

Титаренко В. В.

(НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро)

**ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ЮНГА КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ МЕТАЛІВ
З КУБІЧНОЮ ГРАТКОЮ**

E-mail: tytarenko.valentina@gmail.com

Розвиток фізики міцності та пластичності пов'язане з теоретичним прогнозуванням властивостей міцності матеріалу. Теоретичні значення властивостей міцності, зокрема модуля пружності, необхідні для вирішення багатьох завдань фізики міцності і пластичності, наприклад, завдання Гріффітса. Крім того, існуючі методи розрахунку модуля Юнга обмежуються деякими середніми значеннями та не дозволяють визначити модулі Юнга для різних кристалографічних напрямків $[hkl]$.

Міцні властивості будь-якого кристалічного матеріалу залежать, в першу чергу, від сил міжмолекулярної або міжатомної взаємодії, які можна порівняти з модулем пружності. Насамперед, це стосується монокристалічних зразків, у яких руйнування кристала відбуваються лише вздовж певних площин і пов'язані з розривом зв'язків у кристалічній комірці. У той же час, для полікристалічних матеріалів руйнування можуть проходити міжфазними границями.

У відомих методах розрахунку модуля Юнга основним є визначення сил чи енергії зв'язку між найближчими атомами, іонами чи молекулами залежно від типу кристалічної структури. Модуль Юнга визначали з відношення зміни повної енергії кристалічної ґратки у певному кристалографічному напрямку (ΔW_{hkl}) до зміни об'єму в даному кристалографічному напрямку (ΔV_{hkl}):

$$E_{hkl} = \frac{\Delta W_{hkl}}{\Delta V_{hkl}}. \quad (1)$$

Зміна повної енергії кристалічної ґратки визначається як різниця між повною енергією кристала в деформованому стані вздовж напрямку $[hkl]$ (W_{hkl}) та його повною енергією у недеформованому стані (W_{total}).

$$\Delta W_{hkl} = |W_{total} - W_{hkl}|. \quad (2)$$

Для розрахунку повних енергій недеформованого та деформованого стану кристала у напрямку $[hkl]$ проведено розрахунки за допомогою пакета програм GAUSSIAN 16. Моделювання деформації розтягування кристала (рис. 1) проводили за різними кристалографічними напрямками, для кожного з яких визначала геометрична конфігурація з об'ємом V_{hkl} . За літературними даними пружна деформація у металах не має перевищувати десяті частки відсотка. У розрахунках кристал розтягували на 0,1 % в одному із кристалографічних напрямків $(a + 0,001a)$, при цьому інші параметри кристалічної ґратки залишались незмінними.

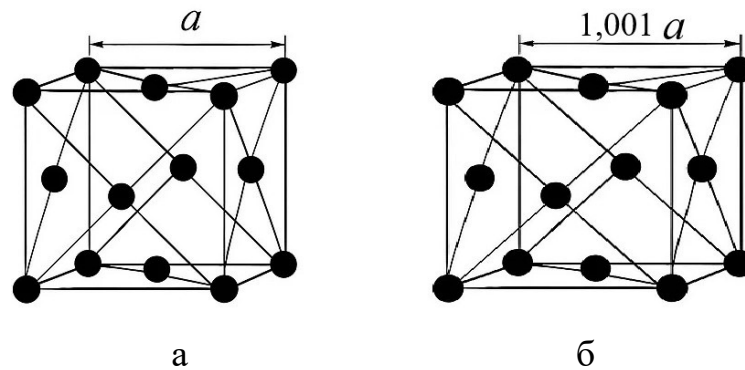


Рис. 1. Розтягування ГЦК ґратки у напрямку $[100]$

Для експериментальної перевірки розрахованих значень модуля Юнга міді та нікелю та дослідження пружних властивостей КЕП було використано метод вигину підкладки, який ґрунтується на вимірюванні механічної напруги, що виникає в нанесеній на підкладку (пластину) плівці та призводить до вигину підкладки.

Металеві покриття товщиною 20-25 мкм осаджували з водних розчинів електролітів наступних складів, в г/л: електроліт нікелювання: $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 300, H_3BO_3 – 30, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – 50, pH – 5; електроліт міднення: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 250; H_2SO_4 – 75, pH = 0-1. У якості вуглецевого наноматеріалу використовували наночастинки ультрадисперсного алмазу (УДА), концентрація яких у водному розчині електроліту становила 2 г/л. Осадження проводили при температурі 293...298 К прямокутними імпульсами струму з частотою (f) 50 Гц, шпаруватістю

імпульсів (Q) 50, тривалістю імпульсів 0,4 мс і середньою густиною струму 100 А/м^2 для нікелювання та 200 А/м^2 для міднення. Порівняння проводили з композиційними покриттями, отриманими за допомогою постійного струму. Для дослідження тонкої структури плівок використали рентгенівське обладнання – дифрактометр ДРОН-2.0 із застосуванням сцинтиляційної реєстрації рентгенівських променів. Зйомка на фазовий склад плівок здійснювалася в монохроматизованих Cu і Co K α -випромінюваннях.

Таблиця 1 – Значення модуля Юнга нікелю, міді та КЕП на їх основі

Метал		a , нм	ρ , см ⁻³	W_{total} , 10 ⁻¹⁹ Дж	[hkl]	V_{hkl} , 10 ⁻³⁰ м ³	ΔV_{hkl} , 10 ⁻³⁰ м ³	W_{hkl} , 10 ⁻¹⁹ Дж	ΔW_{hkl} , 10 ⁻¹⁹ Дж	E_{hkl} , ГПа	E_{exp} Г Па
Ni	Моно-кристал	0,352	---	21117	[100]	43,810	0,0438	21117	0,081	185	---
					[110]	43,807	0,0439	21116	0,093	211	
	Постій-ний струм	0,352	$1,3 \times 10^{14}$	21115	[100]	43,660	0,0436	21115	0,072	166	172
					[110]	43,658	0,0440	21115	0,083	189	
Ni+УДА	Постій-ний струм	0,352	$7,9 \times 10^{14}$	21115	[100]	43,660	0,0436	21115	0,073	168	180
					[110]	43,658	0,0440	21115	0,083	190	
Ni+УДА	Імпульс-ний струм: f=50Гц, Q=50	0,351	$8,5 \times 10^{14}$	21116	[100]	43,400	0,0430	21116	0,078	181	194
					[110]	43,309	0,0443	21116	0,091	206	
Cu	Моно-кристал	0,362	---	22967	[100]	47,290	0,0472	22967	0,045	95	---
					[110]	47,289	0,0474	22967	0,057	121	
	Постій-ний струм	0,361	$0,8 \times 10^{10}$	22967	[100]	47,210	0,0471	22967	0,038	80	82
					[110]	47,210	0,0467	22967	0,049	105	
Cu+УДА	Постій-ний струм	0,361	$3,5 \times 10^{10}$	22967	[100]	47,210	0,0471	22967	0,039	84	86
					[110]	47,210	0,0467	22967	0,051	110	
Cu+УДА	Імпульс-ний струм: f=50Гц, Q=50	0,361	$7,0 \times 10^{10}$	22966	[100]	47,110	0,0471	22966	0,043	92	107
					[110]	47,113	0,0472	22966	0,057	120	

У табл. 1 наведено значення модуля Юнга для міді та нікелю з ГЦК ґратками, розраховані за формулою (1) для монокристалів та реальних кристалів (E_{hkl}), та проведено порівняння з експериментальними даними (E_{exp}).

З табл. 1 видно, що результати розрахунку модуля Юнга з використанням квантово-механічного підходу добре узгоджуються з експериментальними значеннями. З іншого боку, простежується залежність впливу дефектності структури на значення модуля Юнга. Зростанням густини дислокацій (ρ) призводить спочатку до зменшення, а потім до збільшення модуля Юнга, що добре корелює з гіпотетичною діаграмою Одингга.

Треньов М. С. Пономаренко О. І.

(НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)

**ФОРМУВАННЯ НОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМІНІЄВИХ ВИЛИВКІВ
ЗА РАХУНОК НАНОСТРУКТУРНИХ ДОБАВОК**

E-mail: djekgor4676@gmail.com

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується стрімким зростанням вимог до експлуатаційних властивостей конструкційних матеріалів. Особливо це стосується тих галузей, де поєднання малої маси та високої міцності має вирішальне значення: авіаційної та космічної техніки, автомобілебудування, оборонної сфери та спорту. У цих секторах навіть незначне зменшення ваги деталей дає суттєву економію палива, підвищує енергоефективність і збільшує довговічність механізмів.

Проте легкі метали, насамперед алюміній та його сплави, незважаючи на беззаперечні переваги, мають низку вроджених недоліків. До них належать пористість, усадкові дефекти, схильність до залишкових напружень і деформацій під дією навантажень. Такі фактори можуть знижувати надійність і спричиняти передчасне руйнування конструкцій. Тому актуальною стає потреба у пошуку нових підходів, які дозволяють значно підвищити фізико-механічні характеристики металів, не збільшуючи їх масу.