

сигнал-шум при использовании ОПВ в качестве опорного сигнала при измерении скорости и амплитудных параметров зондирующей объект ПАВ. Во-вторых, впервые выявлены зависимости (в теневом режиме) коэффициенты отражения волны Стоунли R_{St} от угла наклона призмы ОПВ α (рис. 3) и ее угла поворота θ . Для этого вначале определяем величину R_{St0} , из соотношения $R_{St0}=(A_0/A_1)^{0.5}$, измеренного при использовании в качестве ОПВ прямоугольной призмы ($\alpha=0$), а затем находим искомое значение из формулы

$$R_{St}(\alpha)=A_0(A_1R_{St0})^{-1}, \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда прошедшая через границу контакта ОПВ с подложкой ПАВ без переотражения, A_1 – с переотражением волны Стоунли от задней и передней грани ОПВ. Зависимость же $R_{St}^2(\theta)$ (рис. 4) получена в случае, когда ОПВ имеет вид прямоугольной призмы ($\alpha=0$), причем ее величину находим из формулы, подобной (1).

Как следует из результатов исследования предложенные конструкции ОПВ, выполненные для разных материалов (сталь, латунь дюралюминий) обеспечивающих трансформацию и распространение волн Стоунли на границе стальная подложка-ОПВ являются высоко эффективными отражателями ПАВ. Причем максимальная их эффективность, характеризуемая соотношением сигнал-шум при использовании ОПВ в качестве опорного сигнала для измерения скорости и амплитудных параметров зондирующей объект ПАВ достигается при оптимальном угле наклона боковой грани ОПВ α , его угла поворота $\theta(0, \pi)$ и зависит от материала отражателя.

Также впервые определены коэффициенты отражения волны Стоунли R_{St} в зависимости от указанных выше параметров ОПВ – углов α и θ , и материала. Причем эти зависимости имеют сложный вид, изменяясь по величине на порядок.

УДК 681.2.08

АНАЛИЗ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПЭВД

Пантелеев К.В.¹, Тявловский А.К.¹, Кравцевич А.В.², Жарин А.Л.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²Гродненский филиал «Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения» ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты исследований и разработаны принципы контроля однородности свойств нанокompозитных полимеров на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) по пространственному распределению электростатического потенциала и поверхностной фотоЭДС. В качестве средств измерения использован модифицированный сканирующий зонд Кельвина, дополнительно оснащенный источником оптического излучения.

Учитывая полученные данные, проведен расчет и предложена оптимальная конструкция ОПВ, существенно нивелирующая (~35 дБ и более) влияние шумового фона, на ультразвуковые измерения свойств поверхности. На рисунке 5 приведена одна из предложенных конструкций ультразвукового устройства с ОПВ, где граница контакта передней грани призмы с подложкой выполнена в виде двух ветвей параболы.

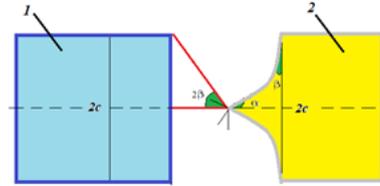


Рисунок 5 – Конструкция ультразвукового устройства с ОПВ, граница контакта передней грани призмы которого с подложкой выполнена в виде двух ветвей параболы:
1 – излучающий ПЭП; 2 – ОПВ

Использование таких устройств с ОПВ позволяет: а) практически в два раза сократить акустическую базу при измерениях скорости ПАВ, а также концентрировать акустические пучки путем выполнения границы контакта задней грани призмы с подложкой в виде фокусатора; б) обеспечить высокостабильный опорный сигнал как на плоских, так и криволинейных поверхностях (радиусом до 15 мм). Полученные результаты исследований также представляют интерес для контроля качества сцепления разнородных материалов, пар трения и др.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ, проект T17-159.

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 3. – 864 с.

Введение. Сканирующие зонды Кельвина традиционно применяют для анализа и контроля однородности свойств прецизионных поверхностей металлов, полупроводниковых материалов и объектов по параметрам пространственного распределения работы выхода электрона, определяемой по контактной разности потенциалов (КРП) относительно зондового образца [1].

Анализ литературных данных, например, [2] и проведенные ранее исследования [3] показывают,

что методы КРП применимы и к полимерным материалам. В этом случае контролируемым параметром является собственный или приобретенный электростатический потенциал (заряд) полимера. Однако в случае диэлектриков методы КРП перестают быть поверхностно-чувствительными, поскольку в формировании измерительного сигнала участвует также и объем материала в области под зондом. Поэтому для характеристики каких-либо физических параметров информация о пространственном распределении электростатических потенциалов оказывается недостаточной. Более полную информацию о электронных явлениях дает дополнительное возбуждение измеряемой поверхности светом, что позволяет генерировать электроны с определенными энергетическими состояниями. Основными задачами данной работы являлись адаптация сканирующего зонда Кельвина, разработка методики и проведение экспериментальных исследований отклика КРП на зондирующее воздействие оптическим излучением поверхности полимерных композитов.

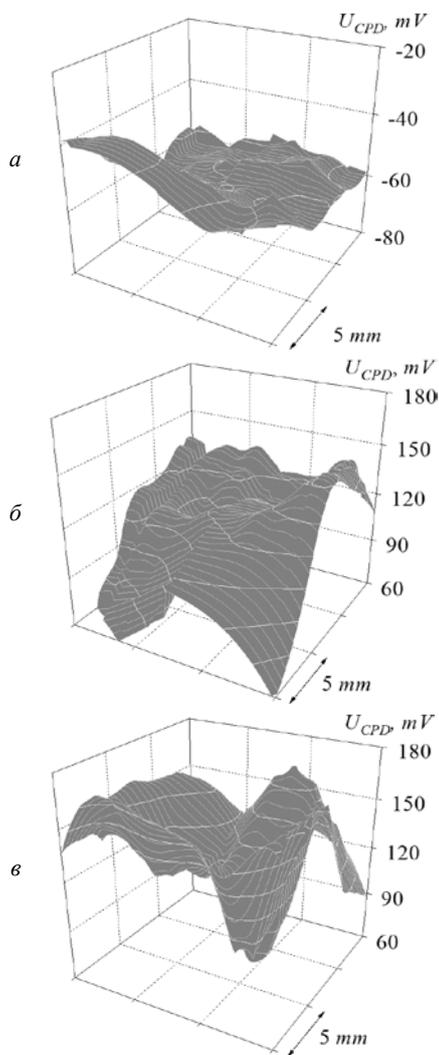


Рисунок 1 – Визуализация распределения электростатического потенциала образцов 1–3: а, б, в, соответственно

Материалы. Исследования проводили на образцах полимерных нанокомпозитов на основе ПЭВД марки 12203-250. В качестве наполнителей использованы углеродный наноматериал (УНМ) и наночастицы алюминия (Al). Перед испытанием нанокомпозитные образцы кондиционировали в изопропиловом спирте в течение 24 часов и нормализовали в лабораторных условиях в течение 8 часов. Характеристика образцов и их условные обозначения (УО) приведены в таблице.

Характеристика образцов

УО	Компонентный состав
1	ПЭВД (97 мас.%) / УНМ (2 мас.%) / Al (1 мас.%)
2	ПЭВД (94 мас.%) / УНМ (4 мас.%) / Al (2 мас.%)
3	ПЭВД (91 мас.%) / УНМ (6 мас.%) / Al (3 мас.%)

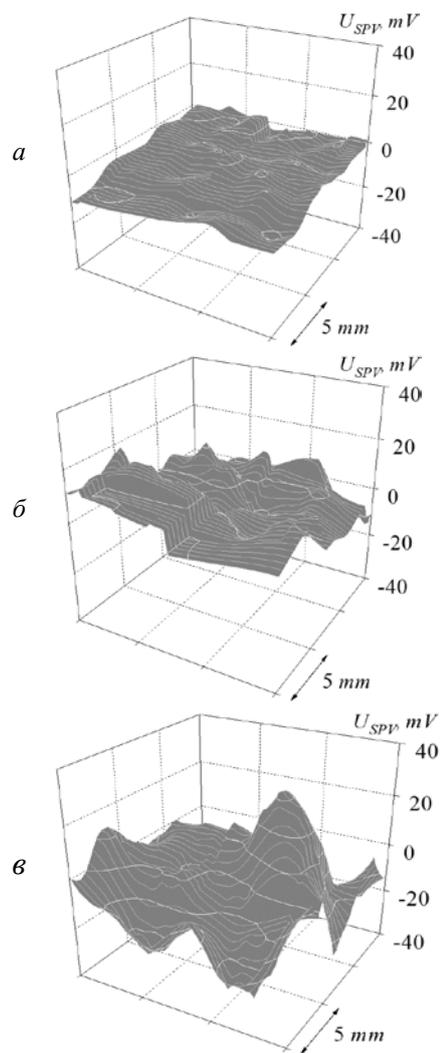


Рисунок 2 – Визуализация распределения поверхностной фотоЭСД образцов 1–3: а, б, в, соответственно

Результаты исследования. Результаты визуализации пространственного распределения электростатического потенциала (КРП) образцов 1–3 приведены на рисунке 1 а–в, соответственно. Минимальное среднее значение электростатического потенциала –65 мВ имеет образец а₁ (рису-

нок 1а). Распределение потенциала практически однородно по всей измеряемой площади с разбросом значений в диапазоне ± 5 мВ. При этом потенциальный рельеф имеет несколько локальных экстремумов, характеризующих совокупность дефектов в объеме и поверхности образца. При этом наибольший максимум -42 мВ наблюдается у края образца.

Увеличение соотношения массы наполнителя к полимерной матрице приводит к изменению полярности и увеличению среднего значения электростатического потенциала (рисунок 1б, в). Распределение потенциалов менее однородно. Величина экстремумов также возрастает, что характерно для случая скопления дефектов.

На рисунке 2а–в приведены результаты картирования распределения поверхностной фотоЭДС образцов 1–3, соответственно. Поверхностную фотоЭДС определяли, как разность значений КРП до и после оптического зондирования.

Из визуализированных карт видно, что для всей группы образцов характер распределения поверхностной фотоЭДС близок к распределению электростатического потенциала. Так, наиболее однородное распределение имеет образец 1 (рисунок 2а), при этом наблюдается уменьшение фотоЭДС к краю образца, когда значение электропотенциала (рисунок 1а) возрастает. Для образца 2 (рисунок 2б) характерна обратная зависимость: в одной из областей, где значение электропотенциала было минимальным (рисунок 1б), фотоЭДС ступенчато возрастает.

Другим наблюдаемым эффектом является то, что некоторые области с локальными экстремумами электропотенциала и фотоЭДС (рисунки 1 и 2) дублируются, например, значения фотоЭДС 34 мВ (рисунок 2в) и электропотенциала 178 мВ

(рисунок 1в) образца 3. Однако, в случае второго пика, площадь распределения поверхностной фото-ЭДС с максимумом 12 мВ значительно меньше площади распределения электропотенциала с максимумом 160 мВ.

Выводы. Анализ результатов исследования показал, что относительные значения и однородность распределения электростатического потенциала и поверхностной фотоЭДС зависят от компонентного состава и концентрации наполнителя измеряемых образцов. Увеличение значений поверхностной фотоЭДС в отдельных областях свидетельствует о большой плотности заполнения поверхностных состояний, связанными, по всей видимости, с дефектами, объема поверхностного слоя, участвующего в оптическом зондировании. Поэтому использование дополнительного оптического воздействия позволяет не только определять и визуализировать распределение поверхностной фото-ЭДС, но и разделять неоднородности свойств объема материала и его поверхности.

1. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследования свойств перспективных материалов / А. Л. Жарин, К. В. Пантелеев, А. К. Тявловский // Перспективные материалы и технологии: монография: в 2 т.; Витебский гос. тех. ун-т; ред. В. В. Клубович. – Витебск, 2015. – Т. 1. – С. 381–394.
2. Ebrahimi, G. Investigation on corrosion protection mechanism of polyaniline nanoparticles doped with phosphoric acid by scanning Kelvin probe and other electrochemical methods / G. Ebrahimi, F. Rezaei, J. Neshati // J. of the Taiwan Inst. of Ch. Eng. – 2016. – No 10. – P. 1–10.
3. Вершина, Г.А. Исследование накопления заряда статического электричества на поверхности изделий из фторопласта-4 методом вибрирующего конденсатора / Г. А. Вершина, А. Л. Жарин, А. К. Тявловский // Наука и техника. – 2012. – № 1. – С. 26–32.

УДК 620.179.14/15

МЕТОДИКА И ОСОБЕННОСТИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бусько В.Н.¹, Фисюнов А.Д.², Рубникович С.П.³

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

²ГУО «Витебский государственный медицинский университет», Витебск, Республика Беларусь

³ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», Минск, Республика Беларусь

В технике, авиационно-космической отрасли (АКО), строительстве, медицине и других отраслях все чаще используют композиционные материалы (КМ), обладающие рядом уникальных свойств [1]. Так, в машиностроении КМ используют для изготовления деталей, работающих при повышенных нагрузках и температурах: лопадки компрессоров, лопасти турбин и вентиляторов, поршневые пальцы, вкладыши, втулки, антифрикционные детали и др. В АКО – пластмассовые КМ используются для производства таких несущих конструкций, как крылья, фюзеляжи и поперечные балки, на основе металлов - лопадки

турбин, штоки поршней, трубы теплообменников и др. В строительстве – для изготовления противопожарных панелей на основе алюминия, для усиления несущих конструкций и жесткости зданий арматуры из стеклопластиков и углепластиков (в разы показатели выше, чем у стали) и т.д. В медицине – для изготовления армирующих пластинок для соединения костей при переломах, изготовления сердечных клапанов, имплантации зубов, изготовлении протезов и т.д.

Такие характеристики КМ как удельная прочность, сопротивление усталостному разрушению, температуре и воздействию среды, жесткость,