

Применение износостойких материалов из порошков керамики и М-кролей для изготовления уплотнений насосов

*Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый, В. М. Асташинский, О. Г. Девойно,
В. В. Оковитый, А. А. Литвинко*

В статье рассмотрены вопросы износа деталей насосов и способы их ремонта с помощью нанесения износостойких плазменных покрытий на основе металлокерамики. Констатируется, что наиболее оптимальным в данном случае будет применение металлокерамических покрытий, в которых в металлической матрице, на никелевой основе, равномерно распределены керамики с добавлением твердой смазки. Данные покрытия с высокой износостойкостью формируются с использованием плазменного напыления с последующим применением высокоэнергетической обработкой с применением компрессионной плазмы или лазера.

Ключевые слова: торцевые уплотнения, процесс изнашивания, плазменные покрытия, антифрикционные материалы, твердость, износостойкость, прочность, модуль упругости, металлокерамические покрытия.

The use of wear-resistant materials from ceramic powders and M-crolls for the manufacture of pump seals

*F. I. Panteleenko, V. A. Okovity, V. M. Astashinsky, O. G. Devoino,
V. V. Okovity, A. A. Litvinko*

The article deals with the issues of wear of pump parts and methods for their repair by applying wear-resistant plasma coatings based on cermets. It was stated that the most optimal in this case would be the use of metal-ceramic coatings, in which metal oxides are uniformly distributed in a nickel-based metal matrix with the addition of a solid lubricant. These high wear resistant coatings are formed using plasma spraying followed by high energy processing using compression plasma or laser.

Keywords: mechanical seals, wear process, plasma coatings, antifriction materials, hardness, wear resistance, strength, modulus of elasticity, cermet coatings.

В настоящее время все более широкое распространение в транспортных системах, автомобиле- и станкостроении, химической, пищевой, перерабатывающей и других областях промышленности получают пневмогидравлические устройства и приводы. Во всех случаях, когда речь идет о высокоточных автоматизированных станках и устройствах, особенно о системах, работающих при больших температурах, высоком давлении, в агрессивных средах конструкторы все чаще обращаются к гидравлическим приводам и гидропневматическим контрольным устройствам. Одним из главных условий успешной работы гидропривода является надежность уплотнения стыков, арматуры и взаимодейст-

вующих пар в быстродействующих кинематических системах. Официальные данные Федерального министерства исследований и технологии Германии свидетельствуют о том, что экономические потери от трения, износа и коррозии в индустриально развитых странах составляют около 4,5 % валового общественного продукта. Применительно к Германии это означает ежегодные потери сырья и энергии на сумму 65 млрд евро. Опросы специалистов показали, что в области уплотнительных устройств – сальниковых набивок, прокладок, контактных колец, торцевых уплотнений – успех товара на рынке определяется тремя факторами: ноу-хау материала, сроком службы уплотнения в данных условиях эксплуатации и качеством сервисного обслуживания. И лишь затем следуют ценовые соображения. Отсюда можно сделать вывод о тенденции к использованию современных, высококачественных и относительно дорогих уплотнений, выпускаемых надежными известными поставщиками.

Анализ условий работы торцевых уплотнений насосов

Торцевые уплотнения – наиболее прогрессивные и эффективные уплотняющие устройства вращающихся валов жидкостных насосов. Они имеют существенные преимущества перед сальниковыми уплотнениями, т. к. более долговечны, надежны и просты в обслуживании. Основные области применения торцевых уплотнений – энергетика, нефтехимия, машиностроение. В энергетическом комплексе Беларуси лишь 20 % насосного оборудования оснащены торцевыми уплотнениями, причем 100 % – импортными (Россия, Германия) [1, 2]. Нефтегазовое оборудование работает в исключительно тяжелых условиях комплексного нагружения, включающего высокие статические и динамические нагрузки, присутствие абразива и гидроабразива, содержащихся в продуктах сероводорода, наличия агрессивных сред, развитие коррозии и усталости металла [3–5]. Преждевременный отказ оборудования может привести к экологическому ущербу и загрязнению окружающей среды вследствие выброса нефтепродуктов или промывочных жидкостей. В нефтегазовом комплексе определено, что в среднем годовая стоимость ремонта оборудования равна 25 % его первоначальной стоимости. Для некоторых видов оборудования средства, расходуемые на его обслуживание в процессе работы, превышают в несколько раз первоначальную стоимость. Анализ причин отказов нефтегазопромыслового оборудования показывает, что подавляющее большинство аварийных ситуаций и выходов из строя оборудования происходит в результате изнашивания контактных поверхностей деталей [6]. Торцевые уплотнения насосов нефтеперерабатывающего производства работают как в режиме сухого трения (при запуске насоса), так в условиях гидроабразивного износа (в режиме перекачки жидкостных сред). Состав жидкостных сред по плотности и уровню pH может значительно изменяться в зависимости от типа перекачиваемого нефтепродукта и химического реагента, используемого при промывке системы. Отказы по торцевым уплотнениям происходят по причине попадания абразивных частиц в зазоры между трущимися поверхностями. Кроме того, обнаруживаются следы механического изнашивания вследствие явления механического схватывания при работе в режиме сухого трения. Анализ изнашивания сопряженных элементов в условиях граничного трения в жидкостных средах, содержащих свободный абразив [7, 8], позволяет сделать вывод, что наибольшему

гидроабразивному изнашиванию в контакте будет подвергаться поверхность материала, имеющего меньшую твердость. Это происходит вследствие того, что при соударении частиц абразива с металлической поверхностью вначале происходит его наклеп поверхности. Внедрение абразивных частиц в материал уплотнения сопровождается образованием дорожек скольжения и канавок, высота которых совпадает со средним размером абразивных частиц. Это в некоторой степени способствует изменению процесса фрикционного взаимодействия: из абразивного оно переходит в трение скольжения, и частично в гидроабразивное трение с элементами качения и скольжения крупных абразивных зерен в канавках и вне дорожки скольжения. По этой причине резко уменьшается интенсивность изнашивания металла, причем последнее наблюдается до тех пор, пока процесс гидроабразивной эрозии не приведет к удалению внедренных в поверхностный слой материала уплотнения абразивных частиц. Таким образом, в паре трения металл – уплотнительный элемент с твердостью ниже твердости металлической сопрягаемой поверхности, в первую очередь будет изнашиваться уплотнительный элемент.

Выбор составов износостойких материалов для изготовления уплотнений насосов

Из условий требования к покрытиям, форме и размерам детали очевидно, что наиболее оптимальным будет являться технология нанесения плазменных покрытий, так как нанесение газопламенных покрытий с последующим оплавлением приведет к поводкам, что в свою очередь приведет к значительным затратам при проведении последующей механической обработки детали. При рассмотрении материалов для покрытий следует отметить, что покрытия из антифрикционных материалов на основе бронз и латуней имеют недостаточную твердость. Наибольшей износостойкостью обладают, как правило, материалы с высокой трещиностойкостью и прочностью, низким модулем упругости и коэффициентом Пуассона. По крайней мере половине этих критериев керамические материалы не отвечают. Представление об априорно высокой износостойкости керамики основано на данных по микротвердости керамики, но не учитывает влияния тангенциальных сил и неупругих деформаций. Коэффициент трения керамики при отсутствии смазки часто превышает 0,5. Наиболее сильный износ отмечается при чистом скольжении, значительной шероховатости покрытия, высоких скоростях, нагрузках и температурах. При разработке стратегий использования керамики для получения антифрикционных покрытий необходимо учитывать, что керамика не сможет работать без смазки [8]. Таким образом, учитывая, что в момент включения насоса покрытие может работать в условиях сухого трения, а в перекачиваемых жидкостях может присутствовать абразивный материал, то применение чисто цельнокерамических покрытий для данного случая является нецелесообразным.

Наши исследования направлены на изучение технологий формирования защитных износостойких покрытий для повышения показателей у эксплуатационных характеристик узлов и деталей, работающих при тяжелых нагрузках при наличии недостаточного количества смазки, значительных колебаниях температурных факторов [9, 10]. Для подобных условий наиболее приемлемы упрочненные плазменные износостойкие покрытия, имеющие в своей основе

металлокерамику, в которых в металлической матрице на никелевой основе равномерно распределены керамики с добавлением твердой смазки [11]. Указанные покрытия в последующем подвергаются высокоэнергетической обработке импульсами компрессионной плазмы или лазерного излучения [12]. К показателям, от которых зависит износостойкость, относят состав композиционных порошковых частиц исходных материалов, формирующих необходимую структуру покрытий. Использование высокоэнергетической обработки плазменных покрытий дает добавочный импульс их упрочнению благодаря уплотнению с формированием измельченной структуры за счет моментального охлаждения оплавленных слоев (20–90 мкм) [12]. Для успешного внедрения таких покрытий необходимо подробнее изучить нюансы синтеза новых композиций порошков с применением керамики и создать критерии по прогнозированию свойств износостойких плазменных покрытий из них с исследованием и оптимизацией технологических параметров.

Разработка торцевых уплотнений насосов нефтеперерабатывающего производства, обладающих более высокими эксплуатационными характеристиками, по сравнению с используемыми, является важной и актуальной. Кроме того, разработка и внедрение технологии изготовления торцевых уплотнений позволит сократить поставки комплектующих по импорту.

Торцевые уплотнения насосов нефтеперерабатывающего производства работают как в режиме сухого трения (при запуске насоса), так в условиях гидроабразивного износа (в режиме перекачки жидкостных сред). Состав жидкостных сред по плотности и уровню РН может значительно изменяться в зависимости от типа перекачиваемого нефтепродукта и химического реагента, используемого при промывке системы. Отказы по торцевым уплотнениям происходят по причине попадания абразивных частиц в зазоры между трущимися поверхностями. Кроме того, обнаруживаются следы механического изнашивания вследствие явления механического схватывания при работе в режиме сухого трения.

На основе анализа используемых материалов для нанесения антифрикционных покрытий определено, что наиболее оптимальным является применение металлокерамических покрытий, в которых в металлической матрице на никелевой основе равномерно распределены керамики с добавлением твердой смазки.

Список использованных источников и литературы

1. Sealing devices // Zh. "Snabzhenets", No. 14 (366), 2003, pp. 8-11.
2. Dzhanakmedov A.Kh. / Tribological problems of oil and gas equipment. Zh. "Friction and wear", Gomel, IMMS ANB, volume 18 No. 2, .2011. pp.187-193.
3. Zaitsev A.L., Kirilenko V.P. On the relationship of the frictional properties of polymers with their structural and mechanical characteristics under boundary friction in the presence of a free abrasive //Zh. Materials, technologies, tools, Gomel, LLC "Infotribo", 2007, volume 2 No. 3. Pp. 46-51.
4. Gardos Michel N. Tribology of ceramics // Lubric Eng. 2008. V44, No. 5. R. 400-407.
5. Gaidarenko A.L., Borisova A.L. Structure and properties of powder materials nichrome-boron nitride for tribotechnical units // J. Powder metallurgy (Kyiv). 2000 No. 6. S. 47-51.

6. Kitaev F.I., Lekarev Yu.G. Properties of plasma composite coatings metal-solid lubricant // J. Powder metallurgy (Kyiv). 2001. No. 8. S. 91-95.
7. Kadyrov V.Kh., Shchepetov V.V. Antifriction detonation coatings // J. Mashinostroitel. 1999, No. 5. Pp. 33-34.
8. Paidassi Serge Trends in advanced solid lubricant coatings // J. Vide, couches minces. 2002, V.48, No. 261. P. 350-352.
8. Perspective materials and technologies / S.M. Aldoshin [and others]; ed. V.V. Rubanika.-Minsk: Ed. center of BSU, -2021.-658 p.
9. Panteleenko, F.I. Formation and study of multilayer composite plasma coatings based on M-rabbits and oxide ceramics with subsequent high-energy effects / Panteleenko F.I., Okovity V.A., Sidorov V.A., Okovity V.V., Devoino O.G., Volodko A.S., Astashinsky V.M., Uglov V.M. // International collection of scientific papers of the Donetsk National Technical University "Progressive technologies and systems of mechanical engineering", DonNTU - Donetsk. - 2021. №2. - P. 68-83.
10. Panteleenko, F.I. Modern application of ceramic-metal coatings based on metal-chromium-aluminum-yttrium (M-rabbit) systems / Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devoino O.G., Sidorov V.A., Okovity V.V., Volodko A.V., Astashinsky V.M. // International collection of scientific papers of the Donetsk National Technical University "Progressive technologies and systems of mechanical engineering", DonNTU - Donetsk. - 2021. No. 3. - S. 72-81.
11. Panteleenko, F.I. Formation and study of multilayer composite plasma coatings / Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devoino O.G., Okovity V.V., Astashinsky V.M., V.V. Uglov, V.I. // Bulletin of the Gomel State Technical University. № 2. 2021. S. 15-27.
12. Panteleenko, F.I. Overview of the modern application of ceramic-metal coatings / Panteleenko F.I., Okovity V.A., Sidorov V.A., Okovity V.V., Astashinsky V.M. // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. No. 3.2021. Pp. 5-17.

Сведения об авторах

Федор Иванович Пантелеенко, доктор технических наук, профессор, член-корр. НАН Б заведующий кафедрой «ПМС и ТМ», Белорусский национальный технический университет (Республика Белоруссия, г. Минск), Panteleyenkovfi@tut.by

Вячеслав Александрович Оковитый, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИИЛ СРТиНК, Белорусский Национальный Технический Университет (Республика Белоруссия, г. Минск), vasil_ok@inbox.ru

Олег Георгиевич Девойно, доктор технических наук, профессор, заведующий ОНИЛ ПиЛТ, Белорусский национальный технический университет (Республика Белоруссия, г. Минск), plazteh@bntu.by

Артем Анатольевич Литвинко, научный сотрудник НИИЛ СРТиНК, Белорусский национальный технический университет (Республика Белоруссия, г. Минск), niil_svarka@bntu.by

Василий Вячеславович Оковитый, научный сотрудник НИИЛСРТиНК, Белорусский национальный технический университет (Республика Белоруссия, г. Минск), vasil_ok@inbox.ru

Валентин Миронович Асташинский, доктор технических наук, профессор, член-корр. НАН Б, заместитель директора по научной и инновационной работе Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова, НАН Беларуси (Республика Белоруссия, г. Минск), ast@hmti.ac.by