

1-  $j = 115A$ ; 2-  $j = 70A$

Рис. 3. Изменение скорости осаждения титанового покрытия в зависимости от расстояния между катодом и основой.

Таким образом, масса, а, следовательно, и толщина покрытия на площади  $S$  будет определяться в первую очередь величиной постоянной скорости потока и временем перемещения заготовки детали из точки А в точку В (рис. 4).

При наличии пространственного распределения плотности ионного потока (рис.1) скорость осаждения покрытия на поверхность основы площадью  $S$  определяется уравнением:

$$M = \int_B^A m \times \Delta s \times dX, \quad dt = f(dx),$$

где  $m$  – переменная скорость потока мкг/мин;  $\Delta s$  – площадь поверхности образца перпендикулярная потоку плазмы,  $m^2$ ;  $dx$  – отрезок пути, проходимый участком  $\Delta s$  за время  $dt$ .

Движение заготовки из точки А в точку В, в начальный момент, сопровождается ростом скорости осаждения покрытия. Максимальная скорость роста соответствует положению заготовки на оси испарителя. Затем заготовки, продолжая двигаться к точке В, удаляется от оси испарителя и скорость осаждения потока падает (рис. 4).

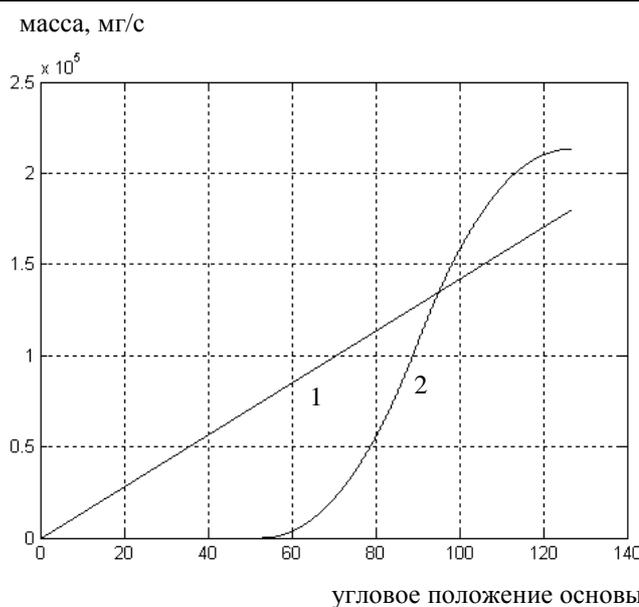
В результате проведенных исследований получены математические модели для расчета скорости осаждения однокомпонентной плазмы, которая допускает визуализацию результатов расчетов и позволяет определить скорость осаждения покрытий на поверхность движущейся заготовки с учетом пространственного распределения плотности ионно-плазменного потока.

УДК 621.793

**Петришин Г.В., Пантелеенко Ф.И., Пантелеенко Е.Ф., Пантелеенко А.Ф.**

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФУЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

**Введение.** В ряде работ, посвященных исследованием технологии электроискрового легирования (ЭИЛ) и магнитно-



1-  $m = const.$ ; 2-  $m \neq const.$

Рис. 4. Графическое представление зависимости толщины осажденного слоя от положения основы в вакуумной камере.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. J.M.Pointevin, G.Lemeriére, J.Tardy Influence of substrate bias on the composition, structure and electrical properties of reactively D.C.-sputtered TiN films// Thin Solid Films.-1982.- vol.97.- P.61-77.
2. Компьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий/ Кундас С., Достанко А.П., Ильющенко А.Ф и др. – Мн: Бестпринт, 1998.-212 с.
3. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента.-М.: Наука, 1971. – 192 с.
4. Кетков Ю.Л., Кетков А. Ю., Шульц М.М. MATLAB 6.x: Программирование численных методов. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 672 с.
5. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн: Бестпринт, 1998.-284 с.

**Петришин Григорий Валентинович**, ассистент каф. технологии машиностроения Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

**Пантелеенко Федор Иванович**, зав. каф. порошковой металлургии, сварки, технологии материалов Белорусского национального технического университета.

**Пантелеенко Екатерина Федоровна**, аспирант Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220107, г. Минск, пр. Партизанский, 77.

**Пантелеенко Алексей Федорович**, студент Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл.-ть, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

механические свойства упрочненного слоя [1-5]. Причем в работах [1-3] отмечается, что на выбор технологических режимов упрочняющей обработки деталей влияет марка применяемого наплавочного материала. В работе [1] отмечается, что разница значений рекомендуемых режимов магнитно-электрического упрочнения для различных материалов может быть весьма существенна, и отличия параметров обработки тем больше, чем больше разница в физико-механических свойствах применяемых ферромагнитных порошков (ФМП).

В настоящее время в технологии МЭУ в качестве упрочняющих материалов используются порошки ферробора (например, ФБ-10, ФБ-17), феррохромбора (ФХБ-1, ФХБ-6-2), а также некоторых легированных сталей и чугунов. Технологические свойства таких ФМП достаточно полно исследованы и выработаны четкие рекомендации по выбору режимов МЭУ с их использованием [1, 2]. Однако покрытия, получаемые с использованием ферробора, имеют низкую абразивную и ударно-абразивную износостойкость, а технология получения порошков легированных чугунов достаточно трудоемка. Вследствие этого данные материалы не нашли широкого применения. Перспективным является применение в качестве упрочняющих материалов в процессе МЭУ самофлюсующихся порошков на железной основе. Предварительные исследования применения таких порошков в технологии МЭУ показали хорошее качество нанесенных покрытий и высокие физико-механические свойства упрочненного слоя [6, 7]. Однако исследования показали, что технологические режимы МЭУ, разработанные для известных ФМП, не совсем подходят для разработанных с участием авторов самофлюсующихся диффузионно-легируемых порошков на основе стали 40Л. В данной работе исследовалась структура и свойства покрытий, полученных методом МЭУ с использованием диффузионно-легируемых порошков на основе стали 40Л, в зависимости от технологических режимов обработки.

**Цель работы.** Исследование влияния основных параметров процесса МЭУ на физико-механические свойства нанесенных покрытий и выработка рекомендаций по выбору технологических режимов упрочнения, обеспечивающих заданные физико-механические свойства покрытий.

**Оборудование и методика исследований.** Для исследования свойств покрытий плоские образцы из сталей 45, 40Х с размерами 10x50x10 мм упрочняли на установки первого типа [4] на различных технологических режимах. В качестве источника технологического тока использовался сварочный трансформатор ВДУ-600. При нанесении покрытий величину напряжения и силу технологического тока контролировали с помощью вольтметра постоянного тока типа М367 с пределами измерения 0-250В, кл. 1.5 и амперметра постоянного тока

типа М4200 с пределами измерения 0-500А, кл. 1.5, ГОСТ 5405-64, установленными на передней панели генератора. Необходимое значение величины магнитной индукции определяли с помощью тарировочного графика, построенного с помощью теслаамперметра Ф4354/1 с пределами измерения 0,01-2,0 Тл и погрешностью 2%. Для упрочнения использовали разработанные самофлюсующиеся диффузионно-легируемые порошки на основе стали 40Л. Микрошлифы для исследований изготавливались в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88. Образцы заливали в обойме оксидной смолой, шлифовали и полировали пастой ГОИ. При приготовлении микрошлифа для травления использовали 1 – 5% -ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Фотографии частиц получены на микроскопе Neophot-21. Микротвердость исследовали на микротвердомере ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76 при нагрузке 0,981 Н. Исследование фазового состава порошковых материалов и покрытий проводили методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-3 в медном монохроматизированном излучении при скорости движения диаграммной ленты 600 мм/ч, скорости вращения счетчика 1,0 град/мин, напряжении на трубке 40 кВ и силе тока 8 мА. Рассчитанные максимумы и минимумы интенсивности линий сравнивали с табличными. Количественную оценку сплошности покрытий производили коэффициентом сплошности  $K_{СП}$ , который определяли по формуле [1]:

$$K_{СП} = \frac{l_{П}}{l_{М}} \cdot 100\%,$$

где  $l_{П}$  и  $l_{М}$  – соответственно сумма длин с покрытием и общая длина микрошлифов, изготовленных в продольном и поперечном направлениях, мкм.

**Результаты исследований.** Анализ фотографий микроструктур показывает, что технологические режимы осуществления процесса МЭУ оказывают существенное влияние на качество и физико-механические свойства наносимых покрытий.

Исследования показали, что на коэффициент сплошности и физико-механические свойства упрочненного слоя в большей степени влияет мощность электрических разрядов. Увеличение мощности разряда приводит к увеличению толщины упрочненного слоя, причем это увеличение особенно заметно при измерении общей толщины слоя. На рис.1. видно, что толщина «белого» слоя плавно растет пропорционально мощности электрического разряда до 3100 Вт. Дальнейшее увеличение мощности не приводит к значительному росту толщины «белого» слоя, однако суммарная толщина упрочненного слоя («белый» слой и переходной слой с измененной структурой) увеличивается.

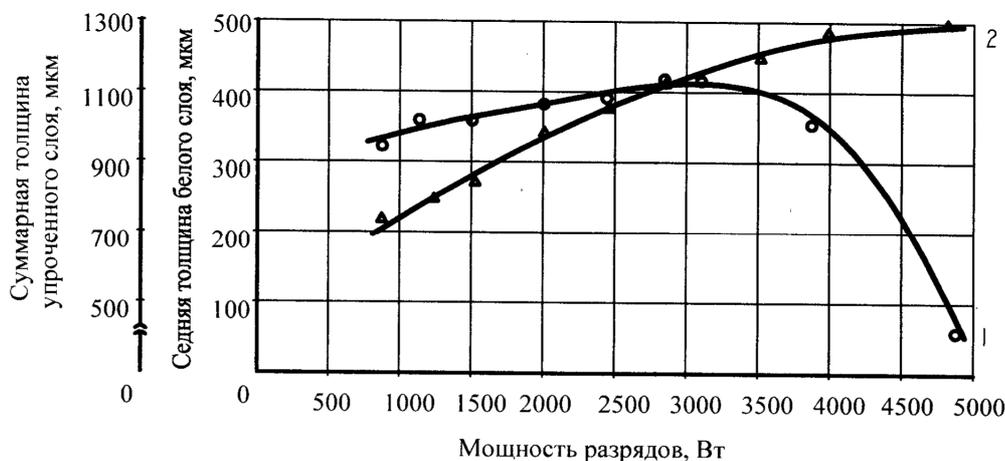


Рис. 1. Зависимость толщины «белого» слоя (1) и суммарной толщины упрочненного слоя (2) от мощности электрических разрядов при МЭУ.

Анализ микроструктур упрочненных образцов показывает, что переходной слой имеет мелкозернистую мартенситную структуру. Такая структура подслоя обусловлена кратковременным нагревом металла подложки разрядом тока до высоких температур и мгновенным охлаждением нагретых и расплавленных участков массой холодного металла. Причем увеличение мощности разряда приводит к росту толщины слоя с мартенситной структурой за счет большей глубины разогрева поверхности упрочняемой детали до закалочных температур. Дальнейшее увеличение мощности разряда (от 3100 Вт до 4800 Вт) приводит к дальнейшему росту переходного слоя с измененной структурой, но снижает толщину «белого» слоя вплоть до его исчезновения при мощности разряда свыше 3500 Вт. При этом верхний слой упрочненной поверхности имеет структуру мелкоиглочатого мартенсита с твердостью несколько меньшей, чем твердость подслоя с мелкозернистой мартенситной структурой. Это явление можно объяснить тем, что высокая мощность электрических разрядов не только обеспечивает расплавление частиц порошка, но и приводит к оплавлению поверхности металла подложки. При этом происходит перемешивание металла подложки с образовавшейся структурой «белого» слоя, что приводит к формированию на поверхности упрочненного образца структуры мелкоиглочатого мартенсита. Зерна здесь ориентированы преимущественно по направлению к телу детали, т.е. в направлении тепловода (рис. 2). Такая структура упрочненного слоя и обуславливает некоторое снижение его твердости по сравнению с твердостью подслоя, имеющего структуру мелкозернистого высоколегированного мартенсита. Высокая степень нагрева металла подложки определяет высокую скорость диффузии легирующих элементов из «белого» слоя в подслоя, вследствие чего снижается твердость упрочненного слоя и повышается твердость подслоя.

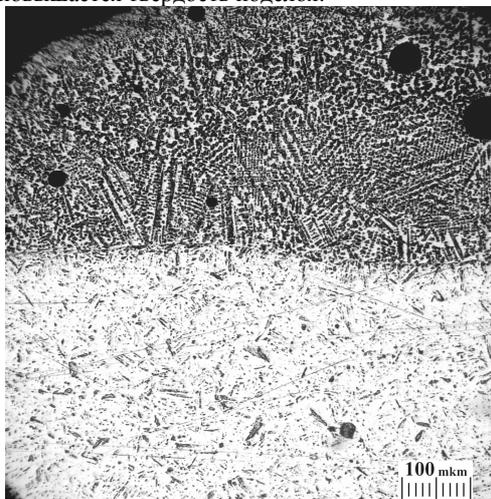


Рис. 2. Микроструктура упрочненного слоя при мощности разрядов 3500 Вт;  $\times 200$ .

Классический упрочненный слой, характерный для технологии электроискрового легирования и магнитно-электрического упрочнения, наблюдается при мощности электрических разрядов 800...3100 Вт. В этом случае упрочненный слой представляет собой «белый» слой и подслоя с измененной структурой, имеющей, в основном, структуру мелкозернистого мартенсита (рис. 3). Результаты исследования показывают, что при упрочнении на этих режимах «белый» слой обладает высокой микротвердостью, которая равна 1900 МПа. Столь высокая микротвердость является следствием карбидных и боридных образований в слое, внедренных в металлическую матрицу основы, характерных для технологии МЭУ с использованием самофлюсующихся диффузионно-легированных ФМП (рис. 4). На микроструктуре эти включе-

ния видны как более светлые кристаллы на фоне нетравящегося слоя. При исследовании микротвердости покрытий было отмечено, что эти включения имеют более высокую микротвердость по сравнению с микротвердостью «белого» слоя и достигают 1400...1500 МПа, что соответствует микротвердости боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$  [8]. Твердость этих избыточных боридов может достигать 1900 МПа, соответствующей микротвердости высокобористой фазы  $\text{FeB}$ . Это обусловлено наличием в кристаллах боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$  более твердой фазы  $\text{FeB}$ , мелкодисперсной и потому неразличимой при металлографических исследованиях. В то же время микротвердость «белого» слоя составляет 900...1100 МПа.

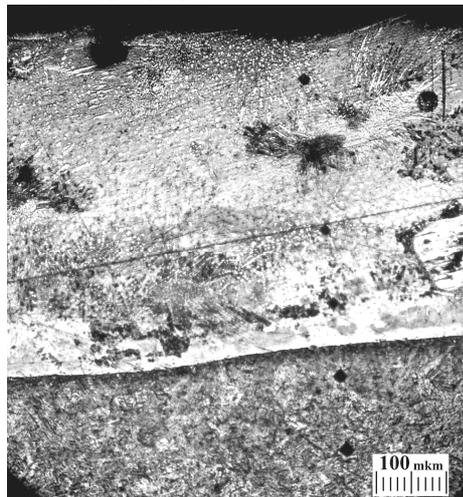


Рис. 3. Микроструктура упрочненного слоя при мощности разрядов 2900 Вт;  $\times 200$ .

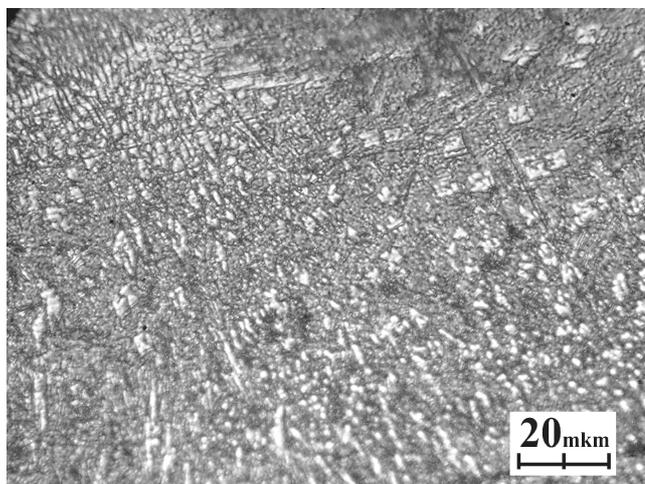


Рис. 4. Гетерогенная структура покрытия, нанесенного с использованием ДЛ порошка №9 при мощности разряда 2900 Вт;  $\times 800$ .

Результаты металлографического исследования фазового состава исследуемых покрытий, нанесенных МЭУ с использованием самофлюсующегося диффузионно-легированного порошка на основе стали 40Л, подтверждены фазовым рентгеноструктурным анализом. Дифрактограммы покрытий, нанесенных с мощностью разрядов 3500 Вт показывают их фазовый состав, состоящий преимущественно из  $\alpha\text{-Fe}$  (96,7%), и небольшого количества карбида железа  $\text{FeC}$  (0,3%) и боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$  (0,3%). В то же время на дифрактограммах покрытий, полученных с мощностью разрядов 2900 Вт, четко наблюдаются рефлексы боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$  (85,7%) и  $\gamma$ -твердого раствора, в меньшей степени наблюдаются рефлексы боридов  $\text{Fe}_3\text{B}$  (11,7%) и карбида железа  $\text{FeC}$  (2,1%). Рефлексы  $\text{FeB}$  на

дифрактограммах не наблюдаются. Очевидно, что более мощная фаза  $Fe_2B$  экранирует присутствующую в ней более твердую фазу  $FeB$ , вследствие чего на рентгенограммах последняя не идентифицируется автономно. В то же время на ее присутствие ясно указывает металлографический анализ покрытий, показывающий локальные всплески микротвердости отдельных участков кристаллов  $Fe_2B$  до 1850...1900 МПа, соответствующей твердости боридов  $FeB$  [8].

Наряду с толщиной упрочненного слоя, мощность электрических разрядов при МЭУ оказывает существенное влияние на его твердость. На рис. 5 показано изменение микротвердости «белого» слоя и подслоя с измененной структурой в зависимости от мощности разрядов при МЭУ. Как видно из графиков, увеличение мощности разрядов до 2700 Вт приводит к плавному увеличению микротвердости «белого» слоя, которая практически не изменяется при МЭУ на режимах 2700...3100 Вт. Дальнейшее же повышение мощности разрядов приводит к резкому снижению микротвердости белого слоя и при мощности разрядов 3900 Вт его твердость оказывается ниже твердости подслоя, имеющего структуру мелкозернистого мартенсита, легированного бором. Кривые, характеризующие зависимость изменения микротвердости подслоя от изменения мощности разряда в отличие от кривых, характеризующих микротвердость белого слоя, не имеют экстремума, а показывают плавный рост микротвердости с увеличением мощности разрядов. При повышении мощности электрических разрядов возрастает температурное воздействие на металл подложки, причем повышение разогрева поверхности приводит к ускоренной диффузии легирующих элементов из белого слоя в подслоя.

Это приводит к снижению твердости белого слоя и росту твердости подслоя, и при мощности разрядов 4200 Вт твердость подслоя оказывается выше твердости белого слоя. В этом случае концентрация карбидных, нитридных, а главное, боридных образований в белом слое снижается, что и обуславливает резкое снижение его твердости.

Коэффициент сплошности, позволяющий количественно оценить качество нанесенных покрытий, также зависит от мощности разрядов. На рис. 6 видно, что этот коэффициент возрастает с ростом мощности МЭУ и достигает максимума в 100% при мощности разрядов от 2900...3100 Вт. Дальнейшее повышение мощности не снижает сплошности покрытий.

Исследования показали, что величина рабочего зазора  $\delta$  также, как и мощность электрических разрядов, является важным фактором, оказывающим существенное влияние на качество покрытий, и в первую очередь, на их толщину и сплошность. Величина рабочего зазора определяет количество порошка в рабочем зазоре, его электрическое сопротивление, а, следовательно, и величину технологического тока. Исследования показали, что величина зазора влияет на толщину белого слоя и суммарную толщину упрочненного слоя, а также на коэффициент сплошности покрытий (рис. 7, 8). Оптимальная величина рабочего зазора при МЭУ для порошков с величиной частиц 0,4...0,63 мм была определена экспериментально и составила 0,6 мм, так как при этом зазоре образуется большее количество токопроводящих цепочек [1]. Уменьшение рабочего зазора до 0,4 мм приводит к увеличению технологического тока, что обуславливает ускоренную

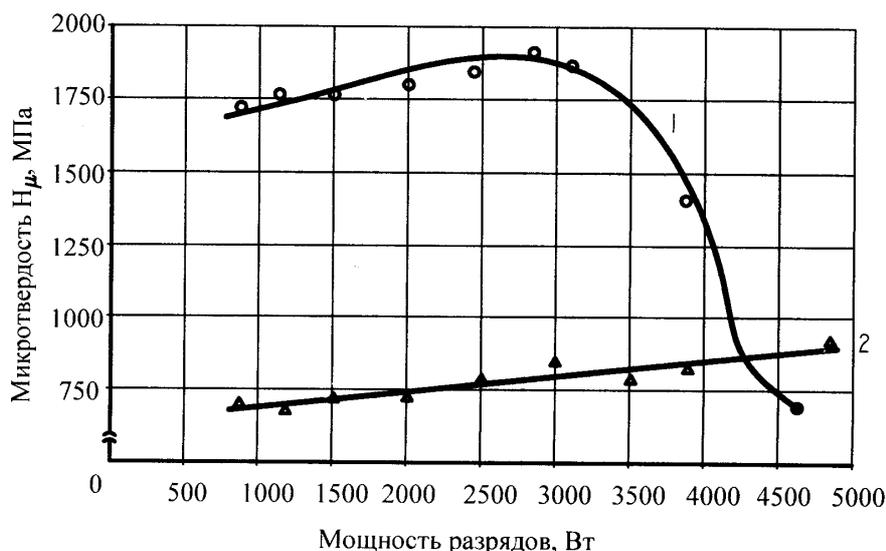


Рис. 5. Зависимость микротвердости белого слоя (1) и подслоя (2) покрытий от мощности разряда при МЭУ.

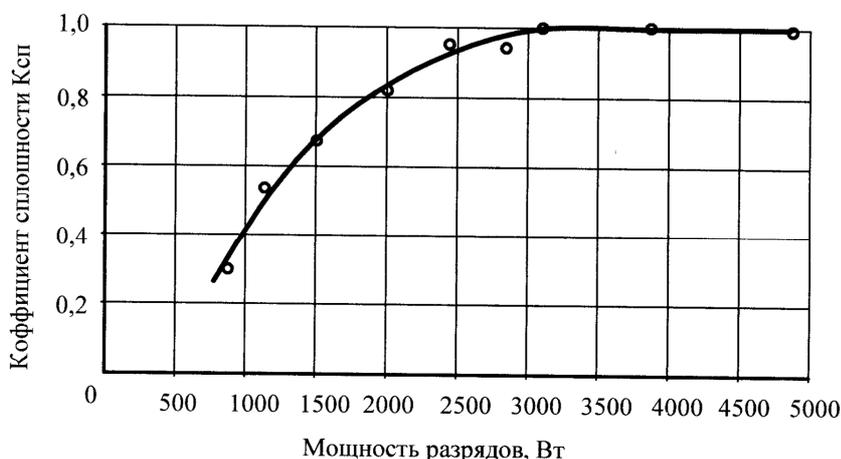


Рис. 6. Влияние мощности разрядов при МЭУ на коэффициент сплошности покрытий.

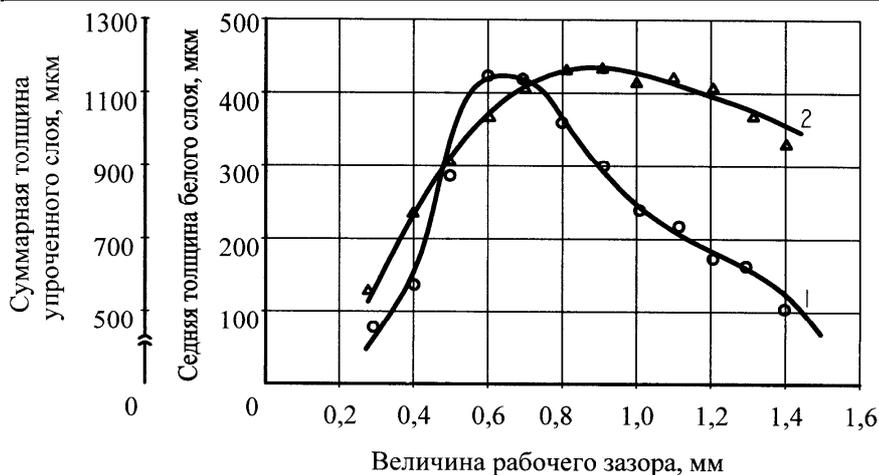


Рис. 7. Зависимость толщины «белого» слоя (1) и суммарной толщины упрочненного слоя (2) от величины рабочего зазора  $\delta$ .

эрозию металла подложки и выгорание легирующих элементов упрочняющего порошка. Формируемое покрытие при этом имеет малую толщину, низкую сплошность (рис. 8), а исследования его микротвердости указывают на снижение твердости белого слоя (рис. 9). Дальнейшее же уменьшение рабочего зазора (до 0,2 мм) приводит к короткому замыканию, схватыванию электрода-инструмента и обрабатываемой детали и прекращению процесса МЭУ. Увеличение зазора до 0,8 мм не оказывает существенного влияния на микротвердость и толщину упрочненного слоя, но снижает качество покрытий, и в первую очередь, сплошность покрытий. При МЭУ с зазором 0,8 мм количество токопроводящих цепочек из частиц порошка снижается, и вследствие этого наблюдается пульсация технологического тока.

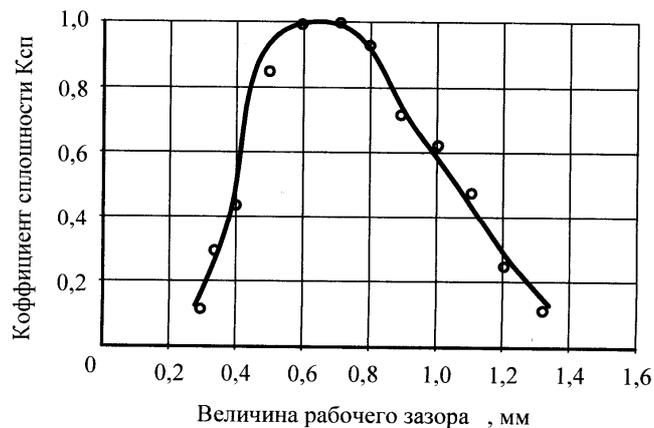


Рис. 8. Влияние величины рабочего зазора  $\delta$  на коэффициент сплошности.

При этом происходит неравномерный разогрев металла подложки с формированием упрочненного слоя только на отдельных участках обрабатываемой детали. Это приводит к ухудшению качества покрытий и снижению коэффициента сплошности. Дальнейшее увеличение рабочего зазора приводит к снижению стабильности процесса МЭУ, вследствие чего качество покрытий резко снижается, и при величине рабочего зазора 1,5 мм процесс упрочнения прекращается.

Для определения оптимальной величины магнитной индукции при МЭУ на лабораторной установке первого типа с использованием разработанных диффузионно-легированных ФМП на основе стали 40Л были проведены эксперименты при фиксированных остальных технологических факторах: мощность электрических разрядов 2900 Вт, величина рабочего зазора  $\delta=0,6$  мм; расход порошка  $q=9$  г/с·мм<sup>2</sup>. Величина магнитной индукции изменялась в пределах 0,1...0,6 Тл.

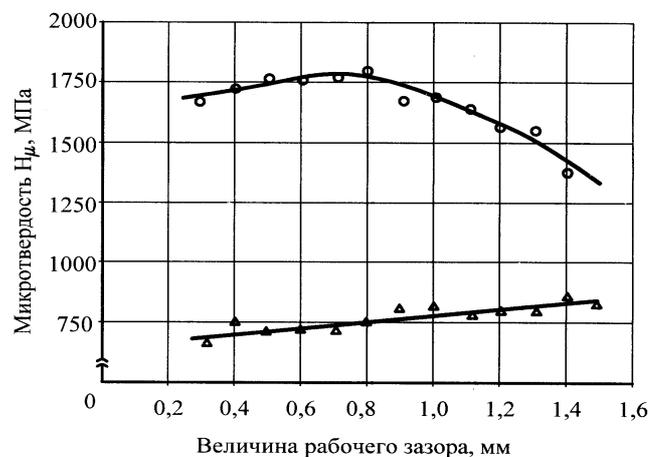


Рис. 9. Влияние величины рабочего зазора на микротвердость белого слоя (1 $\Delta$ ) и подслоя (2 $\circ$ ).

В работе [1] рекомендуемые значения магнитной индукции для установки первого типа находятся в интервале 0,2...0,3 Тл. Но так как магнитные свойства разработанных ФМП отличаются от магнитных свойств используемых в работе [1] порошков, оптимальная величина магнитной индукции несколько иная. Исследования показали, что величина магнитной индукции в 0,2 Тл недостаточна для формирования цепочек из частиц порошка, что приводит к снижению коэффициента сплошности наносимых покрытий. Увеличение величины магнитной индукции до 0,4 Тл стабилизирует процесс МЭУ и обеспечивает получение качественных покрытий с коэффициентом сплошности  $K_{СП} = 100\%$ . Такое значение магнитной индукции является оптимальным при МЭУ с использованием ДЛ порошков. Дальнейшее повышение величины магнитной индукции приводит к чрезмерному уплотнению частиц порошка в рабочем зазоре, при этом резко снижается величина его электрического сопротивления. Как следствие, возрастает технологический ток и по величине становится близким к току короткого замыкания, что приводит к оплавлению металла подложки и выбрасыванию части расплавленных частиц из рабочего зазора. Все это существенно снижает качество наносимых покрытий (рис. 10). При увеличении магнитной индукции до 0,6 Тл не наблюдается электрических разрядов и генератор импульсов работает в режиме короткого замыкания. Процесс МЭУ при этом останавливается и происходит лишь разогрев и оплавление отдельных частей обрабатываемой детали. Величина магнитной индукции практически не влияет на толщину и микротвердость нанесенных покрытий.

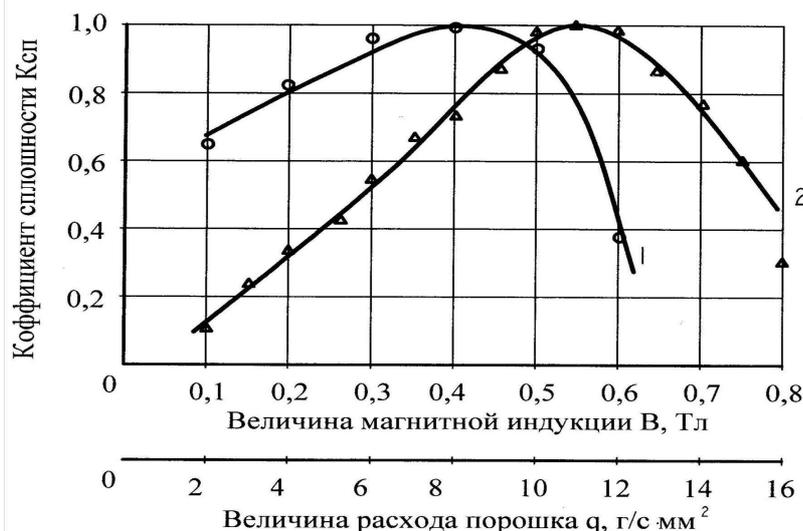


Рис. 10. Зависимость коэффициента сплошности  $K_{сп}$  покрытий от величины магнитной индукции (1) и расхода порошка  $q$ , г/с·мм<sup>2</sup> (2).

Количество частиц порошка в рабочем зазоре определяется не только величиной магнитной индукции, но и скоростью подачи порошка. Результаты исследований показали, что подача порошка оказывает влияние на сплошность наносимых покрытий, и практически не влияет на их толщину и микротвердость. Как видно из графика, характеризующего подачу порошка как технологический фактор, оптимальная скорость подачи порошка в рабочий зазор находится в пределах  $9...10$  г/с·мм<sup>2</sup>. В этом случае в рабочем зазоре формируется максимальное количество цепочек из частиц порошка, при этом замыкание электрической цепи и возникновение электрического разряда обеспечивается не только за счет удержания частиц магнитным полем, но и за счет заклинивания их в рабочем зазоре. При меньших значениях скорости подачи порошка не обеспечивается формирование достаточного количества цепочек частиц порошка и стабильность процесса МЭУ снижается. Кроме того, меньшее количество порошка не обеспечивает концентрации легирующих компонентов, необходимых для формирования твердых износостойких покрытий. Вследствие этого ухудшается качество покрытий. Увеличение же скорости подачи порошка свыше  $10$  г/с·мм<sup>2</sup> приводит к уплотнению частиц порошка в рабочем зазоре и их заклиниванию. При этом стабильность процесса МЭУ резко падает, что приводит к сокращению количества электрических разрядов вплоть до их исчезновения при расходе  $q=17...18$  г/с·мм<sup>2</sup>. Генератор импульсов в этом случае работает на режиме короткого замыкания.

#### Выводы

1. На основании анализа литературных данных и собственных исследований процесса МЭУ с использованием разработанного самофлюсующегося диффузионно-легирующего порошка на основе стали 40Л, установлено, что на выбор технологических режимов упрочняющей обработки оказывает существенное влияние марка наплавочного материала.

2. Установлено, что мощность электрических разрядов играет определяющую роль при формировании физико-механических свойств наносимых покрытий: толщины белого слоя, суммарной толщины упрочненного слоя (белого и подслоя с измененной структурой), их микротвердости, коэффициента сплошности. Так, максимальную суммарную толщину упрочненного слоя (до 1 мм) обеспечивает технологический режим с мощностью разряда  $3900...4800$  Вт, максимальная микротвердость (до 1900 МПа) достигается в широком диапазоне значений мощности разряда  $800...3900$  Вт. Коэффициент

сплошности, до 100 %, достигается при установке режимов с мощностью электрических разрядов  $3900...4800$  Вт.

3. Отмечено, что величина рабочего зазора, определяющая величину технологического тока, существенно влияет суммарную толщину упрочненного слоя, их микротвердость, коэффициент сплошности. Экспериментально установлена оптимальная толщина рабочего зазора  $0,6...0,7$  мм, обеспечивающая максимальную толщину упрочненного слоя (до 1 мм), высокую микротвердость (до 1900 МПа) и коэффициент сплошности 100%. Уменьшение зазора вызывает ускоренную эрозию металла подложки, увеличение приводит к снижению коэффициента сплошности за счет сокращения числа токопроводящих цепочек при нанесении покрытий.

4. Показано, что величина магнитной индукции в рабочем зазоре и расход порошка заметно влияют на качество наносимых покрытий. Установлено, что оптимальная величина магнитной индукции для разработанных самофлюсующихся порошков составляет  $0,4$  Тл, оптимальный расход порошка  $9...10$  г/с·мм<sup>2</sup>. Снижение величины этих параметров приводит к ухудшению качества наносимых покрытий, превышение же оптимальных значений величины магнитной индукции и расхода порошка дестабилизирует процесс и при значениях  $0,6$  Тл и  $17...18$  г/с·мм<sup>2</sup> приводит к короткому замыканию.

5. Установлено, что оптимальные режимы для исследуемых порошков в большинстве имеют отличия от рекомендуемых режимов для известных материалов. Лишь оптимальный расход порошка соответствует данным, определенным для исследованных ферромагнитных материалов. Для МЭУ с использованием разработанных самофлюсующихся порошков можно рекомендовать следующие режимы: мощность разряда  $P=2900...3100$  Вт; величина магнитной индукции  $B=0,4...0,5$  Тл; величина рабочего зазора  $\delta=0,6...0,7$  мм; расход порошка  $q=9...10$  г/с·мм<sup>2</sup>.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Люцко В.А. Технология и установки магнитно-электрического упрочнения плоских поверхностей деталей машин. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: - 01.04.13 / Полоцкий гос. унив.-т. – Новополоцк, 2004.-24 с.
2. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын, М.Т. Забавский, Л.М. Кожуро, Л.М. Акулович. – Минск: Наука и техника, 1988. – 272 с.
3. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С. Упрочнение и ремонт ответственных деталей машин методом электроэро-

- зионного легирования // Тяжелое машиностроение. – №2. – 2005. – С.28-32
4. Электромагнитная наплавка плоских изношенных поверхностей деталей машин /Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, А.И. Коршунов и др. // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2004. - №1. - с.2-6.
5. Пантелеенко Ф.И., Люцко В.А., Петришин Г.В., Дмитриченко Е.Э. Влияние термической обработки на свойства покрытий из ферромагнитных порошков // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Материаловедение. №6, 2005, – С. 47-49.
6. Петришин Г.В. Применение самофлюсующихся порошков в процессе магнитно-электрического упрочнения // Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение. №4, 2004, – С. 37-38.
7. Петришин Г.В. Исследование свойств диффузионно-легированных порошков и покрытий из них // Сборник материалов 5-ой международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов, магистрантов. – ГГТУ им. П.О.Сухого. – Гомель, 2005. – С.99-102.
8. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.