УДК 621.785.4:791

ДВУХСЛОЙНЫЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-УПРОЧНИТЕЛЬНЫЕ МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Пантелеенко Ф.И. – главный научный сотрудник,
Белорусский национальный технический университет,
Беларусь, г. Минск
Петришин Г.В. – ведущий научный сотрудник,
Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,
Беларусь, г. Гомель
Пантелеенко Е.Ф. – ведущий научный сотрудник,
Белорусский национальный технический университет,
Беларусь, г. Минск

Около 70% существующих способов восстановления и упрочнения изношенных деталей путем нанесения покрытий составляют напыление и наплавка. При эксплуатации металлических деталей оборудования и инструмента в условиях интенсивного изнашивания с сопутствующими переменными и ударными нагрузками предпочтительна наплавка, которая в отличие от напыления обеспечивает металлургическую связь покрытия с основой (адгезию).

Способ магнитоэлектрической обработки, разработанный в середине прошлого столетия российской (калининградской) и белорусской научными школами под руководством академика Коновалова Е.Г. развивается в двух направлениях: как **финишная** механическая (полирование) иначе называемая магнито-абразивной обработкой **(МАО**), при которой в качестве инструмента используется твердый ферромагнитный порошок и как разновидность упрочнения наплавкой, при которой наносится защитное покрытие (**МЭУ**).

Сущность финишной механической магнитоэлектрической обработки **(МАО**) заключается в следующем. Между полюсами мощного электромагнита помещается вращающаяся обрабатываемая металлическая деталь. В зазор между полюсом и деталью подается ферромагнитный порошок с высокой твердостью. Благодаря абразивному воздействию порошка происходит микрорезание обрабатываемой поверхности и формируется требуемый рельеф. На рисунке 1 приведена принципиальная схема МАО.

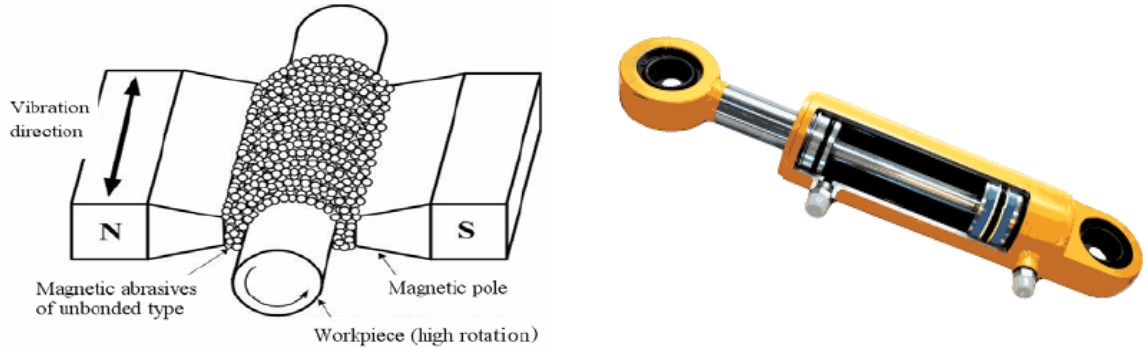
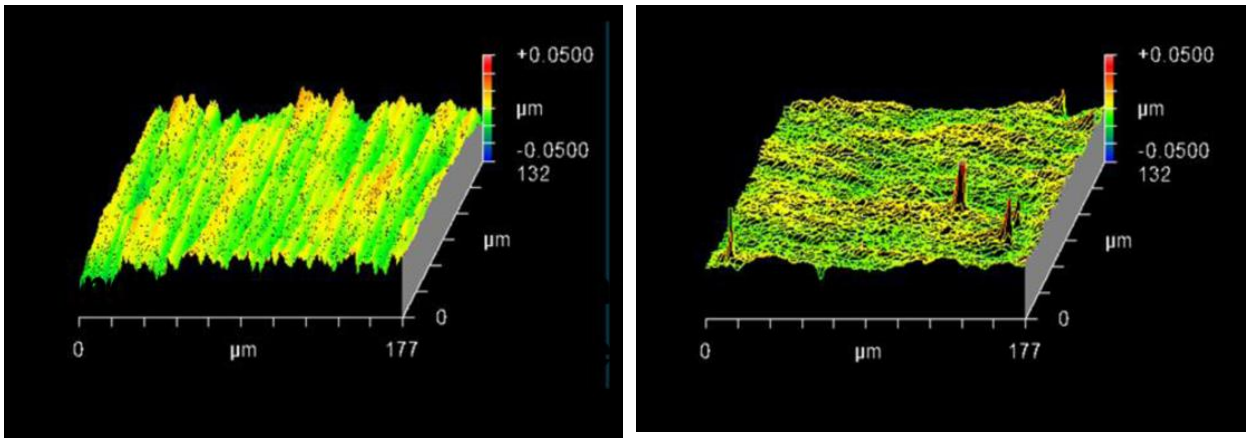


Рис.1.Схема магнито-абразивной обработки как одного из способов финишной обработки

Наглядной иллюстрацией преимущества чистовой магнито-абразивной обработки таких прецизионных деталей как штоки, шпиндели и им подобные самофлюсующимся борированным порошком на железной основе является рисунок 2.

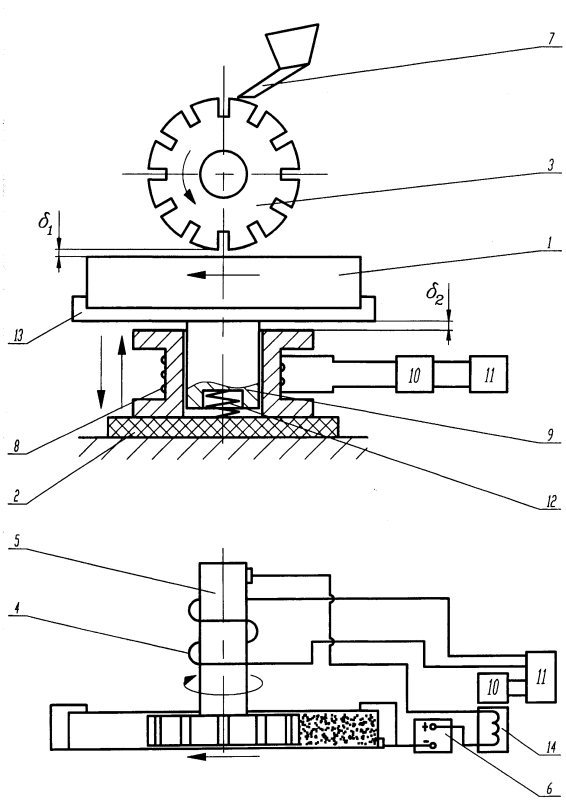


а) б)

Рис. 2. Сравнительные профили поверхностей: шлифованной (а) и после МАО (б)

Магнитоэлектрическое упрочнение при конкретных заданных параметрах предназначено для создания наплавленных покрытий. Выстраивающиеся под действием электромагнитного поля цепочки частиц ферромагнитного порошка привариваютя к поверхности детали**.** На рисунке 3 представлены схема и реальная установка для МЭУ.

Для нанесения покрытий методом магнитно-электрического упрочнения использовали порошки ПЖРВ (25-50 мкм) и отходов дроби чугунной колотой ДЧК (315-400 мкм) полученные методами борирования и борохромсилицирования, а также отходы стружки Н70Х18СР4 (не загрязненной СОЖ фракции 315-400 км) и дробленую стружку WC, характеристики которых приведены в таблице1.







1 – деталь; 2 – прокладка; 3 – инструмент-электрод; 4 – катушка; 5 – оправка; 6 – источник технологического тока; 7 – дозирующее устройство; 8 – катушка; 9 – сердечник; 10 – блок стабилизации; 11 – блок питания; 12 – пружина; 13 – приспособление; 14 – датчик

Рис.3. Принципиальная схема МЭУ, установка МЭУ плоских деталей и упрочненная деталь

Таблица 1. Параметры диффузионного легирования порошка.

№	Основа	Фракция, мкм	Вид ХТО, режим	Тип и состав насыщающей среды
1	ПЖРВ	25-50	Борирование, 2,5 часа, 900 ^{0}C	Порошковая, B_4C+1-2% масс. NaF
2	Отходы ДЧК	315-400	Борохромсилицирование, 5 часов, 900 ^{0}C	Порошковая, 30%B_4C+ 30%ферросилицияФС75+40% феррохромбор ФХ100А + 1-2% масс. NaF
3	Н70Х18СР4	315-400	--	--

Отходы ДЧК и порошок железа ПЖРВ предварительно подвергали диффузионному насыщению бором, хромом, кремнием. Морфология диффузионно-легированного порошка представлена на рисунке 4. Магнитоэлектрические покрытия получали из следующих композиций: 1-борохромсилицированные отходы ДЧК (80%) + стружка Н70Х18СР4 (20%); 2-

борохромсилицированные отходы ДЧК (90%)+ стружка Н70Х18СР4 (10%); 3-борохромсилицированные отходы ДЧК (50%)+ стружка Н70Х18СР4 (50%); 4-борированный ПЖРВ (100%).

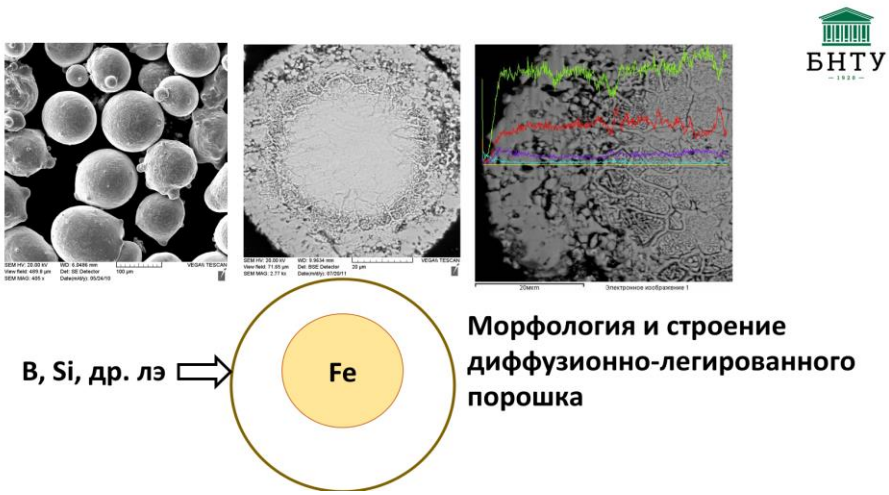


Рис. 4. Морфология и строение диффузионно-легированного порошка на железной основе

Магнитно-электрические покрытия формировали при следующих параметрах :сила тока 150А, напряжение 24В, скорость подачи 120 мм/мин, ширина ротора 10 мм, диаметр ротора 160 мм, величина зазора между ротором и деталью 1 мм, частота вращения ротора 63 об/мин.

Использовалась подложка из стали 50ХГСА. Порошок насыпали на подложку без связующего, и он удерживался на поверхности за счет действия магнитной плиты, на которую установлена подложка. Поверхность предварительно не зачищалась. Не вдаваясь в подробности исследования фазового состава (РФА, МРСА), приведем лишь основные результаты.

В покрытиях, где в состав наносимой порошковой композиции входил порошок Н70Х18СР4, поверхностный слой характеризуется наличием поверхностных трещин (см.рис.5).

В нетравящемся слое присутствуют наноразмерные поры величиной 300-350 нм. Толщина нетравящегося слоя для покрытия с соотношением хромоникелевого сплава и борохромсилицированной ДЧК 50:50 составляет 65-145 мкм, а толщина промежуточного слоя от 250 до 360 мкм. В покрытиях с меньшей долей хромоникелевого сплава толщина нетравящегося хромоникелевого слоя соответственно меньше.

Возможными причинами образования трещин в верхнем нетравящемся слое МЭУ покрытий являются:

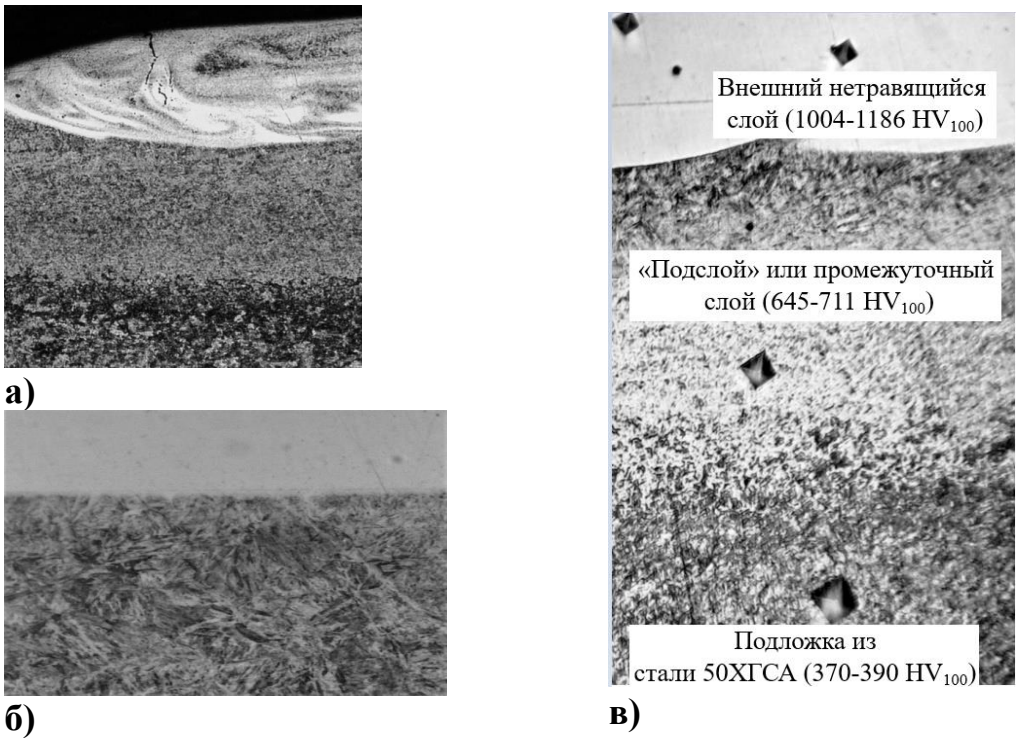
1)различие коэффициентов теплового расширения у хромоникелевого сплава и сплава на основе железа: при охлаждении за счет усадки происходит растрескивание слоя, сформированного хромоникелевым сплавом;

2)отличие магнитных свойств порошка на хромоникелевой основе и

порошка на основе железа (чистый никель является ферромагнетиком, однако, добавление хрома в количестве 18 % делает сплав слабомагнитным), ввиду чего при выстраивании частиц порошка в цепочку вдоль магнитных линий хромоникелевые частицы оказываются дальше от источника магнитного поля (подложки);

3)точка Кюри у никеля 358°С, а у железа - 767°С, что также может оказывать влияние на распределение расплавленных компонентов в процессе плавления и кристаллизации в условиях присутствующего магнитного поля;

4)незначительное, но отличие плотности двух материалов, что еще больше усугубляет сегрегацию и расслоение.



а)

б)

в)

Рис 5. Типичная микроструктура МЭУ покрытий: а-после травления (х100), б-мартенситная структура промежуточного слоя (50% борохромсилицированных отходов ДЧК+ 50% стружки Н70Х18СР4 х1000), в-распределение микротвердости по МЭУ покрытию

В заключение следует отметить, что такие покрытия представляют интерес как гетерогенные (биметаллические) для деталей, работающих в агрессивных средах, к поверхности которых предъявляются особые требования (например, коррозионная стойкость). Однако, принимая во внимание наличие трещин в поверхностном хромоникелевом слое, необходимы дополнительные исследования по отработке режимов МЭУ для получения более качественных покрытий без трещин.

Список литературы:

1. Максаров В.В., Пантелеенко Ф.И., Петришин Г.В., Максимов Д.Д. //

Журнал СТИН (Станки, инструмент), №3, 2023, стр.12-16. // Повышение производительности магнитно - абразивной обработки использованием диффузионно- легированных порошков (Scopus) Q3.

2. Maksarov V.V., Panteleenko F.I., Petrishin G.V., Maksimov D.D. // Russian Engineering Research. Т 43. №4. С. 470 – 473. Published:19.05.2023 // Fast Magnetic Abrasive Finishing with Diffusionally Alloyed Powder (Scopus) Q3.

3. Panteleenko F.I., Petrishin G.V., Blumenstein V.Ju., Switala F., Panteleenko E.F.// Journal Technical Physics Letters. (2024). https//doi.org/10.1134/S1063785024700263// Estimation of the Efficiency of Applying Nitrogen Powder Materials in Magnetic Abrasive Processing Technology (Scopus) Q3.