

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРНОГО ЕФЕКТУ ТА ПОЧАТКОВИХ УМОВ НА ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ МІДІ**

**Жихарєв В. В., Шаповалова М. І., Водка О. О., Місюра С. Ю.**

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Розмірні ефекти, що виникають при переході до мікро- і наномасштабів, є предметом особливої уваги сучасного матеріалознавства. Необхідність забезпечення точного прогнозу механічної поведінки матеріалів у мікроелементах сучасних технологічних пристроїв зумовлює актуальність цього питання. Мідь, як широко використовуваний матеріал, має складну структуру, яка суттєво впливає на її пружні властивості. Існуючі дослідження обмежені або надмірною ідеалізацією структури, або недостатньою статистичною обґрунтованістю результатів, що не дозволяє робити надійні висновки для інженерного застосування.

Метою цієї роботи є всебічне чисельне моделювання впливу геометричних параметрів зразка та концентрації початкових точок центрів кристалізації на пружні характеристики полікристалічної міді. Для досягнення мети застосовано програмний САЕ – комплекс, в якому реалізовано моделі кубічної геометрії зі сторонами 5–20 мм та концентраціями початкових точок 5–25%. Для кожної комбінації параметрів виконано 100 симуляцій з варіативними граничними умовами. У моделюванні враховано анізотропну природу матеріалу, що додатково підвищує точність відображення фізичних процесів.

Отримані результати свідчать, що зі збільшенням розміру зразка ( $S$ ) і концентрації ( $\Psi$ ) початкових точок спостерігається зменшення дисперсії пружних характеристик. Найвища стабільність властивостей зафіксована при  $S = 20$  мм і  $\Psi = 25\%$ , де відхилення не перевищують 0.1–0.3%. Натомість при низьких концентраціях (5%) спостерігалися максимальні флуктуації до 1.91%, що пов'язано з підвищеною неоднорідністю матеріалу.

На підставі отриманих результатів рекомендовано:

- проектуванні мідних компонентів для мікросистемної техніки враховувати не лише середні значення механічних властивостей, а й їхню варіаційність при зміні розмірів зразка;
- забезпечити оптимальну концентрацію початкових точок (не менше 15%) у процесі кристалізації для підвищення однорідності структури;
- використовувати анізотропні чисельні моделі у програмних середовищах для точного прогнозування властивостей матеріалів у реальних умовах навантаження.

Чисельне моделювання показало, що розмір зразка і концентрація початкових точок нелінійно впливають на пружні властивості полікристалічної міді. Зі збільшенням цих параметрів зростає однорідність механічного відгуку, що проявляється у зменшенні дисперсії модуля пружності, модуля зсуву та коефіцієнта Пуассона.