

Л.А. ЩЕБЕНЮК, канд. техн. наук., проф., НТУ «ХПИ»

С.А. РЯБИНИН, студ., НТУ «ХПИ»

А.И. СТУРЧЕНКО, студ., НТУ «ХПИ»

К АНАЛИЗУ ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ВРЕМЕНИ ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ АНТИПИРЕНАМИ ПВХ-ПЛАСТИКАТОВ

Выполнен анализ результатов сравнения механических свойств наполненного ПВХ-пластиката, для которых обеспечение требований пожарной безопасности диктует рецептуры ПВХ-пластикатов, предназначенных для изоляции, оболочек и внутреннего заполнения кабелей. В частности, высокое значение кислородного индекса, низкое значение параметра дымообразования и выделения хлористого водорода.

Ключевые слова: ПВХ-пластикат, антипирен, механическая прочность, время

Постановка проблемы. Для обеспечения требований пожарной безопасности электрических кабелей (см. табл.) разрабатываются рецептуры ПВХ-пластикатов, предназначенных для изоляции, оболочек и внутреннего заполнения кабелей. У разработанных пластикатов более высокое значение кислородного индекса, низкое значение параметра дымообразования и выделения хлористого водорода, а также пониженная токсичность продуктов горения.

Таблица. Основные показатели пожарной опасности электрических кабелей

Наименование показателя	Обозначение в марках кабелей	Нормативный документ для оценки показателя
Нераспространение горения	Индекс «нг» (нераспространение горения)	МЭК 60332 часть 3
Дымо-, газовыделение при горении и тлении	Индекс «LS» (Low smoke)	МЭК 61034 часть 1 и 2
Коррозионная активность продуктов горения	Индекс «HF» (Halogen free)	МЭК 60754 часть 2
Огнестойкость	Индекс «FR» (Fire resistance)	МЭК 60331-11 МЭК 60331-21

© Л. А. Щебенюк, С. Я. Рябинин, А. И. Стурченко, 2014

Однако использование антипиренов достаточно сильно изменяет технологические свойства пластиката. Особенно актуальна эта проблема для высоконаполненных композиций. Для выбора технологических параметров переработки ПВХ-пластикатов, наполненных антипиренами, и поиска оптимальных составов многокомпонентных структур в кабельном производстве необходим контроль механических характеристик образцов соответствующих композиционных материалов.

Анализ литературы. При определении механических характеристик кабельных пластмасс в условиях производства предусмотрен [1] контроль на стандартных образцах следующих характеристик:

- максимального усилия P_m (maximum tensile force), напряжения $\sigma = P/F$ (tensile stress), максимального напряжения $\sigma_m = P_m / F$ (tensile strength) при одноосном растягивании,

- относительного удлинения при разрыве $\delta = (l - l_0) \cdot 100/l_0$, % (elongation at break), где F - площадь поперечного сечения образца, l_0 - длина его до разрыва и l - длина после разрыва.

При этом не учитывается динамика изменения механических характеристик во времени, которая является важным фактором, определяющим изменение прочности пластмассы в течение эксплуатации [2].

Известно, что кабельные пластмассы, как и все полимерные материалы и их композиции, являются материалами, для которых зависимость между напряжением и деформацией зависит от времени. Такие материалы называют вязкоупругими. Процессы деформирования вязкоупругих материалов описывает теория наследственной вязкоупругости, основанная на двух фундаментальных положениях:

1) Силы упругости зависят не только от мгновенных смещений, но и от предыдущих деформаций, которые тем меньше влияют на эти силы, чем больше время прошло с момента появления этих деформаций.

То есть, деформация $\varepsilon(t)$ вязкоупругого тела в момент времени t определяется напряжением $\sigma(t)$ в данный момент плюс деформация $\Delta\varepsilon$, которая возникла в предыдущий малый период времени:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \Delta\varepsilon, \quad (1)$$

где E - модуль упругости.

2) Влияния деформаций, которые возникли в различные периоды времени складываются:

$$\Delta\varepsilon = \sum \frac{\sigma(s)}{E} \cdot \Delta s \cdot K(t-s), \quad (2)$$

где $K(t-s)$ - функция влияния напряжения $\sigma(s)$ в момент времени s на деформацию в момент времени t , которая уменьшается по мере увеличения $t-s$. Для $\Delta s \rightarrow 0$ связь деформации, напряжения и времени для вязкоупругого тела:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t K(t-s) \cdot \sigma(s) ds. \quad (3)$$

Для практических применений в кабельной технике важным является тот случай, когда механическое напряжение – постоянная величина, поскольку известно, что после изготовления изоляции или оболочки из пластмассы в них всегда есть внутренние механические напряжения. Если $\sigma(t) = \sigma(s) = \sigma$, то дифференцирование (3) дает возможность определить функцию влияния $K(t)$:

$$K(t) = \frac{E}{\sigma} \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (4)$$

То есть функция влияния пропорциональна скорости деформирования при действии постоянного механического напряжения. Соответствующие зависимости определяют экспериментально.

Цель работы. Экспериментальное определение характерных зависимостей механического напряжения от времени одноосного растяжения для образцов стандартных и высоконаполненных антипиренами ПВХ-пластиков. Сравнение и анализ различия этих характеристик.

Основные результаты. На рис. 1 представлены характерные зависимости механического напряжения от времени при одноосном растяжении для образцов стандартного ПВХ-пластиката и образцов, высоконаполненных антипиренами (мегалон).

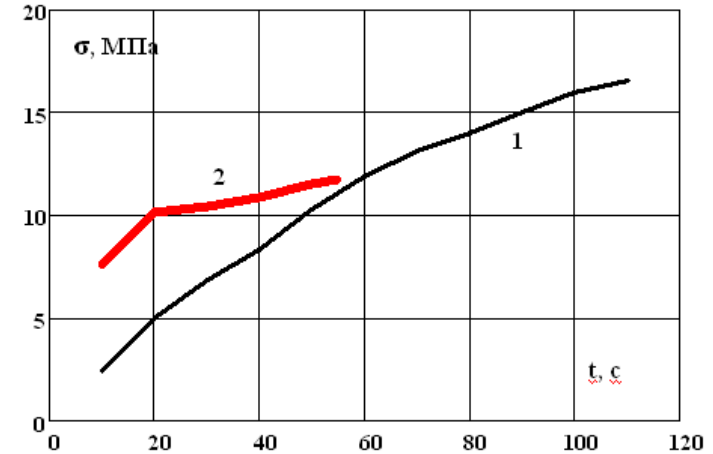


Рис.1 – Характерные зависимости механического напряжения от времени при одноосном растяжении для образцов стандартного ПВХ-пластиката (кривая 1) и образцов, высоконаполненных антипиренами (мегалон, – кривая 2)

Данные рис.1 свидетельствуют о том, что для образцов высоконаполненных антипиренами (мегалон, – кривая 2) наблюдается явление, которое можно условно назвать «текучесть». При этом деформация образца линейно растет (пропорционально времени), а сопротивление деформации меняется незначительно. На участке от 10 с до 20 с 2,5 МПа/с, а на участке от 20 с до 40 с 0,005 МПа/с. Различие столь значительно, что пренебречь им нельзя. Эти наблюдения свидетельствуют, что, во-первых, для образцов высоконаполненных антипиренами ПВХ-пластиков явление, которое можно условно назвать «текучесть», является воспроизводимым и потому должно быть количественно описано. Во-вторых, результаты такого количественного описания должны сопоставлены с результатами нормативных испытаний образцов при одноосном растяжении.

Модель, использованная для количественного описания участка «текучести», представлена на рис.2, где АВ – участок «текучести» длительностью, равной расстоянию между точками А и В в данной системе координат и обозначенной Δt тек, и с напряжением σ тек = P тек/ F .

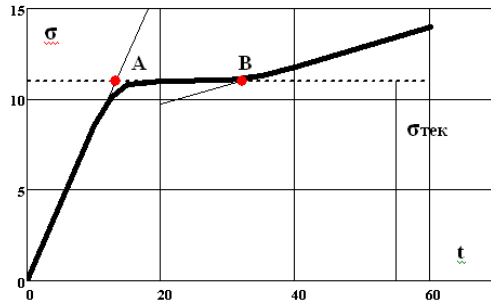


Рис.2 – Схема, использованная для количественного описания участка «текучести», наблюдаемого у образцов высоконаполненных антипиренами ПВХ-пластиков

Если в качестве оценки участка «текучести» принять определенный интеграл функции $\sigma = f(t)$ на этом участке, то оценка представляет собой по размерности величину, входящую в целый ряд законов гидродинамики вязких сред, и называемую коэффициентом внутреннего трения η :

$$\eta = \int_{t_A}^{t_B} \sigma(t) dt \approx (t_B - t_A) \cdot \sigma_{\text{тек}}. \quad (5)$$

Коэффициент внутреннего трения η в СИ измеряют в паскалях, умноженных на секунды, и для мегалона составляет (140 – 160) Па·с. Для образцов высоконаполненного антипиренами ПВХ-пластика ПО – 100 составляет (160 – 200) Па·с. Для образцов стандартного ПВХ-пластика (кривая 1 на рис.1) участок «текучести» не определяется. Минимальное значение коэффициента внутреннего трения η , определенного по участку «текучести», отражает степень наполненности пластика, а диапазон значений – степень однородности распределения частиц твердого наполнителя в композиции.

Выводы. 1. Для образцов высоконаполненных антипиренами ПВХ-пластиков явление, которое можно условно назвать «текучесть», является воспроизводимым и потому должно быть количественно описано. Предложено принять определенный интеграл функции $\sigma = f(t)$ в качестве такой оценки, которая представляет собой величину, входящую в целый ряд законов гидродинамики вязких сред, и называемая коэффициентом внутреннего трения η .

2. Экспериментальная оценка коэффициента внутреннего трения η по участку «текучести» зависимости механического напряжения от времени при одноосном растяжении для образцов наполненных

антипиренами ПВХ-пластиков дает дополнительную информацию о процессах деформирования и разрушения высоконаполненного пластика при одноосном растяжении.

Список литературы: 1. ДСТУ ІЕС 811-1-1:2003 Матеріали ізоляції та оболонки електричних та оптичних кабелів. Загальні методи випробувань Частина 1-1. 2. М.А. Колтунов, В.П. Майборода, В.Г. Зубчанинов. Прочностные расчеты изделий из полимерных материалов – М.: Машиностроение. 1983.- 239 с.

Bibliography (transliterated): 1. DSTU IEC 811-1-1:2003 Materiali izoljacji ta obolonok elektrichnih ta optichnih kabeliv. Zagal'ni metodi viprobuvan' Chastina 1-1. 2. M.A. Koltunov, V.P. Majboroda, V.G. Zubchaninov. Prochnostnye raschety izdelij iz polimernih materialov – Moscow: Mashinostroenie. 1983.

Надійшла (received) 25.11.2013