

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ВЕЛИЧИНЫ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ УСТРОЙСТВ

Поletaев В.А., Власов А.М., Пахолкова Т.А.

Ключевые слова: величина шероховатости поверхности, магнитное поле около шероховатой поверхности, математическое моделирование, магнитные мелкодисперсные среды, рабочий зазор, момент трения.

Аннотация. В магнитожидкостных устройствах, где в рабочих зазорах используются мелкодисперсные магнитные среды, перераспределение магнитного поля около шероховатой магнитопроводящей поверхности может существенно влиять на параметры устройств или протекание технологических процессов. Используется метод математического моделирования магнитного поля на основе метода конечных элементов. Исследуется магнитное поле около шероховатой магнитопроводящей поверхности, образующейся при токарной обработке деталей с профилем сечения выступов в виде равнобедренных треугольников. Результаты расчетов показали, что напряженность поля у кромки выступа поверхности в несколько раз превышает среднюю напряженность поля. Напряженность поля между выступами шероховатой поверхности ниже базовой напряженности поля и уменьшается до нуля у основания впадины, образуемой соседними выступами. Проведенные исследования показали, что рост величины шероховатости поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле, приводит к увеличению сил взаимодействия между магнитной жидкостью и поверхностью детали, и как следствие, увеличению момента трения магнитожидкостного устройства.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD AND THE VALUE OF THE WORKING GAP AT THE MOMENT OF FRICTION OF MAGNETIC LIQUID DEVICES

Poletaev V.A., Vlasov A.M., Pakholkova T.A.

Keywords: surface roughness value, magnetic field near a rough surface, mathematical modeling, magnetic fine media, working gap, friction torque.

Abstract. In magneto-liquid devices, where finely dispersed magnetic media are used in working gaps, the redistribution of the magnetic field around a rough magnetic-conducting surface can significantly affect the parameters of devices or the course of technological processes. The method of mathematical modeling of the magnetic field based on the finite element method is used. The magnetic field near the rough magnetic conductive surface formed during turning of parts with the profile of the section of projections in the form of equilateral triangles is investigated. The results of calculations showed that the field strength at the edge of the surface protrusion is several times higher than the average field strength. The field strength between the protrusions of the rough surface is below the base field strength and decreases to zero at the base of the depression formed by the adjacent protrusions. Studies have shown that an increase in the roughness of the surfaces of magnetically conducting parts in contact with a magnetic fluid in a magnetic field leads to an increase in the interaction forces between the magnetic fluid and the surface of the part, and as a result, to an increase in the friction torque of the magnetic-fluid device.

На поверхностях деталей существуют микронеровности, которые образуются в процессе их механической обработки при изготовлении. Параметры микронеровностей определяют шероховатость поверхностей. В

электротехнических устройствах однородное магнитное поле около шероховатой магнитопроводящей поверхности перераспределяется и становится неоднородным. В устройствах, где используются мелкодисперсные магнитные среды (магнитные порошки, магнитные жидкости, магнитореологические суспензии [1-2]), перераспределение напряженности магнитного поля около шероховатой магнитопроводящей поверхности может существенно изменять параметры устройств или происходящих в поле технологических процессов.

Исследуется наружная поверхность цилиндрической втулки с диаметром 50 мм, полученная при обработке на токарном станке 16K20 при следующих режимах: токарная обработка (точение) при режимах: $n=800$ об/мин, $S = 1,5$ мм/об;

Измерение шероховатости R_a производилось на приборе профилометре-профилографе модели АБРИС-ПМ7, запись профилограмм (рис. 1) производилась на ЭВМ.

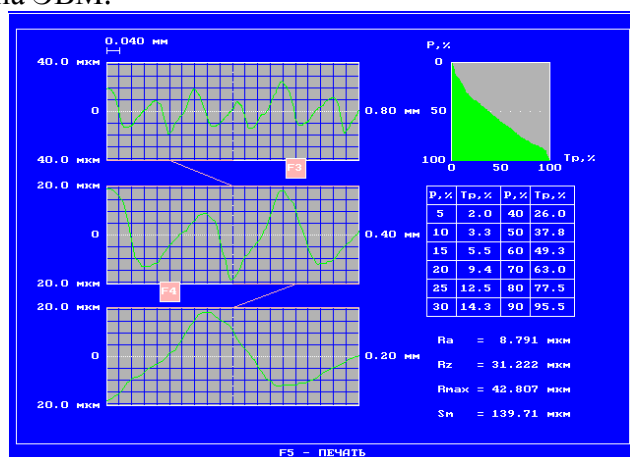


Рис.1. Профилограмма шероховатой поверхности

Расчет магнитного поля проводился методом конечных элементов. Расчетная зона включала часть цилиндрической поверхности с аксиальной длиной $L = 280$ мкм, включающую два шага выступов, т.е. два выступа и две впадины (рис. 2).

На вертикальных границах расчетной области векторный магнитный потенциал задавался постоянным. На левой границе потенциал принимался равным нулю, на правой границе величина потенциала рассчитывалась через среднюю индукцию над поверхностью и длину поверхности L .

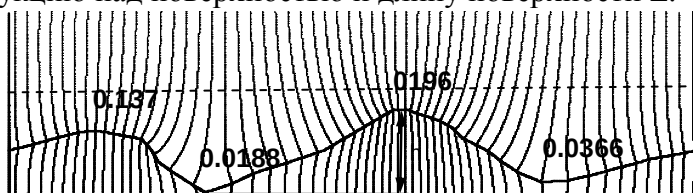


Рис. 2. Картина распределения линий векторного магнитного потенциала над выступом шероховатой поверхности

На верхней и нижней горизонтальных границах касательное поле принималось равным нулю. Расчетная сетка наносилась дифференцированно, с наименьшими элементами в области выступов поверхности и более крупными у верхней горизонтальной границы расчетной области. Количество элементов расчетной сетки составляло около 560000.

Анализ рис. 2 показывает, что равномерное распределение линий магнитного поля нарушается при подходе к выступам шероховатой поверхности. Наибольшая концентрация линий наблюдается у вершин выступов, что говорит о повышенной напряженности поля в этой зоне. Во впадинах между выступами концентрация линий поля уменьшается, что соответствует пониженной напряженности поля. На рис. 2 выделены четыре точки около шероховатой поверхности, в которых указаны значения индукции магнитного поля.

На рис. 3 показано распределение коэффициента неоднородности магнитного поля на прямой линии, расположенной параллельно магнитопроводящей поверхности на расстоянии $0.03h$; $0.5h$; $1h$ от вершины выступа, где h – высота наибольшего выступа (рис.2). Из кривых видно, что неоднородность поля распространяется на расстояние, превышающее высоту выступов шероховатой поверхности. Так на кривой 3 на расстоянии h от вершины выступа напряженность поля примерно на 10% превышает среднюю напряженность поля над поверхностью.

k , о.е.

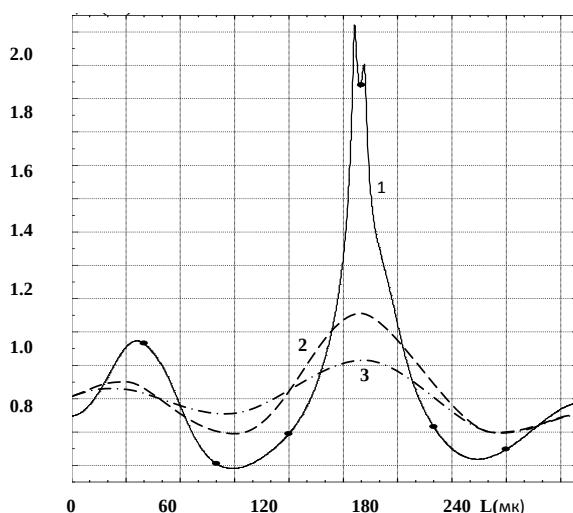


Рис. 3. Изменение коэффициента неоднородности напряженности поля вдоль шероховатой поверхности: 1 – на расстоянии $0.03h$ от вершины, 2 – на расстоянии $0.5h$ от вершины, 3 – на расстоянии $1h$ от вершины

На рис. 4 показано распределение коэффициента неоднородности на вертикальных линиях, проходящих через вершину выступа (кривая а) и впадину между выступами (кривая б). Кривые показывают, как меняется напряженность поля над выступом и над впадиной при приближении к

шероховатой поверхности. Перераспределение поля начинается на высоте $3\div 4$ h , над выступом напряженность поля растет, над впадиной снижается. Напряженность поля в канавке не падает до нуля, как наблюдалось при рассмотрении идеализированной поверхности с коническими выступами, и максимальная напряженность возрастает не столь значительно, как над острой формой выступа.

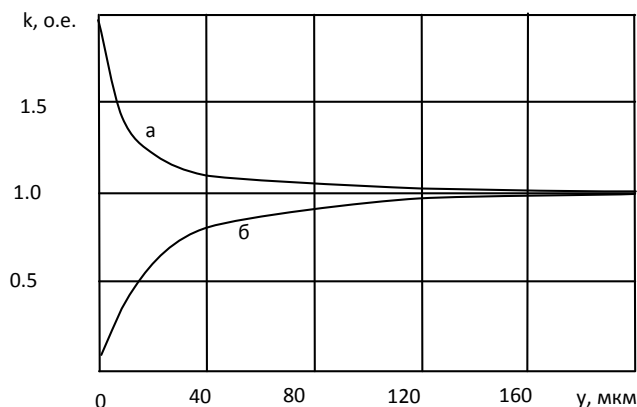


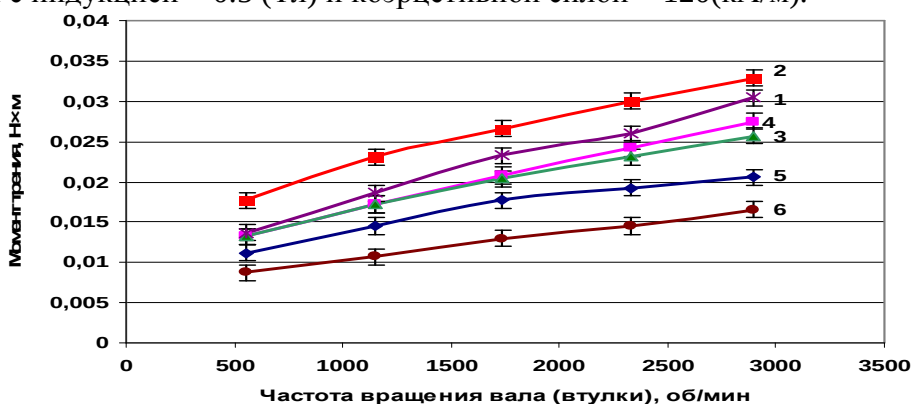
Рис. 4. Изменение коэффициента неоднородности напряженности поля при удалении от шероховатой поверхности: а - по линии выступа, б - по линии впадины

Если поместить около шероховатой поверхности мелкодисперсную магнитную среду, допустим, магнитную жидкость, то магнитные частицы будут стремиться попасть в зону, где напряженности поля максимальна, то есть к вершине выступа, создавая здесь повышенную концентрацию частиц. Вершины выступов покрываются слоем частиц, которые прочно удерживаются на поверхности. Магнитные частицы выстраиваются также в цепочки по линиям магнитного поля. Силы взаимодействия между частицами тем выше, чем сильнее напряженность магнитного поля. То есть прочность цепочек из частиц существенно выше около вершин выступов шероховатой поверхности, чем на некотором удалении, где поле равномерное. Цепочки прочно связаны с вершинами выступов. Около шероховатой магнитопроводящей поверхности образуется слой магнитной жидкости с более сильным внутренним взаимодействием частиц, вследствие чего слой более прочный, чем слои в равномерном поле и, следовательно, менее подвижный. Около шероховатой поверхности будет существовать трудно разрушаемый слой мелкодисперсной рабочей среды. Если рассматривается шероховатая поверхность вала, то появление неподвижного слоя мелкодисперсной рабочей среды увеличивает эффективный диаметр вала, следовательно, возрастает момент трения вала устройства. Если толщина слоя соизмерима с рабочим зазором устройства, то его появление сокращает величину рабочего зазора, способствует заметному увеличению градиента сдвига и напряжению сдвига дисперсной среды в зазоре, соответственно, повышению потерь в устройстве.

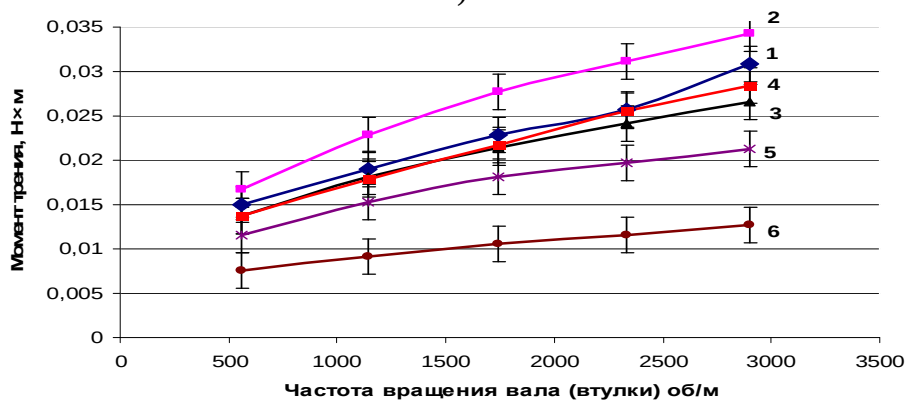
Для снижения вышеуказанных отрицательных эффектов необходимо снижать степень перераспределения магнитного поля около шероховатой поверхности. Этого можно достичь уменьшая высоту выступов магнитопроводящей шероховатой поверхности. Одним из возможных способов уменьшения высоты выступов является алмазное выглаживание поверхности.

Проведены исследования влияния на момент трения магнитожидкостного устройства величины шероховатости поверхностей сменных втулок и полюсов, образующих рабочий зазор устройства и контактирующих с магнитной жидкостью. Для определения влияния величины шероховатости на момент трения магнитожидкостного устройства была спроектирована и изготовлена установка [3]. Исследования проводились с магнитными жидкостями, разработанными в Проблемной научно-исследовательской лаборатории прикладной феррогидродинамики Ивановского государственного энергетического университета (ПНИЛ ПФГД ИГЭУ).

На рис. 5-6 представлены зависимости моментов трения от частоты вращения втулок из стали 40Х13 с разными величинами шероховатости поверхности R_a для различных типов магнитной жидкости. Использовались редкоземельные магниты типа ИЖКГ из материала ЮНДКТ5БА диаметром 10 мм с индукцией = 0.5 (Тл) и коэрцитивной силой = 120(кА/м).



а)



б)

Рис. 5. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок

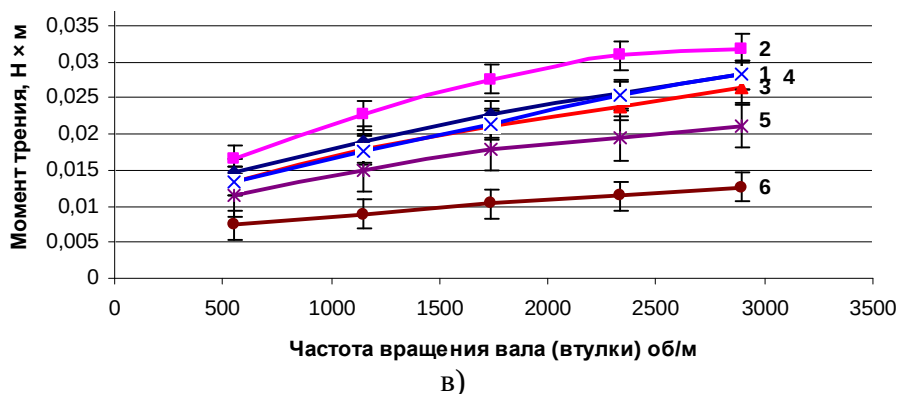


Рис. 5. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 40X13 при величине шероховатости поверхности а) – $R_a = 9,477$ мкм; б) – $R_a = 3,301$ мкм; в) – $R_a = 0,808$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40, 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости. Величина шероховатости внутренней поверхности съемных полюсов $R_a = 8,028$ мкм (сталь 3)

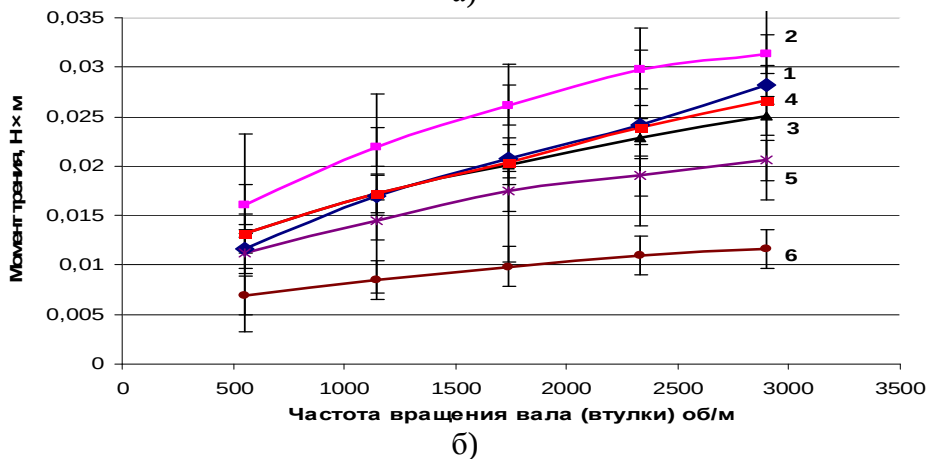
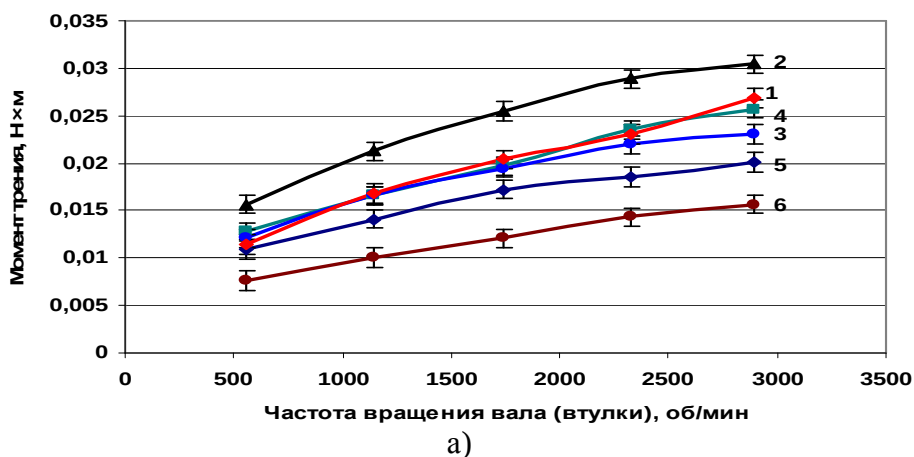


Рис. 6. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок

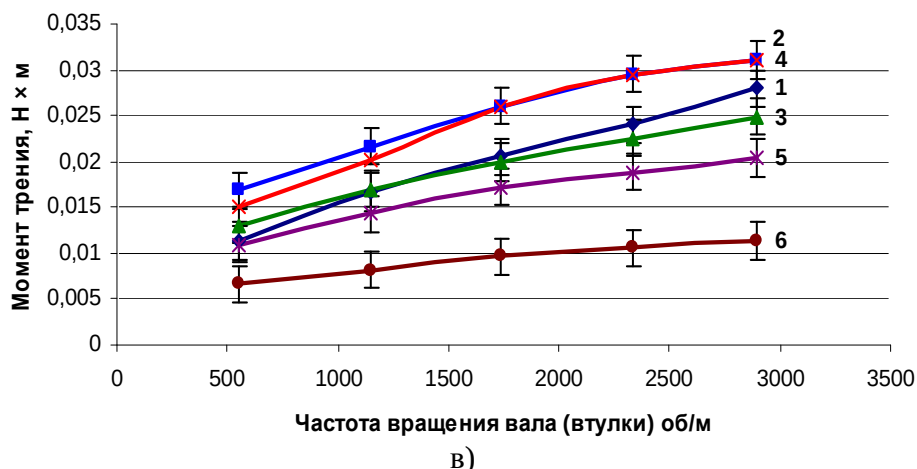


Рис. 6. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 40X13 при величине шероховатости поверхности а) – $R_a = 9,477$ мкм; б) – $R_a = 3,301$ мкм; в) – $R_a = 0,808$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40, 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости. Величина шероховатости внутренней поверхности съемных полюсов $R_a = 0,362$ мкм (сталь 3)

Проведенные исследования подтвердили теоретические предпосылки, что рост шероховатости поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле, приводит к увеличению сил взаимодействия между магнитной жидкостью и поверхностью детали, и как следствие, увеличению момента трения магнитожидкостного устройства.

Для снижения энергетических потерь магнитожидкостных устройств, таких, например, как магнитожидкостное уплотнение, необходимо уменьшить величину шероховатости магнитопроводящих поверхностей деталей, образующих рабочий зазор и контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле.

Список литературы

1. Полетаев В.А., Перминов С.М., Пахолкова Т.А. Роль площадки на острие зубца в формировании магнитного поля и удерживающей способности рабочего зазора магнитожидкостного уплотнения // Вестник ИГЭУ. 2011. Вып. 5. С.32-34.
2. Полетаев В.А., Перминов С.М., Пахолкова Т.А. Исследование магнитного поля в рабочем зазоре с шероховатой магнитопроводящей поверхностью трения электромеханического устройства // Вестник ИГЭУ. 2012. Вып. 2. С. 36-39.
3. Полетаев В.А., Пахолкова Т.А., Власов А.М. Установка для исследования влияния величины рабочего зазора на момент трения магнитожидкостных устройств // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2013. №9. С. 29-31.

References

1. Poletaev V.A., Perminov S.M., Pakholkova T.A. the Role of a platform on the edge of the prong in the formation of the magnetic field and holding power of the working gap magnitogorskogo seal // Vestnik IGEU, Vol .5, 2011, p. 32-34.
2. Poletaev V.M., Perminov S.M., Pakholkova T.A. Study of the magnetic field in the working gap with a rough magnetic-conducting friction surface of the Electromechanical device // Vestnik IGEU. Vol.2-Ivanovo, 2012. P. 36-39
3. Poletaev V.A., Pakholkova T.A., Vlasov A.M. Installation for the study of the influence of the working gap at the time of the magnetic-liquid devices // Friction and lubrication in machines and mechanisms, № 9, 2013, p. 29-31.

Поletaев Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, poletaev@tam.ispu.ru	Poletaev Vladimir Alekseevich – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Mechanical Engineering, poletaev@tam.ispu.ru
Власов Алексей Михайлович – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, leshka.vlasov@gmail.com	Vlasov Alexey Mikhailovich – Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering, leshka.vlasov@gmail.com
Пахолкова Татьяна Александровна – доцент кафедры конструирования и графики, tanypah@mail.ru	Pakholkova Tatyana Aleksandrovna – Associate Professor of the Department of Design and Graphic, tanypah@mail.ru
Ивановский государственный энергетический университет, г. Иваново, Россия	Ivanovo State Energy University, Ivanovo, Russia

Received 21.01.2019