

## ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ В ЗАДАЧАХ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

### Анотація.

Розроблено розрахунковий апарат, за допомогою якого можна оцінити пластичність, а також використаний ресурс пластичності попередньо деформованої заготовки. Розрахунковий метод ґрунтується на моделі руйнування, що описується тензорним апаратом накопичування пошкоджень. Модель руйнування дозволяє за відомими механічними характеристиками оцінити характеристики пластичності попередньо деформованих заготовок для будь-якого виду напруженого стану. Методику апробовано для виготовлення крутозігнутих відводів методом протягування попередньо заневоленої труби.

**Ключові слова:** обробка тиском, пластичність, технологічна спадковість, тензор пошкоджуваності, використаний ресурс пластичності

### Abstract

Design apparatus has been developed with the help of which ductility is evaluated, as well as the used plasticity resource of previously deformed workpieces. The calculation apparatus is based on a fracture model based on the tensor description of damage accumulation. The fracture model allows for known mechanical characteristics to evaluate the plastic characteristics of pre-deformed workpieces for any type of stress state. The technique has been tested on the example of manufacturing steeply bent bends by pulling a pre-stressed pipe. Satisfactory convergence of the calculated and experimental data is shown

**Keywords:** pressure treatment, ductility, technological heritage, damage tensor, used plasticity resource

Залишкові напруження та залишкова пластичність, зміцнення, градієнт деформацій та інші фактори, що мають місце на етапах технологічного процесу обробки металів тиском (ОМТ), створюють технологічну спадковість матеріалу виробу. Всі вони в подальшому визначають експлуатаційні властивості виробів, формулюючи задачу розробки певних методик кількісної оцінки вказаних вище факторів. Більшість з названих факторів достатньо досліджено [1], проте деякі з них, наприклад, залишкова пластичність попередньо деформованої заготовки досі залишається складною та не належному рівні опанованою проблемою. Метою роботи є розробка методу оцінки пластичності попередньо деформованого металу.

Мірою пластичності на момент руйнування матеріалу заготовки в зоні остаточних деформацій слід прийняти накопичену на всіх етапах деформування інтенсивність деформацій (параметр Удквіста), яку прийнято називати граничною деформацією  $e_p$ . Пластичність металів залежить від багатьох факторів, серед яких, крім природи матеріалу, основними є термомеханічні параметри процесу ОМТ: температура, швидкість деформації, вид напруженого стану, історія деформування, градієнт деформацій тощо. Залежність пластичності від виду напруженого стану  $\eta$  при простому деформуванні та сталих або фіксованих температурно-швидкісних умовах є його механічною характеристикою. Для побудови цієї залежності виконують випробування матеріалу в умовах простого навантаження при різних напружених станах, коли компоненти тензора напружень змінюються пропорційно одному параметру.

Напружений стан характеризується показниками напруженого стану. Показник напруженого стану за Г. А. Смірновим-Аляєвим [2]:

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_1}, \quad (1)$$

де  $I_1(T_\sigma)$  – перший інваріант тензора напружень,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження,  $I_2(D_\sigma)$  – другий інваріант девіатора напружень або інтенсивність напружень:

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

Параметр  $\eta$  виступає як незалежний аргумент при побудові діаграм пластичності в координатах  $e_p = f(\eta)$ , та відповідно складає  $\eta = 1$  (одновісний розтяг,  $\eta = -1$  – одновісний стиск,  $\eta = 2$  – двовісний

розтяг,  $\eta = -2$  – двовісний стиск,  $\eta = 0$  – зсув). Показник напруженого стану відображає вплив третього інваріанту тензора або девіатора напружень за В. А. Огородніковим [3]:

$$\chi = \frac{\sqrt[3]{I_3(T_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}}{\sigma_u} \quad \text{або} \quad \chi = \frac{\sqrt[3]{I_3(D_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sqrt[3]{S_1S_2S_3}}{\sigma_u},$$

де  $S_1 = \sigma_1 - \sigma$ ,  $S_2 = \sigma_2 - \sigma$ ,  $S_3 = \sigma_3 - \sigma$  – головні девіатори тензора напружень,  
 $\sigma_u = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$  – середнє значення напруження.

Показники напруженого стану мають широке застосування для оцінки використаного ресурсу пластичності заготовок, що зазнають деформування в умовах об'ємного напруженого стану. Для цих випадків, залежність граничної деформації від показників напруженого стану називають діаграмою пластичності. Вона може бути двовимірною  $e_p(\eta)$  або тривимірною  $e_p(\eta, \chi)$  діаграмою. Для дослідження технологічних процесів обробки тиском листових матеріалів руйнування зазвичай супроводжується відривом або зсувом, тоді мають місце змішані види руйнування. Для моделювання руйнування відривом вважають, що при сталих швидкостях деформації та температурі діаграма пластичності представляється єдиною для різних напружених станів залежністю  $e_p(\beta)$  [4], де

$$\beta = \frac{1 - S\eta}{\gamma},$$

де  $\gamma = \frac{\sigma_1}{\sigma_u}$ .

Тут  $\sigma_u$  – див. формулу (1),  $\sigma_1$  – найбільше з головних напружень,  $S$  – параметр матеріалу. Для випадків руйнування зрізом діаграма пластичності представляється функцією  $e_p(\theta)$ , де

$$\theta = \frac{1 - k\eta}{\omega},$$

$$\omega = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_u}.$$

Тут  $\tau_{\max}$  – максимальне дотичне напруження,  $k$  – параметр матеріалу.

Таким чином, залежності  $e_p(\eta, \chi, \theta, \beta)$  – це діаграми пластичності, які висвітлюють залежність граничної деформації від показників напруженого стану. Діаграми пластичності будують як результати експериментального квазістатичного випробування матеріалів в умовах лінійного або плоского напруженого станів (розтяг, стиск, кручення (зсув)) або інших видів випробування.

Розроблено метод оцінювання пластичності попередньо деформованого металу, що ґрунтується на тензорному аналізі накопичення деформації в умовах холодного пластичного деформування. Метод дозволяє за відомими механічними характеристиками, а також за експериментально визначеними діаграмами пластичності попередньо деформованого металу заготовок за будь-яким видом напруженого стану оцінити пластичність. Метод апробований на прикладі виготовлення крутозигнутих відводів способом протягування попередньо заневоленої труби. Показано задовільну збіжність розрахункових та експериментальних даних технологічного процесу ОМТ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ящерицын П. И. Технологическая наследственность в машиностроении/Ящерицын П. И., Рыжов Э. В., Аверченков В. И. – Минск. : Наука и техника, 1977. – 256 с.
2. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. / Г. А. Смирнов-Аляев – Л. : Машиностроение, 1978. – 368 с.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением./ В. А. Огородников. – Киев : Вища школа, 1983. – 175 с.
4. Dell H. A Comprehensive Approach for the Prediction of Sheet Metal Failure / H. Dell, H. Gese, G. Obezhover // Materials Processing and Design, Modeling, Simulation and Applications. Part 1. Numiform 07. American Institute of Physics. – 2007. – P. 165-170.

**Архіпова Тетяна Федорівна** - к. т. н., доцент кафедри ОМІМ, ВНТУ, м. Вінниця. E-mail: [tfarhipova@gmail.com](mailto:tfarhipova@gmail.com)

**Arhipova Tetiana F.** — Ph. D. (Eng.), Docent of Strength of Materials and Applied Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: [tfarhipova@gmail.com](mailto:tfarhipova@gmail.com)