

УДК 62.229.315 (0 45)

А.У. Стельмах, А.В. Куцев¹, С.П. Шимчук²¹Национальный авиационный университет²Луцкий национальный технический университет

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

В статье приведены результаты качественного и количественного исследования загрязнений удаленных разработанным авторами и реализованным магнитно-турбулентным методом очистки подшипников качения, которые подтверждают его высокую эффективность. Ключевые слова: очистка, поверхность, виброакустические характеристики, частицы загрязнения, магнитно-турбулентный метод, подшипник качения.

Введение. Производство и эксплуатация подшипников качения сопровождаются целым комплексом сложных физико-технологических процессов изготовления, доводки и сборки, в ходе которых на поверхностях колец, тел качения и сепаратора осаждаются и удерживаются твердые микро- и нанометровые частицы различной природы. Такого рода загрязнения из подшипников качения в сборе удаляются на заводах-изготовителях хорошо зарекомендовавшими себя методами гидравлической и/или ультразвуковой очистки, как правило, в среде низкомолекулярных углеводородных жидкостей или водных растворов поверхностно активных веществ (ПАВ). Ультразвуковой способ очистки подшипников качения в сборе основан на возбуждении в моющей среде пьезоэлементом ультразвуковых колебаний, вызывающих кавитацию, что сопровождается возникновением и схлопыванием микропузырьков в контакте микрочастиц с поверхностью подшипника. Кавитация микропузырьков при их схлопывании на поверхности позволяет разрушить и разрыхлить высокопрочные органические отложения и удалить микрочастицы, удерживаемые различными силами с поверхностей деталей подшипника.

Постановка проблемы. Несмотря на высокую эффективность известные, в том числе и ультразвуковой методы очистки подшипников качения в сборе, имеют ряд недостатков. Кроме вредного воздействия на человека, ультразвуковой метод реализует одновекторность воздействия по нормали к поверхности пьезоэлемента, и таким образом, не позволяет обрабатывать затененные области [1]. Как следствие, после длительной ультразвуковой очистки подшипники качения характеризуются недостаточными функциональными характеристиками, а именно, коэффициентом трения, вибрации, шума [2].

Поиск альтернативных способов удаления загрязнений с поверхностей подшипников качения в сборе привел к разработке и созданию магнитно-турбулентного метода [3] В лаборатории Нанотриботехнологий НДЧ Национального авиационного университета (г. Киев) разработано и создано ряд лабораторных стендов и методик, позволяющих бесконтактно в течении нескольких минут и одновременно обрабатывать десятки подшипников [4]. Его принцип основан на электромагнитном и гидродинамическом возбуждении, отрыве и удалении ферромагнитных загрязнений переменным импульсным магнитным полем с одновременным воздействием на поверхности объектов очистки турбулентной струей моющей полярной или неполярной жидкости, что позволяет удалить загрязнения различной природы. При этом увеличивается эффективная площадь обработки до 70% в зависимости от типа подшипника за счет бесконтактного принудительного перемещения подвижных элементов и компенсируются магнитные составляющие силы адгезии наиболее опасных ферромагнитных частиц и загрязнений на поверхностях [3, 4]. Для оценки эффективности разработанного метода, стенда и методики проведен ряд исследований, включающих изучение характера и размеров удаляемых частиц загрязнений, а также их влияние на эксплуатационные свойства.

Результаты экспериментальных исследований. Для изучения были взяты десять авиационных подшипников серии 108 одной партии изготовления и поставки, прошедшие все стадии промышленной очистки, в том числе и ультразвуковой, и упакованные предприятием изготовителем в герметическую упаковку, что исключает попадание в них загрязнений извне в процессе транспортировки и позволяет сохранить гарантируемую производителем чистоту. Эти подшипники распаковывались, с их поверхности удалялось консервационное масло, после чего они позиционировались в камере стенда магнитно-турбулентной очистки СМТ-1. Систему циркуляции моющей среды заполнялась очищенным авиационным керосином РТ. Очистка

производилась в автоматическом режиме, длительность 2 мин. с одной стороны. После осушки подшипников и их размагничивания они устанавливались в стенд измерения шумов и вибраций для оценки их функционального качества. Удаленные из подшипников частицы отфильтровывались из моющей среды и промывались изооктаном (рис.1).



Рис. 1. Следы загрязнений на фильтровальном элементе (отмечены стрелками)

После осушки выделенные на фильтровальный элемент загрязнения изучались с помощью оптических, лазерных и электронных микроскопов. Исследование линейных размеров и химического состава выделенных из подшипников частиц производилось на растровом электронном микроскопе РЭМ-106И (рис.2). Отмечалось, что большинство удаленных частиц были металлическими и имели вид чешуек, лепестков, микростружки самых разнообразных форм. Преобладали плоские фрагменты в виде чешуек серебристого цвета размером менее 1 мм. Наиболее крупные частицы были похожи на длинную (до 8 мм) тонкую стружку серого или серебристого цвета. Также обнаружены неферромагнитные частицы округлой или кубической формы, размером до 1 мм. В значительно меньшем количестве замечены темные органические фрагменты неправильной формы, представляющие, вероятно, продукты полимеризации остатков консервационной смазки.

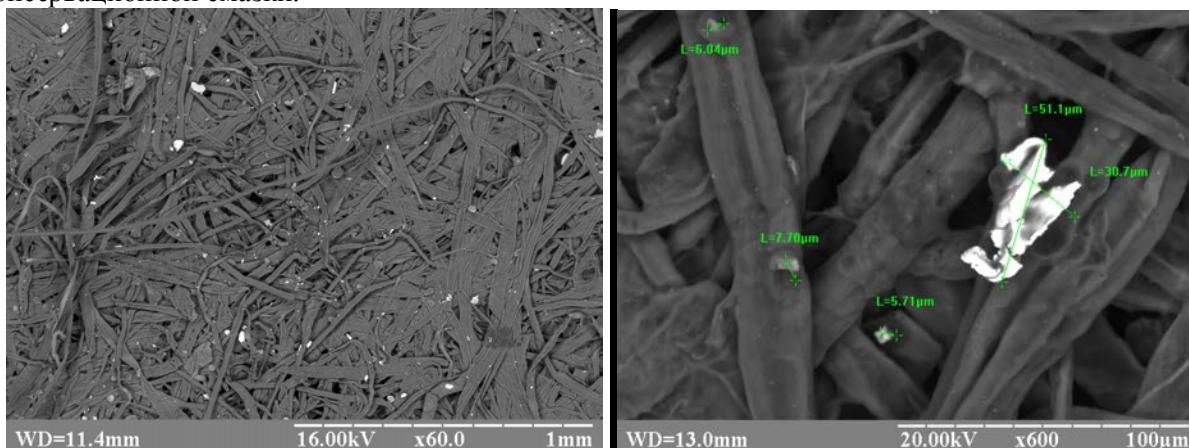


Рис. 2. Частицы загрязнений, удаленные из подшипников в результате очистки магнитно-турбулентным методом выглядят как светлые объекты на поверхности волокон фильтровального элемента (фотографии получены на растровом электронном микроскопе).

В результате исследования химического состава (рис. 3), удаленных из подшипников качения загрязнений установлено, что металлические частицы составляют в основном различного рода продукты механической обработки (металлическая пыль от шлифовки, частицы окалина, фрагменты металлической микростружки). В большинстве своем данный тип загрязнения представлен ферромагнитными сплавами на основе железа, однако отмечались и частицы неферромагнитной природы. Неметаллические частицы в основном представляли собой различные абразивные зерна (в основном оксид алюминия), их фрагменты и результаты дробления, что связано с их применением в производстве деталей подшипников. Также замечены кристаллы оксида кремния и прочие непроизводственные неорганические загрязнения. В значительно меньшем количестве выявлены различные частицы органической природы.

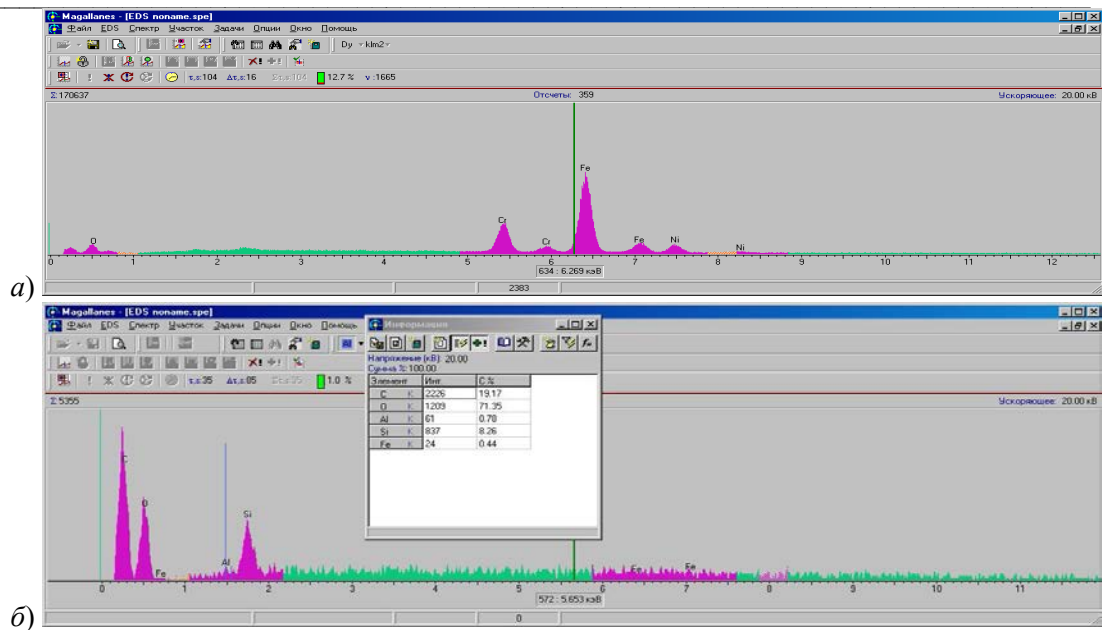


Рис. 3. Спектрограммы химического состава частиц: *а* – металлических, *б* – неметаллических загрязнений.

Исследование геометрических параметров загрязнений позволило установить, что их линейный размер при максимальном порядке 8...10 мм (что учитывая условия эксплуатации подшипников катастрофически влияет на их надежность и рабочие характеристики), в основном находится в диапазоне до 10 мкм. Наибольшие значения были характерны для металлических частиц, тогда как неметаллические (органические и неорганические) в основном не превышали 0,4 мм. Проанализировав частоту обнаружения частиц определенных линейных размеров и природы, был построен график, (рис. 4) отображающий зависимость количества удаленных из подшипника частиц загрязнений от их величины в диапазоне до 10 мкм.

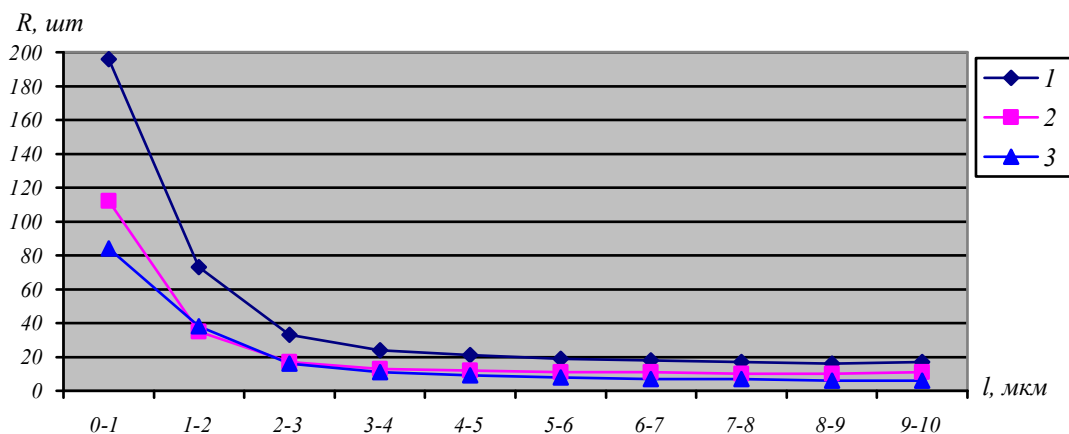


Рис. 4. График зависимости количества удаленных частиц загрязнений R от их среднего линейного размера l и химического состава в диапазоне до 10 мкм: 1 – общего количества от среднего линейного размера; 2 – для ферромагнитных частиц; 3 – для неферромагнитных частиц.

Оценка эффективности разработанного метода импульсной магнитно-турбулентной очистки основывалась на анализе виброшумовых характеристик, которые являются основными показателями качества и состояния подшипников качения [2]. Исследования вибрационных характеристик проводились на измерителе шумов и вибраций ИШВ-003, для чего использовались прецизионные шарикоподшипники с повышенными требованиями по шумам и вибрациям 4-1080096 ШЗУ С21 производства ГПЗ-4 Самара в состоянии поставки заводом-изготовителем количеством 61 единица. Замеры значений общего уровня вибрации производились до очистки и после. При этом наблюдалось на всех подшипниках, в состоянии поставки имевших средний

уровень шумов и вибраций выше 70 дБ его снижение после очистки импульсным магнитно-турбулентным методом на 10...15 дБ (рис.5), что положительно влияет на продолжительность, безотказность и эффективность работы машин и механизмов.

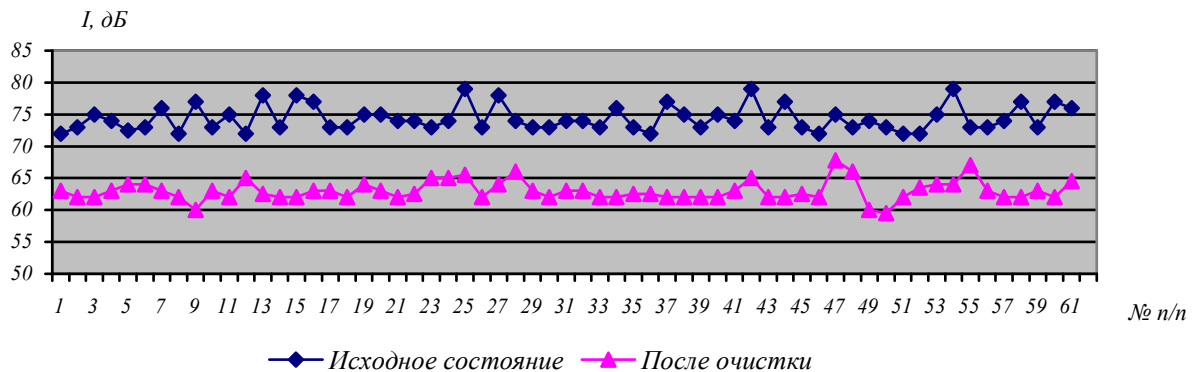


Рис.5. Изменение среднего значения общего уровня вибрации I на подшипниках 4-1080096 ШЗУ С21 после очистки импульсным магнитно-турбулентным методом.

Промышленное исследование эффективности разработанного метода производилось на ЗМКБ «Прогресс» (г. Запорожье), для чего были предоставлены подшипники коробки приводов двигателя АИ-222-25 (инд. Номер №011, 016), прошедшие все стадии промышленной очистки, включая ультразвуковую. Очистка заключалась в обработке на стенде импульсного магнитно-турбулентного метода и для каждого образца длилась 5 мин. В качестве моющей среды использовалось очищенное реактивное топливо РТ. После удаления загрязнений подшипники подвергались сушке, консервации и упаковке. Моющая жидкость пропусклась через фильтроэлементы, которые вместе с выделенными частицами загрязнений возвращены представителю ЗМКБ «Прогресс» для дальнейшего изучения. В результате исследований в заводской лаборатории составлен протокол №П-55/06-БН-ОГМет, согласно которому в пробах с фильтров были обнаружены различной природы и геометрических характеристик частицы (рис.6).

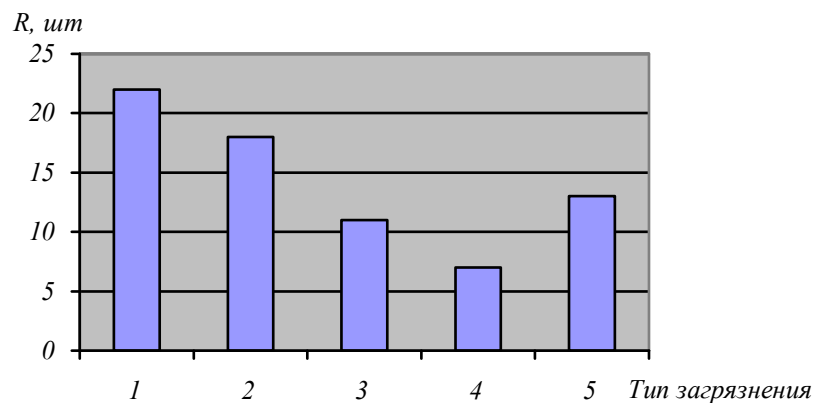


Рис.6. Зависимость количества R удаленных из подшипников коробки приводов авиадвигателя АИ-222-25 производства ЗМКБ «Прогресс» импульсным магнитно-турбулентным методом частиц загрязнений от их типа: 1 – органические волокна различной природы; 2 – остатки консистентной смазки и продуктов коксования смазывающей среды; 3 – песок; 4 – магнитный металл, в том числе и продукты износа; 5 – немагнитный металл.

Линейные размеры обнаруженных загрязнений находились в диапазоне от 20 мкм до 3 мм. Преобладают различного рода органические волокна, а также микрочастицы и субмикрочастицы углерода, которые предположительно являются измельченными продуктами коксования. В значительном количестве наблюдались неорганические абразивные частицы, в частности, песка близкой к кубической, неправильной и округлой форм, фрагменты раздробленных кристаллов абразива. Отмечалось наличие металлических магнитных и немагнитных микро- и

субмикрочастиц. При этом наиболее крупные частицы загрязнения в большинстве своем имеют металлическую природу и представлены фрагментами длинной тонкой стружки.

Выводы. Анализ результатов исследований эффективности методов очистки, полученных в лаборатории Нанатриботехнологий Национального авиационного университета (г.Киев) и ЗМКБ «Прогресс» (г. Запорожье) позволил сделать следующие выводы.

1. Разработанный и реализованный магнитно-турбулентный метод обладает более высокой эффективностью удаления загрязнений с поверхностей по сравнению с известными. Результаты исследований виброакустических характеристик как основных показателей качества и состояния подшипников качения показали их существенное улучшение (снижение общего уровня вибрации на 10...15 дБ).

2. Эффективность удаления загрязнений ферромагнитной и неферромагнитной природы методом импульсной магнитно-турбулентной очистки подтверждена лабораторными и заводскими исследованиями. Универсальность метода обеспечивается использованием импульсного магнитного поля, позволяющего преодолеть коэрцитивную силу удержания ферромагнитных загрязнений и существенным повышением площади взаимодействия потока моющей жидкости с рабочими поверхностями дорожек и тел качения за счет принудительного бесконтактного перемещения подвижных элементов подшипника качения.

3. Известные технологии очистки подшипников качения не позволяют удалить высокодисперсные загрязнения. Об этом свидетельствуют результаты изучения размеров отфильтрованных из моющего раствора загрязнений, согласно которым наибольшее количество наблюдаемых в лабораторных условиях частиц имело средний линейный размер менее 5 мкм при оптимальной методике.

1. Аксьонов О. Ф., Стельмах О.У., Костюнік Р. Є., Куцев О. В. Електромагнітна складова утворення ферромагнітних забруднень.//Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ 2006. – Вип.46. – С. 91 – 102.
2. Стельмах О.У., Костюнік Р.Є., Куцев О.В. Удосконалення вібраційних характеристик шарикопідшипників нафтопереробної промисловості.//Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології». Київ – 2008. – С. 206 – 208.
3. Куцев А.В. Физика процесса бесконтактной магнитно-турбулентной очистки подшипников качения / Куцев А.В. – Луцьк: Наукові нотатки.. – 2011. – №31. – С.182 – 185.
4. Патент на корисну модель UA 59071 U, B08B 3/12 Спосіб безконтактного імпульсного магнітно-турбулентного очищення підшипників кочення. Аксьонов О.Ф., Стельмах О.У., Костюнік Р.Є., Маніта О.С., Куцев О.В., Ба дір К.К., Стельмах О.В., Бондар В.С., Коба В.П., Горенко М.В., Шевченко Р.О., Ковальчук О.Г. Опубліковано 10.05.2011, дата з якої є чинним права на корисну модель 10.05.2011.