

зионно-борированными электродами с различным содержанием бора, в результате чего происходит формирование композиционного покрытия, обладающего заданными износостойкостью, сплошностью, адгезионной прочностью, толщиной, прирабатываемостью, обеспечиваемые соответствующим слоем.

Выводы.

Электроискровая наплавка является перспективным методом восстановления деталей машин с износом до 40 мкм. Применение диффузионно-легированных электродов позволяет оптимизировать свойства анода с позиции получения заданных параметров электроискрового покрытия, а последовательная наплавка - получать покрытия заданной толщины и микротвёрдости.

Формирование покрытия с максимальной толщиной возможно при максимальном снижении температуры плавления материала электрода, что наблюдается при образовании и диффузионно-легированных электродов твёрдого раствора боридов и диборидов в железе.

Снижение темпов прироста микротвердости при дальнейшем повышении содержания бора объясняется тем, что бор, наряду с образованием боридов, при достаточном содержании углерода идет так же образование бороцементита, микротвердость которого ниже микротвёрдости боридов.

Формирование электроискрового покрытия происходит в крайне неравновесных условиях, о чём свидетельствует наличие в наплавленном покрытии метастабильных боридов Fe_3B и Fe_5B , а так же рентгеноаморфной фазы.

УДК 621. 923.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ НАНЕСЕНИИ ФЕРРОПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Хейфец М.Л., Грецкий Н.Л., Садюкович А.А.

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк

Повышение надежности и долговечности деталей машин во многом определяется состоянием их поверхностного слоя [1]. Основными причинами потери работоспособности узлов и механизмов являются изнашивание и усталостные поломки деталей, их разрушение вследствие ползучести, коррозии, эрозии в различных средах, кавитационное разрушение и всевозможные сочетания этих причин. Свыше 80% отказов обусловлено процессами изнашивания или комплексными причинами, в которых изнашивание играет доминирующую роль. Износ деталей различных групп по элементам составляет: 52% - цилиндрические поверхности; 3% - конические и сферические; 1% - плоские; 1% - профильные и фасонные; 2% - зубья и шестерни; 3% - шлицы; 5% - пазы; 10% - резьбы. Причем 13% поверхностей имеют нарушение макрогеометрии и формы; трещины и изломы обнаружены у 9% деталей [2]. Поэтому актуальными являются как разработка новых, так и совершенствование известных методов восстановления.

При восстановлении поверхностей деталей машин используют различные способы нанесения покрытий, позволяющие получать поверхность с требуемым химическим составом, высокой твердостью и износостойкостью. Наиболее перспективными являются электрофизические методы, использующие энергию электромагнитного поля [2]. Одним из таких ресурсосберегающих методов является электромагнитная наплавка [2,3].

Существуют различные устройства для реализации процесса. Наиболее просты двухполюсные и однополюсные установки для упрочнения деталей в магнитном поле [2,3]. При упрочнении на двухполюсной установке деталь располагается между двумя торцами

сердечников электромагнита, имеющими разноименную магнитную полярность, а при упрочнении на однополюсной установке – вблизи одного торца сердечника электромагнита. Процесс упрочнения в большинстве случаев имеет низкую стабильность, обусловленную тем, что в рабочих зазорах часто происходит спекание массы ферропорошка, и источник технологического тока переходит в режим короткого замыкания.

Для повышения стабильности процесса его иногда проводят в потоке охлаждающей жидкости, но при этом следует учитывать некоторое уменьшение переноса материала ферропорошка на поверхность детали и ухудшение физико-механических свойств упрочняемого слоя [2,4]. Реализация процесса упрочнения деталей ферропорошками в магнитном поле в среде азота [5] позволила установить, что замена воздушной среды азотом фактически не изменяет характеристик упрочненного слоя. Известен способ упрочнения, при котором для интенсификации процесса и улучшения качества поверхностного слоя процесс ведут в среде электролита [6]. Из-за сложности реализации данный способ имеет ограниченное применение в промышленности.

Для стабилизации процесса создана установка для упрочнения деталей в пульсирующем магнитном поле с вибрацией полюсного наконечника, которая исключает возможность возникновения короткого замыкания в цепи разрядного тока и позволяет использовать источники питания не импульсного типа [4]. Благодаря наличию вибрации сердечников процесс остается высокостабильным в широком диапазоне варьирования технологических факторов.

Сущность данного метода состоит в следующем (рисунок 1): деталь 1 помещают с некоторым зазором δ_1 вблизи полюсного наконечника 2, который укреплен на пластинчатой пружине 3. Между полюсным наконечником и сердечником 4 электромагнита имеется воздушный промежуток δ_2 . Деталь через скользящий контакт 5 подключают к отрицательному, а полюсный наконечник к положительному полюсу источника технологического тока. В качестве источника тока может быть принят один из типов сварочных трансформаторов с выпрямляющим устройством, обеспечивающим однополупериодное выпрямление напряжения в его вторичной цепи. Электромагнитная катушка 6 питается выпрямленным по однополупериодной схеме током от промышленной сети. При вращении детали в рабочий зазор из бункерного дозирующего устройства 7 с определенным расходом непрерывно подают ферромагнитный порошок 8.

Ориентируясь в зазорах вдоль магнитных силовых линий, зерна ферропорошка образуют множество токопроводящих цепочек, замыкающих электрическую цепь между сердечником и деталью. Под действием электрической эрозии в результате происходящих разрядов материал ферропорошка переносится на упрочняемую поверхность.

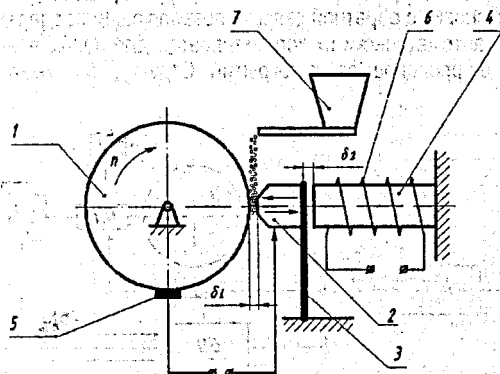


Рисунок 1. Схема упрочнения поверхности вращения детали ферропорошками в пульсирующем магнитном поле при вибрации полюсного наконечника: 1 – деталь; 2 – полюсный наконечник; 3 – пластинчатая пружина; 4 – сердечник; 5 – скользящий контакт; 6 – электромагнитная катушка; 7 – дозирующее устройство

Недостатком данного способа является высокое энергопотребление при низкой толщине нанесенного покрытия. При этом большая часть ферромагнитного порошка не переносится на поверхность детали, а, оплавляясь, выбрасывается из рабочего зазора. Процесс формирования покрытия на поверхности детали проходит нестабильно.

Все описанные выше установки работают по схеме, когда векторы энергии магнитного поля и электрического тока сонаправлены и параллельны между собой, а вектор перемещения ферромагнитного порошка подаваемого в рабочий зазор перпендикулярен им. Для увеличения переноса расплава порошка на поверхность заготовки и снижение его выброса из рабочего зазора необходимо, чтобы векторы направления энергии магнитного поля, электрического тока и перемещения ферромагнитного порошка, подаваемого в рабочий зазор, были сонаправлены.

Изменение магнитного поля в рабочем зазоре влияет не только на производительность процесса, качество наносимых покрытий, интенсивность образования цепочек из частиц ферромагнитного порошка, но и на электрическую проводимость их и на качество расплавления. В момент формирования контактного мостика из цепочек ферромагнитного порошка магнитная индукция должна иметь максимальное значение, что интенсифицирует процесс образования мостика и увеличивает силы взаимодействия частиц порошка в местах контакта. При этом растет электрическая проводимость и величина разрядного тока [7]. Одновременное увеличение величины разрядного тока и магнитной индукции приводит к росту электродинамических сил, пытающихся разорвать образовавшиеся цепочки контактного мостика. Поэтому в момент разрыва жидкой перемычки, образовавшейся при расплавлении мостика, увеличение магнитной индукции может играть отрицательную роль, так как из рабочего зазора может выбрасываться часть расплава и нерасплавленных частиц ферромагнитного порошка [8].

Следовательно в момент образования жидкой перемычки необходимо снижать величину магнитной индукции до минимума, а при формировании контактного мостика - увеличивать до максимума. Выполнить данное условие возможно, если напряжения цепи технологического тока и электромагнитной катушки полюсного наконечника будут полупериодными и находиться в противофазе (рисунок 2) [9].

Значительно повысить стабильность процесса нанесения ферропорошковых покрытий возможно с применением установки с обратной связью, позволяющей поддерживать заданные режимы упрочнения и автоматически их корректировать для повышения стабильности процесса нанесения ферропорошковых покрытий. Структурная схема установки приведена на рисунке 3.

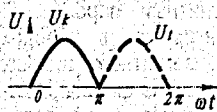


Рисунок 2. График фазового сдвига напряжения цепи технологического тока U_t относительно напряжения цепи электромагнитной катушки U_k : ω - угловая частота переменного тока; t - время

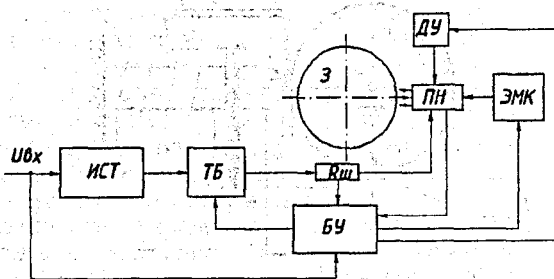


Рисунок 3. Структурная схема установки с обратной связью: З - заготовка, ИСТ - источник сварочного тока, ТБ - теристорный блок, БУ - блок управления, ПН - полюсный наконечник, ДУ - дозирующее устройство, ЭМК - электромагнитная катушка, Rш - шунтирующее сопротивление, $U_{вх}$ - входное напряжение

Конструктивное решение структурной схемы показано на рисунке 4. Предложенная установка реализует процесс, в котором векторы энергии магнитного поля, электрического тока и перемещения ферромагнитного порошка, подаваемого в рабочий зазор, сонаправлены. В процессе нанесения покрытия блок управления позволяет корректировать и согласовывать силу тока сварочной дуги с подачей ферропорошка в рабочий зазор, причем напряжения цепи технологического тока и электромагнитной катушки полюсного наконечника являются полупериодными и находятся в противофазе.

Электромагнитная катушка 2 питается переменным напряжением, для предотвращения намагничивания ферропорошка, и служит для его дозирования (рисунок 4). Трубка 3 выполнена из меди для предотвращения концентрации магнитного потока по ее длине и более оперативному реагированию системы на увеличение или уменьшение количества ферропорошка, подаваемого в рабочий зазор. Резиновая трубка 6, электромагнитная катушка 12 и гибкая металлическая пластина 13 позволяют полюсному наконечнику 9 осуществлять осциллирующие движения. Текстолитовая пластина 10 и полюсный наконечник 9, выполненный из алюминия, способствуют концентрации магнитного потока на металлическом электроде 7. Трубка 14 подводит струю воздуха от компрессора в нижнюю часть бункера 1 для предотвращения образования там арочных структур ферропорошка на переходе в медную трубку 3.

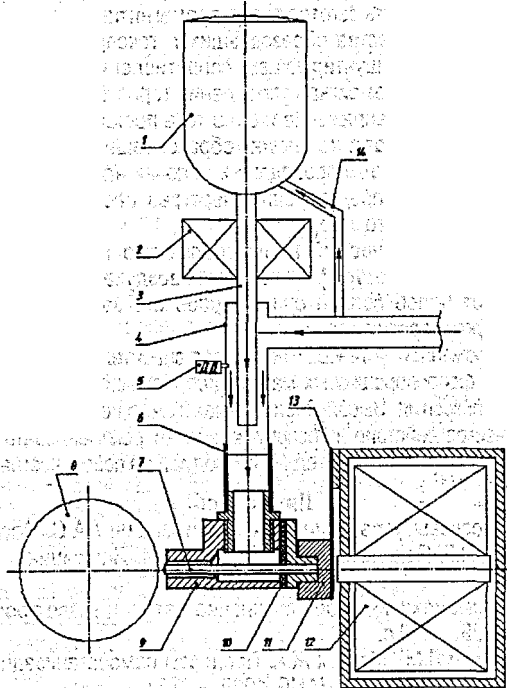


Рисунок 4. Установка для нанесения ферропорошковых покрытий:

1 – бункер, 2, 12 – электромагнитные катушки, 3 – медная трубка, 4 – каркас, 5 – датчик давления, 6 – резиновая трубка, 7 – электрод, 8 – заготовка, 9 – полюсный наконечник, 10 – текстолитовая пластина, 11 – державка, 13 – гибкая металлическая пластина, 14 – трубка

Дозирование порошка осуществляется следующим образом: поток воздуха от компрессора, проходя по каркасу 4, увлекает за собой частицы порошка, находящегося в медной трубке 3 и слепка удерживаемым магнитным полем электромагнитной катушки 2. При чрезмерно большой подаче ферропорошка в полость полюсного наконечника резко увеличивается давление воздушного потока в каркасе 4, что фиксируется датчиком давления 5. Сигнал от датчика поступает в блок управления БУ (рисунок 3), который увеличивает напряжение электромагнитной катушки 2. В результате растет электромагнитная сила, удерживающая порошок в трубке 3, и уменьшается его подача в полость полюсного наконечника 9. При недостаточной подаче порошка давление воздушного потока в каркасе уменьшается. Это вызывает уменьшение (при помощи БУ) электромагнитной силы и увеличение количества порошка, поступающего в полость наконечника. Таким образом, система автоматически поддерживает заданное количество порошка в рабочем зазоре.

Процесс формирования покрытия осуществляется следующим образом (рисунок 4): в полости полюсного наконечника ферропорошок равномерно распределяется по поверхности электрода 7, в результате его осциллирующего движения. Под действием воздушного потока и вибрации полюсного наконечника ферропорошок равномерно перемещается по поверхности электрода к выходу его из полюсного наконечника, образуя там токопроводящие мостики с поверхностью заготовки. В период, когда подается напряжение на заготовку и электрод, происходит расплавление цепочек ферропорошка и его последующий перенос на поверхность заготовки электромагнитными силами и воздушным потоком. При увеличении количества образовавшихся токопроводящих цепочек происходит падение напряжения на шунтирующем сопротивлении, что фиксируется блоком управления, который формирует сигнал управления теристорным блоком ТБ (рисунок 3). В результате увеличивается напряжение и сила тока проходящая через ТБ, тем самым, способствуя более полному расплавлению образовавшихся цепочек ферропорошка. При уменьшении образования токопроводящих цепочек напряжение и сила тока проходящая через ТБ, снижаются, предотвращая перегрев расплава порошка и чрезмерно большой выброс его из рабочего зазора.

Воздушный поток и алюминиевый корпус полюсного наконечника снижают нагрев электрода 7, увеличивая его ресурс работы. Поток воздуха и вибрация полюсного наконечника способствуют более полной очистке рабочего зазора между электрическими импульсами от продуктов эрозии.

Применение предложенной установки позволяет значительно снизить энергозатраты и расход применяемых ферропорошковых материалов, повысить стабильность упрочнения и толщину наносимого покрытия. Высокие физико-механические свойства полученного покрытия и малое термическое действие на основу позволяют рекомендовать установку для восстановления деталей, которым нежелательна последующая поверхностная термообработка.

Литература

1. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Л. Хейфец, П.И. Ящерцин. - М.: Машиностроение, 2003. - 256 с.
2. Акулович Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. - Новополоцк: ПГУ, 1999. - 240 с.
3. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. - Гомель: ИММС НАНБ, 1999. - 276 с.
4. Абрамов В.И. Исследование технологического процесса упрочнения деталей ферропорошками в пульсирующем магнитном поле; Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.08 / Физ.-техн. ин-т Акад. наук БССР, - Минск, 1982. - 19 с.

5. Акулович Л.М., Роцня М.А. Выбор магнитных и электрических параметров процесса магнитоэлектрического упрочнения в среде азота. – В сб.: Вопросы прочности и пластичности металлов. - Минск: ФТИ АН БССР 1974. - с. 213-214.
6. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Минск: УП «Технопринт», 2000. -268 с.
7. Кожуро Л.М., Акулович Л.М., Мрочек Ж.А., Иванов А.А. Механизм переноса расплава материала порошка при электромагнитной наплавке // Весці акад. навук БССР, Сер. физ.-техн. наук. – 1996. - №4. –С. 39-42.
8. Акулович Л.М., Чемисов Б.П., Сакулевич Ф.Ю., О действии электродинамических сил на порошок магнитоэлектрическом упрочнении // Сб. ст. Твердосплавные износостойкие защитные покрытия деталей машин. - Минск, 1979. – С. 22-24.
9. Формирование покрытий ферропорошками в электромагнитном поле / М.Л. Хейфец, Б.П. Чемисов, Н.Л. Грецкий, С.К. Толстиков // Вестник ПГУ. Серия В. Прикладные науки. Промышленность. 2007, №2. – С. 2-10.

УДК 539.4.015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА АДГЕЗИИ ПО ИСПЫТАНИЯМ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Холодарь Б.Г.

Брестский государственный технический университет, г. Брест

При нанесении покрытия сцепление его с подложкой в разных ее точках в силу многих обстоятельств отличается, и представляет интерес получение некоторых интегральных оценок, позволяющих характеризовать качество нанесенного покрытия.

С этой целью можно применить подход, основанный на разбросе показателей долговечности адгезионного соединения. Соответствующие опыты могут быть проведены, например, в виде испытаний на раздирание или отрыв путем приложения нагрузки нескольких уровней и измерения времени до полного разрушения (расслоения) соединения. Не представляет больших сложностей также проведение и соответствующая обработка данных для опытов с возрастающей нагрузкой, поскольку во всех случаях напряженное состояние соединения определяется только нормальными напряжениями, перпендикулярными поверхности отрыва. Методика проведения подобных экспериментов хорошо известна, имеются подтвержденные опытами с разными материалами зависимости экспоненциального типа, связывающие время до разрушения с уровнем приложенной нагрузки, например, формулы Журкова и Бартенева [1]. Наличие таких формул характерно для кинетических процессов, к которым относятся как процессы адгезии, так и процессы разрушения. В этой связи развились современные термофлуктуационные представления о природе прочности материалов [1].

Подобного рода формулы можно представлять как чисто феноменологические, а можно получить их как результат решения соответствующих кинетических уравнений, описывающих процесс разрушения связей между частицами материала. Используя известное в механике деформируемых тел понятие о поврежденности материала $0 \leq \omega \leq 1$, можно записать для рассматриваемого одномерного случая уравнение развития поврежденности в виде

$$\frac{d\omega}{dt} = \nu(1 - \omega) \cdot Sh\left(\frac{\alpha\sigma}{1 - \omega}\right), \quad (1)$$

где α и ν – структурные параметры материала (далее считаем их константами при заданной температуре), σ – уровень номинального напряжения, $Sh(x)$ – функция гиперболического синуса.