

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ КОНТАКТА ПАР ТРЕНИЯ  
МЕТОДАМИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ**

**АКУЛИЧ Я. А.**

**(Брестский государственный технический университет;  
г. Брест, Республика Беларусь)**

В процессе сближения двух поверхностей, находящиеся на них неровности с максимальной высотой, вступают в контакт. При дальнейшем увеличении нагрузки другие неровности, имеющие меньшую высоту, будут вступать в контакт, образуя при этом отдельные пятна контакта, общая площадь которых составляет фактическую площадь контакта поверхностей (ФПК).

Методы аналитического расчета ФПК строятся на геометрических характеристиках поверхностей и в основном используются для условий статического контакта. Тем самым они могут давать, в достаточной степени, приближенные оценки. Вместе с тем, существует достаточное количество экспериментальных методов для определения ФПК поверхностей трения. По классификации, представленной в [1] данные методы можно условно разделить на три основных группы:

– методы, основанные на передаче и переносе энергии, дают возможность определять ФПК, например, по: электропроводности, теплопроводности, нарушению полного внутреннего отражения, прохождению и отражению ультразвуковых волн;

– методы, использующие массоперенос, с помощью которых определяют ФПК, например, по: переносу радиоактивных изотопов, микросмещению и переносу угольной пыли, переносу люминесцентных красок;

– метод, основанный на измерении деформаций определяет ФПК по сближению поверхностей.

Ультразвуковой метод определения ФПК, основанный на прохождении и отражении ультразвуковых волн, так же может быть предложен для исследования твердых сопрягающиеся движущих тел.

В основе ультразвукового метода лежит распространение волн ультразвука в твердых телах. ФПК определяется по величине коэффициента отражения волны от границы раздела сопрягаемых тел. Он рассчитывается как отношение энергии, отраженной к энергии падающей волны. Данный метод позволяет измерять ФПК оптически непрозрачных тел, находящихся в динамическом контакте. Вместе с тем, согласно [2] можно выделить и недостатки данного метода. Главный из них, это рассеяние ультразвуковых колебаний на неровностях поверхности. Важным так

же является зависимость результатов от нагрева при фрикционном контакте соприкасаемых тел и структурной перестройки их поверхностных слоев. Данные недостатки могут быть источником существенной ошибки измерений ФПК и требуют применения компенсационных схем либо введения поправочных коэффициентов.

Диагностика узлов трения проводилась с использованием специально разработанного ультразвукового диагностического комплекса. Он имеет гибкую модульную структуру, основу которой составляет ультразвуковой диагностический эхотомоскоп ЭТС-У-02, имеющий сканирующие ультразвуковые пьезокерамические преобразователи с механическим секторным сканированием. УДК включает в себя также персональный компьютер, лазерный принтер.

При диагностике происходит механическое сканирование контролируемого объекта, помещенного в рабочую жидкость. Принятые эхосигналы подвергаются начальной обработке и отображаются на экране монитора эхотомоскопа в виде акустического изображения. Полученные изображения проходят комплексную обработку с использованием программного обеспечения.

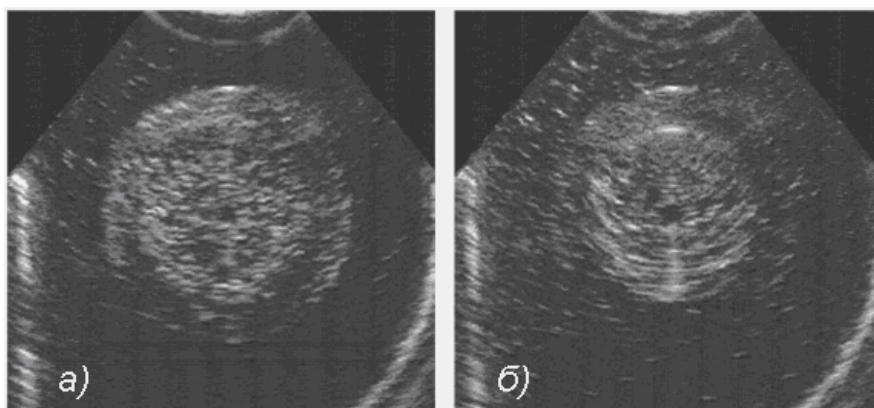
Для диагностики процессов трения, в составе ультразвукового диагностического комплекса используется модернизированная машина трения 2070 СМТ-1. Обеспечение контакта между испытываемой парой трения и ультразвуковым пьезокерамическим датчиком, установленном в специально разработанном приспособлении, осуществляется посредством рабочей жидкости, заполняющей рабочую камеру машины трения. В качестве смазочной среды при испытаниях было использовано масло И-40А, ГОСТ 20799-88.

Испытания проводились по схеме “вал-втулка”. Образец, выступающий в качестве “вала” пары трения был изготовлен из легированной конструкционной стали 40Х с последующей термообработкой до HRC 40...45, ГОСТ 4543-71, а втулки – из чугуна СЧ-25, ГОСТ 1412-85. Параметр шероховатости поверхностей трения образцов составлял  $Ra = 1,25$ .

Скорость скольжения составляла 1 м/с. Нагружение пары трения производилось последовательно, путем пошагового увеличения нагрузки на 500 Н. Акустические изображения диагностируемой пары трения, полученные при помощи ультразвукового сканирования, представлены на рисунке 1.

Полученные акустические изображения пары трения типа “вал-втулка” дают возможность выявить критерии диагностирования узла трения посредством мониторинга областей контакта. Если в контактной области возникают локальные изменения, то существует в несколько раз большая по объему область, в которой существенно изменяется плотность вещества. Тем самым, условия отражения сканирующих акустических импульсов изменяются, что влечет за собой и изменения в акустических изображениях. Так как полученные монохромные акустические изображения представляет собой матрицу точек, каждая из которых имеет ряд градаций яркости, то представляется возможным осуществить программный

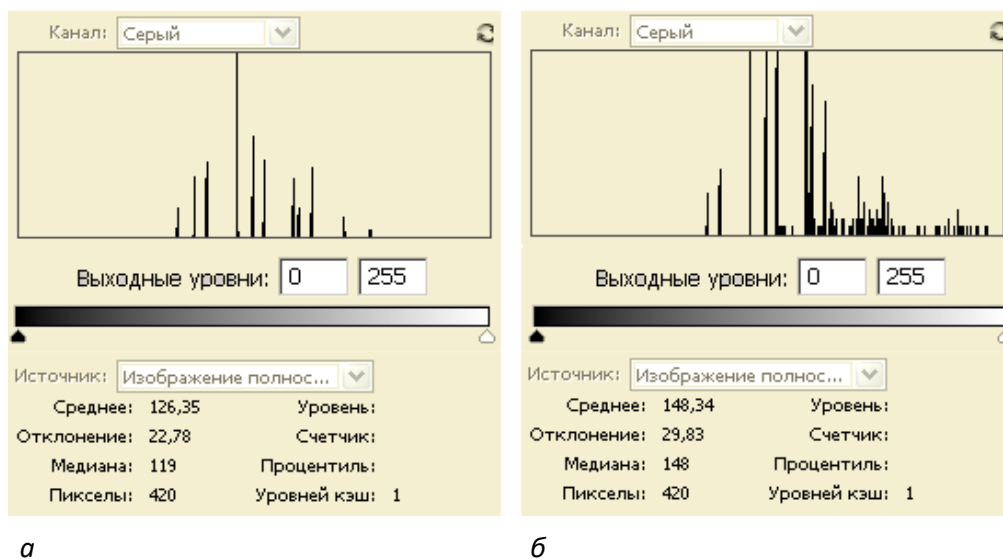
анализ наиболее характерных областей изображения. Каждой точке эхограммы соответствует определенная яркость, таким образом, существует возможность численного расчета яркости выделяемых на изображении областей, соответствующих контакту трущихся поверхностей изделия и определения ее зависимости от трибологических характеристик изделия.



**Рисунок 1. – Акустические изображения пары трения “вал-втулка”:**

- а) скорость скольжения 1,0 м/с, без нагрузки;**
- б) скорость скольжения 1,0 м/с, нагрузка 1000 Н**

Для определения зависимости характеристик яркости определенных характерных областей полученных акустических изображений от изменения условий нагружения пары трения в процессе экспериментальных исследований предлагается использовать гистограммы данных изображений (рисунок 2).



**Рисунок 2. – Гистограммы выделенных областей акустических изображений пар “трения вал-втулка”, при условиях испытания: а) скорость скольжения 1,0 м/с, без нагрузки; б) скорость скольжения 1,0 м/с, нагрузка 1000 Н**

Следует отметить, что на гистограмме участка изображения, соответствующей испытаниям пары трения без нагружения (рисунок 2, а) значения диапазона яркости от 200 до 250 отсутствуют, тогда как при нагружении они имеют достаточно высокие показатели, что соответствует белому и близкому к белому цвету. Такие изменения характерных участков акустических изображений могут свидетельствовать о возможности выявления изменений в области контакта пар трения по их акустическим изображениям.

Таким образом, предлагается критерий количественной оценки триботехнических характеристик трущихся поверхностей, заключающийся в суммировании числа градаций яркости пикселей выделенной области акустического изображения и установлении корреляционной зависимости такой величины от акустических и трибологических параметров трущихся поверхностей.

Проведенные исследования позволяют говорить о возможности диагностики деталей узлов трения с помощью методов ультразвуковой томографии.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трибология. Принципы и приложения. – Гомель: ИМНС, НАНБ, 2002. – 310 с.
2. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах. – Мн.: Высшая школа, 1999. – 374 с.