

Було встановлено, що магнітна обробка змінним полем вплинула несприятливим чином. Структура сплаву після обробки характеризується згрупованістю та хаотичністю розташування структурних складових по усьому об'єму сплаву.

Література:

1. Mondolfo L. F. Aluminium alloys. Structure and properties. Butterworth, 1976. – 640 p.

Хворостяний В.В.
(ІІМ ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ)
**ОЦІНКА МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ
З БАГАТОШАРОВОГО СКЛА З УДАРНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ
МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО ПРОДАВЛЮВАННЯ ПУАНСОНОМ**
E-mail: plt2002@ukr.net

Складною та недостатньо дослідженою є проблема визначення масштабного ефекту міцності композитних ламінованих блоків з крихких матеріалів, оцінка їх механічного стану з урахуванням особливостей порушеної структури після локальних ударних навантажень з використанням різних типів ударників, визначення характеристик залишкової міцності та жорсткості, що описуються поняттями «post-failure strength» та «post-failure rigidity», важливих для забезпечення належної закритичної механічної поведінки елементів конструкцій броньованого скління фортифікаційних споруд, військової та спеціальної техніки, авіаційного та будівельного скла.

Вирішенню актуальних практичних задач цього напрямку досліджень присвячені роботи з розвитку та вдосконалення експериментально-розрахункових підходів, у яких враховуються технологічні та експлуатаційні фактори, рівень початкової дефектності, вплив набутої пошкоджуваності для гарантування

працездатності та ресурсу і відповідності вимогам щодо надійності елементів захисних конструкцій [1, 2].

Основні положення практичної реалізації методики оцінки міцності, ударної стійкості та жорсткості структури порушеної багатошарової пластини з силікатного флоат-скла з адгезійними полімерними прошарками раніше було наведено в роботах [2, 3]. Суть запропонованої методики полягала в застосуванні статичного локального продавлювання сталевим пуансоном по нормалі до площини фасадної (лицевої) пластини скла досліджуваного триплексу на різних відстанях від кромки, осередків уражень та відповідних зон розбиття матеріалу, спричинених попередніми балістичними випробуваннями (ділянки інденування 1...16). Зазначені експерименти виконували до моменту руйнування першої скляної пластини усієї конструкції броньового склоблоку. Розвитком досліджень слугували випробування на глибоке інденування пуансоном вглиб багатошарової ударостійкої пластини з фіксацією руйнувань усіх її складових, окрім останнього шару скла.

Експериментальне вивчення механічної поведінки зазначеного елемента конструкції захисного призначення здійснювали на модернізованій установці ZD-4 (Німеччина) для механічних випробувань крихких матеріалів та використовуючи універсальну вимірювальну систему GT-12-M18 та відповідне програмне забезпечення GlassBend [4]. Оцінювання рівня стійкості структури бронееlementу з багатократними ураженнями, неоднорідності його пошкодження та ступеню фрагментації скла на різних відстанях від осередків ударів виконували при визначенні характеристик силового навантаження на пуансон, його переміщення вглиб матеріалу (вертикального заглиблення) та контактного тиску. Площа контакту пуансона обмежується розмірами та площею його основи (так званої «підшви» плоского наконечника), розподіл тиску з деякими припущеннями можна вважати рівномірним. Тому питомий тиск (p , МПа) визначався як відношення прикладеного навантаження до площі основи пуансона.

Забезпечення залишкової міцності та жорсткості елемента конструкції з багатошарового скла з балістичними ураженнями зумовлюється в тому числі й

адгезійними полімерними прошарками. Зокрема при локальному руйнуванні першої пластини скла за рахунок адгезиву утримуються утворені уламки скла різного розміру, фрагментація яких варіювалася від крупних до мікророзмірних. В зоні індентування скла сталевим пуансоном з'являється відповідного вигляду «кратер» з ознаками значного розтріскування та викришування матеріалу, на яке впливала наявність розгалуженої сітки тріщин та відколів, що виникли після попередніх ударних впливів.

В залежності від розташування ділянок індентування пуансоном відносно пошкоджених зон, спостерігались суттєві відмінності механічної поведінки матеріалу. Чим ближче така ділянка до зони балістичного ураження, тим менше значення руйнівного навантаження пластини скла було зафіксовано. Для найвіддаленіших місць індентування величина P становила від ~ 3000 Н до 9500 Н (ділянки № 1, 7, 8, 5 та 6), тоді як для наближених до зон уражень ділянок навантаження було зареєстровано у діапазоні ~ 3400 Н – 1400 Н (ділянки № 11, 3, 16, 14 та 9). Також слід зазначити, що величина переміщення пуансону для зазначених вибірок випробувань кардинально відрізнялася: для першої (віддалені ділянки) $\delta = 1,780$ мм – $2,512$ мм, а для другої $\delta = 2,528$ мм – $5,488$ мм. Величина руйнівного навантаження пластини скла для найвіддаленіших ділянок індентування вища у 2 – 3 рази у порівнянні з ділянками, що близькі до зон уражень. На діаграмах «навантаження P , Н – переміщення δ , мм» можемо помітити різний характер кривої залежності, яка більш полого для ділянок, що ближчі до зон уражень (рис. 1). Це свідчить про відмінність у опорі проникненню пуансона в матеріал під час експерименту для ділянок, на яких в більшій чи в меншій мірі порушена структура скла через появу чисельних розгалужених сіток тріщин, утворених сколів та його викришування.

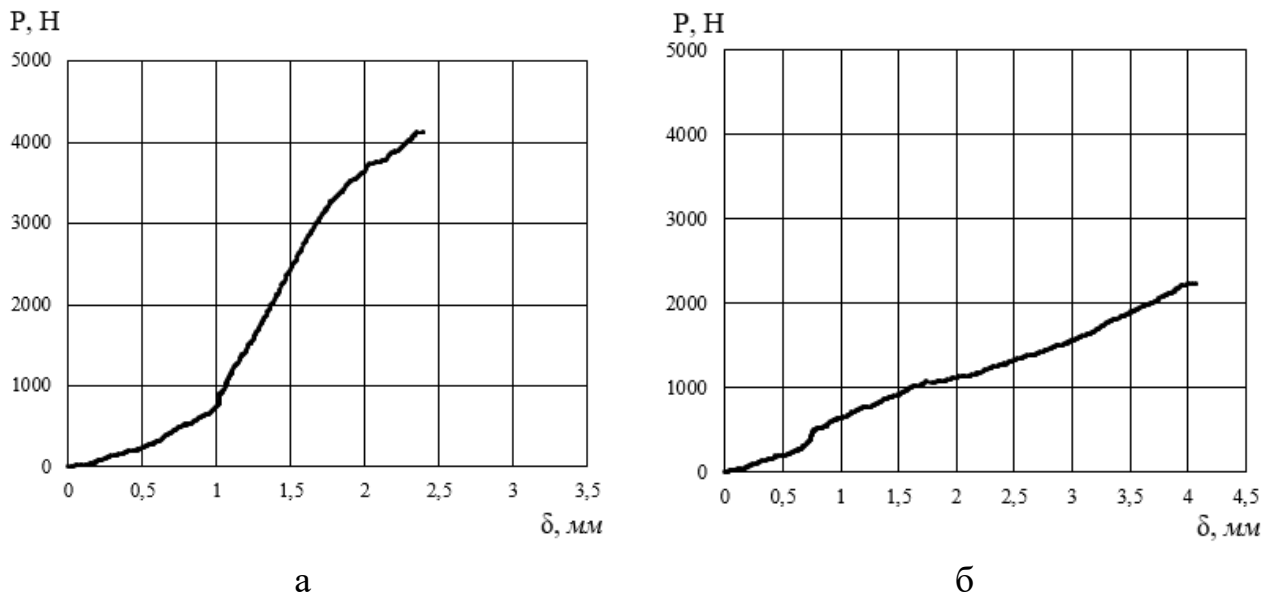


Рис. 1. Залежності прикладеного навантаження на пуансон P , Н та його переміщення (заглиблення) δ , мм при локальних індентуваннях першої пластини триплексу: а – ділянка № 2; б – ділянка № 16

Аналіз експериментальних результатів полягав у знаходженні залежностей величини максимального значення прикладеного навантаження на пуансон, що відповідало моменту руйнування фасадної скляної пластини, від таких геометричних параметрів як мінімальна відстань від центру ділянки індентування до епіцентрів уражень $\min(L_{II}; L_{III})$, мінімальна відстань від центру ділянки індентування до найближчих тріщин областей уражень $\min(L_{II}^{min}; L_{III}^{min})$ та мінімальна відстань від центру ділянки індентування до краю пластини $\min(dfe)_i$. В табл. 1 наведено одержані результати експериментів.

За результатами виконаних експериментальних досліджень з оцінки механічного стану конструктивних елементів балістичного захисту з багатошарового ударостійкого скла в умовах статичного локального навантаження пуансоном визначено вплив розташування ділянок індентування відносно епіцентрів балістичного ураження, утворених внаслідок них сіток розгалужених поверхневих та підповерхневих тріщин та інших змін у цілісності структури скла, близькості кромки пластини на величину руйнівного навантаження. Показано визначені відповідні загальні закономірності, що свідчать про відмінності у опорі

проникненню пуансона в матеріал. Результати виконаних експериментальних досліджень за вказаною методикою можуть бути використані для обґрунтування можливості продовження терміну використання бронеелементу з балістичними ураженнями у реальних обставинах на проміжок часу до здійснення робіт з ремонту та відновлення систем прозорого бронювання.

Таблиця 1 – Результати експериментального дослідження багатошарової ударостійкої пластини методом статичного продавлювання пуансоном

№ ділянки	P , Н	δ , мм	p , МПа	$\min(L_{II}; L_{III})$, мм	$\min(L_{II}^{min}; L_{III}^{min})$, мм	$\min(dfe)_i$, мм
1	9562,6	2,168	761	110	60	25
2	4118,5	2,396	328	75	25	50
3	2941,8	2,740	234	60	18	50
4	2333,1	3,216	186	70	25	25
5	3050,0	1,780	243	85	40	25
6	2759,2	1,824	220	96	50	25
7	4970,7	1,968	396	97	54	25
8	4118,5	2,512	328	85	42	25
9	1406,7	2,528	112	50	10	25
10	1413,4	2,304	113	107	42	25
11	3422,0	5,488	272	58	40	25
12	1744,8	3,480	139	75	40	25
13	2116,7	3,912	169	70	26	35
14	2130,3	3,176	170	60	30	65
15	5437,2	2,680	433	65	35	25
16	2238,5	4,068	178	52	15	30

Література:

1. Сорока О. Б. Методи експериментального контролю міцності та пошкодження структурних елементів багатошарових склополімерних блоків балістичного захисту / О. Б. Сорока, Ю. М. Родічев, О. А. Шабетя та ін. // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали міжнародної

науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2020. – 112 с.

2. Хворостяний В. В. Методика оцінки ступеню локалізованого пошкодження елементів конструкцій з багатошарового скла методом статичного продавлювання пуансоном / В. В. Хворостяний, В. Є. Бодунов, І. Р. Качинська // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції: у 2 т. – Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – Т. 1. – С. 123 – 124.

3. Smetankina N. Damageability Assessment of Impact-Resistant Glass for Transparent Armor Systems / N. Smetankina, V. Khvorostyanyi, D. Ustuhov, V. Bodunov, I. Kachinska // Proc. International Scientific and Technical Conference Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering, Kharkiv, Ukraine, 28 December, 10 p., 2023 (in press).

4. Родичев Ю. М. Повышение точности измерения деформаций и перемещений стеклянных пластин при изгибе с использованием измерительной системы GT-12-M8 / Ю. М. Родичев, Е. Б. Сорока, А. В. Дроздов, В. В. Хворостяный, В. Е. Бодунов // Актуальные проблемы инженерной механики: тезисы докладов VII международной научно-практической конференции. – Одесса, 2020. – С. 296 – 300.

Цибаньов Г.В.

(ІІМ ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ)

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОСТУ ТРИЩИНИ ВТОМИ НА
ГЛАДКІЙ ПОВЕРХНІ**

E-mail: g.v.tsybanov@ipp.kiev.ua

Можливість застосування матеріалів при проектуванні елементів конструкцій, які в експлуатації піддаються навантаженню в області багатоциклової втоми, зазвичай оцінюється з використанням стандартизованих характеристик їх механічних властивостей, які визначаються на гладких зразках за різних режимів