

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИХ ПРОФІЛІВ

Запропонована методика автоматизованого визначення геометричних характеристик полівінілхлоридних профілів, що використовуються для виробництва вікон і дверей, з метою визначення контрольних навантажень при випробуваннях. Виконане оцінювання точності результатів вимірювань статистичними методами.

Предложена методика автоматизированного определения геометрических характеристик поливинилхлоридных профилей, которые используются для производства окон и дверей, с целью определения контрольных нагрузок при испытаниях. Выполнена оценка точности результатов измерений статистическими методами.

Propose the methods of automation define of geometry characteristics polivinylchlorine profile, the use for production windows and doors, with purpose of determination of control loadings at tests. Executed estimation of exactness of results of measurings by statistical methods.

Ключові слова: полівінілхлоридний профіль, точність результатів, конструкція, кутові з'єднання.

Постановка проблеми. Одним із важливих елементів випробувань полівінілхлоридних вікон і дверей є контроль міцності кутового з'єднання, регламентований стандартами [1—5]. Міцність кутових з'єднань є основним показником надійності та довговічності конструкцій вікон і дверей із полівінілхлоридних профілів. Унаслідок великої різноманітності та складності поперечних перерізів пластикових профілів, форми яких регламентуються стандартом [6], а зразки зображені на рисунку 1, визначення необхідних геометричних характеристик є досить складною процедурою.

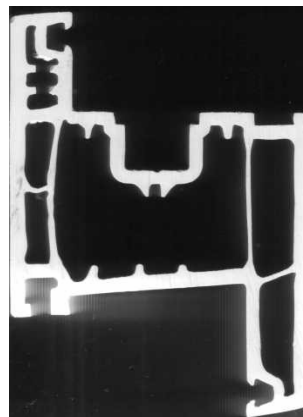
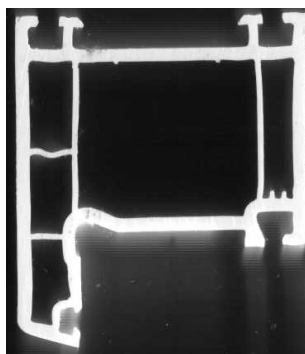


Рис. 1. Зразки поперечних перерізів полівінілхлоридних профілів

Аналіз останніх досліджень. Несуча здатність зварних з'єднань полівінілхлоридних профілів узагальнена в нормативних документах [1—5], якими регламентована методика контрольних випробувань за схемою, наведеною на рисунку 2. При цьому мінімально необхідна несуча здатність з'єднання дорівнює

$$F_{MIN} = \frac{2 \times W \times R}{l/2 - Y_c / \sqrt{2}} = \frac{2 \times W \times R}{a}, \quad (1)$$

де W – момент опору профілю в напрямку навантаження;
 $R = 35$ МПа – розрахунковий опір полівінілхлориду;
 $l = 400 \pm 2$ мм – відстань між опорами при випробуваннях;
 Y_c – відстань від нейтральної осі до крайньої точки перерізу.

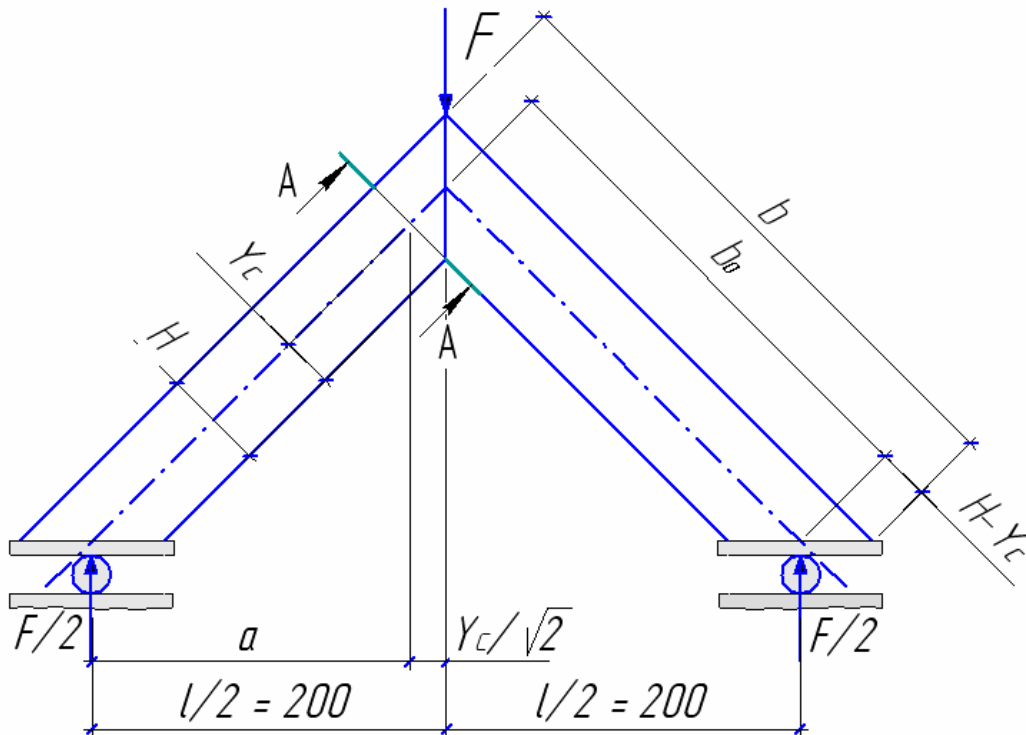


Рис. 2. Схема випробування кутового з'єднання на міцність

Аналіз рисунка 2 та формули (1) показує, що вона забезпечує перевірку міцності при згині самого профілю у перерізі А-А, наближеному до місця зварювання при розрахунковому опорі полівінілхлориду, рівному 35 МПа. Необхідні для перевірки значення моменту опору і координати центра ваги перерізу профілю не наведені в стандарті [6], але можуть визначатися відомими методами [7] на основі подання поперечного перерізу у вигляді сукупності прямокутників.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Невирішеною частиною проблеми, що розглядається, є пошук інженерних рішень та порядок їх реалізації з методики випробувань кутових з'єднань і підвищення точності результатів вимірювань. Крім того, жоден із наведених стандартів не подає повний опис процедури випробувань з'єднання, що призводить до неоднозначних результатів випробувань.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розроблення методики автоматизованого визначення геометричних характеристик поперечних перерізів профілів для виробництва світлопрозорих огорожувальних конструкцій із метою забезпечення випробувань кутового зварного з'єднання та надійності конструкцій на основі полівінілхлоридних профілів.

Виклад основного матеріалу. При поданні поперечного перерізу у вигляді сукупності прямокутників вимірювання їх розмірів реально можливе за допомогою штангенциркуля з точністю до 0,1 мм. При цьому відносна похибка вимірювання товщини стінок профілю, які мають розміри від 3 мм до 1 мм, становитиме відповідно 3–10%. Відносні похибки визначення площі поперечного перерізу й інших геометричних характеристик будуть іще більшими внаслідок неможливості точного опису форми закруглень і виступів, характерних для цих профілів. Оскільки такі похибки не відповідають вимогам до інженерних розрахунків, необхідно розробити більш точну методику визначення геометричних характеристик.

Існують автоматизовані креслярські та конструкторські системи, які мають убудовані функції обчислення геометричних характеристик поперечних перерізів. Однією з них є система твердотілого моделювання „КОМПАС-3D V8 Plus” (далі „Компас”), яку й пропонується застосовувати для вирішення поставленого завдання. Для визначення геометричних характеристик виготовляється поперечний зріз профілю, нормальний до поздовжньої осі. Профіль сканується на звичайному сканері з досить високою роздільною здатністю (600 DPI), що дозволить збільшувати зображення в багато разів без втрати якості і так званого „розсипання на пікселі”. Результат сканування зберігається у вигляді окремого файлу, найзручніше — у форматі *.BMP. У систему „Компас” отримане зображення завантажується через пункт меню „Вставка/Рисунок”.

На жаль, „Компас” не сприймає растровий рисунок як креслення, тому для подальшої роботи контур профілю необхідно „обвести” замкненою ламаною лінією. Очевидно, що трудомісткість роботи й точність отриманих результатів залежатимуть від того, наскільки точно обведені контури профілю. З метою пошуку оптимального режиму обведення контурів досліджені три рівні точності обведення, що якісно відрізняються один від одного:

✓ на першому рівні точності обведення контуру виконується повністю та якісно, довжина відрізків контурної лінії на криволінійних ділянках не перевищує 0,2 — 0,4 розміру виступів чи заокруглень;

✓ на другому рівні точності обведення контуру виконується з дещо нижчою точністю, спрямляються та зрізаються деякі несуттєві елементи;

✓ на третьому рівні точності обведення контуру виконується так, щоб подати профіль практично у вигляді прямокутників, зрізаючи невеликі виступи.

Схеми обведення контуру одного й того ж фрагмента поперечного перерізу з різними рівнями точності зображені на рисунку 3. Досвід роботи

показує, що на обведення контуру перерізу за I рівнем точності витрачається приблизно у 1,5 разу більше часу, ніж на обведення за III рівнем точності.

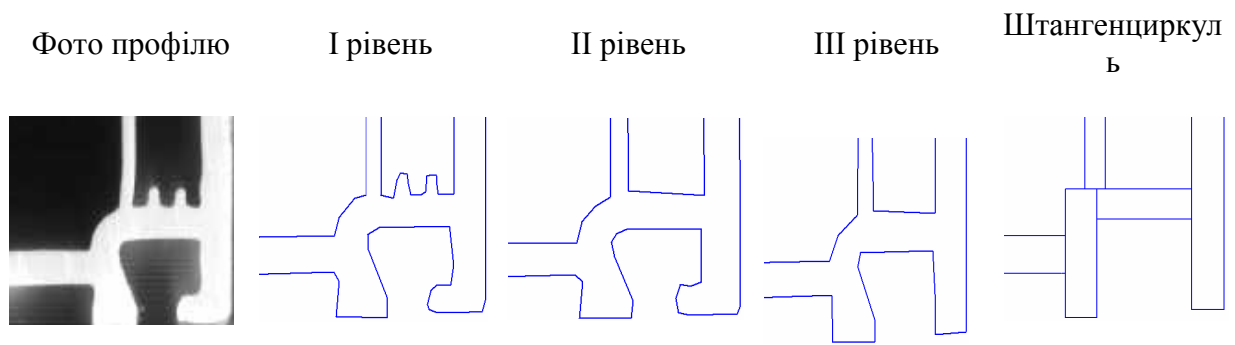


Рис. 3. Схеми обведення контурів поперечних перерізів

Перед проведенням обчислень нижня точка зовнішнього контуру поперечного перерізу суміщується з віссю X на аркуші креслення „Компас”. Виконується масштабування отриманого креслення, для чого за допомогою штангенциркуля вимірюється один із габаритних розмірів профілю (або використовується розмір, відомий із сортаменту). За допомогою функції „Компас” „Масштабирование”, котра розміщена на динамічній панелі інструментів „Редактирование”, масштаб зображення змінюється таким чином, щоб довжина будь – якої сторони зображення відповідала реальній довжині цієї сторони в міліметрах. Для контролю можна скористатися світловою клавішею „Измерить” із динамічного меню „Измерения”.

На панелі швидкого доступу обирається світлова клавіша „Измерения 2D”, на динамічному меню, що з’явиться, обирається світлова клавіша „Расчет МЦХ плоских фигур”. Якщо контури перерізу обведені замкнутими лініями, для виділення перерізу достатньо відмітити точку всередині контуру і на віконці „Свойства объекта”, котре з’явиться, вказати „тіло” чи „отвір”. Якщо контур заданий кількома ламаними лініями, необхідно в робочій частині креслення клацнути правою кнопкою миші та вибрати пункт контекстного меню „Построить границу по стрелке”.

Коли поперечний переріз заданий повністю, з’являється таблиця результатів, з яких для розв’язання нашого завдання застосовується:

Y_C — координата центра ваги (відстань від найнижчої точки до центра ваги);

J_X — момент інерції відносно осі X в центральній системі координат.

Подальші розрахунки виконуються в середовищі табличного процесора EXCEL. Моменти опору для верхньої та нижньої крайніх точок перерізу обчислюються з урахуванням вимірної висоти профілю H за загальновідомими формулами опору матеріалів

$$W_H = \frac{I_x}{Y_c}, \quad W_B = \frac{I_x}{(H - Y_c)}. \quad (2)$$

Відповідні найменші допустимі значення руйнуючого навантаження F_H і F_B визначаються за формулою (1). Як правило, для реальних

полівінілхлоридних профілів меншим є руйнуюче навантаження, отримане за моментом опору для нижньої крайньої точки перерізу, тобто $F_{MIN} = F_H$.

Точність визначення геометричних характеристик досліджена на прикладі двох профілів, зображених на рисунку 1. Оскільки істинні значення характеристик невідомі, точність оцінено з використанням методів математичної статистики. Для цього обидва профілі обведені згідно з кожним із трьох описаних вище рівнів точності по п'ять разів. З метою забезпечення незалежності результатів ця процедура виконувалася в різний час і навіть різними операторами.

За описаною вище процедурою для кожного з профілів обчислено по 15 комплектів (5 повторень для кожного з трьох рівнів точності) геометричних характеристик поперечного перерізу: координата центра ваги Y_C , мм; площа поперечного перерізу A , мм²; мінімальний момент опору для нижньої точки перерізу W_H , мм³; мінімально допустиме значення руйнуючого навантаження F_H , Н. Статистична обробка вибірок із 5-ти значень указаних геометричних характеристик виконана за методикою [8], в результаті чого отримані середні значення й стандартні відхилення. Залежності середніх значень геометричних характеристик від рівня точності обведення поперечного перерізу профілю наведені в таблиці 1.

В останній колонці для кожного з профілів зазначені результати, обчислені за відомими формулами опору матеріалів при поданні поперечного перерізу у вигляді сукупності прямокутників, як це показано на рисунку 3. Розміри всіх прямокутників виміряні штангенциркулем із точністю 0,1 мм.

Таблиця 1 – Середні значення геометричних характеристик поперечних перерізів

Геометричні характеристики профілю	Перший профіль при точності обведення				Другий профіль при точності обведення			
	рівень 1	рівень 2	рівень 3	штангенциркуль	рівень 1	рівень 2	рівень 3	штангенциркуль
Y_C , мм	42,1	42,3	42,0	41,1	40,3	40,4	40,3	38,9
A , мм ²	1006	995	963	954	915	914	887	858,8
W_H , мм ³	9717	9267	9146	9623	8706	8720	8144	8157
F_H , Н	400	382	376	394	356	356	333	331

З таблиці видно, що координата центра ваги практично не залежить від точності обведення, а площа поперечного перерізу, момент опору та мінімально допустиме значення руйнівного навантаження при зростанні точності обведення збільшуються. Це можна пояснити тим, що на рівні точності 2 особливості профілю відображаються досить грубо, а на рівні 3 дрібні деталі взагалі не враховуються, що й призводить до зменшення значень площі та моменту опору.

Результати, отримані шляхом обмірювання профілю за допомогою штангенциркуля, близькі до рівня точності 3. До того ж, отримано занижене значення координати центра ваги й нестабільні значення інших характеристик. Момент опору й допустима несуча здатність першого перерізу близькі до рівня точності 1, а другого перерізу – до рівня точності 3. Це пояснюється неоднозначністю подання реального поперечного перерізу

сукупністю прямокутників, сторони яких паралельні осям, а також можливими похибками вимірювання їх розмірів за допомогою штангенциркуля. Окрім того, при застосуванні штангенциркуля є ймовірність грубих помилок унаслідок пропускання окремих елементів-прямокутників або помилкового віднесення однієї й тієї ж частини профілю до двох різних сусідніх прямокутників. При використанні сканера такого роду помилки виключаються за рахунок візуального контролю контурів зображення при обведенні поперечного перерізу та обчисленні його геометричних характеристик.

За відомими середніми значеннями M та стандартними відхиленнями S обчислені ймовірні відносні похибки характеристик із забезпеченістю 95%

$$\Delta\% = 196 S/M . \quad (3)$$

Оскільки у формулі (3) враховане значення аргументу нормованого нормального розподілу 1,96 для двосторонньої імовірності 0,95, то для 95% випадків відносні похибки визначення геометричних характеристик не перевищуватимуть значення (3). Результати обчислень за формулою (3) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Імовірні відносні похибки визначення геометричних характеристик поперечних перерізів (у відсотках)

Геометричні характеристики профілю	Перший профіль при точності обведення			Другий профіль при точності обведення		
	рівень 1	рівень 2	рівень 3	рівень 1	рівень 2	рівень 3
Y_C , мм	0,62	0,80	0,63	0,68	1,90	2,54
A , мм ²	2,33	1,47	5,22	0,88	0,87	1,34
W_H , мм ³	2,23	2,69	3,77	1,21	1,31	2,75
F_H , Н	2,15	2,81	3,84	1,08	1,27	2,79

З таблиці видно, що ймовірні похибки всіх проаналізованих характеристик при підвищенні точності істотно зменшуються. Точність оцінювання найважливішої характеристики – мінімально допустимого значення руйнуючого навантаження – при найвищій точності обведення в 1,8 – 2,5 разу вища, ніж при обведенні профілю на третьому рівні точності.

Таким чином, обведення профілю за першим рівнем точності дає найбільші середні значення геометричних характеристик і руйнівного навантаження, а також найменші ймовірні похибки. Оскільки для обведення поперечного перерізу на першому рівні точності витрати часу не набагато більші, ніж при 2-му і 3-му рівнях, при визначенні геометричних характеристик доцільно описувати поперечний переріз, обводячи його з найвищою можливою точністю.

Запропонована методика забезпечує також можливість точного виготовлення зразків кутового з'єднання для випробувань. Як правило, виробнику невідоме точне положення нейтральної лінії профілю, а тому розміри зразка призначаються приблизно й вимога стандарту [1] щодо відстані між опорами $l=400$ мм не дотримується. Якщо визначити геометричні характеристики поперечного перерізу профілю заздалегідь,

розмір зразка (за найбільш виступаючою частиною профілю) можна встановити за формулою

$$b = 200\sqrt{2} + 2(H - Y_C), \quad (4)$$

яка забезпечує точне дотримання схеми випробувань згідно з рисунком 2.

Висновки:

1) точність запропонованої методики автоматизованого визначення геометричних характеристик та мінімально допустимого руйнівного навантаження істотно перевищує точність, яку можна отримати шляхом вимірювання поперечного перерізу за допомогою штангенциркуля;

2) найбільш раціональним способом представлення профілю є обведення за першим рівнем точності;

3) при випробуваннях кутових з'єднань полівінілхлоридних профілів для визначення геометричних характеристик поперечних перерізів рекомендується користуватися методикою, запропонованою в даній роботі;

4) геометричні характеристики поперечного перерізу слід визначати перед виготовленням зразків кутових з'єднань, що дозволяє точно встановити необхідну довжину сторін зразка;

5) застосування запропонованої методики випробувань кутових з'єднань полівінілхлоридних профілів забезпечить нормативну надійність і довговічність конструкцій на основі даних профілів.

Література

1. ДСТУ Б В.2.6-15-99: Вікна та двері полівінілхлоридні. Загальні технічні умови.
2. DIN 16830-2-1991 Fensterprofile aus hochschlagzähem Polyvinylchlorid (PVC-HI). Anforderungen.
3. ГОСТ 30970-2002: Блоки дверные из поливинилхлоридных профилей. Технические условия.
4. Doors of polyvinylchloride profiles. Specifications .
5. ГОСТ 30674-99: Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей. Технические условия.
6. Windows of polyvinylchloride profiles. Specifications.
7. ГОСТ 30673-99: Профили поливинилхлоридные для оконных и дверных блоков. Технические условия.
8. Polyvinylchloride profiles for windows and doors. Specifications
9. ДСТУ Б В.2.7-130:2007: Будівельні матеріали. Профілі полівінілхлоридні для огорожувальних будівельних конструкцій. Загальні технічні умови.
10. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. — К.: Наукова думка, 1975. — 704 с.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика
12. /В.Е. Гмурман. — М.: Высшая школа, 1977. — 479 с.

Надійшла до редакції 28.01.2009

© В.В. Шульгін, В.В. Пашинський