

ЛИТЕРАТУРА

1. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. - М.: Мир, 1982. – 334 с. 2. Розенберг Е.М. Об определении модуля упругости методом вдавливания// ЖТФ. – 1945. – Т. 15, вып. 3. – С. 157 - 172. 3. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. В двух частях. Часть 2. Механические испытания. Конструкционная прочность. – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.

УДК 621.793

¹Реут О.П., ²Коваль В. А., ³Саранцев В. В.

ЭКЗОТЕРМОРЕАКЦИОННОЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ УПРОЧНЕНИЕ

¹*Институт повышения квалификации и переподготовки кадров при НТУ*

²*Белорусский государственный аграрный технический университет*

³*Белорусский национальный технический университет*

(г. Минск, Беларусь)

Бурное развитие важнейших отраслей современной промышленности невозможно без использования и разработки новых материалов с нетрадиционными свойствами, а также новых методов обработки как новых, так и существующих материалов. Важная роль при этом принадлежит технологиям, позволяющим придать особые свойства поверхностным слоям, а также восстанавливать детали, работающие в различных условиях эксплуатации, с целью повышения их эксплуатационной стойкости, надежности, снижения эксплуатационных затрат. В наибольшей мере таким требованиям отвечает нанесение тугоплавких соединений: карбидов, нитридов, боридов, силицидов, окислов, а также твердых сплавов и композиционных материалов на их основе. Получение тугоплавких соединений и изделий из них сопряжено со значительными материальными затратами. В основе традиционных технологий лежат процессы медленного протекания химических процессов при высоких температурах.

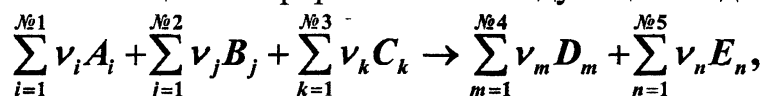
В 1967 г. в отделении Института химической физики АН СССР (ОИХФ) были разработаны оригинальные процессы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) тугоплавких неорганических соединений и материалов. Принцип СВС заключается в экзотермическом взаимодействии компонентов исходной шихты, протекающем в специально организованном режиме направленного горения.

Взаимодействие реагентов начинается после локального инициирования реакции в небольшом слое исходной шихты, далее реакция в режиме послойно-

го горения распространяется по всему объему шихты. Скорость распространения волны горения в зависимости от состава шихты может быть от $1 \cdot 10^{-4}$ до 0,15 м/с. Температура в зоне горения достигает 800-4000 °С. При таких температурах многие присутствующие в исходных порошках примеси газифицируются, поэтому в СВС-процессах, как правило, наблюдается явление примесного газовыделения.

Экстремальные параметры СВС-процесса (скорость нагрева вещества в волне горения достигает 100000 град/с, максимальная температура 4000 °С, линейная скорость горения до 0,15 м/с), а также развивающимися в процессе синтеза давлениями до 50 МПа [1].

Температура горения элементных систем не превышает температуру плавления конечных продуктов и поэтому они получают либо в виде порошков, либо в виде спеков. В отличие от этого горение высококалорийных многокомпонентных систем обеспечивает высокие температуры горения (3000 – 6500 °С) с образованием жидких тугоплавких продуктов [2, 3]. Химическая схема таких реакций в обобщенной форме имеет следующий вид:



где A_i - WO_3 , MoO_3 , CrO_3 , Y_2O_5 , NiO , FeO и т.д.; B_j - Al , Mg , Ti , Zr и др.; C_k - C , B , Si и т.д.; D_m - WC , Mo_2C , Cr_3C_2 , YB_2 ; CrB_2 , Y_3N , $MoSi_2$ и т.д.; E_n - Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , TiO_2 и т.д., а ν_i , ν_j , ν_k , ν_m , ν_n – стехиометрические коэффициенты.

Кроме основных конечных продуктов, D_m и E_n , при горении образуются газообразные побочные продукты, пары металлов, субокислы, CO и т.д.

Так как СВС сопровождается сильным саморазогревом продуктов появляется возможность использования тепла химических реакций для формирования на поверхности изделий покрытий с особыми свойствами.

При горении слоя высокоэкзотермической шихты на поверхности стальной основы возможны два режима динамического взаимодействия расплава с основой: приплавление и закалка. В режиме приплавления происходит формирование покрытий из тугоплавких соединений и твердых сплавов, причем в формировании принимает участие и материал основы [4, 5].

В свете современных представлений процесс образования прочного сцепления между материалом покрытия и основой рассматривается как химическая реакция на границе раздела фаз, вступающих в физический контакт в результате деформации и растекания частиц. Природа материалов основы и частиц, их энергетическое состояние в момент соединения являются определяющими факторами образования прочной связи.

В ряде случаев протекание реакции СВС тугоплавких соединений на поверхности металла не приводит к получению покрытий. Основная причина - это появление более высоких значений коэффициентов теплопроводности и температуропроводности в металлах, чем в тугоплавких соединениях, и, что важно, наличие переходного слоя на границе раздела, где значения этих коэф-

фициентов еще меньше. Таким образом, тепло, медленно поступающее из фронта реакции диссипатирует в основном металле (температура поверхности которого при этом не достигает температуры плавления). Для преодоления этого явления возможны два пути: повышение температуры изделия (что не всегда возможно) и повышение температуры в зоне контакта при одновременном уменьшении переходного слоя за счет силового теплового воздействия от внешнего источника энергии.

Дополнительный ввод энергия может быть осуществлен с помощью лазерного, электронного луча или другого концентрированного источника энергии. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность и экономическую целесообразность совмещения процесса СВС с электроискровой обработкой (ЭИО). При этом покрытия получают более тонкими, состоящими из отдельных частиц, связанных с матрицей металлической связью.

Физическая сущность нового метода экзотермореакционного электроискрового упрочнения (ЭТРЭУ) состоит в том, что в зоне пробоя находится смесь химических реагентов, способных взаимодействовать между собой с большим тепловыделением после локального теплового инициирования реакции синтеза энергией электрического разряда (рис. 1). При этом продукты синтеза, в том числе тугоплавкие соединения, начинают образовываться на поверхности упрочняемой детали через стадию формирования жидкой фазы. Таким образом, покрытие формируется при значительно меньших энергозатратах по сравнению с базовой технологией электроискрового легирования (ЭИЛ). Дополнительное тепло химической реакции, эквивалентное или превышающее энергию импульсных разрядов, способствует повышению качества покрытия: растет толщина покрытия и его сплошность; уменьшаются внутренние напряжения, благодаря более плавным концентрационным градиентам по толщине покрытия. Таким образом, новизна метода ЭТРЭУ заключается в одновременном использовании достоинств известных методов ЭИЛ и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Эти преимущества позволяют значительно повысить производительность технологического процесса нанесения покрытий с $0,5-1 \text{ см}^2/\text{мин}$ до $3-5 \text{ см}^2/\text{мин}$ при обеспечении наибольшей сплошности и толщины заданного состава.

Таким образом, материалы на основе тугоплавких соединений или их комбинации могут обеспечить широкий спектр эксплуатационных свойств. В плане повышения твердости, износостойкости наиболее перспективным представляется использование карбидов, боридов, нитридов. Для повышения химической стойкости целесообразно применение оксидов и силицидов. Снижение коэффициента трения обеспечивают соединения, имеющие гексагональную структуру, к которым относятся силициды.

Конкретные комбинации состава сплавов внедрения в качестве основы покрытий и металлов-связок должны выбираться применительно к материалу основы и условиям эксплуатации изделий. Одной из отличительных особенно-

стей СВС процессов является возможность синтеза и элементов и соединений сложного химического состава при возможности регулирования фазового состава и структуры.

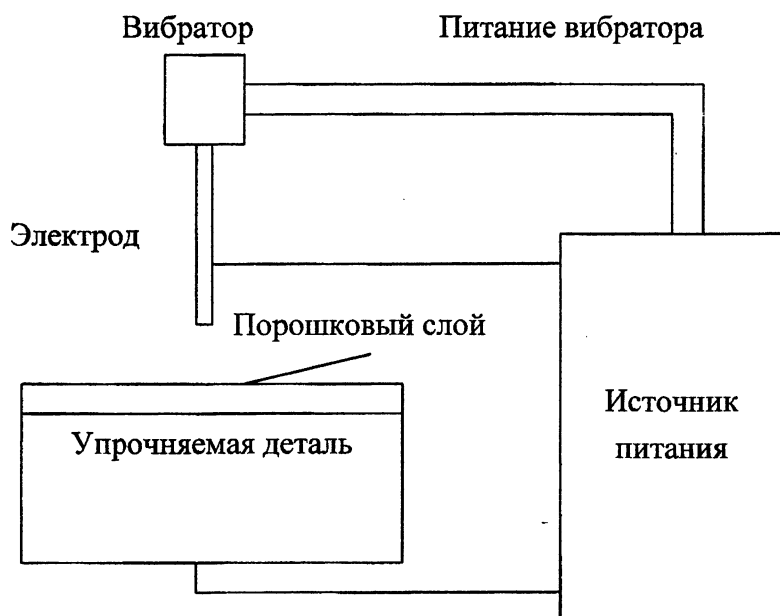


Рисунок 1 – Технологическая схема нанесения покрытий методом экзотермореакционного электроискрового упрочнения

Используя неравновесность процесса, можно получить покрытия, микротвердость которых выше микротвердости собственно сплавов внедрения. Так ЭТРЭУ смеси $2(Ti + C) - (Ti - 2B)$ с добавкой глицерина дает слой с микротвердостью $4000 - 8000 \text{ кг/мм}^2$, в то время как микротвердость составляющих фаз не превышает согласно литературным данным 3500 кг/мм^2 , а микротвердость покрытий приблизительно того же состава, полученных в традиционной технологии ЭИЛ, не превышает 2560 кг/мм^2 .

Поскольку в СВС процессах при одновременном подводе энергии от внешнего источника возможно получение широкой гаммы однофазных продуктов сложного состава; многофазных покрытий, обладающих спектром разнообразных свойств, нет принципиальных ограничений для получения защитных покрытий с заданными служебными свойствами. Вопрос о создании технологии получения таких покрытий оказывается вопросом стратегии и тактики выбора состава исходной смеси и определения режимов обработки.

Дополнительные возможности открываются при добавлении в исходную смесь металлов и сплавов, повышающих пластичность покрытия и защищающих сплавы внедрения от воздействия агрессивных сред, например, от окисления при высокой температуре.

Технологический процесс не исключает при этом нанесение на отдельные участки обрабатываемой поверхности покрытий разного состава. Неравновесность состава покрытия и наличие свободной энергии поверхности являются

движущей силой перестройки структуры в условиях эксплуатации.

В процессе испытаний было обнаружено, что стальные образцы, упрочненные на одном и том же режиме, одним и тем же составом, но предварительно закаленные до различной твердости ведут себя по-разному в условиях абразивного изнашивания.

С целью количественной оценки этого эффекта проведены испытания покрытий TiC + CrB₂ + Ni нанесенных на сталь 60C2A (0,57...0,65 C; 0,6...0,9 Mn; 1,5...2,0 Si), обработанную на различную твердость (рис. 2).

В условиях проведенных испытаний работоспособность образцов в первую очередь определяется свойствами поверхностного слоя. Некоторое уменьшение стойкости образцов с повышением твердости основы может быть объяснено различной склонностью образцов к диссипации энергии.

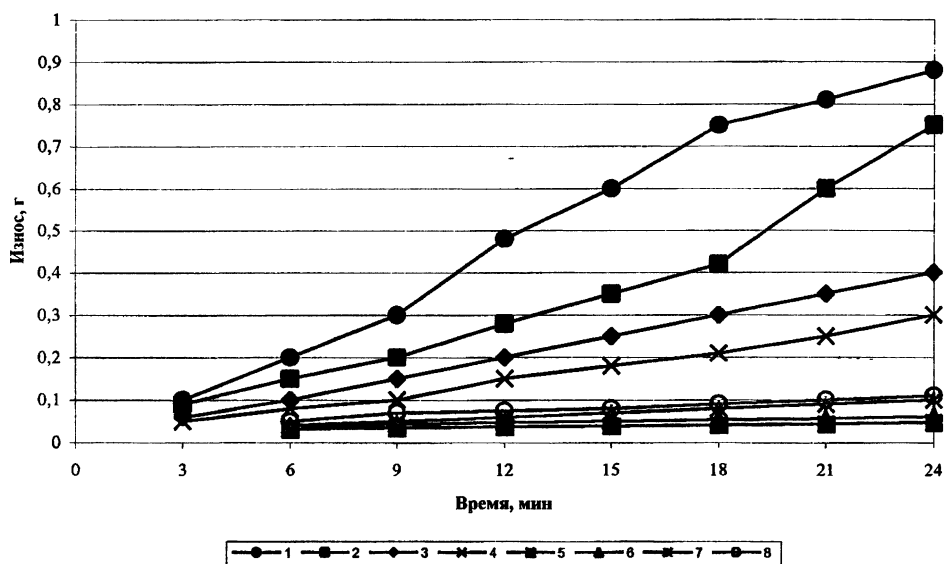


Рисунок 2 – Износостойкость образцов из стали 60C2A, предварительно обработанной до разной степени твердости 1-4 – образцы без покрытия, 5-8 – образцы с покрытием TiC + CrB₂ + Ni; 1,5 – 40 HRC, 2,6 – 50 HRC, 3,7 – 55 HRC, 4,8 – 60 HRC

Одновременно исследовалось влияние предварительного подогрева основы на величину диффузионной зоны. Образцы из стали 45 нагревали в камерной печи до температур 300...800 °К. Температуру основы контролировали с помощью хромель-копелевой термопары, установленной на расстоянии 0,5 мм от поверхности детали. Согласно полученным данным, диффузионная зона возрастает до 20 % при нагреве основы в интервале температур 350...600 °К. Дальнейшее увеличение температуры предварительного подогрева основы ведет к уменьшению диффузионной зоны. Это вполне объяснимо, если иметь в виду, что нагрев металлов в воздушной атмосфере сопровождается испарением с их поверхности влаги и дегазацией, а дальнейшее повышение температуры ведет к интенсивному окислению, что затрудняет образование металлической связи.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что термическая обработка и подогрев основы не значительно влияют на свойства покрытий.

В машиностроении используются различные методы упрочняющей обработки деталей, наиболее распространенными из которых являются: закалка с объемным нагревом при охлаждении в различных средах; поверхностная закалка с индукционным нагревом; цементация, нитроцементация; борирование с последующей закалкой, азотирование. Однако традиционные методы упрочняющей обработки деталей не всегда могут удовлетворить все возрастающие требования к долговечности, износостойкости, твердости, экономичности и экологической безопасности ответственных изделий.

Поэтому заслуживают внимания новые прогрессивные технологические методы, позволяющие повысить эффективность упрочняющей обработки и ее технологичность [6].

К преимуществам предложенной технологии можно также отнести:

- экзотермичность взаимодействия реагентов;
- образование полезных твердых продуктов;
- техническая и экономическая целесообразность;
- в качестве реагентов можно использовать также минеральное сырье и промышленные отходы;
- простота технологии;
- хорошая адгезия с поверхностью детали;
- низкий коэффициент трения и высокая твердость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология СВС-порошков. Л.С. Попов // Оборудование, материалы, процессы. Межотраслевой научно-технический сборник. М. 1988. стр. 3-16.
2. Корчагин М.А., Гусенко С.Н. и др. Перспективы использования синхротронного излучения для исследования динамики фазовых превращений при горении конденсированных систем. // В сб. "Химическая физика процессов горения и взрыва". Черногловка, 1980, С. 93—96.
3. Мержанов А.Г., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез литых тугоплавких неорганических соединений. // Доклады АН СССР, 1980, 255, № 1, С. 120—124.
4. Юхвид В.И. Динамическое взаимодействие высокотемпературного двухфазного расплава с металлической основой. // Препринт ОИХФ, Черногловка, 1986, С. 1—16.
5. Булаев А.М., Гальченко Ю.А. и др. Микроструктура и распределение элементов в литых СВС-покрытиях на основе титано-хромового карбида. Препринт ОИХФ, Черногловка, 1984, С. 1-9.
6. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. — Мн.: УП "Технопринт", 2000. — 186 с.