определёнными качествами – матрица должна быть достаточно мягкой и полностью обволакивать упрочняющий компонент для создания непрерывного металлического каркаса [3]. При этом металлическая связка должна удерживать обеспечивающие твёрдость кристаллы и не взаимодействовать активно с ними. Этими свойствами в полной мере обладают медь (основа-матрица) и карбид кремния (наполнитель). Обычно медь не способна образовывать с карбидом кремния химических соединений [4]. Поэтому для получения качественного медь-карбидокремниевого материала нужно не только прочно удерживать частицы SiC, но и сохранить сами кристаллы без разрушения.

Гранулометрический состав порошка чистого карбида кремния был исследован с помощью оптического микроскопа МИМ-7. Частицы порошка окрашены в светлые оттенки розового, голубого и зелёного цветов, полиэдрическая форма которых округлая, угловатая и прямоугольная в сечении (рис. 2, 3). Для отдельных частиц характерна стержневая, вытянутая форма [5].

На рисунках 2 и 3 представлена микроструктура кристаллов карбида кремния в тёмном и светлом полях [6]. На микрофотографиях порошки SiC показаны светлыми и светятся, что говорит о их прозрачности. Кроме того, если наблюдать частицы в поляризованном свете, то видно их собственный

цвет – розоватый, голубоватый и зеленоватый. При рассмотрении кристаллов в светлом поле прозрачность частиц стала более явной (рис. 3). Особая прозрачность наблюдается у частиц, имеющих прямоугольное сечение. Это также объясняется отражательным свойством кристаллов и расположением их в поляризованном свете [3].

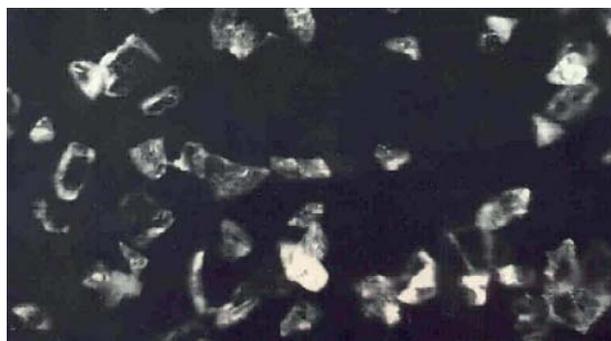


Рис. 2 – Микроструктура порошка карбида кремния в тёмном поле (увеличено в 500 раз)



Рис. 3 – Микроструктура порошка карбида кремния в светлом поле (увеличено в 500 раз)

Результаты исследования. Согласно ГОСТу 23402–78 был проведён анализ гранулометрического состава исследованного порошка карбида кремния. В результате металлографического исследования было выяснено, что порошок карбида кремния содержит в основном (на 85%) частицы размером 8,5–25,5 мкм. Размеры частиц меди составили от 5 до 44 мкм [3].

Тщательное смешивание исходных компонентов и сочетание близких по размеру частиц позволяет обеспечить более равномерное распределение наполнителя в матрице композиционного материала. В результате электроконтактного спекания получают изделия с высокими физико-механическими свойствами.

На рисунке 4 представлена микрофотография электроспечённого композиционного материала, содержащего Cu+5,1 мас. % SiC. Микрографический анализ данного образца показал равномерность распределения карбида кремния по всему объёму.

Микрофотоанализ электроспечённого материала показал свечение вокруг частиц карбида кремния

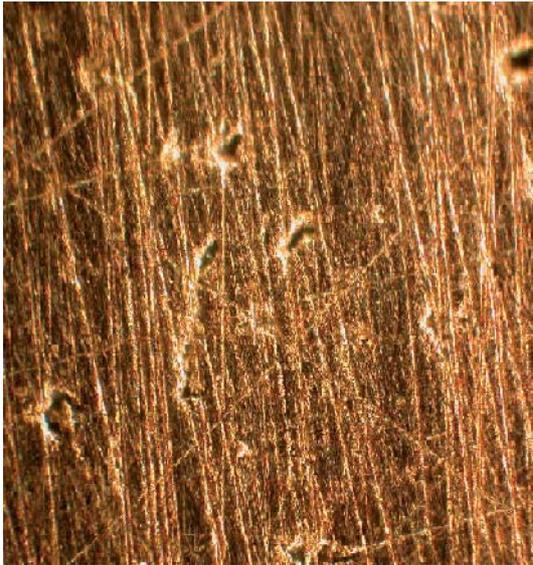


Рис. 4 – Микрошлиф образца диаметром 20,5 мм, содержащий $\text{Cu}+5,1 \text{ мас. \% SiC}$ в тёмном поле (увеличено в 200 раз)

(рис. 4). Это связано с прозрачностью частиц SiC, поэтому, рассматривая кристаллы в тёмном поле и поляризованном свете, виден их собственный цвет. При этом кристаллы упрочняющего наполнителя не разрушились в процессе электроконтактного спекания и сохранили все свои параметрические и физические свойства – форму, окраску и прозрачность. Сохранению целостности кристаллов SiC обусловила кратковременность протекания процесса электроконтактного спекания (от 8 до 20 сек.) [7].

При дальнейшем рассмотрении оказалось, что частицы карбида кремния в основном ориентированы в одну сторону (рис. 5). Это объясняется равноплотной укладкой порошкового материала уже на стадии свободной насыпки в пресс-форму.

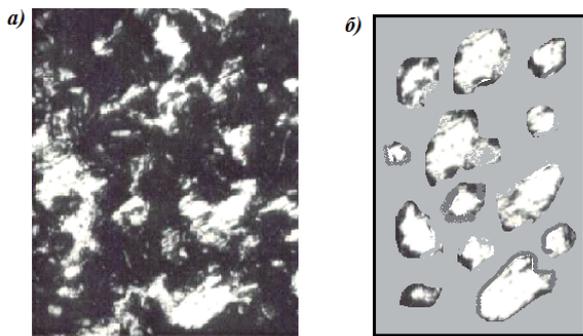


Рис. 5 – Ориентирование кристаллов карбида кремния в медных электроспечённых образцах диаметром 13,7 мм (увеличено в 345 раз): а) микрофотография образца $\text{Cu}+20,2 \text{ мас. \% SiC}$; б) модельное представление ориентированных кристаллов SiC

В дальнейшем внешнее приложенное давление $P_{\text{вн}}$ позволяет не только уплотнять и сдвигать

частицы [8], но и поворачивать их, ориентируя относительно большей оси кристаллов (рис. 6; кристаллы под цифрой 2).

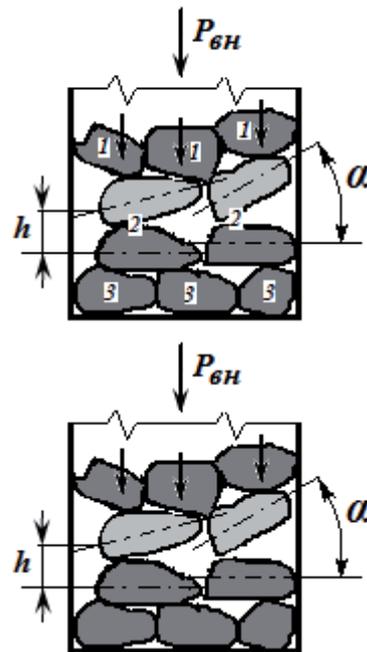


Рис. 6 – Ориентирование кристаллов под влиянием внешнего давления:

- – кристаллы, подвергнутые деформации;
- – сориентированные кристаллы

Сориентировать частицы для более плотной укладки также помогают верхние частицы, которые подвержены внешнему давлению (рис. 6, цифра 1).

Давление прессования $P_{\text{вн}}$ прямо пропорционально угловому α и линейному h сдвиговым перемещениям:

$$P_{\text{вн}} = h \cdot \cos \alpha. \quad (1)$$

Угловое перемещение связано с появлением вращательного момента $M_{\text{вр}}$. Поворот частиц в большинстве случаев проходит относительно большей оси кристалла – оси OA (рис. 7). Примем за центр вращения точку O . При этом сила $P_{\text{вн}}$ будет приложена к противоположной точке оси A , тогда:

$$M_{\text{вр}} = P_{\text{вн}} \cdot l_{\text{max}} = l_{\text{max}} \cdot h \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где l_{max} – наибольший размер (большая ось) частицы.

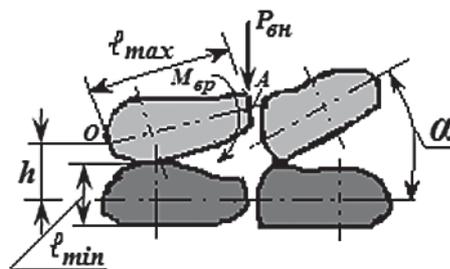


Рис. 7 – Моделирование процесса ориентирования частиц

Суммарное перемещение $\Delta \Sigma$ равно:

$$\Delta \Sigma = M_{\text{вр}} + P_{\text{вн}} \cdot h \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

Ориентирование и перемещение частиц в процессе электроконтактного спекания с одновременным приложением внешнего давления позволяет получить плотность медь-карбидкремниевго материала до 95%.

Выводы. Микрографический анализ электроспечённых материалов на основе меди с добавлением карбида кремния показал следующее:

Порошок карбида кремния содержит в основном (на 85%) частицы размером 8,5–25,5 мкм. Размеры частиц меди составили от 5 до 44 мкм, у бронзы – от 80 до 205 мкм.

Кратковременность протекания процесса электроконтактного спекания (от 8 до 20 сек.) позволила сохранить целостность кристаллов карбида кремния.

Ориентирование частиц карбида кремния объясняется равноплотной укладкой порошкового материала уже на стадии свободной насыпки в пресс-форму.

Ориентирование кристаллов, связанное с их линейным и угловым перемещениям под действием вращательного момента, позволяет получить плотность материала до 95%.

Литература

1. Рожкова Т.В., Филатов А.С. Антифрикционный материал на основе меди с карбидом кремния // Современные научно-практические решения в АПК: сб. статей II всерос. (национальной) науч.-практич. конф. (г. Тюмень, 26 октября 2018 г.) / ГАУ Северного Зауралья. Тюмень, 2018. С. 419–423.
2. Цеменко В.Н. Теория порошковой металлургии. Теория и физические основы уплотнения порошковых материалов: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. 180 с.
3. Рожкова Т.В. Формирование структуры и свойств материалов на основе меди с карбидом кремния при электроконтактном спекании: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2004. 160 с.
4. Гнесин Г.Г. Карбидокремниевые материалы. М.: Металлургия, 1977. 216 с.
5. Францевич И.Н. Карбид кремния. Свойства и области применения. Киев: Наукова думка, 1975. 250 с.
6. Рожкова Т.В. Физико-механические характеристики порошковых материалов на основе меди // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016. № 1. С. 150–155.
7. Рожкова Т.В. Исследование новых способов электроконтактного спекания порошковых материалов // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016. № 2. С. 122–129.
8. Рожкова Т.В., Кусков В.Н., Смолин Н.И. Исследование деформационного механизма порошкового материала на основе меди // Агропродовольственная политика России. 2017. № 12. С. 155–161.