

ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПЛАСТИЧНОСТІ 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 work pieces. 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 work pieces 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, пластичність, зміцнення, градієнт деформацій та інші фактори в технологічних операціях обробки металів тиском (ОМТ) формують технологічну спадковість. Всі вони в подальшому визначають експлуатаційні якості виробів. Більшість з цих факторів достатньо повно досліджено [1-4], проте, деякі з них, наприклад, оцінка пластичності попередньо деформованої заготовки досі залишається складною та недостатньо дослідженою проблемою. Мета дослідження – розробка методу оцінки пластичності попередньо деформованого металу.

Мірою пластичності на момент руйнування матеріалу заготовки в області кінцевих деформацій вважають накопичену на всіх етапах деформування інтенсивність деформацій (параметр Одквіста), який називають граничною деформацією e_p .

Пластичність металів визначається багатьма факторами, серед яких, крім природи матеріалу, основними є термомеханічні параметри процесу: температура, швидкість деформації, вид напруженого стану, історія деформування, градієнт деформацій тощо. Залежність пластичності від виду напруженого стану при простому деформуванні та фіксованих температурно-швидкісних умовах є його механічною характеристикою. Для її побудови проводять випробування матеріалу при різних напружених станах в умовах простого навантаження, коли компоненти тензора напружень змінюються пропорційно одному параметру.

Напружений стан характеризується показниками напруженого стану. Показник напруженого стану за Г. А. Смірновим-Аляєвим [5]:

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

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 η виступає як незалежний аргумент при побудові діаграм пластичності в координатах $e_p = f(\eta)$, та відповідно складає $\eta = 1$ (одновісний розтяг, $\eta = -1$ — одноосний 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 [6]:

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

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 $e_p(\beta)$ [7]. В цьому випадку відповідно до [8]:

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

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

Тут σ_u – див. формулу (1), σ_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. Калпин Ю. Г. Сопротивление деформации и пластичность при обработке металлов давлением / Ю. Г. Калпин и др. – М. : Изд-во Инновационное машиностроение, 2011. – 244 с.
3. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов: в 3-х т. Т.1. Физико-механические основы пластической деформации / С. И. Губкин. – М. : Металлургиздат, 1960. – 376 с.
4. Бейгельзимер Я. Е. Некоторые соображения по поводу больших пластических деформаций, основанные на их аналогии с турбулентностью. // Физика и техника высоких давлений. – 2008. – Т.18. №4. – С. 77-86.
5. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. / Г. А. Смирнов-Аляев – Л. : Машиностроение, 1978. – 368 с.
6. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. / В. А. Огородников. – Киев : Вища школа, 1983. – 175 с.
7. Dell H. A Comprehensive Approach for the Prediction of Sheet Metal Failure / H. Dell, H. Geese, G. Obezhov // Materials Processing and Design, Modeling, Simulation and Applications. Part 1. Uniform 07. American Institute of Physics. – 2007. – P. 165-170.
8. Огородников В. А. Прогнозування механічних властивостей металів після холодного оброблення тиском // В. А. Огородников, Т. Ф. Архипова. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2019. Т.55. – №1. – С. 61-66.

Архіпова Тетяна Федорівна — к. т. н., доцент кафедри ОМІМ, ВНТУ, м. Вінниця. E-mail: tfarhipova@gmail.com

Arkhipova Tatiana F. — Ph. D. (Eng.), Docent of Strength of Materials and Applied Mechanics, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa. E-mail: tfarhipova@gmail.com

Побережний Михайло Іванович — с. н. с. кафедри ОМІМ, ВНТУ, м. Вінниця. Email: poberegnym@ukr.net

Poberegny Mikhail I. — Senior Researcher of Strength of Materials and Applied Mechanics, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa. Email: poberegnym@ukr.net