

## ФЕРРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ

*Рыхлик Антон Николаевич, магистрант*

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

Научные руководители: канд. техн. наук, доцент кафедры технологии металлов

Корнеева Валерия Константиновна

lerakor1974@mail.ru

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов Капцевич Вячеслав Михайлович

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

Аннотация: В статье рассматриваются некоторые методы, позволяющие провести анализ немагнитных частиц с помощью феррографии и био-феррографии. Так как в феррографии используются сила высокоградиентного магнитного поля, для отделения частиц износа в пробе смазочного материала, следовательно, немагнитные частицы не могут быть осаждены на феррограмме. Ниже приводятся способы намагничивания подобных частиц, с целью возможности их дальнейшего феррографического анализа

Ключевые слова: феррография, магнитная жидкость, намагничивание, немагнитные частицы

## FERROGRAPHIC ANALYSIS OF NON-MAGNETIC PARTICLES

*Rykhlik Anton Nikolaevich, graduate student*

*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Scientific supervisors: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Technology, Korneeva Valeria Konstantinovna;

lerakor1974@mail.ru

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology,

Vyacheslav Mikhailovich Kaptsevich

*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

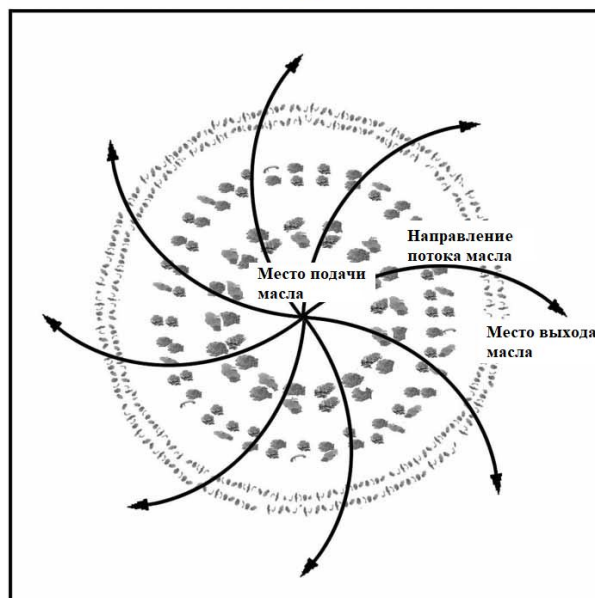
Abstract: The article discusses some methods that allow the analysis of non-magnetic particles using ferrography and bio-ferrography. Since ferrography uses the force of a highly gradient magnetic field to separate wear particles in a lubricant sample, therefore, non-magnetic particles cannot be deposited on the ferrogram. The methods of magnetization of such particles are given below, in order to enable their further ferrographic analysis

Keywords: ferrography, magnetic fluid, magnetization, non-magnetic particles

Феррография – метод осаждения частиц износа на предметном стекле. Ввиду того, что для осаждения частиц используется высокоградиентное магнитное поле, создаваемое встроенными в феррограф постоянными магнитами, есть определенное требование для осуществления этого процесса. Осаждаемые частицы должны обладать магнитными свойствами для того, чтобы быть восприимчивыми к методу магнитного осаждения. Лучше всего улавливаются железосодержащие частицы, а также крупные частицы, которые на феррограмме осаждаются первыми, несмотря на наибольшее удаление поверхности предметного стекла от источника магнитного поля. Типичное распределение частиц на феррограмме показано на рисунке 1 [1]. Но из-за подобного ограничения, феррография не способна уловить и соответственно распределить на предметном стекле частицы цветных металлов и сплавов, из которых изготавливаются некоторые пары трения. Если на феррограмме и появляются подобные частицы, то расположены они случайным образом, так как осаждаются не посредством магнитного поля, а из-за ряда случайных причин. Это, в свою очередь, не может служить ценной информацией о состоянии пар трения из подобных материалов. Поэтому, разработка методов контроля состояния трибосопряжений из немагнитных материалов является важной задачей. Одним из возможных решений данной проблемы является применение магнитных жидкостей. Магнитные жидкости – устойчивые коллоидальные суспензии из ферромагнитных и ферримагнитных частиц, размерами около 10 нм, диспергированных в жидком носителе. Из-за того, что в магнитных жидкостях магнитный материал задействован в качестве нанометрических частиц, устойчивость к окислению является их важнейшим качеством.



(а)



(б)

Рисунок 1 – Распределение частиц износа на феррограмме: а – аналитического феррографа; б – ротационного феррографа

Самый распространенный материал, используемый в магнитных жидкостях, это магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Он имеет умеренную намагниченность насыщения в атмосфере. Хотя он может медленно окисляться до  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , значительного снижения намагниченности насыщения не происходит. Переходные металлы и их сплавы имеют намного большую намагниченность насыщения, чем ферриты, но их частицы быстро окисляются в атмосфере [2].

В работе, проводимой китайскими учеными, для осаждения частиц цветных металлов использовалась магнитная жидкость на основе частиц магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Применяемая магнитная жидкость состоит из магнитных частиц, поверхностно-активного вещества (ПАВ) – олеиновой кислоты и жидкости носителя (тетрахлорэтилен), как показано на рисунке 2 [1].

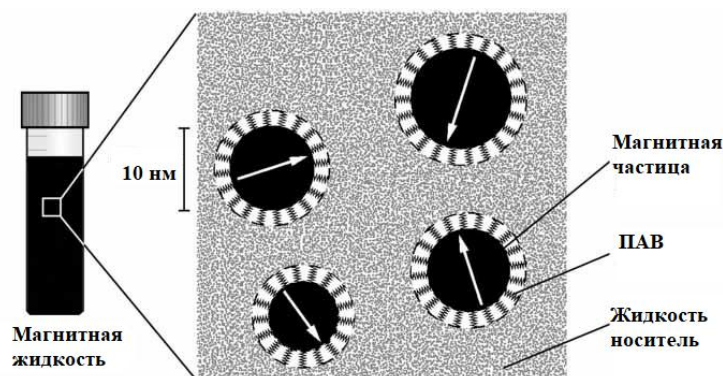


Рисунок 2 – Модель магнитной жидкости

После приготовления магнитной жидкости, она смешивалась с образцом масла, содержащем частицы меди, полученные на машине трения. Тетрахлорэтилен был выбран в качестве жидкости носителя для более легкого смешивания магнитной жидкости с образцом масла, а с помощью ПАВ магнитные частицы сцеплялись с медными продуктами износа образца масла. Частицы магнетита

покрывали медные продукты износа нанометрическим слоем, и, таким образом, становились железосодержащими. После они могли без проблем осаждаться под действием магнитного поля феррографа на предметное стекло. При надлежащем объеме магнитной жидкости, нанометрические частицы едва видны на поверхности осаждаемых кусочков меди. И, следовательно, их наличие не влияет на результаты феррографического анализа продуктов износа. Как правило, для различных видов частиц цветных металлов, необходимы различные составы магнитной жидкости. Таким образом, применение магнитных жидкостей для феррографического анализа частиц цветных металлов и сплавов, может существенно помочь в оценке состояния трибосопряжений из подобных немагнитных материалов.

Существуют и другие составы магнитных жидкостей. Например, в другой работе была приготовлена магнитная жидкость на основе нанокристаллических частиц железа [2]. Для защиты от окисления в атмосферных условиях и сохранения намагниченности, частицы покрывались слоем углерода. Такая магнитная жидкость имеет, по сравнению с магнетитовой, большую намагниченность насыщения.

Широкое распространение феррография также нашла в области медицины и биотехнологии. Био-феррография – модификация обычного аналитического феррографа [3]. Био-феррографы были разработаны для магнитного выделения требуемых клеток или тканей. Биологическое вещество и синтетические полимеры естественным образом не намагничиваются, так как являются диамагнитными. Следовательно, такие вещества сперва также должны быть искусственно намагничены. Один из подходов заключается в использовании молекулярных магнитных меток, например парамагнитных лантаноидов катионов эрбия ( $\text{Er}^{3+}$ ). Благодаря наличию четырех неспаренных электронов, эти катионы имеют чрезвычайно высокий атомный магнитный дипольный момент. Механизм связывания  $\text{Er}^{3+}$  с поверхностью клетки в основном ионный. Раствор хлорида эрбия ( $\text{ErCl}_3$ ) используется для намагничивания сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полиметилметакрилата, поликарбоната уретана, частиц износа эндопротезов тазобедренного сустава, костей и хрящей, находящихся во взвешенном состоянии в синовиальных жидкостях неартритных и остеоартрических суставов людей и овец.

Второй подход к магнитному маркированию в феррографии и био-феррографии – иммуномагнитная сепарация. При ней используется система антитела и магнитного микроносителя (или магнитного коллоида), в результате чего, частицы избирательно прикрепляются к целевому веществу при добавлении в суспензию данного вещества.

Таким образом, с помощью подобных методов сфера применения феррографии сильно расширяется. Намагничивание немагнитных частиц позволяет преодолеть основное ограничение феррографии – улавливание исключительно частиц, обладающих магнитными свойствами. К тому же, особенно в области био-феррографии, применение магнитных жидкостей возможно только к определенным видам веществ, что дает огромное преимущество, по сравнению с другими методами, не обладающими такой избирательностью, как, например, фильтрование.

### Список литературы

1. Liu, T.G, Liu S.J, Yang Z.Y. A method to monitor non-ferrous debris in ferrographic analysis / T.G. Liu, S.J. Liu, Z.Y. Yang // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 2010; 224(2). – P. 203-208.
2. Liu, T. Investigation on Synthesis of Magnetic Fluids Containing Carbon-Coated Iron Nanoparticles. / T. Liu [et al.]. // Proceedings of the 2007 First International Conference on Integration and Commercialization of Micro and Nanosystems. First International Conference on Integration and Commercialization of Micro and Nanosystems, Parts A and B. Sanya, Hainan, China. January 10–13, 2007. – P. 977-980.
3. Eliaz, N. Fundamentals of Tribology and the Use of Ferrography and Bio-Ferrography for Monitoring the Degradation of Natural and Artificial Joints / N. Eliaz, K. Hakshur. // Degradation of Implant Materials / ed. N. Eliaz. – Springer, New York, NY, 2012. – ch. 10. – P. 253–302.