

УДК 539.4.013.3

Микола Сташків, к.т.н., доц.; Микола Підгурський, д.т.н., проф.; Іван Підгурський, к.т.н., доц.; Олег Підлужний, асп.; Василь Антонюк, асп.; Василь Оливко, асп.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**ВПЛИВ ТРІЩИНИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН ШВЕЛЕРА З
КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРУЖЕНЬ У ВИГЛЯДІ КРУГЛОГО ОТВОРУ**

Анотація. Методом скінчених елементів проведено оцінку напружено-деформівного стану швелера за умов чистого згину та наявних у його стінці отвору та крайової тріщини.

Ключові слова: швелер, чистий згин, круглий отвір, крайова тріщина, метод скінчених елементів, напружено-деформівний стан.

Mykola Stashkiv, Mykola Pidgurskyi, Ivan Pidgurskyi, Oleh Pidluzhnyi, Vasyl Antoniuk, Vasyl Olyvko

**EFFECT OF A CRACK ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A CHANNEL
SECTION WITH A CIRCULAR HOLE STRESS CONCENTRATOR**

Abstract. The stress-strain state of a channel section under pure bending and in the presence of a hole and an edge crack in its web was evaluated using the finite element method.

Keywords: channel section, pure bending, circular hole, edge cracks, finite element method, stress-strain state.

Тонкостінні металеві стержні широко використовуються як несучі елементи у будівництві, машинобудуванні, автомобілебудуванні, авіації, вітроенергетиці. У таких елементах передбачені різноманітні конструктивні та технологічні концентратори напружень, зокрема отвори. Наявність концентраторів спричиняє підвищення рівня напружень, що може призвести до руйнування конструкцій. Особливо важливою дана проблема є для циклічно навантажуваних конструкцій, у яких за наявних дефектів можуть бути і тріщиноподібні дефекти, які, за певних умов, можуть призвести до втомних руйнувань.

В інженерній практиці для розрахунку тонкостінних стержнів використовують аналітичні залежності (для простих перерізів і навантажень), а також пластинчасто-оболонкові моделі для детального аналізу або метод скінчених елементів з балковими елементами типу beam188/beam189 (ANSYS).

У роботі досліджується розподіл еквівалентних напружень у сталевому гарячекатаному швелері № 12 (згідно ДСТУ 3436-96 висота швелера $H = 120$ мм, ширина полиці $B = 52$ мм, товщина полиці $\delta = 4,8$ мм, товщина стінки $t = 7,8$ мм) за умови чистого згину. Згинальний момент становить 5400 Н·м, що відповідає максимальним еквівалентним напруженням $\sigma_e \approx 100$ МПа у полицях бездефектного швелера. Дослідження виконано методом скінчених елементів з використанням програмного комплексу ANSYS.

Розглянуто напружено-деформований стан (НДС) швелера для таких випадків концентраторів напружень: швелер з круглим отвором діаметром 20 мм, розташованим на одній третій висоти стінки швелера (40 мм від нижнього зовнішнього кута швелера); швелер з тріщиною різної довжини, що розвивається в стінці від нижнього кута швелера; тріщина в стінці, що підростає до отвору, розташованого на відстані 40 мм від кута швелера; тріщина в стінці, що проросла в отвір.

Результати моделювання НДС швелера без концентратора напружень та з концентратором напружень у вигляді отвору діаметром 20 мм, що розташований на відстані 40 мм від нижнього зовнішнього кута швелера показано на рис. 1.

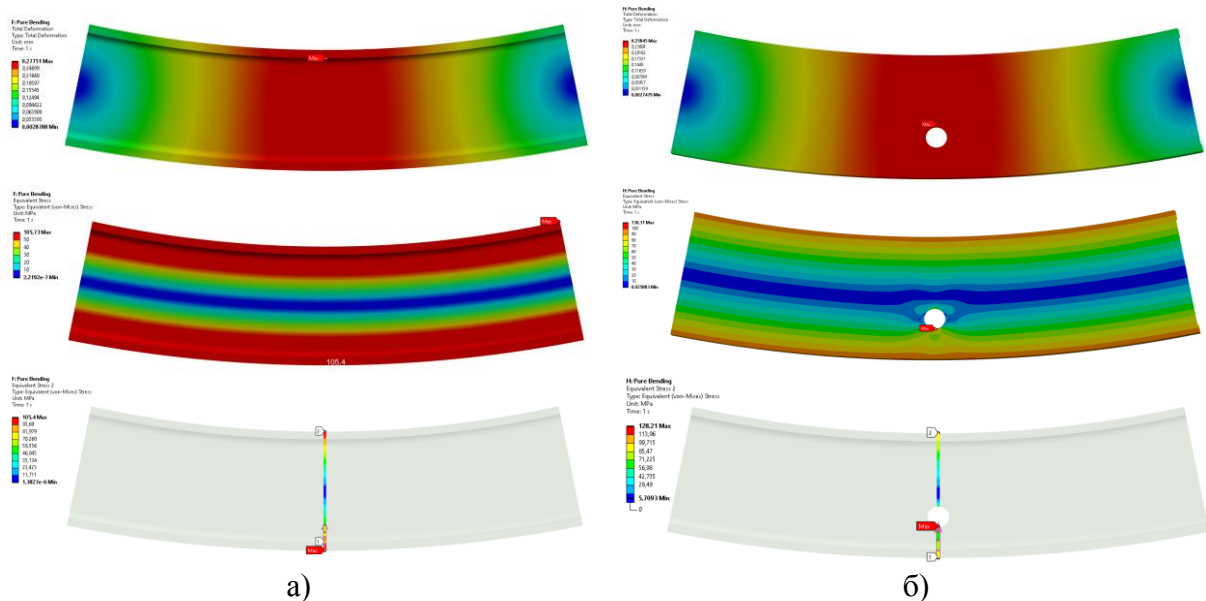


Рисунок 1 – НДС швелера без концентратора напружень (а) та з концентратором напружень (круглим отвором) (б) за умов чистого згину

На рис. 2 графічно показано розподіл напружень по лінії поперечного перетину, що проходить через центр отвору. Також для порівняння представлені напруження у бездефектному перетині.

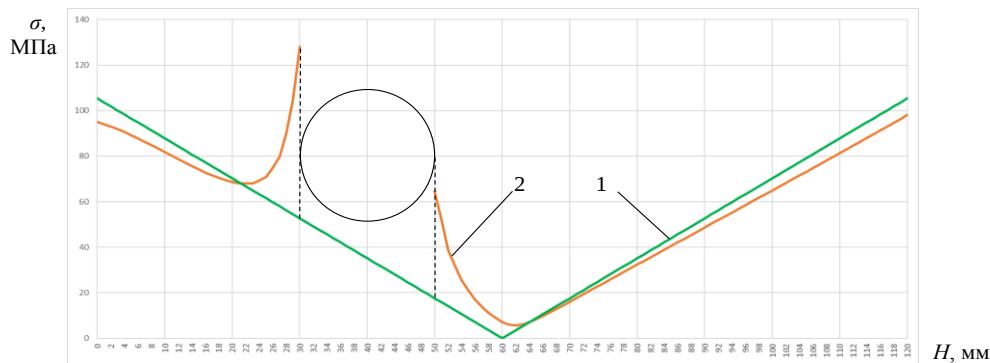


Рисунок 2 – Розподіл напружень у поперечному перетині швелера без дефекту (1) та з концентратором напружень у вигляді круглого отвору (2)

Аналіз результатів моделювання (рис. 2) показує, що наявність отвору дещо знижує еквівалентні напруження σ_e у кутових точках стінки швелера (на 6,6-9,5% – з 105 МПа до 95-98 МПа). Максимальні напруження у нижній точці отвору становлять 128,03 МПа (в 2,4 рази більше, ніж для такої ж точки у бездефектному профілі) та 64,55 МПа у верхній точці отвору (в 3,7 рази більше, ніж для аналогічної точки у бездефектному профілі).

Для випадку, коли у поперечному перетині швелера розвивається крайова тріщина, відбувається значний перерозподіл напружень в області отвору. На рис. 3,а показано характер розподілу напружень для випадку підростання тріщини до отвору (довжина тріщини становить 28 мм, тобто її вершина знаходиться за 2 мм до отвору). На рис. 3,б показано розподіл напружень для випадку, коли тріщина досягла отвору.

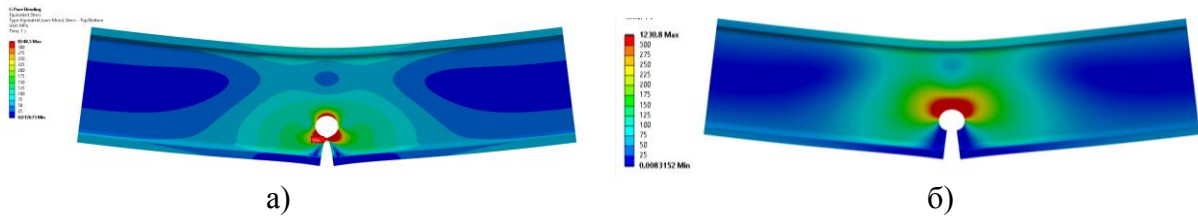


Рисунок 3 – Розподіл напружень при підростанні тріщини до отвору (а) та при злитті тріщини з отвором (б)

На рис. 4 графічно показано розподіл напружень по лінії вздовж стінки швелера для випадків, коли: є лише концентратор напружень у вигляді круглого отвору (крива 1); тріщина довжиною $L = 28$ мм наближається до краю круглого отвору (крива 2); тріщина проросла в отвір (крива 3); наявна лише тріщина довжиною $L = 50$ мм, вершина якої умовно співпадає з верхнім краєм отвору (крива 4).

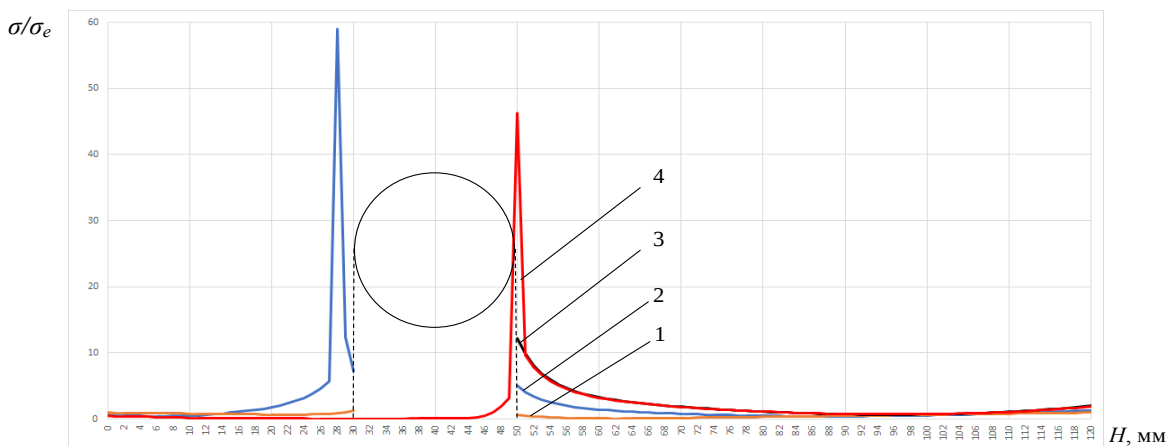


Рисунок 4 – Графіки приведених напружень у поперечному перетині швелера: 1 – з концентратором напружень у вигляді круглого отвору; 2 – з отвором та тріщиною довжиною $L = 28$ мм; 3 – з тріщиною, що злилась з отвором; 4 – з тріщиною довжиною $L = 50$ мм (без отвору).

Аналіз результатів моделювання перерозподілу напружень показує, що за наявної тріщини довжиною $L = 28$ мм відбувається підвищення напружень приблизно в 5,6 раза у нижній точці круглого отвору та в 7,8 рази у верхній точці отвору. Зазначимо, що результати отримано для умов чистого згину елемента.

При злитті тріщини з отвором напруження у верхній точці отвору зростають майже в 19 разів у порівнянні з напруженнями в цій точці отвору за відсутності тріщини. Необхідно зауважити, що напруження у цій точці будуть приблизно в 3,8 рази нижчими у порівнянні з напруженнями у вістрі тріщини довжиною $L = 50$ мм (за умови відсутності отвору). Це, загалом, узгоджується з практикою «розвантаження» вістря тріщини шляхом засвердлювання отвору у її вершині.

Проведені дослідження дозволяють оцінити складний напружено – деформований стан швелера з концентраторами напружень двох типів – з круглим отвором та крайовою тріщиною, що розвивається у поперечному перетині швелера. Результати можуть бути корисними при проектуванні несучих конструкцій з технологічними отворами та оцінці довговічності елементів на стадії зародження та розповсюдження втомних тріщин за наявності отворів.