

АКУСТИЧЕСКИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАР ТРЕНИЯ

В.П. Данилевский¹, Д.А. Костюк², Ю.А. Кузавко³

¹НПК ООО «Корунд»

Брест, Беларусь

²Брестский государственный технический университет

Брест, Беларусь

³Институт радиотехники и электроники РАН

Москва, РФ

Одной из важнейших характеристик движущихся и соприкасающихся деталей механизмов и машин является значение коэффициента трения соприкасающихся материалов, а также их производных — силы трения (момента трения) при поступательном (вращательном) движении. Здесь рассматриваются возвратно-поступательное движение тела по контртелу, вращательное движение вала во втулке (см. рис. 1). Обычно такие исследования проводятся на машине тре-

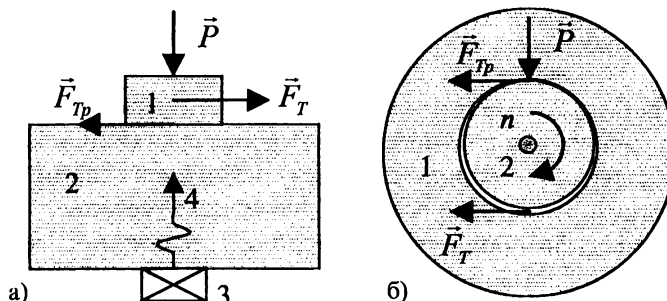


Рисунок 1 – Схемы экспериментальных исследований: а) 1 – тело, 2 – контртело, 3 – ультразвуковой преобразователь, 4 – излученный акустический импульс; б) 1 – втулка, 2 – вал; n – частота вращения, мин⁻¹; $\vec{P}$ – нагрузка, $\vec{F}_{Tp}$ – сила трения, $\vec{F}_T$ – сила тяги.

ния. После определенной наработки без нагружения или с нагружением тело и контртело взвешиваются и таким образом определяется дополнительно к вышеуказанным параметрам еще и их износ.

Нами ранее впервые [1, 2] средствами ультразвуковой экотомоскопии удалось реализовать акустическую визуализацию выбранно-

го сечения пары трения типа вал-втулка в процессе ее испытаний в машине трения. Фиксировалась временная динамика контактного пятна и был предложен соответствующий программно реализуемый критерий регистрации трибологических характеристик эксплуатируемой пары трения (рис. 2). В разработанном ультразвуковом диагностическом комплексе акустическое изображение формировалось соответственно оцифрованному уровню амплитуд отраженных акустических лучей от границ раздела тела и контртела. С другой стороны, как хорошо известно, из информационной теории измерений [3] следует, что частотно-фазовые измерения по сравнению с амплитудными более чем на два порядка точнее. Тем самым, реализуя средства акустической спектроскопии контактных областей пар трения, можно выяснить более тонкую их структуру.

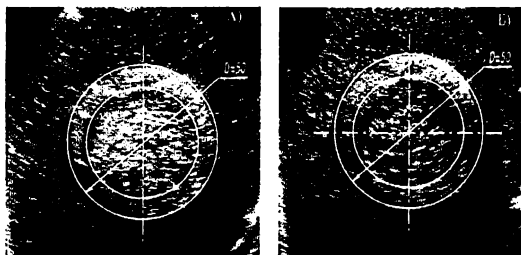


Рисунок 2 – Акустические изображения пар трения, полученные при различных режимах нагружения: а) $n=400 \text{ мин}^{-1}$, $P=500 \text{ Н}$; б) $n=400 \text{ мин}^{-1}$, $P=2000 \text{ Н}$.

В ряде работ [4] нами были заложены и достаточно подробно описаны основы акустики сильно диссипативных сред (СДС). Показано, что при отражении акустического импульсного сигнала от границы твердотельного звукопровода с СДС, а в качестве ее может быть рассмотрена контактная область, в которой возникают сильный нагрев, пластические деформации и даже агрегатные и химические превращения, существенно изменяются амплитуда и фаза сигнала. При этом эти параметры определяются граничными условиями, в которые для СДС входит комплексный тензор механических напряжений. С учетом сказанного они в общем виде запишутся следующим образом:

$$\sigma_{nn}^{(1)} = \sigma_{nn}^{(2)}, \sigma_{n\alpha}^{(1)} = \sigma_{n\alpha}^{(2)} = \xi, u_{\alpha}^{(1)} = u_{\alpha}^{(2)}\eta, u_n^{(1)} = u_n^{(2)}, \quad (1)$$

где $\sigma_{n\alpha}$ – тензор механических напряжений, u_{α} – деформация, n – нормаль к границе сред, α – обозначает две декартовы координаты, перпендикулярные нормали. При $\xi \neq 0$, $\eta = 1$ имеет место граница двух твердых тел при наличии смазки, а при $\xi = 0$ и произвольном η реали-

зуется их склейка. Мнимая часть $\sigma_{\text{на}}^{(2)}$ определяет диссипацию ультразвуковой энергии именно в контактной области, обуславливающую комплексный вид коэффициента отражения R_{ω} .

Использованные в исследованиях ультразвуковые преобразователи излучали акустические продольные импульсы короткой длительности, их широкополосность составляла более 70% по частоте от резонансной частоты преобразователя. При этом относительно движение тела и контртела в силу значительного преобладания скорости звука над их относительной скоростью перемещения практически не влияла на формирование отраженного сигнала. Реально существующее трение в паре трения сказывалось на виде граничных условий (1), а так как коэффициент отражения сигнала находится из (1) после подстановки туда решений волновых уравнений, то по амплитуде и фазе отраженного сигнала удавалось количественно судить об оговоренных выше трибологических характеристиках и виде трения (со смазкой и без). Проведя дополнительные исследования по износу поверхностей испытываемых или эксплуатируемых изделий, можно было установить корреляционную зависимость степени износа от нагружения. Таким образом возникает новый быстродействующий способ диагностики пар трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулич Я.А., Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Программная обработка акустических изображений пар трения. / Современные направления развития производственных технологий и робототехника. Международная научно-техническая конференция, Могилев, 1999 — с. 81
2. Акулич Я.А., Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Компьютерная обработка ультразвуковых эхотограмм объектов трения типа вал-втулка. // «Вестник БГТУ. — Машиностроение, автоматизация, ЭВМ», №4, 2000 — с. 51–53.
3. Крылович В.И. Ультразвуковые частотно-фазовые методы исследования и неразрушающего контроля. Мн.: Наука и техника, 1985 — 175 с.
4. Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Аномалии граничного отражения ультразвука от диссипативной среды. // Письма в ЖТФ, 2001, том 27, вып.23 — с. 31–40