

В. В. Хворостяний¹, М. А. Долгов², М. О. Цисар³, В. Є. Бодунов⁴, Р. С. Старинко⁵

¹старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна, plt2002@ukr.net

²провідний науковий співробітник, доктор технічних наук, професор, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна, dna@ipp.kiev.ua

³старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, м. Київ, Україна, ts_maxim@ukr.net

⁴головний інженер-дослідник, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна, bodunov@i.ua

⁵головний інженер-дослідник, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна, rstarinko@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОВЩИНИ ЗРАЗКА НА МІЦНІСТЬ ФЛОАТ-СКЛА В УМОВАХ ЧИСТОГО ЗГИНУ

Анотація. Виконано експериментальне дослідження зразків флоат-скла у вигляді плоских пластин різної товщини в умовах чотирьох-точкового згину. Отримана масштабна залежність характеристики міцності від товщини скла. Зроблено висновок, що технологічні процеси виробництва та обробки скляних пластин товщиною 5 та 6 мм дозволяють отримувати елементи конструкцій з більш прогнозованими експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: флоат-скло, границя міцності, масштабний ефект, чотирьох-точковий згин.

Вступ. У дослідженнях закономірностей механічної поведінки крихких матеріалів під час експлуатаційних навантажень важливе практичне значення має масштабний (розмірний) ефект, що полягає у зменшенні міцності зразків та елементів конструкцій при збільшенні їх розмірів. В механіці крихкого руйнування масштабним ефектом називають вплив характерного лінійного розміру тіла на його характеристики міцності [1]. Основні його прояви обумовлені впливом структурної неоднорідності конструкційного матеріалу (міцність визначається формою та розмірами найбільш небезпечного включення або зерна), радіуса заокруглення та кута надрізу чи наявності тріщини (при збільшенні поперечного перетину деталі її міцність різко знижується), а



також геометричними параметрами досліджуваних зразків (зокрема зі збільшенням товщини міцність зменшується).

Попри те, що скло традиційно вважається дуже крихким матеріалом та схильним до катастрофічного руйнування, на сьогодні воно широко використовується для створення несівних елементів конструкцій на будівництві, транспорті, машинобудуванні тощо. Постійне вдосконалення технологій виготовлення та обробки крихких матеріалів типу силікатного скла, що супроводжується розвитком наукових положень експериментально-теоретичного обґрунтування конструкційної міцності, з одного боку значно розширює сфери практичного застосування, а з іншого – зумовлює необхідність періодичного контролю і супроводу з визначенням їх механічного стану, рівня пошкоджуваності, терміну роботоздатності та ресурсу.

Метою наведеного дослідження є визначення характеру впливу товщини зразка, виконаного у вигляді плоскої пластини, на величину міцності флоат-скла в умовах чотирьох-точкового згину.

Матеріал і результати досліджень. Об'єктом дослідження було звичайне силікатне скло технічного призначення, що виготовлене за флоат-технологією і містить 70 – 75 % діоксиду кремнію. Використовували скло вітчизняного підприємства-виробника у стані постачання без додаткових операцій механічної обробки. Для випробувань підготовлено зразки типу пластин різної товщини. Загалом досліджували чотири групи зразків, у яких відносно товщини інші геометричні розміри пропорційно змінювалися (Табл. 1). Порівняння найменших та найбільших за розмірами зразків показує відмінності в 2 – 4 рази. Обсяг кожної групи складав не менше 19 зразків. Скляні пластини випробовували в умовах чотирьох-точкового згину на атестованій гідравлічній установці ZD-4 (Німеччина), обладнаній універсальною вимірювальною системою GT-12-M18 та програмним забезпеченням «GlassBend» [2]. Відповідно до типорозмірів зразків застосовували експериментальне обладнання з різними відстанями між опорними та навантажувальними роликками (Табл. 1). Слід зазначити, що у всіх експериментах різана кромка досліджуваного зразка, що є найбільш дефектною, розташовувалася в області напружень розтягу.



Таблиця 1 – Геометричні розміри різних груп зразків та параметри експериментального устаткування

№ групи	Розміри зразка, мм			Відстань між роликками при чотирьох-точковому згині, мм	
	Довжина	Ширина	Товщина	$l_{\text{навант.}}$	$l_{\text{опорн.}}$
	L	W	h		
1	150	50	3,85	50	100
2	270	100	5,10	100	200
3	300	100	6,00	100	200
4	500	200	8,20	150	300

Під час досліджень за допомогою програмного забезпечення «GlassBend» керували процесами вимірювання та накопичення експериментальних даних в реальному часі у вигляді графічних залежностей прогину та деформації пластини скла від величини прикладеного зусилля. Завдяки застосованій схемі випробувань на зразку між навантажувальними роликками наявна ділянка чистого згину, на якій з найбільш небезпечного дефекту зароджується магістральна тріщина, що поширюючись, призводить до руйнування скла. Під час фрактографічних досліджень зламів зразків спостерігали розташування фокуса зламу (осередку руйнування) саме на ділянці чистого згину. Таким чином реалізується перевага цієї схеми навантаження, що забезпечує отримання більш надійних експериментальних результатів і відсутності відбракування некоректних дослідів. Для порівняння можна навести літературні дані випробувань пластин скла при осесиметричному згині, що демонстрували численні випадки руйнувань поза зоною навантаження з максимальними головними напруженнями (близько 19% від загальної кількості 393 дослідів) [3]. За даними проведених випробувань побудована діаграма залежності границі міцності флоат-скла від товщини зразка, що засвідчила прояв прямого масштабного ефекту (рис. 1).

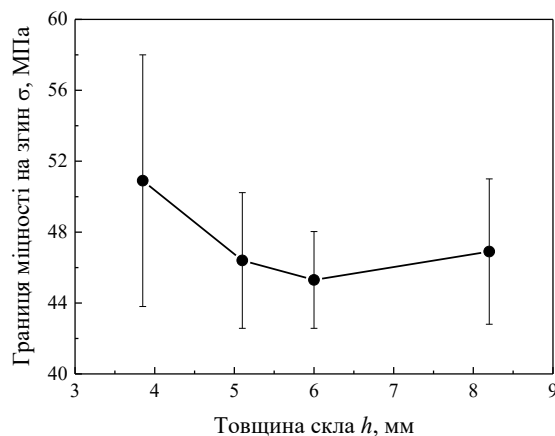


Рисунок 1 – Масштабна залежність міцності флоат-скла від товщини зразка



Висновки. Було встановлено, що зі збільшенням товщини зразка флоат-скла його міцність зменшується. Показано, що при цьому розкид емпіричних даних також зменшується. Це є свідченням, що технології виготовлення та обробки скла товщиною 5 та 6 мм є найбільш розробленими та досконалими для отримання якісних виробів. Таке скло характеризується найбільш стабільними, відтворюваними та прогнозованими характеристиками міцності з найменшим розкидом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черепанов Г. П. (1974). Механика хрупкого разрушения. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы.
2. Родичев Ю. М., Сорока Е. Б., Дроздов А. В., Хворостяный В. В., Бодунов В. Е. (2020). Повышение точности измерения деформаций и перемещений стеклянных пластин при изгибе с использованием измерительной системы GT-12-M8. В збірнику тез доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (с. 296 – 300).
3. Castori G., Speranzini E. (2019). Fracture strength prediction of float glass: The coaxial double ring test method. *Construction and Building Materials*, (225), 1064 – 1076.

