

ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРУЖЕНОГО СТАНУ І ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Водка О.О.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Харків, Україна.

При моделюванні механічної поведінки та оцінки напружено-деформованого стану (НДС) різних конструкцій часто виникає необхідність розгляду фрагмента конструкції на макрорівні [1-3]. Ця необхідність, часто викликана тим, що матеріали на мікрорівні мають принципово відмінні механічні властивостями. Для металевих матеріалів це проявляється в анізотропії механічних властивостей окремих зерен, випадкової орієнтації осей анізотропії, розкидом їх розмірів. Таким чином, ізотропний на макрорівні матеріал на мікрорівні має значні розкиди механічних властивостей, що тягне за собою значні розкиди в параметрах напруженого стану.

Для дослідження розкидів локального напруженого пропонується скористатися підходом багаторівневого моделювання [4]. Так механічне поведінка складної конструкції розглядається на макрорівні з урахуванням діючих навантажень і граничних умов. При цьому властивості матеріалу приймаються як ізотропні. Далі визначаються найбільш навантажені ділянки конструкції, які розглядаються на мікрорівні. Граничні умови для вирішення завдання на мікрорівні визначаються виходячи з умов напруженого стану в околі області, що розглядається на мікрорівні.

Моделювання на мікрорівні проводиться шляхом побудови мікроструктури матеріалу, яка будується на основі розбиття (мозаїки) Вороного (рис. 1). В рамках цієї процедури репрезентативний обсяг випадковим чином розбивається на зерна, і в зернах задається випадкова орієнтація осей анізотропії в просторі. Така система є досить складною, тому для визначення НДС в ній раціонально використовувати метод скінчених елементів.

Для оцінки ймовірнісних характеристик НДС у роботі використовувався метод Монте-Карло. Відповідно для якого розрахунковий об'єм генерувався 100 разів з випадковими центрами зерен та випадковою орієнтацією осей кристалів. Після чого проводився розрахунок напружено-деформованого стану. Для кожного розрахунку тензори напружень $\langle \sigma_{ij} \rangle$ та деформацій $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ осереднювались відповідно до (1).

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{ij} \rangle &= \frac{1}{V} \iiint_V \sigma_{ij} dV \\ \langle \varepsilon_{ij} \rangle &= \frac{1}{V} \iiint_V \varepsilon_{ij} dV \end{aligned} \quad (1)$$

За отриманими тензорами $\langle \sigma_{ij} \rangle$ та $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ визначались еквівалентні пружні константи: модуль пружності та коефіцієнт Пуассона. Відповідно до центральної граничної теореми, середні значення напружень, деформацій та пружних модулів підкорюються нормальному закону розподілу ймовірності.

Обробляючи отримані параметри НДС та пружні модулі методами математичної статистики можна визначити ймовірні характеристики напружень, переміщень і деформацій для найбільш навантажених елементів конструкції. Отримані ймовірнісні характеристики можна використовувати як вихідні дані для ймовірнісних моделей втоми, повзучості та іншого.

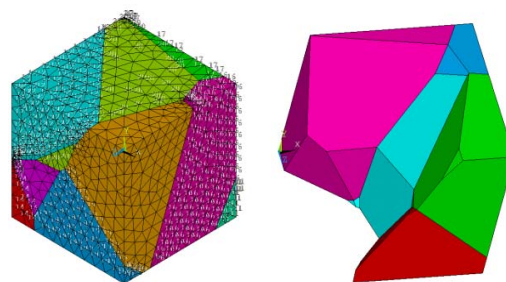


Рис.1. – Представлення полікристалічного матеріалу за допомогою розбиття вороного.

У роботі виконано дослідження ймовірнісних характеристик напруженого стану та пружних властивостей матеріалу. Побудована SE-модель мозаїки Вороного. Виконано розрахунок НДС моделі. Отримано оцінки ймовірнісних характеристик напружень. Порівняння вихідних значень модуля пружності і коефіцієнта Пуассона з отриманими в результаті роботи показало хорошу відповідність результатів.

Результати по визначенню ізотропних пружних констант для чистої міді показали, що відомі результати лежать всередині довірчого інтервалу, отриманого в результаті розрахунку, що свідчить про коректність побудованих моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Honeycombe R.W.K. The Plastic Deformation of Metals / R. W. K. Honeycombe – E. Arnold, 1984. – 483с.
2. Nye J.F. Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices / J. F. Nye. – Clarendon Press, 1985. – 329с.
3. Ozhoga-Maslovskaja O. Micromechanical simulation of grain boundary cavitation in copper considering non-proportional loading / O. Ozhoga-Maslovskaja, K. Naumenko, H. Altenbach, O. Prygorniev // Comput. Mater. Sci. – 2015. – Т. 96 – 178–184с.
4. Fritzen F. Periodic three-dimensional mesh generation for crystalline aggregates based on Voronoi tessellations / F. Fritzen, T. Böhlke, E. Schnack // Comput. Mech. – 2008. – Т. 43 – № 5 – 701–713с.