

МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ КРИВИХ ТЕЧІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто методологічні засади побудови кривих течії, що є ключовим інструментом для аналізу процесів пластичного деформування матеріалів. Визначено роль кривих течії у дослідженні фізико-механічних властивостей та їх застосування при розрахунках напружено-деформованого стану. Запропоновано систематизований підхід до отримання та інтерпретації кривих течії на прикладі дослідження механічні властивості титанового сплаву.

Ключові слова: крива течії, деформівність, механічні властивості матеріалу.

Abstract

The paper examines the methodological foundations of constructing flow curves, which serve as a key tool for analyzing the processes of plastic deformation of materials. The role of flow curves in the study of physico-mechanical properties and their application in stress-strain state calculations is defined. A systematic approach to obtaining and interpreting flow curves is proposed, illustrated by the investigation of the mechanical properties of titanium alloy.

Keywords: flow curves, deformability, mechanical properties of the material.

У процесі дослідження пластичного деформування матеріалів важливе значення мають дані про їхні фізико-механічні властивості. Особливий інтерес становлять окремі технологічні характеристики – крива течії, діаграма пластичності, діаграма стійкості, а також градувальні залежності твердість–напруження–деформація [1,2].

Різноманітність методик побудови кривих течії матеріалів, характеризується переважно, координатами інтенсивності деформацій e_i – інтенсивності напружень σ_i . Криву течії будують при нескладних випробуваннях і користуються нею для конкретного процесу обробки тиском. Ця характеристика використовуються для розрахунків напружено-деформованого стану, силових характеристик процесів ОМТ.

В загальному випадку для визначення інтенсивності напружень σ_i та інтенсивності деформацій e_i користуються формулами [3]:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (1)$$

$$e_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_z - e_x)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)} \quad (2)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ – компоненти тензора напружень; $e_x, e_y, e_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ – компоненти тензора логарифмічних деформацій.

Формули (1) та (2) в разі одноосового розтягу записують у зручному для практичного використання вигляді [4]:

$$\sigma_i = \sigma_x = \frac{P}{ab};$$

$$e_i = e_x = \ln \frac{l_0}{l},$$

де P – деформівне зусилля; a, b – ширина і товщина зразка відповідно; l_0 і l – довжина робочої частини зразка до і після деформування.

Метою роботи є оволодіти методикою проведення випробувань, розрахунків та побудови кривих течії на прикладі дослідження механічних властивостей титанового сплаву ВТ6.

Під час розрахунків процесів деформування металів користуються кривими, що характеризують залежність істинних напружень від деформацій (інтенсивності напружень σ_i та інтенсивності логарифмічних деформацій e_i) $\sigma_i = f(e_i)$. Для більшості процесів ОМТ в холодному стані при деформаціях, суттєво перевищуючих границю текучості, крива течії може бути апроксимована степеневою функцією і вигляді [1]

$$\sigma_i = A e_i^n, \quad (3)$$

де A та n – емпіричні коефіцієнти – модуль та показник зміцнення. Фізичний зміст величини A відповідає напруженню при одиничній деформації, а n дорівнює логарифмічній деформації початку шийкоутворення при розтягу зразка.

Будують такі криві за допомогою випробувань стандартних або спеціальних зразків матеріалу в умовах розтягу, стиску, кручення чи інших експериментів. Так в даній роботі досліджували зразки титанового сплаву ВТ6 в умовах стиску. Таким чином, із прутків досліджуваних матеріалів виготовляли стандартні циліндричні зразки на стиск діаметром $D_0 = 10$ мм і висотою $H_0 = 15$ мм у кількості 10 шт. із кожного матеріалу. Граничну деформацію при осаджуванні визначали за формулою:

$$e_i = \ln \frac{H_0}{H} \quad (4)$$

де H_0 – висота вихідного зразка; H – висота зразка після деформування.

В результаті досліджень побудовані криві течії (рис.1) та показані апроксимації згідно залежності (3) за допомогою ЕОМ.

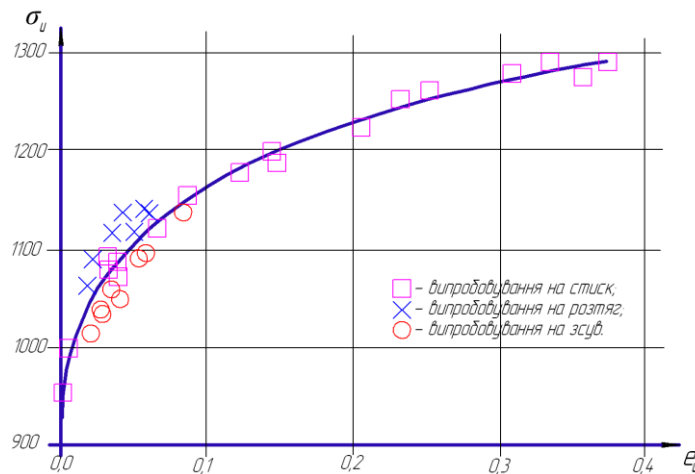


Рис. 1. Крива течії титанового сплаву ВТ6 (б)

Вісь абсцис - накопичена деформація e_u ; вісь ординат – інтенсивність напружень σ_u

Статистичний розкид даних пов'язано зі структурними особливостями матеріалів та умовами експерименту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аніщенко О. С. Оброблення металів тиском / О. С. Аніщенко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2022.
2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В.А. Огородников. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.
3. Погрелюк І.М. Проблеми інженерії поверхні титанових сплавів / І.М. Погрелюк, В.В. Панасюк – Львів: СПОЛОМ, 2011. – 121 - 138 с.
4. Kim K.W., Clemens H. / Gamma Titanium Aluminides / Eds.: K.W. Kim, H. Clemens et al. – TMS Warrendale, PA, USA, 2003.– 245 p.

Молодецька Тетяна Ігорівна к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Савін Іван Олександрович, студент гр.ТЕ-24б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Molodetska Tetiana Igorivna, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Savin Ivan Oleksandrovych, student of TE-24b group, faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.