

сравнению с износостойкостью образцов, упрочненных объемной закалкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыкалин Н.Н. и др. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – с.485.

2. Спиридонов Н.В. и др. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн. Вышэйшая школа, 1988. – 155с.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 359с.
4. Кидин И.Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали. – М.: Металлургиздат, 1957. – 94 с.

УДК 621.891.67-762

Голуб М.В., Голуб В.М.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ РОТОРОВ НЕФТЯНЫХ НАСОСОВ

Введение

Для добычи, транспорта и переработки нефти используются в основном центробежные насосы. Условия эксплуатации насосов весьма разнообразны и зависят от технологических режимов перекачки: подачи, давления, температуры и свойств перекачиваемой среды. Исходя из анализа внеплановых выходов из строя центробежных насосов нефтеперерабатывающих предприятий республики видно (рис. 1), что более 60% отказов приходится на долю торцовых уплотнений. Аналогичная картина отказов насосов, применяемых для добычи и транспорта нефти и нефтепродуктов.

Актуальность проблемы повышения надежности насосного оборудования заключается в том, что эксплуатация насосов с неисправными уплотнениями, кроме потери перекачиваемого сырья, приводит к нарушению технологического режима транспорта и переработки, ухудшает условия работы обслуживающего персонала, а в ряде случаев и к критическим последствиям. В связи с этим предъявляются жесткие требования к герметичности насосов по пожаро- и взрывобезопасности. Высокие требования к уровню герметичности зачастую определяют не только конструкцию насосов, но и параметры технологических процессов. Многие эффективные технологические процессы не могут быть реализованы из-за недостаточной герметичности валов и надежности гидромашин.

1. Условия работы торцовых уплотнений

Работа контактных уплотнений торцового типа характеризуется режимом трения основного элемента – пары трения, смазка которой осуществляется перекачиваемой средой. Пе-

рекачиваемая среда в полной мере не отвечает требованиям, предъявляемым к смазкам узлов трения. Так нефть, обладая сравнительно хорошей маслянистостью, содержит различные примеси в виде абразивных частиц, песка и твердых химических соединений. В нефти содержится пластовая вода, сераорганические и хлороорганические соединения и растворенные в различных количествах сопутствующие газы (азот, сероводород, углекислый газ и др.).

При промывке резервуаров и очистке трубопроводов содержание механических примесей в нефти возрастает и достигает до 0,1% и более. Попадая в контакт уплотнения механические частицы царапают рабочие поверхности, нарушают их геометрию и герметичность. Интенсивному абразивному износу подвергаются кольца пары трения. Под действием механических примесей изнашиваются уплотнительные резиновые кольца аксиально-подвижного узла уплотнения. Механические частицы, попадающие под резиновые уплотнительные кольца втулки, истирают их. В месте контакта резинового кольца и корпуса уплотнения образуется выработка. Резиновые кольца из некоторых сортов резиновых смесей разбухают в нефти и заклинивают аксиально-подвижную втулку, а при повышенных температурах резиновые кольца деформируются.

Пластовые воды, находящиеся в нефти, вызывают коррозию деталей уплотнения. Их коррозионное влияние зависит от концентрации водородных ионов и возрастает с увеличением количества растворимых в воде газов, особенно сероводорода.

Минеральные соли содержатся как в воде, диспергированной в нефти, так и в высокомолекулярных компонентах

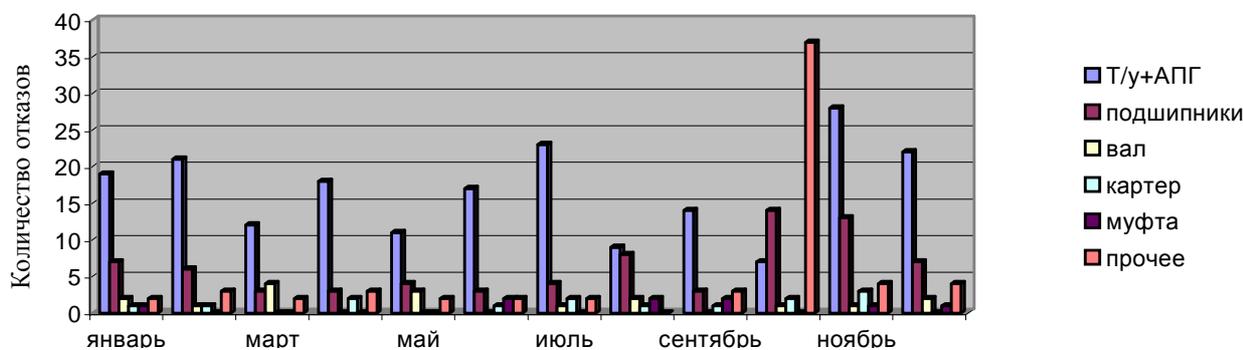


Рис. 1. Анализ внеплановых выходов из строя насосов за 2003 год.

Голуб Михаил Владимирович, д.т.н., профессор, зав. каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Голуб Владимир Михайлович, к.т.н., доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

нефти. Минеральные соли отлагаются на горячих поверхностях уплотнений, образуя прочные корки.

Парафины и смолы отлагаются в камерах и полостях уплотнения, где расположены пружины и, затвердевая, нарушают подвижность аксиально-подвижного узла уплотнения.

Торцовые уплотнения роторов насосов отличаются как конструктивным исполнением, так и материалами из которых изготовлены детали уплотнений (корпусные детали, контактные кольца пары трения, пружины, резиновые элементы). Опыт эксплуатации торцовых уплотнений показал, что большая доля отказов приходится на контактные кольца пары трения по причине их износа.

Материалы, из которых изготавливаются контактные кольца пары трения, должны обеспечивать, как правило, низкие значения потерь энергии на трение и высокую износостойкость в уплотняемых средах. Удовлетворение указанных требований оказывает решающее влияние на надежность и долговечность торцового уплотнения. Вместе с тем, объемные свойства материалов не всегда удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляются к его поверхностным характеристикам. Последние достигаются применением различных технологических методов, позволяющих создать на поверхности контакта износостойкие слои, обладающие необходимым комплексом триботехнических свойств.

2. Технология упрочнения колец пар трения

Состояние рабочих поверхностей колец пар трения представляет собой один из главных показателей, определяющих эксплуатационные характеристики торцового уплотнения, т.к. отказ уплотнения обычно связан с износом и нарушением геометрии трущихся поверхностей, приводящих к потере герметичности уплотнения. Правильный выбор материалов колец и соответствующей технологии обработки рабочих поверхностей контактной пары трения обеспечивают надежную работу уплотнения на длительный период даже в условиях относительно плохой смазочной способности уплотняемой среды [1, 2].

Торцовое уплотнение в процессе работы при больших скоростях скольжения воспринимает как статические, так и динамические нагрузки. Материалы колец пар трения должны поглощать и рассеивать тепловую энергию антифрикционного покрытия, без растрескивания и катастрофического изнашивания рабочих поверхностей, способную проявиться в результате многократных колебаний силового и теплового воздействий. Одним из эффективных способов повышения долговечности торцового уплотнения является нанесение на поверхности контакта колец износостойкого композиционного слоя из разнозернистых порошков карбида вольфрама, соединенных медьсодержащей матричной связкой, обладающей высокой теплопроводностью [3].

Принципиальной особенностью изготовления таких колец является то, что соединяются различные по своим физико-механическим свойствам и химическому составу материалы. Контактное кольцо является комбинированной деталью, основу которой составляет конструкционная сталь, а нанесенный на рабочую поверхность износостойкий пояс толщиной 2 – 3 мм в заданных чертежом размерах представляет собой твердый композиционный материал с высокими антифрикционными характеристиками. Механическая обработка таких колец не представляет технологических трудностей, т.к. только контактная торцовая поверхность требует при обработке применения специального сверхтвердого абразивного инструмента. Технология изготовления колец пар трения с износостойким рабочим слоем включает следующие операции:

- выбор материала и получения заготовки контактных колец пары трения;
- приготовление шихты из разнозернистых порошков карбидов металла;

- очистка заготовки и прессование шихты в торцовую канавку;
- приготовление матричного пропиточного сплава и его нанесение на напрессованный слой шихты;
- спекание и пропитка напрессованного слоя шихты в электропечи в защитной или инертной среде;
- охлаждение заготовки вместе с печью;
- механическая обработка заготовки и получение контактного кольца.

При спекании и пропитке композиционного слоя заготовка нагревается до температуры 1200 – 1300 °С, поэтому в процессе охлаждения в сталях происходят определенные структурные изменения.

Стали аустенитного класса хорошо смачиваются пропиточным материалом, имеют коэффициент линейного расширения близкий к коэффициенту линейного расширения композиционного материала, а структурные превращения в стали не приводят к изменению ее объема. Мартенситное превращение в сталях сопровождается заметным увеличением объема [4], что приводит к возникновению остаточных напряжений, появлению трещин в композиционном слое и его отслоению. Трещины могут возникнуть как в процессе охлаждения, так и в процессе механической обработки заготовки контактного кольца.

Появление опасных остаточных напряжений в композиционном слое кольца, основа которых выполнена из сталей мартенситного класса, устраняется не только путем подбора состава компонентов покрытия, что довольно сложно, но и путем предварительного нанесения на стенки и дно канавки стальной заготовки кольца пластичной металлической подложки. Для этих целей возможно применение меднения или металлизации поверхностей канавки стали аустенитного класса с последующей зачисткой канавки под напрессовку шихты из твердосплавных порошков. Нанесение на поверхность мартенситных сталей износостойкого слоя через пластичную подложку не приводит к дефектам контактных колец.

3. Структура и фазовый состав композиционного износостойкого покрытия

Фазовый состав нанесенного композиционного материала изучался по рентгенограммам, полученным на установке УРС-50 и дифрактометре ДРОН-2,0 на FeK_{α} излучении. Идентификацию рентгенограмм проводили по межплоскостным расстояниям и ширине интерференционных линий. На электронном микроанализаторе Comesa MS-46 проведены исследования по количественному и качественному распределению элементов в композиционном слое.

Поверхности шлифов из композиционного материала предварительно изучались с помощью металлографического микроскопа МИМ-8. Поверхность износостойкого слоя представляет собой разнозернистую структуру, которая состоит из крупных и мелких зерен карбида вольфрама и цементирующей их матричной связки (рис. 2) на основе меди, никеля и кобальта.

Для сканирования выбирались наиболее типичные участки микрошлифов. Исследовалось распределение W, Cu, Ni, Co в плоскости перпендикулярной контактной поверхности. Отмечаются наложения интерференционных максимумов различных фаз друг на друга, наблюдается изменение кристаллической структуры решеток WC и W_2C в результате обезуглероживания. Матричная связка образует твердый раствор никеля в меди с дисперсно-рассеянными частицами карбида вольфрама и кобальта. Отмечено образование сложных карбидов типа $\theta - Co_2W_4C_3$ и $\eta - Co_3W_3C$ на границах зерен карбида вольфрама, а также на границе композиционного слоя и стальной основы кольца. Это указывает на подплавление

ние и частичное скрепление твердого каркаса, состоящего из зерен карбида вольфрама (рис. 2 б).



а) ×70



б) ×200

Рис. 2. Микрофотография поверхности и структура композиционного материала.

Полученные микрофотографии поверхности композиционного слоя в лучах поглощенных электронов наглядно показывают равномерность распределения в цементирующей связке по границам зерен вольфрама элементов кобальта, меди и никеля.

Из спектрограмм (рис. 3) видно, что в диффузионной зоне контакта композиционного слоя со сталью содержание никеля доходит до 0,9 мас. %, значительно снижаясь в глубину стали и на расстоянии 30 мкм составляет не более 0,1%. Кобальт в сталь диффундирует на глубину 8 мкм. Медь и вольфрам в сталь не диффундируют. Матричная связка, цементирующая крупные зерна карбида вольфрама, состоит из твердого раствора никеля в меди, наполненного тонкодисперсными частицами карбида вольфрама и кобальта. Содержание меди в прослойках находится в пределах от 15 до 60, никеля – от 4 до 25, кобальта – от 4 до 10 мас. %. Содержание дисперсно-рассеянного карбида вольфрама в связке колеблется от 30 до 50%.

На поверхности крупных зерен карбида вольфрама отмечаются тонко рассеянные мелкие частички меди, чем обеспечиваются высокие антифрикционные характеристики нанесенного композиционного слоя на рабочие поверхности контактных колец.

4. Конструктивные особенности торцовых уплотнений нефтяных насосов и их совершенствование

На насосах технологических установок переработки нефти и транспорта углеводородного сырья применяют одинарные торцовые уплотнения типа Т, ТП, ТВ, или двойные типа ТД, ТДВ и др., где обозначения представляют: Т – торцовые одинарные; П – уплотнения для работы в средах с повышенной температурой; В – уплотнения для работы в средах с высокой температурой.

Конструкция двойного уплотнения типа ТД приведена на рисунке 4.

Основным узлом уплотнения являются две трущиеся пары 2, состоящие из вращающейся и неподвижной втулок, расположенных в корпусе уплотнения 1. Особенность двойного уплотнения заключается в том, что оно требует устройства дополнительной системы подачи запорной жидкости в камеру торцового уплотнения между контактными парами трения (рис. 5).

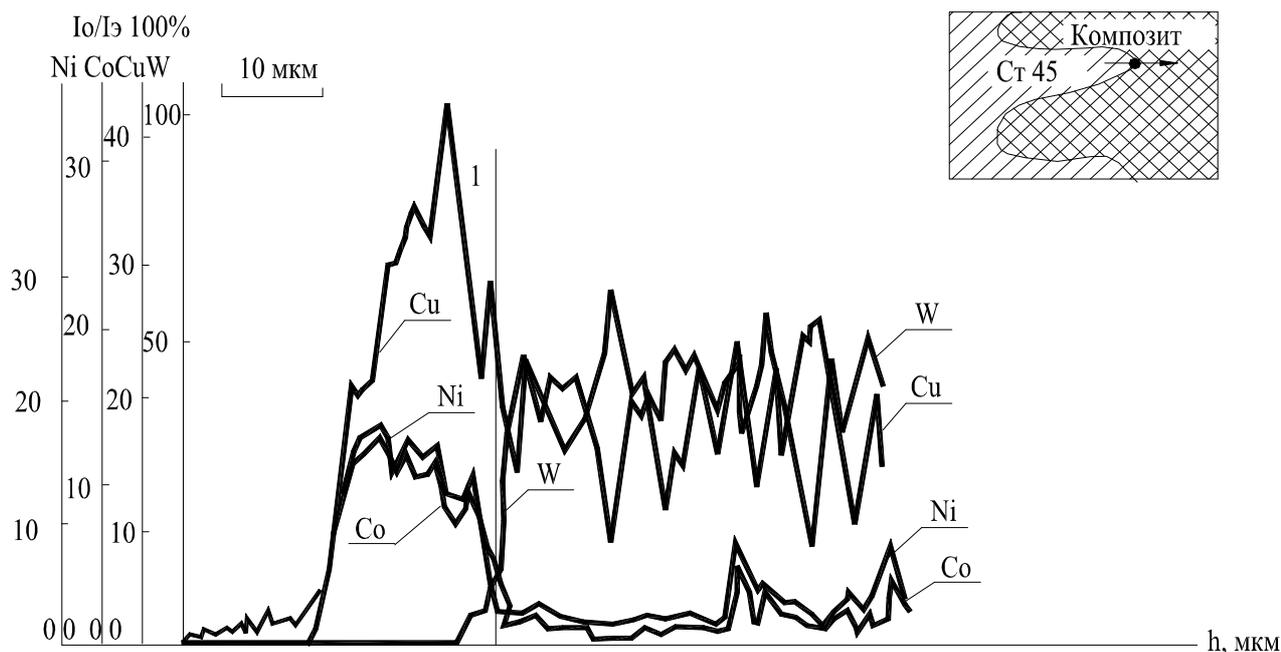


Рис. 3. Распределение элементов композиционного материала на основе карбида вольфрама с матричной связкой Cu – Ni – Co.

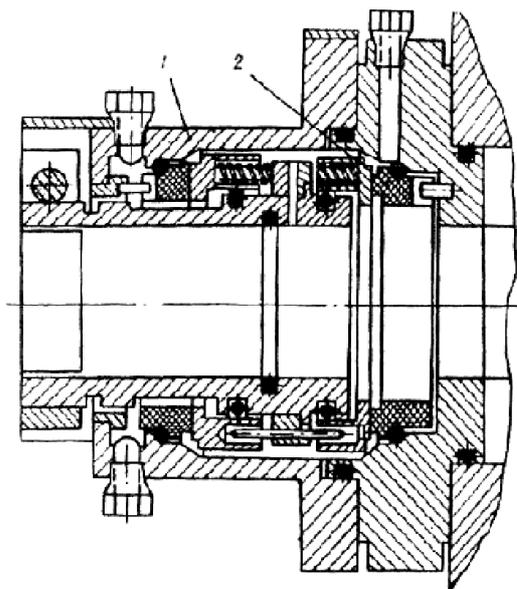


Рис. 4. Двойное торцовое уплотнение.

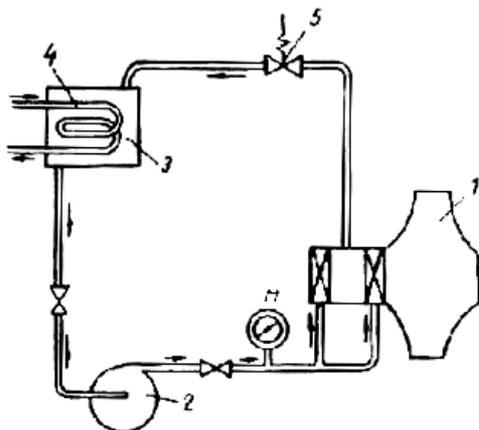


Рис. 5. Система циркуляции запорной жидкости двойного торцового уплотнения.

Запорная жидкость подается в корпус уплотнения под давлением, превышающим давление уплотняемой среды на 0,1 – 0,15 МПа, с помощью которой создается гидравлический затвор и осуществляется охлаждение трущихся пар. Подача запорной жидкости осуществляется циркуляционным насосом 2. Давление запорной жидкости контролируется манометром М. Необходимая величина этого давления устанавливается вентилем 5. Запорная жидкость залита в емкость 3, в которой установлен холодильник 4.

Поскольку запорной жидкостью обычно является масло, то предполагается, что внешняя контактная пара трения работает в лучших условиях, чем внутренняя относительно уплотняемой среды.

При выходе внутренней пары трения из строя и нарушении герметичности отмечается снижение уровня масла в емкости 3, т.к. масло будет поглощаться рабочим насосом 1. По достижении критического уровня масла в емкости 3 сигнал с датчика уровня поступит на систему автоматической защиты, которая отключит насосный агрегат и выведет его в резерв.

Такая система герметизации выхода вала из корпуса насоса является довольно сложной, однако она имеет то преимущество, что при отказе одной из трущихся пар трения залпового выброса перекачиваемой среды из насоса в помещение не произойдет.

Проще в конструктивном исполнении и эксплуатации разработанные нами торцовые уплотнения с резервной парой трения [5].

При разработке торцового уплотнения с резервным уплотнительным устройством исходили из того, что последнее должно включаться в работу при появлении давления в камере резервной пары трения и обеспечивать герметичность вала на период отключения насосного агрегата системой автоматической защиты и выводом его из рабочего состояния с перекрытием задвижками трубопровода на входе и выходе насоса.

За основу принята конструкция одинарного торцового уплотнения (рис. 6), к которому крепится узел с резервной парой контактных колец.

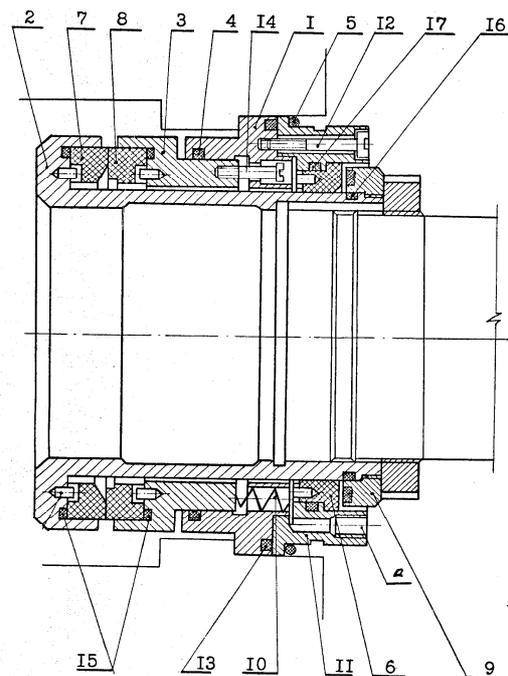


Рис. 6. Торцовое уплотнение с резервной парой контактных колец:

1 – корпус основного уплотнения; 2 – гильза вала; 3 – аксиально-подвижная втулка; 4, 5, 13, 15, 16 и 17 – резиновые уплотнительные кольца; 6 и 9 – контактные кольца резервной пары; 7 и 8 – контактные кольца основной пары; 10 – пружины; 11 – корпус резервного уплотнения; 12 и 14 – винты.

Узел резервной пары содержит корпус 11, связанный с корпусом 1 основного уплотнения, аксиально-подвижное невращающееся контактное кольцо 6 и вращающееся кольцо 9, жестко закрепленное на внешнем, по отношению корпуса, конце гильзы 2 вала.

Резервная пара трения гидравлически разгружена. Монтаж уплотнения на насосе выполняется так, чтобы между контактными кольцами 6 и 9 был торцовый зазор 0,5 – 1,0 мм. Общая длина свободного осевого перемещения составляет 3,0 – 5,0 мм, что обеспечивает упругое поджатие колец даже при разрушении упорных подшипников ротора насоса.

Камера резервного уплотнения соединена с датчиком защиты через отверстие в корпусе "а", который при появлении давления отключает привод насосного агрегата.

Стендовые испытания проведены согласно с утвержденной программой. Испытанию сначала подвергался резервный узел уплотнения. Для этого перед установкой на стенд снимались контактные кольца основного уплотнения. Проводилась опрессовка резервного узла при давлении 10,0 МПа в течение 5 минут. Резервная пара обеспечивала полную герметичность без утечки масла. Затем при давлении 1,0 МПа проводилось

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 САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ 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-электрическими 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.*