

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ИЗОФЛЕКСА

В. И. МЕРКУЛОВ, Т. Н. БАСКАКОВА

(Представлена научным семинаром кафедры электроизоляционной
и кабельной техники)

В последние годы в электромашиностроении широкое применение в качестве электрической изоляции получили композиционные материалы на основе полиимидной и полиэтилентерефталатной пленок [1]. Среди композиционных отечественных материалов особое значение имеет изофлекс как материал, обладающий высокой нагревостойкостью, механической и электрической прочностью. Высокие физико-химические, механические и диэлектрические свойства этого материала позволяют использовать его в качестве пазовой изоляции электрических машин и дают возможность автоматизировать технологические операции при намотке статора.

Учитывая, что пазовая изоляция электрических машин подвергается механическим и тепловым воздействиям, нами проводилось исследование электрической прочности изофлекса в процессе теплового старения.

Изучение электрической прочности изофлекса производилось при $T = 20^\circ\text{C}$ на переменном напряжении промышленной частоты в системе электродов диаметром 20 мм.

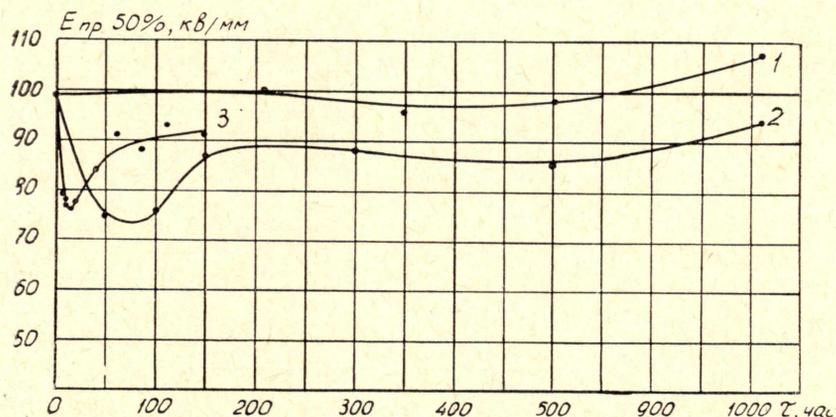


Рис. 1. Зависимость $E_{пр}$ изофлекса от времени теплового старения τ при различных температурах старения: 1 — 200°C , 2 — 250°C , 3 — 300°C

В качестве образцов для исследования брались пластины изофлекса — ЗН размером $100 \times 100 \text{ мм}^2$, состоящие из двух слоев полиимидной пленки — ПМ толщиной 40 мк и стеклоткани, пропитанной полиэфир-

эпоксидным лаком ЭП-934. Для устранения перекрытия образцов применялось электродное устройство, предложенное Рижинашвили [2]. Измерение толщины образцов производилось на вертикальном оптиметре ИЗВ-2 с точностью $\pm 0,5$ мк.

Результаты испытания электрической прочности изофлекса в процессе теплового старения представлены на рис. 1. Каждая точка соответствует 30 образцам.

Из рис. 1 видно, что при температуре старения 200°C электрическая прочность изофлекса практически не зависит от времени старения в течение 1000 часов. Это подтверждается статистической проверкой результатов испытания с использованием критерия Вилькоксона [3].

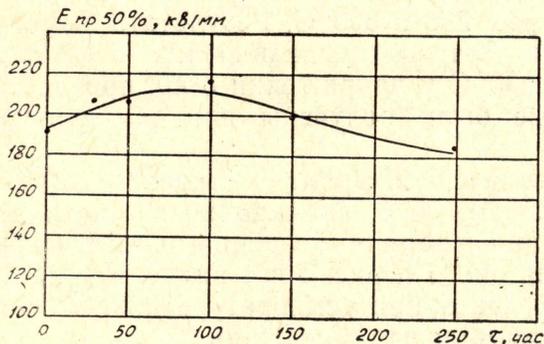


Рис. 2. Зависимость $E_{пр} = f(\tau)$ для полиимидной пленки ПМ, состаренной при температуре 250°C

электрической прочности. Так, кривая $E_{пр} = f(\tau)$ при 250°C лежит ниже, чем при температуре 200°C .

С целью выявления причины образования минимума в зависимости $E_{пр} = f(\tau)$ нами проводилось изучение электрической прочности полиимидной пленки в процессе теплового старения при температуре 250°C .

Результаты испытаний полиимидной пленки на пробой, полученные по аналогичной методике, представлены на рис. 2.

Как показала статистическая проверка, электрическая прочность полиимидной пленки практически не зависит от времени старения в течение 250 часов. Это позволяет предположить, что образование минимума в кривой зависимости $E_{пр} = f(\tau)$ для изофлекса связано с разрушением

полиэфирэпоксидного связующего в процессе теплового старения. Действительно, как показали визуальные наблюдения, в процессе теплового старения происходит вспучивание изофлекса с последующим расслоением. Можно предположить, что в процессе теплового старения при температурах 250 и 300°C происходит термическая деструкция связующего, сопровождающаяся выделением газообразных продуктов, приводящих к расслоению. С повышением температуры старения процесс деструкции связующего протекает более интенсивно и, например, при температуре старения 300°C процесс расслоения изофлекса наблюдает-

ся при температуре старения 200°C электрическая прочность изофлекса практически не зависит от времени старения в течение 1000 часов. Это подтверждается статистической проверкой результатов испытания с использованием критерия Вилькоксона [3]. При температурах старения 250 и 300°C в зависимости $E_{пр} = f(\tau)$ наблюдается минимум электрической прочности, который смещается в сторону меньших времен (от 60 часов до 15 часов) с увеличением температуры старения от 250 до 300°C .

Можно отметить также, что с ростом температуры старения происходит снижение

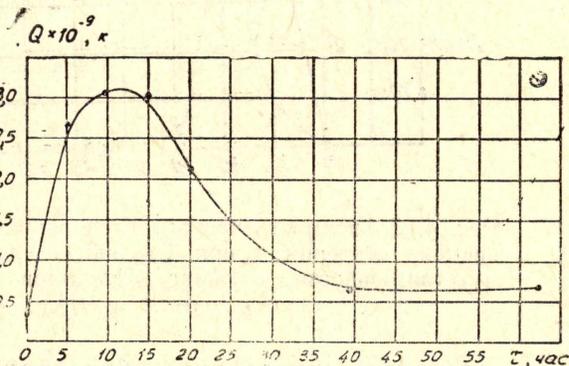


Рис. 3. Зависимость кажущейся интенсивности частичных разрядов Q от времени старения при $T = 300^\circ\text{C}$ для изофлекса

ся визуально через 5—10 часов старения. При наблюдении под микроскопом в объеме изофлекса просматривается большое количество газовых включений, размер которых увеличивается в процессе теплового старения.

Это явление способствует перераспределению электрического поля в объеме материала и увеличению его неоднородности вследствие частичных разрядов, что приводит к уменьшению электрической прочности изофлекса.

Для проверки высказанного предположения нами проводилось изучение характеристик частичных разрядов (ч. р.) изофлекса в процессе теплового старения при температурах 250 и 300°С. Результаты измерения кажущейся интенсивности Q и частоты следования ч. р. — n , полученные при температуре старения 300°С и напряжении 6 кВ, приведены на рис. 3 и 4. Аналогичные данные были получены при температуре 250°С.

Как видно из рис. 3 и 4, с увеличением времени старения частота следования и кажущаяся интенсивность ч. р. сначала возрастают, достигая максимального значения при времени старения 10—15 часов, а затем уменьшаются. Из сравнения рис. 1 и рис. 3 и 4 видно, что минимум электрической прочности изофлекса при температуре 300°С соответствует по времени старения максимальным значениям Q и n .

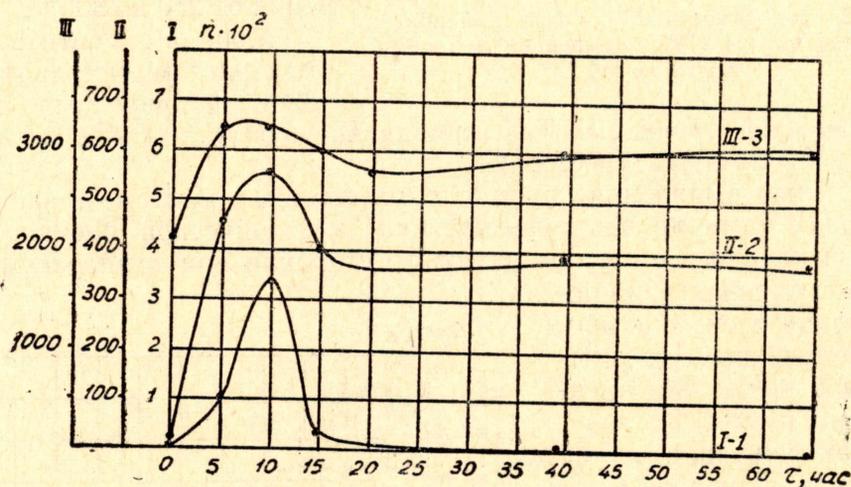


Рис. 4. Зависимость частоты следования частичных разрядов n от времени старения τ при $T = 300^\circ\text{C}$ для изофлекса при различной чувствительности счетчика импульсов ПС-10000: I-1— $n(1)$; II-2— $n \cdot (10^{-1})$; III-3— $n \cdot (10^{-2})$

Это позволяет считать, что образование газовых полостей в процессе теплового старения и увеличение их размеров приводит к возрастанию кажущейся интенсивности ионизации, частоты следования ч. р. и увеличению неоднородности электрического поля за счет частичных разрядов. Последнее обуславливает снижение электрической прочности изофлекса.

При дальнейшем старении происходит выгорание связующего и шунтирование пор продуктами деструкции. Действительно, измерения поверхностного сопротивления стеклолакоткани, пропитанной полиэфир-эпоксидным лаком, показали, что его величина в процессе теплового старения уменьшается на 3÷4 порядка (от $3,3 \cdot 10^9$ до $7,8 \cdot 10^5 \text{ ом}$). Это приводит к выравниванию электрического поля в объеме материала, уменьшению частоты следования и кажущейся интенсивности ч. р., а также к некоторому возрастанию электрической прочности изофлекса (см. рис. 1).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Электрическая прочность изофлекса при температуре старения 200°С практически не зависит от времени старения в течение 1000 часов.

При температурах старения 250 и 300°С в зависимости электрической прочности от времени старения наблюдается минимум.

2. Образование минимума в зависимости $E_{пр} = f(\tau)$ связано с деструкцией полиэфирэпоксидного связующего в процессе теплового старения, приводящей к созданию газовых полостей и увеличению неоднородности электрического поля за счет частичных разрядов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные композиционные материалы. Под ред. А. Браушмана и Р. Крона. М., «Мир», 1970.

2. В. Я. Рижинашвили. Устройство для определения электрической прочности твердых диэлектриков. «Пластмассы», 1966, № 10.

3. Н. В. Смирнов, И. Н. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). М., «Наука», 1965.