

УДК

Р. Кравчук, к.т.н., А. Кравчук, к.т.н.

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ДЕФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛУ ДЖОНСОНА-КУКА ДЛЯ ТОНКОЛИСТОВОГО ПРОКАТУ ВИСОКОМІЦНОЇ СТАЛІ ARMOX 500T

R. Kravchuk, Ph.D., A. Kravchuk, Ph.D.

G.S. Pisarenko Institute for problems of strength of the NAS of Ukraine, Ukraine

DETERMINATION OF THE MATERIAL PARAMETERS OF THE JOHNSON- COOK MODEL FOR THIN-SHEET HIGH-STRENGTH STEEL ARMOX 500T

Abstract. The paper presents the results of complex experimental and computational studies of the behavior of thin-sheet high-strength steel ARMOX 500T under various types of load, which made it possible to determine the material parameters of the Johnson-Cook model.

Для обґрунтування безпечної експлуатації елементів конструкцій із високоміцних сталей в умовах екстремального навантаження необхідно знати закономірності їх деформування та руйнування. Для цього проводять комплексні експериментальні дослідження, які включають випробування як при статичному, так і динамічному навантаженні. Проте реалізувати їх доволі складно через високу вартість самого матеріалу, складність його обробки, потребу у наявності спеціального експериментального обладнання. Тому останнім часом для дослідження особливостей деформування та руйнування високоміцних матеріалів при екстремальних умовах навантаження крім експериментальних використовують також розрахункові методики з використанням різних моделей деформування матеріалу та критеріїв руйнування [1-3].

Однією з найбільш вживаних моделей деформування матеріалу, що використовуються для чисельного моделювання високошвидкісних процесів є модель Джонсона-Кука [4, 5]. Модель деформування матеріалу (1) та руйнування (2) Джонсона-Кука має вигляд:

Деформаційне зміцнення матеріалу записується рівнянням:

$$\sigma = \left(A + B\varepsilon^n \right) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \left(1 + \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right) \quad (1)$$

де A , B , n , C та m – параметри матеріалу, які визначаються за результатами різних випробувань.

Критерій руйнування включає вплив трьохвісності напруженого стану, траєкторії деформації, швидкості деформації та температури у виразі деформації руйнування:

$$\varepsilon_f = \left(D_1 + D_2 e^{D_3 \sigma} \right) \left(1 + D_4 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \left(1 + D_5 \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right) \right) \quad (2)$$

де D_1 – D_5 – параметри матеріалу, які визначаються за результатами різних випробувань.

Через різноманітність механізмів руйнування та їх залежність від багатьох факторів, питання визначення параметрів таких моделей є дуже актуальним та достатньо складним і потребує проведення комплексних експериментально-розрахункових досліджень при різних швидкостях деформації та видах напруженого стану [1-3, 6,7].

Для визначення параметрів моделі деформування матеріалу Джонсона-Кука для високоміцної сталі Arмох 500Т проведено випробування зразків різних типів на розтяг, стиск; розроблено спеціальне устаткування для статичного та динамічного продавлювання тонколистових зразків в широкому діапазоні швидкостей деформації.

Експериментальні досліджування проводились для високоміцної сталі Arмох 500Т з тонколистового прокату товщиною 3 мм. Для визначення параметрів A , B та n було проведено випробування на розтяг трьох типів плоских зразків (без концентратора та з концентратором радіуса 2 мм та 4 мм) та чисельне моделювання процесу їх деформування. Випробування на одновісний розтяг проводились на сервогідролічній машині Instron 8802. В розрахунковій моделі завдяки симетрії розглядалась 1/8 частина зразка. Розмір скінченних елементів (СЕ) в центральній зоні зразка становив 50 мкм. Переміщення всіх вузлів моделі в площинах розрізу обмежувались умовами симетрії. Навантаження здійснювалось в жорсткому режимі за рахунок прикладання переміщення до верхньої грані зразка. На рис. 1 показано порівняння експериментальних та розрахункових діаграм деформування на розтяг трьох типів зразків з використанням таких значень параметрів: $A = 1360,73$ МПа, $B = 474,36$ МПа, $n = 0,17$. Видно, що криві мають задовільну збіжність, зокрема для зразка без концентратора відхилення значення границі міцності та деформації при цьому складало 1,3% та 19% відповідно.

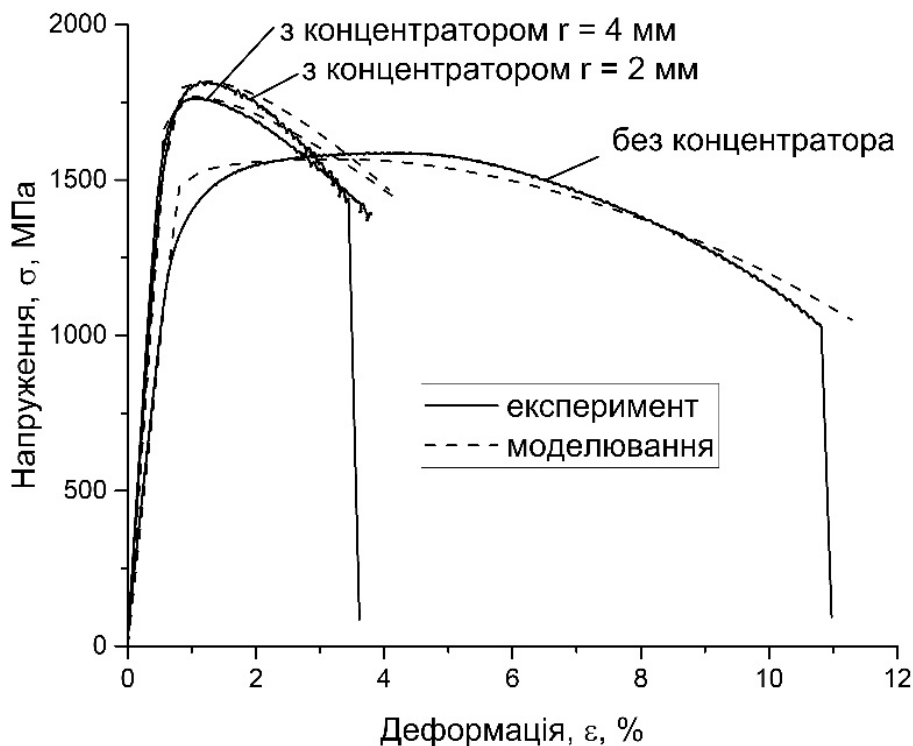


Рис. 1. Порівняння експериментальних та розрахункових діаграм на розтяг.

Для визначення параметрів критерію руйнування (2) проводились випробування на статичне та динамічне продавлювання тонколистових зразків зі сталі Arмох 500Т товщиною 1 мм із застосуванням різних типів інденторів. Ці випробування дозволяють промоделювати процеси, що виникають при такому типі навантаження, наближені до тих, які виникають в реальних елементах конструкцій та техніки при високошвидкісних та вибухових навантаженнях високоміцних матеріалів. Отримані експериментальні дані було співставлено з результатами чисельних розрахунків, що дозволило оцінити вплив

значень параметрів моделі деформування матеріалу та критерію руйнування Джонсона-Кука на поведінку високоміцної сталі Arмох 500Т при різних видах навантаження.

Література.

1. Popławski A., Kędzierski P., Morka A. Identification of Armoх 500Т steel failure properties in the modeling of perforation problems / A.Popławski, P. Kędzierski, A. Morka // *Materials & Design*. – 2020. – Vol. 190. P. 1 – 28.
2. Kharchenko V. V. Numerical simulation of deformation and fracture processes during static and dynamic perforation of thin plates from high-strength materials / V. V. Kharchenko, E. O. Kondryakov, O. A. Katok, R. V. Kravchuk // *Structural Integrity Procedia*. – 2022. – Vol. 36. – P. 137 – 144.
3. Kharchenko V. V. Experimental and calculation investigations of deformation and fracture processes of various types of steels during impact shear tests/ V. V. Kharchenko, E. O. Kondryakov, A. V. Kravchuk, A. A. Kotliarenko // *Structural Integrity Procedia*. – 2022. – Vol. 36. – P. 145 – 152.
4. Johnson G. R. A constitutive model and data for metals subjected to large strains / G. R. Johnson, W. N. Cook // *High rates and high temperatures, Proc. of the 7th Intern. symp. on ballistics, Hague, (Netherlands), 19–21 Apr. 1983. Hague: Roy. Inst. of Engrs in the Netherlands*. – 1983. P. 541 – 547.
5. Johnson G. R. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures, and pressures / G. R. Johnson, W. H. Cook // *Eng. Fract. Mech.* – 1985. – Vol. 21. № 1. – P. 31 – 48.
6. Choudhary Sh. Ballistic impact behaviour of newly developed armour grade steel: An experimental and numerical study / Sh. Choudhary, Singh P. K., S. Khare, K. Kumar, P. Mahajan, R. K. Verma // *International Journal of Impact Engineering*. – 2020. – Vol. 140. – 103557.
7. Jia W. Study on Intrinsic Influence Law of Specimen Size and Loading Speed on Charpy Impact Test / W. Jia, A. Pi, Z. Zhao, S. Wang, C. Wei, Z. Jie, F. Huang // *Materials (Basel)*. – 2022. – Vol. 15(11). – 3855.