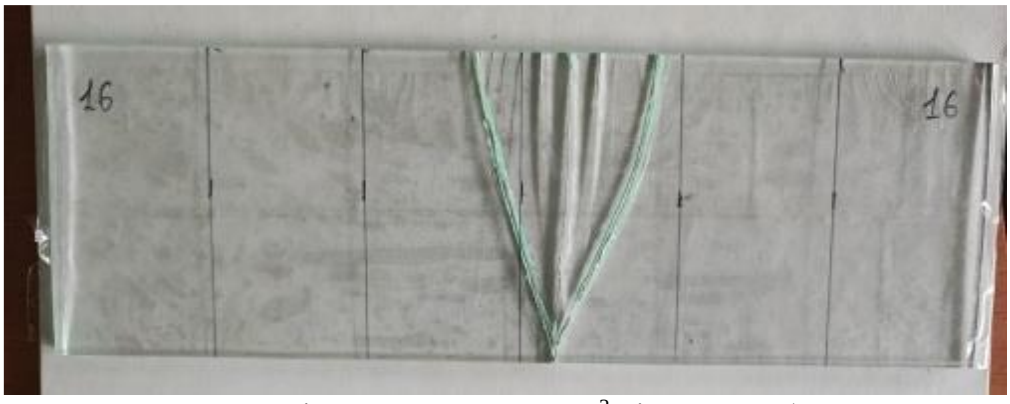

Рис. 2 – Зразок розміром 300 × 100 × 6 мм^3 після випробувань на згин.

Список посилань

1. 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 // Тезисы докладов VII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы инженерной механики». – Одесса, 12 – 15 мая 2020 г. – С. 296 – 300.

УДК 539.4+620.1

Грабовський А.П., канд. техн. наук, доцент
Бондарець О.А., канд. техн. наук, доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, bondarets.o@gmail.com

АНІЗОТРОПІЯ ПОШКОДЖУВАНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В сучасних інженерних об’єктах широко використовуються різноманітні анізотропні матеріали часто армовані тим чи іншим способом, що підлягають різного виду дії пружно-пластичних навантажень з відповідною кінетикою накопичення розсіяних пошкоджень в таких конструкцій, стосовно ж визначення ресурсу їх експлуатації це на сьогодні являється надзвичайно актуальною проблемою, де зачасту запитань більше ніж відповідей. Саме кінетика пошкоджуваності анізотропних матеріалів в контексті сучасної інженерії має велике як теоретичне, так і практичне значення, особливо в галузі розрахунку залишкової міцності – це один з трендових напрямків. Техніко-економічна ефективність розрахунку кінетики накопичення пошкоджень в анізотропних матеріалах під дією зовнішніх силових факторів залежить від того наскільки спрогнозовано пошкоджуваність матеріалу при забезпеченні міцності і жорсткості виробів при їх експлуатації. Саме тому, в роботі розглядається кінетика накопичення пошкоджень в матеріалі при його експлуатації, що враховує зміну об’єму і форми репрезентативного елементу (РЕ) в найбільш небезпечних елементах конструкції, що враховує його зміну об’єму і форми, а також фізико-механічні характеристики матеріалу. Розглядаються узагальнені закони Гука віднесені до осей симетрії ортотропного маетріалу в першому наближенні та загальні випадки орієнтації осей, при яких напруженння, діючі на площадках, не співпадають з осями симетрії ортотропного матеріалу.

Процес руйнування анізотропного матеріалу розглядається як сукупність дії двох напружень в небезпечних найбільш навантажених перетинах – нормальних σ та дотичних τ, як сукупність двох механізмів руйнування – відриву та зрізу [1, 2], що характеризується критичними значеннями величин пошкодження від нормальних напружень D_σ та дотичних напружень D_τ [3] у вигляді додаткової зміни об’єму матеріалу $\Delta V_i = V_i - V_0$ та додаткової величини зміни форми у вигляді кута зсуву граней РЕ на величину $\Delta\gamma_i = \gamma_i - \gamma_0$ [4], де V_0 та V_i - об’єм РЕ до та після накопичення в ньому пошкоджень, γ_0 та γ_i - початкова та поточні величини нахилу площадок до його головних координатних осей.

$$D_{\sigma_i}=\frac{V_i-V_0}{V_i}=1-\frac{V_0}{V_0+\square V_V}=1-\frac{1}{1+\varepsilon_V};\rightarrow\ \varepsilon_V=\frac{D_{\sigma_i}}{1-D_{\sigma_i}}=F(D_\sigma)$$
$$D_{\tau_i}=\frac{\gamma_i-\gamma_0}{\gamma_i}=1-\frac{\gamma_0}{\gamma_0+\square\gamma_V}=1-\frac{1}{1+\gamma_V};\rightarrow\ \gamma_V=\frac{D_{\tau_i}}{1-D_{\tau_i}}=F(D_\tau) \qquad (1)$$

Тут: ε_V - відносна зміна об'єму РЕ за напрямами координатних осей x, y, z РЕ: $\varepsilon_V=\varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z=F(D_{\sigma_x})+F(D_{\sigma_Y})+F(D_{\sigma_z})$; γ_V - відносна зміна об'єму РЕ за напрямами координатних осей $\gamma_V=\gamma_{xy}+\gamma_{yz}+\gamma_{zx}=F(D_\tau)=F(D_{\tau_{XY}})+F(D_{\tau_{YZ}})+F(D_{\tau_{ZX}})$; $F(D_\sigma)-$ відносна функція зміни об'єму $0\le F(D_\sigma)\rightarrow\infty$ відношення ушкодженого об'єму РЕ до незруйнованого об'єму $(1-D_\sigma)$; $F(D_\tau)-$- відносна функція зміни форми $0\le F(D_\tau)\rightarrow\infty$ відношення зміни форми ушкодженого об'єму РЕ до початкового стану форми $(1-D_\tau)$ анізотропного матеріалу.

В роботі отримані відношення для функцій зміни об'єму і форми РЕ матеріалу при кінетиці його пошкоджуваності для координатних осей x, y, z, які співпадають з напрямами осей симетрії ортотропного матеріалу.

$$F(D_{\sigma x})=\varepsilon_x=\frac{\sigma_x-\sigma_0}{E_x}-\mu_{yx}\frac{\sigma_y-\sigma_0}{E_y}-\mu_{zx}\frac{\sigma_z-\sigma_0}{E_z}$$
$$F(D_{\sigma y})=\varepsilon_y=-\mu_{xy}\frac{\sigma_x-\sigma_0}{E_x}+\frac{\sigma_y-\sigma_0}{E_y}-\mu_{zy}\frac{\sigma_z-\sigma_0}{E_z}$$
$$F(D_{\sigma z})=\varepsilon_z=-\mu_{xz}\frac{\sigma_x-\sigma_0}{E_x}-\mu_{yz}\frac{\sigma_y-\sigma_0}{E_y}+\frac{\sigma_z-\sigma_0}{E_z} \qquad (2)$$
$$F(D_{\tau xy})=\gamma_{xy}=\frac{\tau_{xy}-\tau_0}{G_{xy}};\ F(D_{\tau yz})=\gamma_{yz}=\frac{\tau_{yz}-\tau_0}{G_{yz}};\ F(D_{\tau zx})=\gamma_{zx}=\frac{\tau_{zx}-\tau_0}{G_{zx}};$$

В даних співвідношеннях (2) μ - коефіцієнт поперечної деформації. Перший індекс означає напрям дії напруження, а другий - напрям деформації. G - модуль зсуву, де індекси відповідають напрямку між якими відбувається зміна прямого кута.

В роботі отримані відношення для визначення функцій змін об'єму і форми при розрахунку кінетики накопичення пошкоджень в загальному випадку діючого напруження на площадках, що не співпадають з осями симетрії ортотропного матеріалу, а також приведені результати експериментальних співставлень з теоретико аналітичними ориманими залежностями.

Список посилань

1. Lemaitre J., Desmorat R., Sauzay M. Anisotropic damage law of evolution. European Journal of Mechanics - A/Solids, 2000, vol. 19, no. 2, pp. 187–208. https://doi.org/10.1016/s0997-7538(00)00161-3

2. Bobyr, M.I., Bondarets, O.A. Phenomenological Model of Scattered Fracture for Anisotropic Materials. Strength Mater 55, 945–953 (2023). https://doi.org/10.1007/s11223-023-00585-6

3. Грабовський А., Бондарець О., Бабієнко І. Пошкоджуваність матеріалів при пропорційному навантаженні // Mechanics and Advanced Technologies. – 2023. – Т. 7, № 2 (98). – С. 223–227. DOI: 10.20535/2521-1943.2023.7.2.261955.

4. Грабовський А., Бондарець О., Бабієнко І. Кінетика пошкоджуваності матеріалів при різних режимах повторно-змінних навантажень // Mechanics and Advanced Technologies. – 2021. – Т. 5, № 3. – с. 325–331. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.3.248026.