

АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ТА ДЕФОРМАТИВНОСТІ З'ЄДНАНЬ СКЛЯНИХ ПЛАСТИН ЗА ДІЇ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Сурмай М. І., Ткач Р. О.

Слабким місцем будь-якої конструкції завжди є вузол з'єднання елементів. У роботі наведено результати дослідження зчеплення скляних пластин, які з'єднані між собою по всій поверхні за допомогою клейових матеріалів та виготовлених по технології триплексування, за дії статичного навантаження. Встановлено несучу здатність та деформативність таких з'єднань. Для проведення досліджень було спроектовано, виготовлено та випробувано 6 серій дослідних зразків. Отже, об'єктом дослідження є 6 серій дослідних зразків для випробувань зчеплення скляних пластин між собою. Дослідний зразок складався з 3 скляних пластин, товщиною 10 мм, з'єднаних між собою за допомогою технології триплексування та різних клейових матеріалів. Перед склеюванням скляні пластини дослідних зразків серії I–V очищали від бруду та знежирювали. Клей наносили на всю поверхню однієї пластини. Далі скляні пластини міцно з'єднувались між собою за допомогою лежат та витримувались протягом 5–10 хв. Тривалість тужавіння залежала від клейових матеріалів. Тужавіння клею зразків четвертої та п'ятої серії здійснювалось під променями ультрафіолетової лампи. Пластини дослідних зразків шостої серії з'єднували між собою за технологією триплексування, де між пластинами вкладалась полімерна плівка EVASAFE (Bridgestone, Японія), а дослідні зразки нагрівались до температури 130 °С і витримувались 30 хв.

Розроблено методику експериментальних досліджень. Установа для випробування складалася із стенду для статичних випробувань конструкції на міцність. Зовнішнє навантаження N прикладалось за допомогою гідравлічного домкрата та відбувалось покроково. Величина ступеня навантаження становила 1,0 кН та контролювалась за допомогою динамометра аж до повного руйнування дослідного зразка. На кожному ступені навантаження відбувалась витримка 10 хв, після чого виконували зчитування показів приладів.

На основі отриманих результатів зроблено аналіз роботи зчеплення скляних пластин та побудовано усереднений графік залежності деформацій зсуву та дотичних напружень $\tau=N/A$ для серій дослідних зразків. Завдяки цьому забезпечується можливість отримання міцності та деформативності для серій дослідних зразків.

Ключові слова: шари скла, триплекс, дослідний зразок, скляні пластини, вузол з'єднання елементів.

1. Вступ

Слабким місцем у будь-якої конструкції завжди є вузол з'єднання елементів. Винятком не стали і конструкції зі скла. При проектуванні скляних несучих конструкцій необхідно розуміти, що скло є матеріалом, відносні пластичні деформації якого практично дорівнюють нулю. Іншими словами, скло є крихким матеріалом [1].

З'єднання скляних поверхонь є процедурою високої технічної значимості. На сьогоднішній день найбільш поширеними методом з'єднання скла є клейове з'єднання та з'єднання скла за технологією триплексування. Триплексне з'єднання полягає в тому, що між склом вкладають полімерну плівку. Перевага клейового з'єднання полягає у можливості з'єднувати поверхні складної форми. У більшості випадків такі з'єднання герметичні та непроникні для парів та рідин.

З'єднання є одними з найбільш відповідальних частин конструкцій [2, 3].—У Національному університеті «Львівська політехніка» (Україна) в 2017 році розпочато дослідження скляних багатошарових колон на центральний стиск [4, 5]. Разом з тим виникла

необхідність визначення податливості зчеплення шарів триплексованого скла, яке набуває все ширшого застосування в якості несучого матеріалу. Було отримано патенти на зразок для випробування зчеплення пластин між собою [6]. Прикладом застосування скла, як конструктивного несучого елемента є скляний павільйон Talus du Temple неподалік від французького містечка Noyers (архітектор Dirk Jan Postel, 2001 р.). Павільйон розміром 5,04x5,1 м перекритий дерев'яним дахом, стіни павільйону заввишки 2,3 м складаються з двох 10 мм шарів флоат-скла. Стіни з'єднуються з основою та дахом за допомогою сталевих кутників з неопреновими прокладками. Спорудження за час свого існування перенесло два найсильніших шторми, чим і довело свою міцність.

Вищенаведені приклади показують можливість застосування скла, як несучого елемента конструкцій [7–9]. Однак на сьогоднішній день не існує норм, правил або методик розрахунку таких конструкцій. Враховуючи все вище перелічене дане дослідження є актуальним на сьогоднішній день та має велику перспективу практичного застосування в майбутньому в Україні та в світі. Таким чином, *об'єктом дослідження* є шість серій дослідних зразків для випробувань зчеплення скляних пластин між собою [6]. А *мета роботи* полягає у визначенні міцності та деформативності таких з'єднань.

2. Методи проведення дослідження

Було виготовлено 6 серій дослідних зразків із негартованого листового скла марки М4 (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики дослідних зразків

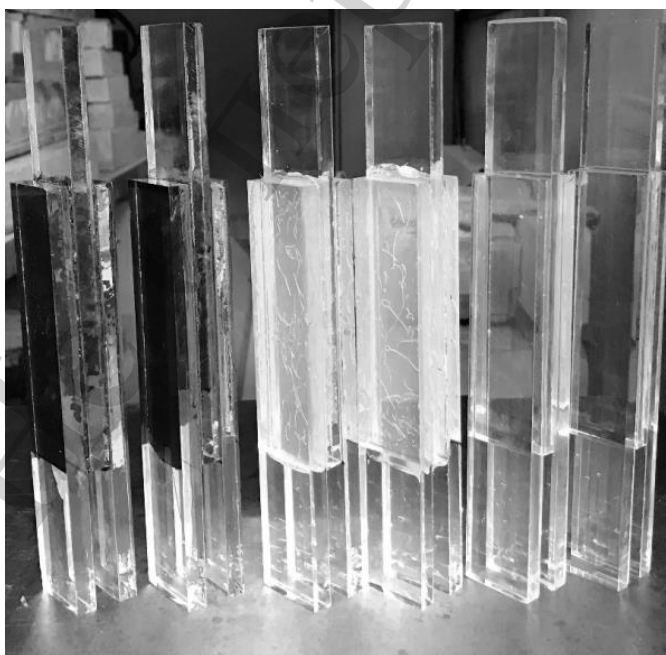
№ поз.	Серія	Марка дослідного зразка	Площа склеювання, см ²	Матеріал для з'єднання пластин	Товщина одної пластини, мм	Характеристики скла	
						Марка скла	Міцність на стиск, МПа
1	I	C3-1.1	50,7	Den Braven Montagefix-AQ (колір чорний)	10	M4	700
2		C3-1.2		Den Braven Zwaluw Aqua-Silicone (колір прозорий)			
3	II	C3-2.1					
4		C3-2.2					
5	III	C3-3.1		Термоклей Torex 42E113			
6		C3-3.2		Ультрафіолетовий клей Loxeal Engineering Adhesives UV 30-23			
7	IV	C3-4.1					
8		C3-4.2					
9	V	C3-5.1	4				
10		C3-5.2					
11	VI	C3-6.1	84	Полімерна плівка EVASAFE (Bridgestone, Японія)			
12		C3-6.2					
13		C3-6.1					
14		C3-6.2					

Дослідні зразки склалися з 3 скляних пластин, з'єднаних між собою за допомогою технології триплексування та клеючих матеріалів. Загальний вид дослідних зразків представлено на рис. 1.

Перед склеюванням скляні пластин дослідних зразків I–V серії було очищено від бруду та знежирено. Клей наносився на всю поверхню однієї пластини. Далі скляні пластини міцно з'єднувались між собою за допомогою лещат та витримувались протягом 5–10 хв. Тривалість тужавіння залежала від клейових матеріалів. Тужавіння клею зразків четвертої та п'ятої серії здійснювалось під променями ультрафіолетової лампи. Пластини дослідних зразків шостої серії з'єднували між собою за технологією триплексування, де між пластинами вкладався полімерна плівка EVASAFE (Bridgestone, Японія), а дослідні зразки нагрівались до температури 130 °C і витримувались 30 хв.

Установка для випробування складалася із стенду для статичних випробувань конструкції на міцність. Зовнішнє навантаження N прикладалось за допомогою гідравлічного домкрата та відбувалось покроково. Величина ступеня навантаження становила 1,0 кН та контролювалась за допомогою динамометра ДОСМ-3-50У (Україна) для зразків I–V серії та кільцевим динамометром для зразків VI серії аж до повного руйнування дослідного зразка. На кожному ступені навантаження відбувалась витримка 10 хв, після чого виконували зчитування показів приладів.

Дослідний зразок 1 розташовувався вертикально. Для уникнення місцевого сколювання та руйнування скла в місцях обпирання дослідного зразка на метал було вистелено повстяну прокладку. Для виміру абсолютних деформацій було використано індикатори годинникового типу 5 з ціною поділки 0,001 мм для дослідних зразків серії IV–VI та 0,01 мм для серій I–III. Заміри абсолютних деформацій проводились аж до повного руйнування дослідних зразків серій I–V. Для VI серії дослідних зразків прилади знімалися при величині навантаження 80 % від очікуваного руйнівного.



a



б

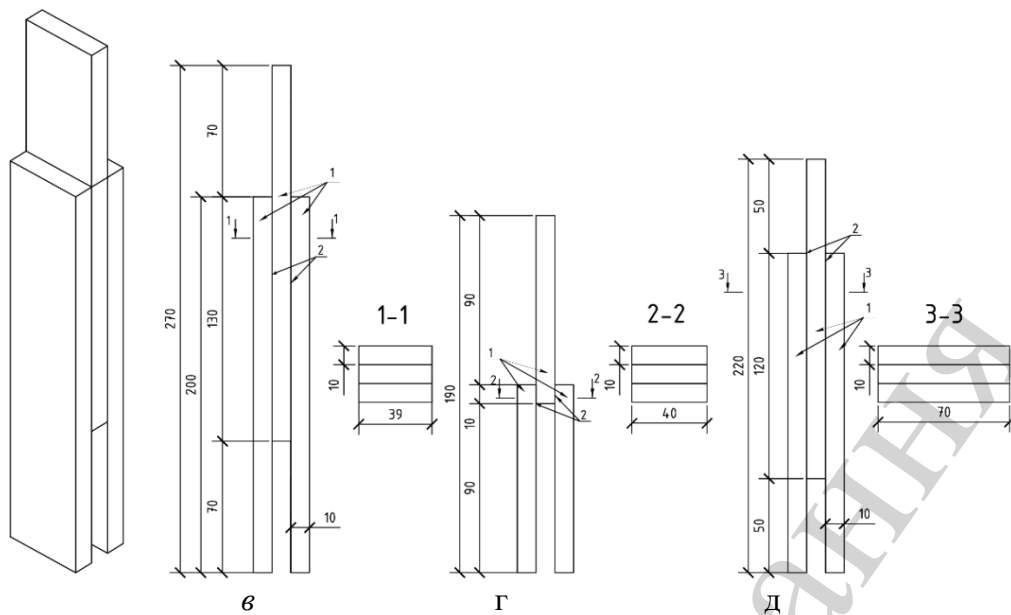


Рис. 1. Загальний вид дослідних зразків:

a – загальний вид дослідних зразків I–IV серії; *б* – загальний вид дослідних зразків V серії; *в* – конструктивна схема дослідних зразків I–IV серії; *г* – конструктивна схема дослідних зразків V серії; *д* – конструктивна схема дослідних зразків VI серії; 1 – скляна пластина; 2 – шов зчеплення скляних пластин

3. Результати досліджень та обговорення

Зразки I–III серії зруйнувались по шву зчеплення шарів скла, руйнування відбувалось поступово після досягнення руйнівного значення навантаження, яке становило для дослідних зразків марки СЗ-1.1 $N_{\max} = 8,82$ кН, СЗ-1.2 $N_{\max} = 8,77$ кН, СЗ-2.1 $N_{\max} = 13,13$ кН, СЗ-2.2 $N_{\max} = 13,93$ кН, СЗ-3.1 $N_{\max} = 1,34$ кН та для СЗ-3.2 $N_{\max} = 1,32$ кН.

Зразки IV серії зруйнувались миттєво після досягнення руйнівного значення навантаження, яке становило для марки дослідного зразка СЗ-4.1 $N_{\max} = 32,3$ кН та для СЗ-3.2 $N_{\max} = 33,1$ кН. Деформація зсуву становила не більше 0,5 мм. Дослідні зразки IV зруйнувались по скляних пластинах без руйнування швів зчеплення шарів скла.

Зразки V серії зруйнувались миттєво після досягнення руйнівного значення навантаження, яке становило для марки дослідного зразка СЗ-5.1 $N_{\max} = 9,57$ кН та для СЗ-5.2 $N_{\max} = 8,45$ кН. Деформація зсуву становила не більше 0,5 мм. Дослідні зразки V зруйнувались по шву зчеплення шарів скла.

Зразки VI серії зруйнувались миттєво після досягнення руйнівного значення навантаження, яке становило для марки дослідного зразка СЗ-6.1 $N_{\max} = 89,09$ кН, СЗ-6.2 $N_{\max} = 88,56$ кН, СЗ-6.3 $N_{\max} = 88,64$ кН та для СЗ-6.4 $N_{\max} = 89,02$ кН. Деформація зсуву становила не більше 1 мм. Дослідні зразки VI зруйнувались по скляних пластинах без руйнування швів зчеплення шарів скла. Тому, міцність зчеплення шарів скла при деформації зсуву з'ясувати не вдалось. Для цього потрібно зменшити площу з'єднання скляних пластин та повторити дослід.

За результатами дослідження побудовано усереднений графік залежності деформацій зсуву та дотичних напружень $\tau = N/A$ для серій дослідних зразків (рис. 2).

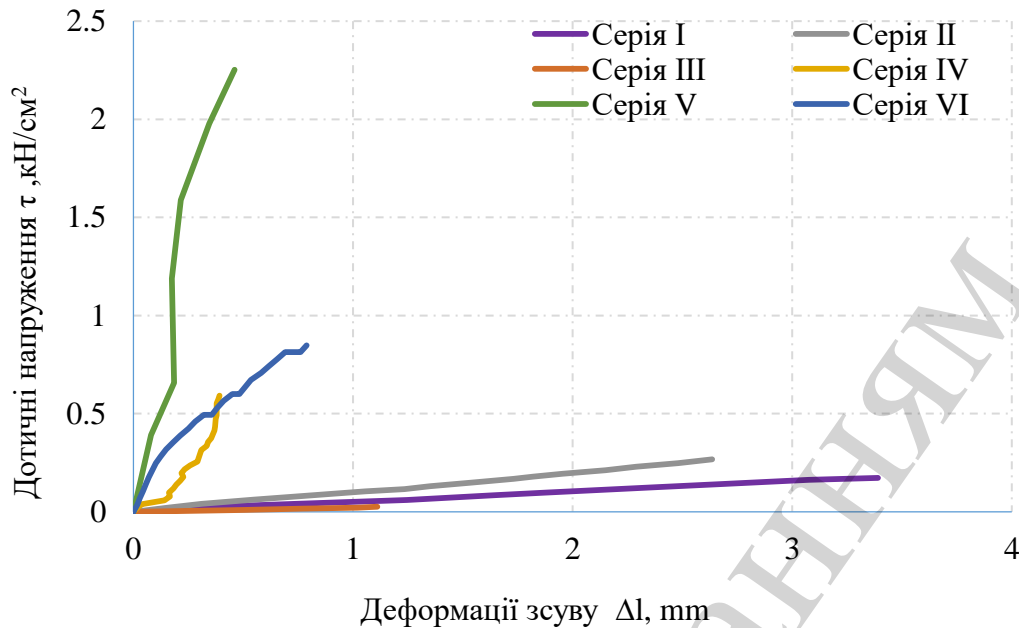


Рис. 2. Графік залежностей деформацій зсуву та дотичних напружень τ

Як бачимо з графіка на рис. 2, найбільші дотичні напруження у дослідних зразків V з ультрафіолетовим клеєм Loxal Engineering Adhesives UV 30-23. Найбільші деформації зсуву були у I серії з клеєм Den Braven Montagefix-AQ (колір чорний).

4. Висновки

Розроблено методику експериментальних досліджень, що дало змогу порівняти роботу зчеплення скляних пластин між собою за допомогою технології триплексування та клеючих матеріалів при дії статичного навантаження. У дослідних зразках I–III серій руйнування відбулося поступово, тоді як руйнування серій IV–VI відбувались миттєво. Доцільніше при використанні з'єднань у несучих конструкціях зі скла використовувати технологію триплексування, оскільки дослідні зразки VI зруйнувались по скляних пластинах без руйнування швів зчеплення шарів скла

References

1. Del Linz, P., Hooper, P. A., Arora, H., Smith, D., Pascoe, L., Cormie, D. et. al. (2015). Reaction forces of laminated glass windows subject to blast loads. *Composite Structures*, 131, 193–206. doi: <http://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.04.050>
2. Zubkov, V., Kondratieva, N. (2008). Characteristics of calculation of flat glass in translucent structures. *Glass performance days 2008*. New Delhi, 27–29.
3. Kislyuk, Ya., Shmigel, R., Savenko, V., Sukhoosov, G. (2010). Efficiency of application of gluing metal joints of elements of wooden constructions. *New technologies in construction*, 1 (19), 75–78.
4. Demchyna, B., Surmai, M., Tkach, R. (2018). Experimental research of laminated glass column for central compression. *Bulletin of the National University of Lviv Polytechnic: Theory and Practice of Construction*, 888, 52–58.
5. Demchyna, B. H., Surmai, M. I., Tkach, R. O. (2018). Pat. No. 128990 UA. *Skliana korona*. МПК: E04C 3/30, E04B 1/18, E04B 1/28, E04H 15/34, E04H 15-60. No. u201805969; declared: 29.05.2018; published: 10.10.2018. Bul. No. 19.

6. Demchyna, B. H., Surmai, M. I., Tkach, R. O., Osadchuk, T. Yu. (2019). Pat. No. 140007 UA. *Zrazok dlia vyprobuvan zcheplennia plastyn mizh soboiu*. MPK: G01N 3/08. No. u201905744; declared: 27.05.2019.
7. Kalamar, R., Eliasova, M. (2015). Load Bearing Innovative Construction from Glass. *2nd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies*. Riga, 1–7. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/96/1/012066>
8. Petersen, R., Bagger, A. (2019). Structural use of glass: Cruciform columns and glass portals with bolted connections subjected to bending. *Glass performance days 2009*, 371–375.
9. Campione, G., Di Paola, M., Minafò, G. (2014). Laminated Glass Members in Compression: Experiments and Modeling. *Journal of Structural Engineering*, 140 (2), 04013047. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000827](http://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000827)
10. Hyatt, P., Hyatt, J. (2004). *Great Glass Buildings: 50 Modern Classics*. Images Publishing, 240.

ТІЛЬКИ ДЛЯ ЧИТАННЯ