

ГРУШКО О.В., канд. техн. наук, доц., ВНТУ, м. Вінниця
МОЛОДЕЦЬКА Т.І., аспірант, ВНТУ, м. Вінниця

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПАСПОРТ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ЗАГОТОВОК

Досліджено механічні властивості титанових сплавів VT1-0, VT6 у вигляді кривих течії, діаграм пластичності при плоскому та об'ємному напруженому стані, побудовані градувальні графіки твердість-напруження-деформація.

Ключові слова: крива течії, діаграма пластичності, градувальні графіки твердість-напруження-деформація.

Mechanical properties of titanium alloys VT1-0, VT6 as flow curves, charts, plasticity, with a flat and volumetric stress state, based calibration diagram hardness-stress deformation.

Key words: flow curves, plasticity chart, calibration diagram hardness-stress deformation.

Исследованы механические свойства титановых сплавов VT1-0, VT6 в виде кривых течения, диаграмм пластичности при плоском и объемном напряженном состоянии, построенные градуировочные графики твердость-напряжение-деформация.

Ключевые слова: кривая течения, диаграмма пластичности, градуировочные графики твердость-напряжение-деформация.

При дослідженнях та технологічних розрахунків процесів пластичного деформування важливе місце посідають відомості про фізико-механічні властивості матеріалу, що деформується. Звичайно, інтерес представляють лише окремі технологічні функції – крива течії, діаграма пластичності, діаграма стійкості, градувальні графіки твердість-напруження-деформація тощо [1,2,3]. Криві течії використовуються для розрахунків напружено-деформованого стану, силових характеристик процесів обробки металів тиском (ОМТ); діаграми пластичності знаходять широке застосування для оцінювання граничних деформацій за ознакою руйнування матеріалу; діаграми стійкості – для оцінювання граничних деформацій листових матеріалів за ознакою втрати стійкості; тарувальні графіки в методі твердості для експериментальних досліджень напружено-деформованого стану. Таким чином, сукупність зазначених функцій складає технологічний паспорт матеріалу. Для процесів об'ємного деформування, зокрема поверхневого пластичного деформування, втрати стійкості не відбувається, тому дана функція досліджуватись не буде. На сьогоднішній день представляє великий інтерес особливості механіки поверхневого зміцнення циліндричних та сферичних заготовок, що виготовляються з титану та його сплавів, зокрема титану VT1-0 та титану VT6 [4]. Відмітимо, що в результаті інтенсивного пластичного деформування структура VT1-0 може бути подрібнена до величин, що складають порядки нанометрів, що призводить до набуття матеріалом унікальних властивостей. Технологічна обробка деталей з вказаних матеріалів дозволяє більш ефективно їхнє використання в таких галузях, як медицина в якості імплантантів, літакобудування, космічна промисловість тощо.

Метою роботи є побудова кривих течії, діаграм пластичності та градувальних графіків твердість-напруження-деформація титану ВТ1-0 та титану ВТ6.

Криві течії

Під час розрахунків процесів деформування металів користуються кривими, що характеризують залежність істинних напружень від деформацій (інтенсивності напружень σ_i та інтенсивності логарифмічних деформацій ϵ_i) $\sigma_i = f(\epsilon_i)$. Для більшості процесів ОМТ в холодному стані при деформаціях, суттєво перевищуючих границю текучості, крива течії може бути апроксимована степеневою функцією у вигляді [6]

$$\sigma_i = A\epsilon_i^n, \quad (1)$$

або

$$\sigma_i = A_1(\epsilon_i + \epsilon_0)^{n_1}, \quad (2)$$

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 проводився експеримент, в якому досліджували зразки титанових сплавів ВТ1-0 та 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. Зразки осаджували до різних ступенів деформації аж до руйнації в обоймі, яка виключає перекося на гідравлічному пресі ПММ-125. Стиск зразків проводився з використанням свинцевої фольги і змащенням торців пастою із колоїдного графіту та гліцерину. Після кожного ступеню навантаження мастило і свинцеві прокладки замінялися. Тертя на торцях зразка було несуттєвим, що підтверджує відсутність бочкоутворення на бічній поверхні. Граничну деформацію при осаджуванні визначали за формулою

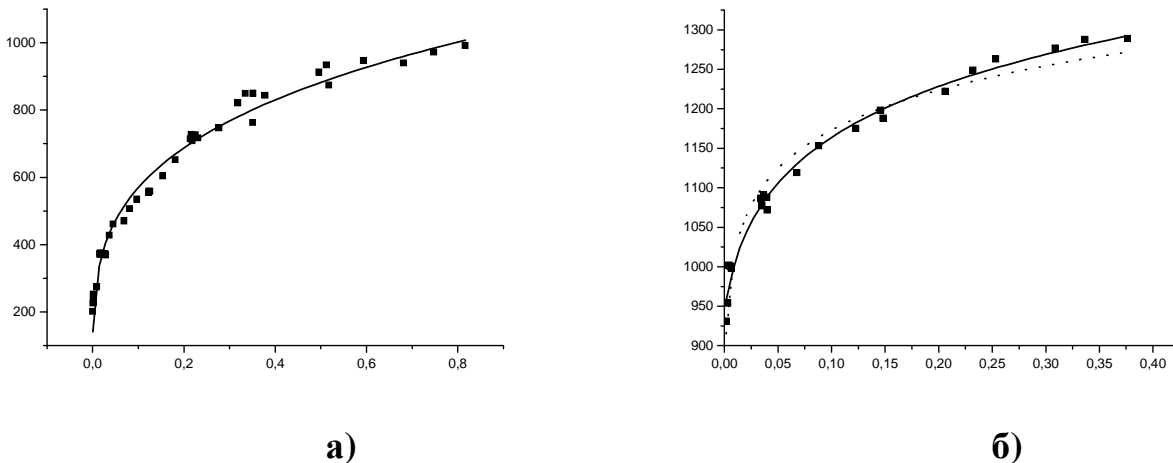
$$\epsilon_i = \ln \frac{H_0}{H}, \quad (3)$$

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

В результаті досліджень побудовані криві течії (рис.1, 2) та показані апроксимації згідно залежностей (1), (2). Останні отримані шляхом статистичної обробки отриманих результатів за допомогою ЕОМ. Таким чином отримані коефіцієнти апроксимації, які зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти апроксимації згідно (1) та (2)

№ п/п	Матеріал	Коефіцієнти апроксимації				
		A, МПа	A ₁ , МПа	n	n ₁	ε ₀
1	ВТ1-0	1071±31	-	0,267±0,018	-	-
2	ВТ6	1358±24	1425,39±12	0,063±0,007	0,102±0,008	0,027±0,007



Вісь абсцис - накопичена деформація ϵ_u ; вісь ординат – інтенсивність напружень σ_u , МПа

Рис.1 – Крива течії титанового сплаву VT1-0 (а) та VT6 (б)

Градувальні графіки твердість-напруження-деформації

Стиснуті до різних ступенів деформацій зразки розрізали по меридіальному перерізі, фіксували в спеціальні обоймі, та вимірювали твердість за Віккерсом при зусиллі на індентор 30 кгс (в середньому 10 точок в різних місцях).

Відмітимо, що титан VT1-0 проявляє достатньо сильну анізотропію – це підтверджує відхилення діагоналей відбитка на торці початкового зразка біля 5%. Для деформованих зразків картина аналогічна (при більших степенях деформації анізотропія зростає). Однак, середня твердість по кожному зразку відносно стабільна (відхилення складає до 1-2%). Гранична деформація при стиску сягнула 2,1 - при цьому спостерігалось суттєве бочкоутворення. Тому для розрахунку інтенсивності напружень для останньої точки використовували апроксимацію за попередніми точкам кривої течії.

Титан VT6 з точки зору твердості проявляє достатньо сильну неоднорідність. На різних зразках (недеформованих) і навіть в межах одного зразка твердість неоднакова – відхилення до 3% і більше. Таку особливість можна пояснити деформаційною анізотропією початкового прутка. Підвищення твердості при збільшенні деформацій також незначне, що пов'язано з невеликою змінюваністю та низькими граничними деформаціями. Результати досліджень представлені у вигляді градувального графіка (рис.4). Деякі точки сильно відхиляються, що може бути пов'язано з відмінностями в початковій твердості зразків та наклепом при механічній обробці.

Градувальні графіки представлені на рис.3 та 4.

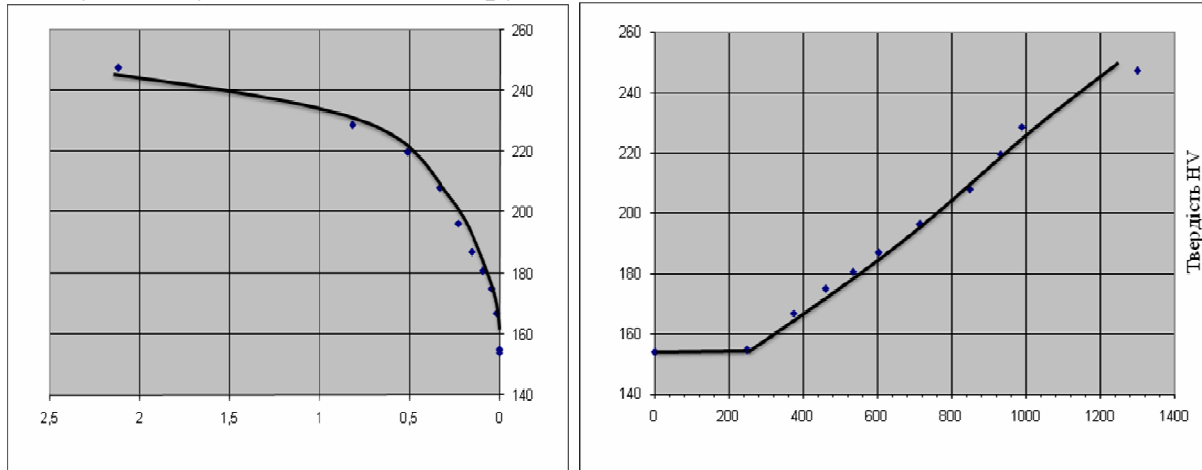
Діаграми пластичності

Під пластичністю розуміють здатність матеріалу до формозміни без руйнування у вигляді макроскопічного порушення суцільності. Діаграмою пластичності називають залежність пластичності від показника, що характеризує жорсткість схеми напруженого стану. Діаграми пластичності можуть бути побудовані за результатами випробувань стандартних зразків при простих видах деформування (розтяг, стиск та кручення) з подальшою їх апроксимацією [1,7].

Вагомий внесок у методику побудови діаграм пластичності (на основі дослідів в умовах спільного розтягу і кручення, випробування зразків у камері високого тиску й ін.) і їхньої апроксимації внесли Г. Д. Дель [5] і В. А. Огородніков [1,2]. В області зміни показника напруженого стану $-3 \leq \eta \leq 1$ діаграми пластичності задовільно описується рівнянням, запропонованим Г. Д. Делем [5]:

$$e_p = \frac{e_p(\eta = 0)e_p(\eta = -1)\exp(-\eta)}{e_p(\eta = -1) + \eta[e_p(\eta = -1) - 2,72e_p(\eta = 0)]},$$

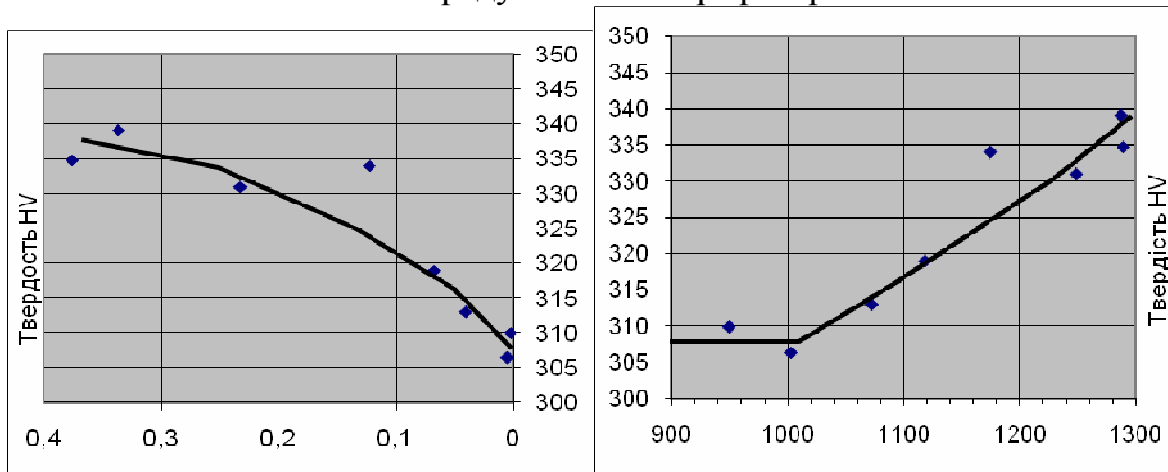
де $e_p(\eta = 0)$ і $e_p(\eta = -1)$ - пластичність матеріалу відповідно при осьовому стиску зі змащенням і крученні.



Деформації

Напруження, МПа

Рис.3 Градувальний графік зразка ВТ1-0



Деформації

Напруження, МПа

Рис.4 – Градувальний графік зразка ВТ6

В області зміни показника $-1 \leq \eta \leq 2$ діаграму можна апроксимувати рівнянням [1]:

$$e_p(\eta) = e_p(\eta = 0)\exp(-\eta\lambda_i), \tag{4}$$

де λ_i - коефіцієнт чутливості пластичності до схеми напруженого стану; λ_i ($i=1,2$). В області зміни показника напруженого стану $0 \leq \eta \leq 2$ коефіцієнт чутливості - $\lambda_1 = \ln \frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)}$. В області $-1 \leq \eta \leq 0$ коефіцієнт чутливості -

$$\lambda_2 = \ln \frac{e_p(\eta=-1)}{e_p(\eta=0)}.$$

Слід відмітити, що коефіцієнти λ_i в рівнянні (4) мають фізичний зміст – вони являють собою лінеаризовані криві, тангенс кута нахилу яких до осі η характеризує чутливість пластичності до рівня гідростатичного тиску.

В роботах [1, 7] показано, що на граничні деформації також впливає третій інваріант тензора напружень. Тобто для розрахунку деформівності в умовах об'ємного напруженого стану необхідно враховувати відповідні показники. Зокрема, в [7] запропоновано вводити в розгляд показник Надаї-Лоде μ_σ . В цьому випадку поверхні граничних деформацій задовільно описуються функцією [7]

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = e_p(0,0) \exp(\lambda_2 \mu_\sigma - \lambda_1 \eta).$$

З використанням методики [7], на основі залежностей $e_p(\eta)$ (рис.5), отриманих експериментально для титанових сплавів ВТ1-0 і ВТ6 отримані такі значення коефіцієнтів апроксимації:

для ВТ1-0 - $e_p(0,0) = 1,15, \lambda_1 = 0,34, \lambda_2 = 0,27$;

для ВТ6 - $e_p(0,0) = 0,272, \lambda_1 = 0,149, \lambda_2 = 0,168$.

На рис. 6, 7 показані діаграми пластичності титанових сплавів ВТ1-0 та ВТ6, що враховують об'ємність напруженого стану.

Висновки:

Криві течії титану з великою ступеню кореляції апроксимуються степеневими функціями. Обидва матеріали досить інтенсивно зміцнюються при пластичному деформуванні.

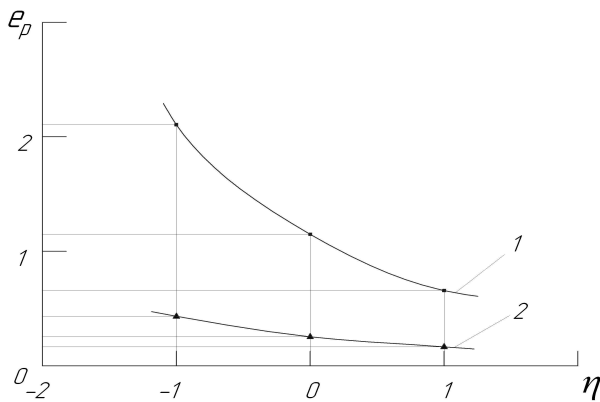


Рис.5 – Діаграма пластичності титанових сплавів: 1 - ВТ1-0, 2 - ВТ6

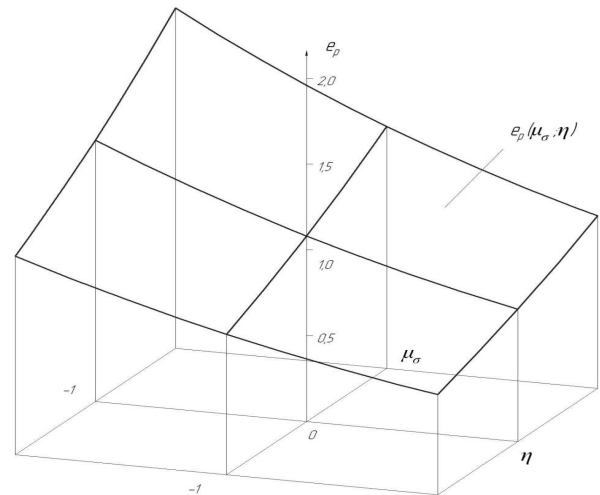


Рис. 6 – Об'ємна діаграма пластичності матеріалу ВТ1-0

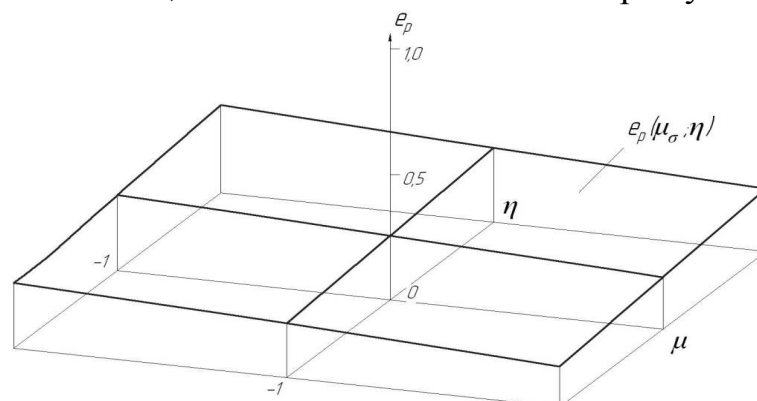


Рис. 7 – Об'ємна діаграма пластичності ВТ6

Залежність твердості зміцненого титану від інтенсивності напружень має залежність, близьку до лінійної. Статистичний розкид даних для титану ВТ6 досить суттєвий, що пов'язано зі структурними особливостями матеріалу та умовами експерименту.

Титан ВТ1-0 має велику пластичність в області всебічного стиску, що дає можливість проводити його технологічну обробку в холодному стані до великих значень накопичених деформацій. Титан ВТ6 виявляє малу чутливість пластичності до зміни схеми напруженого стану, тому при його технологічній обробці необхідно уникати великих локальних деформацій.

Література: 1. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / Огородников В.А.; – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с. 2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В.А.; – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с. 3. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов / Смирнов-Аляев Г.А.; – Л.: Машиностроение, 1968. – 272 с. 4. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение / Колмогоров В.Л.; – М.: Металлургия, 1970. – 229 с. 5. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Дель Г.Д.; – М.: Машиностроение, 1971. – 200с. 6. Грушко А.В. Построение кривых течения материалов с учетом шейкообразования / А.В. Грушко, В.А. Огородников, В.И. Музычук // Кузнечно-штамповочное производство «Обработка металлов давлением». – 2007. - №8. – С.16-20. – ISSN 0234-8241. 7. Сивак И.О. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии / И.О.Сивак, Е.И. Коцюбивская // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: тематичн. зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА. – 2007. – С. 73-76.

УДК 621.983.044:003.13

М.А. ГОЛОВАНОВА, канд. техн. наук, доц., НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

М.К. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, с.н.с., НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Д.Н. ТКАЧЕНКО, аспирант, НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Изложено краткое описание двух вариантов технологических процессов с применением электрогидроимпульсной штамповки. Проведен комплексный анализ вариантов для определения интегрального коэффициента эффективности и выбора оптимального процесса по критериям прямых и косвенных показателей

Викладено короткий опис двох варіантів технологічних процесів з застосуванням електрогідроімпульсного штампування. Проведено комплексний аналіз варіантів для визначення інтегрального коефіцієнта ефективності та вибору оптимального процесу за критеріями прямих та непрямих показників