УДК 681.586.773

АКУСТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Е.М. Крючков, М.Ю. Ларионов, А.В. Новичихин, А.А. Пинус, С.П. Пронин, В.Н. Седалищев, А.В. Собачкин
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

В статье предложен метод использования высокочувствительных режимов связанных колебаний пьезорезонаторов для исследования влияния механических нагрузок на характеристики акустического контакта между твердыми телами.

Ключевые слова: связанные колебания, пьезорезонатор, акустический контакт.

Исследование физико-механических характеристик поверхностей твердых тел, пленочных покрытий, в том числе микро - и нанопокрытий в настоящее время является важной и актуальной задачей [1, 2]. В последние годы для определения твердости и модуля упругости поверхностных слоев все шире используют метод непрерывного измерительного идентирования, в том числе и наноидентирование [2, 3]. Но в материалах с высокой долей упругой деформации этот метод приводит к завышенным значениям твердости. Высокое упругое восстановление проявляется в уменьшении размеров отпечатка при снятии нагрузки. Поэтому для материалов с высоким значением упругого восстановления нельзя определить твердость корректно, используя традиционные методы измерения параметров отпечатка. Традиционные методы определения твердости также не годятся для определения твердых и сверхтвердых покрытий, так как при малых нагрузках размер отпечатка настолько мал, что часто его невозможно наблюдать в оптический микроскоп, а большие нагрузки вызывают образование трещин. В связи с этим представляет интерес поиск новых методов определения не только физико-механических характеристик поверхностей твердых тел и покрытий, но и оценки их трибологических свойств.

Одним из возможных подходов к решению данной проблемы может служить разработка метода измерения фактической площади акустического контакта нагружаемых поверхностей с использованием связанных колебаний пьезорезонаторов (ПР) [4, 5]. К достоинствам данного метода можно отнести высокую чувствительность и возможность измерения не только физико-механических, но и трибологических характеристик твердых материалов и покрытий, в том числе и нанопокрытий.

Суть предлагаемого метода заключается в использовании высокочувствительных режимов связанных колебаний резонаторов, для исследования влияния механических нагрузок на характеристики акустического контакта между твердыми телами, покрытиями. В качестве резонаторов могут использоваться специальные образцы из исследуемых материалов или с исследуемыми покрытиями. Для этой цели также может быть разработано специальное измерительное устройство с фиксированным усилием прижатия контактной группы к исследуемой поверхности. На рисунке 1 приведены фотография и профилограмм микрорельефа контактирующих поверхностей пьезорезонаторов, которые использовались в качестве исследуемых образов в экспериментальной установке.

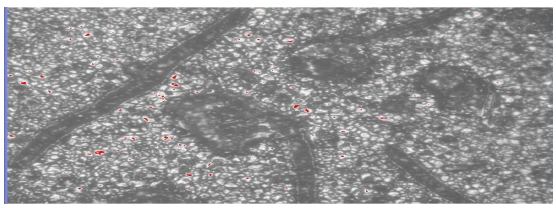

Рисунок 1 – Фотография микрорельефа

Как видно из приведенного рисунка контактирующие поверхности характеризуются наличием микронеровностей, размер которых может достигать несколько микрометров. Размер и взаимное расположение таких неровностей, упругие пластические и деформации микровыступов под действием сдавливающих усилий определяют величину и характер акустической связи взаимодействующих пьезорезонаторов. В зависимости от физической природы элемента связи, конструк-

ции и режимов работы колебательной системы ИП связь между резонаторами может быть, инерционной, упругой или диссипативной (индуктивной, емкостной или резистивной - для электрических колебательных систем), последовательной и параллельной, продольной и поперечной, внешней и внутренней. Использование различных видов и типов связей между резонаторами предопределяет широкие возможности практического использования данного метода для решения самых разнообразных измерительных задач.

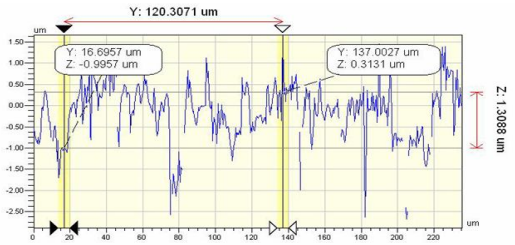

Рисунок 2 – Профилограмма микрорельефа поверхности

Как известно из теории колебаний [6], при достаточно сильной связи колебательная система с двумя степенями свободы может иметь два выраженных максимума АЧХ. На одной из нормальных частот синхронизации (НЧС) системы колебания осцилляторов происходят в фазе, а на другой НЧС – в противофазе.

При возбуждении первой нормальной частоты синхронизации системы (1НЧС) резонаторы совершают противофазные радиальные колебания, но выходные напряжения ПЭТ при этом могут находиться как в фазе, так и в противофазе, в зависимости от характера согласования направлений поляризации пьезоэлементов. Элемент связи на 1НЧС не участвует в колебаниях, так как в области соприкосновения пьезоэлементов происходят однонаправленные движения контактирующих плоскостей, но будет определять уровень связи между взаимодействующими пьезорезонаторами.

Таким образом, воздействуя на величину контактной жесткости ПР можно управлять выходными параметрами колебательной системы датчика. Данный механизм чувствительности ИП можно использовать для исследования упругих свойств материалов, покрытий, измерять усилия и т.п.

При возбуждении в системе колебаний на второй, более высокой НЧС, пьезорезонаторы совершают противофазные радиальные колебания. При этом контактирующие поверхности совершают противоположно направленные движения в радиальном и в поперечном направлении, и эквивалентная жесткость контакта будет определяться наличием как продольных, так и поперечных деформаций микронеровностей. При этом представляет особый интерес ситуация, когда в результате недостаточности усилия сдавливания ПР или при больших амплитудах противоположно направленных движений контактирующих поверхностей произойдет срыв упругих сдвиговых деформаций микронеровностей, в результате чего возникнет трение скольжения контактирующих поверхностей. Такое радикальное изменение механизма взаимодействия ПР вызовет соответствующее изменение выходных параметров ИП.

Например, преобладание резистивной связи в механизме взаимодействия пьезорезонаторов обусловит резкое уменьшение амплитуды колебаний приемного ПР на второй НЧС, так как при резистивной связи на частоте противофазных колебаний осцилляторов резонанс не возбуждается. Измеряя параметры связанных колебаний контактирующих ПР можно исследовать различные физико-механические характеристики контакта. С использованием данного метода определять твердость материала, шероховатость поверхности, модули упругости продольных и сдвиговых деформаций, коэффициенты трения качения, скольжения, покоя и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычев. С. И., Алехин В.П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием. Машиностроение, М. 1990. 224 с.
2. Федосов С. А., Пешек Л.. Определение механических свойств материалов микроидентированием. Современные зарубежные методики. МГУ. М. 2004. 100 с.
3. Гуткин М.Ю., Овидько И.А.. Физическая механика деформируемых наноструктур. Янус. СПб. 2003. Т. 1. 194 с.
4. Седалищев В. Н., Хомутов О. И. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации. – Барнаул: АлтГТУ, 2006. 184 с.
5. Седалищев В. Н. Измерительные устройства, основанные на реализации связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах. // Ползуновский вестник. 2006. №2. – С. 264-270.
6. Андронов А.А. Теория колебаний/ А.А. Андронов, С.Э. Хайкин, А.А. Витт. – М.: Наука,1981. 563 с.

Крючков Евгений Михайлович – аспирант; тел.: (3852) 29-07-96, e-mail: eugen_007@inbox.ru; Ларионов Максим Юрьевич – аспирант; Новичихин Андрей Викторович – аспирант; Пронин Сергей Петрович – д.т.н., профессор; Седалищев Виктор Николаевич – д.т.н., профессор; Собачкин Алексей Викторович – аспирант