

С использованием высокочастотного нагрева разработана технология и опытно-экспериментальное оборудование для поверхностного упрочнения конусных поверхностей дисков, работающих на износ и контактную усталость.

Это позволило повысить износостойкость рабочей поверхности дисков, исключить или уменьшить вероятность образования вмятин и сколов при попадании камней и металлических предметов в зону измельчения зерна, исключить образование трещин, обезуглероженого слоя, окалины и других дефектов поверхности, появляющихся в процессе термической обработки, увеличить долговечность и ресурс работы деталей.

По разработанным режимам с применением опытно-технологических устройств обработана опытная партия дисков в количестве 1500 штук и поставлена заказчику для комплектования разработанных в Беларуси установок "Корм-10", внедрение данных установок в агропромышленном комплексе Беларуси позволило сократить в 2 раза импорт такого типа оборудования из-за рубежа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Ф. Головин, М.М. Замятнин. Высокочастотная термическая обработка. М. "Машиностроение", 1995, с. 239. 2. Сб. "Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях", под редакцией проф. П.С. Гурченко. Мн., 2005, с.98. 3. Индукционная закалка и ее применение в автомобильной промышленности. Altena H., Schrank F., Oberweger G., Krauss D. // HTM: Harter.-techn. Mitt.– 1999.– 54, №4.– P. 216–221. 4. Пат. 2275 ВУ, МПК C21D 1/06. Устройство для поверхностной закалки дисковых изделий с нагревом токами высокой частоты / Ивашко В.В., Гордиенко А.И. Тарарук А.И., Вегера И.И., Синцов С.И. – № U 20050315; Заявл. 04.04.2005; Опубл. 30.12.2005 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 2005.– № 4(47).– С. 46.

УДК 621. 923.

Хейфец М.Л., Чемисов Б.П., Грецкий Н.Л., Толстиков, С.К.

ФОРМИРОВАНИЕ ФЕРРОПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

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, коррозия, эрозия 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 элек-

трофизические методы, использующие энергию электромагнитного поля [2]. Одним из таких ресурсосберегающих методов является электромагнитная наплавка [2,3].

Существуют различные устройства для реализации процесса. Наиболее просты двух-полосные и однополосные установки для упрочнения деталей в магнитном поле [2,4]. При упрочнении на двухполосной установке деталь располагается между двумя торцами сердечников электромагнита, имеющими разноименную магнитную полярность, а при упрочнении на однополосной 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 повышения стабильности 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 не импульсные источники питания (типа ТД-500, ТД-300 и т.д.) [2-4].

На качество формирования покрытий в электромагнитном поле существенное влияние оказывает взаимная направленность электрического тока и магнитной индукции и фазовые соотношения напряжений, питающие электромагнитную катушку и сварочный трансформатор.

Наибольший перенос порошка и производительность процесса обеспечивается при подключении установки, когда электрический ток и магнитная индукция имеют направление от полюсного наконечника к детали [2,3].

Для обеспечения высокой стабильности процесса и переноса капель расплава ферропорошка на формируемый участок покрытия необходимо, чтобы после завершения электрических раз-

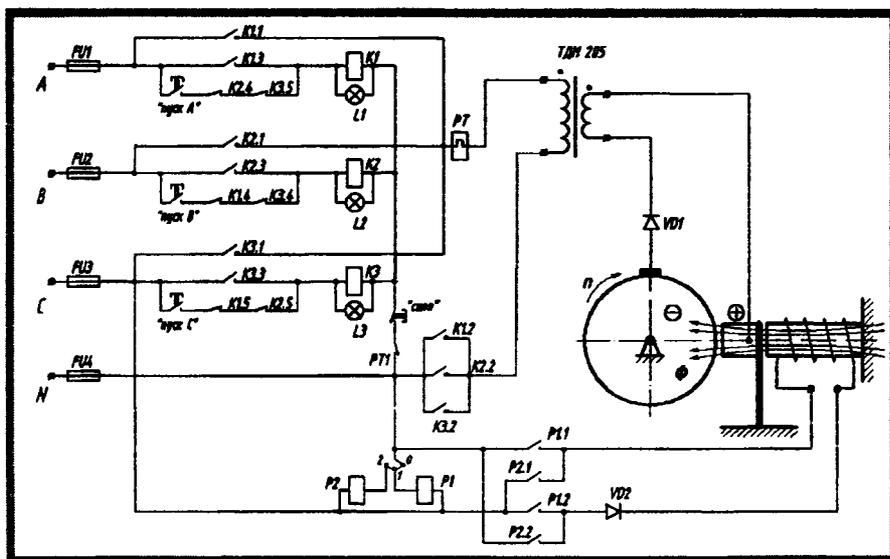


Рисунок 1- Принципиальная электрическая схема установки для упрочнения поверхности детали ферропорошками в электромагнитном поле

рядов за один импульс напряжения в цепи технологического тока величина магнитной индукции в рабочем зазоре принимала минимально возможное значение. В этом случае создаются наиболее благоприятные условия для очистки зазора под действием вибрации полюсного наконечника от продуктов эрозии в твердой фазе и от части зерен ферропорошка не участвовавших в разрядах. Одновременно повысить производительность и качество покрытия при высокой стабильности процесса возможно в случае, если электрические разряды будут завершаться к моменту импульсного механического воздействия полюсного наконечника

на формируемый участок покрытия, а максимальная величина магнитной индукции должна быть близка к значению, при котором наблюдается наибольший перенос капель расплава ферропорошка на поверхность детали.

Для изучения влияния фазового угла смещения между напряжением U_k , питающим электромагнитную катушку для создания вибрации полусного наконечника и переменного

магнитного потока, и напряжением U_t , питающим сварочный трансформатор, предложена принципиальная электрическая схема (рис. 1). Источником технологического тока служит сварочный аппарат ТДМ-205 подключаемый к однофазному напряжению 220V. Предохранители FU1...FU4 защищают установку от высокой перегрузки, а тепловое реле РТ от незначительной длительной перегрузки. Контакторы К1...К4 и реле Р1, Р2 обеспечивают различные варианты смещения напряжений U_k от U_t . Лампочки L1...L 3 показывают, на какую из фаз включен сварочный трансформатор. Диоды VD1...VD2 обеспечивают однополупериодное напряжение питания.

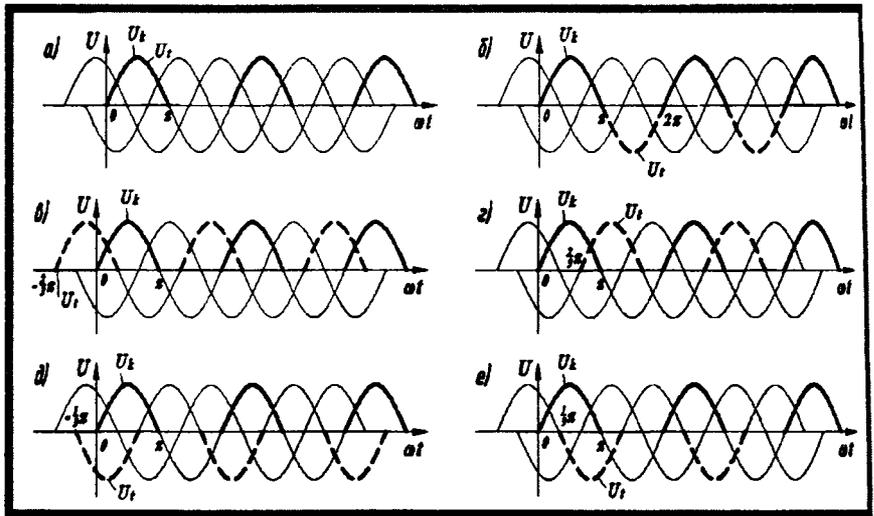


Рисунок 2- Схемы вариантов фазового смещения напряжения цепи технологического тока U_t относительно напряжения цепи электромагнитной катушки U_k ; ω – угловая частота переменного тока; t – время

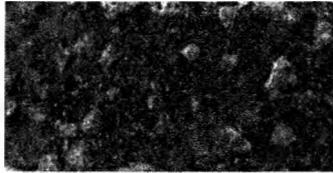
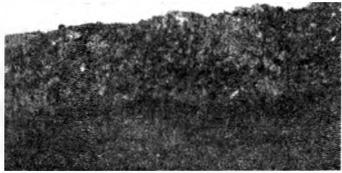
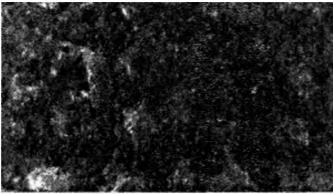
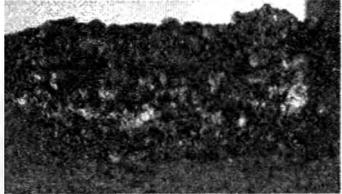
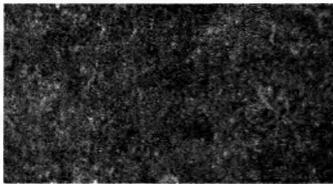
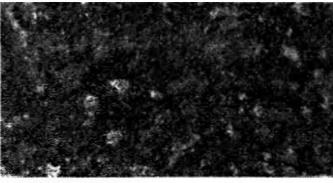
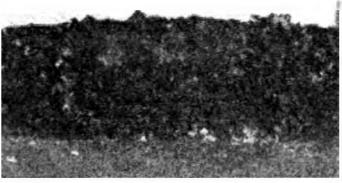
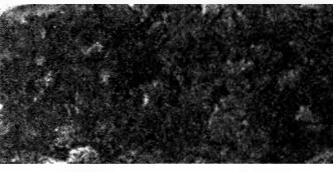
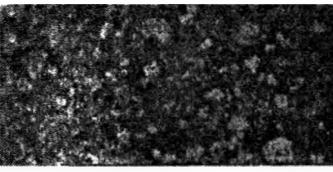
Предложенная электрическая схема (рис. 1) позволяет реализовать шесть возможных вариантов фазового смещения напряжения цепи технологического тока относительно напряжения электромагнитной катушки (рис. 2), когда электрический ток и магнитная индукция имеют направление от полусного наконечника к детали, обеспечивая максимальный переноса капель расплава ферропорошка на формируемый участок покрытия.

Схема на рис. 2 (а) позволяет реализовать режим работы установки без фазового смещения (смещение – 0°), схема на рис. 2 (б) обеспечивает режим работы в противофазе (смещение составляет 180°), схема на рис. 2 (в) реализует режим с опережением напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 120° , схема на рис. 2 (г) обеспечивает режим с отставанием напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 120° , схема на рис. 2 (д) реализует режим с опережением напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 60° , схема на рис. 2 (е) обеспечивает режим с отставанием напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 60° .

Определение порядка или последовательности чередования фаз в трехфазной симметричной системе э.д.с. (напряжений) производится с помощью указателя последовательности чередования фаз. В простейшем исполнении он состоит из двух одинаковых ламп накаливания и конденсатора [7].

На установке для упрочнения деталей в пульсирующем магнитном поле с вибрацией полусного наконечника подключенной по принципиальной электрической схеме (рис. 1) было упрочнено для каждого варианта фазового смещения (рис. 2) на одинаковых режимах упрочнения (разрядный ток до 100А; магнитная индукция в рабочем зазоре 0,6Т; окружная скорость вращения образца 0,3 м/с; рабочий зазор 1,5 мм; зернистость применяемого ферропорошка марки ФБ-1 200...400 мкм; подача ферропорошка в рабочий зазор 17 г/мин [6,8]) по пять предварительно взвешенных образцов

Таблица
**Результаты упрочнения деталей в пульсирующем магнитном поле
с вибрацией полюсного наконечника**

№ варианта упрочнения	Описание процесса упрочнения	Поверхность после упрочнения	
		образца	полюсного наконечника
1	Упрочнение без смещения напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки (рис. 2, а).		
2	Упрочнение со смещением напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 180° (рис. 2, б).		
3	Упрочнение с опережением напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 120° (рис. 2, в).		
4	Упрочнение с отставанием напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 120° (рис. 2, г).		
5	Упрочнение с опережением напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 60° (рис. 2, д).		
6	Упрочнение с отставанием напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 60° (рис. 2, е).		

Анализ полученных результатов, приведенный в таблице, позволяет сделать следующие выводы.

Максимальный привес, как образцов, так и полюсных наконечников приходится при упрочнении по варианту 2 (см. таб.), обеспечивающий режим работы установки со смещением напряжения цепи технологического тока относительно напряжения цепи электромагнитной катушки на 180°. Однако при этом процесс идет не стабильно с сильным разогревом поверхностей детали и полюсного наконечника. Не происходит очистка рабочего зазора от продуктов эрозии в твердой фазе и от части зерен ферропорошка не участвовавшего в разрядах. Покрытие образуется пористое, а его соединение с основой слабое из-за неполного проплавления ферропорошков. В результате происходит налипание зерен ферропорошка, как на рабочую поверхность полюсного наконечника, так и на

деталь, вызывая резкое уменьшение величины рабочего зазора, что приводит к короткому замыканию.

Минимальный привес детали, при малой пористости и максимальной сплошности нанесенного покрытия достигается при упрочнении по варианту 3 (см. таб.), когда напряжение U , питающее сварочный трансформатор, опережает напряжение U_k , питающее электромагнитную катушку, на угол 120° . Процесс упрочнения так же идет не стабильно. Увеличение длины дуги приводит к росту температуры в рабочем зазоре и, в результате, сильному разогреву поверхности детали и оплавлению рабочей поверхности полосного наконечника. Оплавление поверхности полосного наконечника увеличивает рабочий зазор и снижает количество порошка удерживаемого в нем.

При упрочнении по варианту 5 (см. таб.), когда напряжение U_b , питающее сварочный трансформатор, опережает напряжение U_k , питающее электромагнитную катушку, на угол 60° , процесс происходит более стабильно, но незначительно увеличивается привес детали по сравнению с предыдущим вариантом. Однако сильный разогрев полосного наконечника, значительно снижает его ресурс и приводит к высокому тепловложению в деталь, что может вызвать ее коробление.

Все выше рассмотренные варианты из-за нестабильности процесса упрочнения, низкой производительности и больших тепловложений в деталь не могут быть рекомендованы к практическому применению.

При упрочнении по другим вариантам 1, 4, 6 (см. таб.) процесс протекает стабильно.

Среди них максимальный привес образца наблюдается при упрочнении, когда угол смещения составляет 0° вариант 1 (см. таб.). При этом происходит незначительный нагрев детали и полосного наконечника. Перенос расплава порошка осуществляется крупными плотными каплями.

При упрочнении по варианту 4 (см. таб.), когда напряжение U_b , питающее сварочный трансформатор, отстает от напряжения U_k , питающее электромагнитную катушку, на угол 120° (рис. 9, з) перенос расплава порошка осуществляется более мелкими каплями, что повышает сплошность покрытия. При этом несколько снижается привес образцов и увеличивается привес полюсных наконечников.

Упрочнение по варианту 6 (см. таб.), когда напряжение U_b , питающее сварочный трансформатор, отстает от напряжения U_k , питающее электромагнитную катушку, на угол 60° , обеспечивает перенос расплава порошка мелкими каплями, что значительно увеличивает сплошность и уменьшает шероховатость покрытия, при этом снижается привес образцов и полюсных наконечников. Из-за незначительного переноса расплава порошка на рабочую поверхность полосного наконечника и невысокой его эрозии, рабочий зазор остается длительное время постоянным, что значительно повышает стабильность процесса упрочнения. При данном варианте стойкость полосного наконечника максимальна.

Технологический процесс формирования поверхности в электрическом поле вариант 6 (см. таб.), в котором напряжение U_b , питающее сварочный трансформатор, отстает от напряжения U_k , питающее электромагнитную катушку, на угол 60° , можно рекомендовать для упрочнения поверхностей с последующей обработкой до первоначального размера, оставляя при этом только диффузионный слой. Технологический процесс вариант 4 (см. таб.), в котором напряжение U_b , питающее сварочный трансформатор, отстает от напряжения U_k , питающее электромагнитную катушку, на угол 120° , рекомендуется для восстановления и упрочнения, изношенных до $0,1...0,3$ мм поверхностей деталей. Технологический процесс вариант 1 (см. таб.), когда отсутствует фазовое смещение напряжения U_b , питающее сварочный трансформатор, относительно напряжения U_k , питающее электромагнитную катушку, целесообразно использовать при комбинированном восстановлении и упрочнении поверхностей деталей машин со значительным износом (например, с последующей наплавкой углеродистой проволоки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Л. Хейфец, П.И. Ящерицин. 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., Роценья 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. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. – М.: Высш. шк., 1978. –528 с. 8. Мрочек Ж.А., Кадников С.А., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. Оптимизация технологических параметров формирования износостойких покрытий электромагнитным способом // Электронная обработка материалов. - 1991, №2. – С. 22-25.

УДК 621.791.72

Кардаполова М. А., Дьяченко О. В.

УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ИЗНАШИВАНИЯ, ФАЗОВЫМ СОСТАВОМ И МИКРОТВЕРДОСТЬЮ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Повышение требований техники и промышленности к свойствам поверхностных слоев вызывает необходимость создания композиционных многокомпонентных покрытий, включающих в свой состав химические соединения различных металлов. Установлено, что применение таких защитных покрытий обеспечивает получение на рабочей поверхности слоя, обладающего наряду с хорошей прирабатываемостью еще и комплексом высоких физико-механических и эксплуатационных свойств.

Опыт исследований комбинированных защитных покрытий, получаемых с использованием лазерного оплавления, показывает, что структура, свойства и работоспособность покрытий в значительной степени зависят от технологических параметров лазерной обработки (скорости перемещения луча, его диаметра, коэффициента перекрытия лазерных дорожек и др.) /1, 2/.

Для исследования влияния технологических параметров на структуру и некоторые физико-механические свойства покрытий использовали методы математического планирования - метод полного факторного эксперимента и центральный ортогональный композиционный план (ЦКОП) для двух факторов. /3 – 5, 7/.

Цель настоящей работы – исследовать корреляционную зависимость между интенсивностью изнашивания, фазовым составом и микротвердостью покрытий из самофлюсующихся сплавов на железной основе, а также влияние параметров лазерной обработки и легирования на количество упрочняющей фазы.

Для исследования фазового состава, микротвердости и сравнительных испытаний на износ использовались образцы стали 45 прямоугольной формы сечением 10 x 10 и длиной 30 мм, на которые напыляли самофлюсующийся сплав из порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф следующего химического состава (в %): Fe (83.1 – 87.6), В (3.3 – 4.3), Cr (3.5 – 4.5), Si (2.0 – 2.5), Mn (2.0 – 2.5), С (1.0 – 1.2), V (0.5 – 0.9), Al (0.05 – 0.5), Cu (0.05 – 0.5). В качестве установки для напыления использовали УПУ-3Д с источником питания ИПН-160/600 и плазмотроном ПП-25 на режимах: $I = 250$ А, $U = 80$ В, $P = 0.06$ ГПа. Толщина слоя составляла 0.6 мм. Далее на напыленный слой наносились легирующие обмазки на основе карбида бора, боридов тантала и молибдена на кле-