

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ МАТЕРИАЛА МР

© 2012 А. М. Жижкин, В. А. Зрелов, В. В. Зрелов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований работоспособности упругих элементов из материала МР в уплотнениях роторов.

Уплотнение с элементами МР, экспериментальные исследования работоспособности уплотнения, характер износа, разрушения.

В настоящее время активно исследуются щёточные уплотнения (ЩУ), которые являются перспективной альтернативой лабиринтным и сотовым уплотнениям. Из анализа литературных источников известно, что при применении ЩУ можно уменьшить утечки в 7 - 10 раз по сравнению с лабиринтными уплотнениями. Конструктивные особенности ЩУ позволяют применять их в конструкциях, имеющих значительные радиальные перемещения роторов, что обеспечивает им существенное преимущество перед другими типами уплотнений.

В качестве альтернативы технологически сложным и дорогим ЩУ предлагается применить в качестве герметизирующего элемента упругий материал МР.

При этом для деталей уплотнения газовой среды может быть использована отработанная технология проектирования и изготовления упругодемпфирующих конструкций из этого материала.

Целью проведённого исследования является экспериментальное определение возможности применения упругодемпфирующего материала МР в конструкции уплотнений турбомашин, включающее проверку его работоспособности как элемента уплотнения.

Пористый упругий элемент из материала МР может быть спроектирован для работы в опорах роторов турбомашин как в контактных, так и в бесконтактных уплотнениях.

При работе контактного уплотнения в зоне контакта возникают силы трения от вращения ротора, повышается температура конструкции, что приводит к изнашиванию

упругого элемента. Элемент из МР не должен вращаться. Поэтому он крепится к неподвижным поверхностям (рис. 1). Это крепление может быть выполнено двумя способами: по наружной поверхности элемента (рис. 1, а) и по его боковым поверхностям (рис. 1, б).

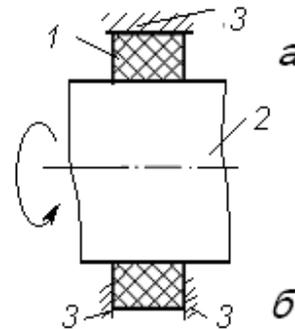


Рис. 1. Схемы крепления упругого элемента из МР: а – по наружной поверхности; б – по боковым поверхностям; 1 – упругий пористый элемент из МР; 2 – вал; 3 – крепление

Крепление элемента 1 в корпусе 3 по наружной поверхности при работе уплотнения может приводить к возникновению в элементе 1 растягивающих усилий. Так как материал МР работает на сжатие, то такая схема крепления применима при отсутствии сил трения в контакте, то есть в случае бесконтактного уплотнения.

Крепление элемента 1 в корпусе 3 по боковым поверхностям при работе уплотнения в режиме контакта может приводить к работе элемента 1 на срез, что допустимо для материала МР. Поэтому крепление элемента в случае контактного уплотнения предпочтительно по схеме, показанной на рис. 1, б.

При работе контактного уплотнения в материале МР возникают силы трения в контакте между проволокой, что приводит к изнашиванию конструкции. Кроме этого, при работе контактного уплотнения происходит изнашивание поверхности вала 2. В элементе 1 изнашивание может приводить к разрушению структуры – выпадению фрагментов проволоочной спирали из конструкции, фреттинг-коррозии и вырыванию металла в месте возможного схватывания проволочек и вала.

При работе в бесконтактном уплотнении пористый элемент из материала МР нагружается перепадом давления и его работоспособность определяется количеством этих нагружений.

Однако при работе с гибкими роторами уплотняющие элементы могут кратковременно касаться валов. При этом возможно их изнашивание или даже разрушение. Увеличение радиального зазора уменьшает эффективность бесконтактного уплотнения. Поэтому необходимы экспериментальные исследования и разработка конструктивно-технологических мероприятий для обеспечения сохранения работоспособности и целостности пористого элемента из МР в условиях его работы как в контактных, так и в бесконтактных уплотнениях, особенно при высоких окружных скоростях (60 м/с и более).

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен уплотнительный элемент из материала МР, представляющий собой кольцо, внешний вид и эскиз которого представлены на рис. 2.

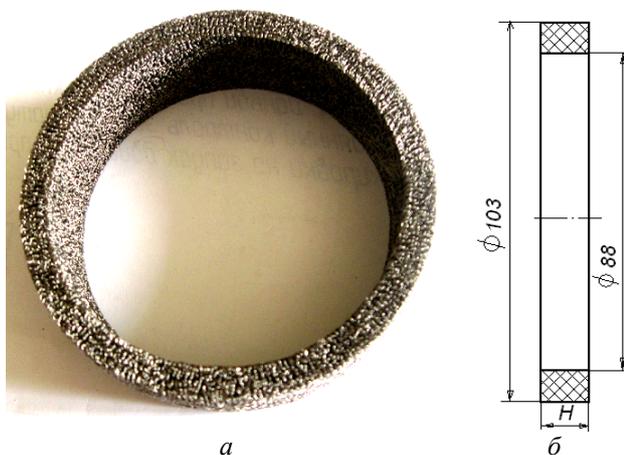


Рис. 2. Элемент из материала МР:
а – общий вид; б – эскиз

Внутренняя поверхность кольца во время испытания контактирует с цилиндрической поверхностью вала.

Вид этой поверхности представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внутренняя поверхность пористого образца из МР

На внутренней поверхности исходного образца видны элементы вытянутой проволоочной спирали. Поверхности проволоочных спиралей не повреждены.

Исходная пористость испытываемого образца составляла 69%.

В качестве вала была использована стержень-оправка пресс-формы для изготовления пористого образца. Твёрдость рабочей поверхности вала составляла HRC 45...55 единиц. Высота микронеровности не превышала 0,09 мкм.

Для проведения экспериментальных исследований был использован токарно-винторезный станок 1П611, в патроне которого была закреплена оправка, поджатая вращающимся центром. Втулка из материала МР установлена в стяжном устройстве. Упор, закреплённый в суппорте станка, предотвращает устройство от проворота при вращении вала.

Общий вид установки пористого образца приведён на рис. 4. Испытания показали, что при разогреве образца наблюдается его проворот по наружной поверхности крепления в хомуте. Частота вращения вала составляла $n = 67$ об/мин в течение 14,5 часов. При работе установки наблюдался износ поверхностей пористого образца и контактной поверхности вала. Образовывалась пыль коричневого цвета. На поверхности пористого образца наблюдался износ проволочек. Целостность пористой конструкции не нарушилась. Затем были увеличены обороты до $n = 530$ об/мин и проведены испытания в течение 2 часов. Целостность пористой конструкции в процессе испытания не нарушилась.

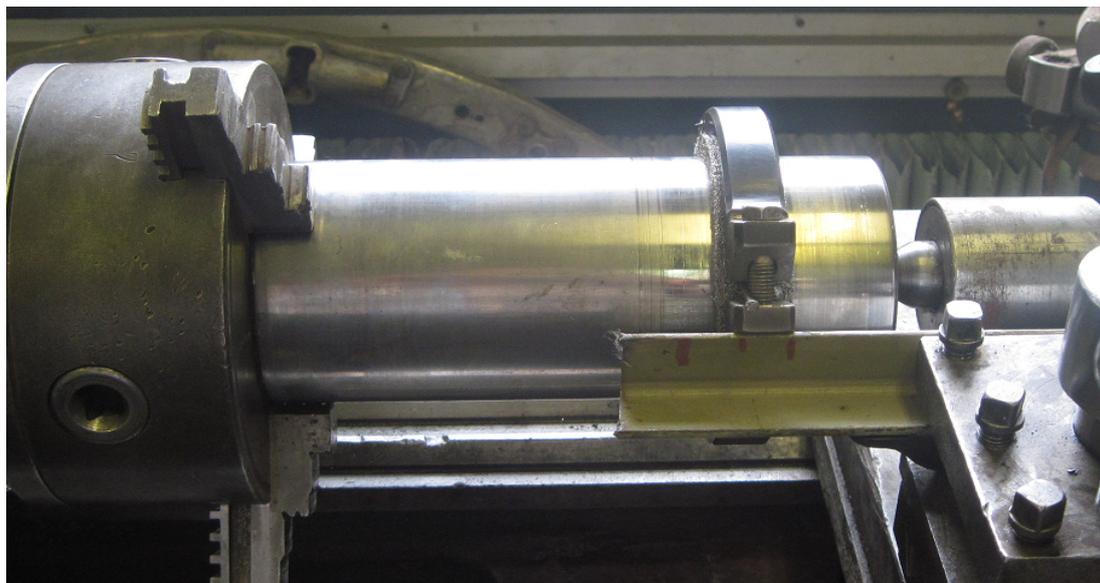


Рис. 4. Общий вид установки пористого образца для испытаний

После проведения испытаний внутренняя поверхность пористого образца имела вид, показанный на рис. 5.



Рис. 5. Внутренняя поверхность пористого образца после 15 часов испытаний

Для изучения влияния более высоких скоростей скольжения на работоспособность упругопористого элемента из материала МР он был заключён в камеру с креплением винтами в четырёх местах. При проведении испытаний частота вращения задавалась $n = 530$ об/мин с общей наработкой в течение 17 ч. Характер износа не изменился. Кроме выпадения окислов наблюдалось в продуктах износа наличие нескольких фрагментов проволочной спирали.

Конструкция в целом оставалась стабильно работоспособной. В дальнейшем частота вращения была увеличена до 1000 – 1060 об/мин. Нароботка составила 3 ч. Максимальная частота вращения при испытаниях составила 2120 об/мин в течение первого часа, а температура поверхностей не превышала 70°C.

После испытаний пористый образец не нарушил своей целостности. На внутренней поверхности видны следы небольшого износа поверхностей проволоки. При нагреве вала и пористого образца сила трения на контактирующих поверхностях возрастает из-за взаимодействия проволочек с поверхностным слоем вала. Это приводит к износу поверхностей вала и проволочек. Испытания пористого образца показали необходимость более детальной проработки способов его крепления в конструкции уплотнения. Продуктами износа в основном являлись окислы металлов контактирующих поверхностей. Кроме окарины присутствует небольшое количество металлических частиц.

В результате проведённых испытаний с суммарной наработкой 44 часа пористый упругий элемент сохранил работоспособность. Следы износа пористой поверхности видны на рис. 6.

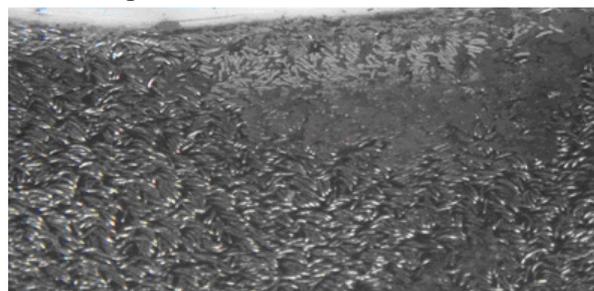


Рис. 6. Внутренняя поверхность пористого образца после окончания испытаний

При последующем увеличении частоты вращения характер износа не изменился, возрастала лишь температура поверхностей

вала и пористого элемента, при этом не нарушилась стабильность и целостность конструкции.

Контактная поверхность вала за время проведения испытаний также изнашивалась. Следы износа видны на рис. 7. Высота микронеровностей поверхности увеличилась до 0,10...0,39 мкм.

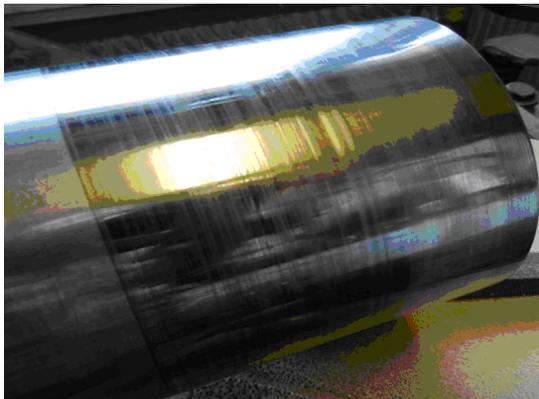


Рис. 7. Вид поверхности вала после окончания испытаний

Таким образом, для решения вопроса о работоспособности контактных уплотнений с элементами из материала МР, а также получения статических и динамических

расходных характеристик, проведения ресурсных и других видов испытаний необходим стенд для имитации условий работы газовых уплотнений турбомашин.

Результаты испытаний показали, что применение пористого материала МР для изготовления деталей уплотнений, герметизирующих газовые или масляные полости роторов, является возможным.

Такие уплотнения могут быть как контактного, так и бесконтактного типов.

Результаты испытаний показали, что упругие герметизирующие элементы из материала МР для уплотнений роторов сохраняют свою работоспособность в течение не менее 44 часов, при этом происходит изнашивание контактирующих поверхностей как пористого элемента, так и вала. Это изнашивание происходит в процессе приработки уплотнения, и при увеличении частоты вращения ротора целостность конструкции не нарушается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SHAFT SEALING WITH ELASTIC ELEMENT MADE OF MR MATERIAL

© 2012 А. М. Zhizhkin, V. A. Zrelov, V. V. Zrelov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

Results of experimental researches of elastic and sealing elements made of MR material for shaft sealing are given.

Sealing with MR elements, experimental research performance of sealing, wear pattern, destruction.

Информация об авторах

Жижкин Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных интересов: виброизоляторы и уплотнения на основе материала МР.

Зрелов Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных

интересов: конструирование аэрокосмических двигателей; история развития авиационного двигателестроения.

Зрелов Вадим Владимирович, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных интересов: уплотнения роторов ГТД.

Zhizhkin Aleksandr Mikhailovich, candidate of Engineering Sciences, associated professor at the aircraft engines construction and projecting department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: fdla@ssau.ru. Area of research sealing made of MR material.

Zrelov Vladimir Andreevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Aerospace Engines Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: Design Aerospace Engines; History of Aviation Engines.

Zrelov Vadim Vladimirovich, postgraduate, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: fdla@ssau.ru. Area of research: sealing of GTE.