

Г. И. Малаш, А. М. Олехнович, Л. И. Кривонос

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНОГО ЛАКА

При внесении диэлектрика в переменное поле в нем, помимо потерь энергии, обусловленных явлением сквозной проводимости, еще имеют место потери на установление поляризации. Мощность, выделяемая в единице объема диэлектрика в случае однородного поля, определяется согласно уравнению:

$$P = 0,55 f E^2 \varepsilon \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-10} \text{ вт/м}^3,$$

где f — частота электрического поля, *гц*,

E — эффективное значение напряженности поля, *в/м*,

ε — относительная диэлектрическая проницаемость вещества,

$\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь.

Произведение диэлектрической проницаемости на тангенс угла потерь ($\kappa = \varepsilon \operatorname{tg} \delta$), характеризующее свойства материала, называется коэффициентом или фактором потерь.

При определенных значениях частоты и напряженности электрического поля интенсивность нагрева материала определяется только значением фактора потерь, зависящим от физико-химических свойств материала (плотности, влажности, температуры, строения молекулы и др.), а также, в свою очередь, от частоты электрического поля.

Настоящая работа предпринята с целью исследования относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полиэфирного парафиносодержащего лака ПЭ-246 в зависимости от его фазового состояния и от частоты электрического поля.

Лак ПЭ-246 состоит из четырех компонентов: стирольного раствора ненасыщенной полиэфирной смолы, нафтената кобальта (ускорителя), перекиси циклогексанона (инициатора) и стирольного раствора парафина.

Для формирования покрытия готовятся два рабочих состава — 1-й состав: раствор смолы, перекись циклогексанона и раствор парафина; 2-й состав: раствор смолы, нафтенат кобальта и раствор парафина.

После смешения указанных составов происходит сополимеризация смолы с мономером (стиролом), и покрытие отвердевает.

Причем, процесс отверждения проходит через три фазы: жидкую фазу, фазу желатины и твердое состояние.

В жидкой фазе исследовался чистый раствор полиэфирной смолы, 1-й и 2-й рабочие составы лака.

Для проведения исследований диэлектрических параметров лака в фазе желатины образцы готовились следующим образом.

Сначала формировались пленки между двумя плоскопараллельными пластинками. Толщина пленок выдерживалась с точностью до 10 мкм с помощью концевых мер длины толщиной 2 мм. Через 20—30 мин с момента отверждения, т. е. при достижении фазы желатины, из пленок вырезались образцы толщиной 2 мм и диаметром 50 мм. Эти же образцы, по истечении 24 ч от начала процесса полимеризации, использовались для измерений ϵ и $tg\delta$ и твердой фазы.

Измерения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в среднем диапазоне частот от 1 до 20 Мгц проводились с помощью куметров Е9-4 и КВ-1.

Измерения выполнены при комнатных условиях согласно стандартным методикам (ГОСТ 9441-65) и методикам Д. М. Казарковского, Б. М. Тараева (Испытание электроизоляционных материалов, М., 1969) и Ф. Эмме (Диэлектрические измерения, М., 1967).

В результате измерений получены частотные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь в указанном диапазоне. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

Относительная диэлектрическая проницаемость полиэфирного лака в жидкой фазе (рис. 1) незначительно уменьшается по мере увеличения частоты поля:

от 5,87 при $f=1$ Мгц до 5,46 при $f=17$ Мгц — для чистого раствора смолы;

от 6,02 при $f=1$ Мгц до 5,55 при $f=19$ Мгц — для 1-го рабочего состава лака;

от 6,9 при $f=1$ Мгц до 6,66 при $f=18$ Мгц — для 2-го рабочего состава лака.

Для всех трех растворов (чистая смола, 1-й и 2-й рабочий состав) $tg\delta$ с ростом частоты резко увеличивается, достигая на $f=14$ Мгц явно выраженного максимума, а затем убывает.

Исследуемые растворы представляют собой полярные жидкости, которым свойственна дипольно-релаксационная поляризация.

Известно, что для таких жидких веществ при средней вязкости диэлектрические потери достаточно велики и характеризуются наличием частотного максимума $tg\delta$, определяемого временем релаксации. С ростом частоты электрического поля $tg\delta$ увеличивается, пока поляризация успевает следовать за изменением поля. Если же частота достигает таких значений, что диполи не успевают совершать полный поворот вслед за изменением поля, то поляризация ослабляется.

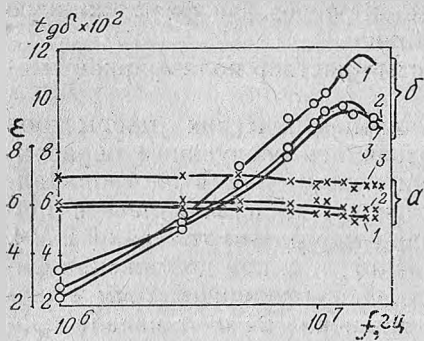


Рис. 1. Зависимость ϵ и $\operatorname{tg}\delta$ полиэфирного лака от частоты электрического поля в жидкой фазе (а — ϵ , б — $\operatorname{tg}\delta$).

1 — чистый раствор полиэфирной смолы; 2 — 1-й рабочий состав лака; 3 — 2-й рабочий состав лака.

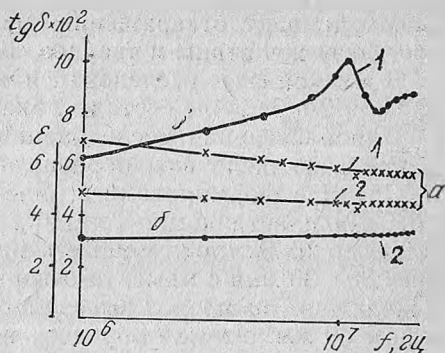


Рис. 2. Зависимость ϵ и $\operatorname{tg}\delta$ полиэфирного лака от частоты электрического поля и агрегатного состояния (а — ϵ , б — $\operatorname{tg}\delta$).

1 — фаза желатинны; 2 — твердая фаза.

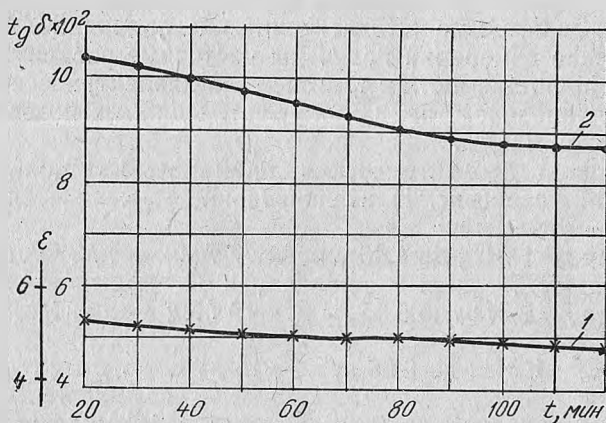


Рис. 3. Изменение ϵ (1) и $\operatorname{tg}\delta$ (2) в процессе полимеризации.

Ослабление поляризации влечет за собой уменьшение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Характер зависимости диэлектрической проницаемости от частоты поля для полиэфирного лака в фазе желатинны (рис. 2) примерно тот же, что и для жидкой фазы: наблюдается некоторое уменьшение ее с ростом частоты.

Частотная зависимость $\operatorname{tg}\delta = \varphi(f)$ имеет ту особенность, что максимум тангенса потерь смещается на более низкую частоту (11 Мгц), причем он приобретает более резко выраженный харак-

тер. Этот факт, по нашему мнению, объясняется уменьшением подвижности диполей вещества по сравнению с жидкой фазой.

Как уже было сказано выше, лак ПЭ-246 представляет собой раствор ненасыщенной полиэфирной смолы в мономере. Полиэфирная смола, являющаяся продуктом конденсации двухатомных спиртов — гликолей и малеинового ангидрида — имеет в молекулах ненасыщенные двойные связи между углеродными атомами.

Поскольку величина диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь любого соединения возрастает при введении в его молекулу двойной углерод-углеродной связи [2], то полиэфирный лак, имеющий в своем составе фрагменты ненасыщенной структуры, обладает относительно высокими значениями диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости. С другой стороны, наличие ненасыщенных двойных связей в молекулах лака обуславливает, при определенных условиях, возможность сополимеризации полиэфирной смолы с мономером, т. е. заполнение ненасыщенных связей с образованием пространственной молекулярной структуры. Поэтому можно было ожидать, что в процессе отверждения полиэфирного лака значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь должны уменьшаться.

Действительно, измерениями установлено, что указанные диэлектрические параметры в процессе отверждения монотонно уменьшаются (рис. 3); замеры производились в течение 2 ч через каждые 10 мин на частоте 10 Мгц.

Для твердой фазы (после 24 ч от начала отверждения) диэлектрическая проницаемость изменяется от 4,8 до 4,6, а тангенс угла диэлектрических потерь — от $3,4 \cdot 10^{-2}$ до $3,7 \cdot 10^{-2}$ в зависимости от частоты (см. рис. 2), т. е. диэлектрические параметры сухой пленки лака незначительно зависят от частоты электрического поля в исследуемом диапазоне частот.

На рис. 4 приведены графики зависимости фактора потерь от частоты поля для лака ПЭ-246 в жидкой фазе, в фазе желатина и в твердом состоянии. На основе графиков можно заключить, что наибольшие потери, а следовательно, и более интенсивное выделение тепловой энергии в покрытии будет происходить при частотах 13—14 Мгц для жидкой фазы лака и 11 Мгц для лака в фазе желатина.

Для сухой пленки фактор потерь значительно меньше и не зависит в исследуемом диапазоне от частоты электрического поля.



Рис. 4. Зависимость фактора потерь полиэфирного лака от частоты электрического поля и агрегатного состояния.

1 — жидкая фаза; 2 — фаза желатина;
3 — твердая фаза.