

## ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЯ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ, ВЫДЕЛЯЮЩУЮСЯ ПРИ ПРОТЕКАНИИ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь*

*The new technology of depositing a wearproof coverings is offered, using thermal energy allocated at course exothermic reactions. The most suitable sheaf for depositing initial charge on surface hardenable or restored parts is picked experimentally up.*

Одной из главных задач научно-технического прогресса является внедрение в промышленность технологических процессов, обеспечивающих повышение производительности труда и увеличение коэффициента использования материалов, уменьшение энергоёмкости и себестоимости изделий [1].

Развитие современной техники связано с необходимостью использования непрерывно повышающихся рабочих температур, скоростей, высоких и сложных нагрузок, а также с эксплуатацией отдельных узлов и целых машин и механизмов в условиях воздействия агрессивных сред. В настоящее время практически нет таких направлений науки и техники, которые не нуждались бы в материалах, способных показывать высокую эксплуатационную стойкость в экстремальных условиях. Такие материалы должны быть износостойкими, жаропрочными, химически инертными при контакте с агрессивными жидкостями и т.д. [2].

Нанесение износостойких, коррозионно-стойких, теплоизоляционных и других порошковых покрытий позволяет резко сократить расход дорогостоящих легированных материалов и дает возможность существенно повысить надежность деталей машин и оборудования [3].

Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых машин и приборов связаны с необходимостью повышения их точности и надежности, которые непосредственно зависят от эксплуатационных свойств рабочих поверхностей деталей в узлах трения, так как до 80 % случаев выхода из строя машин происходит по причине износа этих сопряжений. Поэтому уже в процессе обработки таких поверхностей нужно формировать их высокие эксплуатационные свойства [4].

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) тугоплавких неорганических соединений и материалов, открытый около 30 лет назад российскими учеными, занял прочное место среди современ-

ных химических и металлургических технологий. Лабораторные исследования и технологические разработки в этой области ведутся во многих промышленно развитых странах, в них вовлечены десятки университетов, исследовательских лабораторий и промышленных компаний, сотни ученых, инженеров, конструкторов.

Сущность процессов СВС заключается в самопроизвольном распространении зоны химической реакции в средах, способных к выделению химической энергии с образованием ценных конденсированных продуктов. В научно-учебном центре СВС Московского государственного института стали и сплавов и Института структурной макрокинетики РАН была разработана технология СВС-наплавки. СВС-наплавку осуществляют сжиганием слоя высокоэкзотермической шихты на поверхности металлической детали.

Температура горения смесей для СВС-наплавки составляет 3000–4500 °С и намного превышает температуру плавления продуктов горения, поэтому они получают в виде расплава. Под действием поля тяжести двухфазный расплав расслаивается, причем «тяжелый» твердый сплав отслаивается на поверхности детали, а «легкий» — окись вытесняется в верхний слой, рис. 1.

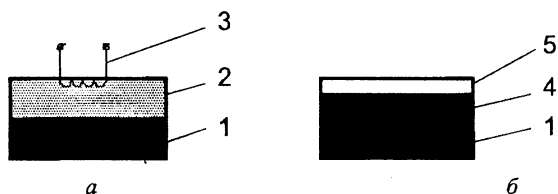
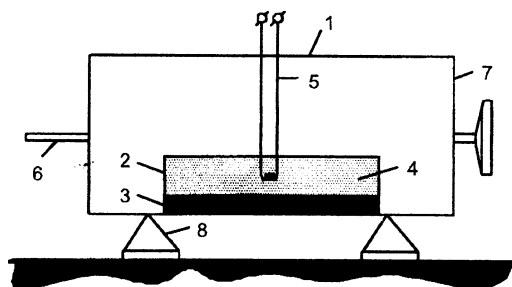


Рис. 1. Схема СВС-наплавки: а) образец до наплавки: 1 — подложка с высокоэкзотермической шихтой 2; 3 — электроспираль; б) образец после наплавки: 4 — литое защитное покрытие; 5 — шлаковый слой

Высокотемпературные продукты горения разогревают, расплавляют тонкий поверхностный слой детали и перемешиваются с ним. В результате после кристаллизации на поверхности металлической детали образуется слой твердого сплава, прочно сцепленный с ней. Окисный слой не имеет сцепления с наплавленным покрытием и легко удаляется.

СВС-наплавку производят в герметичном реакторе (рис. 2) под давлением газа (аргона, азота, воздуха) 20-50 атм. Давление в реакторе позволяет обеспечить высокую температуру горения и препятствует разбросу шихты газообразными продуктами горения. Время процесса наплавки в зависимости от массы шихты и ее состава составляет 1-20 сек, а время необходимой выдержки в реакторе — 1-10 минут [5,6].



*Рис. 2. Осуществление наплавки в СВС-реакторе:*

- 1 — оболочка реактора; 2 — тугоплавкая форма; 3 — деталь;  
4 — высокоэкзотермическая шихта; 5 — поджигающая электростираль;  
6 — устройство для ввода-вывода газа; 7 — крышка реактора  
с герметизирующим устройством; 8 — опора реактора*

Основным недостатком данного метода является ограниченность по размерам восстанавливаемой детали. Так для СВС-реактора модели СВС-30 размеры детали не должны превышать по длине 500 мм, по ширине 100 мм. Также необходимость использования газов под повышенным давлением.

Поэтому для восстановления и упрочнения деталей машин была разработана электроконтактное нанесение экзотермических порошковых смесей (ЭНЭПС). Метод основан на использовании тепловой энергии, выделяющейся при протекании экзотермической реакции в предварительно нанесенном слое реагентов на восстанавливаемую рабочую поверхность детали, и электрической, необходимой для инициирования реакции.

На рис. 3 приведены схемы ЭНЭПС, отражающие сущность метода на примере восстановления и упрочнения наружных поверхностей тел вращения. Электрод 1 располагается на расстоянии толщины  $k$  слоя экзотермической шихты 2 от заготовки 3. Электрод и заготовка подключаются к источнику электрического тока. В зазоре между обрабатываемой поверхностью и электродом находится нанесенный слой экзотермической шихты. Зерна порошка под действием энергии проходящего по ним тока нагреваются до температуры воспламенения, происходит окислительно-восстановительная реакция, сопровождающаяся выделением большого количества теплоты, расходуемой на синтез частиц реагентов, проплавление поверхностного слоя детали и перемешивание компонентов шихты с материалом детали. Тем самым, достигая высоких адгезионных свойств покрытия.

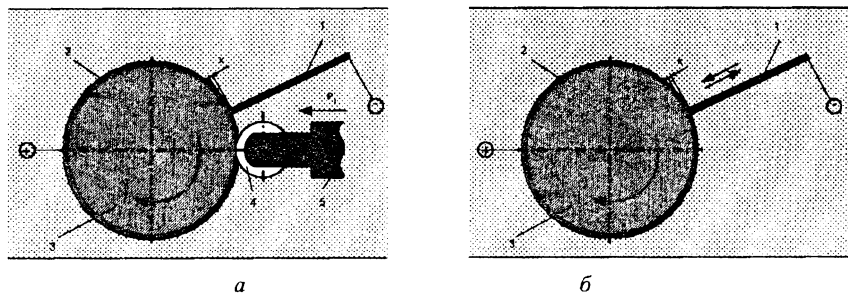


Рис. 3. Схемы электроконтактного нанесения экзотермических порошковых смесей наружных поверхностей тел вращения:

1 — электрод; 2 — экзотермическая шихта; 3 — восстанавливаемая деталь; 4 — роликовый накатник; 5 — пневмоцилиндр

Перспективным является метод электроконтактной наплавки с поверхностной накаткой. Поверхностная накатка вслед за наплавкой уменьшает шероховатость поверхности покрытия, увеличивает его твердость и формирует в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения, повышающие усталостную прочность обработанных деталей. Для повышения сплошности покрытия при ЭНЭПС используют вибрирующий электрод (см. рис. 3 б), прижимающий расплав реагентов во время их реакции к поверхности детали, тем самым, увеличивая глубину проникновения, т.е. переходную зону наносимого покрытия. Также для большей технологичности можно совместить функции электрода с накатником в виде электрода-ролика. При такой обработке смесь одновременно поджигается и уплотняется таким инструментом.

Слой реагентов можно наносить на подготовленную поверхность подложки в виде приготовленной жидкой суспензии несколькими методами: 1) кистью, 2) лакокрасочным пульверизатором, 3) обмакиванием, после чего детали с нанесенным слоем подвергаются сушке. Важным является выбор связующего вещества для приготовления пасты. Так экспериментально были нанесены на поверхность подложки 3 порошковых состава на базе смеси Ti-сажа-Ni-Fe. В качестве связки применяли: а — клей ПВА, б — силикатный клей, в — цапонлак. Хорошие результаты получены при использовании паст на нитроцеллюлозной основе с небольшим содержанием сухого остатка (цапонлак). При использовании силикатного клея в качестве связки реакция инициировалась при подводе большего количества тепла по сравнению с использованием цапонлака, и покрытие имеет большую шероховатость (рис. 4, б). Таким образом, наиболее целесообразно применение в качестве связки цапонлак или клей ПВА.

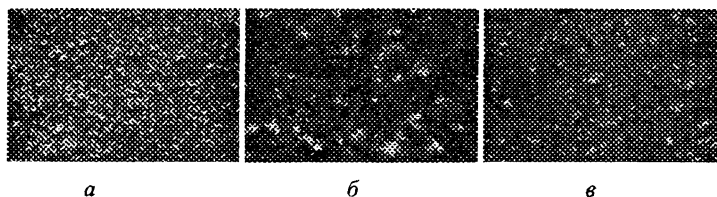


Рис. 4. Покрытия получаемые при использовании различных типов связок:  
 а — клей ПВА, б — силикатный клей, в — цапонлак

Таким образом видно, что процесс ЭНЭПС можно разделить на пять этапов:

- 1 — подготовка поверхности детали (активация, обезжиривание и т.д.);
- 2 — нанесение реагентов на поверхность детали;
- 3 — сушка нанесенных реагентов;
- 4 — инициация реакции в слое реагентов электрическим разрядом;
- 5 — формирование тугоплавкого износостойкого покрытия на поверхности детали за счет тепловыделения реакции.

К основным особенностям разработанного метода можно также отнести возможность локальной обработки поверхности (наплавку можно осуществлять в строго определенном месте, не защищая остальную поверхность детали); отсутствие нагрева детали в процессе обработки; высокую прочность сцепления нанесенного материала с основой; отсутствие необходимости специальной предварительной подготовки обрабатываемой поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. — Мн.: УП «Технопринт», 2000. — 186 с.
2. Самсонов Г.В., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. — М.: Металлургия, 1973. — 400 с.
3. Дорожкин Н.Н., Кашицин Л.П., Абрамович Т.М., Кирпиченко И.А. Центробежное припекание порошковых покрытий при переменных силовых воздействиях / Под ред. В.Г. Горобцова. — Мн.: «Навука і тэхніка», 1993. — 159 с.
4. Ящерицин П.И., Скорынин Ю.В. Работоспособность узлов трения машин. — Мн.: «Наука и техника», 1984. — 288 с.
5. Химия синтеза сжиганием / Ред. М.Коидзуми. Пер. с японск. — М.: Мир, 1998. — 247 с.

6. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. — М.: Бином, 1999. — 176 с.

УДК 534.2

Ушеренко С.М., Романенков В.Е., Ушеренко Ю.С.

## ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск. Республика Беларусь*

*At researches of dynamic processes of influence on materials numerous anomalies are found out. Dynamic interaction of high-speed clots of particles can occur in a mode of superdeep penetration when resistance of a firm material of a barrier to movement in it is less a than particle, than resistance met by a bullet in water.*

При исследованиях динамических процессов воздействия на материалы обнаружены многочисленные аномалии. Динамическое взаимодействие высокоскоростных сгустков микроударников может происходить в режиме сверхглубокого проникания, когда сопротивление твердого материала преграды движению в ней частицы меньше, чем сопротивление встречаемое пулей в воде.

### Введение

Основные знания о поведении материалов были получены при их изучении в условиях статических нагрузок. Поэтому, когда в ходе технического развития в возрастающей степени стали использоваться импульсные процессы, последовали многочисленные публикации об обнаружении аномалий в поведении материалов. Главной особенностью статических процессов обработки материалов является то, что флуктуации энергии, полей давлений, полей температур и других факторов могут иметь место, но они являются исключением из общих правил. По мере развития исследований динамических процессов становилось очевидным, что эти необычные флуктуации являются скорее правилом, чем исключением. Развитие различных направлений динамического воздействия в конце прошлого века позволило рассмотреть эту необычную тенденцию.

Динамический массоперенос, происходящий в твердом теле при наложении на него ударных нагрузок, характеризуется возрастанием коэффициента массопереноса на несколько порядков [1] по сравнению с аналогичным