

Діаграма пластичності. Деформація без руйнування

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження пластичності матеріалу і пропонування методики побудови діаграми пластичності. Дослідження включають кручення зразків і розрахунок накопичених деформацій та пластичності.

Ключові слова: пластичність, діаграма пластичності, деформація без руйнування, кручення, розтягування, стиску, накопичені деформації, граничні деформації.

Abstract

Studying the plasticity of the material and proposing a technique for constructing a plasticity diagram. Investigations include torsion of specimens and calculation of accumulated deformations and ductility.

Keywords: plasticity, plasticity diagram, deformation without failure, torsion, stretching, compression, accumulated deformations, limit deformations.

Метою роботи є дослідження пластичності матеріалу і розробка методики побудови діаграми пластичності. Дослідження включають експерименти з кручення, розтягування та стиску зразків матеріалу, а також розрахунки накопичених деформацій і пластичності. Результатом є діаграми пластичності, які відображають залежність пластичності від показника напруженого стану і мають значення для вибору оптимальних умов деформаційної обробки матеріалів.

Тлумачення терміну «пластичність» в сучасному трактуванні виглядає так – це здатність матеріалу до формозміни без руйнування у вигляді макроскопічного порушення суцільності. Міра пластичності – накопичена інтенсивність деформацій до появи макротріщин $\varepsilon_i = \varepsilon_r$ (руйнування). Діаграма пластичності – це залежність пластичності від показника η , який характеризує жорсткість схеми напруженого стану. Побудова діаграми пластичності здійснюється на основі виконаних типових експериментів при простому деформуванні (розтяг, стиск, кручення). Отримані результати, апроксимують ґрунтуючись на роботи Г. Д. Деля та В. А. Огороднікова.

Крім того, зразки досліджувались в умовах кручення для отримання пластичності при показнику $\eta=0$. З цією метою за методикою В. А. Огороднікова на робочу поверхню зразка наносили штангенциркулем риску, паралельну його поздовжній осі. Під час кручення інтенсивність напружень має вигляд

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2\pi r_0^3} \left(3M + \gamma \frac{dM}{d\gamma} \right), \quad (1)$$

де r_0 – радіус суцільного циліндричного зразка, який скручували; γ – кут зсуву на поверхні;

$\gamma = \arctg \frac{\varphi r}{l} = 7,3$ (φ – абсолютний кут скручування в градусах; l – довжина зразка),

M – крутний момент, прикладений до зразка.

Інтенсивність деформацій під час кручення (на поверхні)

$$e_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

де α – кут зсуву на поверхні, який вимірюють на інструментальному мікроскопі між поздовжньою віссю зразка і рискою, проведеною вздовж його осі до експерименту.

Таким чином, за формулою (2) розраховують накопичені деформації при руйнуванні за

показником $\eta = 0$, $\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$, при крученні – $\sigma_1 = \tau$, $\sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = -\tau$.

В роботах Г. Д. Деля та В. А. Огороднікова на основі результатів дослідів зразків на розтяг, стиск, кручення та випробування зразків у камері високого тиску була розроблена методика побудови діаграм пластичності. В роботі показано, що для діаграми пластичності (рис.1) в діапазоні $-2 \leq \eta \leq 0$ справедливе рівняння:

$$e_p = \frac{e_p(\eta=0)e_p(\eta=-1)\exp(-\eta)}{e_p(\eta=-1) + \eta[e_p(\eta=-1) - 2,72e_p(\eta=0)]} = \frac{0,63 \cdot \exp(-\eta)}{0,92 - 0,93 \cdot \eta}, \quad (3)$$

де $e_p(\eta=-1)$ і $e_p(\eta=0)$ – пластичність матеріалу, відповідно, при осьовому стиску зі змащенням і крученні.

Апроксимація діаграми пластичності для діапазону $-1 \leq \eta \leq 2$ може бути здійснена за допомогою рівнянь В. А. Огороднікова

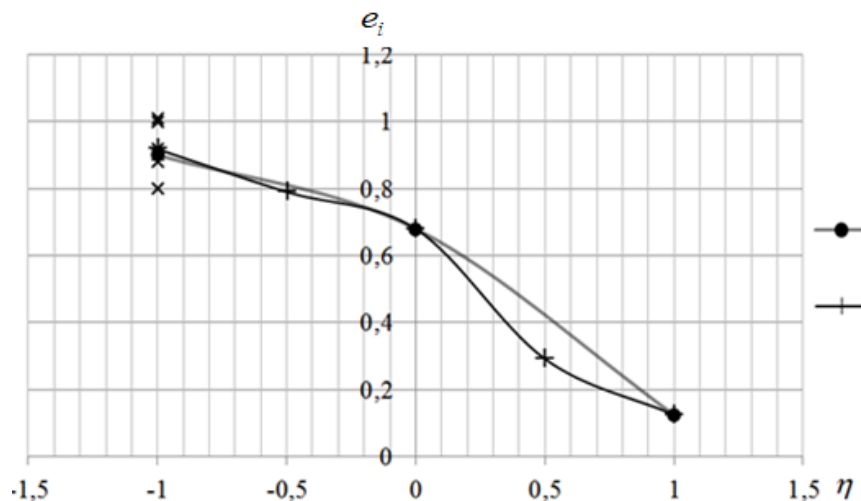
$$e_p(\eta) = 0,69 \cdot \exp(-0,3 \cdot \eta); \quad (4)$$

$$e_p(\eta) = 0,69 \cdot \exp(-1,75 \cdot \eta); \quad (5)$$

де η – показник напруженого стану, $e_p(\eta)$ – величина граничних деформацій.

На ділянці зміни показника напруженого стану $0 \leq \eta \leq 2$ граничні деформації розраховуються за формулою (5). На ділянці $-1 \leq \eta \leq 0$ граничні деформації розраховуються за формулою (4), для сплаву W-Ni-Fe величина граничних деформацій при типових дослідах склала $e_p(\eta=0) = 0,69 \pm 0,01$, $e_p(\eta=-1) = 0,92 \pm 0,09$, $e_p(\eta=1) = 0,12 \pm 0,005$.

Рисунок 1 – Діаграма пластичності сплаву W-Ni-Fe



Сплав на основі вольфраму має відносно велику пластичність на ділянці напружень стиску, що дає можливість проводити його деформаційну обробку в холодному стані до відповідних значень накопичених деформацій. Коефіцієнти чутливості пластичності (ввійшли в рівняння 4-5) λ_1 та λ_2 до схеми напруженого стану в жорсткій ($\eta \geq 0$) і м'якій ($\eta < 0$) областях показника η значно відрізняються. Водночас область розтягувальних напружень характеризується значною чутливістю пластичності до схеми напруженого стану при малих пластичних деформаціях в умовах розтягу. Тому розтягувальні напруження варто враховувати при виборі схем пластичного деформування. Збільшення величини гідростатичного тиску несуттєво підвищує пластичність, оскільки у м'якій області ($\eta < 0$) чутливість пластичності до схеми напруженого стану є низькою (коефіцієнт λ_1)

$$\lambda_1 = \ln \frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)}; \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \ln \frac{e_p(\eta=-1)}{e_p(\eta=0)} = 0,3; \quad (7)$$

де λ_1 та λ_2 – коефіцієнти чутливості пластичності до зміни схеми напруженого стану.

Висновки

Сплав системи W-Ni-Fe виявився пластичним матеріалом з великою здатністю до формозміни без руйнування. Діаграма пластичності показує залежність пластичності від показника напруженого стану, який характеризує жорсткість схеми напруження. Коефіцієнти чутливості пластичності до схеми напруженого стану виявилися різними для м'якої і жорсткої областей показника напруженого стану. Розтягувальні напруження мають значний вплив на пластичність при малих пластичних деформаціях в умовах розтягу. Збільшення гідростатичного тиску має незначний ефект на пластичність у м'якій області. Отримані результати можуть бути використані для вибору оптимальних умов деформаційної обробки матеріалів на основі їх пластичних властивостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. І. В. Андрєєв, О. В. Грушко, О. В. Гуцалюк, В. В. Мельниченко та С. Ф. Студенець, «Механічні характеристики сплавів системи W-Ni-Fe», Міжнародний науково-технічний журнал «Фізико-хімічна механіка матеріалів». № 1(54), с. 57-62, 2018 .
2. О. В. Грушко та О. В. Гуцалюк, «Модельовання процесу редукування циліндричних заготовок з визначенням основних параметрів деформованого стану», *Обработка материалов давлением*. № 1(42), с. 57-62, 2016.
3. Volodymyr Kukhar, Viktor Artiukh, Andrey Butyrin, Andrii Prysiazhnyi, «Stress-Strain State and Plasticity Reserve Depletion on the Lateral Surface of Workpiece at Various Contact Conditions during Upsetting», *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 692, P. 201–211, Springer, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_22..

Гуцалюк Олександр Володимирович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksandrompm@ukr.net.

Сафроненко Іван Васильович – студент другого курсу групи БМ-21б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vanasafronenko6@gmail.com, тел. +380978456134.

Gutsaluk Oleksandr V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of resistance of materials, theoretical mechanics and engineering graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksandrompm@ukr.net.

Safronenko Ivan V. – 2-year student of BM-21b group, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vanasafronenko6@gmail.com, tel. +380978456134.