

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Галкин Иван Александрович

магистрант, Санкт-Петербургский Горный университет, РФ, г. Санкт-Петербург

Аннотация. В данной статье рассматривается влияние влажности на основные физические параметры диэлектрических материалов. Исследовано влияние содержания влаги на физические свойства материалов в жидком, порошкообразном или твердом состоянии. Были изучены различные формулы для зависимости влагосодержания и диэлектрической проницаемости (Вагнера, Лоренца, Брюггемана и др.). На основе данной статьи были определены наиболее оптимальные управляющие параметры, позволяющие оценить влияние влажности на физические свойства диэлектрических материалов (как однокомпонентных, так и многокомпонентных).

Введение

Влажность диэлектрических материалов, находящихся в жидком, порошкообразном или твердом состоянии существенно влияет на качество готового изделия. В настоящее время содержание воды в веществе определяют прямыми и косвенными методами. Наибольший интерес представляют косвенные методы, основанные на установлении корреляции между физическими свойствами контролируемой среды и ее влажностью. Эффективность данных методов связана с различием физических свойств исходного сухого материала и воды. Чем существеннее эти различия, тем выше чувствительность выявления минимальных количеств влаги. При этом важное значение имеет выбор такого физического параметра, который обеспечивает максимальное различие.

Физические основы

Рассмотрим взаимосвязь некоторых из наиболее информативных физических параметров с влажностью материалов.

Электропроводность. Из всех физических параметров удельное электрическое сопротивление (объемное) больше всего изменяется в зависимости от влажности среды. Методы, основанные на измерении влажности по электропроводности, называют кондуктометрическими.

$$R_x = c/W^k$$

где c и k — положительные постоянные, зависящие от исследуемого материала и условий измерения.

Для большинства материалов, в том числе и полимерных, взаимосвязь сопротивления с влагосодержанием описывается зависимостью [3]:

$$\lg R_x = a - bW$$

где a и b — постоянные, зависящие от условий измерения и типа материала.

Таким образом, кондуктометрический метод, обладая хорошей чувствительностью при малых значениях влажности, становится неэффективным при более высоких ее значениях (более 5 — 8%). Это обусловлено тем, что при высоких значениях влажности преобладающее влияние на сопротивление оказывают химический состав материала, его структура, ионный характер проводимости.

Для устранения некоторых паразитных эффектов от постоянного тока, который питает датчики кондуктометрических приборов, переходят к переменному току [1].

Диэлектрическая проницаемость. Многими учеными были получены зависимости, устанавливающие взаимосвязь между диэлектрическими проницаемостями смеси ε , отдельных компонентов ε_i и их объемными концентрациями F_i . Наибольшее распространение получили следующие соотношения [4]:

Для двухкомпонентных сред (вода + полимер):

1) Лоренц — Лорентца, Клаузиуса — Моссотти, Винера

$$\varepsilon = \varepsilon_2 \left(1 + \frac{3F \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \right)$$

где $F = 1 - F_1$, т.к. $F_1 + F_2 = 1$

2) Вагнера

$$\varepsilon = \varepsilon_2 \left(1 + 3F \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2} \right)$$

3) Рейнольда и Хью

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_2 F (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_2 + F (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}$$

Для многокомпонентных сред (вода + полимер + воздух + наполнитель):

Лихтенекера

$$\lambda^k = \sum_{i=1}^n F_i \lambda_i^k$$

где λ — параметр обобщенной проводимости (скорость ультразвука, диэлектрическая проницаемость, коэффициент теплопроводности, электрическая проводимость и

др.); k — коэффициент, учитывающий ориентацию частиц по отношению к ориентации поля и принимающий значения $k = +1$ при совпадении направления ориентации частиц и поля и $k = -1$ при взаимно перпендикулярной ориентации частиц и поля; n — число компонентов.

Скорость и затухание ультразвука. Влажность материалов, состоящих из твердой фазы и воды, с высоким ее содержанием ($W > 20\%$), может быть определена по скорости УЗК по формуле [2, 1]:

$$\vartheta = \frac{\left[1 + W \left(\frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} - 1\right)\right] \vartheta_{\text{в}}}{\frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} \sqrt{W}}$$

Определение влажности по скорости УЗК пока не получило распространения в связи с высокой погрешностью измерения коэффициента затухания, обусловленной влиянием акустического контакта между поверхностью ультразвукового преобразователя и поверхностью контролируемой среды.

Заключение

В работе изучены физические неразрушающие методы и средства контроля влажности в жидких, порошкообразных и твердых диэлектрических материалах. Рассмотрено влияние повышенной влажности на физические свойства исследуемых материалов. Исследования проведены для различных типов диэлектрических материалов (как двухкомпонентных, так и многокомпонентных). Получены формулы для контроля влажности различными физическими параметрами. При анализе полученных уравнений установлен ряд физических параметров, позволяющих наиболее точно и грамотно оценить уровень влажности в исследуемых материалах.

Полученные данные могут быть применимы на практике, для избегания образования дефектов, нарушения адгезионных свойств связующих и клеев и пр. факторов, негативно влияющих на физические и конструкционные свойства материалов.

Список литературы:

1. Коряков В.И., Запорожец А.С. / Приборы в системах контроля влажности твердых веществ и их метрологические характеристики. // Практика приборостроения. - 2002. - №1. - С. 5-11.
2. Ивченко Ю.А., Федоров А.А. / Чем измерить влажность? / Ивченко Ю.А., Федоров А.А. // Датчики и системы. - 2003. - №8. - С. 53 - 54.
3. Потапов А.И., Сясько В.А. / Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий. - СПб.: Гуманистика, 2009. - 904 с.
4. А.И. Потапов, В.М. Игнатов, Ю.Б. Александров и др. / Технологический неразрушающий контроль пластмасс // - Ленинград: Химия. Ленингр. отделение, 1979. - 285 с.