

В.М. ЗОЛОТАРЕВ, д-р техн. наук, ЗАО "Завод Южкабель", Харьков
О.В. ВАСИЛЬЕВА, ЗАО "Завод Южкабель", Харьков
Л.А. ЩЕБЕНЮК, канд. техн. наук., проф., НТУ "ХПИ", Харьков

КОНТРОЛЬ ДИСПЕРСИИ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ ПЛАСТМАСС ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧЕК КАБЕЛЕЙ В ПОЖАРОБЕЗОПАСНОМ ИСПОЛНЕНИИ

The analysis of mechanicals properties of full and not full polyvinylchloride plasticate.

Выполнен анализ механических свойств наполненного и ненаполненного ПВХ-пластификата для пожаробезопасных кабелей.

Виконано аналіз результатів порівняння механічних властивостей наповненого і не наповненого ПВХ-пластикату для пожежебезпечних кабелів.

Постановка проблемы. Наиболее пожароопасными в электроустановках из года в год (более 60% к общему числу пожаров от электроустановок) являются кабельные изделия, для которых характерно сочетание горючих материалов (электроизоляция, подушки, оболочки кабелей и т.п.) с возникновением, – в аварийных режимах эксплуатации, – источников зажигания (дуговые разряды, раскаленные и горящие частицы металлов в зоне короткого замыкания (КЗ), нагретые электрическим током токопроводящие жилы и детали арматуры и др.).

Современные требования пожарной безопасности кабелей, которые входят в международные стандарты, условно можно разделить на четыре категории. Каждая последующая категория включает, по сути, требования предыдущей по уровню безопасности: "нг" – нераспространение горения (МЭК 60332 часть 3); "LS" – низкое дымо-, газовыделение при горении и тлении (МЭК 61034 часть 1 и 2); "HF" – безгазовые (МЭК 60754 часть 2); "FR" – стойкие к действию пламени (МЭК 60331-11 МЭК 60331-21). Для обеспечения новых требований пожарной безопасности разрабатываются рецептуры ПВХ-пластиков, предназначенных для изоляции, оболочек и внутреннего заполнения кабелей. У новых пластиков более высокое значение кислородного индекса (до 40 %), низкое значение параметра дымообразования и выделения хлористого водорода, а также пониженная токсичность продуктов горения. Внедрение таких материалов в производ-

ство требует оперативного принятия технологических решений.

Традиционные методы испытаний не обеспечивают достаточно информации для принятия таких решений, поскольку изменение рецептуры пластиката для обеспечения указанных кабелей, как правило, связано с увеличением степени неоднородности материала. Поэтому контроль дисперсий основных параметров пластиката, в особенности его механических характеристик, становится определяющим для выбора технологических параметров его переработки. Такой контроль не предусмотрен нормативной документацией и, соответственно, - критерии и методы измерения дисперсий основных параметров пластиката должны быть разработаны и использованы при производстве кабелей, соответствующих новым требованиям пожарной безопасности.

Анализ литературы. Согласно [1] для определения механических характеристик кабельных пластмасс определяют:

- максимальное усилие P_m (maximum tensile force), напряжение $\sigma = P/F$ (tensile stress), максимальное напряжение $\sigma_m = P_m / F$ (tensile strength) при одноосном растягивании;

- относительное удлинение при разрыве $\delta = (l - l_0) \cdot 100/l_0$, % (elongation at break).

Испытаниям подвергают стандартные образцы с площадью поперечного сечения F и длиной l_0 до разрыва и l после разрыва. Учет дисперсии этих характеристик используют как иллюстрацию точности их экспериментальной оценки, если необходимо представить их зависимости от воздействующих на образцы факторов.

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 положениях [2]:

- деформации зависят не только от мгновенных смещений, но и от предыдущих, влияние которых уменьшается со временем, то есть $\varepsilon(t)$ определяется соответствующим напряжением $\sigma(t)$ плюс деформация в предыдущий малый период времени $\Delta\varepsilon$: $\varepsilon(t) = \Delta\varepsilon + \sigma(t)/E$, E – модуль упругости.

- влияния предшествующих деформаций складываются: $\Delta\varepsilon = \sum \Delta\varepsilon_i$

Для практического использования в кабельной технике важной является ситуация, когда механическое напряжение постоянно, поскольку известно, что после изготовления изоляции или оболочки в пластмассе есть внутренние напряжения [3]. Если $\sigma(t) = \sigma$, то $\varepsilon(t) =$

$(1 + \sum \Delta \varepsilon) \sigma/E \rightarrow [1 + \int d\varepsilon(t)] \sigma/E$, то есть зависимость деформации от времени при постоянном механическом напряжении, которую называют кривой ползучести, является важнейшим критерием механической устойчивости вязкоупругих материалов [3]. Эта информация относится к однородным по своей структуре полимерам. Очевидно, что неоднородность пластмассы может значительно снижать такую устойчивость.

Цель работы. Разработка критериев контроля дисперсий основных параметров ПВХ-пластиков в части их механических характеристик. Экспериментальная оценка степени неоднородности пластика, предназначенных для изоляции и оболочек кабелей, соответствующих новым требованиям пожарной безопасности.

Основные результаты. На рис. 1 представлена характерная корреляционная зависимость между максимальным усилием P_m при растяжении и толщиной t образца пластмассы. Достаточно высокий коэффициент линейной корреляции (для данной совокупности 70 %) свидетельствует о том, что для описания зависимости $P_m = f(t)$ в данном случае может быть использована линейная функция, в частности, однопараметрическая, проходящая через начало координат:

$$P_m = k t, \quad (1)$$

где параметр определен экспериментально как тангенс среднего из углов, образованных векторами всех экспериментальных точек с осью t .

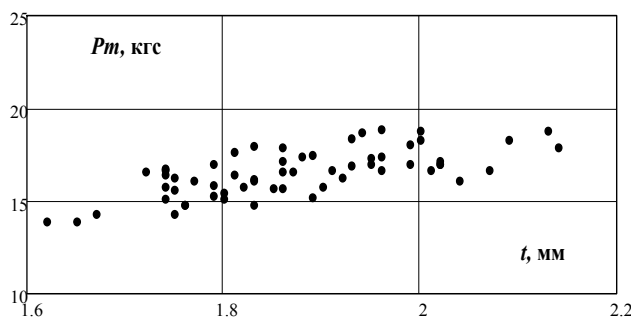


Рис.1. Корреляционная зависимость между максимальным усилием P_m и толщиной t образца пластмассы.

Для данных рис. 1 $k = 8,85$ кгс/мм. На рис. 2 сопоставлены экспериментальные и расчетные по (1) значения P_m . Видно, что (1) с достаточной для анализа дисперсий точностью описывает экспериментальные данные

(точки на рис. 1). Наблюдаемые несоответствия могут быть представлены как результат ошибки при измерении толщины, которая оценена нами в соответствии с нормативными требованиями значениями в диапазоне $\pm 0,025$ мм и введена в (1) как случайная величина $\zeta \in [-0,25; +0,25]$.

Тогда дисперсия максимального усилия при растяжении $D[P_m]$ как дисперсия суммы двух случайных величин равна сумме их дисперсий:

$$D[P_m] = k^2 (D[t] + D[\zeta]) = k^2 (\sigma[t])^2 + k^2(0,25 - (-0,25))^2. \quad (2)$$

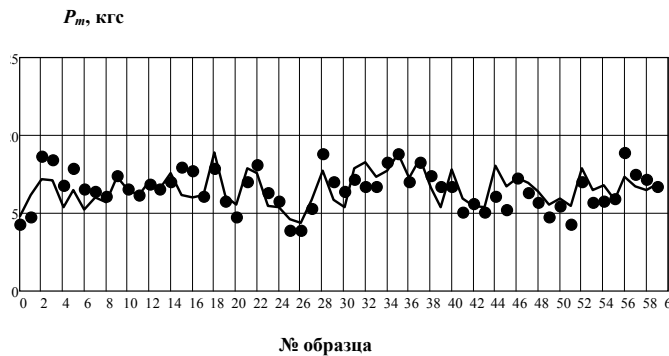


Рис. 2. Экспериментальные (точки) и расчетные по (1) значения $P_m = 8,85 \text{ t}$, где t – измеренные значения, мм.

Приемлемость (2) для определения дисперсии максимального усилия при растяжении P_m проверена путем сопоставления экспериментальных и расчетных значений дисперсии по (2), которые приведены на рис. 3. Нанесены значения квадратных корней

дисперсий для использования на графике принятых в практике нормативных испытаний единиц измерения.

При оценке точности найденных значений следует учитывать то, что распределение дисперсий является несимметричным даже в случае симметричного распределения самой случайной величины. Однако при рассмотренном количестве измерений такой асимметрией можно пренебречь, а распределение дисперсий принять нормальным. Кроме того, количественное соотношение слагаемых в (2) для рассмотренного случая свидетельствует о том, что для поставленной задачи, а именно установления критерия неоднородности ПВХ-пластиката использование коэффициента k в (1) целесообразно.

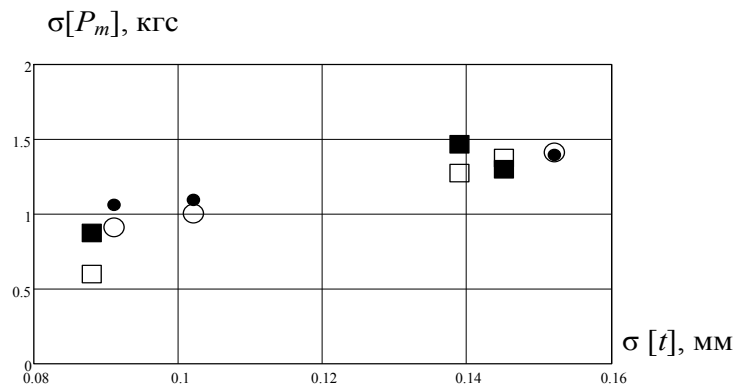


Рис.3. Зависимости дисперсии максимального усилия P_m при растяжении от дисперсии толщины t образцов пластмассы: экспериментальные (зачерненные) и расчетные (светлые).

Выводы. 1. Значительный коэффициент линейной корреляции

между максимальным усилием P_m при растяжении и толщиной t стандартных образцов пластмассы свидетельствует о том, что для описания зависимости $P_m = f(t)$ в данном случае может быть использована линейная функция, в частности, однопараметрическая.

2. Дисперсия максимального усилия при растяжении $D[P_m]$ является дисперсией суммы двух случайных величин: толщины t и ошибки ζ при измерении толщины. Предложено и проверено экспериментально соответствующее расчетное соотношение.

3. Предложено в качестве критерия неоднородности ПВХ-пластиката использование коэффициента в линейной функции $P_m = f(t)$, который практически определяет дисперсию максимального усилия при растяжении $D[P_m]$.

Список литературы: 1. ДСТУ 811-1-1:2003 Загальні методи випробувань матеріалів ізоляції та оболонки електричних кабелів. Частина 1: Методи загального застосування. Розділ 1: Вимірювання товщини та зовнішніх розмірів. Випробування для визначення механічних властивостей. 2. Колтунов М.А., Майборода В.П., Зубчанинов В.Г. Прочностные расчеты изделий из полимерных материалов. – М.: Машиностроение, 1983. – 239 с. 3. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість: [Підруч. для студ. вузів] / В.П. Карпушенко, Л.А. Щебенюк, Ю.О. Антонець, О.А. Науменко. – Харків: Регіон-інформ, 2000. – 376 с.

*Поступила в редколлегию 28.02.2012
Рецензент проф., д.т.н. Гурин А.Г.*