

УДК 621.7.06

Исследование влияния величины шероховатости поверхностей деталей рабочего зазора на момент трения магнитожидкостного устройства

В.А. Полетаев, Т.А. Пахолкова, С.М. Перминов
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
Иваново, Российская Федерация
E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время вопросы о влиянии неровностей на магнитопроводящих поверхностях на перераспределение магнитного поля в рабочих зазорах электромеханических устройств, заполненных мелкодисперсными магнитными средами, не изучены и актуальны для исследования.

Материалы и методы: Исследования проведены на специальной экспериментальной установке, позволяющей использовать втулки и постоянные магниты из разных материалов. Поверхности сменных магнитопроводящих втулок вала обработаны при различных технологических режимах в целях получения различной величины их шероховатости. Поверхности исследованы с помощью профилометра-профилографа.

Результаты: Определены профили поверхностей и параметры шероховатости поверхностей втулок. Сняты экспериментальные зависимости моментов трения магнитожидкостного устройства от скорости вращения вала с втулками, имеющими различную шероховатость поверхностей. Показано влияние шероховатости поверхности деталей рабочего зазора на момент трения магнитожидкостного устройства.

Выводы: Установлено, что рост шероховатости поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле, приводит к увеличению сил взаимодействия между магнитной жидкостью и поверхностями деталей. Учет данного фактора при проектировании позволит снизить энергетические потери магнитожидкостных устройств, повысить передаваемые моменты посредством магнитной жидкости.

Ключевые слова: шероховатость, магнитное поле, мелкодисперсные магнитные среды.

Research of Influence of Surface Roughness of Working Gap while Friction of Magneto-Liquid Device

V.A. Poletaev, T.A. Pakholkova, S.M. Perminov,
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Abstract

Background: Nowadays the problems of roughness influence of magneto-conducted surfaces on magnetic field redistribution in the working gaps of electromechanical devices filled with fine-dispersed magnetic medium are not studied and urgent for the research.

Materials and Methods: The research was carried out on the special experimental unit which allows to use bushes and magnets made from different materials. The surfaces of the changeable magnetically conductive shaft bushes are treated in different technological modes to get different values of their roughness. The surfaces are researched with a profilograph.

Results: Surface contours and roughness parameters of bushes surface are defined. The experimental dependence of friction moments of magneto-liquid device from shaft rotation speed with the bushes having different surfaces roughness is discussed. It is demonstrated how the roughness of details surfaces of working gaps influences the friction moment of a magneto-liquid device.

Conclusions: It is proved that the growth of surface roughness of magnetically conductive details connected with the magnetic liquid in magnetic field can cause the increasing of the exchange forces between magnetic liquid and details surface. This factor allows to decrease the power engineering losts in magneto-liquid devices as well as to increase the given moments thought magnetic liquid.

Key words: surface roughness, magnetic field, fine magnetic media.

Момент трения является одним из важнейших параметров магнитожидкостных устройств. В магнитожидкостных герметизаторах стремятся к снижению момента трения, определяющего внутренние тепловыделения и разогрев устройства. В магнитожидкостных муфтах стремятся к увеличению передаваемого момента и, соответственно, передаваемой муфтой мощности. Ниже ставится задача исследовать влияние

на момент трения магнитожидкостного устройства величины шероховатости поверхностей сменных втулок и полюсов, образующих рабочий зазор устройства и контактирующих с магнитной жидкостью.

На поверхностях всех деталей образуются микронеровности в процессе их обработки при изготовлении. Параметры микронеровностей определяют шероховатость поверхностей. В магнит-

ных полях микронеровности на магнитопроводящих поверхностях являются концентраторами линий векторного магнитного потенциала. Однородное магнитное поле около шероховатой магнитопроводящей поверхности перераспределяется и становится неоднородным. В направлении поверхности напряженность поля растет над выступом, над впадиной снижается. Индукция около выступов превышает среднюю индукцию над поверхностью, во впадинах, наоборот, индукция ниже. То есть около рассматриваемой магнитопроводящей поверхности значение индукции меняется в десять с лишним раз. Степень перераспределения индукции магнитного поля определяется формой и соотношением ширины и высоты выступов шероховатой поверхности [1–3].

Если рассматривается шероховатая поверхность вращающегося вала (сменной втулки) и поверхность полюса со стороны зазора, то появление неподвижного слоя мелкодисперсной рабочей среды изменяет эффективный диаметр вала и полюсов, следовательно, возрастает момент трения 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 определения влияния величины шероховатости на момент трения магнитожидкостного устройства была спроектирована и изготовлена установка [4, 5]. Магнитная жидкость размещается с равномерном рабочем зазоре с однородным магнитным полем между сменными полюсами и сменной втулкой. Источником магнитного поля являются цилиндрические постоянные магниты, равномерно размещенные по окружности между полюсами из стали 3. Вал приводится в движение электродвигателем с регулируемой скоростью вращения.

Сменные втулки вала выполнены из стали 40X13 в количестве 3 штук с величинами шероховатости Ra соответственно 0,362 мкм, 0,945 мкм и 8,028 мкм.

Сменные полюса изготовлены из стали 3 с величиной шероховатости Ra поверхности 9,477 мкм в рабочем зазоре.

При испытаниях первоначально измерялся момент трения на валу в зависимости от скорости при отсутствии магнитной жидкости в рабочем зазоре, то есть определялся момент, создаваемый подшипниками. Затем в зазор вводилась магнитная жидкость и измерение повторялось.

На рис. 1–3 представлены зависимости моментов трения от величины шероховатости Ra соответственно 0,362 мкм, 0,945 мкм и 8,028 мкм поверхности втулки из стали 40X13 с применяемой магнитной жидкостью типа МКС 003–60 и постоянными магнитами типов ИЖКГ и ЕАЖИ с диаметрами соответственно 10, 15 и 20 мм.

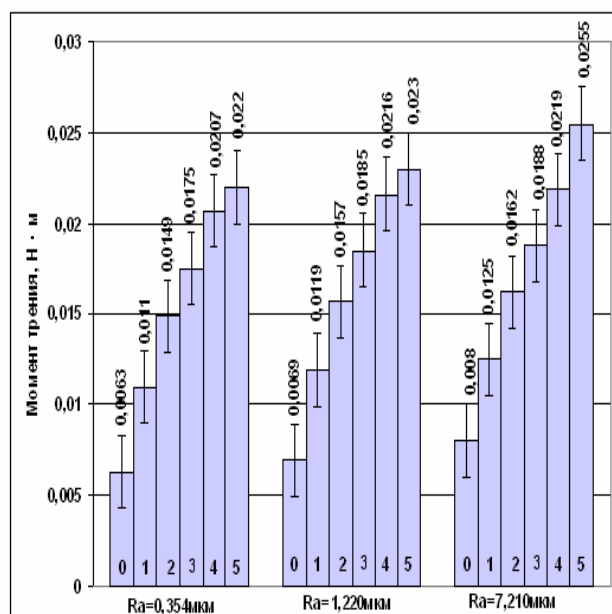


Рис. 1. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13 (тип магнитной жидкости – МКС 003–60; магниты типа ИЖКГ диаметром D = 10 мм): 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

Исследования проводились с магнитными жидкостями типов МКС 003–60 и МКА 1–25 (табл. 1) и постоянными магнитами:

- типа ИЖКГ из материалов ЮНДКТ5БА диаметром 10 мм с индукцией $\geq 0,5$ (Вт, Тл) и коэрцитивной силой ≥ 120 кА/м;
- типа ЕАЖИ из материала феррита стронция диаметром 15 мм с индукцией $\geq 0,3$ (Вт, Тл) и коэрцитивной силой ≥ 158 кА/м;
- типа ИЖКГ из материала феррит стронция диаметром 20 мм с индукцией $\geq 0,3$ (Вт, Тл) и коэрцитивной силой ≥ 185 кА/м.

Таблица 1. Характеристики магнитных жидкостей

Тип магнитной жидкости	Диапазон рабочих температур, °С	Вязкость пластическая, Па·с	Намагниченность насыщения, кА/м
МК 1–25	–50÷+70	0,5–0,6	20–30
МКС 003–60	–50÷+70	0,003–0,02	10–70

На рис. 4–6 показаны зависимости моментов трения от величины шероховатости Ra соответственно 0,362 мкм, 0,945 мкм и 8,028 мкм поверхности втулки из стали 40X13 с применяемой магнитной жидкостью типа МК 1–25 и магнитами типов ИЖКГ и ЕАЖИ с диаметрами соответственно 10, 15 и 20 мм.

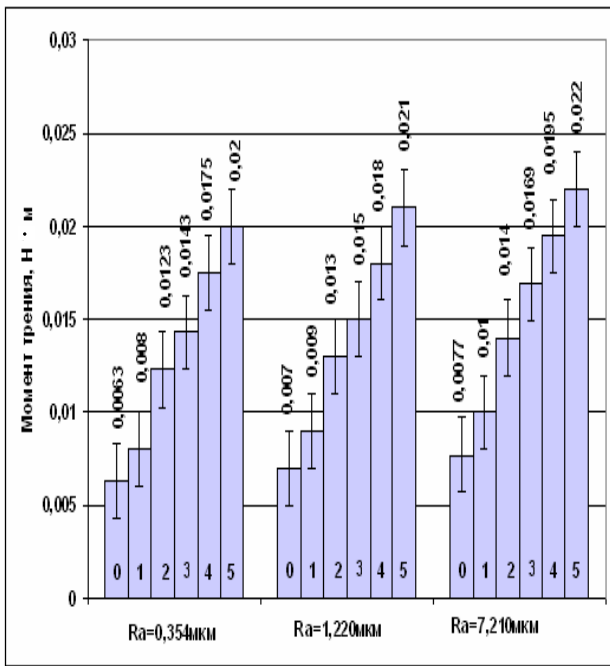


Рис. 2. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13Т (тип магнитной жидкости – МКС 003–60; магниты типа ЕАЖИ диаметром D = 15 мм): 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

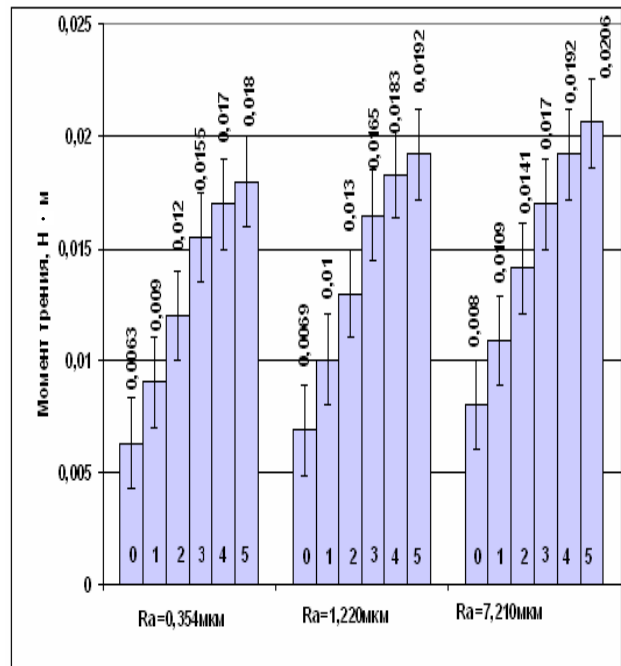


Рис. 4. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13 (тип магнитной жидкости – МК 1–25; магниты типа ИЖКГ диаметром D = 10 мм): 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

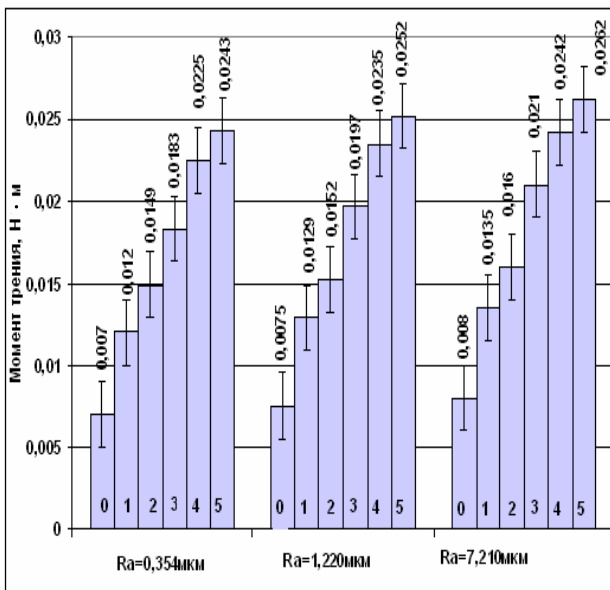


Рис. 3. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13 (тип магнитной жидкости – МКС 003–60; магниты типа ИЖКГ диаметром D = 20 мм): 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

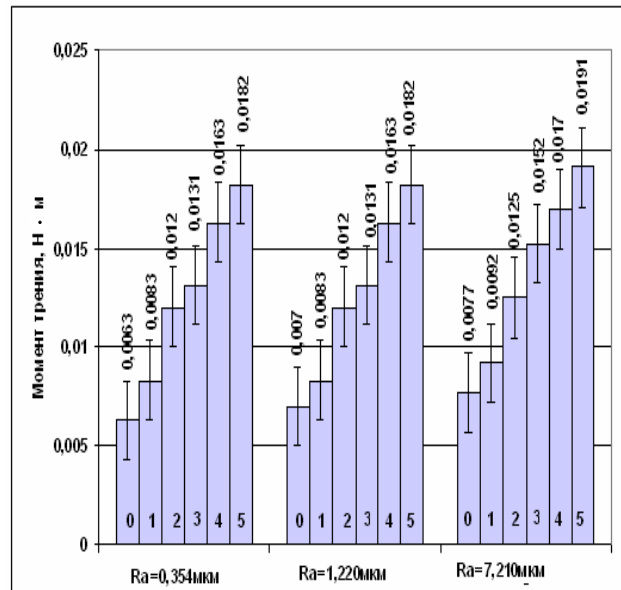


Рис. 5. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13 (тип магнитной жидкости – МК 1–25; магниты типа ЕАЖИ диаметром D = 15 мм): 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

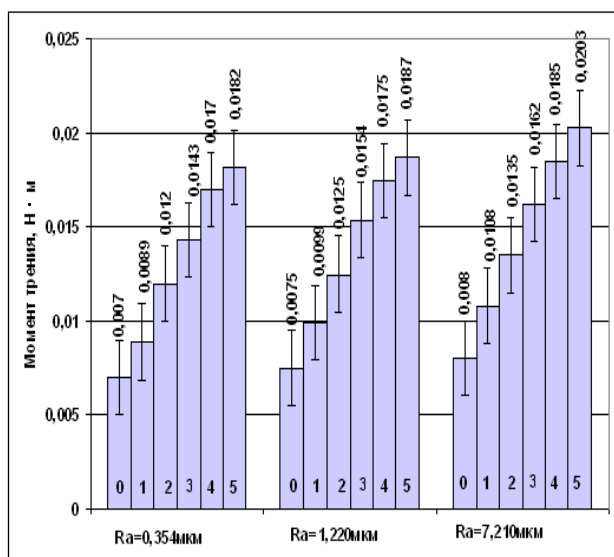


Рис. 6. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13 (тип магнитной жидкости – МК 1–25; магниты типа ИЖКГ диаметром D = 20 мм): 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

Анализ полученных зависимостей показывает, что чем выше величина шероховатости Ra поверхности втулки, контактирующей с магнитной жидкостью в магнитном поле, тем значительно больше момент трения во всем диапазоне исследования скорости вращения вала от 500 до 3000 об/мин.

Закключение

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.

Полетаев Владимир Алексеевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-72,
e-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Пахолкова Татьяна Александровна,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
соискатель кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-73,
e-mail: tanypah@mail.ru

Перминов Сергей Михайлович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
заведующий проблемной научно-исследовательской лабораторией прикладной феррогидродинамики, кандидат технических наук,
телефон (4932) 38-57-98,
e-mail: psm@upm.ispu.ru

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

Для повышения передаваемых моментов посредством магнитной жидкости в таких устройствах, как, например, магнитожидкостные муфты, необходимо увеличивать шероховатость магнитопроводящих поверхностей деталей, контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле.

Список литературы

1. Перминов С.М. Исследование магнитного поля около шероховатой магнитопроводящей поверхности // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 1. – С. 31–33.

2. Патент на изобретение РФ №2340821. Магнитожидкостное уплотнение вала / С.М. Перминов. Оpubл. в Б.И. №34, 10.12.2008, МПК F 16 J 15/53.

3. 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.

4. Перминов С.М., Полетаев В.А., Пахолкова Т.А. Исследование магнитного поля в рабочем зазоре с шероховатой магнитопроводящей поверхностью трения электромагнитного устройства // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 2. – С. 36–39.

5. Полетаев В.А., Пахолкова Т.А. Исследование моментов трения в рабочем зазоре герметизаторов при использовании разных типов магнитных жидкостей // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 4.

References

1. Perminov, S.M. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 1, pp. 31–33.
2. Perminov, S.M. *Patent na izobretenie RF №2340821. Magnitozhidkostnoe uplotnenie vala* [Magneto-liquid Shaft Seal]. Opubl. v B.I. №34, 10.12.2008, МПК F 16 J 15/53.
3. Poletaev, V.A., Perminov, S.M., Pakholkova, T.A. *Vestnik IGEU*, 2011, issue 5, pp. 32–34.
4. Perminov, S.M., Poletaev, V.A., Pakholkova, T.A. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 2, pp. 36–39.
5. Poletaev, V.A., Pakholkova, T.A. *Issledovanie momentov treniya v rabochem zazore germetizatorov pri ispol'zovanii raznykh tipov magnitnykh zhidkostey* [Fraction Moments Research in Sealer Working Gaps while using the Different Types of Magnetic Liquids]. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 4.