

**Болотов Александр Николаевич**

д-р техн. наук, профессор

**Новиков Владислав Викторович**

канд. техн. наук, доцент

**Новикова Ольга Олеговна**

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

г. Тверь, Тверская область

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ МАСЛЕ НА ЕГО ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**Аннотация:** в статье исследовано воздействие концентрации дисперсных частиц, входящих в структуру магнитного масла на трибопроцессы, происходящие в зоне контакта узлов трения.

**Ключевые слова:** магнитное масло, трение, износ, концентрация дисперсных частиц.

Развитие современных технологий в машиностроении позволяет достичь требуемую долговечность и работоспособность оборудования, снижения затрат на его последующее техническое сопровождение и ремонт, снизить энергозатраты при изготовлении и эксплуатации. Во многом срок службы машин и механизмов зависит от надежности работы узлов трения, входящих их в конструкцию. В ходе ее разработки, часто требуется спроектировать трибосопряжения высокой точности, в качестве которых часто используют подшипники скольжения. Повысить их надежность в работе и оптимизировать конструкцию можно с помощью применения как современных смазочных материалов, в качестве которых используется магнитное масло, так и использования антифрикционных материалов [1–3]. Однако трибологические свойства магнитных масел требуют дальнейшего изучения.

В частности, произведен анализ влияния концентрации частиц на трение и износ (средний диаметр частиц около 10 нм). Для исключения влияния побочных эффектов испытания проводились на двухкомпонентных магнитных маслах. При смазке магнитным маслом относительно мягких материалов (бронза, Ст. 3) интенсивность изнашивания проходит через минимум по мере повышения концентрации частиц, а при смазке твердых материалов монотонно растет. Микроанализ поверхности показал, что износостойкость мягких материалов повышается за счет их упрочнения внедрившимися частицами. Увеличение износа твердых поверхностей объясняется абразивным действиям конгломератов частиц, образовавшихся в зоне трения под действием высоких сдвиговых напряжений и температур. Дисперсионные частицы приводят к повышению коэффициента трения, вероятно, за счет увеличения диссипативных процессов, связанных с деформированием поверхностей и адсорбционных слоев. Убедительно показано, что дисперсные частицы из железа оказывают значительно меньшее абразивное действие, чем магнетитовые, которые более твердые [4–6].

Значительную роль при трении играет сильноразвитая поверхность частиц. Наблюдалось каталитическое влияние поверхности на реакции полимеризации. Установлено также, что частицы замедляют коррозионные процессы, приводящие к износу поверхностей трения. Это происходит из-за того, что кислород и ПАВ, растворенные в магнитных маслах, активнее реагируют с частицами и не поступают к поверхностям.

Адсорбция на поверхности частиц молекул жирных кислот, применяемых для стабилизации магнитных масел, часто сопровождаются химическими реакциями, при которых выделяется атомарный водород. В условиях трения водород легко проникает в материалы, накапливается около дефектов структуры и создает сильное напряжение в кристаллической решетке. Вероятность такого процесса подтверждается, наряду с другими фактами, наличием эллипсоидальных микропор в поверхностной зоне трущихся материалов, которые характерны для материалов, насыщенных водородом. Микропоры усиливают износ поверхностей по механизму отслаивания.

С помощью дисперсных частиц представляется возможным управлять скоростью формирования граничных смазочных слоев. Если повысить концентрацию частиц около трущихся поверхностей неоднородным магнитным полем, то одновременно возрастает концентрация свободных молекул стабилизатора, и, значит, быстрее регенерировать смазочный слой. Непосредственно это доказано на примере усиления эффекта Ребиндера.

В результате исследования показано значительное влияние дисперсных частиц на процессы, происходящие в зоне трения, которые во многом определяют надежность, долговечность и энергоэффективность работы трибосопряжений.

### *Список литературы*

1. Bolotov A.N. The influence of a magnetic field on skin effects lubricated by magnetic lubricants / A.N. Bolotov, V.V. Novikov, O.O. Novikova // Materials Science Forum. – 2020. – Т. 989 MSF. – С. 97–102.
2. Болотов А.Н. Исследование триботехнических свойств алмазосодержащего керамического материала / А.Н. Болотов, О.О. Новикова, В.В. Новиков // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. – 2020. – №13. – С. 55–59.
3. Bahiraei M. Flow and heat transfer characteristics of magnetic nanofluids / M. Bahiraei, M. Hangi // A review. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – V. 374. – P. 125–138.
4. Dankoub Z. Magnetic susceptibility and its relationship with the concentration of selected heavy metals and soil properties in surface soils of the isfahan region / Z. Dankoub, H. Khademi, S. Ayoubi // Journal of Environmental Studies – 2012. – №38 (63). – P. 17–26.
5. Болотов А.Н. Ресурс триботехнических устройств с магнитной жидкостью, функционирующих в газовой среде / А.Н. Болотов, О.О. Новикова, В.В. Новиков // 18-я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям. – 2018. – С. 427–434.

6. Болотов А.Н. Смазочные масла на основе наножидкостей / А.Н. Болотов, О.О. Новикова, В.В. Новиков // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2018. – №10. – С. 159–168.

7. Трибологические характеристики смазочных масел с нанодисперсной фазой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tribologicheskie-harakteristiki-smazochnyh-masel-s-nanodispersnoy-fazoyl> (дата обращения: 22.09.2020).