

ПОНЯТИЕ ТРИБОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ

В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов, Е.М. Крючков, А.В. Новичихин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

В статье рассмотрен механизм трибочувствительности датчиков, основанных на использовании связанных колебаний пьезорезонаторов, приведен анализ режимов работы трибодатчиков такого типа.

Ключевые слова: трибодатчики, связанные колебания пьезорезонаторов, трибологическая характеристика контакта.

Для обеспечения работоспособности измерительных устройств, применяемых для исследования трибологических характеристик материалов (поверхностей, покрытий), необходим источник механических перемещений. Чаще всего для этой цели используют электродвигатели, обеспечивающие поступательное или вращательное перемещение контактирующих поверхностей. С помощью измерительных устройств такого типа определяют, например, коэффициент трения скольжения [1].

По сравнению с трибометрами, основанными на использовании вращательных движений чувствительных элементов, существенно большими возможностями обладают трибометры вибрационного типа. Изменяя амплитуду возвратно-поступательных перемещений контактирующих поверхностей в таких трибометрах можно исследовать упругие деформации микронеровностей, процесс трения трогания и т.п. Очевидно, что величина хода таких актюаторов должна соответствовать геометрическим размерам неровностей контактирующих поверхностей. Например, если для исследования не полированных поверхностей твердых тел можно использовать источники микроперемещений, то для исследования физико-механических и трибологических характеристик хорошо отполированных поверхностей потребуется использование источников наноперемещений.

Если для создания в трибометрах вращательных и поступательных перемещений трущихся поверхностей используют электродвигатели, электромагниты, то для возбуждения микро- и наноперемещений такие устройства будут мало пригодны. Для этой цели лучше использовать актюаторы, реализующие физические эффекты в твердых телах, например, магнитоstrictionный, пьезоэлек-

трический, электрострикционный, тепловой и другие эффекты. Достоинством использования для этой цели пьезоэлектрического эффекта является то, что он обладает обратимостью. Это позволяет создавать пьезопреобразователи, применимые не только для выработки микро- и наноперемещений, но и для обратного их преобразования в электрический выходной сигнал измерительного устройства.

Для повышения чувствительности трибометров, совершающих колебательные движения, можно использовать резонансные режимы работы пьезопреобразователей. Для получения дифференциального выходного сигнала измерительного устройства, а так же для регулирования в достаточно широких пределах относительной скорости перемещения контактирующих поверхностей предлагается использовать в качестве движителей два взаимодействующих между собой пьезорезонатора [2, 3]. Это позволит на частоте синфазных колебаний пьезорезонаторов обеспечить малые, а на частоте противофазных колебаний большие скорости и амплитуды взаимных перемещений поверхностей. Измеряя отношение выходных напряжений на обкладках пьезорезонаторов, можно определять физико-механические и трибологические характеристики контактирующих поверхностей [3]. Использование трибометров, основанных на реализации связанных противофазных колебаний пьезорезонаторов, позволяет определять обобщенные по всей площади контакта трибологические характеристики поверхностей, исследовать процессы трения, протекающие в местах их контакта.

По физической сущности механизм трибочувствительности пьезорезонансных датчиков параметрического типа близок к понятию акусточувствительности ПР МСЕ датчи-

ков [5-10]. В обоих случаях речь идет об управлении величиной активных потерь колебательной системы датчика, но между этими понятиями есть и существенные различия. Если акусточувствительность МСК ПРД обусловлена рассеянием колебательной энергии в окружающую среду и в элементы конструкции датчика, то чувствительность пьезорезонансных трибодатчиков обусловлена потерями колебательной энергии датчика на внутреннее и внешнее трение в местах контакта пьезорезонаторов между собой и с элементами конструкции датчика. В связи с этим данный механизм чувствительности правильнее будет назвать трибочувствительностью, а датчики, основанные на модуляции связанных колебаний пьезорезонаторов ПР МСК - трибодатчиками.

Особенностью ПР МСК трибодатчиков является то, что выходной сигнал формируется в результате перераспределения колебательной энергии между взаимодействующими степенями свободы датчика. Это позволяет существенно уменьшить погрешности, обусловленные нестабильностью параметров окружающей среды и самих пьезорезонаторов, повысить чувствительность датчика за счет реализации связанных колебаний в системе, расширить функциональные возможности и область применения датчиков такого типа.

Для того, что бы повысить точность ПР МСК трибодатчиков нужно стабилизировать во времени параметры контактирующих поверхностей. Этого можно достигнуть, не только за счет применения специальных износостойчивых материалов и покрытий, но и в результате уменьшения скорости взаимных перемещений контактирующих поверхностей. При реализации связанных синфазных колебаний пьезорезонаторов можно обеспечить очень малые скорости перемещений контактирующих поверхностей относительно друг друга. При этом в месте их контакта будут происходить преимущественно упругие деформации микронеровностей контактирующих поверхностей. Такой режим работы ПР МСК датчика может быть рекомендован для исследования физико-механических характеристик материалов и покрытий.

Необходимо отметить, что процесс трения трогания является критическим режимом и характеризуется высокой чувствительностью к воздействию различных факторов, например, к изменению температуры, давления, влажности, состава окружающей среды и т.п. Это можно использовать для разработки вы-

соочувствительных ПР МСК трибодатчиков различных физических величин.

В настоящее время механизм трибочувствительности пока не нашел широкого применения в измерительной технике. Низкая стабильность физических процессов, протекающих при трении взаимно перемещающихся поверхностей, не позволяет создавать трибодатчики с высокими метрологическими характеристиками. Основной причиной этого является то, что при использовании вращательных или поступательных взаимных перемещений контактирующих поверхностей происходит разрушение микронеровностей. Это не позволяло обеспечивать необходимую точность измерения и воспроизводимость характеристик трибодатчиков.

Использование колебательных процессов с амплитудами взаимных перемещений контактирующих поверхностей в пределах микро- и даже нанометров позволяет реализовать не только процессы трения, но и достаточно стабильный режим упругих деформаций микронеровностей. При большой шероховатости и малых амплитудах колебаний контактирующих поверхностей представляется возможным реализовать так же высокочувствительный режим трения трогания.

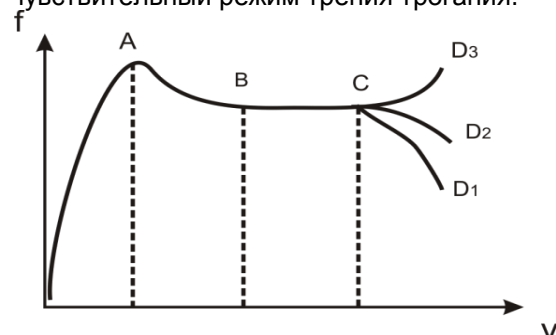


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от скорости относительного скольжения твердых тел

На рисунке 1 представлена зависимость силы трения от скорости относительного движения (относительного смещения) контактирующих поверхностей [1]. Аналогичная характеристика, отражающая зависимость отношения выходных напряжений с дополнительных обкладок взаимодействующих между собой пьезорезонаторов была получена путем изменения уровня возбуждения колебаний пьезорезонаторов МСК трибодатчика.

Трибологическая характеристика пьезорезонансного МСК датчика отражает определенные особенности его работы и возможные область практического применения. Регули-

руа амплитуду колебаний пьезорезонаторов, и, соответственно, амплитуду взаимных микроремещений контактирующих поверхностей и устанавливая определенные значения усилий их прижатия можно реализовать основные режимы работы ПР МСК трибодатчиков.

Режим малой амплитуды связанных колебаний ПР, характеризуемый преобладанием упругих деформаций микронеровностей контактирующих поверхностей. Данному режиму работы датчика соответствует начальная область трибологической характеристики устройства (от начала координат до точки А). Измерительные преобразователи, реализующий данный режим взаимодействий контактирующих поверхностей могут быть использованы для создания датчиков усилий, давлений, а также для исследования физикомеханических характеристик материалов и покрытий.

Область экстремума трибологической характеристики устройства (окрестности точки А характеристики) соответствует критическому режиму взаимодействия контактирующих поверхностей, при котором соблюдаются условия баланса между процессами проскальзывания и упругих деформаций микронеровностей контактирующих поверхностей. Данный режим работы устройства может быть использован для определения максимального значения коэффициента трения покоя материала (коэффициента трения трогания).

Дальнейшее увеличение амплитуды колебаний пьезорезонаторов приводит к возрастанию роли фактора частичного проскальзывания контактирующих поверхностей относительно друг друга (третья область трибологической характеристики между точками А и В). Анализируя характер изменений выходной характеристики устройства в данном режиме путем изменения амплитуды колебаний ПР, можно осуществить анализ шероховатости контактирующих поверхностей. Например, чем больше будет преобладание микронеровностей с размерами, меньшими чем амплитуда колебаний резонаторов, тем более крутой будет трибологическая характеристика контакта.

Четвертая рабочая область трибологической характеристики (между точками В и С) соответствует режиму трения скольжения поверхностей относительно друг друга при котором соблюдается условие теплового баланса в зоне контакта. Данный режим может

быть использован для определения коэффициента трения движения.

Области С-Д трибологической кривой характеризуют процессы трения, сопровождающиеся постепенным разогревом контакта, разрушением структуры микрорельефа контактирующих поверхностей. Данный режим работы устройства может быть использован для определения износостойкости контактирующих материалов и покрытий.

Увеличение амплитуды колебаний пьезорезонаторов может так же привести к возрастанию роли эффекта вибросглаживания в процессах трения между контактирующими поверхностями, что приведет к появлению дополнительных погрешностей измерения.

Как следует из анализа для повышения чувствительности МСК ПР трибодатчиков требуется обеспечить их работу на крутых участках трибологической характеристики. Для этого нужно согласовать величину усилия сдвигания с амплитудой колебаний контактирующих поверхностей. С целью оптимизации режимов работы измерительных устройств такого типа нужно так же обеспечить согласование значений коэффициента связи, относительной расстройки частот и добротности используемых пьезорезонаторов [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лужнов, Ю.М. Основы триботехники: Учебное пособие / Ю.М. Лужнов, В.Д. Александров; под ред. Ю.М. Лужнова. – М.: МАДИ, 2013. – 136 С.
2. Седалищев, В.Н. Акусточувствительный датчик статических усилий с использованием связанных колебаний пьезорезонаторов / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов, С. П. Пронин, А. В. Новичихин, Е. М. Крючков // Ползуновский альманах. – 2012. – № 2. – С. 71-72.
3. Седалищев, В.Н. Использование связанных колебаний пьезорезонаторов для исследования физико-механических и трибологических характеристик поверхности твердых тел / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов Е. М. Крючков, А. В. Новичихин // Ползуновский альманах. – 2012. – № 2. – С. 6-10.
4. Седалищев, В.Н. Применение имитационного моделирования для сравнительного анализа вариантов построения многоэлементных пьезорезонансных датчиков / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов // Ползуновский альманах. – 2012. – № 2. – С. 37-42.
5. Седалищев, В.Н. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации / В.Н. Седалищев, О.И. Хомутов – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 184 с.; 55 см. –

Библиогр.; с. 180 – 184. – 100 экз. - ISBN 5-7568-0669-5

6. Седалищев, В.Н. Устройство для измерения уровня сыпучих материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 6. – С. 49 – 50.

7. Седалищев, В.Н. Пьезорезонансные датчики на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2005. – №11. - С. 41 - 42.

8. Седалищев, В.Н. Измерительные устройства, основанные на реализации режимов связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 264 – 269.

9. Седалищев, В.Н. Особенности конструирования пьезоэлектрических измерительных устройств на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 4. – С. 44-46.

10. Седалищев, В.Н. Использование связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Измерительная техника. – 2006. – № 3. – С. 59-61.

Седалищев Виктор Николаевич – д.т.н., профессор, тел.:(3852) 260492, e-mail: Sedalischew@mail.ru; Новичихин Андрей Викторович-аспирант; Крючков Евгений Михайлович – аспирант; Ларионов Максим Юрьевич – аспирант.