

б) доповнюють класні лабораторні роботи тим матеріалом, що ніяк не може бути виконані у класі (ряд тривалих спостережень, спостереження природних явищ тощо);

7) привчають учнів до свідомої, цілеспрямованої праці.

Але, необхідно відзначити, що домашній експеримент не єдиний спосіб підвищення інтересу до предмета. Поєднання різноманітних форм і методів роботи сприяють підвищенню творчої активності учнів, стимулюють їх інтерес до вивчення фізичної науки, дають міцні знання, вміння і навички в усіх галузях навчання фізики.

Список використаних джерел

1. Моклюк М.О. Навчальний експеримент з фізики в старшій школі: навчально-методичний посібник / М.О. Моклюк. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. - 154 с.
2. Заболотний В.Ф. Методика навчання фізики. Загальні питання / В.Ф. Заболотний. – Вінниця: «Едельвейс і К», 2009. – 112 с.

PEDAGOGICAL CONDITIONS AND ORGANIZATION OF THE STUDY OF DOMESTIC PHYSICAL EXPERIMENTS

Abstract. The article deals with the pedagogical conditions for conducting a home physical experiment by students. The basic requirements for organizing a home physical experiment teacher are described.

Keywords: experiment, physical experiment, pedagogical conditions, home physical experiment, home experimental work.

Анатолій Білюк, Анатолій Білюк, Сергій Нестерук, Ірина Винник

ДЕФЕКТИ УПАКОВКИ І СУБСТРУКТУРНЕ ЗМІЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. В роботі представлені результати досліджень впливу дефектів упаковки на механізм полігонізації в конструкційних матеріалах.

Ключові слова: дислокації, дефекти упаковки, вектор Бюргерса, субструктура, субзерно.

Постановка проблеми. Згідно сучасних уявлень фізики твердого тіла міцність і пластичність матеріалів в значній мірі обумовлені їх дислокаційною структурою [1, 2, 3]. Дислокації та дефекти упаковки в матеріалі під дією зовнішніх полів (механічних навантажень, температури, опромінення тощо) і їх взаємодією одна з одною утворюють різні просторові конфігурації (комірки, сітки, стінки тощо). Основною характеристикою дефекту упаковки – є енергія дефекту упаковки, яка сильно впливає на схильність матеріалу до полігонізації, характер деформування твердих розчинів, їх поведінку при відпалі, процесу двійкування тощо [4, 5, 6]. Утворення дислокаційних сіток та стінок, що призводять до ділення кристалу на субзерна, називається полігонізацією. Полігонізація включає процеси формування, росту і переорієнтації субзерен в кристалах, що містять дислокації одного знаку, а також їх дефекти упаковки [7, 8]. При цьому субструктура реальних кристалів змінюється, а зерниста структура полікристалів – ні.

Мета. Проаналізувати вплив дефектів упаковки на утворення субструктури в конструкційних матеріалах.

Виклад основного матеріалу. Кінетика полігонізації складна, оскільки цей процес потребує кооперативного переміщення групи лінійних дефектів, причому зміщення навіть окремих змішаних дислокацій доводиться розглядати як об'єднання ковзання в площині зсуву. Для математичного опису кінетики полігонізації потрібно виділити найбільш повільну ланку процесу.

Полігонізація зводиться до утворення субзерен за рахунок термічно активної перебудови надлишкових межових дислокацій одного знаку (рис. 1).

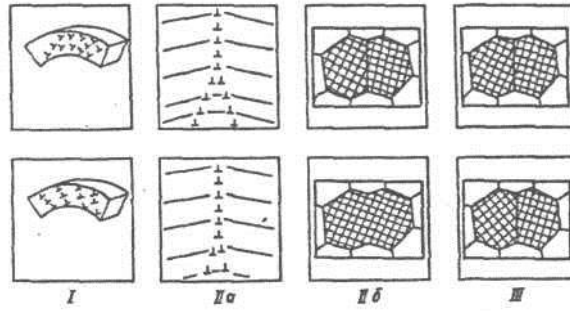


Рис. 1. Схема утворення субзерен

Цей процес можна спостерігати в найбільш чистому вигляді при нагріві пластично зігнутих монокристалів. Його рухомою силою є зниження вільної енергії системи за рахунок зменшення величини внутрішніх пружних напруг σ і при впорядкуванні дислокацій шляхом переходу [9]:

$$\frac{d\sigma_i}{dt} = -K_0 \frac{\sigma_i^3}{kT} e^{-E/RT} = \frac{D}{kT} C_j \sigma_i^3, \quad (1)$$

де $-E = E_f + E_m + E_j$ при низьких температурах, а $-E = E_f + E_m + E_j = E_{CD}/N_f$ – при високих.

Після інтегрування (1), отримаємо

$$\sigma_i^{-2} = C + Bt. \quad (2)$$

Схема, яка запропонована Каном, вказує на те що при перших умовах пластичної деформації виникають структури, всередині яких щільність дислокацій і дефектів упаковки, відстань між двома частинними дислокаціями яких описується формулою (3), низька:

$$d = \frac{G(b_1 b_2)}{2\pi\gamma}, \quad (3)$$

де γ – енергія дефекту упаковки, d – відстань між двома частинними дислокаціями, G – модуль зсуву, b_1 і b_2 – вектори Бюргерса частинних дислокацій.

Так, енергія дефекту упаковки для алюмінію $4 \cdot 10^{-11}$ Дж/м², а для міді – $2 \cdot 10^{-11}$ Дж/м².

Після пластичної деформації проходить впорядкування структури цих субграниць, які приймають вигляд дислокаційних сіток (рис. 2).

Полігонізація другого механізму, за термінологією Крюсара, обумовлена зростанням субзерен з поступовою зміною їх розорієнтації. Зростання можна описувати з допомогою декількох механізмів.



Рис. 2. Субструктура алюмінієвого сплаву

Після завершення першого механізму полігонізації виникають непаралельні субграниці нахилу з межових дислокацій (рис. 3).

У місцях перетину таких субграниць виникають «потрійні точки». Швидкість процесу переміщення потрійної точки, що контролюється сходженням межових дислокацій при достатній щільності порогів [9] і визначається виразом (4):

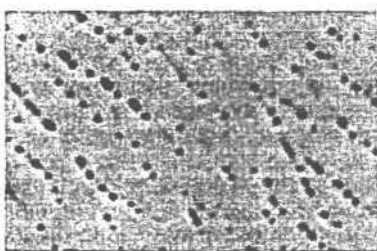


Рис. 3. Дислокаційна структура перетину субграниць

$$\frac{dl}{dt} = \frac{b^3 D E_0 B}{kT} N_d, \quad (4)$$

де – D – коефіцієнт об'ємної самодифузії; b – вектор Бюргерса; B – коефіцієнт форми; N_d – щільність дислокацій по субграницях; E_0 – константа.

Час t_0 потрібний для подвоєння товщини субзерна визначається за формулою

$$t_0 = \frac{l_0 dt}{dl} = \frac{l_0 kT}{b_3 D E_0 N_d B} = \frac{l_0 kT}{\theta_0 b^2 D E_0 B}. \quad (5)$$

У випадку слабдеформованих монокристалів концентрація потрійних точок C_y невелика і швидко зменшується до нуля в ході процесу.

Кінетика процесу описується співвідношенням типу:

$$\frac{L}{L_0} = \left[1 - C_y f\left(\frac{l}{l_0}\right) \frac{2DbBt}{kT} \right]^{-1}, \quad (6)$$

де L, L_0 – середня і початкова товщина субзерен; $f\left(\frac{l}{l_0}\right)$ – деяка функція по розподілу субзерен по розмірах l_0 напрямку зросту.

На початкових стадіях процесу зміна L апроксимується: $L \lg t$.

При сильній пластичній деформації виникає множина непаралельних субграниць. При цьому концентрація потрійних точок дуже вагома і вже не є лімітуючим фактором в кінетиці процесу, який описується співвідношенням:

$$\lg\left(\frac{L}{L_0}\right) = E_0 B N_d \frac{b^2 D}{kT} \lg\left(\frac{1}{1 - C_y}\right) t. \quad (7)$$

Така кінетика спостерігалась при подрібненні гнутих кристалів сапфіру.

Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що існує і інший шлях росту субзерен – коалесценція (злиття сусідніх субзерен), яка можлива лише після вирівнювання їх взаємного розміщення.

Третій механізм полігонізації. Це зміна взаємного розміщення субзерен без зміни їх розміру і форми. Це явище вперше спостерігалось при подрібненні опромінених нейтронами монокристалів алюмінію, міді, молібдену і вольфраму. При нагріванні до 1400°C монокристалів вольфраму, попередньо опромінених при 200°C , призводить до спалювання дислокаційних петель міжвузлевого типу з одночасним збільшенням розорієнтації субзерен без зміни їх форми і розміру. Сукупність отриманих результатів дозволила зробити висновок про те, що своєрідний розвиток полігонізації в опромінених металах зводиться до збільшення розорієнтування субзерен без збільшення їх розміру, обумовлене взаємодією дислокаційних петель із субграницями в процесі підвищення температури.

Цей ефект зростає із, збільшенням дози опромінення q_k , і зі збільшенням розміру L субзерен

$$\Delta\theta = L q_k, \quad (8)$$

оскільки при цьому зростає сумарна довжина петель дислокацій, що приходиться на одиницю площі субграниці.

Висновки. 1. Таким чином в деформованих металевих кристалах важко очікувати появу даного механізму в чистому вигляді. Але деформація металів при підвищених температурах призводить до виникнення великого числа петель дислокацій, особливо в результаті імпульсивної деформації, або термоциклювання в полі зовнішніх напруг (ТЦО в ПЗН) [10,11]. Тому при подрібненні монокристалів виникає накладання всіх трьох механізмів полігонізації.

2. Енергія дефекту упаковки сильно впливає на схильність матеріалу до полігонізації. Чим менша енергія дефекту упаковки, тим більша ширина розщеплених дислокацій і, тому важче проходять процеси переповзання і поперечного ковзання дислокацій. Тому в алюмінії, який має високу енергію дефекту упаковки і, відповідно слабо розщеплені дислокації, полігонізація йде порівняно легко, а в міді – важче.

3. Зниження енергії дефекту упаковки полегшує двійкування. Це має важливе практичне значення, оскільки легування, що сприяє полегшенню двійкуванню, використовується як метод підвищення пластичності крихких металів, в яких деформація ковзання надзвичайно мала.

Список використаних джерел

1. Штремель М.А. Прочность сплавов, дефекты решетки. / М.А. Штремель. – М.: Металлургия, 1982. – 277 с.
2. Юшкевич П.М. Влияние дефектов упаковки на пластичность металлов и сплавов с ГЦК-решеткой / П.М. Юшкевич, О.П. Юшкевич // ФММ. – 1986. – Т.66. - №5. – С.1022-1025.
3. Елагин В.И. Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии / В.И. Елагин // Мех. и терм. обраб. металлов. – 2007. - №9. – С.3-11.
4. Цай К.В. Анализ микромеханизмов локализации деформаций в облучении нейтронами стали 21Х18Н10Т // Известия НАН РК, сер.: физико-математическая. – 2010. - №2. – С.18-27.
5. Петров Ю.Н. Влияние легирующих элементов на структурную чувствительность энергии дефекта упаковки в нержавеющей сталях. /Ю.Н. Петров, Ю.Т. Рыжков // Металлофизика. – 1983. – Т.8. - №6. – С. 66-68.
6. Максимкин О.П. Дефекты упаковки, их энергия и влияние на свойства облученных металлов и сплавов. – Алматы. – 2010. – 70с.
7. Белоус М.В. Физика металлов / М.В. Белоус, П.М. Браун. - К.: Вища шк., 1986. – 343 с.
8. Болеста І. Фізика твердого тіла. – Л.: Видавництво відділу ЛНУ ім. І. Франка, 2003. – 479 с.
9. Коробіцин Б.В., Фізика твердого тіла. – Одеса: ОНАЗ, 2005, - 159с.
10. Білюк А.І. Вплив термоциклювання під навантаженням на структурні зміни дисперсійно-твердіючих алюмінієвих сплавів // Металлофізика і новітні технології. – 1997. – Т.19. - №6. – С.78-80.
11. Білюк А.І. Структурні зміни конструкційних матеріалів після термоциклювання / А.І. Білюк, А.А. Білюк і др.. // Международная научно-практическая конференция «Новости научной мысли» 27.04-05.05. 2013. Чехия . –Praha, Publishing House “Education and Science” s.r.o., 2013. – Dil 39. – S.15-18.

PACKAGING DEFECTS AND SUBSTRUCTURAL STRENGTHENING OF STRUCTURAL MATERIALS

Abstract. *In this paper, the results of studies on the influence of packaging defects on the polygonization mechanism in structural materials are presented.*

Keywords: *dislocations, packaging defects, Burgers vector, substructure, subzero.*

Аліна Данилевич, Анастасія Ковтун, Микола Моклюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ γ -ВИПРОМІНЮВАННЯ КОБАЛЬТУ Co^{60} ВІД ВІДСТАНІ ДО ДЕТЕКТОРА

Анотація. У статті описано результати експериментального дослідження залежності інтенсивності γ -випромінювання Co^{60} від відстані до детектора.

Ключові слова: експериментальне дослідження, потужність дози, радіоактивне випромінювання, γ -випромінювання, інтенсивність γ -випромінювання, ізотоп кобальту.