

О.В. ВАСИЛЬСВА, ЗАТ «Завод Південкабель», Харків;
Л.А. ЩЕБЕНЮК, канд. техн. наук., проф., НТУ «ХП»

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ОБРАЗЦОВ ПВХ-ПЛАСТИКАТОВ НА ДИСПЕРСИЮ МАКСИМАЛЬНОГО УСИЛИЯ (MAXIMUM TENSILE FORCE) ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

Виконаний аналіз результатів порівняння механічних властивостей наповненого ПВХ-пластикату. Проаналізовано результати розрахунку технологічних властивостей полімерних матеріалів на основі полівінілхлориду.

Выполнен анализ результатов сравнения механических свойств наполненного ПВХ-пластиката. Проанализованы результаты расчета технологических свойств полимерных материалов на основе поливинилхлорида.

The analysis of results following mechanicals properties full polyvinylchloride plasticate. The analysis of datas of calculation of the technological properties of polymeric materials PVC.

Постановка проблемы Для выбора технологических параметров переработки ПВХ-пластикатов и поиска оптимальных составов многокомпонентных структур в кабельном производстве необходим контроль дисперсий основных параметров пластиката, в особенности его механических характеристик. Такой контроль не предусмотрен нормативной документацией и, соответственно, - критерии и методы измерения дисперсий основных параметров пластиката должны быть разработаны и использованы при производстве кабелей.

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. Полученные значения сопоставляют с нормативными. Для принятия технологических решений таких данных бывает недостаточно, поскольку наблюдается значительный разброс характеристик, полученных в одинаковых условиях [2].

Цель работы. Экспериментальная оценка влияния точности измерения толщины образцов ПВХ-пластикатов на дисперсию максимального усилия P_m при одноосном растяжении.

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.

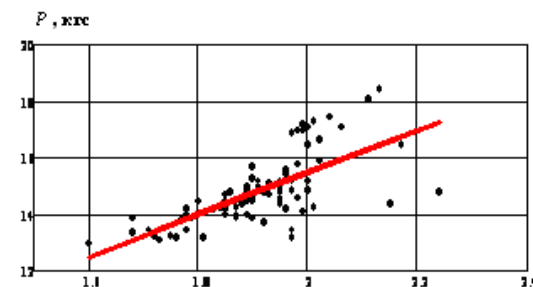


Рис.1 – Корреляционная зависимость между максимальным усилием P_m и толщиной t образца пластмассы

Приведены данные $P_m = f(t)$ для пластиката ППО 30-35. Коэффициент линейной корреляции k между максимальным усилием P_m при растяжении равен $k = 0,681$, что свидетельствует о том, что зависимость $P^* = f(t^*)$ может быть представлена эмпирической линейной функцией: $P^* = a + b t^*$, где значения параметров, определенные методом наименьших квадратов, $a = 0,652$ кгс; $b = 7,427$ кгс/мм.

Данные рис.1 свидетельствуют о том, что наблюдается увеличение дисперсии разрывного усилия по мере увеличения толщины образцов. Сопоставление этих данных с относительными удлинениями при разрыве соответствующих образцов показали, что для партий образцов, отличающихся существенно большими значениями $\delta = (l - l_0) \cdot 100/l_0$, во-первых, характерны большие рассеяния значений толщины образцов, изготовленных в одинаковых условиях, и, во-вторых, только для таких (существенно более эластичных образцов) характерно резкое изменение коэффициента в линейной функции $P_m = f(t)$, который практически определяет дисперсию максимального усилия при растяжении $D[P_m]$ [2].

Эти наблюдения позволили предположить, что, во-первых, для существенно более эластичных образцов имеет место большая ошибка при измерении их толщины, и, во-вторых, чем эластичнее образцы, тем они дольше пребывают под действием растягивающей нагрузки. Эти предположения проверены количественно.

Для этого использован известный [3] принцип Мизеса, в котором совокупность данных разбивают на составляющие выборки и для них повторяют статистическую процедуру. В данном случае использован хронологический принцип. Результаты представлены на рис.2.

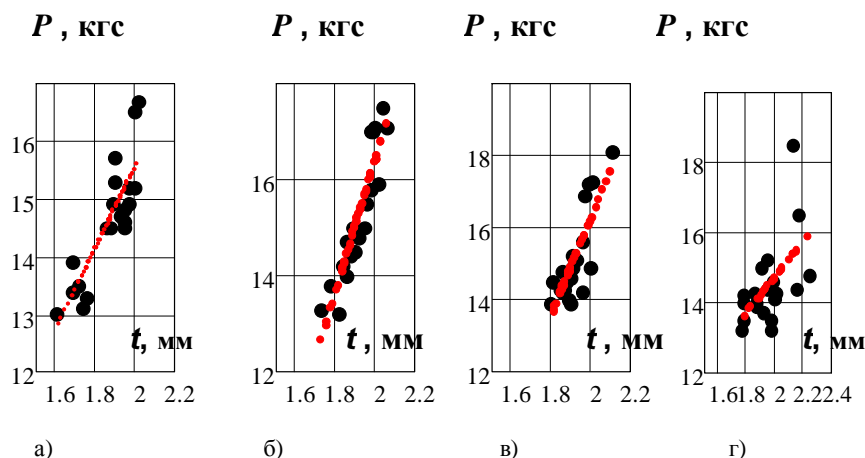


Рис.2 – Корреляционные зависимости между максимальным усилием P_m и толщиной t образца пластмассы для выборок, составляющих совокупность, представленную на рис.1

Значения параметров для линейных функций $P^* = a + b t^*$, определенные методом наименьших квадратов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения параметров зависимости максимального усилия от толщины образца

Обозначение параметра	Значения параметров для выборок			
	а)	б)	в)	г)
a , кгс	1,562	- 10,205	-9,914	4,584
b , кгс/мм	6,994	13,278	13,063	5,063

Данные таблицы свидетельствуют о том, что выборки б) и в) практически тождественны, а выборки а) и г) подобны. Для исследования причин значительного различия параметров для выборок а) и г), с одной стороны, и б) и в), с другой, нами использован метод интервальной математической статистики [4,5]. Результаты определения максимальной вероятности P_{max} ($t > 2,5$ мм) того, что толщина образца окажется большей 2,5 мм, представлены на рис.3.

График на рис.3 свидетельствует о том, что хотя диапазоны экспериментальных значений P^* и t^* , практически одинаковые, образцы пластмассы в выборках б) и в) имеют значительно большую стабильность

толщины, чем образцы пластмассы в выборках а) и г). Это подтверждает вывод в [2] о том, что именно дисперсия толщины определяет параметры функции $P^* = a + b t^*$, и может служить критерием неоднородности ПВХ-пластика.

Значительное различие стабильности толщины образцов в выборках б) и в) с одной стороны, и а) и г), с другой, позволяет количественно показать это.

При этом следует учесть то, что ПВХ-пластикаты - материалы, для которых зависимость между напряжением и деформацией зависит от времени действия напряжения. Такие материалы называют **вязкоупругими**. Процессы деформирования **вязкоупругих** материалов описывает **теория наследственной вязкоупругости**, основанная на двух положениях [6]:

- 1) Силы упругости зависят не только от мгновенных смещений, но и от предыдущих деформаций, которые тем меньше влияют на эти силы, чем большее время прошло с момента появления предшествующих деформаций.
- 2) Влияния деформаций, которые возникли в различное время, складываются.

При стандартных методах испытаний [1], которые использованы в данной работе, фактор влияния времени безусловно имеет место, но не учитывается непосредственно. Очевидно, что фактор времени влияет и на дисперсию полученных результатов. Для таких испытаний можно записать:

$$\sigma(t) = E[\varepsilon(t) - \Delta\varepsilon], \quad (1)$$

где первое слагаемое в скобках - линейная функция времени (скорость разведения зажимов разрывной машины постоянна и известна), а другое слагаемое в скобках может быть, в принципе, определено экспериментально. В этом случае (1) позволяет найти эмпирическую оценку модуля упругости для начального участка кривой $\sigma(t)$.

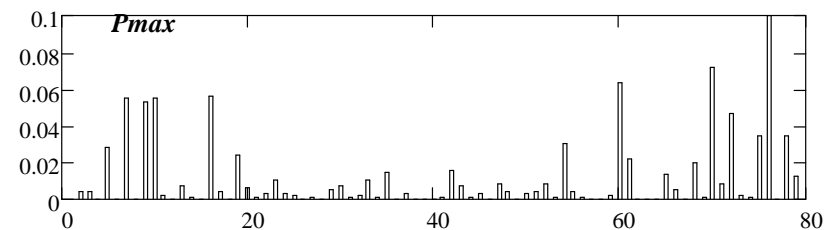


Рис.3 – Максимальная вероятность P_{max} ($t > 2,5$ мм) того, что толщина образца превысит заданную

При стандартных испытаниях [1] при постоянной скорости разведения зажимов разрывной машины время испытания отражает длина образца в момент разрыва (стандартный показатель – относительное удлинение при разрыве δ , % (табл.2).

Таблица 2 - Значения статистических показателей механической прочности ПВХ-пластиков

Показатель	Значения статистических показателей для выборок			
	а)	б)	в)	г)
Среднее максимальное усилие P , кгс	14,61	15,21	15,12	14,46
Среднее удлинение δ , %	264	260	234	278
Максимальное удлинение δ_{max} , %	300	280	260	320

В соответствии с данными табл.2 наибольшее влияние времени на результаты испытаний должно иметь место для образцов выборки г), для которых разрывное усилие наименьшее. Это позволило использовать отношение разрывного усилия к длине образца в момент разрыва как показатель сопротивления деформированию Rd .

Сопоставлены сопротивления деформированию Rd для образцов ПВХ-пластиков с наименьшим (в) и наибольшим (г) относительным удлинением при разрыве. Для ПВХ-пластика с наименьшим (в) относительным удлинением корреляция отсутствует – влияние времени испытаний мало, а для ПВХ-пластика с наибольшим (г) относительным удлинением корреляция достаточно сильная (соответствующий коэффициент 0,616). Линейная аппроксимация данных на рис.2 г) такая:

$$Rd^* = 0,022 + 0,088 t^* \quad (2)$$

Полученное значение коэффициента влияния толщины t на сопротивление деформированию Rd учтено нами при определении влияния дисперсии толщины на дисперсию разрывного усилия $D[P]$, как дисперсию суммы двух случайных величин:

$$D[P_m] = b^2 (D[t] + D[\zeta]) = b^2 (\sigma[t])^2 + b^2 (\zeta_{max} - \zeta_{min})^2, \quad (3)$$

где b - эмпирический коэффициент в $P^* = a + b t^*$, ζ - ошибка при измерении толщины $\zeta \in [-0,025; +0,025]$.

Для ПВХ-пластика с наибольшим (г) относительным удлинением при разрыве ошибка при измерении толщины большая в соответствии с коэффициентом при толщине в (2) $\zeta(r) \in [-0,088; +0,088]$.

Результаты расчета дисперсий разрывного усилия (3) сопоставлены с соответствующими экспериментальными данными и представлены на рис. 4.

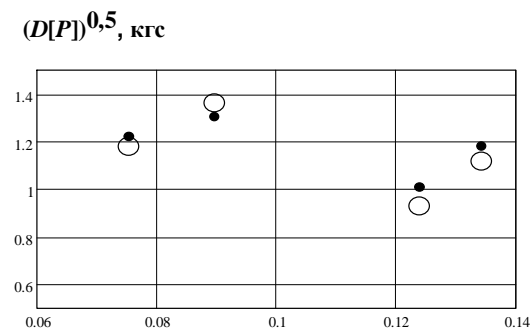


Рис.4 - Результаты расчета дисперсий разрывного усилия (3) сопоставлены с соответствующими экспериментальными данными

Выводы. 1. 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.

2. Критерием неоднородности ПВХ-пластика при стандартных испытаниях в условиях производства может быть выбран коэффициент в линейной функции $P_m = f(t)$, который практически определяет дисперсию максимального усилия при растяжении $D[P_m]$.

Список литературы: 1. ДСТУ ІЕС 811-1-1:2003 Матеріали ізоляції та оболонки електричних та оптичних кабелів. Загальні методи випробувань Частина 1-1. 2. Золотарьов В.М. Контроль дисперсії параметрів деформування пластмас для ізоляції і оболонки кабелів у пожежебезпечному виконанні / В.М. Золотарьов, О.В. Васильєва, Л.А. Щербенюк // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2012. – № 1. 3. Щербенюк Л.А., Математичні основи надійності ізоляції електрообладнання. Навч.-метод. Посібник / Л.А. Щербенюк, О.В. Голик. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – 101 с. 4. Кузнецов В.П. Интервальные статистические модели / Кузнецов В.П. – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с. 5. Антонец Ю.А. Контроль технологического процесса изготовления эмальпровода / Ю.А. Антонец, Л.А. Щербенюк, О.В. Голик // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2005. – Вип.42.– С. 43 – 46. 6. Колтунов М.А. Прочностные расчеты изделий из полимерных материалов / М.А. Колтунов, В.П. Майборода, В.Г. Зубчанинов. – М.: Машиностроение. 1983.- 239 с.

Поступила в редколлегию 07.04.2012