

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ ПРОНИКНЕННІ ІНДЕНТОРА В БРОНЬОВАНУ СТАЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано визначення енергії деформування при проникненні індентора в броньовану сталь та коефіцієнту опору середовища броньованих сталей. Отримані залежності дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

Ключові слова: броньована сталь, енергія деформування, бронезахист.

Abstract

In this work, the determination of the deformation energy at penetration of the indenter into the armored steel and the resistance factor of the medium of the armored steels are proposed. The obtained dependencies will allow providing further recommendations in the construction of the technological processes of manufacturing elements (structures) of armor protection.

Keywords: armored steel, deformation energy, armor protection.

Визначення енергії деформування і руйнування засобів в умовах динамічних навантажень, полягає в оцінці напружено-деформованого стану на кожній стадії обробки тиском і на подальших етапах динамічного деформування.

Феноменологічна теорія деформуємі металив, дає можливість знаходження ступеня деформації (накопиченої до моменту руйнування інтенсивності деформацій) в умовах складного немонотонного деформування і дозволяє оцінювати граничну формозміну заготовок оброблюваних тиском, а також знаходити енергію деформування в задачах технічних експертиз.

При визначенні енергії пластичного деформування найбільш доступною для застосування є методика оцінки питомої потенційної енергії деформування елементів конструкцій методом твердості, яка враховує вплив пластичного деформування у процесі виготовлення елемента.

Визначення енергії пластичного деформування значно ускладнюється у випадку руйнування досліджуваних елементів конструкції, коли неможливо виміряти твердість безпосередньо зруйнованого металу.

Визначення енергії пластично деформованих тіл базується на принципах феноменологічної теорії деформування металів [1]. Для визначення енергії необхідно мати у своєму розпорядженні механічні характеристики матеріалу пошкоджених елементів у вигляді спеціальних функцій, які формують технологічний паспорт матеріалу, серед яких – крива течії та діаграма пластичності.

В роботах [1, 2, 3, 4] розроблений алгоритм розрахунку енергії пластичного деформування, що дозволяє визначати енергію пластичного деформування як у технологічних процесах обробки металів тиском, так і при деформуванні конструкцій в результаті ударів о перешкоди.

Метою роботи є визначення енергії деформування при проникненні індентора в броньовану сталь та коефіцієнту опору середовища броньованих сталей, а також отримання залежностей, які дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

Розглянемо алгоритм розрахунку енергетичних витрат на проникнення індентора в середовище, що пластично деформується. Слідуючи роботі [1], в якій розроблено феноменологічний підхід для визначення енергії деформування, витраченої на деформацію і руйнування транспортних засобів, питому потенційну енергію визначають інтегруванням функції зміцнення металів, де верхня межа інтеграла може бути визначена експериментально. Використаємо цей підхід до вирішення задачі для визначення коефіцієнта опору середовища при проникненні в нього твердого індентора.

В роботі [5] сформовано карту матеріалу для броньованої сталі марки 45Х2НМФБА, що враховує ізотропне зміцнення, яка включає криву течії в координатах «інтенсивність напружень σ_i ,

інтенсивність деформацій ε_u » і діаграму пластичності в координатах «граничний ступінь накопиченої інтенсивності деформацій до моменту руйнування ε_p , показник напруженого стану η ».

Крива течії, яка не залежить від виду напруженого стану в координатах σ_u – інтенсивність напружень

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (1)$$

та ε_u – інтенсивність деформацій

$$\varepsilon_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}, \quad (2)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – головні деформації.

Як зазначалось вище, з метою використання кривої течії в розрахунках, її представляють у вигляді степеневі функції

$$\sigma_u = A \varepsilon_u^n, \quad (3)$$

але при динамічних навантаженнях швидкість деформацій впливає на здатність матеріалів до зміцнення. Використовуючи модель матеріалу, чутливу до різних швидкостей деформування, розроблену в роботі [1], наведемо формулу, що апроксимує криву течії в умовах прояву швидкісного ефекту

$$\sigma_u = A_v \varepsilon_u^{n_v}, \quad (4)$$

де A_v і n_v равны відповідно

$$A_v = A \left[1,045 + \frac{\ln(0,0027 + \dot{\varepsilon}_u)}{135} \right] \quad (5)$$

$$n_v = n \exp[-0.1273 \ln(1 + \dot{\varepsilon}_u)]. \quad (6)$$

В формулах (4), (5) и (6) A_v – коефіцієнт апроксимації кривої течії, що враховує вплив швидкості деформування, $\dot{\varepsilon}_u$ – швидкість інтенсивності деформацій, n_v – показник степені, що враховує вплив швидкості деформування.

Питома потенціальна енергія деформування отримується шляхом інтегрування виразу:

$$W_{num} = \int_0^{\varepsilon_u^*} \sigma_u d\varepsilon_u, \quad (7)$$

Після підстановки (4) в (7), отримаємо

$$W_{num} = \int_0^{\varepsilon_u^*} A \varepsilon_u^n d\varepsilon_u = A \int_0^{\varepsilon_u^*} \varepsilon_u^n d\varepsilon_u = \frac{A \varepsilon_u^{n+1}}{n+1}. \quad (8)$$

Енергія деформування визначається за формулою

$$W_{def} = W_{num} V_{def}, \quad (9)$$

де V_{def} – об'єм охоплений пластичною деформацією визначається за формулою

$$V_{def} = \frac{\pi d_i^2}{4} h_i, \quad (10)$$

d_i – поточний діаметр пластичної хвилі;

h_i – поточна товщина пластини.

Тоді

$$W_{def} = W_{num} \frac{\pi d_i^2}{4} h_i. \quad (11)$$

Для визначення коефіцієнту опору середовища броньованих сталей врахуємо, що на індентор (кулю, снаряд), що рухається в броньованій сталі діє сила опору, яка пропорційна швидкості ($R = k \dot{x}$), а також базуючись на принципах запропонованих в роботі [1] справедливим буде запис:

$$R = k \dot{x} = \frac{W_{def}}{h_i}, \quad (12)$$

Таким чином, коефіцієнт опору середовища броньованих сталей визначається

$$k = \frac{W_{def}}{h_i \dot{x}} = \frac{W_{def}}{h_i v_{def}}, \quad (13)$$

де v_{def} – швидкість проходження індентора (від v_0 до v_1) в середовищі, що зміцнюється.

Падіння швидкості руху індентора в середовищі (броньована сталь), що зміцнюється визначимо за формулою

$$v_{def} = v_0 \exp\left(\frac{h_i}{h_0} \ln \frac{v_0}{v_1}\right). \quad (14)$$

При конструюванні і виготовленні сучасних броньованих елементів захисту актуальним постає питання створення найбільш безпечних засобів, які при експлуатації, наприклад, в результаті потрапляння кулі або снаряду в броньований елемент (бронешилети, броньові пластини для бронетехніки) забезпечать максимальний захист людині.

Безпека конструкцій може бути досягнута і створенням конструкцій, міцність і жорсткість яких керована і прогнозована на стадії проектування і виготовлення. Керованість міцності і жорсткості елементів конструкції забезпечується параметрами процесів обробки тиском і вибором технологій, які забезпечують сприятливу технологічну спадковість – залишкові напруження, деформаційне зміцнення і його напрям, твердість деформованого металу, градієнт деформацій і інші чинники. Перераховані параметри технології створюють «пам'ять матеріалу», яка забезпечує керованість міцністю і жорсткістю елементів конструкції.

Разом з тим, енергія деформування, поглинута елементом захисної конструкції внаслідок удару, є одним із важливих параметрів технологічної спадковості відповідного елемента конструкції.

ВИСНОВКИ

В даній роботі, на основі феноменологічної теорії деформуємості визначено енергію деформування, що затрачена на проникнення індентора в броньовану сталь та коефіцієнт опору середовища броньованих сталей (k).

Крім того, розглянуто сучасні феноменологічні підходи, які дозволять інженерам-конструкторам та інженерам технологам ще на стадії проектування створювати безпечні елементи бронезахисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : [монография] / Огородников В.А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – В. : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 204 с.

2. Кириця І.Ю. Особливості розрахунку параметрів напружено-деформованого стану та побудови діаграм пластичності в зоні локалізації деформації під час розтягу циліндричних зразків // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 101 – 107.
3. Огородников В. А. Диагностика материалов в задачах технологической механики и автотехнических экспертизах / Огородников В. А., Перлов В. Е., Кирица И. Ю. // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія: "Машиностроение" – 2008 - №52. – С. 21-26.
4. Огородников В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : [монографія] / Огородников В. А., Кириця І.Ю., Перлов В.Є. – Вінниця: – ВНТУ, 2015 – 164 с.
5. Кириця І.Ю. Формування паспорту матеріалу для броньованої сталі // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ – 2019) : збірник доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2019 – С. 3417-3420. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/fmt_2019_netpub.pdf

Кириця Інна Юрїївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів та прикладної механіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: slk-vin@ukr.net, тел. +380679843705.

Kyrytsya Inna Y. – PhD, Assistant Professor of Materials Resistance and Applied Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slk-vin@ukr.net, tel. +380679843705.