

УДК 620.178.16

К.А. Ржесик, канд. техн. наук., доцент, **Д. К. Кулешов**, канд. техн. наук,
М. В. Дёмин, канд. техн. наук, **М. А. Пундик**, ст. преподаватель
ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и
торговли имени Михаила Туган-Барановского» г. Донецк,
Тел./Факс: +38 (062) 3042782, E-mail: kuleschov_denis@mail.ru

ИСПЫТАНИЯ ПОКРЫТИЙ ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель статьи заключается в освещении результатов исследования покрытий восстановленных коленчатых валов компрессоров ФВ-6 на износостойкость в лабораторных условиях. Полученные данные свидетельствуют о том, что продолжительность прирабатывания покрытий далеко не одинакова; это объясняется различием их структур, твердости и чистоты поверхности. Хорошо прирабатываются покрытия, выполненные методами электролитического хромирования.

Ключевые слова: абразивный износ, пара трения, герметичный компрессор, режим смазки, момент трения.

K. A. Rzhesik, D. K. Kulieshov, M. V. Domin, M. A. Pundik

TEST COATINGS OF THE RESTORED CRANKSHAFTS FOR WEAR-RESISTANCE UNDER LABORATORY CONDITIONS

The purpose of the article is to cover the results of the investigation of the coatings of the reduced crankshaft compressors FV-6 for wear resistance in laboratory conditions. The obtained data indicate that the duration of the attrition of coatings is far from the same; This is due to the difference in their structures, hardness and surface cleanliness. Coatings made by electrolytic chrome plating are well adhered to.

Keywords: abrasive wear, friction pair, hermetic compressor, the lubrication mode, friction torque.

1. Введение

Холодильные агрегаты, предназначенные для охлаждения самого разнообразного торгового оборудования: холодильных шкафов, прилавков, витрин, водоохладителей торговых автоматов, оснащаются герметичными компрессорами. Герметичный компрессор, вместе с электродвигателем что приводит его в действие находится в стальном штампованном герметично закрытом кожухе, является наиболее совершенной конструкцией компрессора для малой холодильной машины.

Анализ статистических данных о надежности герметичных поршневых компрессоров [4,5] указывает, что в общем числе отказов существенная доля связана с парами трения механизма компрессора.

Обзор исследований, проведенных по данному вопросу, позволил установить, что на характер износа деталей герметичных поршневых компрессоров влияют в основном масло-хладоновая среда, конструктивно-технологические и эксплуатационные факторы.

Методикой проведения испытаний предусматривались параллельные исследования износостойкости покрытий восстановленных коленчатых валов в лабораторных и производственных условиях. Необходимость одновременного выполнения этих этапов обусловлена длительностью производственных испытаний и ограниченностью сроков выполнения данной работы.

2. Основное содержание и результаты работы

При разработке методики и обосновании режимов проведения лабораторных испытаний покрытий восстановленных шеек коленчатых валов компрессоров ФВ-6 учитывались параметры этих компрессоров и технические требования к режимам их работы.

В связи с поставленной задачей сравнения износостойкости различных покрытий восстановленных шеек коленчатых валов хладоновых компрессоров, при разработке методики исследований и обосновании режимов проведения испытаний учитывалось:

- необходимость проведения испытаний образцов на износ в условиях наиболее близких к реальным условиям работы коленчатых валов хладоновых компрессоров;
- проведение исследований в достаточно широком диапазоне удельных давлений на поверхности трения образцов;
- проведение опытов при постоянной скорости вращения, соответствующей скорости вращения коленчатых валов сальниковых хладоновых компрессоров;
- возможность создания масло-хладоновой среды для изучения его влияния на процессы износа покрытий восстановленных валов;
- возможность непосредственного измерения силы трения для установления периода приработки образцов и вычисления с достаточной точностью усилия трения;
- возможность определения температуры на поверхности трения.

Условия работы пар трения скольжения компрессоров холодильных агрегатов определяются наличием масло-хладоновой среды в зоне трения, величиной удельных давлений и значением скорости скольжения трущихся деталей. Все эти условия были учтены при проектировании машины для испытаний на износ. Принципиальная схема стенда для исследования трения и износа материалов в газовых средах изображена на рис. 1. Перед проведением испытаний на износ в среде холодильных агентов из герметичной камеры испытательной машины (2) компрессором 2ФВ-4/4,5 (7) откачивается воздух для создания в системе максимально достижимого вакуума (не менее 5,3 кПа остаточного давления).

После вакуумирования холодильный агент из баллона (5) через редуктор (4), который позволяет поддерживать заданное давление, поступает в герметичную камеру машины.

Масло на образцы подается с помощью шестеренчатого насоса (10). Забор масла в насос происходит через канал в нижней части камеры машины. Для регулирования температуры масла, подаваемого в зону трения, установлен теплообменник (11), в котором за счет теплообмена с подаваемой нагретой или холодной водой соответственно изменяется температура масла.

Измерение температуры масла и усредненных температур на поверхности трения неподвижных образцов осуществляется с помощью хромель-копелевых термопар, введенных в специальные отверстия в образцах. Запись температур масла и усредненных температур на поверхности трения образцов в течение всего периода испытаний осуществляется на диаграммной бумаге автоматическим самопишущим потенциометром ПС1-01.

Измерения момента трения проводится пружинным динамометром, который превращает силы трения в деформацию тензобалки, изготовленной из стали 50ХГА и термообработанной до твердости 60HRC. На балку сверху и снизу наклеены два проводочных тензодатчика типа ПКБ-10-200. Оба датчика работают и включаются в различные ветви полумоста. Поскольку датчики наклеены на участки поверхности балки,

которые испытывают одинаковые по величине, но противоположные по направлению деформации, то такая схема включения датчиков позволяет получить удвоенный по величине выходной сигнал. Сигнал от датчиков поступает на тензометрический усилитель типа 8АНЧ-7М. Выходной сигнал от усилителя регистрируется автоматическим самопишущим потенциометром ПС1-01.

Выбор образцов для проведения исследования износостойкости покрытий восстановленных шеек коленчатых валов хладоновых компрессоров, как и всей методики эксперимента, обусловлен стремлением приблизить его к реальным условиям. Поэтому образцы изготавливались из стали марки 45 с нанесением покрытий в соответствии с программой исследований.

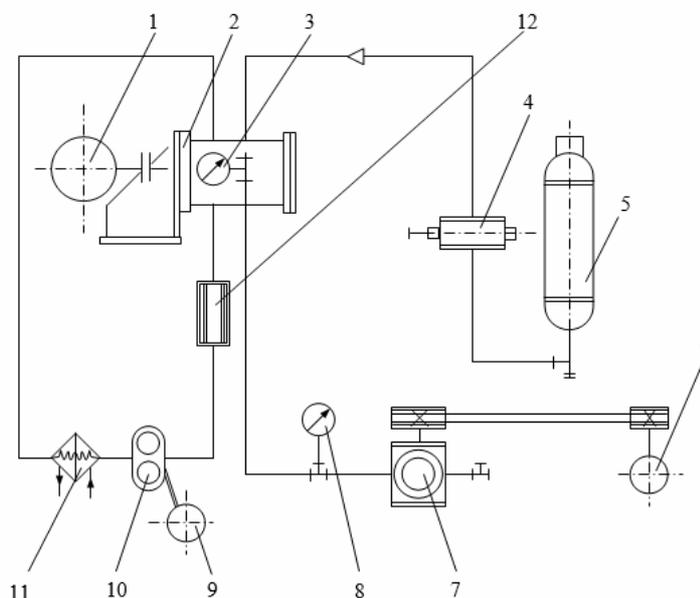


Рисунок 1. Принципиальная схема стенда для исследования трения и износа материалов в газовых средах: 1 - электродвигатель испытательной машины; 2 - испытательная машина; 3 - манометр; 4 - редуктор; 5 – баллон с хладоном; 6 - электродвигатель компрессора; 7 - компрессор; 8 - мановакууметры; 9 - электродвигатель насоса; 10 - насос; 11 - теплообменник; 12 - маслосорник

Контртело выполнено из стали с заливкой баббитом Б16. Химический состав баббита в % представлен в таблица 1

Таблица 1. Химические свойства баббита в %

Олово	Сурьма	Медь	Всего примесей не более
15-17	15-17	1, 5-2,0	0,60

Размеры контртела выбирались из соображений равномерного распределения давления на его внутренней поверхности, при этом отклонение не должно было превышать 5% от максимума.

Каждая пара подбиралась индивидуально с целью уменьшить продолжительность периода приработки образцов при проведении опыта. После выполнения всех работ по подготовке образцов они маркировались.

Характеристики компрессоров ФВ-6 свидетельствуют о том, что самая синхронная скорость вращения валов этих компрессоров составляет 25 с^{-1} .

С целью максимального приближения условий лабораторных испытаний к производственным в качестве привода лабораторного стенда был применен многоскоростной электродвигатель типа Т42/8-4-2, который позволяет получить синхронную скорость рабочего вала стенда 1500 об/мин за счет соответствующих переключений обмоток статора.

Для получения сопоставимого износа в лабораторных условиях и ускорения процесса испытаний исследования проводились в диапазоне удельных давлений на образцы от 1 до 4 МПа. Испытания в этом диапазоне удельных давлений позволяют достаточно точно оценить противоизносные свойства покрытий восстановленных шеек валов хладоновых компрессоров.

С целью определения продолжительности испытания образцов с различными видами покрытий на износ были проведены пробные испытания в течение 8, 10, 16 и 24 часов наработки в среде воздуха и в хладоновой среде. Большой износ, соответствующий периоду приработки поверхностей трения, наблюдался в течение первых двух часов работы. Было установлено, что отношение величин износов в течении периода работы образцов любой продолжительности для каждого заданного удельного давления на образцы, способа восстановления, конкретного газовой среды и условий смазки сохраняется постоянным. В этой связи наиболее оптимальным был признан десятичасовой режим испытания.

При выборе метода измерения величины износа образцов была использована классификация методов (таблица 2) определения износа деталей, предложенная Н.Н. Хрущевым.

Таблица 2. Классификация основных методов определения износа деталей

Наименование метода	Принцип метода определения износа	Средства для определения износа	Результат определения
Интегральный по служебному свойству	Износ оценивается по изменению служебного свойства детали	В зависимости от служебного свойства принятого критерия оценки износа	Выражение в показателях снижения служебн. свойства
Интегральный по поверхности трения	взвешивание	точные весы	Суммарная потеря веса
Интегральный по поверхности трения	Определение количества железа (или других элементов) в масле в виде износа	Химический анализ. Метод меченых атомов или радиоактивных изотопов	Суммарное обогащения смазки данным элементом
Микрометрирование	Измерение диаметра или l -го размера детали	Контактные приборы - микрометр, индикатор, датчики	Величина измерения диаметра или иного l -го размера детали

Самым распространенным и доступным методом определения величины износа деталей является метод микрометрических измерений. Применение достаточно точных, а также специальных инструментов, позволяющих производить измерения с точностью до 1 мкм, обеспечивает величину износа с точностью не менее 5 мкм. Однако геомет-

рическая форма контртела, работающего в паре трения с образцом не позволяет применить для измерения величины его износа метод микрометрирования.

Методы химического или спектрального анализа, а также метод радиоактивных изотопов, применяемые для определения величины износа, являются косвенными методами. Это - главный недостаток определения износа этими методами. Для получения данных о скорости износа необходимо специальное тарирование, с помощью которого устанавливается соответствие между показаниями, задаваемыми этими методами, с заранее известным количеством железа, содержащегося в известном объеме масла (искусственный эталон). После этого устанавливается соответствие между фактической скоростью линейного износа детали и скоростью изменения количества железа в пробе масла, которая отбирается. В этом случае должен быть дополнительно использован метод непосредственного определения линейного износа. Высокая точность самого анализа не обеспечивает такой же точности определения величины износа, так как отобранная проба масла из-за оседания крупных частиц железа на стенках и трубопроводах экспериментального стенда не характеризует среднее содержание железа.

Учитывая, что образцы с различными видами покрытия и контртело невелики, их вес не превышает 200 г, для определения величины их износа был использован весовой метод. При применении этого метода образцы взвешивались на аналитических весах типа АДВ-200 до и после испытаний с точностью до 10^{-4} г.

Перед взвешиванием образцы протирались марлей, затем промывались в двух ваннах с ацетоном и размещались в сушильный шкаф. После проведения испытаний из образцов тщательно смывались продукты износа, масла и т.п., образцы просушивались и взвешивались.

Предполагалось испытание на износ покрытий шеек коленчатых валов, нанесенных методом пористого, твердого и композиционного хромирования, осталивания и вибродуговой наплавкой.

Важнейшим показателем, характеризующим эффективность того или иного способа нанесения металлопокрытий, является долговечность восстановленной детали. Этот показатель зависит от физико-механических свойств металлопокрытий и качества выполнения всего комплекса операций технологического процесса восстановления детали.

Пара трения образец-контртело работает в полужидкостном режиме. Влияние материала образца и контртела в значительной степени проявляется в способности при режиме граничного трения образовывать менее или более крепкие граничные пленки, способные повысить или снизить трение. Прочность масляной пленки и эффективность защиты трущихся поверхностей от схватывания определяются реакцией трущихся узлов на повышение температуры в условиях масло-хладонной среды и во многом определяются свойствами покрытий, выполненных методами осталивания, гладкого, пористого, композиционного хромирования и вибродуговой наплавкой.

Сравнительная износостойкость различных видов металлопокрытий при давлении на образцы 1, 2, 3, 4 МПа приведена в таблице 3

Данные по сравнительной износостойкости различных видов металлопокрытий восстановленных шеек коленчатых валов (рис. 2) указывают на то, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия пористого, гладкого и композиционного хромирования. Причем, если при более низких давлениях на образцы наибольшей износостойкостью обладает композиционное хромирование, то в условиях больших давлений лучше себя зарекомендовало пористое хромирование.

Таблица 3. Сравнительная износостойкость металлопокрытий

Вид металлопокрытия	Износостойкость по сравнению со сталью 45, закаленной ТВЧ, при давлении на образцы, МПа			
	1	2	3	4
Сталь 45, закаленная ТВЧ	100	100	100	100
Вибродуговая наплавка	123	100	74,2	80,2
Осталивание	86,6	71,8	53,8	66,2
Пористое хромирование	196	220	188,8	234
Гладкое хромирование	219	235,8	177	193,6
Композиционное хромирова-	285	280	215	210,7

Покрытие, выполненное методом вибродугового наплавления, по износостойкости в области небольших давлений на образцы приближается и даже превосходит износостойкость стали 45, закаленной ТВЧ, но в области больших давлений уступает ей.

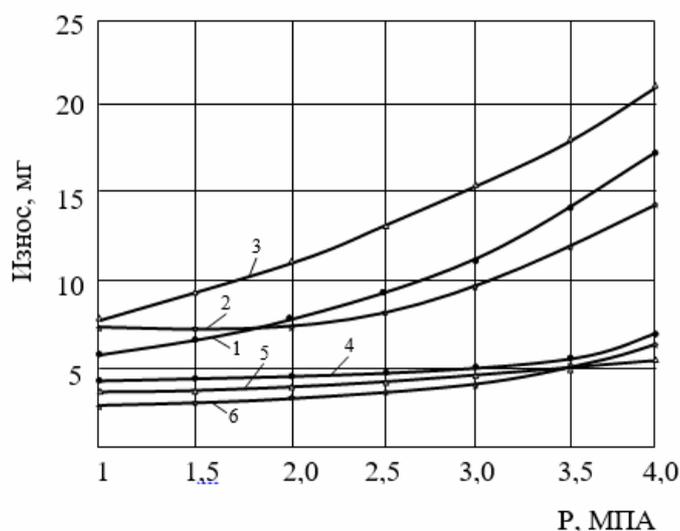


Рисунок 2. Графики зависимости износа покрытий образцов от давления: 1 - сталь 45, закаленная ТВЧ; 2 - вибродуговая наплавка; 3 - осталивание; 4- пористое хромирование; 5 - гладкое хромирование; 6 - композиционное хромирование

Покрытие, выполненное методом осталивания, в диапазоне всех заданных давлений по износостойкости уступает износостойкости стали 45, закаленной ТВЧ. Сравнительная износостойкость контртела с баббитовой заливкой при трении по покрытию при давлении на образцы 1, 2, 3, 4 МПа приведена в таблица 4

Таблица 4. Сравнительная износостойкость контртела

Вид металлопокрытия	Износостойкость контртела при трении по покрытию по сравнению с его износостойкостью при трении по стали 45, закаленной ТВЧ, при давлении на образцы, МПа			
	1	2	3	4
Сталь 45, закаленная ТВЧ	100	100	100	100

Вибродуговое наплавление	125,4	95	88,8	89,3
Осталивание	86,6	82,6	83,6	84,0
Пористое хромирование	194	181	158,7	129
Гладкое хромирование	185	154,3	150,8	154
Композиционное хромир.	235	147,6	140,4	142

Анализ данных по износу контртела с баббитовой заливкой при трении по покрытиям (рис. 3) указывает на то, что покрытие, выполненное методом осталивания и вибродугового наплавления, вызывает незначительно повышенный износ контртела, а покрытие, выполненное методом электролитического хромирования, способствует снижению его износа.

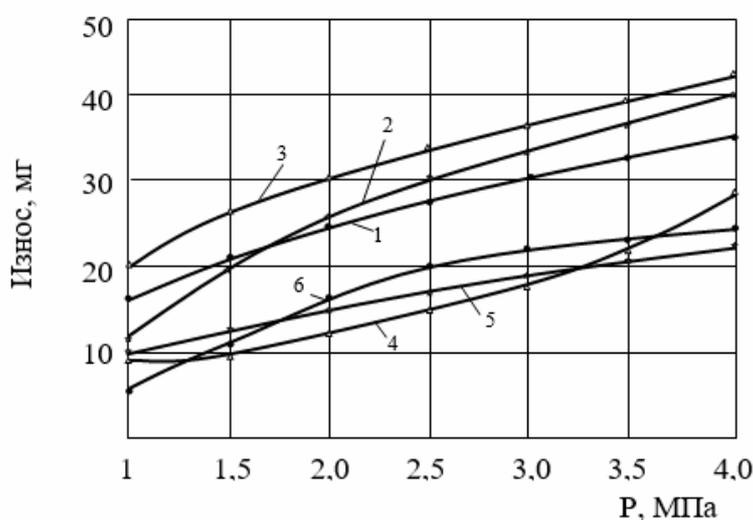


Рисунок 3. Графики зависимости износа контртела от давления при трении по покрытиям: 1 - сталь 45, закаленная ТВЧ; 2 - вибродуговая наплавка; 3 - осталивание; 4 - пористое хромирование; 5 - твердое хромирование; 6 - композиционное хромирование

Разница структуры, твердости и микрогеометрии поверхности покрытий, естественно отражается и на степени их прирабатывания, как в отношении продолжительности, так и в отношении конечных результатов. Приработка, как известно, характеризуется снижением момента трения. На рисунке 4 показано изменение коэффициента трения покрытий по баббиту в течении первых трех часов испытаний ($252 \cdot 10^3$ оборотов образца), при нагрузке на образцы 2МПа.

3. Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что продолжительность прирабатывания покрытий далеко не одинакова; это объясняется различием их структур, твердости и чистоты поверхности. Хорошо прирабатываются покрытия, выполненные методами электролитического хромирования.

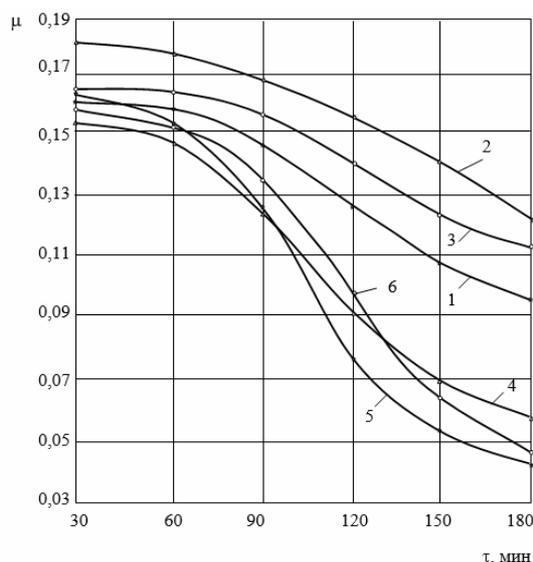


Рисунок 4. Графики зависимости коэффициента трения покрытий по баббиту от продолжительности испытаний: 1 - сталь 45, закаленная ТВЧ; 2 - вибродуговая наплавка; 3 - осталивание; 4- пористое хромирование; 5 - твердое хромирование; 6 - композиционное хромирование

Результаты лабораторных испытаний показывают, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия, выполненные методами электролитического хромирования (пористое, гладкое, композиционное). Рекомендовать один из этих методов для восстановления изношенных коленчатых валов компрессоров ФВ-6 можно только на основе испытаний износостойкости этих металлопокрытий в производственных условиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хрущов, М. М. Исследование изнашивания металлов / М. М. Хрущов, М. А. Бабичев. – М.: Изд.АН СССР, 1960. – 350 с.
2. Хрущов, М. М. Абразивное изнашивание / М. М. Хрущов, М. А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 251с.
3. Хармац, Б. И Исследование процессов изнашивания деталей фреоновых герметичных компрессоров / Б. И. Хармац, И. А. Элькин, О. Г. Богатиков. – Холодильная техника, 1972. – №3. – С. 18-23.
4. Костецкий, Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий – Киев: Техніка, 1970. – 395 с.
5. Костецкий, Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий – Киев: Техніка, 1970. – 395 с.
6. Якобсон, В. Б. Малые холодильные машины / В. Б. Якобсон – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.
7. Милованов, В. И. Повышение долговечности герметичных поршневых компрессоров методами функциональной взаимозависимости / В. И. Милованов – М.: ЦНИИТЭИ легпищемаш, 1972. – 78 с.

Поступила в редколлегию 22.05.2017 г.