

УДК 537.84

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Докт. физ.-мат. наук, проф. БАШТОВОЙ В. Г., асп. АЛЬГАДАЛ А. М.,
инж. САМОЙЛОВ В. Б.

Белорусский национальный технический университет

Использование магнитных жидкостей для герметизации зазоров между подвижными частями устройств различного предназначения является одним из наиболее эффективных их приложений [1, 2].

Несмотря на большое количество исследований статических и динамических характеристик магнитожидкостных уплотнений, ряд связанных с их работой проблем остается малоизученным. В частности, это касается коллоидной природы магнитных жидкостей и влияния процессов диффузии броуновских магнитных частиц в ней под действием неоднородного магнитного поля магнитной системы уплотнения. В результате этих процессов происходит повышение концентрации частиц, а следовательно, и намагниченности жидкости непосредственно под полюсом в области наибольшей напряженности магнитного поля. Поскольку удерживающая магнитную жидкость сила пропорциональна ее намагниченности, вследствие указанных выше процессов диффузии она должна возрастать со временем. Соответственно должен возрастать со временем, по крайней мере, в статическом состоянии и удерживающий уплотнением перепад давления.

Данный вопрос является предметом экспериментального изучения в настоящей работе.

Эксперимент. В описанных ниже экспериментах определена величина критического перепада давления, т. е. максимального перепада давления по разные стороны рабочего зазора МЖУ для различных геометрий полюса. В состав экспериментального стенда (рис. 1) входили: электродвигатель, магнитожидкостное уплотнение, вакуумный насос, создающий разрежение в рабочей камере магнитожидкостного

уплотнения (МЖУ), и вакуумметр. Корпус уплотнения изготовлен из немагнитного сплава марки 12Х18Н10Т, а вал и полюса – из стали 45. В качестве источников магнитного поля использовались кольцевые ферритовые магниты марки 2БА. Вал имел диаметр 40 мм. В экспериментах использовалась магнитная жидкость на основе трансформаторного масла с частицами магнетита намагниченностью 41 кА/м. Величины зазоров между поверхностью вала и полюсом равнялись 0,1; 0,2 и 0,3 мм. Угол заточки полюса β составлял 30°, 45°, 60°, 75°, а форма внутренней поверхности полюса, обращенной к валу, имела вид, представленный на рис. 1. Индукция магнитного поля в зазоре имела величину порядка 1 Тл.

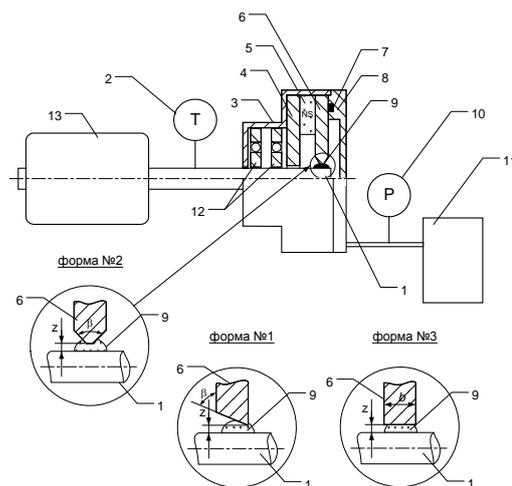


Рис. 1. Блок-схема стенда МЖУ: 1 – уплотняемый вал; 2 – тахометр; 3 – корпус МЖУ; 4 – полюс; 5 – постоянный магнит; 6 – исследуемый полюс; 7 – резиновое уплотнение; 8 – крышка; 9 – магнитная жидкость; 10 – вакуумметр; 11 – вакуумный насос; 12 – подшипники; 13 – электродвигатель

Полюса магнитной системы представляют собой съемные кольца толщиной 4 мм с разным диаметром внутреннего отверстия и разной формой заточки его торца. Это позволяло проводить эксперименты при различных величинах зазора между валом и полюсом и разной формой полюсных наконечников и разным углом их заточки. В зависимости от этих параметров изменялись конфигурация магнитного поля в зазоре уплотнения и соответственно удерживаемый ими перепад давления.

С помощью вакуумного насоса с одной стороны уплотнения создавалось регулируемое разрежение, обеспечивающее перепад давления в уплотнении от 0 до 100 кПа. В экспериментах измерялся критический удерживаемый перепад давления $\Delta p_{кр}$, соответствующий моменту пробы магнитожидкостного уплотнения. Эксперименты выполнены многократно, и относительная статистическая погрешность измерений составила $\pm 5\%$.

Зависимость статического предельного перепада давления от времени. Для определения влияния перераспределения концентрации частиц в магнитной жидкости на характеристики уплотнения зазор уплотнения заполнялся магнитной жидкостью и измерялся статический критический перепад давления при неподвижном вале после определенных интервалов времени (1, 2, 3, 4 ч) нахождения жидкости в зазоре. В эксперименте измерялся критический перепад давления $\Delta p_{кр}$ от времени для полюсов с углами заточки β от 30° до 75° и зазором $z = 0,3$ мм. Данные эксперимента представлены графиками на рис. 2, которые демонстрируют монотонный рост критического перепада давления со временем и выходом его на насыщение. Это насыщение соответствует установлению стационарного распределения концентрации магнитных частиц в жидкости. В качестве рабочей жидкости использовалась ММ_{тр}-41. Такая зависимость $\Delta p_{кр}$ от времени может быть объяснена переконцентрацией феррофазы в магнитной жидкости под действием неоднородного магнитного поля.

Для проверки были проведены эксперименты, которые позволяют объяснить изменение $\Delta p_{кр}$ от времени. Эксперимент проводился следующим образом: исследуемый полюс заполнялся магнитной жидкостью, после чего вал

выдерживался в статике определенное время. Затем вал кратковременно приводился во вращение и опять останавливался. Сразу после остановки вала измерялся $\Delta p_{кр}$. Установлено, что значение удерживаемого перепада давления практически возвращается к исходному, соответствующему начальному моменту времени. Этот факт хорошо иллюстрируется кривыми для углов заточки полюсов 45° и 75° на рис. 2.

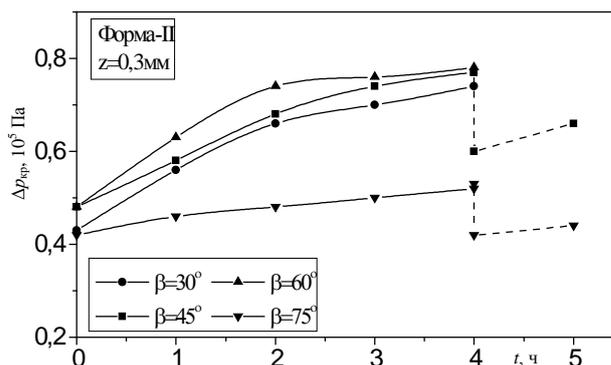


Рис. 2. Экспериментальные зависимости критического перепада давления $\Delta p_{кр}$ в магнитожидкостном уплотнении от времени

Полученный результат позволяет утверждать, что вращение вала перемещает магнитные частицы и выравнивает их концентрацию в объеме магнитной жидкости.

За 4 ч статического состояния уплотнения в результате перераспределения концентрации частиц в жидкости наблюдается ожидаемое увеличение критического перепада давления почти в два раза.

Если после этого вал двигателя приводится во вращение, то возникающее в объеме магнитной жидкости течение имеет следствием ее перемешивание и выравнивание концентрации частиц по объему. Измеренный после кратковременного вращения вала критический перепад давления при остановленном вале резко уменьшается и становится практически равным тому первоначальному значению, которое он имел при заправке уплотнения исходной однородной магнитной жидкостью. После этого цикл перераспределения концентрации частиц повторяется.

Таким образом, вращение вала обеспечивает равномерное распределение частиц в магнитной жидкости по ее объему, но в этом случае в действие вступают возникающие в жидкости

силы инерции, стремящиеся оторвать объем жидкости от вращающегося вала. Это приводит к тому, что с ростом скорости вращения, а значит и линейной скорости v поверхности вала, критический перепад давления в уплотнении снижается. Этот факт наглядно иллюстрируется графиками на рис. 3.

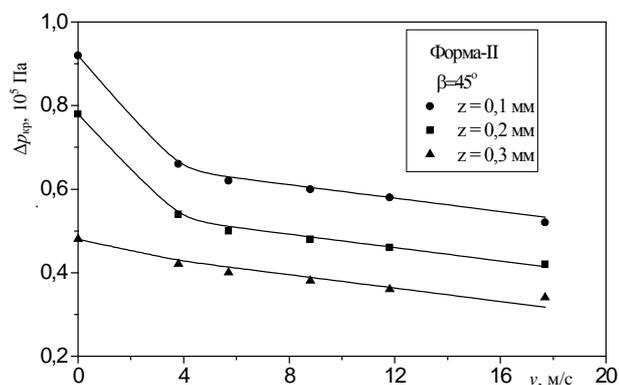


Рис. 3. Зависимость $\Delta p_{кр}$ от скорости v вала диаметром 40 мм для угла заточки полюса $\beta = 45^\circ$ при разных зазорах z

Зависимость критического перепада давления от линейной скорости вращения вала в исследованном диапазоне скоростей вращения 4–18 м/с хорошо описывается линейной функцией, а угол наклона прямых на данных графиках практически не зависит от величины зазора уплотнения. Как показали дальнейшие исследования, этот угол зависит от формы полюсов и

угла их заточки. Графики на рис. 3 также демонстрируют существенное возрастание критического перепада давления при уменьшении ширины зазора в уплотнении.

ВЫВОД

Представленные экспериментальные результаты свидетельствуют о существенном влиянии процессов диффузии и связанным с ними перераспределением концентрации частиц в магнитной жидкости на статические характеристики магнитожидкостного уплотнения. Вследствие этих процессов критический перепад давления, удерживаемый уплотнением, с течением времени может возрасти почти в два раза. Вращение вала компенсирует эти процессы и приводит к практически линейному снижению критического перепада давления с увеличением скорости вала в исследованном диапазоне скоростей вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баштовой, В. Г. Введение в термомеханику магнитных жидкостей / В. Г. Баштовой, Б. М. Берковский, А. Н. Вислович. – М.: ИВТАН, 1985. – 188 с.
2. Берковский, Б. М. Магнитные жидкости / Б. М. Берковский, В. Ф. Медведев, М. С. Краков. – М.: Химия, 1989. – 240 с.

Поступила 18.04.2006