

испытание резервного узла при вращении вала 3000 об/мин. Испытание длилось в течение 30 минут. Герметизация вала сохранилась.

Дальнейшие испытания проводились при давлении 2,5; 3,5; 4,5 и 5,5 МПа. При этом на указанных величинах давления срабатывал датчик защиты, стенд отключался и оценивалась степень герметизации резервного узла уплотнения в статическом состоянии в течение 5 минут. Утечки масла не отмечалось.

Основной узел уплотнения подвергался испытанию при вращении вала на давлении 5,5 МПа в течение 2-х часов, после чего в камеру резервного узла подавалось масло под давлением. Стенд отключался с обеспечением герметичности выхода вала из корпуса. Результаты испытаний указывают на соответствие полученных данных техническому заданию на разработку уплотнений.

Заключение

1. Состояние уплотнений валов определяет ресурс работы гидромашин, их надежность и долговечность. Нарушение герметичности уплотнений приводит к снижению основных технических показателей насосов и экономическим потерям. Сократить отказы торцовых уплотнений возможно путем применения износостойких материалов и покрытий контактных поверхностей колец пары трения и резервированием уплотнительных устройств, включающихся в работу при отказе основного уплотнения.

УДК 621.791.92

Петришин Г.В.

ПРИМЕНЕНИЕ САМОФЛЮСЮЩИХСЯ ПОРОШКОВ В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

В последнее время все более широкое применение находят прогрессивные методы упрочняюще-восстанавливающей обработки быстроизнашивающихся деталей машин. При этом, наряду с достаточно изученными методами газопламенного, плазменного, лазерного нанесения покрытий, свое место прочно занял метод магнитно-электрического упрочнения (МЭУ). В настоящее время активно ведутся работы по разработке новых конструкций установок для МЭУ деталей машин различного класса, оптимизации технологических режимов, стабилизации процесса обработки, обеспечивающие получение покрытий с требуемыми физико-механическими свойствами [1-5]. На качество, и в первую очередь, на износостойкость нанесенного слоя, также значительное влияние оказывает материал, наносимый на подложку, что подтверждается рядом работ [3-5]. Поэтому постоянно возникает необходимость в разработке и исследовании новых наплавочных материалов, достаточно полно учитывающих специфику процесса МЭУ и изготовление которых экономически обосновано.

Материалы для нанесения покрытий магнитно-электрическим методом должны обеспечивать высокую износостойкость упрочненной поверхности, обладать магнитными свойствами, быть доступными и недорогими. В процессе МЭУ в основном используются ферромагнитные порошковые наплавочные материалы, изготовленные на основе железа с большим содержанием бора, такие как ферробор (ФБ-6, ФБ-10, ФБ-17), феррохромбор (ФХБ-1, ФХБ-6-2), а также некоторые легированные стали и чугуны. Выбор указанных напла-

2. Торцовые уплотнения с кольцами контактной пары трения, на трущиеся поверхности которых нанесен износостойкий рабочий слой из композиционного материала на основе порошков карбида вольфрама и медьсодержащей связки, нашли широкое применение и показали высокую надежность и долговечность при герметизации валов центробежных нефтяных насосов.

3. Проведенные стендовые и промышленные испытания показали, что торцовые уплотнения с резервным узлом защиты исключают разгерметизацию ротора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник / Под ред. А.И. Голубева и Л.А. Кондакова, 2-е изд. М.: Машиностроение (1994).
2. Галюк В.Х., Голуб М.В., Харламенко В.И. Современные уплотнения валов центробежных насосов магистральных нефтепроводов. М.: ВНИИОЭНГ (1985).
3. Голуб М.В., Голуб В.М., Пучинский В.С. Изготовление контактных колец пар трения торцовых уплотнений с износостойкой рабочей поверхностью // Труды X научно-технической конференции "Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике" Ч. 1. Брест: БПИ (1998).
4. Пинчук Л.С., Струк В.А., Мышкин Н.К., Свириденко А.И. Материаловедение и конструкционные материалы. Учебное пособие. Мн.: Высшая школа (1989).
5. Патент РФ № 2014532, Бюл. №11, 15.06.94.

вочных материалов обусловлен их распространенностью и доступностью. Эти ферросплавы образуют покрытия, обеспечивающие высокую прочность, износостойкость при различных видах трения. К их недостаткам следует отнести относительно низкую микротвердость нанесенных покрытий, обусловленную негативным влиянием некоторых компонентов указанных сплавов. Существует большая гамма многокомпонентных самофлюсующихся порошковых наплавочных материалов, хорошо зарекомендовавших себя при получении газотермических покрытий, обладающие высокой микротвердостью, но которые в процессе МЭУ еще не испытывались [6]. Учитывая высокие физико-механические свойства покрытий из этих материалов, простоту и дешевизну получения, ферромагнитные свойства, использование их в качестве многокомпонентных ферропорошков для МЭУ гипотетически представляется весьма перспективным направлением.

Цель данной работы – оценить возможность применения самофлюсующихся ферромагнитных порошков при магнитно-электрическом управлении.

Известно, что в процессе магнитно-электрического упрочнения, как и в процессе электросварки, при расплавлении металла образуются оксиды железа, которые резко снижают качество наносимого покрытия. Для предотвращения образования оксидов необходимо вести обработку в среде защитного газа, что дорого и технологически сложно. Эту задачу можно решить применением самофлюсующихся материалов, которые обеспечивают получение качественных покрытий без

*Петришин Григорий Валентинович, аспирант каф. «Технология машиностроения» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.
Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, пр. Октября, 48.*

Таблица. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя при различных наплавочных материалах

Расстояние от края покрытия, мм	Микротвердость HV, МПа·10 ³			
	Ферробор ФБ-10	Ферробор ФБ-17	СЧЛ-1	Самофлюсующийся сплав на основе железа ПР-Х4Г2С2ФЮД
0,05	1220	1330	2460	2790
0,15	1120	1180	1680	2400
0,25	1085	1120	880	2340
0,35	850	970	690	1752
0,45	790	700	650	900
0,55	630	670	560	670
0,65	580	560	560	600

использования дополнительного технологического оборудования. Основой большинства известных самофлюсующихся сплавов является чаще всего никель. Поэтому такой материал оказывается дорогим, а, кроме того, из-за немагнитных свойств никеля, он практически неприменим для процесса МЭУ.

В последнее время разработаны и созданы самофлюсующиеся порошки на железной основе. Замена никеля в качестве основы на железо позволило снизить стоимость порошка. Кроме того, одной из основных особенностей процесса получения такого материала является диффузионное легирование частицы порошка, что позволяет управлять химическим составом наплавочного материала и обеспечивает получение покрытий с заданными физико-механическими свойствами [6].

Процесс формирования покрытий из самофлюсующихся порошков, протекающий в кислородной среде, своеобразен. На поверхности частиц и металла, на который наносят покрытие, при воздействии кислорода образуются пленки оксидов. Основные легирующие элементы, бор и кремний, являясь раскислителями, ведут себя при нагреве как энергичные восстановители, забирая кислород, раскисляют металл и всплывают в виде боросиликатного шлака на поверхность. Они улучшают текучесть и снижают поверхностное натяжение расплава, значительно понижают температуру плавления сплавов, увеличивают смачиваемость поверхности. Тонкая пленка оксидов в виде расплава боросиликатного стекла ($T_{пл}=910^{\circ}\text{C}$) является эффективной защитой от дальнейшего проникновения кислорода в покрытие. Благодаря раскислению оксидных пленок, пониженной температуре плавления, хорошему смачиванию подложки и частичному ее растворению расплавом самофлюсующегося материала обеспечивается хорошая прочность сцепления со сталью при оплавлении (60-70 МПа), достигающая 300-400 МПа при оплавлении. Кроме этого, бор, образуя в покрытиях бориды и карбобориды, повышают микротвердость и улучшают триботехнические характеристики покрытий. Как правило, содержание бора и кремния в самофлюсующихся сплавах не превышает 5% каждого, хотя известны порошки, содержащие значительно большее количество бора — 9% и даже до 18% [3]. Углерод, образуя карбиды с железом, хромом, марганцем и другими карбидообразующими элементами, способствует повышению твердости и износостойкости покрытий. Хром, при его содержании более 12%, значительно повышает коррозионную стойкость покрытий и одновременно, благодаря образованию карбидов, повышает твердость и износостойкость покрытия. Вместе с тем, по мере увеличения в сплавах содержания бора, кремния, углерода, хрома падает сопротивление ударным нагрузкам. При содержании бора в сплаве свыше 6-7% возникает охрупчивание боридов в покрытии и появление наряду с микрорезанием хрупкого выкрашивания отдельных фрагментов боридов, которые шаржируют поверхность, служат своеобразным дополнительным абразивом. Дополнительную роль в охрупчивании избыточных боридов играют легирующие элементы. Установлено, что легирование молибденом, хро-

мом, вольфрамом повышает микрохрупкость боридов железа, а никелем — наоборот, снижает [8].

Для подтверждения приведенных теоретических исследований в данной работе были проведены испытания покрытий, полученные методом МЭУ с использованием различных ферропорошков.

Для исследований на образцы размером 60x20x15, изготовленные из стали 45, были нанесены покрытия методом МЭУ на лабораторной установке первого типа [9] с применением следующих ферропорошков: ферробор ФБ-10, ФБ-17 ГОСТ 14848-69; СЧЛ-1 (серый чугун, легированный В, Si, Cr, Ni, Mn), состав разработан на кафедре «Технология машиностроения» с учетом приведенных теоретических предпосылок; самофлюсующийся сплав на основе железа ПР-Х4Г2С2ФЮД (производство Россия), который брался за эталон в исследованиях [6] при испытаниях покрытий, полученных лазерным, плазменным и другими методами упрочнения.

Микротвердость упрочненных образцов определяли по ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 1,96 Н. Микрошлифы для исследований изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88, при этом образцы предварительно заливали в обойме эпоксидной смолой. Результаты измерений сведены в таблицу.

Как видно из таблицы, наилучшие результаты показали самофлюсующийся сплав на железной основе ПР-Х4Г2С2ФЮД и легированный чугун СЧЛ-1. Следует отметить, что самофлюсующийся порошок ПР-Х4Г2С2ФЮД довольно дорогой, поэтому для получения качественных покрытий магнитно-электрическими методами необходимо разрабатывать отечественные самофлюсующиеся ферропорошки. Проведенные исследования как раз подтвердили вышеприведенные теоретические предпосылки о перспективных направлениях создания конкурентоспособных отечественных ферромагнитных самофлюсующихся порошков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акулович Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. — Новополоцк: Полоц. гос. ун-т., 1999.-240 с.
2. Кожуро Л.М., Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. — Минск: Наука и техника, 1995.-232с.
3. Афанасьев Н.И., Шулев Г.С., Эйзнер Л.А. Исследование процесса упрочняющей магнитно-электрической обработки деталей кормоуборочной техники // Материалы 4-го научн.-техн. семинара с междунар. участ. по неконвенционному технолог. в машиностр. — Ботевград, Болгария, 1989. — С.101-110.
4. Люцко В.А. Технология и установки магнитно-электрического упрочнения плоских поверхностей деталей машин. Автореф. дис. ... канд. техн. наук : - 01.04.13 / Полоцкий гос. ун-т. — Новополоцк, 2004.-24 с.
5. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. — Минск : УП «Технопринт», 2000.-268 с.

6. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легируемые порошки на железной основе и защитные покрытия из них. — Мн.: УП «Технопринт», 2001. — 300 с.
7. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. — М.: Металлургия, 1990. — 176с.
8. Лоскутов В.Ф. Разработка процессов получения диффузионных легированных боридных и карбидных покрытий для повышения стойкости деталей машин и инструмента: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук. Киев, 1987. —36с.
9. Электромагнитная наплавка плоских изношенных поверхностей деталей машин / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, А.И. Коршунов, М.П. Кульгейко / Ремонт, восстановление, модернизация. — 2004. — №1. —С.2-6.

УДК 621.791

**Пантелеенко Ф.И., Акулич А.П., Люцко В.А.,
Петришин Г.В., Дмитриченко Е.Э.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ СО СМАЗКОЙ

Введение. Износостойкость, являющаяся одним из важнейших критериев долговечности трущихся деталей машин, зависит от многих факторов: характера трения (скольжение, качение, качение с проскальзыванием и т.д.), смазки, наличия абразивных частиц, свойств материалов и температуры трущихся поверхностей, сил трения, качества поверхностного слоя и ряда других [1-3]. Одним из самых распространенных видов трения является трение скольжения со смазкой. Оно характерно для работы большой номенклатуры деталей подвижных соединений технологического оборудования (подшипниковых узлов, зубчатых зацеплений коробок скоростей и подач металлорежущих станков и др.). Более интенсивному изнашиванию подвергаются детали сопряжений, работающих в условиях трения скольжения со смазкой, в которую попадает абразив из окружающей среды, либо в виде продуктов износа, шлама, нагара и т.д. (детали подшипниковых узлов сельскохозяйственных, транспортных, дорожно-строительных машин, детали двигателей внутреннего сгорания, направляющие элементы корпусных деталей технологического оборудования) [1,3-5].

Одним из эффективных методов повышения износостойкости деталей машин, работающих в указанных условиях эксплуатации, является магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) [4-7]. В качестве материалов покрытий в процессе МЭУ чаще всего применяются ферромагнитные порошки (ФМП), изготовленные на основе железа с большим содержанием бора (ферробор, феррохромбор). Заслуживает внимания изучение триботехнических характеристик покрытий из ФМП, применяемых при магнитно-абразивном полировании, а также из специальных легированных порошков на основе серого чугуна, которые до настоящего времени в процессе МЭУ не использовались. Качественные характеристики МЭУ (толщина упрочненного слоя, его сплошность, износостойкость) во многом определяются стабильностью процесса формирования наносимых покрытий. Для повышения стабильности процесса МЭУ обработку ведут в потоке охлаждающей жидкости, в среде защитных газов или применяют си-

стемы электронного управления одним из параметров технологической цепи.

Однако, в настоящее время, широкое внедрение перспективного технологического метода сдерживается недостаточной изученностью как физико-механических и триботехнических свойств покрытий из различных ФМП, так и влияния на них условий осуществления процесса МЭУ.

Цель работы. Изучение влияния материала порошков и условий осуществления процесса МЭУ на физико-механические и триботехнические характеристики ферромагнитных покрытий при трении скольжения со смазкой, содержащей абразив.

Оборудование и методика исследований. Магнитно-электрическое упрочнение образцов осуществляли на лабораторной установке второго типа [5] в двух режимах: с включенным блоком стабилизации и с его отключением. Для упрочнения цилиндрических поверхностей установка оснащалась механизмом вращательного движения образцов [7]. Одна часть образцов упрочнялась на воздухе, а другая – с использованием СОЖ, состоящей из 5% раствора эмульсола Э-1 в воде.

Износостойкость ферромагнитных покрытий при трении скольжения со смазкой, содержащей абразив исследовали на машине СМТ-1 по схеме «диск-колодка» по методике, приведенной в [6,7]. Покрытия на диски из стали наносились из различных ФМП: ферробора (ФБ-10, ФБ-17 ГОСТ 14848-69), феррохромбора (ФХБ-1 ТУ 48-42-12-70), абразивно-полировального (ферабраз-311 (40%Fe+60%TiC) ТУ 147.038-84), легированного серого чугуна В, Si, Cr, Mn, Ni (ЛСЧ). Колодки изготавливались из чугуна СЧ25. Эталонном служил диск из стали 40Х с твердостью 48...54 HRC_с. Смазка трущихся поверхностей производилась путем окунания в абразивную среду – масло индустриальное 20, содержащее 5% по массе абразива (кварцевый песок ГОСТ 8006-72). Сравнительную износостойкость оценивали гравиметрическим методом по потере массы Δ_m . Интенсивность изнашивания I_m оценивали на единицу длины пути трения, а относительная износостой-

Пантелеенко Федор Иванович, д.т.н., профессор, зав. каф. «Материаловедение и конструкционные материалы», член-корреспондент НАНБ, проректор по научной и производственной деятельности Полоцкого государственного университета. Беларусь, ПГУ, 211440, г. Новополоцк, Витебской обл., ул. Блохина, 29.

Люцко Василий Александрович, к.т.н., доцент каф. «Технология машиностроения» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Дмитриченко Евгений Эдуардович, ассистент каф. «Технология машиностроения» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, пр. Октября, 48.

Акулич Антон Павлович, к.т.н., доцент, декан электронно-механического факультета, зав. каф. «Технология машиностроения» Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.