

РОЗРАХУНОК МАКСИМАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ В ЗОНАХ ЇХ КОНЦЕНТРАЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ПОШКОДЖУВАНOSTI

Коваль Віктор, асистент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

Одним з найбільш небезпечних факторів, що прямо впливає на несівну здатність елементів конструкцій є концентрація напружень, виникнення якої зумовлене конструктивними або технологічними причинами. Наявність зон концентрації призводить до виникнення неоднорідностей у місцевих полях напружень та деформацій та суттєвого локального зростання максимальних величин інтенсивностей деформацій та напружень, що сприяє виникненню макротріщини та подальшому руйнуванню елементу конструкції. Таким чином, оцінка міцності всієї конструкції, в першу чергу, базується на оцінці напружено-деформованого стану у найбільш небезпечних її зонах, якими виступають зони концентрації напружень та деформацій [1].

Оскільки задача безпосереднього визначення величин напружень та деформації у зонах їх концентрації є досить складною, у більшості випадків використовуються інженерні методи, що дозволяють наближено визначити ці параметри. Проте, у розрахунках за цими методами використовується умовна діаграма деформування, що не враховує явище пошкоджуваності, яке виникає при пружно-пластичному деформуванні матеріалів [1]. Це призводить до виникнення розрахункових неточностей при кінцевій оцінці максимальних значень напружень та деформацій у зонах їх концентрації.

В представленій роботі параметр пошкоджуваності, у першому наближенні, був прийнятий у вигляді скаляру, що може бути визначений за допомогою наступної залежності [2]:

$$D = \frac{|\rho_0 - \rho_i|}{\rho_i}, \quad (1)$$

де ρ_i та ρ_0 – поточне та початкове значення питомого електричного опору зразка, відповідно. На основі отриманих експериментальних величин параметру пошкоджуваності з урахуванням підходу ефективних напружень Качанова-Работнова [3,4] та гіпотези про інваріантність деформованого стану [5] може бути побудована ефективна діаграма деформування, що буде враховувати явище пошкоджуваності в матеріалі. В загальному випадку, діаграма деформування може бути представлена у наступному вигляді [1]:

$$\bar{\sigma} = \begin{cases} \bar{\varepsilon}^m & \text{для } \sigma > \sigma_m \\ \bar{\varepsilon} & \text{для } \sigma < \sigma_m \end{cases}, \quad (2)$$

де $\bar{\sigma} = \sigma / \sigma_m$, $\bar{\varepsilon} = \varepsilon / \varepsilon_m$, а σ_m та ε_m – величини напружень та деформацій, які відповідають границі міцності матеріалу. Оскільки визначення ефективної діаграми деформування пов'язане зі значними обсягами експериментальних

досліджень у роботі запропоновано наближений спосіб розрахунку ефективного коефіцієнта зміцнення \bar{m}_{ef} згідно залежності:

$$\begin{cases} \bar{m}_{ef} = \bar{m}_d - \log_{\bar{\varepsilon}_e} (1 - D_B) \\ \bar{m}_{ef} = \bar{m}_y - \log_{\bar{\varepsilon}_e} (1 - D_B) - \log_{\bar{\varepsilon}_e} (1 - \psi_e) \end{cases} \quad (3)$$

де $\bar{\varepsilon}_e$, D_B , ψ_e – величини відносної деформації, відносного поперечного звуження та пошкоджуваності, виміряні на рівні границі міцності, \bar{m}_y – коефіцієнт зміцнення для умовної діаграми деформування, \bar{m}_d – коефіцієнт зміцнення для дійсної діаграми деформування (діаграми, що враховує зміну площі поперечного перерізу зразка). Порівняння розрахунків згідно залежності (3) з експериментальними величинами коефіцієнтів зміцнення для розглянутих у роботі матеріалів Д16Т, 12Х18Н10Т, 18Х2Н4ВА, ВТ22 та 15ХСНД продемонструвало відхилення результатів наближеного розрахунку на величину що не перевищує 15%, проте це відхилення відбувається у запас міцності тобто не призводить до завищення діючих у матеріалі напружень.

Для оцінки максимальних напружень та деформацій в зоні концентрації було використано модифікований підхід Махутова М.А., що враховує ефективну діаграму деформування, яка може бути описана згідно залежностей (2) та (3). Згідно цього підходу максимальні напруження та деформації визначаються наступним чином:

$$\sigma_{\max} = \sigma_n K_{\sigma}^{ef}, \quad \varepsilon_{\max} = \varepsilon_n K_{\varepsilon}^{ef}, \quad (4)$$

де σ_{\max} , ε_{\max} – максимальні значення напруження та деформації у зоні концентрації, σ_n та ε_n – номінальні значення напружень та деформацій, K_{σ}^{ef} , K_{ε}^{ef} – ефективні значення коефіцієнтів концентрації напружень та деформації з урахуванням пошкоджуваності. Порівняння результатів розрахунку коефіцієнтів концентрації напружень та деформацій продемонструвало наступне: коефіцієнти концентрації напружень, розраховані без врахування параметру пошкоджуваності дають занижені значення, порівняно з (4), у той же час коефіцієнти концентрації деформацій отримані без врахування пошкоджуваності є більшими, ніж ефективні.

Список використаної літератури

1. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность/ Н.А. Махутов. – М. Машиностроение., 1981. – 272 с.
2. Тимошенко О.В. Влияние вида напряженного состояния на критическое значение пошкоджуваності для конструкційних матеріалів при пружно-пластичному деформуванні/ О.В. Тимошенко, В.В. Коваль, Р.В. Кравчук// «Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування». – № 63. – 2011 р. – С. 103-107
3. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций/ Ю.Н. Работнов. – М.: Наука. – 1966. – 752 с.
4. Kachanov L.M. Introduction to continuum damage mechanics. Kluwer academic publishers. Bruukline USA. Printed in the Netherlands. – 1986. – 135 p.
5. Lemaitre J. A Course on Damage Mechanics. – Springer Verlag., Germany., 1992. – 210 p.