

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Институт материаловедения Хабаровского научного центра
Дальневосточного отделения Российской Академии наук,
ул. Тихоокеанская, 153, 680042, г. Хабаровск, Россия*

Введение

Получение материалов и покрытий непосредственно из минерального сырья является актуальной задачей, связанной с решением программ его комплексного использования и обеспечения экологических условий производства. Особый интерес для обеспечения упрочнения представляют материалы, содержащие вольфрам, цирконий, бор. Использование шеелитового, датолитового, бадделеитового концентратов в виде порошков при электроискровом легировании является одним из возможных вариантов прямого превращения минерального сырья в покрытие. Перспектива существенного снижения затрат на формирование упрочненного поверхностного слоя, значительного сокращения цикла подготовки электродных материалов и эффективного использования затрачиваемой энергии является важной задачей.

Целью выполняемой работы является определение взаимосвязи состава порошковых материалов из минерального сырья, энергетических и технологических параметров процесса электроискрового легирования (ЭИЛ) с некоторыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами образующихся покрытий.

Методика эксперимента

Для исследований использовали механизированную установку ЭИЛ модели Разряд – 3М производства Опытного завода Института прикладной физики АН РМ, позволяющую обеспечить процесс формирования покрытия из порошковых материалов минерального сырья при производительности до 20 см² в минуту на цилиндрической поверхности [1].

На рис. 1 приведена действующая схема установки [2]. Обрабатываемая заготовка устанавливается в трех кулачковом патроне. Низковольтные сильноточные импульсы, получаемые с помощью РС-генератора, подаются на рабочий электрод – анод и катод–заготовку, которые вращаются. Для инициирования рабочих разрядов в межэлектродном промежутке используется импульсное напряжение до 15 кВ, в результате формируется поток низкотемпературной плазмы. Засыпанный в бункер порошок с заданным расходом подается в межэлектродный промежуток. При повышении напряженности электрического поля до величины большей, чем диэлектрическая прочность промежутка, обеспечивается образование импульсного разряда. При взаимодействии с ним порошок плавится, испаряется и наносится на обрабатываемую поверхность катода-заготовки.

По данным минералогического анализа используемые порошки концентратов имеют следующий состав:

– шеелитовый концентрат (мас. %): шеелит (CaWO_4) – 60,8; эпидот – 8,1; апатит – 6,7; рутил – 0,2; гидроокислы железа – 0,7; карбонаты – 6,0; сульфиды – 8,6; вольфрамит – 5,4; кварц – 2,4; слюда – 1,1.

– датолитовый концентрат (мас. %): датолит ($\text{CaB}[\text{SiO}_4]$) – 85,0; пироксен – 4,0; гранит – 1,0; кварц – 1,0; карбонат и кальцит – 3,0; сульфиды – 6,0.

– бадделеитовый концентрат (мас. %): бадделеит (ZrO_2) – 99,6; пирит – 0,1; рутил – 0,06; лимонит – 0,03; апатит – 0,03; геметит – 0,05; слюда – 0,04; кварц – 0,02; циркон – 0,06.

Размер фракций порошковых концентратов при выполнении работы не превышал 0,08 мм. Априорно определена необходимость добавки в используемые порошковые материалы до 20% углерода.

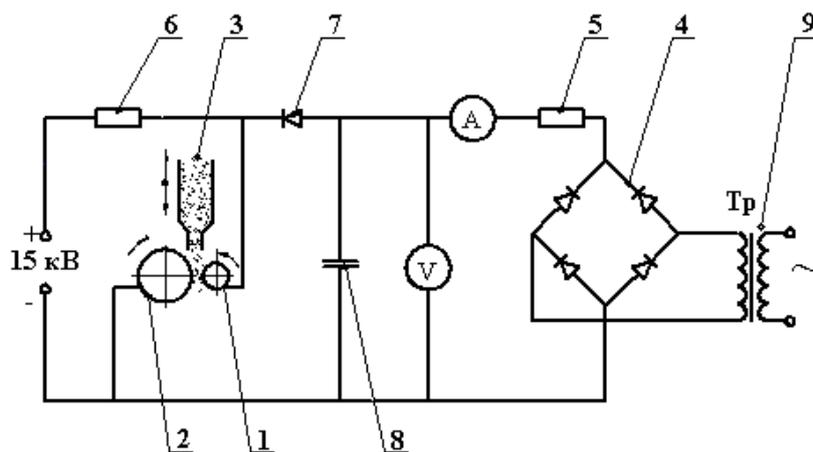


Рис.1. Схема образования покрытий методом ЭИЛ из порошкового электродного материала в электрическом поле: 1 – электрод-анод; 2 – катод-заготовка; 3 – бункер с порошком; 4 – выпрямитель; 5 – балластное сопротивление; 6 – токоограничивающее сопротивление; 7 – разделительный вентиль; 8 – емкостной накопитель; 9 – трансформатор

Для получения комплексных зависимостей, связывающих энергетические, технологические параметры процесса и химический состав порошкового материала с толщиной упрочненного слоя (T_n), микротвердостью покрытия (H_μ), износом поверхности при трении без смазки (U) и коэффициентом трения (f), использовался статистический метод планирования эксперимента [3]. В качестве переменных рассматривались следующие факторы: выделившуюся в межэлектродном промежутке приведенную энергию (W_n), частоту вращения заготовки (n_3), расход порошка (q). Остальные технологические параметры приняты постоянными, как обеспечивающие устойчивость процесса и не оказывающие значительного влияния на результаты экспериментов для используемых заготовок из стали Ст3 диаметром 45 мм: частота вращения электрода – анода $n_3 = 45$ об/мин, скорость продольного перемещения $S_m = 10$ мм/мин, величина межэлектродного промежутка 1,0 мм, частота следования импульсов $f_n = 100$ Гц. В течение 1 мин обрабатывалась поверхность площадью $F_m = 14,1$ см². Шероховатость поверхности определялась с использованием профилографа-профилометра модели Калибр–201. Исследования фазового состава полученных покрытий выполнены на дифрактометре ДРОН–3М.

Установлено следующее соотношение между фиксированными значениями напряжения холостого хода и величиной, выделившейся в межэлектродном промежутке приведенной энергии при заданных частотах следования импульсов $f_n = 100$ Гц: $U_{xx} = 260$ В, $W_n = 7,7$ кДж/см²; $U_{xx} = 215$ В, $W_n = 5,5$ кДж/см²; $U_{xx} = 170$ В, $W_n = 3,3$ кДж/см².

Сравнительные испытания на износ выполнялись на машине трения МТ-22П по схеме "вал-штулка" без смазки под нагрузкой 300 Н при скорости скольжения 0,4 м/с. Контртело выполнено в виде сегмента из закаленной стали Х12Ф1 (HRC 56 – 58). Величина износа оценивалась по изменению линейных размеров с помощью микрометра фирмы "Mitutoyo" с точностью 1 мкм по 6 замерам и расчетам среднего значения на каждый 1 км пути трения. Длительность испытания составляла 10 км пути трения. Коэффициент трения определялся по отношению силы трения к величине нормальной нагрузки по результатам замеров, выполненных после периода приработки.

Результаты исследований и обсуждения

Результаты выполненных исследований показывают, что наибольшую толщину покрытия до 100 мкм обеспечивает применение бадделеитового концентрата, а при использовании шеелитового концентрата толщина покрытия достигает 90 мкм. Наименьшая толщина покрытия (до 40 мкм) образуется при применении датолитового концентрата. Наибольшая микротвердость и шероховатость получены при применении шеелитового концентрата.

Рентгенофазовый анализ образуемых покрытий показал, что их основой является материал подложки, легированный элементами, входящими в состав концентратов. При этом наблюдается незначительное восстановление вольфрама и циркония из концентратов. Остальные характеристики покрытий приведены в табл. 1.

Полученная зависимость микротвердости образуемых покрытий для используемых концентратов в зависимости от приведенной энергии искровых разрядов W_n при фиксированных значениях

частот вращения заготовки приведена на рис. 2. Зависимость имеет нелинейный характер. Наибольшие значения микротвердости получены при использовании приведенной энергии искровых разрядов $W_n \approx 7 \text{ кДж/см}^2$.

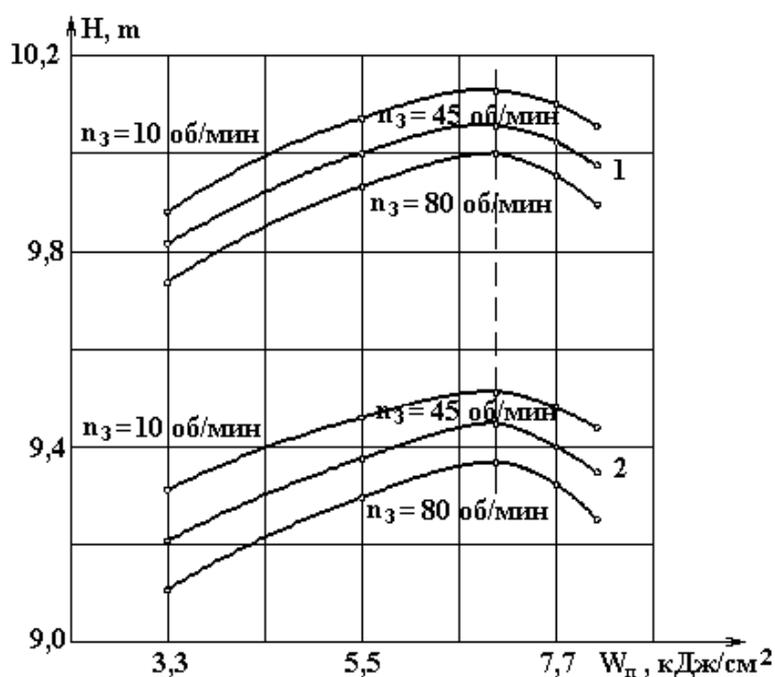


Рис. 2. Зависимости микротвердости покрытий H_μ от приведенной энергии искровых разрядов W_n при фиксированных значениях частоты вращения заготовки n_3 для шеелитового (1), бадделеитового и датолитового (2) концентратов

Таблица 1. Характеристики образуемых покрытий

Концентрат	Толщина покрытия T_n , мкм	Микротвердость покрытия H_μ , ГПа	Толщина переходной зоны, мкм	Шероховатость поверхности, R_z , мкм	Фазовый состав покрытий
Шеелитовый	20 – 90	9,7 – 10,1	25 – 60	6,0 – 10,0	Fe; WO_3 ; FeW; WFe_2 ; W
Датолитовый	10 – 40	9,1 – 9,5	10 – 30	5,0 – 9,5	Fe; $B(SiO_4)$; FeB; BO_2
Бадделеитовый	30 – 100	9,2 – 9,5	30 – 60	5,0 – 9,5	Fe; ZrO_2 ; $ZrFe_2$; Zr

Использование статистического метода планирования эксперимента, математическая обработка его результатов позволили получить уравнения регрессии для расчетов толщины упрочненного слоя, микротвердости поверхности и коэффициента трения при испытании без подвода смазки в зависимости от технологических параметров процесса электроискрового легирования. Указанные зависимости приведены в табл. 2 и свидетельствуют о нелинейности закономерностей в двухмерном пространстве.

Таблица 2. Зависимости толщины, микротвердости и триботехнических характеристик покрытий от технологических параметров процесса

Уравнение регрессии	Свободный член уравнения для концентратов (a)		
	шеелитовый	бадделеитовый	датолитовый
$T_n = a + 0,190 W_n - 0,112 n_3 + 0,177 W_n^2$	12,410	18,058	18,924
$H_\mu = a + 0,196 W_n - 1,55 \cdot 10^{-3} n_3 + 1,99 \cdot 10^{-2} W_n^2$	9,377	8,797	
$U = a - 0,784 W_n + 9,29 \cdot 10^{-3} n_3 + 5,99 \cdot 10^{-2} W_n^2$	3,557	4,144	
$f = a - 0,149 W_n + 1,55 \cdot 10^{-3} n_3 + 1,18 \cdot 10^{-2} W_n^2$	0,967	1,077	

Результаты исследования износа показали повышение износостойкости по сравнению с образцами без покрытия при применении шеелитового концентрата в 1,1 – 1,3 раза, а датолитового и бадделеитового концентрата в 1,2 – 1,5 раза.

Полученная информация о толщине образуемых покрытий и величинах износа позволяет в первом приближении определить ресурс работы используемых покрытий и назначить соответствующие режимы процесса. Так, покрытия, образуемые при использовании шеелитового концентрата, имеют ресурс работы 5,56 км при $T_n = 10$ мкм, $H_\mu = 9,9$ ГПа и ресурс 16,67 км при $T_n = 20$ мкм, $H_\mu = 10,0$ ГПа; при использовании бадделеитового и датолитового концентратов ресурс работы покрытия составляет 5,77 км при $T_n = 15$ мкм, $H_\mu = 9,3$ ГПа и 14,7 км при $T_n = 25$ мкм, $H_\mu = 9,94$ ГПа.

Выводы

1. Установлена возможность использования порошкового электродного материала из минерального сырья (шеелитовый, датолитовый, бадделеитовый концентраты) для формирования покрытий на металлической подложке.

2. Определены зависимости толщины сформированного покрытия, его микротвердости, величины износа, коэффициентов трения от состава порошкового материала и режимов процесса ЭИЛ.

3. Получены экспериментальные зависимости, позволяющие определить ресурс работы сформированных покрытий и выбрать необходимые режимы обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Врублевский А.А., Мулин Ю.И. Использование порошковых материалов из минерального сырья в процессах упрочняющей обработки // Исследования Института материаловедения в области создания материалов и покрытий. Владивосток, 2001. С. 89 – 91.
2. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев, 1985.
3. Петрович М.А., Давидович М.И. Статистическое оценивание и проверка гипотез на ЭВМ // Финансы и статистика. М., 1969.

Поступила 3.07.02

Summary

In the work results of researches of a metal surfaces hardening by electrospark alloying with powder materials consisted of sheelite, datolite, and baddelite concentrates have been presented.

Ж.И. Бобанова, Д.М. Кроитору, Г.В. Гурьянов

ВЛИЯНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ИОНОВ НА ПРОЦЕССЫ СООСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛОВ

*Институт прикладной физики Академии наук Молдовы,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD–2028, Республика Молдова*

Соосаждение металлов и неметаллов лежит в основе получения композиционных электрохимических покрытий (КЭП), обладающих уникальными свойствами, например, экономичностью, и представляющих в связи с этим значительный практический интерес для машиностроения и ремонтного производства.

Управление структурой и составом КЭП в процессе электроосаждения позволяет получать покрытия с заданными комплексами свойств. Выбор упрочняющей дисперсной фазы и состава электролита, установление зависимости состава покрытий от параметров электролиза, физико-