

УДК 539.4

О. І. Моргун, О.В. Тимошенко, В.В. Коваль

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

**ВПЛИВ ПОШКОДЖУВАНOSTI НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СПЛАВУ Ti-6Al-4V ПРИ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

На сьогоднішній день значного поширення у всіх сферах так чи інакше пов'язаних зі створенням нових елементів конструкцій, вузлів та агрегатів дістали аддитивні технології. Зокрема, досить поширеним є використання технологій 3D друку саме для металевих матеріалів при виготовленні різноманітних імплантів, оскільки ця технологія дозволяє отримати протези досить складної форми, при цьому повністю врахувавши особливості їх експлуатації та використання. Проте, враховуючи особливості виготовлення, постає питання стосовно величин механічних характеристик матеріалу що використовується для 3D друку та його поведінки за умов виникнення пластичних деформацій.

В даній роботі було розглянуто титановий сплав Ti-6Al-4V, що є досить поширеним у використанні у сфері протезування. У більшості випадків, Ti-6Al-4V згадується як аналог титанового сплаву BT6, як подібний за хімічним складом. Таким чином, враховуючи особливості використання, було б цікаво порівняти ці матеріали з точки зору їх механічних властивостей.

Механічні властивості сплаву Ti-6Al-4V були визначені експериментально та розраховувалися як середнє арифметичне значення характеристик отриманих на трьох зразках та представлені у таблиці 1. Разом з ними в цій таблиці наведено значення основних механічних характеристик сплава-аналога BT6, відповідно до [1], що дозволяє провести порівняльний аналіз цих матеріалів.

Таблиця 1**Механічні характеристики матеріалів**

Матеріал	E, МПа	σ_B , МПа	δ , %
Ti-6Al-4V	$1,18 \times 10^6$	1010	7,2
BT6 [1]	$1,15 \times 10^6$	835-1100	6-10

Окремим питанням в роботі розглядалося визначення впливу рівня пружно-пластичного деформування на механічні властивості титанового сплаву Ti-6Al-4V. Як відомо, одним з підходів, що дозволяє оцінити величину цього впливу є введення у розгляд параметра пошкоджуваності матеріалу, який, у більшості випадків, приймається у вигляді скалярної величини. Оскільки сам параметр пошкоджуваності вводиться на мікро рівні матеріалу, та характеризується сукупністю мікронесуцільностей та пор, то його точна оцінка на макро рівні є складною задачею. Ця задача переважно, розглядається через оцінку макрохарактеристик матеріалу, що є простими при визначенні та можуть достатньо точно відображати зміни на мікро рівні. В даній роботі параметр пошкоджуваності визначався виходячи з гіпотези про еквівалентність пружної енергії деформування відповідно до залежності [2]:

$$D_E = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}}{E}}, \quad (1a)$$

або, запишемо за аналогією

$$D_v = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{\nu}}{\nu}} \quad (16)$$

де E , $\tilde{E}$ – модуль Юнга матеріала для його вихідного та пошкодженого стану, ν , $\tilde{\nu}$ – коефіцієнт Пуассона для вихідного та пошкодженого стану матеріалу. Таким чином, пошкоджуваність матеріалу може бути представлена у вигляді функції деяких параметрів -

механічних характеристик матеріалу. Вказані параметри визначалися експериментально: початкові значення механічних характеристик були розраховані відповідно до вимог ДСТУ, характеристики пошкодженого матеріалу були отримані для ділянок розвантаження зразка, де поведінку матеріалу можна розглядати як пружно [3].

На рисунку 1 наведено експериментальні залежності зміни модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона від величини відносної деформації зразка при його пружно-пластичному деформуванні.

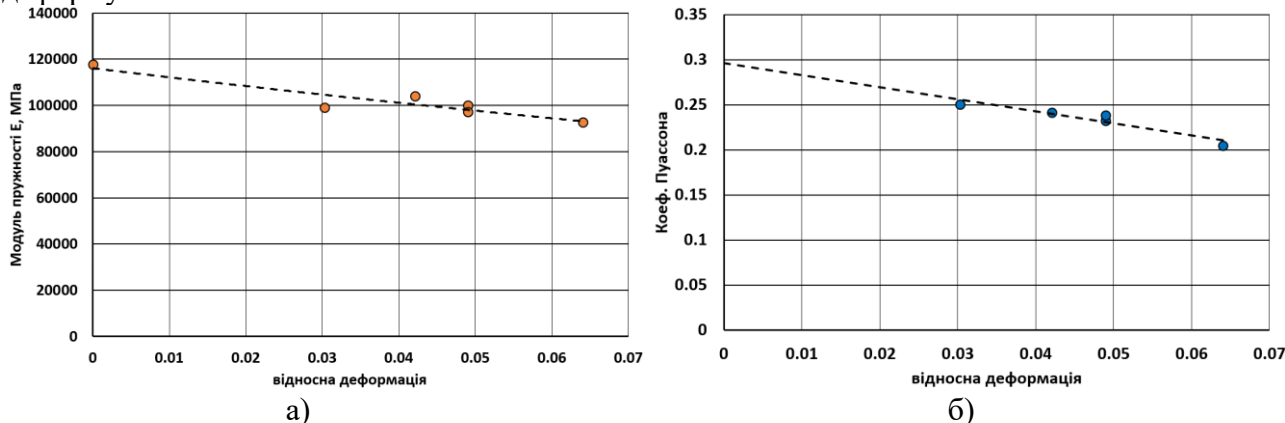


Рис. 1. Зміна модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона

Дані, представлені на рисунку 1, можуть бути апроксимовані за допомогою лінійних залежностей у вигляді:

$$\begin{cases} \tilde{E} = -363735\varepsilon + 115983 \\ \tilde{\nu} = -1.3425 + 0.2965\varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

що дають змогу представити вирази для розрахунку параметра пошкоджуваності як функцію від відносної деформації зразка:

$$\begin{cases} D_E = 1 - \sqrt{1 - 3.1\varepsilon} \\ D_\nu = 1 - \sqrt{1 - 4.5\varepsilon} \end{cases} \quad (3)$$

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати криві зміни механічних характеристик матеріалу від рівня його пружно-пластичної деформації. Так, було виявлено падіння модуля Юнга у межах до 20% та коефіцієнта Пуассона у межах до 31% від їх початкових значень.

2. За результатами досліджень, ґрунтуючись на двох різних підходах щодо трактування параметра пошкоджуваності, були отримані залежності, що пов'язують параметр пошкоджуваності та величину відносної деформації матеріалу.

3. Випробування дозволили провести порівняння механічних характеристик матеріалів Ti-6Al-4V та ВТ6.

Список використаних джерел

1. Марочник сталей та сплавів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.splav-kharkov.com/main.php>.
2. Sylvie C. Application of a damage model to an aluminium alloy / C. Sylvie, M. H. Anne, C. Serge. // International Journal of Damage Mechanics. – 2003. – №12. – С. 5–30.
3. Тимошенко О. В. Вплив виду напруженого стану на критичне значення пошкоджуваності для конструкційних матеріалів при пружно-пластичному деформуванні / О. В. Тимошенко, В. В. Коваль, Р. В. Кравчук. // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2011. – №63. – С. 103–107.