

## ИСТОРИЯ ФЕРРОГРАФИИ

Студент – Зыков Н.Д., 24 мо, 3 курс, ФТС

Научные

руководители – Капцевич В.М., д.т.н., профессор;

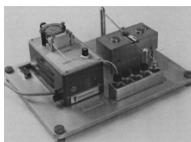
Корнеева В.К., к.т.н., доцент

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

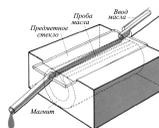
**Аннотация.** Рассмотрена история одного из методов анализа частиц износа – феррографии.

**Ключевые слова:** феррограф, частицы износа, ферроскоп.

Феррография – метод анализа продуктов износа, содержащихся в различных смазочных материалах (моторные и гидравлические масла, консистентные смазки). Он заключается в магнитном осаждении частиц износа, обладающих магнитными свойствами, на предметном стекле под действием высокоградиентного магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами. Благодаря уклону предметного стекла, частицы располагаются в соответствии со своими размерами – по убыванию, сверху вниз. Стекло, с осажденными и закрепленными на ней частицами, называется феррограммой. Впервые, феррография была представлена научному сообществу *W.W. Seifert* и *V.C. Westcott* в 1972 г [1]. Разработанный ими феррограф с линейной системой осаждения продуктов загрязнения (рисунок 1) состоял из постоянного магнита, создающего высокоградиентное магнитное поле, насоса, подающего разбавленное смазочное масла с постоянной скоростью 0,25 мл<sup>3</sup>/мин; и предметного стекла, расположенного под углом 1°, на котором осаждаются намагниченные частицы.



а



б

Рисунок 1 – Феррограф *W.W. Seifert* и *V.C. Westcott*: а – внешний вид; б – принципиальная схема

Для анализа частиц износа, расположенных на феррограмме, *W.W. Seifert* и *V.C. Westcott* был разработан бихроматический микроскоп – ферроскоп (рисунок 2) [1], который сочетает в себе функции как биологи-

ческого, так и металлографического микроскопов. В таком оборудовании используются источники отраженного и проходящего света, которые можно использовать одновременно. В процессе исследования металлических и неметаллических частиц в ферроскопе предусмотрена использование зеленого фильтра на пути проходящего света и красного – на пути отраженного (рисунок 2, б). При таком бихроматическом освещении металлические частицы, отражающие свет, выглядят ярко-красными, а неметаллические, пропускающие свет – зелеными.

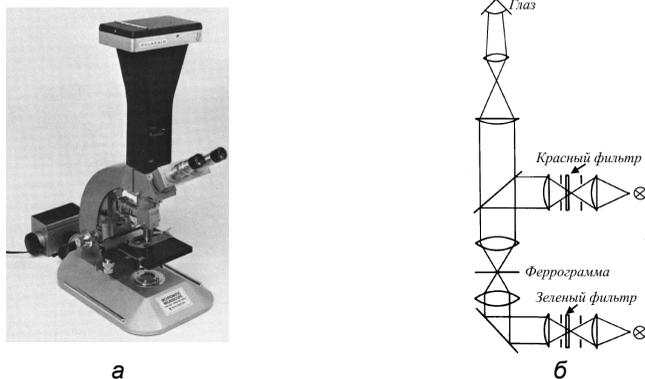


Рисунок 2 – Бихроматический микроскоп: а – внешний вид; б – оптическая схема

Для увеличения производительности проведения исследований V.C. Westcott разработал сдвоенный феррограф (рисунок 3) [2], позволяющий получать две феррограммы одновременно и проводить их сравнительный анализ.

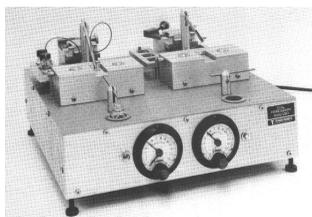


Рисунок 3 – Сдвоенный феррограф

Принципиальная схема аналитического феррографа с вращающейся системой осаждения продуктов загрязнений, разработанного группой ученых Трибологического центра Swansea (Великобритания), представлена на рисунке 4 [3]. Прибор работает следующим образом. Порция масла

подается в центр вращающегося предметного стекла 2, расположенного над магнитом 3. Под действием магнитной и центробежной силы частицы осаждаются на предметном стекле 1 по concentрическим окружностям. Затем полученная феррограмма исследуется при помощи ферроскопа.

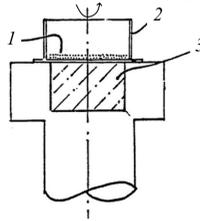


Рисунок 4 – Принципиальная схема вращающегося феррографа:  
1 – предметное стекло; 2 – вращающийся стол; 3 – постоянный магнит

В технически развитых странах в последние десятилетия создавалась сервисная сеть лабораторий, оснащенных новым феррографическим оборудованием, позволяющим производить анализ частиц износа, присутствующих в моторном масле, по размерам и количеству которых можно определить интенсивность изнашивания рабочих поверхностей деталей, по форме частиц – характер износа, по химическому составу частиц – конкретные изнашиваемые детали.

Так, разработанный аналитический феррограф *YJF-3 Oil* (Китай) (рисунок 5) [4] с линейной системой осаждения продуктов износа используется для контроля качества моторного, гидравлического и трансмиссионного масел. Максимальный градиент магнитного поля феррографа составляет более 5,0 Т/см, угол феррограммы устанавливается равным 2°, 3°, 4°. Двойной аналитический феррограф масла *YTF-8* (Китай) (рисунок 6) [5] с линейной системой осаждения продуктов износа позволяет одновременно получать две феррограммы. С помощью системы управления феррографическим программным обеспечением можно создать базу данных анализа феррограмм. Феррограф позволяет регулировать скорость потока пробы масла, тем самым обеспечивает равномерное осаждение частиц по длине феррограммы. Продолжительность изготовления феррограмм составляет менее 20 мин. Частицы сортируются по магнитной восприимчивости и размеру, что позволяет быстро их интерпретировать. Аналитический феррограф *Kittiwake ANALEX rpd FG-K19026-KW* (Великобритания) (рисунок 7) [6] с вращающейся системой осаждения продуктов износа в поле магнитных, центробежных и гравитационных сил позволяет получить феррограмму в виде concentрически расположенных окружностей.



Рисунок 5 – Аналитический феррограф YJF-3 Oil



Рисунок 6 – Двойной аналитический феррограф масла YTF-8



Рисунок 7 – Аналитический феррограф *Kittiwake ANALEX rpd FG-K19026-KW*

В настоящее время разработаны современные феррографические микроскопы (рисунок 8). Так, бихроматический феррографический микроскоп *MT8100F* (США) (рисунок 8, *a*) [7] оборудован камерой и предназначен для исследования феррограмм, полученных на аналитическом феррографе, в поляризованном или бихроматическом (красном и зеленом) цвете. Общее увеличение ферроскопа составляет 50×, 100×, 200× и 500×. В комплект ферроскопа входит камера *CMOS* (3 Мп) с программным обеспечением, позволяющим фотографировать и сохранять изображения, а также проводить их измерение. Аналитический ферроскоп *FS-6* (США) (рисунок 8, *б*) [8] специально разработан компанией *Trico* с приставками и опциями, которые улучшают идентификацию и интерпретацию частиц износа. Ферроскоп *FS-6* имеет три увеличения: 100×, 500×, 1 000×. Специалист может быстро отсканировать феррограмму при малом увеличении в поисках очевидных аномальных частиц износа, интерпретировать происхождение частиц и механизм износа при 500-кратном увеличении и получить более полное представление о характере износа при 1000-кратном увеличении. Ферроскоп *FS-6* оснащен источниками отражающего и проходящего света, что позволяет освещать феррограмму можно сверху и снизу. Красный источник света над феррограммой, заставляет свет отражаться от частиц, а зеленый под феррограммой вызывает передачу света. Любые металлические частицы будут отражать свет, а неметаллические частицы будут пропускать свет и казаться прозрачными.



*a*



*б*

Рисунок 8 – Бихроматический ферроскопы: *a* – *MT8100F*; *б* – *FS-6*

***Аналитическая феррографическая лаборатория SpectroT2FM Q500*** (Великобритания) (рисунок 9) [9] – это комплексный аналитический инструмент для отделения и анализа частиц износа и загрязнений в отработанных смазочных маслах, охлаждающих жидкостях, гидравлических жидкостях и топливе. Лаборатория включает в себя устройство феррограф T2FM для изготовления феррограмм, видеокамеру, бихроматический микроскоп и программное обеспечение для анализа изображений.



Рисунок 9 – Аналитическая феррографическая лаборатория *SpectroT2FM Q500*

#### **Список использованных источников**

1. Seifert, W.W. A method for the study of wear particles in lubricating oil / W.W. Seifert; V.C. Westcott // *Wear*. – 1972. – Vol. 21. – P. 27–42.
2. Westcott, V. Ferrographic Oil and Grease Analysis as Applied to Earthmoving Machinery / V. Westcott // *SAE Technical Paper 750555*. – 1975.
3. Patent WO85/04715. Method and apparatus for assessing particle deposits / Inventors: A.R. Lansdown, D.B. Jones, A.L. Price – № 85/04715; patented Oct. 24, 1985. – PCT.
4. YJF-3 Thistle Tube Oil Analytical Ferrography / yateks® [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://yateks.com/product/oil-analytical-ferrography/>. – Date of access: 15.08.2021.
5. YTF-8 Dual Slide Analytical Ferrography / yateks® [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://yateks.com/product/dual-slide-analytical-ferrography/>. – Date of access: 15.08.2021.

6. ANALEX\_RPD – Rotary Particle Depositor / #FG-K19026-KW / Parker [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ph.parker.com/us/en/analex-rpd-rotary-particle-depositor/fg-k19026-kw>. – Date of access: 15.08.2021.

7. Bichromatic Ferrographic Microscope / MicroscopeWorld [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://www.microscopeworld.com/p-958-bichromatic-ferrographic-microscope.aspx>. – Date of access: 15.08.2021.

8. Ferroscope – Wear Debris Analysis (Ferrography) / Trico [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://www.tricocorp.com/product/ferroscope/>. – Date of access: 15.08.2021.

9. SpectroT2FM Q500 Analytical Ferrography Laboratory / SciMED™ [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://www.scimed.co.uk/product/spectrot2fm-q500-analytical-ferrography-laboratory/>. – Date of access: 15.08.2021.

**УДК 631.3-6**

## **МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В МОТОРНОМ МАСЛЕ СОГЛАСНО ASTM 7684**

*Студент – Спиридович П.М., змаг 21 тс, 1 курс, ФТС  
Научные*

*руководители – Капцевич В.М., д.т.н., профессор;  
Корнеева В.К., к.т.н., доцент*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Показана возможность использования оптической микроскопии для анализа размеров, формы, количества и природы продуктов износа, содержащихся в моторном масле.

**Ключевые слова:** моторное масло, продукты износа, оптическая микроскопия.

Одним из важнейших элементов конструкции двигателя является работающее моторное масло [1], от качества которого во многом зависит надежность работы всех трущихся сопряжений двигателя. Кроме того, моторное масло является источником информации как о своем состоянии, так и о состоянии механизмов и узлов сельскохозяйственных машин.

Стандарт ASTM 7684 [2] разработан для анализа твердых частиц загрязнений различной природы в моторных и других маслах, извлекаемых путем (рисунок 1):

– аналитической феррографии с линейной системой осаждения (рисунок 1, а);