

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*В.К. Ярошевич, д.т.н., проф.,
В.С. Ивашко, д.т.н., проф.,
А.С. Гурский, к.т.н., доц.*

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Введение

Назначение любого покрытия – защита поверхности детали от определенного эксплуатационного воздействия: изнашивания, коррозии и др. Порошковые покрытия из металлов и сплавов относятся к перспективным из-за большого разнообразия способов образования этих покрытий для деталей различного назначения. Такая универсальность обусловлена самой природой покрытия, состоящего из порошкового материала практически любого химического состава. Идея эффективного применения порошковых покрытий возникла на основе анализа высоких служебных характеристик печенных порошковых деталей, получаемых порошковой металлургией.

Технологический процесс получения покрытий припеканием (ГОСТ 17359-82) заключается в нанесении на поверхность детали слоя порошка и нагреве его до температуры, обеспечивающей спекание порошкового материала и образование прочной диффузионной связи его с деталью [1].

Основоположителем метода припекания, который появился в 60-х годах XX века, является член – корреспондент НАН Беларуси Н.Н. Дорожкин [2].

Припекание частиц к поверхности детали требует иных условий, чем при спекании порошков. Как правило, применение защитно-восстановительной среды и достижение температуры спекания еще недостаточно для получения покрытия. Это обусловлено различием теплофизических свойств порошка и основы, образованием разделяющих пленок между соединяемыми поверхностями, необходимостью обеспечения плотного контакта частиц порошка с деталью в процессе припекания. Для получения на поверхности детали прочного слоя, имеющего хорошее сцепление с основой, необходимо активировать поверхность детали, порошка или того и другого одновременно. Технологически для этого целесообразно использовать следующие процессы активирования: 1)химическое – введение специальных добавок для уменьшения окисления и разрушения окисных пленок; 2)температурное – в виде ускоренного нагрева и дополнительных присадок, снижающих температуру плавления порошка; 3)силовое, обеспечивающее получение надежного контакта частиц порошка и основы [3].

При химическом активировании в шихту вводят активные присадки в виде дисперсного порошка для более равномерного распределения его по всей порошковой системе. Для различных порошковых композиций используются присадки бора, кремния, фосфора, никеля.

Температурное активирование осуществляется чаще всего за счет ускоренного нагрева, который повышает активность диффузионных процессов. Наиболее технологичными являются нагрев токами высокой частоты и выделение тепла при пропускании импульсов электрического тока через контактирующие поверхности. Такой нагрев ускоряет диффузионные процессы, уменьшает окисление порошка и детали вследствие кратковременной выдержки, в результате чего удается обойтись без применения защитно-восстановительных сред или вакуума.

Силовое активирование процесса необходимо для создания надлежащего контакта частиц друг с другом и с поверхностью детали, так как нагрев разрозненных или находящихся в недостаточно тесном контакте частиц не обеспечивает получения покрытия с необходимыми физико-механическими свойствами. Имеется несколько технологических способов силового активирования: статическое нагружение с одновременным нагревом, спекание с приложением вибрации или ударов, давление за счет использования центробежных сил [4].

Одновременное применение химического, температурного и силового активирования является наиболее эффективным путем осуществления технологического процесса припекания.

В зависимости от вида нагрева и характера прилагаемых нагрузок припекание можно разделить на несколько видов: припекание в печах, электроконтактное и индукционное припекание.

Основная часть

Припекание в печах. Технология припекания с применением печного нагрева состоит из формирования слоя на поверхности изделия и спекания его с деталью в печи. Печной нагрев обеспечивает точную выдержку температуры, обеспечивающую протекание физико-химических процессов на контактах, но требует применения защитных атмосфер при спекании.

Формирование покрытий осуществляется или на прессах или магнитно-импульсным методом (рис. 1).

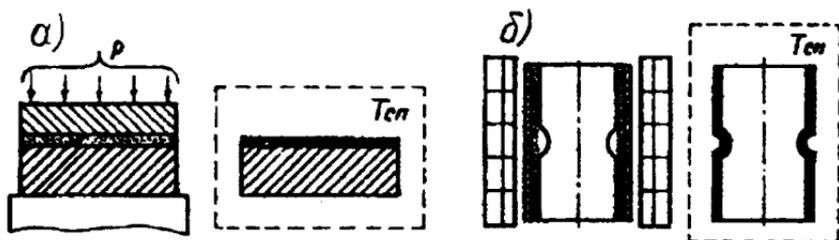


Рис. 1. Схемы формирования слоя порошка на поверхности детали прессованием на прессах (а) и магнитно-импульсным методом (б).

Первым способом получают пористые покрытия на плоских и внутренних поверхностях, а магнитно-импульсным методом – еще и на деталях сложной формы. При добавлении в порошковую шихту твердых смазок (пластмасс, например, фторопласта) детали могут работать как самосмазывающиеся [5].

Перспективность способа магнитно-импульсного формирования обусловлена возможностью создания высоких динамических усилий, способностью наносить покрытия на изделия различной формы, высокой производительностью процесса [6]. Прессование производится на магнитно-импульсных установках, рабочим инструментом которых служит многовитковой индуктор соленоидного типа, а формообразование осуществляется с помощью электропроводящей оболочки, которая деформируется силами, возникающими при взаимодействии магнитного поля индуктора и вихревых токов, наведенных в оболочке (рис. 2). После прессования оболочку удаляют и производят последующее припекание слоя в печах.

Магнитно-импульсное нанесение покрытий является универсальным методом: им можно наносить покрытия на наружные, внутренние, плоские и сложные поверхности с пористостью от 3 до 50 %, использовать порошки чистых металлов, цветные и твердые сплавы, их композиции.

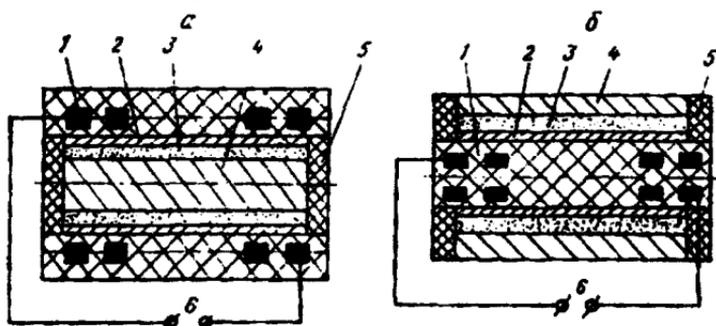


Рис. 2. Технологические схемы магнитно-импульсной напрессовки порошка по методу “на обжим” (а) и “на раздачу” (б):

- 1 – индуктор; 2 – электропроводящий элемент; 3 – порошок; 4 – деталь;
5 – заглушка; 6 – генератор импульсного тока

Ниже в качестве примера приведено использование магнитно-импульсного метода для восстановления бронзовых втулок, широко применяемых в автомобилестроении (втулки распредвала, верхней головки шатуна, поворотного кулака и др.). Их восстанавливают путем магнитно-импульсного обжатия на оправку, диаметр которой равен номинальному внутреннему диаметру новой детали, с последующим нанесением на ее наружную поверхность покрытия определенной толщины припеканием, напылением, электрохимическим способом.

Второй вариант восстановления втулок состоит из следующих операций: 1) подготовки поверхности (мойки, очистки); 2) ее термообработки (отжига); 3) нанесения порошкового слоя на наружную поверхность детали; 4) магнитно-импульсного прессования порошка в матрице по схеме “на раздачу”; 5) спекания порошка с деталью; 6) обжима заготовки на оправке; 7) механической обработки наружной и внутренней поверхностей втулки (рис. 3).

Роль деформирующего элемента в этом случае выполняет сама восстанавливаемая деталь. Восстановление втулок по описанной технологии может осуществляться многократно вплоть до полного износа основного металла.

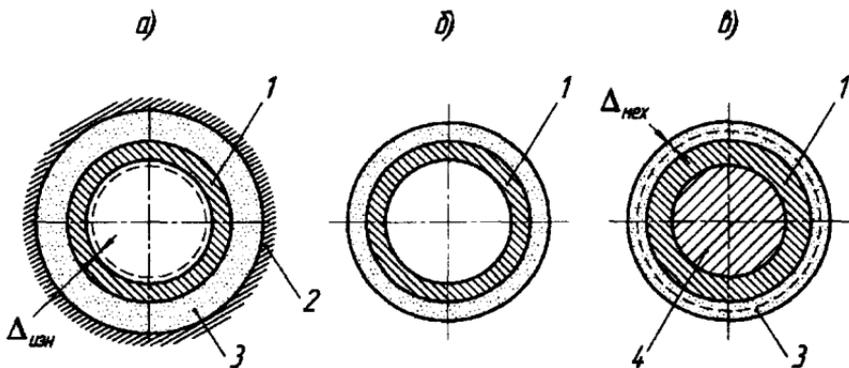


Рис. 3. Схема восстановления бронзовых втулок магнитно-импульсным методом:

а – втулка с дозой порошка между ней и матрицей; б – втулка после напрессовки порошка на наружную поверхность; в – втулка после обжата на оправку (перед механической обработкой); $\Delta_{изн}$ – величина износа; $\Delta_{мех}$ – припуск на механическую обработку; 1 – втулка; 2 – матрица; 3 – порошок; 4 – оправка.

Индукционное припекание – наиболее технологичный процесс, из-за ускорения диффузионных процессов при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ) на 2...3 порядка уменьшается время выдержки для протекания процесса припекания, в результате чего не требуется применения защитно-восстановительных сред. Индукционным припеканием способом обмазки (в качестве связующего используют этилсиликат) можно получать слои большой пористости из железных и медных порошков и композиций на их основе (рис. 4).



Рис. 4. Припекание покрытий способом обмазки:

а – нанесение обмазки; б – припекание;

1 – деталь; 2 – шпатель; 3 – порошок; 4 – индуктор ТВЧ.

Для получения качественных слоев вводят активирующие добавки бора и кремния (2,0...2,5 %) и создают давление в процессе припекания (0,01...0,05 МПа).

Для получения более плотных покрытий вместо обмазки применяют предварительное прессование слоя или припекание с одновременным статическим нагружением. Указанным методом можно восстанавливать толкатели двигателей, вилки переключения передач (рис. 5).

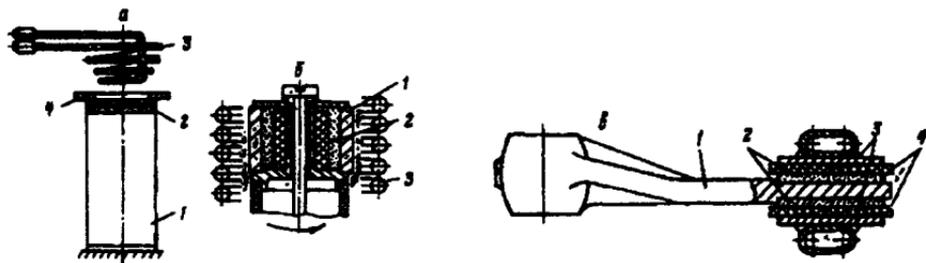


Рис. 5. Схемы индукционного припекания порошков на толкатель (а); втулку (б); вилку коробки передач (в);
1 – деталь; 2 – порошок; 3 – индуктор; 4 – прижим.

Однако этот процесс неприемлем для труднопрессуемых порошков (например, из хромоникелевых сплавов). В этом случае активирующее давление прикладывается в процессе припекания.

Индукционное припекание под давлением за счет механического (силового) активирования обеспечивает увеличение площади контакта между порошком и основой, разрушает окисные пленки, что способствует формированию слоев с высокой плотностью и прочностью сцепления.

Силовое активирование в процессе припекания осуществляют приложением статической, динамической или комбинированной нагрузки (рис. 6).



Рис. 6. Методы силового активирования процессов индукционного припекания.

Статическое давление может быть создано за счет действия груза, центробежными силами при вращении детали, электромагнитом, постепенно уменьшающим нагрузку при повышении температуры нагрева.

Для восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей (подшипников скольжения, гильз, направляющих втулок) наиболее эффективным методом является индукционное центробежное припекание [7].

В качестве источников нагрева используют высокочастотные установки типа ВЧГ1-60/0,066, ЛПЗ-2-67 или машинные генераторы. Для вращения деталей используют токарные, сверлильные или другие станки.

Во внутреннюю полость детали помещают порошок, закрывают ее крышками, зажимают в патроне станка и поджимают вращающимся центром задней бабки. Деталь приводят во вращение, включают индукционный нагрев и выдерживают в течение 1,0-1,5 мин.

Разработан ряд установок для мелкосерийного и серийного производства: с вертикальной осью вращения, полуавтоматическая роторного типа, с активацией процесса угловыми колебаниями детали (рис. 7).

Деталь 1 с размещенной в ее внутренней полости объемной дозой порошка 2 закрепляется маховиками 3, 4 в центрах 5, 6 передней 7 и задней 8 кареток, расстояние между которыми регулируется в зависимости от длины изделия с помощью передачи винт-гайка 9, 10. Позиционирование детали 1 относительно индуктора 11, подвод и отвод ее к индуктору, осциллирующее движение относительно индуктора осуществляется перемещением станины 12 по направляющим 13 посредством передачи 14 с приводом 15 от электродвигателя 16. Электродвигатель 17, снабженный приводом бесступенчатого регулирования частоты вращения, через ременную передачу 18 передает вращение крышке 5 и детали 1. Нагрев осуществляется индуктором ТВЧ 11. Для периодического изменения скорости вращения детали с порошковым слоем дополнительно используется электродвигатель 19, который через ременную передачу 20 передает вращение механизму создания крутильных колебаний детали [8].

На описанной выше установке можно наносить покрытия не только на внутренние поверхности деталей, но и на торцовые, конические, сферические.

В некоторых случаях (при использовании порошков несферической формы, при получении относительно тонких покрытий) целесообразно использовать установки с вертикальной осью вращения, в которых порошок засыпают между деталью и центрирующей втулкой (рис. 5, б). Деталь устанавливают на центрирующей оправке, которая крепится на теплоизолирующей трубе. Сверху деталь закрывают крышкой и закрепляют винтом. Порошок помещают в зазор между деталью и центрирующей втулкой в свободной засыпке или дополнительно уплотняют (например, вибрациями). Нагрев порошка осуществляется от индуктора ТВЧ посредством теплопередачи через восстанавливаемую деталь.

Наиболее высокое качество покрытий получают при припекании с одновременным импульсным силовым активированием вибрациями [9]. На восстанавливаемую деталь насыпают порошок и устанавливают на площадку с вибратором. Нагрев осуществляют от индуктора ТВЧ. После достижения точки Кюри включают вибрацию с амплитудой 0,3...0,4 мм и частотой колебаний 50 Гц, которая увеличивает скорость диффузионных процессов, способствуют удалению шлаковых включений и пор, измельчают структуру покрытия.

Виброударное активирование осуществляется посредством механического вибратора, передающего колебательное воздействие на деталь и пуансон. Параметры вибрации выбирают таким образом, чтобы в точке встречи пуансона с деталью они двигались с наибольшими, направленными навстречу друг другу скоростями. Виброударное воздействие значительно активирует процесс, позволяя получать практически беспористые покрытия при более низких температурах.

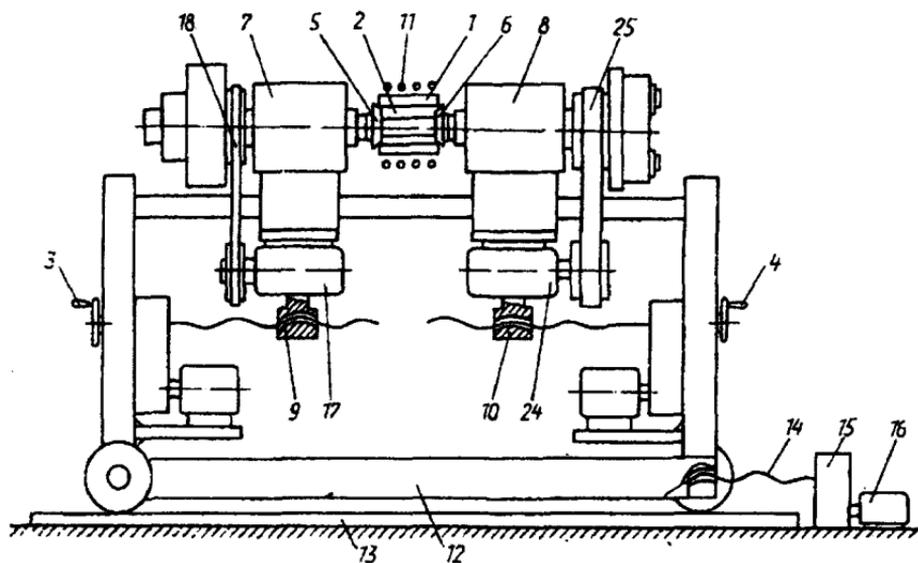


Рис. 7. Установка для индукционного припекания покрытий с угловыми колебаниями детали

Электроконтактное припекание осуществляется путем нагрева металлического порошка, засыпаемого между деталью и электродом, с одновременным формованием порошка в слой и спеканием его с поверхностью детали. Тепло при электроконтактном припекании выделяется электрическим током непосредственно в порошковом слое. Процесс припекания обеспечивается совместным действием высокой температуры (0,9...0,95 температуры плавления порошка) и давления (до 100 МПа) [10].

Электроконтактное припекание в зависимости от формы восстанавливаемой поверхности, размеров детали, а также требуемых свойств покрытий осуществляется по разным технологическим схемам. При выборе их учитывается специфика каждой конкретной детали: ее конструктивные особенности, материал, из которого она изготовлена, физико-механические свойства наносимого покрытия и т.д.

Рассмотрим особенности нанесения покрытий на детали различной формы.

Основные технологические схемы для нанесения покрытий на различные поверхности деталей представлены на рис. 8 (а-д).

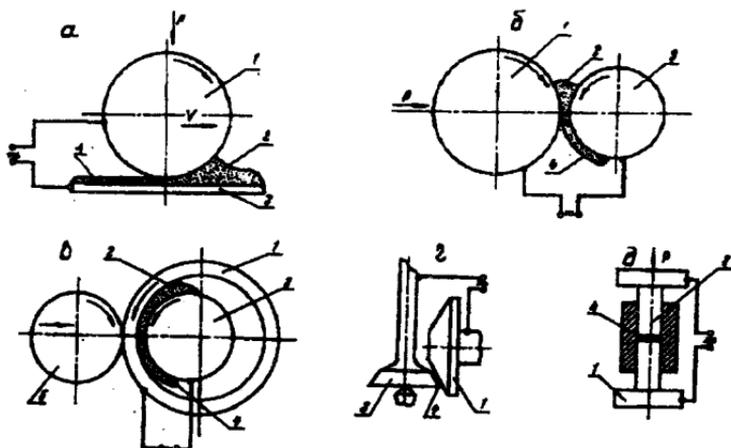


Рис. 8. Схемы электроконтактного припекания:

а – на плоскую поверхность; *б* – на наружную цилиндрическую поверхность
в – на внутреннюю цилиндрическую поверхность; *г* – на коническую поверхность; *д* – на торцовую поверхность;
 1 – электрод; 2 – порошок; 3 – деталь
 4 – порошковый слой; 5 – нажимной ролик.

Независимо от вида упрочняемой поверхности оборудование для нанесения покрытий, как правило, состоит из следующих основных частей: базового станка, контактного патрона с токосъемником, обеспечивающего вращение детали и подвод к ней электрического тока, роликового электрода, источника тока, прерывателя и пульта управления (рис. 9).

Напряжение от трансформатора 1 подается на деталь 3, вращающуюся в центрах или патроне станка, и на роликовый электрод 5. В зазор между роликом и деталью подается металлический порошок 4. Усилие прижима роликового электрода к детали создается пневмоцилиндром 9.

Режимы нанесения покрытий зависят от конфигурации поверхности и используемого материала, но ориентировочно должны быть следующими: напряжение холостого хода 3,5...4,0 В, усилие, прилагаемое к ролику, 0,40...0,60 МН/м ширины ролика. Пористость получаемых покрытий 3...5 %, точность нанесения слоя $\pm 0,1$ мм, прочность сцепления на отрыв 150...200 МПа.

В качестве материалов для электроконтактного припекания используют порошки железа, легированные стальные порошки (например, ШХ-15), твердые сплавы на основе железа ПГ-С1 (сормайт) или никеля (ПГ-СР3, ПГ-СР4) и ферросплавы.

Технология электроконтактного припекания порошковых материалов используется для восстановления валов коробок передач, распределительных и коленчатых валов автомобильных двигателей. Для валов двигателей ЯМЗ-238 в качестве материала используется порошковый сплав УС-25 или цементированный железный порошок ПЖЗМ.

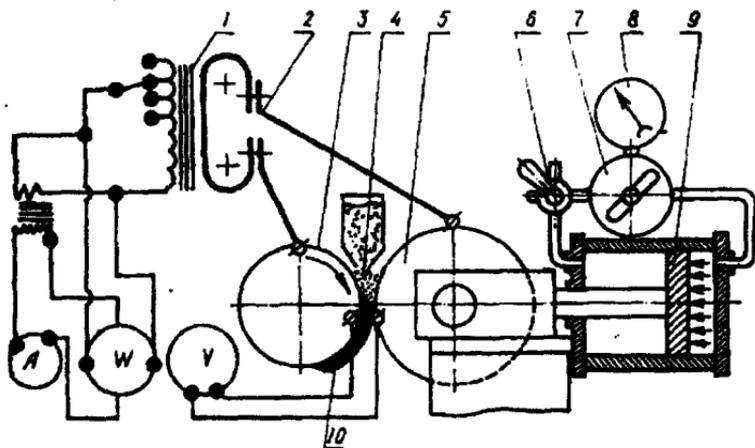


Рис. 9. Установка для электроконтактного припекания:

1 – трансформатор; 2 – шина; 3 – деталь; 4 – порошок; 5 – роликовый электрод; 6 – кран; 7 – редуктор давления; 8 – манометр; 9 – пневмоцилиндр; 10 – покрытие.

Возможно получение покрытий электроконтактным припеканием и на чугунных коленчатых валах двигателей ЗМЗ. Процесс осуществляется при температурах, исключающих плавление порошка и основы, что устраняет отбел чугуна и снижает внутренние напряжения (усталостная прочность при этом снижается всего на 7...9%). Время припекания слоя на одну шейку не более 80 с, расход присадочного материала 1,0...1,2 кг на один вал.

Для восстановления кулачков и шеек распределительных валов используют электроконтактное припекание порошков ФБХ-6-2, ПГ-УС-25, а также их смесей с железным порошком ПЖ. Технология восстановления включает подготовку кулачков к восстановлению, припекание порошкового материала и последующую механическую обработку. Износостойкость восстановленных поверхностей повышается в 2...3 раза, изгиб вала после восстановления имеет меньшую величину, чем при наплавке.

Припекание можно производить и на торцовые поверхности (стержни клапанов, вершины зубьев зубчатых колес, толкатели) (рис. 8, д). Припекание торцовых поверхностей осуществляется в форме из огнеупорного материала на машинах точечной сварки [11].

Электроконтактное припекание в псевдооживленном слое порошка производится в емкости с порошком, через которую пропускается воздух. В результате порошок приходит во взвешенное состояние (рис. 10). Детали, установленные в специальном приспособлении, подключены к источнику тока и совершают в псевдооживленном порошке обкаточное движение по стенке емкости. Чтобы уменьшить возможность припекания частиц к стенке (которая является электродом), ее выполняют из материала с малым электросопротивлением и с большой теплопроводностью (медь, бронза) или из тугоплавкого материала.

На рис. 10 показана установка для восстановления фасок клапанов. Клапаны 2 (2 или 4 шт.) помещают в приспособление 5. Их восстанавливаемые по-

верхности (фаски) находятся в контакте с медными электродами 3 и 8. Псевдоожженный слой из порошка 9 создается за счет подачи воздуха или газа через газораспределительную решетку 4, а источник электрического тока подключается к электродам 3 и 8, между которыми располагаются клапаны 2. При вращении приспособления 5 с установленными в нем клапанами 2 последние также вращаются и их фаски обкатываются по скошенным поверхностям электродов. При этом частицы порошка, попадающие на фаски, за счет электросопротивления разогреваются и припекаются к поверхности клапана. Необходимое усилие прижатия клапанов к электродам создается пружиной 7.

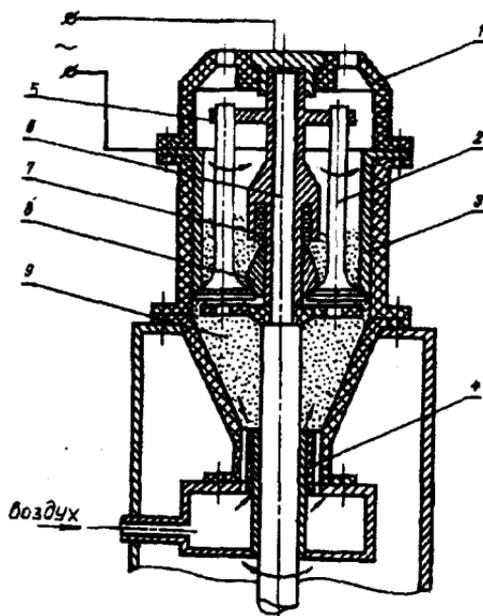


Рис. 10. Установка электроконтактного припекания в псевдоожженном слое порошка:

- 1 – корпус; 2 – клапан; 3 – емкость; 4 – газораспределительная решетка;
- 5 – приспособление для установки клапанов; 6 – вал; 7 – пружина;
- 8 – ролик-электрод; 9 – порошок.

При небольших размерах деталей указанным способом можно одновременно восстанавливать по десять и более деталей. Изменяя режим псевдоожжения и время процесса, можно регулировать толщину наносимого покрытия.

Электроконтактный способ нанесения покрытий отличается высокой производительностью, низкой энергоемкостью, минимальной зоной термического влияния на деталь. Сравнение экономических показателей электроконтактного нанесения покрытий с другими способами показывает, что по ряду элементов затрат и по производительности он превосходит автоматическую наплавку под слоем флюса, вибродуговую наплавку, электроискровое наращивание.

Заключение

На основании последних достижений в области механохимии и физики обоснованы пути получения качественных покрытий из порошковых материалов, обеспечивающих достижение высокой адгезионной связи слоя с основой и управления его объемными свойствами. Основными методами воздействия на припекаемую систему являются давление, температура и химическое взаимодействие активирующих добавок. Использование силового фактора в виде импульсного давления наряду с применением ускоренного нагрева и введения химически активных компонентов является эффективным средством достижения цели – получения качественных покрытий на деталях автомобилей и других машин, используемых в сельском хозяйстве, при организации их восстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошевич В.К. Припекание // Краткая энциклопедия. Белорусская ССР. – Минск: 1980, т. 3, с. 416 – 417.
2. Дорожкин Н.Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками. – Минск: Наука и техника, 1975. – 152 с.
3. Ярошевич В.К., Абрамович Т.М. Классификация методов активирования процессов получения покрытий припеканием металлических порошков // Математические модели физических процессов: Материалы 11-ой Международной научной конференции. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2005, с. 44 – 50.
4. Абрамович Т.М., Жорник А.И., Павленко А.В. и др. Теория и практика припекания порошков. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2008. – 320 с.
5. Белоцерковский М.А. Технология активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. – Минск: Технопринт, 2004. – 200 с.
6. Дорожкин Н.Н., Миронов В.А., Верещагин В.А. и др. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. – Рига: Зинатне, 1985. – 131 с.
7. Дорожкин Н.Н., Кашицин Л.П., Абрамович Т.М. и др. Методы активирования процессов центробежного припекания // Проблемы нанесения износостойких порошковых покрытий, их прочности и некоторые вопросы физики спекания металлических порошков. Сборник научных трудов. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2003, с. 49 – 52.
8. Дорожкин Н.Н., Кашицин Л.П., Абрамович Т.М. Центробежное припекание порошковых покрытий при переменных силовых воздействиях. – Минск: Наука и техника, 1993. – 159 с.
9. Дорожкин Н.Н., Абрамович Т.М., Ярошевич В.К. Импульсные методы нанесения порошковых покрытий. – Минск: Наука и техника, 1985. – 279 с.
10. Ярошевич В.К. Электроконтактное припекание порошковых покрытий и обеспечение стабильности их свойств // Вестник БНТУ, 2009, №1, с. 18 – 21.
11. Абрамович Т.М., Ярошевич В.К., Донских С.А. и др. Влияние технологических факторов на свойства покрытий при их электроконтактном припекании // Модели и алгоритмы для имитации физико-химических процессов: Материалы Международной научно-технической конференции. – Таганрог, 2008.