УДК 681.586.773

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ С НАНОПОКРЫТИЯМИ

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

В статье представлен обзор существующих методов неразрушающего контроля качества поверхностей с наноструктурированными покрытиями и области применения этих методов. Также предложен оригинальный метод контроля качества с использованием высокочувствительных связанных колебаний пьезорезонаторов.

Ключевые слова: нанопокрытие, методы неразрушающего контроля, связанные колебания.

Нанопокрытия – новый этап в развитии функциональных покрытий. Использование нанопокрытий позволяет значительно снизить коэффициент трения при сохранении износостойкости, повысить вязкость покрытий при сохранении антикоррозионных свойств и увеличения температуры эксплуатации на 50°С. Все это особо актуально в области машиностроения. Для создания нанопокрытий используются наноструктурированные материалы, суспензии, золь-гнели. В покрытия внедряются специальные добавки, которые модифицируют их структуру и обеспечивают получение необходимых свойств.

Существующие методы контроля не всегда подходят для нанопокрытий. Иногда им не достает чувствительности, иногда их использование не совсем корректно, например при измерении твердости по Виккерсу (алмазная четырехгранная пирамида вдавливается в поверхность), происходит раскалывание слоя нанопокрытия [1].

Важной характеристикой любых методов контроля является их чувствительность. Выявление наименьшего по размерам дефекта; зависит от особенностей метода неразрушающего контроля, условий проведения контроля, материала изделий. Удовлетворительная чувствительность для выявления одних дефектов может быть совершенно непригодной для выявления дефектов другого характера [6].

Методы неразрушающего контроля (англ. Nondestructive testing (NDT)) также называется оценкой надёжности неразрушающими методами (англ. nondestructive evaluation (NDE)) или проверкой без разрушения изделия (англ. nondestructive inspection (NDI)). МНК особенно важны при создании и эксплуатации жизненно важных изделий, компонентов и конструкций. Для выявления различных изъянов, таких как разъедание, ржавление, растрескивание.

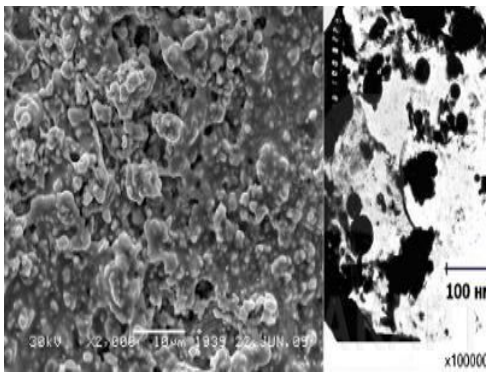


Рисунок 1 – Покрытие на основе твердого сплава с антифрикционной керамической матрицей ($WC\text{-}TiO_2$). Размер зерна 10-50 нм

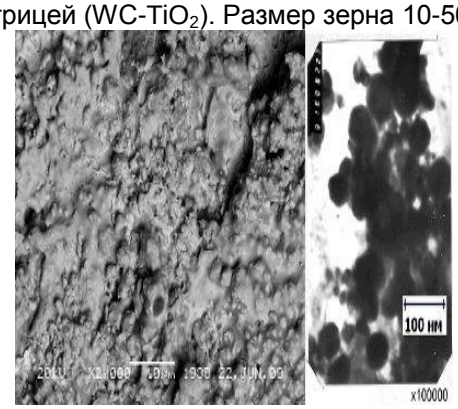


Рисунок 2 – Покрытие на основе твердого сплава с износостойкой керамической матрицей ($WC\text{-}Al_2O_3$). Размер зерна 5-50 нм

Методы неразрушающего контроля, подразделяются на девять основных видов: акустический, магнитный, вихретоковый, проникающими веществами, радиоволновый, радиационный, оптический, тепловой и электрический. На практике наиболее широкое распространение нашли первые четыре метода.

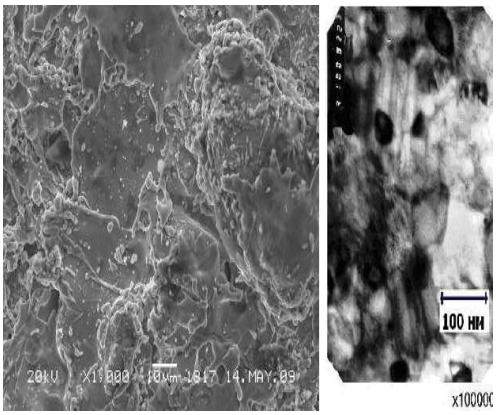


Рисунок 3 – Наноструктурированный сплав на основе железа. Размер зерна 50-70 нм [5]

Под акустическим видом неразрушающего контроля понимают вид, основанный на регистрации параметров упругих колебаний, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте.

В акустическом виде неразрушающего контроля чаще всего применяют звуковые и ультразвуковые частоты, т.е. используют диапазон частот приблизительно от 0,5 кГц до 30 МГц. В случае, когда при контроле используют частоты свыше 20 кГц, допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический».

По характеру взаимодействия упругих колебаний с контролируемым материалом акустические методы подразделяют на следующие основные виды:

— прошедшего излучения (теневой, зеркально-теневой);

— отраженного излучения (эхо-импульсный);

— резонансный;

— импедансный;

— свободных колебаний;

— акустико-эмиссионный.

По характеру регистрации первичного информативного параметра акустические методы подразделяются на амплитудный, частотный, спектральный.

Акустические методы неразрушающего контроля решают следующие контрольно-измерительные задачи:

— метод прошедшего излучения выявляет глубинные дефекты типа нарушения сплошности, расслоения, непроклёп, непропаи;

— метод отраженного излучения обнаруживает дефекты типа нарушения сплошности, определяет их координаты, размеры, ориентацию путём прозвучивания изделия и приёма отраженного от дефекта эхо сигнала;

— резонансный метод применяется в основном для измерения толщины изделия (иногда применяют для обнаружения зоны коррозионного поражения, непропаев, расслоений в тонких местах из металлов);

— акустико-эмиссионный метод обнаруживает и регистрирует только развивающиеся трещины или способные к развитию под действием механической нагрузки (квалифицирует дефекты не по размерам, а по степени их опасности во время эксплуатации). Метод имеет высокую чувствительность к росту дефектов - обнаруживает увеличение трещины на (1...10) мкм, причём измерения, как правило, проходят в рабочих условиях при наличии механических и электрических шумов;

— импедансный метод предназначен для контроля клеевых, сварных и паяных соединений, имеющих тонкую обшивку, приклеенную или припаянную к элементам жёсткости. Дефекты клеевых и паяных соединений выявляются только со стороны ввода упругих колебаний;

— метод свободных колебаний применяется для обнаружения глубинных дефектов.

Магнитный метод неразрушающего контроля - вид контроля, основанный на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом.

В магнитный вид неразрушающего контроля входят методы: магнитопорошковый, феррозондовый, магнитографический и другие.

Магнитопорошковый метод основан на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с использованием в качестве индикатора ферромагнитного порошка или суспензии.

Феррозондовый метод контроля основан на измерении напряженности магнитного поля, в том числе и магнитных, полей рассеяния, возникающих в зоне дефектов, феррозондами.

Магнитографический метод неразрушающего контроля заключается в намагничивании зоны контролируемого металла или сварного шва вместе с прижатым к его поверхности эластичным магнитоносителем (магнитной лентой). Фиксации на магнитоносителе возникающих в местах дефектов полей рассеяния и последующим воспроизведении полученной записи.

Считывание магнитных отпечатков полей дефектов с магнитной ленты осуществляется в дефектоскопах.

Магнитные методы неразрушающего контроля решают следующие задачи:

— магнитопорошковый метод предназначен для выявления поверхностных и под поверхностных (на глубине до (1,5 ... 2) мм) дефектов типа нарушения сплошности материала изделия: трещины, волосовины, расслоения, закатов и т.д.; этим методом можно контролировать изделия любых габаритных размеров и форм, если магнитные свойства материала изделия (относительная максимальная магнитная проницаемость не менее 40) позволяют намагничивать его до степени, достаточной для создания поля рассеяния дефекта, способного притянуть частицы ферромагнитного порошка;

— феррозондовый метод контроля применяется для выявления поверхностных и под поверхностных (глубиной до 10 мм) дефектов типа нарушения сплошности материала: волосовины, трещин, раковин, закатов, плен и т.п., этот метод можно применять на изделиях любых размеров и форм, если отношение их длины к наибольшему размеру в поперечном направлении и их магнитные свойства дают возможность намагничивания до степени, достаточной для создания магнитного поля рассеяния дефекта, обнаруживаемого с помощью преобразователя;

— магнитографическим методом контроля выявляют дефекты типа нарушения сплошности материала изделий из ферромагнитных материалов при их толщине от 1 до 18 мм.

Вихретоковый метод неразрушающего контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объект контроля этим полем.

Данный метод применяют для контроля деталей, изготовленных из электропроводящих материалов.

Особенности присущие вихретоковым методам: многопараметровость, бесконтактный контроль, нечувствительность к изменению влажности» давления и загрязненности газовой среды и поверхности объектов контроля непроводящими веществами.

Вихретоковые методы имеют два основных ограничения:

во-первых, их применяют только для контроля электропроводящих изделий; во-вторых, они имеют малую глубину контроля, связанную с особенностями проникновения электромагнитных волн в объект контроля.

Контрольно измерительные задачи, решаемые с помощью вихретоковых методов:

— позволяют обнаружить трещины, раковины, неметаллические включения и другие виды нарушений сплошности (дефектоскопия);

— измерять толщины прутков, стенок труб (при одностороннем доступе), диаметр проволок, а так же толщины лакокрасочных, эмалевых, керамических, гальванических и других покрытий, нанесенных на электропроводящую основу (толщинометрия);

— контролировать химический состав, механические свойства, остаточные напряжения (структуроскопия).

Для исследования свойств материалов с нанопокрытиями не все эти методы могут быть использованы в силу очень тонкого исследуемого слоя. И даже АСМ (атомно-силовая микроскопия) и сканирующий туннельный микроскоп не всегда могут дать исчерпывающее представление о свойствах поверхности.

В ГОСТ Р 54473-2011 «Нанопокрытия режущего инструмента на основе алмаза и кубического нитрида бора. Общие технические требования и методы испытаний» даны требования к качеству наносимого покрытия. Среди прочих есть такая характеристика как коэффициент трения [4].

4.2 Основными характеристиками нанопокрытия являются:

- цвет покрытия; - адгезия и трещиностойкость; - толщина; - нанотвердость; - коэффициент трения; - температурная стойкость.

6 Требования к нанопокрытию:

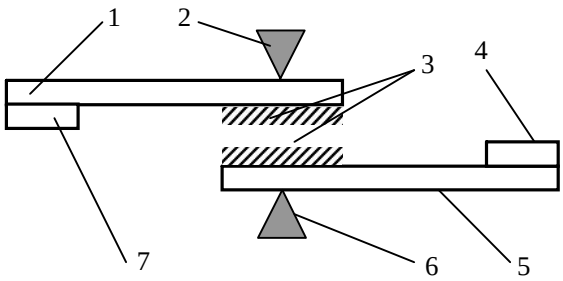
6.2 Нанопокрытие должно иметь высокую адгезию.6.4 Толщина нанопокрытия должна быть в пределах 0,1 - 4 мкм.6.6 Нанотвердость покрытия должна быть не менее 25 ГПа. 6.7 Коэффициент трения должен быть не более 0,40. 6.8 Температурная стойкость должна быть не более 1300 С?.

Изучение трения и связанных с ним процессов на наноструктурном уровне представляет значительный интерес для широкого

спектра технических применений, таких как технология производства и поверхностного покрытия жестких магнитных дисков для компьютеров, изготовление микросенсорных датчиков и т.д. Эти и традиционно важные инженерные применения трибологии в машиностроении требуют более глубокого понимания свойств материалов на атомарном уровне с целью оптимизации и прогнозирования трибологических характеристик трущихся поверхностей [2].

Трибология (лат. tribos — трение) — наука, раздел физики, занимающаяся исследованием и описанием контактного взаимодействия твёрдых деформируемых тел при их относительном перемещении. Областью трибологических исследований являются процессы трения, изнашивания и смазки. Нанотрибология или молекулярная трибология (англ. nanotribology) — направление в трибологии, связанное с теоретическим и экспериментальным изучением процессов адгезии, трения, износа и разрушения в атомных и молекулярных масштабах взаимодействия поверхностей [3].

Предметом изучения нанотрибологии являются процессы сцепления-скольжения поверхностей контактирующих тел, влияние пленки смазки нанометровой толщины, электрические и механические свойства контактов в атомном и молекулярном масштабе и др. Эти процессы характеризуются ультрамалыми контактными давлениями, и их исследование, важно для построения нано- и микромеханических моделей.



Условные обозначения:
1 – $АС_1$, 2 – сила F, 3 – нанопокрытие, исследуемый материал, 4 – детектор, 5 – $АС_2$, 6 – опора, 7 – пьезогенератор

Рисунок 4 – Схема установки

Поэтому нами предлагается использовать метод косвенного определения физико-механических, а также трибологических характеристик поверхности с нанопокрытиями, основанный на реализации высокочувствительного метода связанных колебаний пьезорезонаторов [7, 8].

Суть метода состоит в определении момента трогания при колебательных движениях одной поверхности по другой.

Пьезорезонатор посредством акустической связи ($АС_1$) передает колебания на поверхность с нанесенным наноструктурированным материалом. Колебания распространятся и на ответную часть, которая передает через $АС_2$ колебания на пьезодетектор. Сила F создает постоянный момент прижима, который позволяет определить при каком уровне возбуждающего напряжения начнет происходить проскальзывание одного материала по другому. Микропроцессор, либо ПК непрерывно определяют уровень напряжения возбуждения и генерируемое напряжение, находя соотношение между ними и определяя в какой момент происходит переход от трения покоя к трению скольжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов С. А., Пешек Л.. Определение механических свойств материалов микроидентированием. Современные зарубежные методики. МГУ. М. 2004. 100 с.
2. Гуткин М.Ю., Овидько И.А.. Физическая механика деформируемых наноструктур. Янус. СПб. 2003. Т. 1. 194 с.
3. Горячева Ирина Георгиевна, Морозов Алексей Владимирович Нанотрибология. «Словарь нанотехнологичных терминов», РОСНАНО.
4. ГОСТ Р 54473-2011 Нанопокрытия режущего инструмента на основе алмаза и кубического нитрида бора. Общие технические требования и методы испытаний.
5. http://www.plackart.com
6. http://kipinfo.ru
7. Седалищев В.Н. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации: монография/ В.Н. Седалищев, О.И. Хомутов; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. –184 с.
8. Седалищев В. Н. Измерительные устройства, основанные на реализации связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах. // Ползуновский вестник. 2006. №2. – С. 264-270.

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