

ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫЙ СТАЛЬНОЙ ПОРОШОК ДЛЯ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

Е. В. Игнатенко, А. С. Шевчик

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Г. В. Петришин

В современной промышленности существует множество эффективных методов получения износостойких покрытий. Одним из перспективных путей упрочнения поверхностей деталей является метод магнитно-электрического упрочнения (МЭУ), комплексно использующий активирующие факторы (температурные, химические, магнитные, электрические). Метод МЭУ хорошо зарекомендовал себя при упрочнении определенной номенклатуры быстроизнашивающихся деталей сельскохозяйственной и дорожной техники. Кратковременность температурного воздействия при упрочнении методом МЭУ обеспечивает стабильность геометрических параметров упрочняемых деталей, что особенно важно при изготовлении крупногабаритных деталей, склонных к короблению. Кроме того, простота метода и применяемого технологического оборудования обеспечивают низкую себестоимость получаемых покрытий.

Перспективным является применение в качестве упрочняющих материалов в процессе МЭУ самофлюсующихся порошков. В этом случае обеспечивается высокая износостойкость покрытий, их сплошность, отсутствие пористости. Однако большинство таких порошков выпускается на основе никеля, что обуславливает их высокую стоимость и в ряде случаев экономическую нецелесообразность. Кроме того, порошки на основе никеля парамагнитны и вследствие этого неприменимы в технологии магнитно-электрического упрочнения. В то же время номенклатура самофлюсующихся порошков на железной основе ограничена, и они не позволяют управлять свойствами наносимых покрытий при МЭУ. Поэтому поставлена задача разработать новый самофлюсующийся материал на железной основе, который учитывает технологические особенности МЭУ и обеспечивает заданные физико-механические свойства покрытий.

В данной работе исследовалась структура и свойства диффузионно-легированных порошков на основе стали 40Л и покрытий, полученных с применением этих порошков методом МЭУ.

Исходным материалом для производства самофлюсующегося порошка на железной основе является порошок с частицами сферической формы из стали 40Л фракции 200–400 мкм. Диффузионное легирование порошка производилось по специальной технологии. Исходный порошок подвергался ХТО (борированию) в различных условиях:

- порошок № 1 – в течение 1 часа при температуре 950 °С;
- порошок № 2 – в течение 3 часов при температуре 950 °С;
- порошок № 3 – в течение 5 часов при температуре 950 °С.

Для исследования свойств покрытий плоские образцы из сталей 45, 40Х с размерами 10 x 50 x 10 мм упрочняли на установки первого типа [4]. Для упрочнения использовали ферромагнитные порошки: ферробор ФБ-17 ГОСТ 14848-69; СЧЛ (серый чугун, легированный В, Si, Cr, Ni, Mn); самофлюсующийся сплав на основе железа ПР-Х4Г2С2ФЮД (производство – Российская Федерация), а также разработанные самофлюсующиеся порошки на основе стали 40Л.

Микрошлифы для исследований изготавливались в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88. Образцы заливали в обойме эпоксидной смолой, шлифовали и полировали пастой ГОИ. При приготовлении микрошлифа для травления использо-

вали химические реактивы в соответствии с рекомендациями. При изготовлении микрошлифов для травления использовали химические реактивы следующих составов: 1 – 5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте; 2 – пикриновая кислота (2...5 г), едкий натр (20...25 г), остальное (до 50 г) – дистиллированная вода. Микротвердость исследовали на микротвердомере ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76 при нагрузке 0,981 Н. Анализ гранулометрического состава порошка производился на автоматическом анализаторе изображения Mini-Magiscan фирмы Jouce Loebel.

Вследствие проникновения в частицу бора, как видно на рис. 1, ее поверхность становится более неровной, пористой. Обусловлено это характером борирования частицы порошка: при ХТО в среде карбида бора образуется двухфазный боридный слой – FeB и Fe₂B. При этом хрупкая фаза FeB частично выкрашивается, а к поверхности частицы припекаются мелкие элементы порошка карбида бора, что и определяет увеличение ее шероховатости.

Исследования микроструктуры частицы порошка показали, что боридный слой имеет характерное игольчатое строение. При ХТО в течение 1 часа при температуре 950 °С в подборидном слое наблюдается наличие большего количества перлитных зерен, чем в центре частицы (рис. 2). Это объясняется тем, что углерод практически не растворим в боридных фазах и по мере формирования боридного слоя вытесняется в переходную зону. Вследствие этого повышается его концентрация в подборидном слое и наблюдается увеличение количества в нем перлитных зерен. Ядро частицы при этом имеет классическую ферритно-перлитную структуру, соответствующую содержанию углерода 0,4 %. Средняя толщина слоя составляет 55 мкм, а средний размер частиц порошка № 1 – 409,2 мкм, то есть по сравнению с исходным порошком размеры частиц увеличились, что объясняется диффундированием бора в объем частицы. При этом характер кривой распределения размеров частиц порошка № 1 соответствует характеру распределения размеров частиц исходного порошка со сдвигом в сторону увеличения.



Рис. 1. Морфология порошка № 1 (x50)

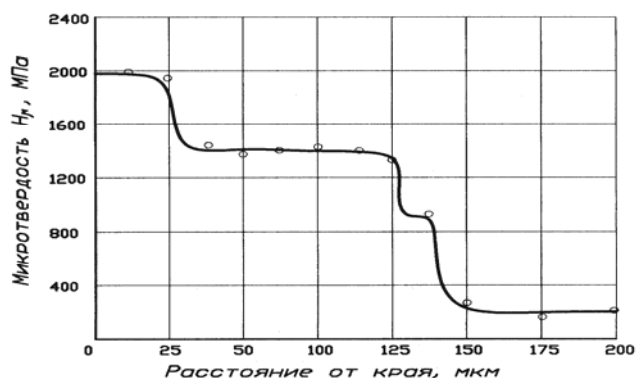


Рис. 2. Структура порошка № 1 (x200)

Увеличение продолжительности ХТО до 3 часов приводит к значительному увеличению толщины боридного слоя. Толщина борированного слоя составляет около 130 мкм при среднем размере частицы 430,4 мкм. При этом четко виден двухфазный боридный слой – темно-серая фаза FeB по краю частицы и светлая фаза Fe₂B. Ядро частицы имеет перлитную структуру, в боридном же подслое четко видна сетка борного цементита. Это подтверждают результаты измерения микротвердо-

сти частицы по глубине. Причиной образования борного цементита в подборидной зоне является повышение в ней концентрации углерода и бора выше предельной их растворимости в аустените при температуре диффузионного легирования – 950 °С. При этом необходимо отметить то, что с увеличением толщины боридного слоя, а, соответственно, увеличением концентрации углерода в подборидном слое, растет компактность боридного слоя и уменьшается его игольчатость. Объясняется это препятствием углерода диффузионному насыщению частицы порошка бором, причем это сопротивление тем выше, чем выше концентрация углерода в насыщаемом материале. Исследования показали, что при повышении продолжительности диффузионного легирования до 4 часов толщина боридного слоя увеличивается незначительно, однако повышается его компактность и снижается игольчатость.

С повышением продолжительности обработки исходного порошка до 5 часов происходит скачкообразное увеличение толщины борированного слоя и наблюдается сквозное насыщение частицы порошка бором. При этом между боридными иглами наблюдается выделение компактного углерода и борного цементита.

Как видно из гистограмм, разработанный самофлюсующийся порошок № 3 по износостойкости не уступает порошку на железной основе ПР-Х4Г2С2ФЮД, и значительно превосходит материалы, применяемые в МЭУ – ферробор ФБ-17 и СЧЛ. Данные по износостойкости хорошо согласуются с данными по изменению микротвердости упрочненных образцов от края вглубь. Порошки № 1 и 2 уступают порошку № 3 вследствие недостаточного содержания в них бора. Низкая микротвердость покрытий, полученных с использованием порошка ферробора ФБ-17, объясняется низким содержанием в нем углерода (до 0,1 %). При нанесении покрытий этим порошком происходит обезуглероживание переходного слоя, концентрация бора в покрытии при этом снижается из-за быстрой диффузии бора в переходную зону. Вследствие этого происходит снижение твердости покрытия из-за недостаточного количества в нем боридов и карборидов. Следует отметить также, что обезуглероживание переходной зоны резко повышает критическую скорость ее закалки. Из-за этого не происходит закалки переходной зоны, характерной для покрытий, нанесенных с использованием порошков СЧЛ, ПР-Х4Г2С2ФЮД и разработанных порошков. Закаленная переходная зона не оказывает существенного влияния при изнашивании в условиях трения скольжения или абразивного изнашивания, но значительно повышает износостойкость покрытий в условиях ударного или ударно-абразивного изнашивания.

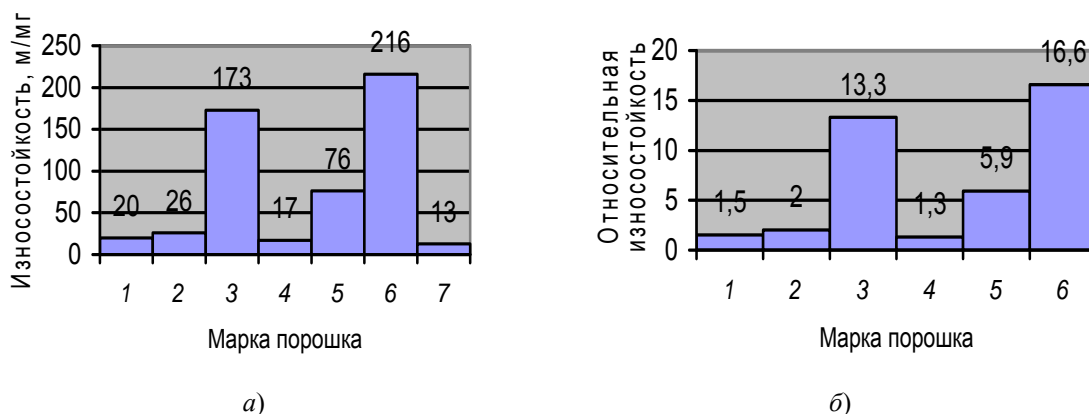


Рис. 3. Износостойкость (а) и относительная износостойкость (б) образцов, упрочненных МЭУ: 1 – ФБ-17; 2 – СЧЛ; 3 – ПР-Х4Г2С2ФЮД; 4 – порошок № 1; 5 – порошок № 2; 6 – порошок № 3; 7 – эталон

152 Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов

Таким образом, разработанные самофлюсующиеся порошки обеспечивают повышение износостойкости в 5,9...16,6 раз по сравнению с закаленным образцом, причем порошок № 3 не уступает самофлюсующемуся высоколегированному порошку ПР-Х4Г2С2ФЮД и обеспечивает износостойкость 216 м/мг, что позволяет увеличить срок службы деталей, работающих в условиях трения скольжения без смазки в 12...14 раз.

Выводы

Материал порошка, применяемого при МЭУ, оказывает существенное влияние на качество и физико-механические свойства покрытий. Предварительные исследования показали перспективность использования в качестве наплавочных материалов самофлюсующиеся порошки, содержащие бор как основной легирующий элемент.

Имеется возможность изготавливать самофлюсующиеся порошки на основе стали 40Л. При этом технология диффузионного легирования частиц порошка сферической формы позволяет получать порошки с заданным химическим составом и физико-механическими свойствами.

Углерод оказывает сопротивление диффузионному насыщению частиц порошка бором, причем это сопротивление тем значительнее, чем выше концентрация углерода в исходном материале. Из-за оттеснения углерода вглубь частицы и повышения его концентрации происходит замедление скорости диффузионного борирования. При сквозном борировании углерод ферритно-перлитной структуры переходит в графит.

Порошок № 3, борированный насквозь, показал лучшее качество покрытий, нанесенных методом МЭУ и хорошие результаты при их испытаниях в условиях трения без смазки. Покрытия, нанесенные порошком № 3, по износостойкости не уступают покрытиям, полученным с использованием порошка ПР-Х4Г2С2ФЮД. При этом следует отметить, что разработанный порошок значительно более дешевый, так как не содержит большого количества дорогостоящих легирующих компонентов.

При нанесении покрытий методом МЭУ существенное влияние на твердость и износостойкость покрытий имеет углерод. Даже при высоком содержании бора, но низком содержании углерода, как, например, в ферроборе ФБ-17, происходит обезуглероживание переходного слоя и снижение твердости покрытия вследствие быстрой диффузии бора в переходной слой.