

# Чисельне моделювання процесів зародження та розповсюдження тріщини в зразках різних типів з використанням моделі пошкоджуваності матеріалу GTN

Є.О. Кондряков<sup>1</sup> • А.В. Кравчук<sup>1</sup> • В.В. Харченко<sup>1</sup>

Received: 1 March 2021 / Accepted: 24 May 2021

**Проблематика.** Поєднання експериментальних та розрахункових методик досліджень процесів зародження та розповсюдження тріщини в зразках різних типів застосовується для визначення механічних характеристик матеріалів, а також для підвищення точності оцінки міцності та довговічності елементів конструкцій.

**Мета дослідження.** Визначення параметрів моделі пошкоджуваності матеріалу Гарсона-Твергаарда-Нідлмана (GTN) за результатами чисельного моделювання зразків різних типів при різних видах навантаження на прикладі сталі 22К із застосуванням методу скінчених елементів

**Методика реалізації.** Із використанням методу скінчених елементів було проведено чисельне моделювання процесів зародження та розповсюдження тріщин в циліндричних зразках при одновісному розтязі, в зразках Шарпі при динамічному навантаженні, а також в СТ зразках при квазістатичному навантаженні на прикладі сталі 22К з використанням моделі пошкоджуваності матеріалу GTN.

**Результати дослідження.** При зіставленні експериментальних та чисельних результатів визначено повний набір параметрів моделі матеріалу GTN для сталі 22К. Проведено оцінку напруженого стану в околі вершини тріщини та кінетику її розповсюдження в матеріалі зразків різних типів при статичному та динамічному навантаженні.

**Висновки.** Модель пошкоджуваності матеріалу GTN, з визначеними із експериментів значеннями параметрів, може бути використана для чисельного моделювання процесів зародження та розповсюдження тріщини як у зразках різних типів при різних видах навантаження, так і в елементах конструкцій.

**Ключові слова:** модель пошкоджуваності матеріалу GTN; метод скінчених елементів; зародження та розповсюдження тріщини; зразок Шарпі; СТ-зразок.

## Вступ

При чисельному моделюванні процесів зародження та розповсюдження тріщини використовуються різні моделі матеріалу з глобальними та локальними критеріями руйнування. Використання локальних критеріїв руйнування дозволяє проводити розрахунки з високою просторовою роздільною здатністю і розглядом локальних процесів у вершині тріщини. Залишається відкритим питання коректного визначення параметрів таких моделей та їх подальшого викорис-

тання з точки зору адекватності опису процесів деформування і руйнування металу в локальних областях зразків та конструктивних елементів.

Для моделювання процесів зародження та розповсюдження тріщини в елементах конструкцій використовується багато різних моделей матеріалу з локальними критеріями руйнування, такі, як модель Береміна [1], модель Гарсона-Твергаарда-Нідлмана (GTN) [2–3], модель Русел'є [4], модель когезійної зони [5] та інші. Більшість з цих моделей може бути використано для моделювання лише одного виду руйнування – крихкого чи в'язкого. На відміну від інших моделей, модель GTN може бути використана для моделювання різних видів руйнування, тому на сьогоднішній день вона широко застосовується в практиці як для дослідницьких, так і для інженерних розрахунків процесів зародження та розповсюдження тріщини в елементах конструкцій.

✉ Є.О. Кондряков  
avdenago11@gmail.com

<sup>1</sup> Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

Для визначення параметрів моделі GTN зазвичай використовують результати експериментальних досліджень зразків різних типів при різних видах руйнування.

**Метою роботи** є визначення параметрів моделі GTN за результатами чисельного моделювання зразків різних типів при різних видах руйнування на прикладі сталі 22К із застосуванням методу скінчених елементів.

### Модель пошкоджуваності матеріалу Гарсона-Твергаарда-Нідлмана

У моделі GTN для моделювання процесів деформування та руйнування використовується рівняння, яке інтерпретують як деякий пластичний потенціал і використовують як наближену умову текучості пористого матеріалу:

$$\varphi = \left( \frac{\sigma_{eqv}}{\sigma_y} \right)^2 + 2q_1 f^* \cosh \left( \frac{3}{2} q_2 \frac{\sigma_0}{\sigma_y} \right) - \left[ 1 + q_3 (f^*)^2 \right] = 0 \quad (1)$$

де  $\sigma_{eqv}$  – еквівалентні напруження,  $\sigma_y$  – межа текучості,  $\sigma_0$  – середнє нормальне напруження,  $q_1, q_2, q_3$  – коефіцієнти Твергаарда. Функція  $f^*$  моделює швидку втрату несучої спроможності, пов'язану зі злиттям пор, і має наступний вигляд:

$$f^* = \begin{cases} f & \text{для } f \leq f_C \\ f_C + \frac{(\bar{f}_F - f_C)}{(f_F - f_C)}(f - f_C) & \text{для } f_C < f < f_F \\ \bar{f}_F & \text{для } f \geq f_F \end{cases} \quad (2)$$

де  $f$  – об'ємна доля пор в матеріалі з початковим значенням  $f_0$ ,  $f_C$  – критичне значення об'ємної долі пор,  $f_F$  – об'ємна доля пор при остаточному руйнуванні,  $\bar{f}_F = 1/q_1$ . Зростання пор у матеріалі описується наступним рівнянням:

$$\dot{f} = (1-f) \dot{\varepsilon}_{pl} + \frac{f_N}{s_N \sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{\bar{\varepsilon}_{pl} - \varepsilon_N}{s_N} \right)^2 \right) \dot{\varepsilon}_{pl} \quad (3)$$

де  $f_N$  – частина об'єму, в якому зароджуються пори,  $s_N$  – середньоквадратичне відхилення розподілу Гауса,  $\varepsilon_N$  – стандартне відхилення пластичної деформації,  $\bar{\varepsilon}_{pl}$  – еквівалентна пластична деформація, яка відповідає максимальній швидкості зародження пор,  $\dot{\varepsilon}_{pl}$  – швидкість еквівалентної пластичної деформації,  $\dot{\varepsilon}_{pl}$  – пластична частина тензору швидкості деформацій.

Таким чином, виходячи з рівнянь (1–3), модель GTN має 9 параметрів, які можуть бути поділені на 3 категорії.

Параметри  $q_1, q_2, q_3$  пов'язані з поверхнею текучості, зазвичай рекомендовано використовувати наступні значення цих параметрів  $q_1 = 1.5, q_2 = 1, q_3 = 2.25$ . Параметри  $f_0, f_N, S_N$  та  $\varepsilon_N$  пов'язані з зародженням пор. Ці параметри визначають за результатами чисельного моделювання і їхні значення можуть суттєво відрізнитися для різних матеріалів. Параметри  $f_C$  та  $f_F$  відповідають за зростання пор та руйнування матеріалу. Визначення цих параметрів є найбільш складною задачею, яка потребує проведення чисельного моделювання з використанням явної схеми інтегрування у часі, що займає багато розрахункового часу.

### Чисельні розрахунки циліндричних зразків на одновісний розтяг

Зазвичай для визначення частини параметрів моделі GTN проводять чисельне моделювання циліндричних зразків на одновісний розтяг та зіставляють результати розрахунків з експериментальними даними. В даній роботі було проведено чисельне моделювання циліндричного зразка  $\varnothing 5$  мм зі сталі 22 К. Істинна діаграма деформування була отримана за результатами експериментальних випробувань зразків, вирізаних з елемента трубопроводу зі сталі 22 К. Механічні характеристики сталі 22 К: модуль Юнга  $E = 2.1 \cdot 10^5$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0.3$ , границя плинності  $\sigma_T = 303$  МПа, границя міцності  $\sigma_B = 644$  МПа. Всі розрахунки виконувались у 3D постановці з використанням явної схеми інтегрування із врахуванням ефектів геометричної нелінійності. Для побудови усіх скінчено-елементних (СЕ) моделей в роботі використовувались 20-ти вузлові гексагональні елементи. Мінімальний розмір елемента в центральному перерізі циліндричного зразка становить  $L_{min} = 0.3$  мм. Загальна кількість вузлів у моделі – 19677, елементів – 17600. Тримірна СЕ модель циліндричного зразка показана на рис.1, а. До референсної точки, до якої був прив'язаний рух вузлів верхньої частини кріплення зразка, задавалось переміщення  $l = 10$  мм. Нижня частина кріплення зразка була жорстко закріплена (рис. 1, б).

Для визначення параметрів  $f_0, f_N, S_N$  та  $\varepsilon_N$  була проведена серія розрахунків циліндричного зразка. За результатами розрахунків визначалась залежність  $\sigma(\varepsilon)$ , яка порівнювалась з експериментальною діаграмою деформування для сталі 22К. Для визначення впливу кожного з цих параметрів на вид діаграми деформування проводились розрахунки з варіюванням значень одного з параметрів при постійних значеннях інших параметрів.

За результатами розрахунків було визначено значення параметрів, при яких розрахункова умовна

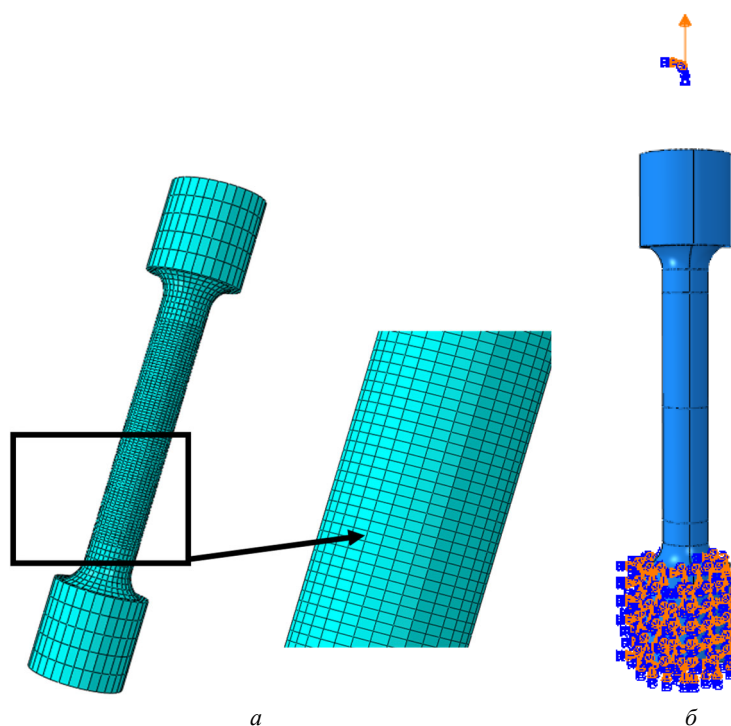


Рис. 1. Тримірна SE модель циліндричного зразка *a* та граничні умови *б*

діаграма деформування найбільш наближена до експериментальної. Значення цих параметрів наведено в таблиці 1 (варіант 4). На рис. 2 показано зіставлення експериментальної та розрахункових умовних діаграми деформування для кількох варіантів розрахунків.

Таблиця 1. Значення параметрів моделі GTN для різних варіантів розрахунків

	$f_0$	$\epsilon_N$	$S_N$	$f_N$
Варіант 1	0.001	0.3	0.01	0.1
Варіант 2	0.001	0.318	0.0095	0.1
Варіант 3	0.001	0.319	0.012	0.17
<b>Варіант 4</b>	<b>0.001</b>	<b>0.319</b>	<b>0.018</b>	<b>0.08</b>

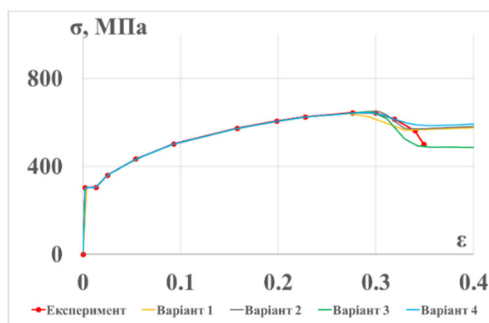


Рис. 2. Зіставлення експериментальної та розрахункових умовних діаграм деформування для кількох варіантів розрахунків

Використання параметрів руйнування  $f_C$  та  $f_F$  не дозволяє з достатньою точністю описати заключну стадію руйнування циліндричного зразка, тому для їх визначення потрібно проведення додаткових розрахунків. Для цього в ряді робіт пропонується проведення розрахунків зразків Шарпі, або СТ-зразків [6–10].

### Чисельні розрахунки ударних випробувань зразків Шарпі

Для розрахунків процесів зародження та розповсюдження тріщини в зразках Шарпі була побудована тривимірна SE модель. Ударник та опору було промодельовано у вигляді аналітичних жорстких поверхонь. Для зменшення розрахункового часу застосовувалась  $\frac{1}{2}$  частина моделі. В зоні контакту зразка з ударником та з опорою, а також у вершині концентратора і вздовж площини розповсюдження тріщини використовувалась більш щільна SE сітка (рис. 3). Мінімальний розмір елемента у вершині концентратора становить  $L_{\min} = 20$  мкм. Загальна кількість вузлів в моделі – 79815, елементів – 73400. В якості навантаження завдавалась швидкість ударника  $V_0 = 4.4$  м/с, опора вважалась жорстко закріпленою. В якості моделі матеріалу використовувалась модель GTN із параметрами, які було отримано із розрахунку циліндричного зразка на одновісний розтяг для сталі 22К. Для моделювання процесів руйнування зразка Шарпі додатково використовувались параметри руйнування  $f_C$  та  $f_F$ . Для під-

бору цих параметрів проводилось Зіставлення результатів експериментів із результатами розрахунків по діаграмі залежності зусилля від часу  $P(t)$ .

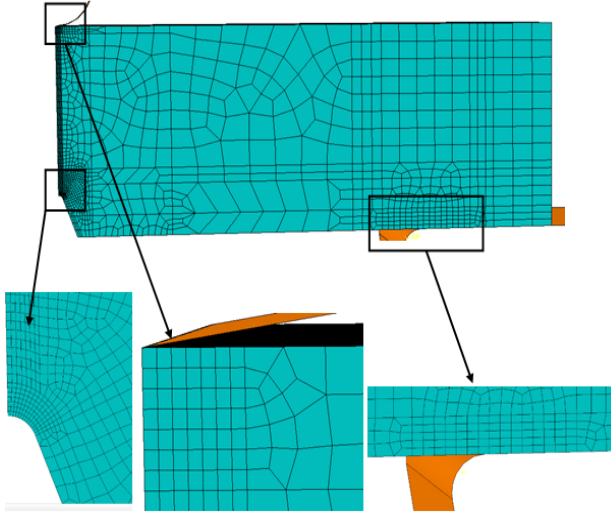


Рис. 3. Скінчено-елементна модель ударного навантаження зразка Шарпі

Було проведено серію розрахунків із варіюванням параметрів руйнування  $f_C$  та  $f_F$ . Параметр  $f_C$  відповідає за початок злиття пор та регулює швидкість їх росту. Параметр  $f_F$  визначає кількість пор в одиниці об'єму, при якій починається процес руйнування. На рис. 4 наведено розрахункові залежності  $P(t)$  у порівнянні з експериментальною діаграмою навантаження для крихкого руйнування, а у таблиці 2 наведено різні комбінації параметрів руйнування, для яких проводились розрахунки. За результатами розрахунків було обрано такі значення параметрів руйнування  $f_C = 0.01$  та  $f_F = 0.15$  (Варіант 5 у табл. 2), при яких розрахункова діаграма  $P(t)$  максимально наближена до експериментальної.

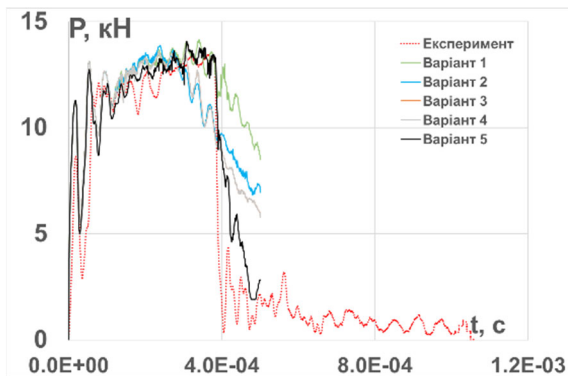


Рис. 4. Розрахункові залежності  $P(t)$  у порівнянні з експериментальною діаграмою навантаження для крихкого руйнування

Таблиця 2. Значення параметрів руйнування моделі GTN для різних варіантів розрахунків

	$f_C$	$f_F$
Варіант 1	0.05	0.25
Варіант 2	0.0025	0.37
Варіант 3	0.03	0.19
Варіант 4	0.025	0.09
<b>Варіант 5</b>	<b>0.01</b>	<b>0.15</b>

На рис. 5 представлено поля розподілу еквівалентних напружень у центральному перерізі зразка Шарпі. Видно, що зародження тріщини відбувається у середині зразка (рис. 5, а). Це пов'язано з утворенням бічних утягувань, що також підтверджується результатами експериментальних досліджень [11]. Далі відбувається швидкий проскок тріщини (рис. 5, б), а потім її уповільнення при досягненні зони стискаючих напружень у зоні контакту зразка з ударником (рис. 5, в).

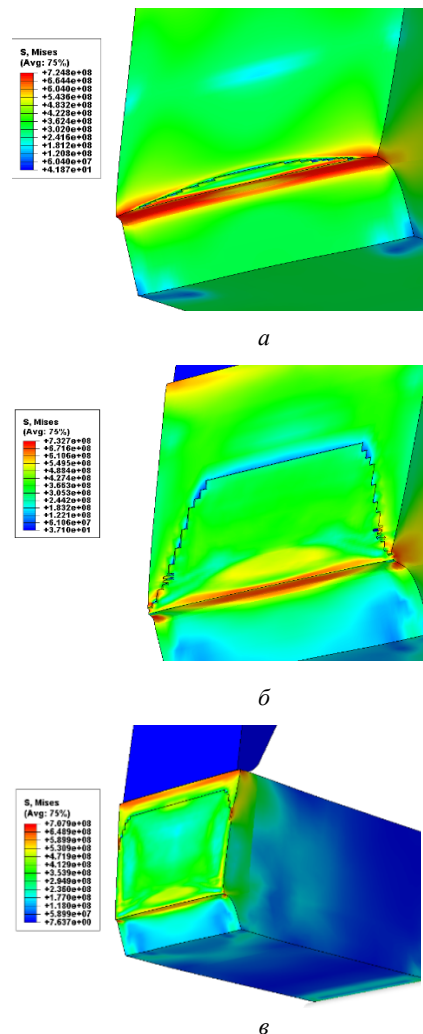


Рис. 5. Поля розподілу еквівалентних напружень у момент початку зародження тріщини (а), при крихкому проскоку тріщини (б) та в момент зменшення швидкості тріщини (в)

### Чисельні розрахунки випробувань СТ зразків на тріщиностійкість

Для моделювання процесу розповсюдження тріщини в СТ-зразку використовувалась модель пошкоджуваності матеріалу GTN з параметрами, які було отримано при розрахунках циліндричних зразків та зразків Шарпі. На рис. 6, а показана SE модель СТ зразка розміром 0.5T зі згущенням SE сітки вздовж напрямку розповсюдження тріщини. Загальна кількість вузлів в моделі – 312930, елементів – 295860. Для прикладання зусиль та граничних умов в отворах зразка було задано референсні точки, до яких був прив'язаний рух поверхонь по колу отворів. До однієї точки було прикладено зусилля, а до іншої – граничні умови, які унеможливають рух точки (рис. 6, б).

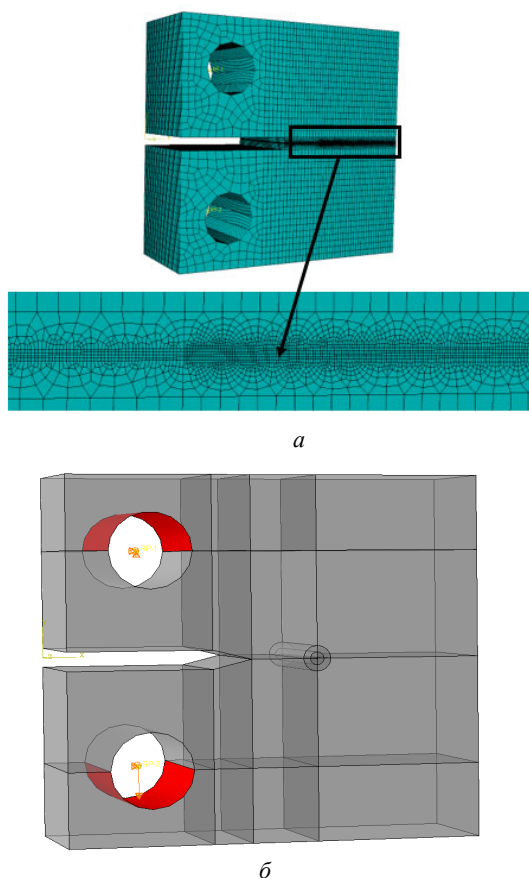


Рис. 6. Скінчено-елементна модель СТ-зразка 0.5T

За результатами розрахунків було проведено зіставлення розрахункової та експериментальної діаграми навантаження  $P(\Delta l)$  (рис.7). Використані при розрахунках параметри моделі GTN було отримано для температури випробувань  $T = +10\text{ }^\circ\text{C}$  (при використанні результатів ударних випробувань зразків Шарпі), проте розрахункова залежність  $P(\Delta l)$  добре збігається з експериментальною діаграмою для температури випробування  $T = -50\text{ }^\circ\text{C}$ . Таким чином має місце температур-

ний зсув на  $60\text{ }^\circ\text{C}$  між критичними температурами  $T_0$  та  $T_K$ , що корелює з відомими літературними даними [12–14]. На рис. 8 показано поля розподілу еквівалентних напружень в різні моменти часу. Видно, що, як і в зразках Шарпі, зародження тріщини відбувається в середині зразка і фронт її розповсюдження є нерівномірним. На бічних поверхнях також спостерігається утворення утягувань, але вони значно менші, ніж у зразках Шарпі.

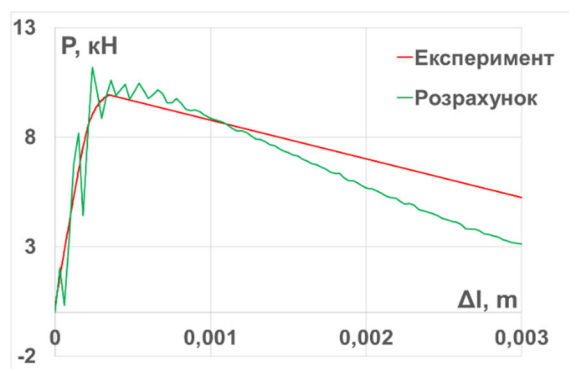


Рис. 7. Порівняння експериментальної та розрахункової залежності  $P(\Delta l)$  для СТ-зразка 0.5T

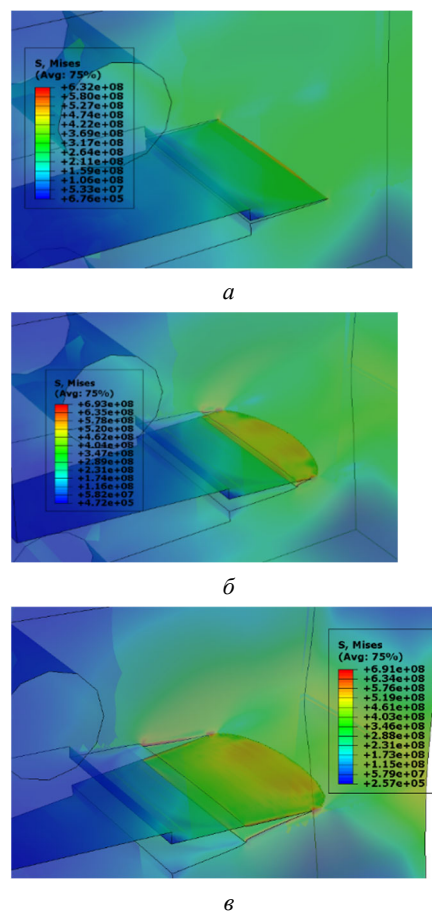


Рис. 8. Поля розподілення інтенсивності напружень при  $\Delta l = 0.3\text{ мм}$  (а),  $\Delta l = 1.5\text{ мм}$  (б),  $\Delta l = 3.0\text{ мм}$  (в)

Для реалізації плоского деформованого стану при експериментальних дослідженнях потрібно використовувати СТ-зразки великої товщини, що не завжди можливо, враховуючи дефіцит металу та складність проведення випробувань великогабаритних зразків. Аналіз впливу товщини зразка та виду напруженого стану на процес розповсюдження тріщини в СТ-зразку можна провести, використовуючи розрахункові методи. В даній роботі було побудовано SE-модель СТ-зразка розміром СТ-2Т з товщиною 50 мм, яка показана на рис. 9. Загальна кількість вузлів в моделі – 275720, елементів – 264900. Початкові та граничні умови такі ж, як і для моделі зразка 0.5Т. Було використано ті ж самі значення параметрів моделі GTN, як і для розрахунку СТ-зразка 0.5 Т.

На рис. 10 показано поля розподілу еквівалентних напружень у різні моменти часу. Видно, що фронт тріщини майже рівномірний та вплив бічних утягувань практично відсутній, при цьому кут розкриття тріщини значно зменшується в зразках товщиною 2Т. На діаграмі навантаження для зразка 2Т (рис. 11) видно різке падіння сигналу, на відміну від більш плавного зменшення у зразках 0.5Т (рис. 7). Таким чином, у зразку СТ-2Т реалізується плоский деформований стан на відміну від зразка товщиною 0,5Т.

Отже, модель GTN, з визначеними із експериментів значеннями параметрів може бути використана для чисельного моделювання процесів розповсюдження тріщини як у зразках різних типів при різних видах навантаження, так і в елементах конструкцій.

## Висновки

Методом скінчених елементів проведено чисельне моделювання статичних та динамічних випробувань зразків різних типів з використанням моделі Гарсона-Твергаарда-Нідлмана. При зіставленні експериментальних та чисельних результатів визначено повний набір параметрів моделі для сталі 22К.

Проведено чисельне моделювання СТ зразків товщиною 0.5Т та 2Т. Результати розрахунків зразка СТ товщиною 0.5Т добре узгоджуються з експериментальними даними. Збільшення розміру СТ зразка до 2Т дозволяє реалізувати при розрахунках плоский деформований стан. Таким чином показано, що модель GTN, з визначеними із експериментів значеннями параметрів може бути використана для чисельного моделювання процесів розповсюдження тріщини як у зразках різних типів при різних видах навантаження, так і в елементах конструкцій.

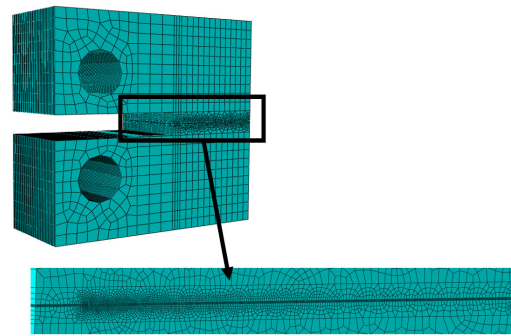
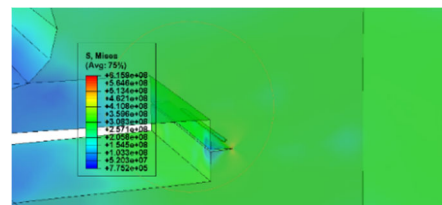
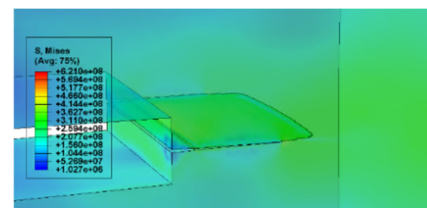


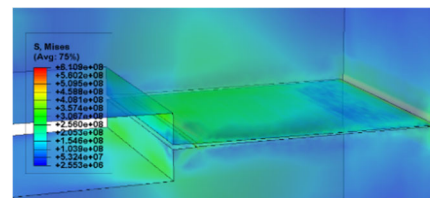
Рис. 9. Скінчено-елементна модель СТ-зразка СТ-2Т



*a*



*б*



*в*

Рис. 10. Поля розподілення інтенсивності напружень у зразку СТ-2Т при  $\Delta l = 1.9$  мм (*a*),  $\Delta l = 1.95$  мм (*б*),  $\Delta l = 2.0$  мм (*в*)

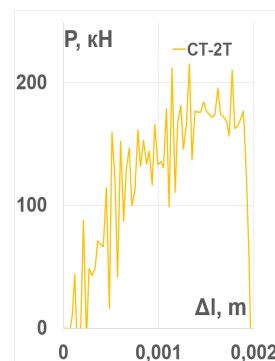


Рис. 11. Залежність  $P(\Delta l)$  для зразка СТ-2Т

## References

- [1] F.M. Beremin, A. Pineau, F. Mudry, "A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel", *Met. Trans. A*, Vol.14, No. 11, pp. 2277–2287, 1983.
- [2] A.L. Gurson, "Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: Part I—Yield criteria and flow rules for porous ductile", *J. Eng. Mater. Tech.* Vol. 99, No. 1, pp. 2–15, 1977.
- [3] V. Tvergaard and A. Needleman, "Analysis of the cup-cone fracture in a round tensile bar", *Acta Metall*, Vol. 32, No. 1, pp. 157–169, 1984.
- [4] G. Rousselier, "Ductile fracture models and their potential in local approach of fracture", *Nucl. Eng. Design.*, Vol. 105, No. 1, pp. 97–111, 1987.
- [5] I. Scheider and W. Brocks, "Simulation of cup-cone fracture using the cohesive model", *Eng. Fract. Mech.*, Vol. 70, No. 14, pp. 1943–1961, 2003.
- [6] Ya. Chahbouba and S. Szavaib, "Determination of GTN parameters for SENT specimen during ductile fracture", *Procedia Structural Integrity*, Vol. 16, pp. 81–88, 2019. doi: 10.1016/j.prostr.2019.07.025
- [7] A. Eberle, D. Klingbeil and J. Schicker, "The calculation of dynamic JR-curves from the finite element analysis of a Charpy test using a rate-dependent damage model", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 198, No. 1–2, pp.75–87, 2000.
- [8] Oh Young-Ryun *et al.*, "Application of the GTN model to ductile crack growth simulation in through-wall cracked pipes", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. Vol. 159, pp. 35–44, 2018.
- [9] E.A. Kondriakov, "Chyslennoe modelyrovanye udarnukh ysputanyi obraztsov sharpy v dvukhmernoi y trekhmernoi postanovke", *Journal of Mechanical Engineering NTUU "Kyiv Polytechnic Institute"*, No. 2(71), pp. 110–113, 2014.
- [10] E.A. Kondriakov and A.V. Panasenکو, "Raschetnoe opredelenye momenta zarozhdeniya treshchynu v standartnykh obraztsakh Sharpy y obraztsakh s bokovymy nadrezamy", *Journal of Mechanical Engineering NTUU "Kyiv Polytechnic Institute"*, No. 1(73), pp. 38–42, 2015.
- [11] E.A. Kondriakov, A.V. Panasenکو and V.V. Kharchenko, "Experimental determination of the moment of fracture initiation in standard Charpy specimens and specimens with edge notches", *Strength of Materials*. Vol. 47, No. 2, pp. 291–296, 2015.
- [12] Li Xiangqing *et al.*, "A modified correlation between K JIC and Charpy V-notch impact energy of Chinese SA508-III steel at the upper shelf", *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 505, pp. 22–29, 2018. doi: 10.1016/j.jnucmat.2018.03.056
- [13] Meifang Yu, Zhen Luo and Y.J. Chao, "Correlations between Charpy V-notch impact energy and fracture toughness of nuclear reactor pressure vessel (RPV) steels", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 147, pp. 187–202, 2015. doi: 10.1016/j.engfracmech.2015.08.008
- [14] ZengChen *et al.*, "Estimation of fracture toughness of 16MnDR steel using Master Curve method and Charpy V-notch impact energy", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Vol. 96, pp. 443–451, 2018. doi: 10.1016/j.tafmec.2018.06.007

## Численное моделирование процессов зарождения и распространения трещины в образцах различных типов с использованием модели повреждаемости материала GTN

Е.А. Кондряков, А.В. Кравчук, В.В. Харченко

**Проблематика.** Комплексное использование экспериментальных и расчетных методик исследований процессов зарождения и распространения трещины в образцах различных типов применяется для определения механических характеристик материалов, а также для повышения точности оценки прочности и долговечности элементов конструкций.

**Цель исследования.** Определение параметров модели повреждаемости материала Гарсона-Твергаарда-Нидлмана (GTN) по результатам численного моделирования образцов различных типов при различных видах нагружения на примере стали 22К с применением метода конечных элементов.

**Методика реализации.** С использованием метода конечных элементов было проведено численное моделирование процессов зарождения и распространения трещин в цилиндрических образцах при одноосном растяжении, в образцах Шарпи при динамическом нагружении, а также в СТ образцах при квазистатическом нагружении на примере стали 22К с использованием модели повреждаемости материала GTN.

**Результаты исследования.** При сопоставлении экспериментальных и численных результатов определен полный набор параметров модели материала GTN для стали 22К. Проведена оценка напряженного состояния в окрестности вершины трещины и кинетика ее распространения в материале образцов различных типов при статическом и динамическом нагружении.

**Выводы.** Модель повреждаемости материала GTN, с определенными из экспериментов значениями параметров, может быть использована для численного моделирования процессов зарождения и распространения трещины как в образцах различных типов при различных видах нагружения, так и в элементах конструкций.

**Ключевые слова:** модель повреждаемости материала GTN, метод конечных элементов, зарождение и распространение трещины, образец Шарпи, СТ образцы.

## Numerical modeling of crack initiation and propagation processes in various specimen's types using the GTN material damage model

I.O. Kondriakov, A.V. Kravchuk, V.V. Kharchenko

**Problematic.** A combination of experimental and computational methods for studying the processes of crack initiation and propagation in various specimen's types is used to determine the mechanical properties of materials, as well as to improve the accuracy of assessing the strength and durability of structural elements.

**Research objective.** Determination of the parameters of the Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) material damage model based on the numerical modeling results of various specimen's types under various types of loading for steel 22K using the finite element method.

**Realization technique.** Using the finite element method, numerical modeling of the processes of cracks nucleation and propagation in cylindrical specimens under uniaxial tension, in Charpy specimens under dynamic loading, and also in CT specimens under quasi-static loading was carried out for steel 22K using the GTN material damage model.

**The results of research.** By comparing the experimental and numerical results, the full set of GTN material model parameters for steel 22K was determined. The stress state in the crack tip area and the kinetics of its propagation in the material of various specimen's types under static and dynamic loading were estimated.

**Conclusions.** The GTN material damage model with the parameter values determined from experiments, can be used for numerical simulation of the processes of crack initiation and propagation both in specimens of various types under various loading types, and in structural elements.

**Keywords:** GTN material damage model, finite element method, crack initiation and propagation, Charpy specimen, CT specimen.