

Б.Т. ГРЯЗНОВ, А.Н. ЗИНКИН,
М.В. МАМОНОВА, В.В. ПРУДНИКОВ,
В.П. СТАСЕНКО

ОАО "Сибкриотехника" (Омск)
Омский государственный университет

Перспективные технологические методы повышения ресурса машин микрокриогенной техники

The papers considers the problems of improving wear resistance and reliability of the combined friction joints comprising different types of friction pairs operating in a dry friction condition.

Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых машин, связанные с необходимостью повышения долговечности и надежности, в значительной степени определяются эксплуатационными характеристиками их деталей, составляющих множество пар трения. Требуемые характеристики деталей пар трения достигаются различными технологическими методами, в том числе нанесением на детали износостойких и антифрикционных покрытий. При выборе метода воздействия на характеристики приходится вести детальный учет факторов, определяющих взаимодействие разнородных материалов и влияющих непосредственно на модуль силы трения.

В криогенной технике широко применяются комбинированные сборочные единицы, содержащие различные виды фрикционных пар (металл—металл, металл—износостойкий материал, металл—самосмазывающийся материал), работающие в условиях сухого трения. Повышение износостойкости этих сборочных единиц ограничивается рядом условий, таких, как невозможность применения каких-либо смазочных сред, в том числе газовых, в связи с работой сборочных единиц в условиях высокого вакуума и низких температур, а также жесткими ограничениями по виду применяемых материалов.

Одно из основных направлений повышения износостойкости и надежности несмазываемых пар трения — разработка методов повышения их триботехнических свойств путем нанесения многослойных комбинированных покрытий на поверхности деталей с использованием методов КИБ (конденсация с ионной бомбардировкой), магнетронного распыления и ионной имплантации в одновакуумном цикле. Эффективность применения данных методов во многом определяется правильным выбором материалов с оптимальными триботехническими свойствами. При выборе материала для антифрикционного покрытия приходится решать противоречивую за-

дачу — покрытие должно иметь максимальную адгезию к подложке и минимальную к материалу, работающему в паре трения с этим покрытием. Для решения такой задачи можно применять следующие методы:

- напыление многослойных покрытий, последовательность которых обеспечивает постепенный переход от покрытия, обладающего хорошими адгезионными свойствами по отношению к подложке, к покрытию с хорошими антифрикционными свойствами;
- модифицирование поверхности подложки путем ионной имплантации атомов металла, родственного антифрикционному покрытию;
- использование самосмазывающихся материалов, играющих роль твердой смазки.

При выборе материалов и метода создания антифрикционного покрытия мы опирались на разработанные в [1–3] методы определения энергии и силы адгезионного взаимодействия различных материалов, адгезионной составляющей коэффициента сухого трения и результаты расчета адгезионных и триботехнических характеристик контакта стальных поверхностей с широким рядом износостойких покрытий и самосмазывающихся материалов. На основе разработанных методов была создана и апробирована инженерная методика расчета комплекса триботехнических и адгезионных характеристик для сплавов и соединений, широко используемых в микрокриогенной технике, криогенном и компрессорном машиностроении. Применение методики позволило на стадии технологической проработки изделий выбирать материалы деталей и покрытий с оптимальными адгезионными и триботехническими характеристиками, обеспечивающими высокую износостойкость и работоспособность пар

трения. На основе расчетов были даны следующие рекомендации:

- в качестве оптимального антифрикционного и износостойкого материала в сборочных единицах сухого трения в паре со сталью рекомендуется нитрид молибдена Mo_2N ;
- для дальнейшего снижения коэффициента трения и уменьшения изнашивания деталей в период приработки рекомендуется применять твердые смазочные материалы на основе дисульфида молибдена MoS_2 , который при высоких триботехнических свойствах химически неактивен по отношению к нитриду молибдена;
- для повышения адгезии нитрида молибдена к стали необходимо выделить материал для промежуточного слоя с хорошими адгезионными свойствами к стали и нитриду молибдена. Этому критерию из широкого ряда материалов, для которых были проведены расчеты, удовлетворяют только переходные металлы. Лучшим с этой точки зрения является молибден. Для повышения адгезионной связи молибдена со сталью рекомендуется модифицирование стальной поверхности путем имплантации ионов молибдена.

Для проверки теории провели в условиях сухого трения триботехнические испытания по определению коэффициента трения пар на основе стали 95X18 и материалов с покрытиями из TiN , Cr_2N , Mo_2N и многослойными покрытиями $\text{Mo} - \text{Mo}_2\text{N} - \text{MoS}_2$. Однослойные покрытия из нитридов титана, хрома и молибдена были получены методом КИБ на установке ННВ-6.6И1, а покрытия $\text{Mo} - \text{Mo}_2\text{N} - \text{MoS}_2$ — на специально созданной вакуумной установке модульной конструкции для нанесения многослойных комбинированных ионно-вакуумных покрытий.

Как показал анализ результатов испы-

таний в стабильном режиме при одинаковых условиях (скорости скольжения и нагрузке), наименьшие коэффициенты трения по стали 95X18 имеют многослойное покрытие $\text{Mo}-\text{Mo}_2\text{N}-\text{MoS}_2$ и покрытие из нитрида молибдена, а затем идут покрытия из нитрида хрома и нитрида титана.

Данные выводы полностью соответствуют результатам теоретических расчетов коэффициента трения для перечисленных покрытий в паре со сталью. Высокие триботехнические свойства многослойного покрытия и покрытия из нитрида молибдена проявились также в том, что они выдерживают более высокие нагрузки до наступления режимов микросхватываний и заедания.

С целью реализации рекомендаций по оптимальному выбору материалов и покрытий для комбинированных сборочных единиц, содержащих пары трения, и использования технологии нанесения многослойных покрытий в условиях серийного производства в ОАО «Сибкриотехника» спроектировали и изготовили специальную вакуумную камеру модульной конструкции. Модульный принцип, положенный в основу конструкции, позволил провести несколько видов обработки поверхностей деталей,

в том числе нанесение многослойных ионно-плазменных покрытий с применением КИБ, магнетронного распыления и ионной имплантации в едином вакуумном цикле. Получаемые при этом покрытия характеризуются отличной адгезией с деталью, равномерностью по толщине вдоль обрабатываемой поверхности, высокой износостойкостью, хорошей прирабатываемостью и улучшенными антифрикционными свойствами. Использование данной установки для модификации поверхностей трения в комбинированной сборочной единице трения изделия «сублиматор» позволило увеличить ресурс изделия в 1,5 раза.

Таким образом, развитие технологических методов, совмещающих несколько операций ионно-плазменной обработки поверхностей, при оптимальном выборе материалов на основе разработанных методов позволяет получать поверхности трения с заданными свойствами. Это увеличивает ресурс работы пар трения и машин в целом.

Созданные в ОАО «Сибкриотехника» технология модификации поверхностей трения путем нанесения многослойных покрытий и установка для их нанесения, обеспечивающие существенное улучшение триботехнических характеристик

пар трения, успешно используются на предприятиях микрокриогенного, криогенного и компрессорного машиностроения, а также на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Организация серийного производства установок для нанесения многослойных покрытий и их применение на предприятиях машиностроения позволят значительно увеличить ресурс и надежность машин и механизмов.

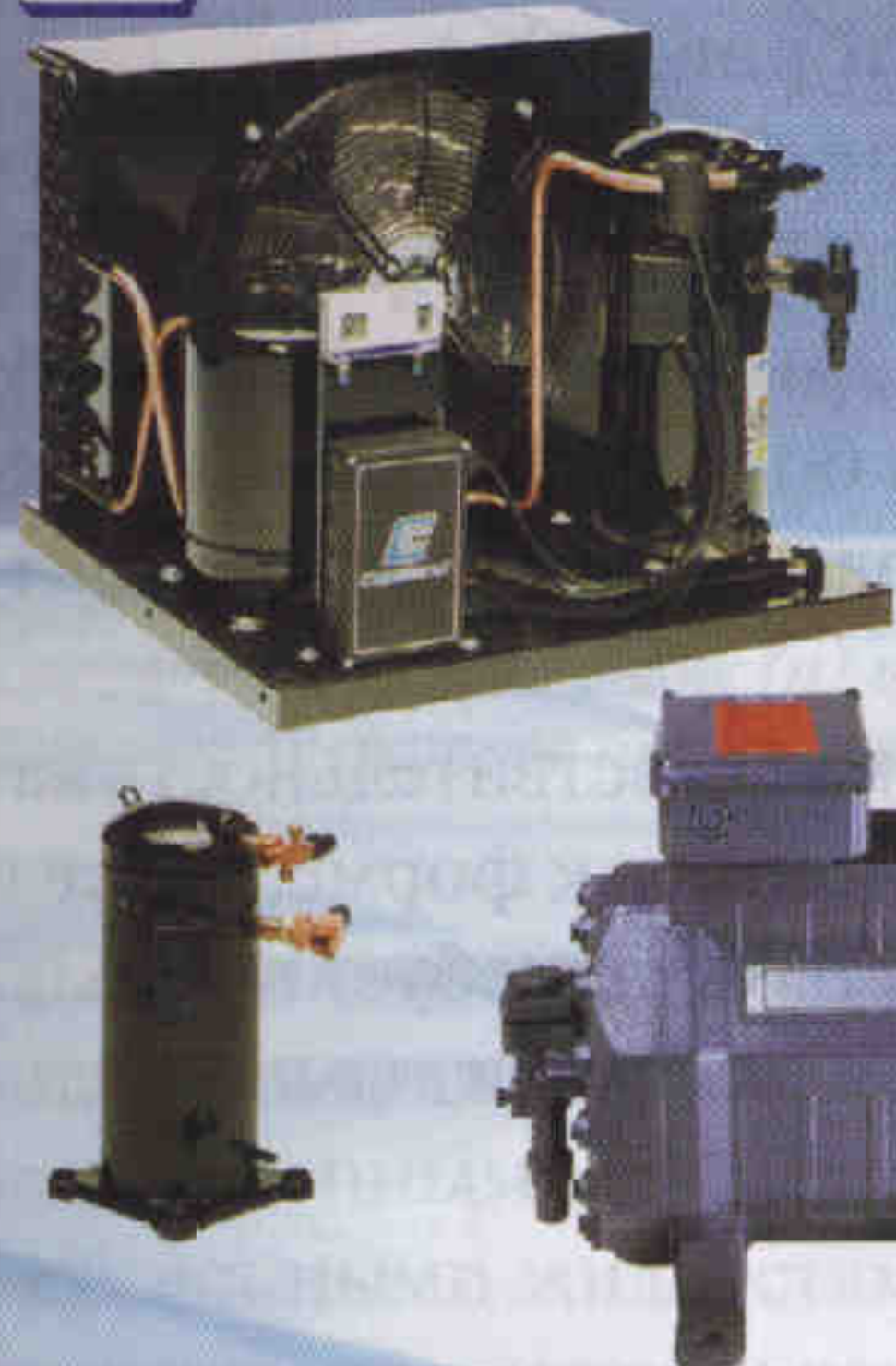
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязнов Б.Т., Зинкин А.Н., Прудников В.В. Стасенко В.П. Технологические методы повышения долговечности машин микрокриогенной техники. — Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999.

2. Грязнов Б.Т., Зинкин А.Н., Стасенко В.П., Вакилов А.Н., Прудников В.В., Прудникова И.А. Разработка методов повышения триботехнических характеристик несмазываемых узлов трения // Трение и износ, 1998. Т. 19. № 4.

3. Грязнов Б.Т., Зинкин А.Н., Стасенко В.П., Вакилов А.Н., Прудников В.В., Мамонтова М.В. Методы определения и повышения адгезионной прочности износостойких покрытий // Трение и износ. 1998. Т. 19. № 4.

Copeland



АГРЕГАТЫ И КОМПРЕССОРЫ



ВОДООХЛАЖДАЮЩИЕ УСТАНОВКИ



ХОЛОДИЛЬНЫЕ КАМЕРЫ

ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Проектирование, строительство
Реконструкция холодильных объектов
Монтаж, пуско-наладка, гарантия
Сервисное обслуживание
Комплектующие, запчасти



АГРО-3

т/ф: (095) 742-49-79, 721-20-77
Москва, ул. Б Черкизовская, 26-а

Приглашаем региональных дилеров



ХОЛОДИЛЬНАЯ АВТОМАТИКА



PRIMETAL



ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



ЛЬДОГЕНЕРАТОРЫ