

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОРТОТРОПНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

А.А. ДЖЕЖОРА, А.П. ДМИТРИЕВ  
УО «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Витебск, Беларусь

Целый ряд полимерных материалов, применяемых в производстве изделий лёгкой промышленности, относится к ортотропным средам и обладает ортогональной анизотропией физико-механических свойств. Примерами таких сред являются различные волокнистые и слоистые структуры (в том числе синтетические кожи), ткани, искусственные пленки, покрытия, стеклопластики, бумага, композиции волокон. Константы тензора диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{ij}$  являются характеристиками материала и несут сведения о составе, структуре, влажности, т.е. входят в комплекс исходной информации для диагностики качества композиционных материалов, прогнозирования их деформационных и прочностных свойств при изготовлении и эксплуатации изделий. Для неразрушающего контроля диэлектрических свойств ортотропных полимерных материалов используют преобразователи, создающие плоскопараллельные поля рис.1. Таковыми являются ленточные накладные измерительные конденсаторы (НИК), ленточные накладные измерительные конденсаторы с дополнительным плоским экраном (ЭНИК), зеркально-симметричные ленточные накладные измерительные конденсаторы (ЗСНИК). Данные системы электродов создают плоскопараллельные поля в плоскости XOY контролируемого материала и позволяют исследовать анизотропию диэлектрических свойств за счет поворота электродов относительно оси OZ. Математические модели, созданные для указанных преобразователей, легли в основу методик неразрушающего определения анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов.

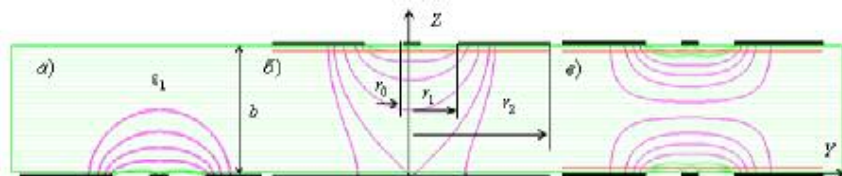


Рис. 1. Схема расположения ленточных электродов при определении составляющей тензора диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_y$ : а) – схема для НИК; б) – схема для ЭНИК; в) – схема для ЗСНИК

В [1] рассмотрена методика неразрушающего определения составляющих тензора диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{ij}$  в случае доступа к двум ортогональным поверхностям исследуемого материала с помощью НИК. Если поле ленточных электродов НИК замыкается в плоскости анизотропии  $ZOY$  (рис.1), то измеренная диэлектрическая проницаемость для ортотропных материалов будет равна:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_z \varepsilon_x}$$

Для полей, замыкающихся в плоскостях  $XOY$  и  $ZOY$ , соответствующие измеряемые диэлектрические проницаемости равны:

$$\varepsilon_2 = \sqrt{\varepsilon_x \varepsilon_y}, \quad \varepsilon_3 = \sqrt{\varepsilon_z \varepsilon_y}$$

Составляющие тензора диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_3}, \quad \varepsilon_y = \frac{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3}{\varepsilon_1}, \quad \varepsilon_z = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3}{\varepsilon_2}$$

Чувствительность, как отношение емкости НИК на единицу длины электродов, к изменению константы тензора диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_y$ , не зависит от геометрических размеров НИК равна:

$$S_1 = \frac{\partial C_1}{\partial \varepsilon_y} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_y}} \varepsilon_0 A = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}} \varepsilon_0 A$$

где  $A$  – геометрический коэффициент рабочей области для НИК.

Оценивая применение накладных преобразователей для неразрушающего контроля анизотропии линейно-протяженных полотнообразных материалов, следует отметить, что наиболее перспективными в этом случае являются методы определения анизотропии линейно протяженных плоских материалов с использованием зеркально-симметричных ленточных накладных измерительных конденсаторов (ЗСНИК), либо ленточных накладных измерительных конденсаторов с дополнительным плоским экраном (ЭНИК). Для снятия диаграммы анизотропии необходимо просканировать область контроля простым поворотом преобразователей относительно вертикальной оси  $Z$ . Согласно методикам [2, 3], отношение рабочих емкостей заполненного и не заполненного преобразователей определяет значение константы тензора диэлектрической проницаемости для выбранного направления:

$$\varepsilon_1(\alpha) = \frac{C_1(\alpha)}{C_{01}} = \sqrt{\varepsilon_z \varepsilon_y \cos^2 \alpha + \varepsilon_z \varepsilon_x \sin^2 \alpha} \cdot \frac{F(\beta, q) K_0(q')}{K(q') F_0(\beta, q)}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_2(\alpha) = \frac{C_2(\alpha)}{C_{02}} = \sqrt{\varepsilon_z \varepsilon_y \cos^2 \alpha + \varepsilon_z \varepsilon_x \sin^2 \alpha} \cdot \frac{F(\beta_1, q_1) - F(\mu_1, q_1)}{F_0(\beta_1, q_1) - F_0(\mu_1, q_1)} \cdot \frac{K_0(q'_1)}{K(q'_1)}. \quad (2)$$

Выражение (1) описывает диаграмму анизотропии диэлектрической проницаемости линейно-протяжённого материала определяемую согласно методике [2] с применением ЗСНИК, а выражение (2) с применением ЭНИК [3].

На рис. 2 показаны диаграммы анизотропии диэлектрической проницаемости для искусственных кож артикулов «Бирюза», «Метлак» и «Т-синий». Диаграммы были получены с применением ЭНИК. За направление 00 было принято направление основы материала, когда линии напряжённости электрического поля идут вдоль оси X. Измерения проводились на приборе Е7-12А через каждые 150 поворота преобразователей. Погрешность измерения составила не более 4 %.

Из диаграмм анизотропии диэлектрической проницаемости исследованных искусственных кож видно, что наибольшей анизотропией обладает материал «Бирюза». Этот результат также подтверждается экспериментальными диаграммами величин относительных удлинений при разрыве материалов, а также предельными нагрузками на разрыв под различными углами приложения сил относительно основы материала.

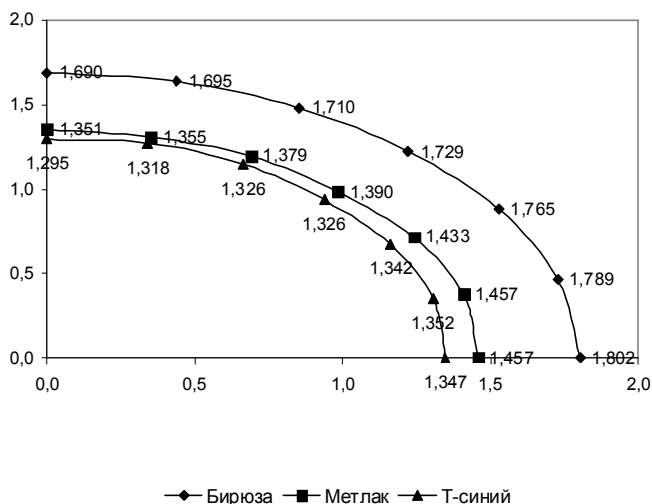


Рис. 2. Диаграммы анизотропии диэлектрической проницаемости искусственных кож

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штраус, В. Д. Методики неразрушающего определения диэлектрической проницаемости анизотропных полимерных материалов / В. Д. Штраус // Механика полимеров. – 1974. – № 4. – С. 715 – 719.
2. А. с. 1549327. Способ измерения анизотропии свойств полимерных материалов / А. А. Джежора, В. В. Щербаков, В. Л. Шушкевич, Л. И. Кузнецова. – опубл. 1990, Бюл. № 9. – 271 с.
3. А. с. СССР № 667914 G01R 27/26. Измерительный конденсатор / В. Д. Целищев, А. Д. Букарев – опубл. 1979, Бюл. № 22. – 65 с.