

В. А. Марцинковский, заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор Honoris Causa, д.т.н., профессор Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина); А. В. Белоус, к.т.н., доцент, (Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы, Украина); А. Н. Жуков, главный инженер («Сумское НПО», г. Сумы, Украина)

Новые способы повышения качества торцевых импульсных уплотнений

В статье представлен ряд технических решений (способов), направленных на повышение качества торцевых импульсных уплотнений (ТИУ), которые осуществляются на этапе конструкторской и технологической подготовки производства, путем наиболее рационального выбора и сочетания материалов колец в паре трения, а также формирования на их контактирующих поверхностях специальных износостойких покрытий.

Ключевые слова: способ, торцевое импульсное уплотнение, повышение качества, металлическое кольцо, вторичное уплотнение, покрытие, электроэрозионное легирование.

У статті представлений ряд технічних рішень (способів), спрямованих на підвищення якості торцевих імпульсних ущільнень (ТИУ), які здійснюються на етапі конструкторської й технологічної підготовки виробництва, шляхом найбільш раціонального вибору й сполучення матеріалів кілець у парі тертя, а також формування на їхніх контактуючих поверхнях спеціальних зносостійких покриттів.

Ключові слова: спосіб, торцеве імпульсне ущільнення, підвищення якості, металеве кільце, вторинне ущільнення, покриття, електроерозійне легування.

The article presents a technical solutions (methods) aimed at improving the quality of the face impulse seals (FIS), which are carried out at the stage of design and technological preparation of production, by the most rational choice and combination of ring materials in the friction pair, and also formation on their contacting surfaces special wear-resistant coatings.

Key words: method, face impulse seal, quality improvement, metallic rings, secondary seal, coating, electroerosion alloying.

Введение

Создание надежных уплотнительных узлов, обеспечивающих герметичность в течение длительного времени в широком диапазоне температур и давлений, является одной из основных проблем, возникающих при проектировании машин и агрегатов.

Опыт эксплуатации динамического оборудования показывает, что две трети всех отказов роторных машин (центробежных насосов, компрессоров, турбодетандеров и др.) случается вследствие нарушения работоспособности уплотнений, которое происходит под действием давления, температуры, а так же химически активных компонентов уплотняемой рабочей среды, поэтому одним из наиболее ответственных узлов, обеспечивающих герметичность, например, компрессорного агрегата, а, следовательно, и его надежную, безопасную и безотказную работу, является узел уплотнения.

В зависимости от требований, предъявляемых к роторной машине, уплотнительные устройства должны обеспечивать полную герметизацию рабочей среды или существенно уменьшить ее утечку. При этом к уплотнениям предъявляются все более жесткие требования в отношении герметичности, долговечности, способности работать при высоких значениях технологических параметров (скорости, давлении, температуре и др.).

Торцевые импульсные уплотнения (ТИУ) позволили повысить уровень надеж-

ности и герметичности современных роторных машин. Они нашли широкое применение в высокооборотных насосах и компрессорах большого давления. Рабочие торцевые поверхности ТИУ контактируют очень непродолжительное время, только в моменты пуска и останова машины.

Кольца ТИУ (рис.1) представляют собой пару трения, выполняющую роль основного уплотнительного элемента, поэтому они изготавливаются из специальных материалов, выбираемых в зависимости от условий эксплуатации. Правильно выбранный материал колец обеспечивает надежную, безопасную и безотказную работу узла уплотнения, а, следовательно, и всего агрегата.

Непрерывное развитие и совершенствование техники сопровождается не только повышением режимных параметров машин и механизмов, но и появлением новых, более дешевых, однако не менее надежных композиционных материалов, сочетающих в себе защитные свойства покрытий с механической прочностью ос-



Рис. 1. Кольца торцевого импульсного уплотнения: а – опорное кольцо, б – аксиально-подвижное кольцо

новы.

Исследования, направленные на поиск менее дефицитных, более дешевых и надежных материалов, используемых при изготовлении ТИУ, является актуальными и своевременными.

Анализ основных достижений и публикаций

Повышение качества ТИУ, их работоспособности в значительной степени зависит от анализа конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Важнейшими из них являются свойства рабочей и окружающей сред, режимы работы, свойства материалов герметизируемого соединения и уплотнителя, допустимые пределы утечки, ресурс, срок эксплуатации, токсичность и химическая агрессивность сред [1].

Торцевые уплотнения с импульсным уравниванием аксиально подвижного элемента имеет сравнительно недавнюю историю (1974 г.) [2]. Традиционная конструктивная схема ТИУ показана на рис. 2.

На рабочей поверхности аксиально-подвижного кольца 1 расположены замкнутые камеры 2, а на по-

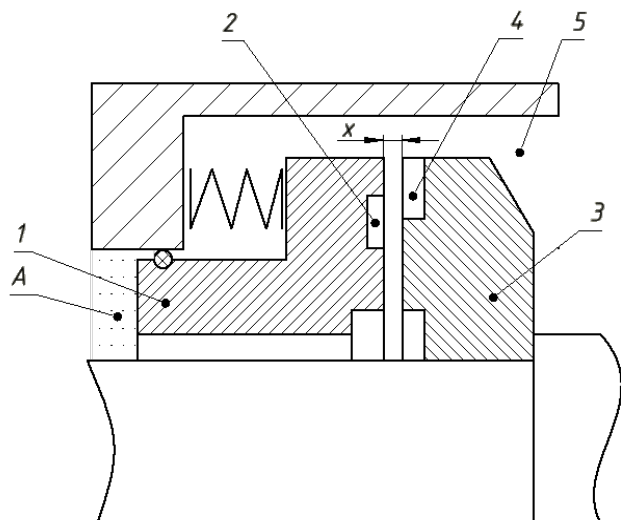


Рис. 2. Конструктивная схема торцевого импульсного уплотнения

верхности опорного диска 3 предусмотрено несколько подводящих каналов 4, которые при вращении упорного кольца последовательно соединяют камеры 2 с уплотняемой полостью А.

Принцип действия ТИУ основан на том, что при вращении ротора подводящие каналы 4 периодически сообщают камеры с полостью высокого давления 5, вследствие чего в них происходят всплески давления (импульсы), вызывающие изменение баланса осевых сил.

Силы действуют на аксиально-подвижное кольцо, вследствие чего уплотняющие поверхности торцевой пары разделяются тонким слоем рабочей среды, при этом его толщина зависит от размеров камер и питающих каналов.

ТИУ на жидкостной смазке исследованы в широком диапазоне параметров (уплотняемый перепад давлений до 16,0 МПа, скорость скольжения до 100 м/с). Благодаря своим высоким эксплуатационным качествам, они успешно работают в высокооборотных питающих насосах атомных и тепловых электростанций. В среднем их наработка между плановыми ремонтами насосов составляет не менее 8000 ч, при этом степень износа при пути 10^6 км остается в пределах 1-2 мкм, что для узлов трения характеризуется как нулевой износ. При типичных условиях работы (давление 2,0-4,0 МПа, окружная скорость 40-60 м/с) уровень утечки составляет всего 1-2 л /ч [3].

В [4] проведен анализ работы затворного импульс-

ного уплотнения. Отмечено, что применение таких уплотнений позволяет экономить энергию и ресурсы, а также повысить экологическую безопасность насосного и компрессорного оборудования.

До последнего времени считалось, что ТИУ работают только в жидких средах. Однако проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что эти уплотнения работоспособны как в жидкостях, так и в газах. Были выполнены уникальные исследования импульсных уплотнений при сверхвысоких режимных параметрах $p_v > 400$ МПа·м/с в криогенной жидкости (жидкий азот, $t = -195$ °С), которые показали, что такое уплотнение мало чувствительно к теплофизическим свойствам и температуре рабочей среды. Все это позволяет сделать вывод об универсальности ТИУ и большой практической ценности [5].

Учитывая то, что при использовании высоких и сверхвысоких давлений, экстремальных температур (от высоких до криогенных), агрессивных сред и т.п., где применение в разъемных соединениях уплотнений из неметаллических материалов ограничено или невозможно, становится целесообразным применение металлических уплотнений, для которых практически нет ограничений, кроме прочности самого материала уплотнений и термостойкости материала покрытия [6].

В [7] предложена системы направленного выбора технологии обеспечения требуемого качества поверхностного слоя колец ТУ на различных этапах их жизненного цикла. Предложена физически обоснованная математическая модель процесса износа поверхностей ТУ при трении, позволяющая по работе трения определять линейный и весовой износ поверхности, а также критерии выбора наиболее рационального метода упрочнения.

Согласно [8] выбор конструкции ТУ, в значительной степени определяется физико-химическими свойствами среды, ее агрегатным состоянием (газ, жидкость), давлением, температурой, вязкостью, содержанием взвешенных твердых частиц и солей, химической агрессивностью, воспламеняемостью (при нагреве в контакте с атмосферой), степенью опасности воздействия на людей и окружающую среду.

Следует отметить, что при выборе конструкции ТУ существенную роль играет правильный выбор материала колец уплотнения и его механических и физических характеристик. При этом определяющую роль имеет выбор не самих материалов пар трения, а их сочетание.

При выборе оптимальных пар скольжения необходимо учитывать коррозионную стойкость и износостойкость материалов, возможность теплоотвода из зоны трения, а также совместимость материалов, т. е. возможность работы без схватывания и заеданий [9].

Для каждого конкретного случая выбор наиболее подходящих материалов колец можно произвести только на основании тщательного сравнения условий их работы, исходных свойств материалов, а также изменений, какие у них происходят на поверхностях трения и т.п.

В [10] предложены некоторые правила сочетания материалов. Например, рекомендуется сочетать твердый материал с твердым (сочетание из азотированной, хромированной и закаленной сталей). Такие пары трения обладают высокой износостойкостью вследствие малого взаимного внедрения их поверхностей. Нанесение прирабочных покрытий повышает надежность пар в наиболее опасный период работы – во время приработки. Применение этих пар ограничивается скоростями скольжения. Высокая точность изготовления и сборки, значительная жесткость конструкции, тщательная приработка, улучшение условий смазывания значительно расширяют область применения пар трения из твердых материалов.

По нашему мнению, учитывая непродолжительность контакта торцов колец ТИУ, нет необходимости изготавливать их полностью из дефицитных дорогостоящих материалов, достаточно только обеспечить износостойкость рабочих поверхностей, нанеся на них износостойкое покрытие. Причем, изменяя химический состав покрытия, можно обеспечить работоспособность уплотнения с высокой коррозионной и химической активностью.

Система обеспечения требуемого качества рабочих поверхностей колец ТИУ охватывает весь их жизненный цикл, включающий в себя подготовку производства, производство, эксплуатацию, ремонт и др.

Следовательно, качество ТИУ, в зависимости от требований эксплуатации, можно повысить на этапе конструкторской и технологической подготовки производства.

Таким образом, **целью работы** является повышение качества ТИУ на этапе конструкторской подготовки производства, путем наиболее рационального выбора и сочетания материалов колец в паре трения и технологической подготовки, за счет формирования рабочих поверхностей колец, нанесением на них износостойких покрытий.

Изложение основного материала исследований

В [11, 12] предложен новый узел ТИУ, работающий в криогенных средах. Изобретение относится к области машиностроения, в частности к уплотнительной технике, а именно, к узлам ТИУ, и может быть использовано для уплотнения вращающихся валов насосов, турбин и компрессоров, работающих в криогенных средах.

Как правило, узлы ТИУ содержат установленное в корпусе аксиально-подвижное металлическое кольцо, которое снабжено вторичным уплотнением, герметизирующим полости с различными значениями давления.

В качестве вторичных уплотнений в этих конструкциях применяются, например, резиновые кольца или металлические сальники. Сальфонные уплотнители [см. например, патент Великобритании 1232082 НКИ F 2 В] обладают рядом недостатков, которые делают невозможным использование их в уплотнениях, разделяющих полости с большим перепадом давления. Резиновые уплотнители не могут быть применены в криогенных средах [см. например, авт. свид. СССР 101660, F 16 J 15/34, 1983 г.].

В [13] описан узел ТИУ для роторных машин, перекачивающих криогенные среды, способный надежно работать в криогенных средах высокого давления при больших скоростях вращения и на нестационарных режимах с малыми протечками от 0,1 до 0,7 л/с, в зависимости от геометрических размеров торцевой пары.

Известный узел ТИУ включает установленное в корпусе аксиально-подвижное подпружиненное металлическое кольцо, снабженное вторичным уплотнением. При этом вторичное уплотнение выполнено за одно целое с аксиально-подвижным кольцом, расположено с его тыльной стороны и представляет собой профилированный конический ус с торцевой контактной поверхностью, имеющей покрытие из мягкого материала. Упругий профилированный конический ус выполнен в виде тонкостенной оболочки с утолщением в месте соединения с аксиально-подвижным металлическим кольцом. При сборке уплотнительного узла торцевая поверхность уса с натягом (от 0,02 до 0,07

мм) устанавливается на втулку. Учитывая то, что вторичное уплотнение аксиально подвижного кольца, изготовлено за одно целое с кольцом, то в месте контакта поверхность вторичного уплотнения и поверхность уплотнительной втулки, взаимно перемещаясь, подвергаются фреттинг-коррозии.

Если исходить из того, что взаимное перемещение поверхностей не может быть исключено, вследствие упругости материала, то для борьбы с фреттинг-коррозией следует: а) уменьшить микроперемещения; б) снизить силы трения; в) сосредоточить скольжение в промежуточной среде. В нашем случае микроперемещения при нормальной работе уплотнения стабильны и достигают 0,004 мм. Однако если при увеличении контактного давления амплитуда смещения остается постоянной, то повреждения усиливаются [10].

Следовательно, существует задача обеспечения надежности и герметичности соединения торцевой уплотнительной поверхности вторичного уплотнения в месте контакта с уплотнительной поверхностью втулки.

Поставленная техническая задача решается созданием узла ТИУ, в котором, в соответствии с предлагаемым техническим решением, поверхность вторичного уплотнения (уса) контактирует с поверхностью втулки из фторопласта Ф-4 (ГОСТ 10007-80), неподвижно установленной на уплотнительную втулку. Выбор материала установленной втулки обусловлен рядом требований к уплотнительному узлу: большой химической стойкостью к агрессивным средам (чистыми концентрированными кислотами, щелочами, сильными окислителями, восстановителями и растворителями), высокой термостойкостью, биологической инертностью и низкими адгезионными свойствами. Материал Ф-4 не взрывоопасен и не горюч, работоспособен в широком интервале температур (от -269 до $+260$ °С), обладает высокими гидрофобными и диэлектрическими свойствами.

При этом вторичное уплотнение изготовлено из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2, а его поверхность, контактирующая с кольцом из фторопласта Ф-4, имеет покрытие из меди или никеля для сплава ХН58МБЮД и меди, обработанной графитовым электродом, для бериллиевой бронзы. При этом значительно улучшаются трибологические свойства пары трения, что гарантирует надежность и герметичность соединения торцевой уплотнительной поверхности вторичного уплотнения в месте контакта с уплотнительной поверхностью втулки, а значит, и надежность работы всего уплотнительного узла.

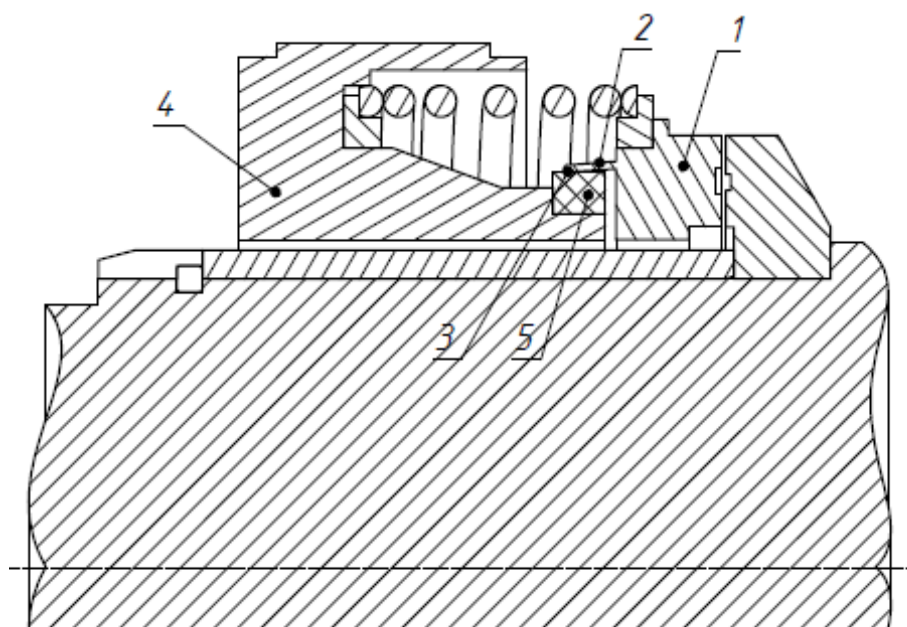


Рис. 3. Новая конструкция торцевого импульсного уплотнения

На рис. 3 представлена схема новой конструкции ТИУ. Аксиально-подвижное подпружиненное металлическое кольцо 1, снабженное вторичным уплотнением 2, расположено с его тыльной стороны и представляет собой профилированный конический ус с торцевой контактной поверхностью, причем, упругий профилированный конический ус вторичного уплотнения 2 выполнен в виде тонкостенной оболочки из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2, а контактная поверхность 3 уса имеет покрытие из мягкого материала, например, из меди или никеля для сплава ХН58МБЮД и меди или обработанной графитом для бериллиевой бронзы, при этом на уплотнительной втулке 4 неподвижно закреплена втулка 5 из фторопласта марки Ф-4.

В процессе работы уплотнительная контактная поверхность 3 вторичного уплотнения 2, изготовленного из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2, контактирует с уплотнительной поверхностью втулки 5 из фторопласта Ф-4, что значительно улучшит трибологические свойства пары трения.

Несмотря на то, что фторопласт Ф-4 обладает рядом положительных свойств, отмеченных выше, он имеет и ряд недостатков: низкая радиационная стойкость; недостаточные твердость и стойкость к истиранию; токсичность при нагреве до высоких температур; хладотекучесть – пластическая (необратимая) деформация материала даже при комнатной температуре под действием собственного веса и небольших напряжений. С повышением температуры деформация увеличивается; сложность изготовления высокоточных деталей [14]. Следовательно, существует задача обеспечения надежности и герметичности соединения торцевой уплотнительной поверхности вторичного уплотнения в месте контакта с уплотнительной поверхностью кольца из фторопласта Ф-4.

Поставленная техническая задача решается созданием узла импульсного торцевого уплотнения для роторных машин, перекачивающих криогенные среды, в котором между вторичным уплотнением и уплотнительной втулкой расположена втулка из бериллиевой бронзы БрБ2 или никелевого сплава ХН58МБЮД, если вторичное уплотнение изготовлено, соответственно, из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2. При этом втулка из бериллиевой бронзы БрБ2 или сплава ХН58МБЮД, представляет собой кольцо, неподвижно закрепленное на уплотнительной втулке.

Следует отметить, что коэффициент трения бронзы по стали без смазки составляет 0,1. В процессе работы уплотнительная контактная поверхность вторичного уплотнения, изготовленного из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2, контактирует с уплотнительной поверхностью втулки из, соответственно, бериллиевой бронзы БрБ2 или сплава ХН58МБЮД, что значительно улучшит механические и трибологические свойства пары трения, а следовательно, повысит надежность и долговечность уплотнительного узла в целом.

Поставленную выше техническую задачу можно решить и другим способом – созданием узла ТИУ для машин, перекачивающих криогенные среды, но в котором, в соответствии с заявляемым техническим решением, аксиально-подвижному кольцу с вторичным уплотнением из бериллиевой бронзы БрБ2 соответствует опорное металлическое кольцо и уплотнительная втулка из сплава ХН58МБЮД или аксиально-подвижному кольцу с вторичным уплотнением из никелевого сплава

ХН58МБЮД соответствует опорное металлическое кольцо и уплотнительная втулка из бериллиевой бронзы БрБ2, а мягким антифрикционным покрытием на контактирующих уплотняющих поверхностях аксиально-подвижного кольца, вторичного уплотнения, опорного кольца и уплотняющей втулки из никелевого сплава ХН58МБЮД является покрытие из индия. То есть, узел содержит аксиально-подвижное кольцо и вторичное уплотнение, выполненные из одного и того же материала. При этом данный узел содержит опорное кольцо и уплотнительную втулку, которые, в свою очередь, также выполнены из одного и того же материала. В данном случае, как и в предыдущем, коэффициент трения бронзы по стали без смазки составляет 0,1.

В [15] показано положительное влияние покрытий из антифрикционного металла – индия на снижение фреттинг-износа контактирующих поверхностей деталей. Индий – мягкий, гибкий и пластичный металл, сохраняющий свои свойства при криогенных температурах и, таким образом, является наиболее перспективным материалом покрытия для снижения фреттинг-износа и улучшения герметичности соединения в ТИУ.

На рис. 4 схематически представлена конструкция заявляемого узла импульсного торцевого уплотнения для турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей.

Узел включает в себя аксиально-подвижное упругое кольцо 1 с вторичным уплотнением 2 и уплотнительную втулку 3. Вторичное уплотнение 2 расположено с тыльной стороны аксиально-подвижного кольца 1 и является профилированным коническим усом с торцевой контактирующей уплотняющей поверхностью 4. Кроме того, узел включает опорное кольцо 5, жестко закрепленное на валу. Причем, если аксиально-подвижное кольцо и упругий профилированный конический ус вторичного уплотнения 2 выполнены в виде тонкостенной оболочки из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2, то уплотнительная втулка 3 и опорное кольцо 5, соответственно, выполнены из бериллиевой бронзы БрБ2 или сплава ХН58МБЮД. Контактующие уплотняющие поверхности указанных элементов узла из сплава ХН58МБЮД покрыты индием. При этом покрытие из индия предварительно нанесено на контактирующие уплотняющие поверхности аксиально-подвижного кольца 1 и вторичного уплотнения 2 путем погружения в расплав индия, а на соответствующие поверхности уплотнительной втулки 3 и опорного кольца 5 – методом электроэрозионного легирования при энергии разряда $W_p = 0,01-0,02$ Дж.

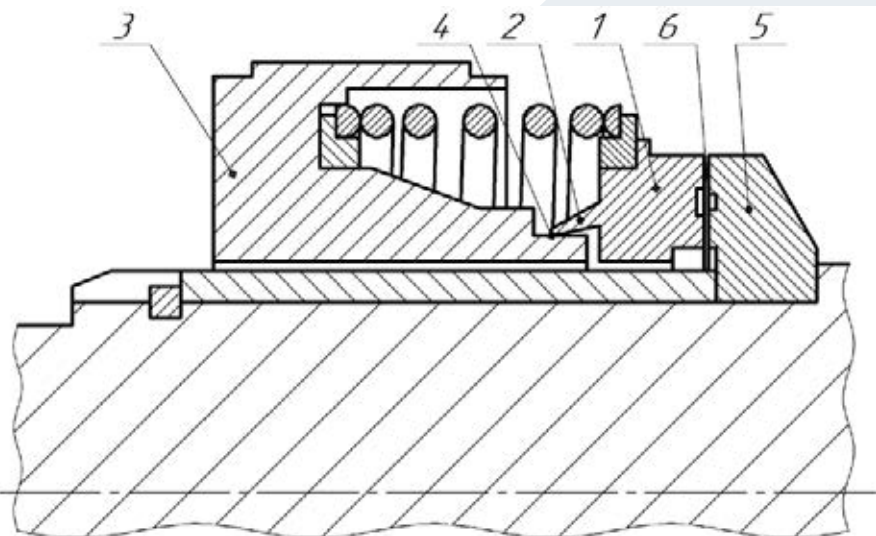


Рис. 4. Конструкция узла импульсного торцевого уплотнения для турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей

В процессе работы уплотняющая поверхность 4 вторичного уплотнения 2, изготовленного из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2, контактирует с уплотняющей поверхностью втулки 3, изготовленной, соответственно, из бериллиевой бронзы БрБ2 или сплава ХН58МБЮД, а торцевая уплотняющая поверхность опорного кольца 5, изготовленного из бериллиевой бронзы БрБ2 или сплава ХН58МБЮД, контактирует с примыкающей к ней уплотняющей поверхностью аксиально-подвижного кольца 1, соответственно, изготовленного из сплава ХН58МБЮД или из бериллиевой бронзы БрБ2, то есть в обоих случаях контактируют разноименные материалы, что значительно улучшает механические и трибологические свойства пары трения, и таким образом повышает надежность и долговечность узла уплотнения в целом. На контактирующие уплотняющие поверхности аксиально-подвижного кольца 1 и вторичного уплотнения 2, изготовленных из сплава ХН58МБЮД, индий предварительно наносят погружением в его расплав, а на контактирующие уплотняющие поверхности втулки 3, и опорного кольца 5, изготовленных из сплава ХН58МБЮД, индий наносят методом электроэрозионного легирования при энергии разряда $W_p=0,01-0,02$ Дж.

Выводы:

1. В результате проведенных исследований получен ряд технических решений (способов), направленных на повышение качества торцевых импульсных уплотнений (ТИУ), которые осуществляются на этапе конструкторской и технологической подготовки производства, путем наиболее рационального выбора и сочетания материалов колец в паре трения, а также формирования на их контактирующих поверхностях специальных износостойких покрытий.

2. С целью снижения фреттинг-коррозии, в процессе работы ТИУ, уплотнительная контактная поверхность вторичного уплотнения, имеющая покрытие из меди или никеля для сплава ХН58МБЮД и меди, обработанной графитовым электродом, для бериллиевой бронзы БрБ2, контактирует с уплотнительной поверхностью втулки из фторопласта Ф-4, неподвижно установленной на уплотнительную втулку. При этом значительно улучшаются трибологические свойства пары трения, что гарантирует надежность и герметичность соединения, а значит, и надежность работы всего уплотнительного узла.

3. С целью обеспечения надежности и герметичности соединения:

– между вторичным уплотнением и уплотнительной втулкой вместо втулки из фторопласта Ф-4 устанавливается втулка из бериллиевой бронзы БрБ2 или никелевого сплава ХН58МБЮД, если вторичное уплотнение изготовлено, соответственно, из сплава ХН58МБЮД или бериллиевой бронзы БрБ2;

– при контакте поверхности вторичного уплотнения и втулки, а также торцевых поверхностей опорного кольца и аксиально-подвижного кольца используются разноименные материалы, из сплавов ХН58МБЮД и БрБ2,

– на контактирующие уплотняющие поверхности аксиально-подвижного кольца и вторичного уплотнения, изготовленных из сплава ХН58МБЮД, индий предварительно наносят погружением в его расплав, а на контактирующие уплотняющие поверхности втулки, и опорного кольца, изготовленных из сплава ХН58МБЮД, индий наносят методом электроэрозионного легирования при энергии разряда $W_p=0,01-0,02$ Дж.

Литература:

1. Марцинковский В.А. Динамика роторов центробежных машин: монография / В.А. Марцинковский. – Сумы: Сумский государственный университет, 2012.- 563 с.

2. Торцовое уплотнение с регулируемой утечкой: А.с. 446635 F 16 J 15/34 СССР, /К.В. Лисицын, В. А. Марцинковский, Н.В. Перидерий. Оpubл. 22.06.74, Бюл. № 7.- 2 с.

3. Москаленко В. В., Лисицын К. В., Марцинковский В. А. Характеристики и опыт эксплуатации импульсных торцевых уплотнений // Труды 6-й техн. конф. «Уплотнения и вибрационная надежность центробежных машин». Сумы.- 1991.- С. 41.

4. Martsynkovskyy V., Zahorulko A., Gudkov S., Mischenko S. Analysis of buffer impulse seal // Procedia Engineering, Volume 39, 2012, pp. 43-50.DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.006.

5. Громыко Б. М., Колпаков А. В., Чернов А. Е. Опыт разработки импульсных торцевых уплотнений для быстроходных турбонасосов // Труды 9-й Междунар. конф. «Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования».- Т.1.- Сумы.-1999.- С. 151-159.

6. Громыко Б.М., Матвеев Е.М., Постников И.Д., Митюков Ю.В., Михалев И.А., Сорokin В.А., Петренко Р.И. Опыт разработки и эксплуатации металлических уплотняющих элементов для работы в широком диапазоне тем-ператур и давлений / Там же С. 38-51.

7. Жуков А.Н. Направленный выбор технологии и установление критериев оценки наиболее рационального метода упрочнения колец торцевых уплотнений / А.Н. Жуков // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- №1(47).- 2017.- С. 15-20.

8. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова.- М: Машиностроение, 1986.- 464 с.

9. Захаров Б.С., Захаров И.Б. Уплотнения нефтяных центробежных и поршневых насосов.- М: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2011.- 204 с.

10. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) /Д.Н. Гаркунов. – М.: «Издательство МСХА» , 2001. – 616с.

11. Тарельник В.Б. Узел торцевого импульсного уплотнения / Пат. 170279. Российская Федерация. МПК F161 15/34 // В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, А.В. Белоус, А.Н. Жуков, Чеслав Кундера.- Оpubл. 19.04.2017.- Бюл.№ 11.-3с.

12. Тарельник В.Б. Узел торцевого импульсного уплотнения / Патент на корисну модель № 114075. Україна.- МПК F161 15/34 // В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, А.В. Білоус, О.М. Жуков, Чеслав Кундера.- Оpubл. 27.02.2017.- Бюл. № 4.- 3с.

13. Патент Российской Федерации на изобретение № 2187727 С2. 7 F 16 J 15/34. Торцовое импульсное уплотнение. /Громыко Б.М., Каторгин Б.И., Кириллов В.В., Колпаков А.В., Марцинковский В.А., Матвеев Е.М, Постников И.Д., Чернов А.Е., Степанова М.А./ Оpubл. 20.08. 2002, Бюл. № 23.- с.

14. К. Джурицкий. Отечественные КМПП с предельной частотой 18 ГГц. Материалы, конструкции, технологии электроника №2.- 2014.- С.162-170.

15. Тарельник В.Б. Повышение надежности и долговечности металлических импульсных торцевых уплотнений. Часть 3 / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, А.Н. Жуков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - №6/2017.- С. 23-26.



ОРЕЛКОМПРЕССОРМАШ

Стационарные и передвижные,
винтовые и поршневые
компрессорные станции и установки

ПРОИЗВОДСТВО, ИНЖИНИРИНГ, СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

РОССИЯ, 302020
г. Орел, ул. Цветаева, 1-6
тел./факс: (4862) 421157,
(4862) 421158
info@orelkompresormash.ru



... ударная волна
ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ