

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-1(27)-60-66

УДК 539.432

Максим Гладський¹, Катерина Барандич², Володимир Фролов³, Сергій Юренко⁴

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: gladsky@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4547-7131>. **ResearcherID:** [Q-1624-2017](https://orcid.org/0000-0002-4547-7131)

²кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: barandichk@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0331-3216>. **ResearcherID:** [J-6389-2017](https://orcid.org/0000-0003-0331-3216)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: v.k.frolov@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. **ResearcherID:** [ACH-0071-2022](https://orcid.org/0000-0002-3697-286X)

⁴здобувач вищої освіти
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: s.yurenko34@gmail.com

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ НА ДЕФОРМУВАННЯ СТАЛІ 20 ПРИ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

В роботі досліджується вплив концентрації напружень на втомну поведінку маловуглецевої сталі 20 під час одночасного циклічного навантаження, а також знакозмінного кручення. Експериментальні дослідження проводились з контролем по деформаціям на циліндричних трубчастих зразках як з концентратором напружень так і без нього. Критерій максимальних головних напружень був обраний для програми досліджень. Результати випробувань зразків при крученні без концентратора напружень продемонстрували значно меншу довговічність, ніж розрахункові значення за критерієм максимальних головних напружень. Однак, для зразків із концентратором аналітичні дані добре корелюють з експериментальними. Для кореляції даних зразків усіх досліджуваних типів та типів навантаження запропоновано використовувати параметр Фатемі-Сосі.

Ключові слова: концентрація напружень; втомна довговічність; одночасне циклічне навантаження; знакозмінне кручення; вуглецева сталь.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Найпоширенішою причиною виникнення втомних тріщин у конструктивних компонентах є концентратори напружень. Пази, отвори, галтелі, різьбові та зварні з'єднання – усе це концентратори. Навіть під час номінальної пружної поведінки можуть виникати пластичні відхилення в межах концентратора напружень.

Експлуатаційне навантаження деяких інженерних компонентів із концентратором, таких як труби, вали, пружини, вигнуті оболонки, часто є багатовісними. До того ж багато конструкцій також перебувають в умовах змінної амплітуди або періодичних перевантажень. У порівнянні з осьовим навантаженням, дослідження багатовісної втоми та втоми від знакозмінного кручення є порівняно обмеженими.

Постановка проблеми. Визначення ефекту концентрації напружень на втомну довговічність конструктивних елементів є важливою складовою у визначенні ресурсу. Для застосування відповідного критерію необхідно з'ясувати механізм руйнування компонентів у зоні концентратора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують деякі дослідження, в яких проводиться оцінювання впливу концентраторів на поведінку при багатовісній втомі. Адзорі та ін. [1] провели експериментальне дослідження багатовісної втоми на зразках з V-подібним надрізом. Їхні експерименти включали два номінальних коефіцієнта навантаження, зберігаючи постійним і рівним одиниці коефіцієнт двовісності $\lambda = \sigma_a / \tau_a$. Вони виявили, що на багатоосьову втомну міцність значно впливає номінальне навантаження, тоді як вплив фазового кута навантаження здається незначним. При зміні коефіцієнта навантаження від $R = 1$ до 0 спостерігалось зниження довговічності у майже 10 разів.

I-Мінг та Вей-Вей [2] досліджували довговічність до зародження тріщини для суцільних циліндричних зразків з поперечними круглими отворами, виготовленими з нержавіючої сталі AISI 316 при пропорційному та непропорційному багатівісному навантаженні. Довговічність до утворення тріщин у зразків із отворами при нефазовому багатівісному навантаженні менша, ніж при синфазному багатоосьовому навантаженні через додатковий ефект циклічного зміцнення. Найменшою була виявлена довговічність при зсуві фаз на 90° .

Гао та ін. [3] досліджували втомну поведінку V-подібних валів, виготовлених зі сталі 16MnR з гострими та тупими радіусами вершин концентраторів. Вони показали, що існує вплив розміру виїмки на довговічність при різних шляхах навантаження, а ефект концентрації напружень є більш вираженим для циклів з підвищеним рівнем навантаження. Аналіз довговічності проводили з використанням двох критеріїв критичних площин багатівісної втоми, а саме критерію Цзяна та моделі Фатемі-Сосі.

Результати свідчать про те, що прогнозування втомної довговічності з використанням цих двох критеріїв та локальних напружень і деформацій, отриманих за допомогою скінченно-елементного методу, чудово узгоджуються з експериментальними спостереженнями.

Сан та ін. [4] провели випробування на втому з контролем за деформаціями для тонкостінних трубчастих зразків з V-подібними концентраторами, виготовлених зі сплаву GH4169, при пропорційному і двома різними непропорційними навантаженнями при підвищених температурах, а саме 650°C . З експериментальних результатів видно, що для зразків із концентраторами, довговічність при непропорційному навантаженні з кутом зсуву фаз 90° є менш тривалою в порівнянні з пропорційним навантаженням. Цей ефект також можна пояснити значним додатковим зміцненням цього матеріалу в зоні концентратора за рахунок високої пластичної деформації. У результаті був запропонований параметр втомних пошкоджень для прогнозування терміну виникнення втомних тріщин для зразка з концентраторами.

Альфредссон та ін. [5] вивчали вплив концентраторів на багатівісну втомну поведінку для бейнітної високоміцної роликової сталі. Тонкостінні зразки з двома однаковими невеликими протилежними отворами з сімома різними діаметрами в діапазоні від 1,0 до 2,6 мм піддавали різним непропорційним циклам навантаження. Зовнішній і внутрішній діаметри зразків становили 16 мм і 14,4 мм відповідно. Неможливо вичерпно оцінити ефект розміру концентратора, а також вплив непропорційності навантаження на втомну поведінку внаслідок обмеженої кількості тестів. Однак, і критерій Фіндлі, і діаграма Хей можуть передбачити положення тріщини в отворі. При цьому критерій Фіндлі дає більш чітку вказівку на місце зародження тріщини.

Крім того, багато інженерних конструкцій, що мають концентратори, також піддаються різному поєднанню циклічних і статичних навантажень [6-8]. Ці результати показують, що додавання статичного стиснення до циклічного кручення підвищує термін служби виробу, а статичний розтяг, навпаки, зменшує втому довговічність елементів з концентраторами напружень при знакозмінному крученні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Для всебічного дослідження проблематики бракує експериментальних даних для двовісного навантаження. Наявність таких даних допоможе провести валідацію критеріїв руйнування для їх подальшого застосування у прикладних задачах.

Мета дослідження. У цій роботі спочатку розглядається експериментальна програма, що включає матеріал, метод виготовлення зразків, реалізовані траєкторії деформування та використану експериментальну процедуру. Далі представлені результати експерименту та деталі аналізу, після чого обговорюються експериментальні спостере-

ження. Також представлено кореляція прогнозованої та спостережуваної втомної довговічності під час осьових та крутильних навантажень. Насамкінець, наведено висновки з проведених експериментальних досліджень та аналізу.

Виклад основного матеріалу. У цьому дослідженні була використана низьковуглецева сталь 20. Хімічний склад матеріалу наступний (мас.%): С 0,24; Si 0,25; Mn 0,45; Cr 0,2. Використовувалась одна базова геометрія для двох різних типів зразків, базова конфігурація яких показано на рис. 1, з товщиною стінки 1,1 мм, внутрішнім діаметром 22 мм і довжиною робочої частини 40 мм. Один тип зразків являв собою трубчасті суцільні тонкостінні зразки, інший – такі самі зразки з додатковим круглим наскрізним отвором діаметром 3,4 мм посередині робочої частини.

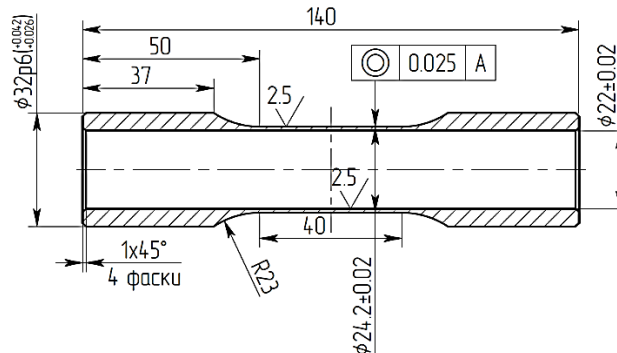


Рис. 1. Креслення суцільного зразка

Джерело: розроблено авторами.

Випробування на втому з контролем за деформаціями та напруженнями проводили при кімнатній температурі на сервогідравлічній машині з незалежним регулюванням тягово-навантажувальних і крутильних зусиль з частотою 0,5-3 Гц.

Для випробувань з постійною амплітудою використовувались повністю зворотні синусоїдальні осьові та крутильні траєкторії. Жорсткий режим (контроль за деформаціями) застосовувався для випробувань суцільних зразків лише при одновісному навантаженні. М'який режим навантаження відповідає випробуванням всіх зразків з концентраторами, а також суцільних зразків на кручення. Щоб переконатися у кореляції даних між випробуваннями в різних режимах, для одновісного випадку було обрано два різних рівня контролю зусиль, прикладених до суцільних зразків.

Зниження навантаження на 5% для випробувань з контролем одновісної деформації та 5% збільшення деформації та кута повороту для одновісних і крутильних випробувань при м'якому режимі відповідно, порівняно зі стабільним циклом навантаження для суцільних зразків, розглядалися як момент зародження малої тріщини. Для випробувань у м'якому режимі зразків з концентратором зроблено декілька припущень щодо моменту зародження тріщини, а саме на основі порогового значення напружень, а також наявності тріщини 0,5 мм та 1,0 мм. Далі для уточнення цього значення було використано діаграму К–Т, запропоновану Катагава і Такахаші, що описує зв'язок між порогом напружень і довжиною тріщини. Для короткої тріщини в зоні концентратора при осьовому циклічному навантаженні діапазон коефіцієнта інтенсивності напружень може бути виражений наступним чином [9]:

$$\Delta K_{th} = Ff \frac{K_I \Delta \sigma_e}{2 \cdot K_f} \left[\left(1 + 2 \frac{a}{r} \right)^{-1/2} + \left(1 + 2 \frac{a}{r} \right)^{-3/2} \right] \sqrt{\pi a}, \quad (1)$$

де a – це довжина тріщини від краю отвору, $r = 1,7$ мм – радіус отвору та f – коригуючий коефіцієнт, що дорівнює 1 якщо $a/f < 0,2$ і що визначає максимальне значення контактного напруження на кінці тріщини. Коефіцієнт концентрації напружень K_I було визначено за допомогою онлайн ресурсу eFatigue відповідно до графіків Петерсона. Втомний коефіцієнт концентратора K_f може бути визначений за допомогою рівняння Нейбера [10]:

$$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\rho/r}}, \quad (2)$$

де характеристика довжини, ρ , дорівнює 0.185 мм.

Параметр форми F дорівнює 1,05 [11]. Границя втомної витривалості $\Delta\sigma_e = 384$ МПа та порогове значення розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень $\Delta K_{th} = 9$ МПа \sqrt{m} , що було встановлено за результатами експериментальних випробувань. Підставивши знайдені параметри до рівняння (1) отримаємо значення довжини зародженої тріщини з урахуванням порогового напруження для зразка з концентратором рівним 0,2 мм.

Амплітуда осьової деформації, $\Delta\varepsilon/2$ та амплітуда нормальних напружень, $\Delta\sigma/2$ були використані в якості параметрів контролю процесу навантаження для суцільних зразків при жорсткому і м'якому режимах відповідно. Амплітуда осьової деформації вимірювалась безпосередньо екстензометрами, закріпленими на поверхні робочої частини зразка. Амплітуда нормальних напружень бралася із розрахунку площі поперечного перетину робочої частини зразка.

Під час експериментальних досліджень зразків з концентратором як параметри контролю були амплітуди нормальних та дотичних напружень, $\Delta\sigma/2$ та $\Delta\tau/2$ відповідно. Номінальне значення осьових напружень було визначено з відношення осьового навантаження та площі перетину зразка в робочій зоні. Амплітуда дотичних напружень, τ_a , що перевищувала границю текучості визначалась за формулою:

$$\tau_a = \frac{\Delta\tau}{2} = \frac{\Delta T}{2r_m A}, \quad (3)$$

де $\Delta T/2$ – амплітуда крутного навантаження, A площа перетину зразка в робочій зоні без урахування концентратора та r_m середній радіус перетину зразка.

У випадку повністю пружного деформування, дотичні напруження визначались з урахуванням полярного моменту опору. Отримані експериментальні дані, а саме величини осьової деформації, значення амплітуди нормальних і дотичних напружень, а також кількість циклів до руйнування при циклічному навантаженні із постійною амплітудою для сталі 20 наведено в таблиці.

За допомогою графіків Петерсона визначено значення коефіцієнт концентрації напружень. Для одновісного навантаження коефіцієнт дорівнює 3,29, а для випадку кручення – 3,98. Втомна поведінка об'єктів з концентраторами залежить не тільки від пружного параметра концентрації, і тому під час оцінки втомної міцності необхідно враховувати коефіцієнт втомної концентрації напружень, K_f . Використовуючи методику, представлену у роботі [11], було знайдено величину коефіцієнта втомної концентрації напружень при одновісному 2,73 та для випадку знакозмінного кручення – 3,21.

Втомну міцність компонентів з концентраторами напружень можна визначити як міцність зразків без концентратора віднесено до аналітичного фактору. З метою застосування S-N методики в цій роботі було використано коефіцієнти втомної концентрації напружень при одновісному навантаженні і знакозмінному крученні K_{fA} і K_{fT} відповідно. Для випадків, коли довговічність перевищувала 10^6 циклів втомна міцність зразків з концентратором визначалась як S_A/K_{fA} і S_T/K_{fT} , де S_A і S_T – осьова і крутильна втомна міцність зразків без концентратора.

Критерій Мізеса було обрано для кореляції втомної довговічності при одновісному циклічному навантаженні і знакозмінному крученні із використанням S-N методики в такій формі:

$$\bar{\sigma}_a = \sqrt{3}(K_{fT} \cdot S_{aT}), \quad (4)$$

де S_{aA} і S_{aT} – амплітуда номінальних значень нормальних і дотичних напружень.

Експериментальні дані

Режим навантаження	$\frac{\Delta\varepsilon}{2}$	$\frac{\Delta\sigma}{2}$ МПа	$\frac{\Delta\tau}{2}$ МПа	σ_{a1} МПа	$\bar{\sigma}_a$ МПа	$\sigma_{n,\max}$ МПа	N_f циклів
Зразки без концентратора							
Осьове	0,0100	411	-	411	411	206	50
Осьове	0,0070	350	-	350	350	175	135
Осьове	0,0030	277	-	277	277	139	3,400
Осьове	0,0020	261	-	261	261	131	13,120
Осьове	0,0015	232	-	232	232	116	51,500
Осьове	0,0010	192	-	192	192	96	>972,000
Осьове	0,0031	300	-	300	300	150	2,050
Осьове	0,0016	230	-	230	230	115	151,000
Кручення		-	190	190	329	0	8,573
Кручення		-	175	175	303	0	45,810
Кручення		-	149	149	258	0	242,000
Зразки з концентратором							
Осьове		269	-	269	269	135	315
Осьове		250	-	250	250	125	495
Осьове		200	-	200	200	100	2,115
Осьове		144	-	144	144	72	20,900
Осьове		106	-	106	106	53	140,500
Кручення		-	149	149	258	0	5,407
Кручення		-	149	149	258	0	5,910
Кручення		-	121	121	209	0	34,700
Кручення		-	87	87	151	0	120,000
Кручення		-	87	87	151	0	276,000
Кручення		-	65	65	113	0	>1,150,000

Джерело: розроблено авторами

На рис. 2 представлено результати кореляції експериментальних та аналітичних даних. Як видно з цього рисунку, спостерігається майже 10 кратне перевищення у прогнозуванні втомної довговічності, що пояснюється консервативністю застосованої методології.

Також є роботі для кореляції даних було використано інший підхід, зокрема, параметр критичної площини Фатемі-Сосі у формі зсуву

$$\frac{\Delta\gamma_{\max}}{2} \left(1 + k \frac{\sigma_{n,\max}}{\sigma_y} \right) = \left[(1 + \nu_e) \frac{\sigma'_f}{E} (2N_f)^b + (1 + \nu_p) \varepsilon'_f (2N_f)^c \right] \cdot \left[1 + k \left(\frac{\sigma'_f}{2\sigma_y} (2N_f)^b \right) \right], \quad (5)$$

де $\nu_e = 0,3$ та $\nu_p = 0,5$, пружний і пластичний коефіцієнт Пуассона, відповідно. Для досліджуваної сталі коефіцієнт $k = 1,0$.

Крива втоми для зсуву була згенерована із використанням критерію Мізесу. Параметр Фатемі-Сосі було пов'язано з локальним напружено-деформованим станом завдяки скінченно-елементному аналізу. Апроксимація експериментальних даних з використанням параметру Фатемі-Сосі представлено на рис. 3. Як видно з рисунку, спостерігається досить висока кореляція для обох видів зразків. Це можна пояснити тим, що в основі параметру Фатемі-Сосі критичними визнаються площадки зсуву, розташовані навколо концентратору під кутами $0^\circ, \pm 180^\circ$ при одновісному навантаженні і під кутами $\pm 45^\circ, \pm 135^\circ$ при знакозмінному крученні. Саме таке розташування зародження тріщин було зафіксовано під час проведення експериментальних досліджень. До того ж поверхня руйнування для обох видів навантаження узгоджується з розташуванням площини максимального зсуву.

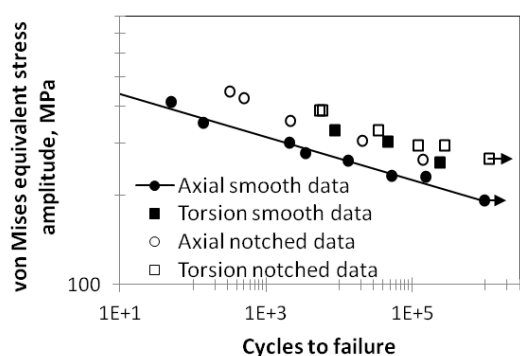


Рис. 2. Кореляція експериментальних даних з використанням критерію Мізеса

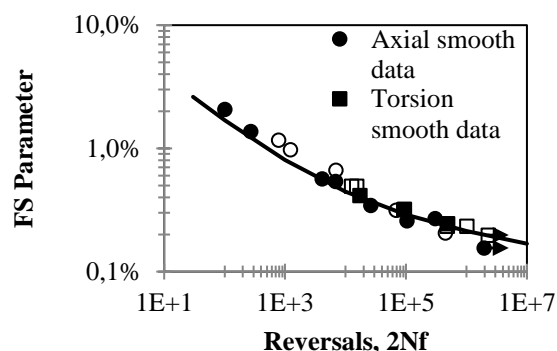


Рис. 3. Кореляція експериментальних даних з використанням параметру Фатемі-Сосі

Висновки. Отримано задовільні результати кореляції експериментальних даних для зразків з концентратором напружень з використанням критерію максимальних головних напружень. Проте, спостерігається суттєве відхилення аналітичних розрахунків для зразків без концентратора в умовах одновісного навантаження та знакозмінного кручення. У процесі проведення досліджень було виявлено зсувний механізм руйнування зразків зі сталі 20, що також підтверджується аналітичними розрахунками з використанням скінченно-елементного методу. Було встановлено, що найкращий збіг результатів аналізу дає метод із використанням параметру Фатемі-Сосі як для суцільних зразків, так і для зразків з концентратором.

Список використаних джерел

1. Multi-axial fatigue behavior of a severely notched carbon steel / Atzori B., Berto F., Lazzarin P., Quaresimin M. // *Int J Fatigue*. – 2006. – Vol. 28. – Pp. 485-93.
2. Jen Y.M. Crack initiation life prediction for solid cylinders with transverse circular hole under in-phase and out-of-phase multiaxial loading / Jen Y.M., Wang W.W. // *Int J Fatigue*. – 2005. – Vol. 27. – Pp. 527-39.
3. An investigation of fatigue of a notched member / Gao Z., Qui B., Wang X., Jiang Y. // *Int J Fatigue*. – 2010. – Vol. 32. – Pp. 1960-9.
4. Sun G.Q. Prediction of fatigue lifetime under multiaxial cyclic loading using finite element analysis / Sun G.Q., Shang D.G. // *Materials and Design*. – 2010. – Vol. 31. – Pp. 126–33.
5. Alfredsson B. Fatigue crack initiation and growth at holes in a high strength bainitic roller bearing steel when loaded with non-proportional shear and compressive cycles / Alfredsson B., Watz V., Olsson E. // *Int J Fatigue*. – 2011. – Vol. 33. – Pp. 1244-56.
6. Tipton S.M. Advances in multiaxial fatigue life prediction for components with stress concentrations / Tipton S.M., Nelson D.V. // *Int J Fatigue*. – 1997. – Vol. 19. – Pp. 503-15.
7. Thomson K.D. Fatigue crack growth in notched and plain shafts subjected to torsion and axial loading / Thomson K.D., Sheppard S.D. // *Engng Fract Mechanics*. – 1992. – Vol. 43(1). – Pp. 55-71.
8. Ohkawa C. Notch effect on torsional fatigue of austenitic stainless steel: Comparison with low carbon steel / Ohkawa C., Ohkawa I. // *Engng Fract Mechanics*. – 2011. – Vol. 78. – Pp. 1577-89.
9. Kujawski D. Estimations of stress intensity factors for small cracks at notches / Kujawski D. // *Fat. Fract. Engng. Mater. Struct.* – 1991. – Vol. 14. – Pp. 953-65.
10. Neuber H. *Theory of Notch Stresses*, Office of Technical Services, U.S. Department of Commerce. – Washington, DC, 1961.
11. Fuhring H. Approximation functions for K-factors of cracks in notches / Fuhring H. // *Int J Fracture*. – 1973. – Vol. 9. – Pp. 328-31.

References

1. Atzori, B., Berto, F., Lazzarin, P., & Quaresimin M. (2006). Multi-axial fatigue behavior of a severely notched carbon steel. *Int J Fatigue*, 28, 485-93.
2. Jen, Y.M., Wang, W.W. (2005). Crack initiation life prediction for solid cylinders with transverse circular hole under in-phase and out-of-phase multiaxial loading. *Int J Fatigue*, 27, 527-39.

3. Gao, Z., Qui, B., Wang, X., & Jiang Y. (2010). An investigation of fatigue of a notched member. *Int J Fatigue*, 32, 1960-9.
4. Sun, G.Q., & Shang, D.G. (2010). Prediction of fatigue lifetime under multiaxial cyclic loading using finite element analysis. *Materials and Design*, 31, 126–33.
5. Alfredsson, B., Watz, V., & Olsson, E. (2011). Fatigue crack initiation and growth at holes in a high strength bianitic roller bearing steel when loaded with non-proportional shear and compressive cycles. *Int J Fatigue*, 33, 1244-56.
6. Tipton, S.M., Nelson, D.V. (1997). Advances in multiaxial fatigue life prediction for components with stress concentrations. *Int J Fatigue*, 19, 503-15.
7. Thomson, K.D., & Sheppard, S.D. (1992). Fatigue crack growth in notched and plain shafts subjected to torsion and axial loading. *Engng Fract Mechanics*, 43(1), 55-71.
8. Ohkawa, C., & Ohkawa, I. (2011) Notch effect on torsional fatigue of austenitic stainless steel: Comparison with low carbon steel. *Engng Fract Mechanics*, 78, 1577-89.
9. Kujawski, D. (1991). Estimations of stress intensity factors for small cracks at notches. *Fat. Fract. Engng. Mater. Struct.*, 14, 953-65.
10. Neuber, H. (1961). *Theory of Notch Stresses, Office of Technical Services*. U.S. Department of Commerce, Washington, DC.
11. Fuhring, H. (1973). Approximation functions for K-factors of cracks in notches. *Int J Fracture*, 9, 328-31.

Отримано 28.01.2022

UDC 539.432

Maksym Gladyski¹, Kateryna Barandych², Volodymyr Frolov³, Serhii Yurenko⁴

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)
E-mail: gladsky@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4547-7131>. ResearcherID: [Q-1624-2017](https://orcid.org/0000-0002-4547-7131)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Instrument Production and Engineering
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)
E-mail: barandich@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0331-3216>. ResearcherID: [J-6389-2017](https://orcid.org/0000-0003-0331-3216)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)
E-mail: v.k.frolov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. ResearcherID: [ACH-0071-2022](https://orcid.org/0000-0002-3697-286X)

⁴Applicant for Higher Education
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)
E-mail: s.yurenko34@gmail.com

INFLUENCE OF STRESS CONCENTRATION ON STEEL DEFORMATION 20 UNDER CYCLIC LOADS

The effect of stress concentration on fatigue behavior of steel 20 is studied. Experimental study is carried out on tubular smooth and notched specimens under uniaxial cyclic loading and alternating torsion. Load and strain controlled fatigue tests were carried out at room temperature using servohydraulic machine with independent control of push-pull and torsion loads with frequency of 0.5-3 Hz. One basic geometry for two different types of specimens shown in Figure 1 with 1.1 mm wall thickness, 22 mm inside diameter, and 40 mm gauge length was used in this work. One type was a tubular smooth thin-walled specimens, the other type was the same thin-walled specimen with 3.4 mm circular through-thickness hole at the middle of gauge length. The 5% load drop for uniaxial strain control tests and 5% strain and rotation angle increment for uniaxial and torsion load control tests respectively, as compared to midlife stable cycle for smooth specimens were considered as a small crack initiation life. The criterion of maximum principal stress was used as a control parameter of the test program. Torque loading was accompanied by a significant decrease in durability compared to uniaxial loading due to conservative methodology. Although maximum principal stress criterion could correlate axial and torsion constant amplitude data of notched specimens with a factor of 4, it could not correlate axial with torsion data of smooth specimens. It is found that the prediction of fatigue life can be successfully performed according to the shear form of Fatemi-Soci criterion by taking into account the mechanism of destruction of samples. The shear strain-life curve was generated based on von Mises criterion. The FS parameter was associated with local stress-strain condition based on FE analysis results.

Keywords: stress concentration; fatigue life; uniaxial cyclic loading; alternating torsion; carbon steel.

Fig.: 3. Table: 1. References: 11.