

А. С. Кузема, д.ф.-м.н, проф., (Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы, Украина),
П. А. Кузема, к.х.н, с.н.с. (Институт химии поверхности им. А. А. Чуйко НАН Украины, г. Киев,
Украина)

Влияние срока эксплуатации автомобильного двигателя на механические примеси в его смазке

Описаны устройство и процедура пробоподготовки для анализа высокодисперсных, в том числе ферромагнитных, порошков методом электронной микроскопии в применении к изучению дисперсных примесей в смазке и фильтре автомобильных двигателей. Результаты спектрального и дисперсного анализа этих примесей показывают, что их дисперсность и химический состав зависят от технического состояния автомобильного двигателя, и этот аналитический подход можно использовать для оценки качества смазки и прогнозирования ее пригодности для дальнейшего использования, а также для оценки степени износа деталей двигателя и определения его ресурса до капитального ремонта.

Ключевые слова: магнитное поле, моторное масло, ультразвук, ферромагнитные частицы, электронная микроскопия

Описано пристрій та процедуру пробопідготовки для аналізу високодисперсних, у тому числі феромагнітних, порошків методом електронної мікроскопії у застосуванні до вивчення дисперсних домішок у мастилі та фільтрі автомобільних двигунів. Результати спектрального і дисперсного аналізу цих домішок показують, що їх дисперсність та хімічний склад залежать від технічного стану автомобільного двигуна, і цей аналітичний підхід можна використовувати для оцінки якості мастила та прогнозування його придатності до подальшого використання, а також для оцінки ступеня зносу деталей двигуна і визначення його ресурсу до капітального ремонту.

Ключові слова: магнітне поле, моторне масло, ультразвук, феромагнітні частинки, електронна мікроскопія

The device and sample preparation technique for the analysis of fine particles, including ferromagnetic powders, by means of electron microscopy have been described adapted to the determination of disperse contaminants in car engine lubricant. The results of spectral and disperse analysis of these contaminants reveal that their dispersity and chemical composition depend on the car technical conditions, and this analytical approach can be used to estimate the operational capabilities of the lubricant and predict its usability for further operation, as well as to evaluate the extent of the car engine parts wear and determine the engine life before overhaul.

Keywords: magnetic field, engine oil, ultrasound, ferromagnetic particles, electron microscopy

Вступление

Определение пригодности моторных масел и оценка их качества стали в последнее время одним из перспективных направлений диагностики двигателей. Другой, не менее важной проблемой в вопросе оценки состояния автомобильного двигателя является разработка новых и совершенствование существующих методов количественного и качественного анализа состава механических примесей в его смазке, в частности – определения формы и размеров металлических частиц и примесей на их поверхности [1-3].

Среди методов, которые используются для изучения физико-химических свойств металлических частиц микронных размеров, одно из приоритетных мест занимает электронная микроскопия [4], которая позволяет определять морфологические свойства таких частиц. Достоверность полученных при этом результатов определяется качеством приготовления препаратов, которое трудно сделать высоким в том случае, если частицы имеют магнитные свойства. Эффект слипаемости частиц, обусловленный магнитными взаимодействиями между ними, приводит к тому, что

значительные участки площади их поверхности становятся скрытыми от наблюдения. Указанные трудности можно устранить одновременным воздействием на препарат ультразвуком и магнитным полем. При этом используются силы отталкивания между одноименными полюсами намагниченных частиц порошка и эффект уменьшения сцепления частиц в ультразвуковом поле.

Постановка задачи

Целью работы являлась разработка устройства, устраняющего агрегирование ферромагнитных частиц при электронно-микроскопических исследованиях, а также применение этого устройства для исследования механических примесей в фильтре и смазке автомобильных двигателей.

Результаты

Дисперсный анализ механических примесей в масле дизельного и карбюраторного двигателей, результаты которого приведены в работе [3], свидетельствует о существенном отличии продуктов износа трущихся деталей этих двигателей. Необходимо отметить, что в работе [3] результаты были получены при

относительно небольшом периоде эксплуатации двигателей (60-480 часов), что ухудшает достоверность оценки их технического состояния. В данной работе изложены результаты дисперсного и химического состава частиц в масле, которое работало длительный период (5000 км и 10000 км пробега). При этом для повышения качества результатов исследований из ферромагнитного порошка удаляли для анализа магнитную фракцию частиц смазки.

Образцы для анализа готовили, используя как отработанное масло, так и сами фильтры. Масло отбирали из двигателей разных марок легковых автомобилей, которые имели пробег от 2000 км до 10000 км. После отбора проб объемом 500 см³ масло разбавляли бензином А-76, и каждый образец разделяли на две пробы по 250 см³ каждая. Затем пробы разбавляли бензином (800 см³) и тщательно перемешивали. Полученную смесь оставляли на сутки для осаждения примесей, которые находились в масле. После этого разбавленное масло сливали, а осадок, который остался, промывали бензином еще раз и отстаивали в течение суток. Подготовленные таким образом пробы пропускали через фильтровальную бумагу.

Для конечного очищения полученных примесей из масла, их смывали из фильтровальной бумаги ацетоном, и полученный раствор вновь пропускали через чистую фильтровальную бумагу, которую потом просушивали при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Чтобы взять пробы из фильтра, последний промывали бензином из расчета 1000 см^3 бензина на один фильтр, остальные операции выполняли по аналогии с вышеописанной методикой.

Разделение полученных примесей на магнитную и немагнитную фракции осуществляли с помощью постоянного магнита, который подкладывали под листок бумаги с расположенными на нем примесями и стряхивали немагнитные примеси на другой листок бумаги. Затем фракции взвешивали на цифровых весах с точностью взвешивания $0,01 \text{ г}$.

Дисперсный и химический состав примесей, выделенных из масла двигателя, определяли с помощью растрового электронного микроскопа РЕММА-102, оборудованного рентгеновским спектрометром. Перед проведением исследований проводили специальную подготовку образцов, которая состояла в том, что примеси наносили на пленку и напыляли на частички тонкий слой серебра для улучшения электропроводимости образца.

Практическая реализация магнитного и ультразвукового воздействия на препарат осуществлялась с помощью устройства, используемого совместно с ультразвуковым диспергатором УЗДН-2Т или УЗДН-А [4]. Конструктивно это устройство (рис. 1) представляет собой конусообразную насадку к излучателю диспергатора. Насадка выполнена из нержавеющей стали и состоит из корпуса 1, амортизирующих резиновых прокладок 3 и осесимметричного постоянного магнита из сплава самарий-кобальт 2. Магнит ориентирован таким образом, чтобы силовые линии магнитной индукции были перпендикулярны торцевой поверхности насадки. Насадка вместе с рабочим излучателем диспергатора составляют механическую резонансную систему на частоте

ультразвуковых колебаний 22 кГц . Кольцевая проточка на головке насадки служит для установки пружинного прижима из немагнитного материала для удержания пленки-подложки 4 (рис. 2) на рабочей поверхности насадки. Вместо пружинного прижима можно использовать иглу из немагнитного материала.

Постоянный магнит, расположенный в насадке, создает магнитную индукцию \vec{B} , величина которой изменяется пропорционально от расстояния h до торцевой поверхности насадки. С помощью пружинного прижима укрепляют пленку-подложку 4 в центре излучающей поверхности насадки в зоне действия однородного магнитного поля. Индукция магнитного поля в месте расположения пленки-подложки выбирается такой, чтобы исследуемый ферромагнитный порошок 5 намагничивался до насыщения. При воздействии магнитного поля, созданного магнитом 2, на частицы 5 ферромагнитного порошка, на их концах возникают магнитные полюса, которые создают поле, частично замыкающееся вне частицы. При этом возникают силы отталкивания между одноименными полюсами частиц и силы притяжения между разноименными полюсами частиц и постоянного магнита. Существуют также силы трения между частицами. Под воздействием этой системы сил частицы ферромагнитного порошка выстраиваются в цепи (Рис. 2, а), ориентируясь вдоль силовых линий внешнего поля магнита 2. При наложении на пленку-подложку ультразвуковых вибраций силы трения между частицами уменьшаются, и они устремляются к магниту, одновременно отталкиваясь друг от друга. Частицы «растекаются» по пленке-подложке и располагаются изолированно друг от друга (Рис. 2, б). Избыток частиц скапливается на краю рабочего торца насадки в зоне действия краевого неоднородного магнитного поля. Это поле образуется между ферромагнитными частицами порошка и обуславливает появление силы, величина и

направление которой определяются соотношением [5]: $\vec{F} = \text{grad} (\vec{P}_m \vec{B})$,

где \vec{F} – сила, действующая на феррочастицу в магнитном поле; \vec{P}_m – магнитный момент частицы; \vec{B} – индукция магнитного поля.

В целях обеспечения длительной эксплуатации насадки укажем некоторые особенности методики ее использования. Насадку устанавливают на блоке излучателей диспергатора рабочей поверхностью вверх. Для приготовления препарата пленку-подложку укрепляют в центре торцевой поверхности насадки. Между острием пружинного прижима и пленкой-подложкой помещают прокладку из тонкой резины диаметром около одного миллиметра. Затем на пленку-подложку наносят ферромагнитный порошок или примеси, извлеченные из смазки, так, чтобы они покрыли ее поверхность. После этого включают ультразвуковой диспергатор, предварительно настроенный в резонанс с излучателем, и, плавно увеличивая мощность, подводимую к излучателю, добиваются «растекания» частиц образца по торцевой поверхности насадки, после чего диспергатор выключают. Подложку снимают и закрепляют на ней частицы напылением угольной пленки. Этим достигается уменьшение загрязнения объективной линзы микроскопа частицами магнитного порошка. Препарат готов к исследованию.

При всех манипуляциях с пленкой-подложкой рекомендуется пользоваться немагнитным пинцетом. Резиновую прокладку и острие пружинного прижима следует располагать ближе к краю пленки-подложки. Момент «растекания» порошка по торцевой поверхности насадки является критерием готовности препарата. Он может наступить при различных мощностях, подводимых к насадке, и зависит от коэффициента трения между частицами исследуемого магнитного порошка. По мере накопления

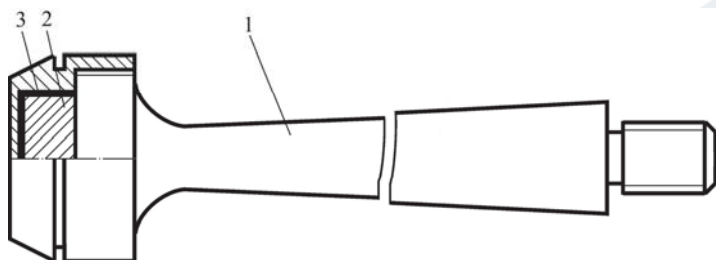


Рис. 1. Схема устройства: 1 – насадка; 2 – магнит; 3 – амортизирующие прокладки

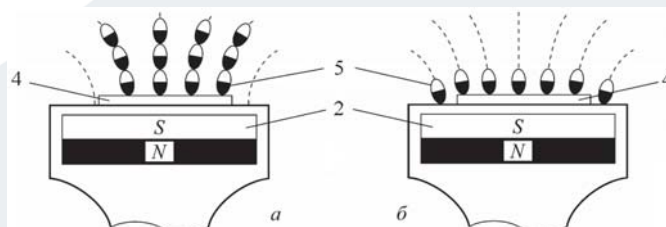


Рис. 2. Расположение частиц порошка в поле постоянного магнита:

а – без ультразвука; б – с применением ультразвука; 1 – насадка; 2 – магнит; 3 – амортизирующие прокладки; 4 – пленка-подложка; 5 – частицы ферромагнитного порошка

навыка работы с устройством можно вместо применения пружинного прижима фиксировать пленку-подложку немагнитной иглой. Пленкой-подложкой может служить коллодиевая пленка, укрепленная на поддерживающей сетке, или слюдяная пластинка. Последнюю можно использовать для препарирования суспензий магнитных порошков в летучей жидкости. Рекомендуется использовать свежеприготовленную коллодиевую пленку.

Устройство позволяет оттенять исследуемый объект, находящийся в ориентирующем магнитном поле, ортогональном плоскости подложки. Для этого насадку вместе с укрепленной пленкой-подложкой после распределения на ней частиц снимают с излучателя диспергатора и помещают в вакуумную напылительную установку, где и проводят оттенение каким-либо тяжелым металлом. Не рекомендуется работа устройства на воздухе в течение более 10 секунд. Помимо изучения свойств ферромагнитных порошков устройство может быть использовано для исследований в химии, биологии и медицине с целью обеспечения одновременного воздействия ультразвука и магнитного поля на объекты и процессы.

Микрофотографии поверхностей примесей в фильтре и масле двигателя некоторых автомобилей, полученные с использованием вышеуказанного устройства, приведены на рис. 3-6.

В результате выполненных исследований установлено, что причин загрязнения масла в двигателе легкового автомобиля несколько. Через фильтр проходит около 10 тысяч литров масла. При этом десятки, а иногда и сотни литров масла проходят во время холодных запусков двигателя, когда перепускной клапан фильтра открыт, и вся абразивная смесь следует непосредственно к трущимся деталям. При запуске двигателя в зимний период прогрев масла до 70°C происходит в среднем за 25-30 минут. Значительную часть этого времени перепускной клапан фильтра открыт, и неочищенное масло циркулирует в обход фильтрующего элемента. Существенное загрязнение масла происходит и в период обкатки двигателя, когда в двигатель попадают остатки стружки, и масло насыщается металлическими частицами. В процессе эксплуатации двигателя характер механических примесей в его смазке меняется, поэтому определение влияния длительности экс-

плуатации двигателя на дисперсный и химический состав этих примесей, может быть одним из перспективных направлений его диагностики. Возможность такой диагностики может базироваться на существующей взаимосвязи между качеством работающей смазки и техническим состоянием двигателя, поскольку физико-химические и эксплуатационные показатели работающего в двигателе масла являются носителями информации не только о пригодности масла для дальнейшего использования, но и о процессах износа важных деталей двигателя и эффективности работы агрегатов системы доставки топлива, смазки и охлаждения.

Дисперсный состав магнитных примесей, извлеченных из фильтра и смазки автомобиля «Шевроле Авео» (рис. 7), свидетельствует о том, что большая часть примесей находится в диапазоне размеров от 4 до 14 мкм. Частицы, извлеченные из фильтра, имеют несколько больший диапазон размеров и, как видно из кривой распределения частиц по размерам, большая доля от общего их числа находится в диапазоне от 5 до 12,5 мкм. В смазке максимум соответствует частицам размером 1,5-2 мкм, которые состав-



Рис. 3. Фото примесей, извлеченных из смазки автомобиля «Шевроле Авео»



Рис. 4. Фото примесей, извлеченных из фильтра автомобиля «Славута»



Рис. 5. Фото примесей, извлеченных из фильтра автомобиля «Шевроле Авео»



Рис. 6. Фото примесей, извлеченных из смазки автомобиля «Газель»

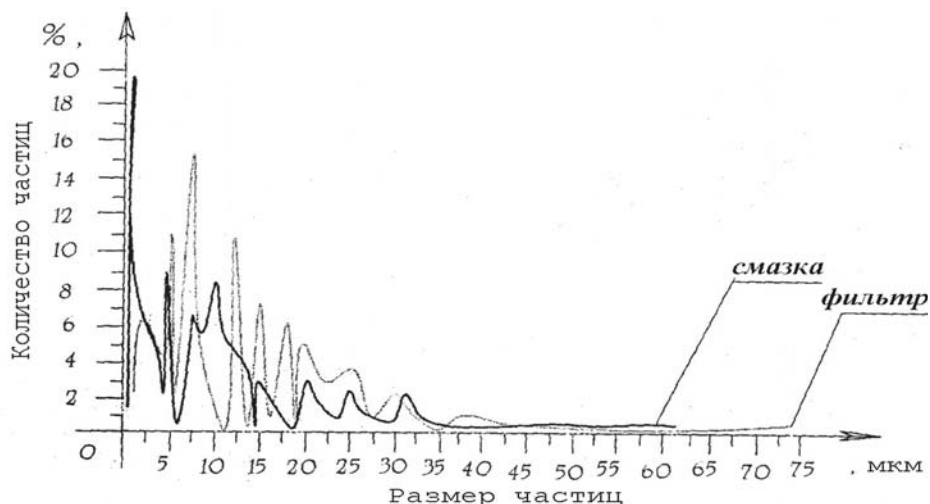


Рис. 7. Дисперсный состав магнитных примесей, извлеченных из фильтра и смазки автомобиля «Шевроле Авео»

ляют около 20% от общего количества примесей, найденных в двигателе. Наличие большого количества примесей в смазке можно объяснить тем, что масляный фильтр данного автомобиля не совершенен. Проанализировав кривую распределения примесей, выделенных из смазки (рис. 7), можно утверждать, что фильтр эффективно удерживает частицы размером 15 мкм и больше. С уменьшением размеров частиц задерживающая способность фильтра падает. Определенный состав примесей, полученных из смазки и фильтра, достаточно богат на разные химические элементы, но значительную долю среди них занимают лишь несколько. Так, наибольшую концентрацию имеет железо, сера и алюминий. Из полученных данных видно, что содержание и количество элементов, которые находятся в смазке, несущественно отличается от элементов, найденных в фильтре автомобиля.

С целью определения зависимости содержания магнитных примесей от типа масляного фильтра, проведен дисперсный анализ примесей, взятых из автомобилей «Славута» и «Шевроле Авео». Результаты показали, что в фильтре двигателя автомобиля «Славута» достаточно большое количество примесей (около 27%) составляют частицы размером 2-3 мкм, а в случае автомобиля «Шевроле Авео» значительное количество примесей (около 16%) – это частицы размером 7-8 мкм. Такую разницу можно объяснить тем, что автомобиль «Славута» имел новый двигатель и меньший пробег, чем «Шевроле Авео». Также следует отметить, что на автомобилях были установлены масляные фильтры разных производителей и марок, что также могло повлиять на содержание примесей в этих фильтрах.

Проведенный спектральный анализ извлеченных из смазки примесей (табл. 1, 2) обнаружил богатое содержание различных химических элементов, однако общая доля большинства элементов является незначительной.

В большом количестве в примесях найдены лишь несколько элементов: железо, алюминий, кремний и сера. Результаты спектрального анализа показывают, что содержание в смазке таких элементов, как сера и цинк, которые попадают в смазку вместе с присадками, дают возможность оценить эксплуата-

использовать метод электронной микроскопии со специальной процедурой пробоподготовки, устраняющей агрегирование ферромагнитных частиц. Состав примесей в моторном масле автомобильных двигателей зависит от технического состояния автомобиля, и эту зависимость можно использовать для контроля ресурса двигателя и качества его смазки. Наличие в моторном масле таких элементов, как сера и цинк, которые попадают в смазку вместе с присадками, позволяет оценить эксплуатационные возможности смазки и спрогнозировать ее пригодность для дальнейшей эксплуатации. По содержанию в смазке и фильтре примесей железа и алюминия, которые являются продуктами износа деталей двигателя, можно оценить степень износа этих деталей и определить ресурс двигателя до капитального ремонта. Результаты выполненных исследований показывают, что загрязнение моторного масла механическими примесями происходит из-за плохой конструкции фильтра. Необходимо внедрять в производство новый фильтр с двумя фильтрующими элементами – основным и дополнительным. Последний в схеме доставки смазки расположен перед перепускным клапаном и надежно защищает масло и двигатель от абразивных частиц.

Таблица 1. Спектральный анализ магнитных примесей, полученных из фильтров автомобилей «Славута» и «Шевроле Авео»

Марка автомобиля	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	P	Cr
«Славута»	0	3,145	4,269	0,411	1,282	5,110	0,016	0	----	----
«Шевроле Авео»	0	1,193	0,235	0,129	0,065	8,735	0	0	0,064	0,010

Таблица 2. Спектральный анализ магнитных примесей, полученных из смазки автомобилей «Шевроле Авео» и «Газель»

Марка автомобиля	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ti	K
«Газель»	2,680	0,893	2,480	0,860	0,890	9,310	----	1,860	0,040	0,190
«Шевроле Авео»	0	3,079	10,74	0,550	0,620	4,570	0,120	0	----	----

ционные возможности смазок. По содержанию в смазке и фильтре железа и алюминия, которые являются продуктами отработки деталей двигателя, можно определить его ресурс до капитального ремонта.

Выводы

Диапазон размеров магнитных и немагнитных частиц, извлеченных из смазки и фильтров легковых автомобилей, лежит в промежутке микронных значений, и для определения их дисперсного и химического состава можно эффективно

Список литературы

1. Е.П. Котов, М.И. Руденко. Ленты и диски в устройствах магнитной записи. – М.: Радио и связь: 1986. – 224 с.
2. Г.П. Лышко. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. – М.: Колос, 1975. – 256 с.
3. Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. – М.: Колос, 1982. – 208 с.