

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОПЕРТИХ ПО ЧОТИРЬОХ КУТАХ СКЛЯНИХ ПЛИТ З РІЗНИМИ ТИПАМИ СКЛА, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА ЗГИН

Б. Демчина, д. т. н., Т. Осадчук, аспірант
Національний університет "Львівська політехніка"

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.057>

Постановка проблеми. У сучасному будівництві скло все частіше використовують як матеріал для несучих конструкцій у будівлях. Цьому сприяють переваги такого матеріалу, а саме: прозорість, достатня міцність, стійкість до температурно-вологісних впливів. Конструкції з скла відповідають тенденціям розвитку проектування нових типів конструкцій. Для зміцнення та прогнозування безпечнішого характеру руйнування скляних конструкцій застосовують вторинну обробку скла (гартування, хімічне змінення) і полімерні плівки для його міжшарового ламінування [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експериментальні дослідження міцності багатошарових скляних плит, проведені І. Івановим [2], Г. Молнаром [3], Л. Шабле [4], С. В. Г. Валлабханом [5] та ін., переважно стосувалися випробування скляних пластин на три- [2], чотири-точковий згин [3; 4], а також опертих по контуру плит, під дією рівномірно розподіленого навантаження [5]. Дослідження на згин скляних багатошарових плит, вільно опертих по чотирьох кутах, що працюють на згин від зосередженого посередині статичного навантаження, показано у працях Б.Г. Демчини, Т.Ю. Осадчука [6–8].

Постановка завдання. Завдання нашого дослідження – визначити несучу здатність та дефор-

мативність скляних багатошарових плит, опертих по чотирьох кутах, які працюють на згин під дією статичного навантаження, прикладеного через штамп посередині плит.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- 1) виконати натурні дослідження багатошарових скляних плит, опертих по чотирьох кутах, які працюють на згин від локального навантаження посередині плит;
- 2) зафіксувати несучу здатність, прогини та деформації у розтягнутій та стиснутій зонах дослідних зразків;
- 3) провести аналіз отриманих експериментальних даних.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментів були виготовлені додаткові плити (рис. 1) до серії дослідних зразків багатошарових скляних плит з розмірами у плані 500 x 500 мм з різними типами шарів скла, досліджених у попередніх публікаціях [6–8].

Плита марки ПСБ – 1.7 складалася з трьох шарів звичайного скла (див. рис. 1, а), плита марки ПСБ – 2.1 – із нижнього гартованого скла та двох верхніх шарів зі звичайного скла (див. рис. 1, б). Для міжшарового ламінування скла використовували плівки типу EVASAFE (Bridgestone, Японія).

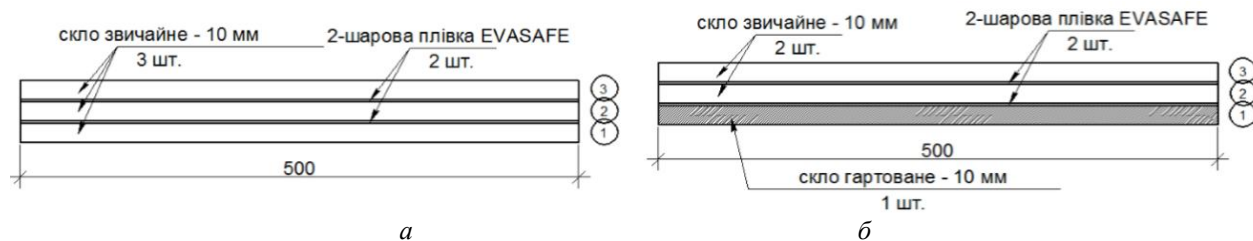


Рис. 1. Експериментальні плити:
а) марки ПСБ – 1.7; б) марки ПСБ – 2.1

Дослідження на згин скляних багатошарових плит, вільно опертих по чотирьох кутах, проводили відповідно до схеми випробувань та методики, описаної у попередніх статтях [6–8].

Прогини заміряли годинниковими мікроіндикаторами з ціною поділки 0,001 мм (рис. 2) – для верхньої та нижньої поверхонь плит. Деформації скла заміряли мікроіндикаторами у двох

взаємно перпендикулярних напрямках на верхній та нижній поверхнях плит.

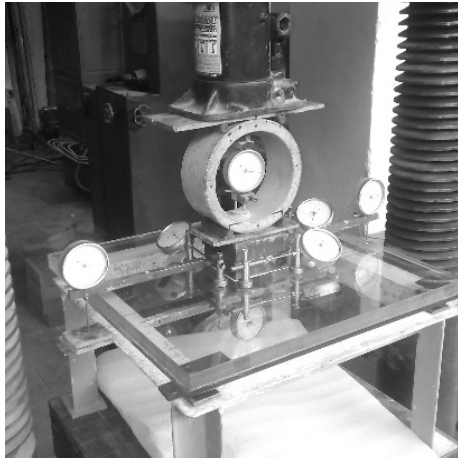


Рис. 2. Вигляд випробувальної установки

Вигляд плит після випробувань показано на рис. 3. Звичайне скло руйнувалося з утворенням павутинних хрестоподібних тріщин, гартоване – з утворенням дрібних частинок скла. Цілісність плит після руйнування забезпечували полімерними

плівками. У плиті марки ПСБ – 1.7 (усі шари – зі звичайного скла) першим руйнувався нижній шар, далі – середній, після чого – верхній шар. У плиті марки ПСБ – 2.1 (з нижнім гартованим склом) спочатку руйнувався середній шар, далі – верхній, і останнім – нижній шар.

Графіки залежності прогинів від навантаження для досліджуваних плит показано на рис. 4.

Використання у нижній зоні плити марки ПСБ – 2.1 загартованого скла порівняно з плитою ПСБ – 1.7 забезпечило більші значення несучої здатності та максимального прогину в момент руйнування останнього шару. Так, для плити марки ПСБ – 1.7 за граничного навантаження 9,33 кН прогин сягнув 0,30 мм, а для плити марки ПСБ – 2.1 при цьому навантаженні прогин становив 0,14 мм (див. рис. 4), що свідчить про суттєву, майже вдвічі більшу, жорсткість плити із застосуванням гартованого скла у нижній зоні.

Графіки розподілу деформацій за товщиною дослідних зразків показано на рис. 5. Показами мікроіндикаторів у верхній зоні було зафіксовано деформації стиску, у нижній – деформації розтягу.

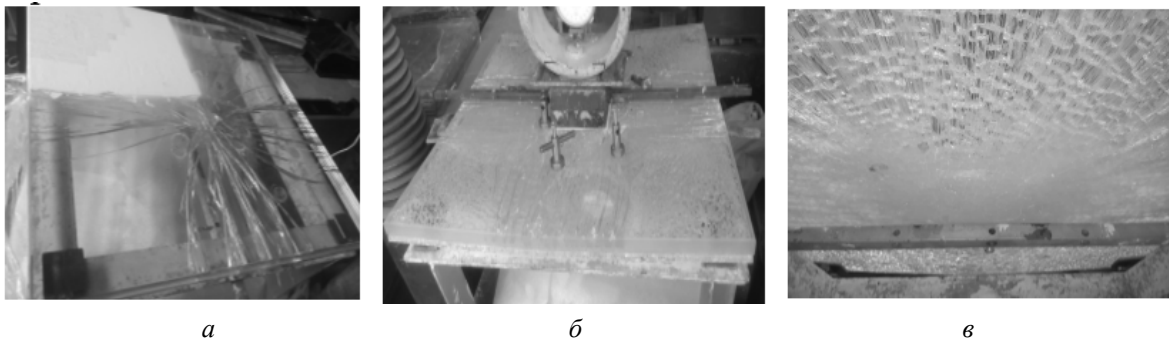


Рис. 3. Вигляд плит після руйнування: а) марки ПСБ – 1.7 (зверху); б) марки ПСБ – 2.1 (зверху); в) марки ПСБ – 2.1 (знизу)

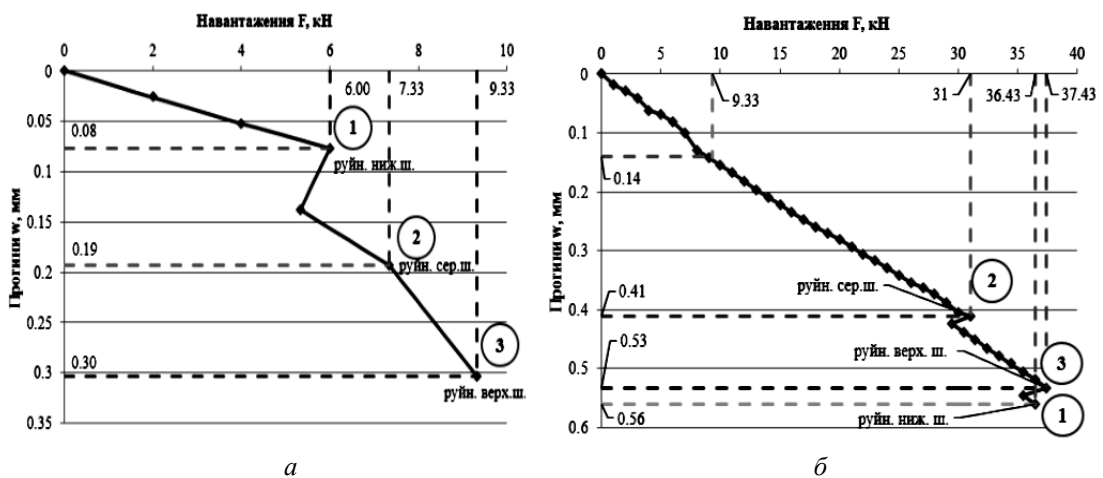


Рис. 4. Графіки залежності прогинів від навантажень для дослідних плит: а) марки ПСБ – 1.7; б) марки ПСБ – 2.1 (1, 2, 3 – нумерація шарів плит (див. рис.1)

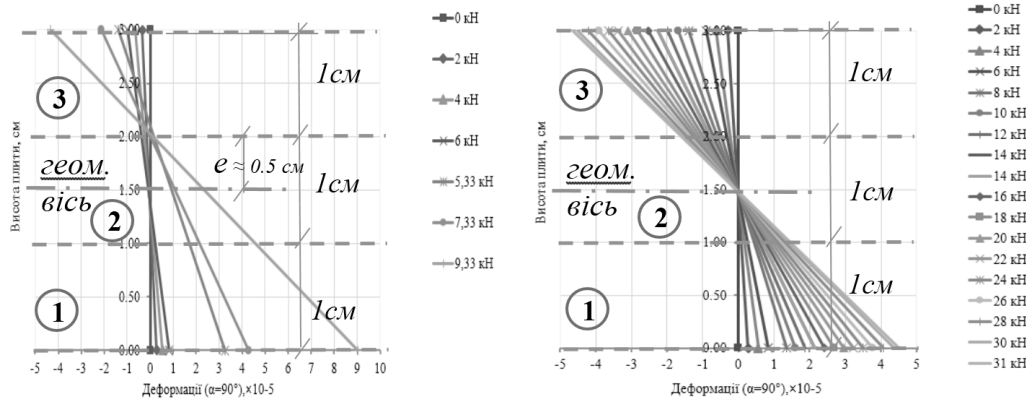


Рис. 5. Графіки залежності відносних деформацій від навантажень для дослідних плит: а) марки ПСБ – 1.7; б) марки ПСБ – 2.1

Із рис. 5, а видно, що у плиті марки ПСБ – 1.7 нейтральна вісь до руйнування нижнього шару • була на рівні геометричної осі перерізу плити, а після його руйнування перемістилася вгору до верхнього шару f на величину $e \approx 0,5 \text{ см}$. Така поведінка нейтральної осі перерізу плити повністю збігалася з характером її руйнування. У плиті марки ПСБ – 2.1 нейтральна вісь практично збігалася з геометричною віссю перерізу впродовж усього часу її роботи, оскільки руйнування почалося із середнього шару, а верхній і нижній зруйнувалися майже одночасно.

Висновки. За результатами виконаних досліджень можна дійти таких висновків:

1. Отримано результати експериментальних досліджень опертих по чотирьох кутах багатошарових скляних плит, які виконані з різною комбінацією звичайного та гартованого скла, що працюють на згин від зосередженого статичного навантаження посередині плит.

2. Порівняно з багатошаровою плитою зі звичайного скла використання гартованого скла як нижнього шару забезпечило більшу несучу здатність у $36,43 \text{ кН} / 9,33 \text{ кН} \approx 3,9$ раз та у $0,30 \text{ мм} / 0,14 \text{ мм} \approx 2,1$ раз менший прогин за однакових навантажень.

Проведені дослідження підтверджують перспективу впровадження скляних багатошарових плит у будівництві через їх великі міцність та жорсткість.

Бібліографічний список

1. CNR-DT 210/2013. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Costruzioni con Elementi Strutturali di Vetro (Guidelines for the Design and Construction of building with Structural Elements of Glass). Rome, Italy: Italian National Research Council (CNR), 2013. 360 p.
2. Ivanov I., Velchev D., Sadowski T., Kneč M. Computational models of laminated glass plate under transverse static loading. *Shell-Like Structures* / H. Altenbach, V. Eremeyev (eds.). Berlin, 2011. Vol. 15. P. 469-490.
3. Molnar G., Vigh L., Stocker G., Dunai L. Finite element analysis of laminated structural glass plates with polyvinyl butyral (PVB) interlayer. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2012. № 56. P. 35-42.
4. Sable L., Skukis E., Japins G., Kalnins K. Correlation between Numerical and Experimental Tests of Laminated Glass Panels with Visco-elastic Interlayer. *Procedia Engineering*. 2017. № 172. P. 945-952.
5. Vallabhan C.V.G., Das Y. C., Magdi M., Asik M., Bailey J. R. Analysis of laminated glass units. *Journal of Structural Engineering*. 1993. Vol. 119, № 5. P. 1572-1585.
6. Демчина Б. Г., Осадчук Т. Ю. Дослідження міцності багатошарових скляних плит, які працюють на згин від зосередженого навантаження штампом. *Будівельне виробництво: міжвід. наук.-техн. зб.* Київ: НДІБВ, 2016. № 60/2016. С. 58-63.
7. Демчина Б. Г., Осадчук Т. Ю. Дослідження деформацій багатошарових скляних плит за допомогою кореляції цифрових зображень. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»: технічні науки та архітектура*. 2017. № 134. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. С. 153-163.
8. Демчина Б. Г., Осадчук Т. Ю. Міцність та деформативність багатошарових скляних плит з різних типів скла, які працюють на згин. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 69. С. 30-37.

Демчина Б., Осадчук Т.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОПЕРТИХ ПО ЧОТИРЬОХ КУТАХ СКЛЯНИХ ПЛИТ З РІЗНИМИ ТИПАМИ СКЛА, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА ЗГИН

Використання скла відповідає вимогам сучасних архітектурних застосувань, таким як: прозорість, легкість та естетика. Разом із сучасним виглядом воно забезпечує використання сонячного світла, тепла та енергії. Багатошарові скляні плити можуть бути використані як несучі конструкції. Їх переваги: екологічність, добрі звукоізоляційні властивості, міцність проти механічних, кліматичних та інших навантажень. Завдання дослідження – визначення несучої здатності та деформативності багатошарових скляних плит. Експериментальні зразки – вільно оперті по чотирьох кутах багатошарові скляні плити, які працювали на згин від зосередженого навантаження посередині. Випробування на згин проведено для зразка з трьома шарами звичайного скла та зразка з одним нижнім шаром гартованого скла у зоні розтягу. Шари скла були ламіновані між собою полімерними плівками типу EVASAFE (Bridgestone). Завдання дослідження – визначити несучу здатність, прогин і деформації в зонах розтягу та стиску для кожного зразка та проаналізувати отримані експериментальні дані. Розглянуто результати експериментальних досліджень відповідно до схеми випробування. Характер руйнування звичайного скла являв собою утворення хрестоподібних тріщин, у результаті руйнування загартованого скла утворилися дрібні частинки скла. Міцність на згин і прогини за заданого навантаження для зразків показані на графіках «навантаження-прогин». Профілі деформацій показані на графіках за висотою для кожної плити. Використання загартованого скла у зоні розтягу багатошарової плити забезпечило більшу несучу здатність і менший максимальний прогин за згину порівняно з багатошаровою плитою з усіма шарами зі звичайного скла. Матеріали дослідження можуть зацікавити спеціалістів у галузі проектування.

Ключові слова: скляні багатошарові плити, випробування на згин, несуча здатність, деформативність, прогин, деформації.

Demchyna B., Osadchuk T.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CORNER SUPPORTED GLASS PLATES WITH DIFFERENT TYPES OF GLASS, WHICH WORKING ON BENDING

The use of glass meets the requirements of modern architecture applications such as transparency, lightness and aesthetics. With modern look it provides the using of sun light, warmth and energy. Multilayered glass plates can be used as load bearing constructions. Their advantages: environmental friendliness, good soundproofing properties, strength capacity to mechanical, climatic and others loads. The purpose of article is to determine the load bearing capacity and deformability of multilayered glass plates. Specimens were corner supported multilayered glass plates which working on bending under loading on the local area in the middle of plates. Bending tests were performed on a sample with three layers of annealed glass and a sample with one lower layer of tempered glass in tension zone. Glass layers were laminated each to other with EVASAFE interlayer polymer films (Bridgestone). The objectives of the article are: to determine the load bearing capacity, deflection and strains in tension and compression zones for each specimen and to analyze the obtained experimental data. The results of experimental researches in accordance with the test scheme were considered. The fracture patterns of annealed glass was the formation of cross-shaped cracks, tempered glass breakage pattern consisted of small particles of glass. Bending strength and deflections at a given load of specimens were shown in load-deflection curves. The strain profiles along the cross section at height graphs of each plate were plotted. The use of tempered glass in tension zone of multilayered plate provided a larger load bearing capacity and less maximum bending deflection compared to multilayered plate with all layers of annealed glass. The paper may be of a particular interest to the specialists in design.

Key words: multilayered (laminated) glass plates, bending tests, strength, deformation capacity (deformability), deflection, strain.

Стаття надійшла 16.03.2018.