

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОвого РАСШИРЕНИЯ  
НЕКОТОРЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

В. М. АНИКЕЕНКО, Т. В. КУЛИКОВА

(Представлена научным семинаром кафедры ЭИКТ)

Полимерные пленки находят широкое применение в качестве электроизоляционных материалов при изготовлении разнообразных электротехнических изделий и конструкций. При этом в каждом конкретном случае работа пленки имеет некоторые специфические особенности, т. е. пленки испытывают разнообразные механические, электрические и тепловые воздействия. Во всех конструкциях полимерная пленка работает при повышенных

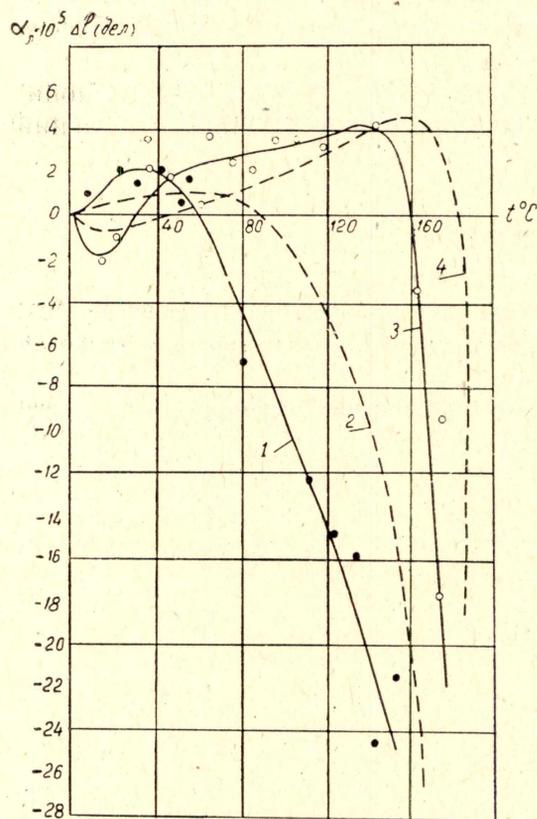


Рис. 1. Зависимость теплового расширения ( $\Delta l$ ) и коэффициента теплового расширения ( $\alpha_l$ ) пленки полиэтилентерефталата (лавсан) от температуры (в поперечном направлении). 1 —  $\alpha_l$ ; 2 —  $\Delta l$  (в исходном состоянии); 3 —  $\alpha_l$ ; 4 —  $\Delta l$  (при повторном нагревании)

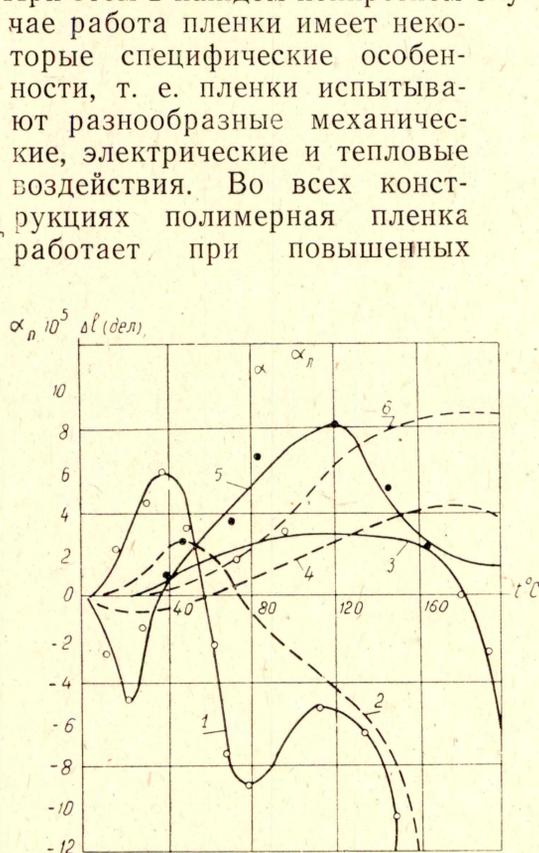


Рис. 2. Изменение  $\Delta l$  и  $\alpha_l$  в зависимости от температуры полиэтилентерефталата (в продольном направлении): 1 —  $\alpha_l$ ; 2 —  $\Delta l$  — исходное состояние; 3 —  $\alpha_l$ ; 4 —  $\Delta l$  — после 24 часов старения при  $140^\circ\text{C}$ ; 5 —  $\alpha_l$ ; 6 —  $\Delta l$  — после 240 часов старения при  $140^\circ\text{C}$

температурах в контакте с проводниками и электроизоляционными материалами, которые имеют различные коэффициенты теплового расширения (КТР). В связи с этим в пленках дополнительно могут возникать значительные внутренние напряжения, сопровождающиеся в ряде случаев деформациями и повреждениями в виде трещин. В этой связи исследование теплового расширения пленок имеет определенное практическое значение.

В данной работе изучалась пленка с линейным и пространственным строением молекул. В качестве объекта исследования использованы пленка лавсан, эмальпленки на основе лака винифлекс (ВЛ-931), полиэфирамидного (ПЭ-955), полиэфироцианоратного (ПЭ-958) и полиэфирного (F-35).

Тепловое расширение изучалось с помощью дилатометрического метода. Существующие конструкции кварцевых дилатометров [1, 2] не позволяют с достаточной степенью точности фиксировать тепловое расширение пленок толщиной 30—60 мк, поэтому был воспроизведен и использован универсальный прибор, предложенный в работе [3].

Тепловое расширение изучалось в интервале положительных температур от 20 до 200°С при скорости нагрева пленки 0,5—1 °/мин и фиксировалось с помощью микроскопа марки МИР-1М сценой деления шкалы 36 мк. Пленки эмальлаков изготавливались на подложках методом окупания.

Характер теплового расширения пленки линейного кристаллического полимера (полиэтилентерефталата) представлен на рис. 1, 2. Для экспериментов использовались образцы, вырезанные в двух перпендикулярных, в продольном и поперечном, направлениях. Как видно из рис. 1, 2, в начальный период нагревания наблюдается незначительное расширение, переходящее в дальнейшем в резкое необратимое сокращение. При повторном нагревании до температуры 120—140°С наблюдается некоторое расширение пленки, затем при более высоких температурах сокращение. Такое поведение пленки лавсан вызвано ориентированным расположением молекулы, возникающим в процессе изготовления. Принудительная ориентация характеризуется неравновесным состоянием структуры, которое исчезает в процессе релаксации молекул. Релаксация в данном случае затрудняется кристаллическим строением и плотной упаковкой структуры. В связи с этим неравновесное напряженное состояние исчезает лишь после 240 часов термообработки при температуре 140°С, несмотря на то, что температура стеклования находится в интер-

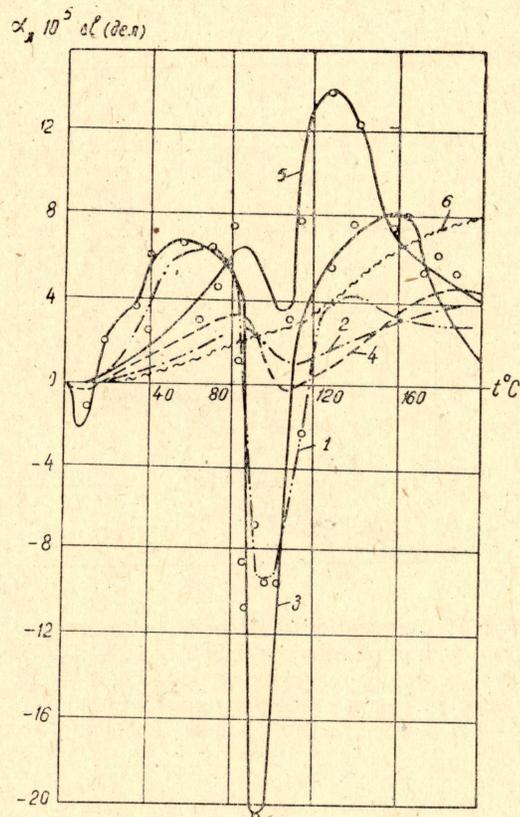


Рис. 3. Изменение  $\Delta l$  и  $\alpha_l$  в зависимости от температуры пленок эмальлака ПЭ-958: 1 —  $\alpha_l$ ; 2 —  $\Delta l$  — неструктурированная пленка; 3 —  $\alpha_l$ ; 4 —  $\Delta l$  — структурированная пленка; 5 —  $\alpha_l$ ; 6 —  $\Delta l$  — то же при повторном испытании

вале 67—81°С [4]. Данное явление следует иметь в виду при конструировании пазовой изоляции электрических машин, при изготовлении обмоточных проводов с пленочной изоляцией, когда прибегают к уплотнению изоляции путем термообработки, а также при изучении срока службы полимерной изоляции. Изменение температурного коэффициента расширения ( $\alpha_{\text{л}}$ ) имеет более сложный характер, и он чувствителен к внутренним перестройкам и внутренним напряжениям.

В процессе производства эмалированных проводов ориентированное положение молекул пленкообразующей основы возникает при нанесении

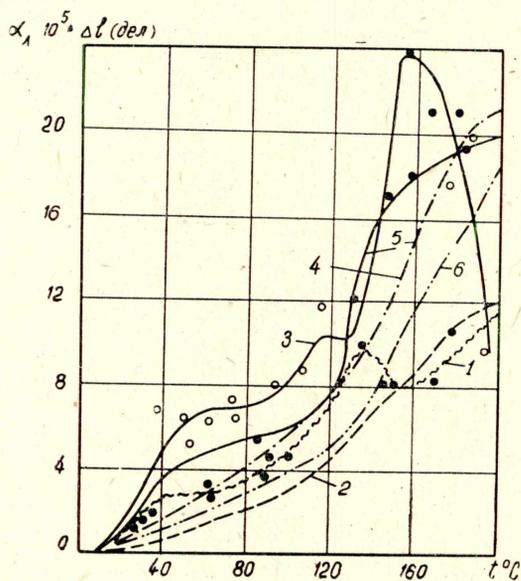


Рис. 4. Зависимость  $\Delta l$  и  $\alpha_{\text{л}}$  от температуры пленки эмальлака ПЭ-955: 1 —  $\alpha_{\text{л}}$ ; 2 —  $\Delta l$  — исходное состояние; 3 —  $\alpha_{\text{л}}$ ; 4 —  $\Delta l$  — после 24 часов старения при 180°С; 5 —  $\alpha_{\text{л}}$ ; 6 —  $\Delta l$  — после 240 часов старения при 180°С

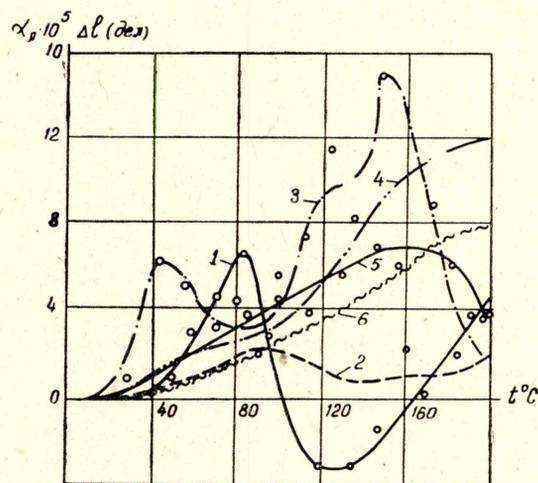


Рис. 5. Зависимость  $\Delta l$  и  $\alpha_{\text{л}}$  от температуры пленок эмальлака ВЛ-931: 1 —  $\alpha_{\text{л}}$ ; 2 —  $\Delta l$  — исходное состояние; 3 —  $\alpha_{\text{л}}$ ; 4 —  $\Delta l$  — после 24 часов старения при 180°С; 5 —  $\alpha_{\text{л}}$ ; 6 —  $\Delta l$  — после 72 часов старения при 180°С

лака на провода. Стабилизации такого состояния способствует образование пристенных слоев на границе металл — лак [6, 5], процесс структурирования, а дезориентации — релаксационные процессы в период испарения растворителя и начала поликонденсации. При дальнейших термообработках неравновесное состояние постепенно уменьшается, уровень внутренних напряжений снижается, чем и можно объяснить изменение величины перепадов  $\text{ТКР}_{\alpha_{\text{л}}}$  для пленок лака ПЭ-958 (рис. 3), ПЭ-955 (рис. 4) и ВЛ-931 (рис. 5). Величина  $\text{ТКР}$  практически для всех эмальпленок в интервале температур 20—200°С изменяется в пределах  $(2 \div 20 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C})$ , что примерно на один порядок выше  $\text{ТКР}$  металлов. Такое различие температурных коэффициентов расширения может привести к возникновению значительных внутренних напряжений. Величина напряжений в эмалевой изоляции проводов и других изделий может оцениваться в достаточной степени точности для области упругих деформаций при наличии зависимости  $\alpha_{\text{л}} = f(t^\circ\text{C})$  и модуля упругости  $E = f(t^\circ\text{C})$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Баржнов, В. И. Парцман. «Заводская лаборатория», т. 28, № 21, 1962.
  2. Н. С. Новосельцев. Практикум по сегнетоэлектрикам. Ростовский университет, 1958.
  3. И. Ф. Кайминь и др. «Пластические массы», № 9, 1966.
  4. Конструкционные свойства пластмасс. Под ред. Э. Бера. «Химия», 1967.
  5. Ю. М. Малинский. О влиянии твердой поверхности на процессы релаксации и структурообразования в пристенных слоях полимеров. «Успехи химии», т. XXXIX, вып. 8, 1970.
  6. А. И. Кислов. Исследование электрических адгезионных и физико-механических свойств электроизоляционных лаковых покрытий при структурной пластификации. Диссертация, 1968.
-