

**М.Б. ЗИКОВ, О.В. ВАСИЛЬЄВА**, ЗАТ «Завод Південкабель»  
**А.М. БОЙКО, І.Є. КУРЧЕНКО, І.В. ТАРАН**, студенти НТУ «ХПІ»

## ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАБЕЛЬНИХ ПЛАСТМАС В УМОВАХ ЗАВОДСЬКОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

Исследовались критерии оценки прочности при растягивании и относительного удлинения для кабельных поливинилхлоридных пластикатов марок И-40 13А и ОМ-40.

Criteria of an estimation of strength were investigated at extension and a percentage elongation for cable polyvinylchloride plastic compounds of brands I-40 13A and OM-40.

**Постановка проблеми.** Сучасні реалії кабельного виробництва такі, що вимоги замовників продукції часто перевищують вимоги, передбачені нормативною документацією. Викликом часу для виробників масової продукції є верховенство вимог замовників.

В цих умовах основним критерієм якості продукції є однорідність її основних характеристик, співвіднесена з допустимими діапазонами цих характеристик, узгодженими з замовниками. Вказаний критерій якості масової продукції є визнаним у вигляді відомої концепції якості «Six Sigma methodology» і проблема полягає в тому, що вимоги виробників змінюються швидше, ніж нормативна технічна документація на випробування продукції. Тому принципи концепції «Six Sigma methodology» мають бути застосовані до випробувань в заводській лабораторії.

При виготовленні елементів конструкції кабелів з ПВХ-пластикатів методом екструзії лінійні молекули полімеру виявляються орієнтованими переважно вздовж осі кабелю. Тому при випробуваннях на механічну міцність зразки вирубують завжди вздовж напрямку вальцювання. Однак нижня границя міцності полімеру завжди визначається слабшою (аморфною) складовою, вплив якої на характеристики міцності можна визначити, використавши зразки, вирізані впоперек напрямку вальцювання, що приводить до суттєвого розсіювання результатів випробувань.

**Аналіз літератури.** В концепції «Six Sigma methodology» однорідність продукції кількісно виражена загальновідомою характеристикою розсіювання параметра, що контролюється, - його середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$  [1]. Згідно з матеріалами докладів Європейської конференції Cables 2009, що відбулася у березні 2009 року у Кельні, сьогодні спостерігається підвищення вимог до механічних характеристик полімерних композицій [2].

Система якості заводу «Південкабель», яка одержала міжнародний сертифікат, передбачає моніторинг параметрів по всіх складовим технологічного процесу. При цьому базовим рівнем однорідності є рівень

«3 $\sigma$ », що в рамках концепції «Six Sigma methodology» відповідає середньому рівню однорідності для світових виробників [3].

Випробування на механічну міцність кабельних пластмас в сертифікованій лабораторії виконують відповідно до чинних вітчизняних і міжнародних стандартів, які є гармонізованими між собою [4]. Цими стандартами не передбачене визначення середньоквадратичних відхилень  $\sigma$  характеристик механічної міцності кабельних пластмас.

**Ціль роботи.** Дослідження розсіювання результатів випробувань на механічну міцність для ПВХ-пластикатів марок И-40 13А и ОМ-40, виготовлених методом екструзії на заводському обладнанні.

**Одержані результати.** Визначені: найбільше зусилля при розтягуванні  $F_{max}$ , Н; мінімальна товщина для кожного зразка  $t$ , мм; контрольна довжина зразка при розриві  $L$ , мм; ширина зразка  $h$ , мм. На основі одержаних результатів розраховано наступні величини:

1.  $P$  - міцність при розтягуванні, МПа - найбільше напруження при розтягуванні зразка до розриву:  $P = F_{max} / t \cdot h$ ;

2.  $\delta$ - відносне видовження при розриві, %:  $\delta = [(L - L_0) / L_0] \cdot 100\%$ , де  $L$ - контрольна довжина зразка при розриві, мм;  $L_0$ -контрольна довжина не розтягнутого зразка, мм;

3. Середньоквадратичне відхилення параметра  $X$  :

$$\sigma[X] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - M[X])^2} ; \text{ де } M[X] - \text{середнє значення контрольного}$$

параметру  $X$ ;  $x_i$  - значення, підраховані на основі експериментальних вимірювань. Результати наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

| Матеріал | Результати вимірювань |          |           |              |               |
|----------|-----------------------|----------|-----------|--------------|---------------|
|          | $t$ , мм              | $L$ , мм | $P$ , МПа | $\delta$ , % | $F_{max}$ , Н |
| И-40 13А | 1,78                  | 110      | 15,48     | 340          | 110,2         |
|          | 1,85                  | 120      | 15,58     | 380          | 115,3         |
|          | 1,86                  | 100      | 20,20     | 300          | 150,3         |
|          | 1,71                  | 110      | 21,18     | 340          | 144,9         |
|          | 2,01                  | 105      | 20,38     | 320          | 163,9         |
|          | 2,00                  | 100      | 14,00     | 300          | 72,00         |
|          | 2,09                  | 105      | 17,70     | 320          | 148,00        |
|          | 1,56                  | 105      | 20,70     | 320          | 129,17        |
|          | 1,70                  | 105      | 22,10     | 320          | 150,30        |
|          | 1,77                  | 110      | 22,80     | 340          | 161,42        |
|          | 1,74                  | 110      | 23,05     | 340          | 160,43        |
|          | 1,60                  | 105      | 23,50     | 380          | 150,40        |

Таблиця 2

| Матеріал | Результати вимірювань |          |           |              |               |
|----------|-----------------------|----------|-----------|--------------|---------------|
|          | $t$ , мм              | $L$ , мм | $P$ , МПа | $\delta$ , % | $F_{max}$ , Н |
| ОМ-40    | 1,71                  | 110      | 14,4      | 340          | 98,5          |
|          | 1,93                  | 110      | 16,3      | 340          | 125,8         |
|          | 1,63                  | 115      | 14,1      | 360          | 92,1          |
|          | 1,70                  | 115      | 14,3      | 360          | 97,2          |
|          | 1,87                  | 110      | 15,8      | 340          | 118,1         |
|          | 1,82                  | 105      | 13,4      | 320          | 97,5          |
|          | 2,09                  | 105      | 14,1      | 320          | 117,8         |

На рисунку 1 наведено функції розподілу міцності при розтягуванні, побудовані за одержаними даними, які свідчать про суттєву різницю в розсіянні даних навколо середнього значення.

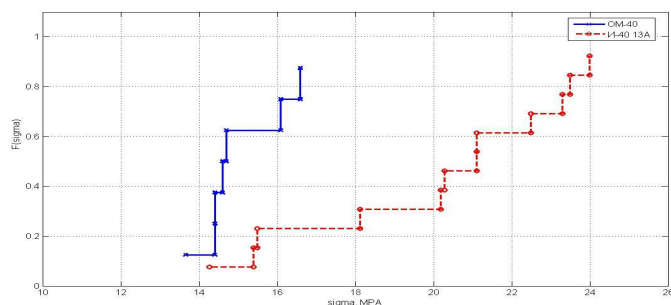


Рис. 1- Функції розподілу міцності при розтягуванні для ПВХ-пластикатів марок И-40 13А и ОМ-40, виготовлених методом екструзії на заводському обладнанні

З представлених графіків видно, що середнє значення міцності при розтягуванні для зразків И-40 13А більше, ніж для зразків ОМ-40. Водночас, внаслідок більшого розсіяння цього показника у ізоляції И-40 13А, мінімальні значення міцності при розтягуванні досліджуваних зразків у обох матеріалів майже однакові.

Очевидно, що взявши більшу кількість зразків можна отримати ще менші значення даного параметру. Якщо ж керуватись правилом, що міцність ланцюгу визначається міцністю найслабшої з його ланок, то матеріал ОМ-40 за міцністю при розтягуванні може виявитися не гіршим за И-40 13А попри порівняно менші його середні значення цієї величини.

Оскільки нижня границя міцності полімеру завжди визначається слабшою (аморфною) складовою, було експериментально перевірене припущення про те, що практично однакові мінімальні значення міцності при розтягуванні у пластикатів ОМ-40 і И-40 13А пов'язані з наявністю аморфних зон в структурі пластикату. Для цього випробні зразки вирубані з в середньому більш механічно міцного пластикату марки И-40 13А після його накладання на жилу на екструдері в двох протилежних напрямках відносно напрямку пресування. Відповідні дані наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

| № зразка | $t$ , мм | $t \times h$ , см <sup>2</sup> | $P$ , МПа | $F_{max}$ , Н | $L$ , мм | $\delta$ , % | Напрямок розтягування відносно напрямку пресування |
|----------|----------|--------------------------------|-----------|---------------|----------|--------------|----------------------------------------------------|
| 1        | 0.64     | 0.0256                         | 23.05     | 59            | 87       | 335          | вздовж                                             |
| 2        | 0.74     | 0.0296                         | 19.59     | 58            | 84       | 320          | вздовж                                             |
| 3        | 0.74     | 0.0296                         | 19.93     | 59            | 86       | 330          | вздовж                                             |
| 4        | 0.73     | 0.0292                         | 17.12     | 50            | 78       | 290          | поперек                                            |
| 5        | 0.73     | 0.0292                         | 19.86     | 58            | 78       | 290          | поперек                                            |
| 6        | 0.71     | 0.0284                         | 18.31     | 52            | 76       | 280          | поперек                                            |
| 7        | 0.72     | 0.0288                         | 17.71     | 51            | 76       | 280          | поперек                                            |

За даними таблиці 3 визначено оцінки нижньої границі  $LC$  для значень міцності  $P$  при розтягуванні відповідно до концепції «Six Sigma methodology», а саме для рівня однорідності «3 $\sigma$ » має виконуватись нерівність [1]:

$$\sigma[P] \leq |LC - M[P]| / 3,$$

де  $M[P]$  - середнє значення, а  $\sigma[P]$  - середньоквадратичне відхилення міцності  $P$  при розтягуванні.

Результати наведені на рисунку 2.

Нижня границя міцності при розриві виявилась вищою для зразків, що були вирізані впоперек напрямку вальцювання; а розсіяння значень для цих зразків виявилось меншим. Це свідчить про те, що нижня границя міцності полімеру, накладеного екструзією, визначається аморфними областями, розташованими між кристалітами (повздовж орієнтованими пакетами молекул).

Видно, що нижня границя міцності при розтягуванні виявилась вищою для зразків, що були вирізані впоперек напрямку вальцювання; а розсіяння значень для цих зразків виявилось меншим. Це свідчить про те, що нижня границя міцності полімеру, накладеного екструзією, визначається аморфними областями, розташованими між кристалітами (повздовж орієнтованими пакетами молекул).

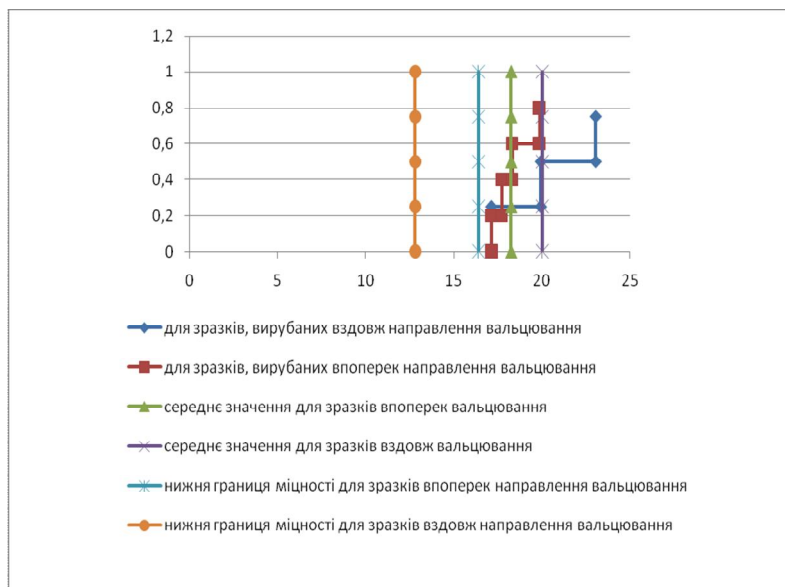


Рис.2 - Результати співставлення експериментальних значень і оцінки мінімальних значень міцності при розтягуванні для ПВХ-пластикату марки И-40 13А: мінімальні значення визначені відповідно до концепції «Six Sigma methodology», а саме для рівня однорідності «3 $\sigma$ »

**Висновки.** 1. Покращення показників продукції лише за рахунок покращення їхніх середніх значень може виявитися неефективним за умови суттєвої дисперсії цих показників. При мінімізації ж дисперсії залишається певна визначеність того, що контрольні параметри продукції не вийдуть за їхні допустимі межі. Таким чином, основним способом запобігання неякісної продукції є мінімізація розсіювання її основних параметрів.

2. Для визначення нижньої границі міцності полівінілхлоридного пластикату доцільно використати зразки, вирубані впоперек напрямку вальцювання.

**Список літератури:** 1. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість: підруч. для студ. вузів / В.П. Карпушенко, Л.А. Щербенюк, Ю.О. Антоненко, О.А. Науменко. – Харків: Регіон-інформ, 2000. – 376 с. 2. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVIII міжнародна науково-практична конференція, Ч II 12 – 14 травня 2010 р.: тези доповідей / за ред. проф. Товажнянського Л.Л. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 320 с. 3. Золотарьов В.М. Системний підхід до управління якістю – фундамент перспективного розвитку підприємства / В.М. Золотарьов // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – № 1. – С. 57– 61. 4. ДСТУ ІЕС 811-1-1: 2003. Загальні методи випробувань матеріалів ізоляції та оболонок електричних кабелів. Методи загального застосування. Вимірювання товщини та зовнішніх розмірів. Випробування для визначення механічних властивостей.

Надійшла до редакції 03.09. 2010