

7. Про непружне двійникування, ауксетизм і структурні перетворення в Ве / В.О. Корпан, А.В. Олійнич-Лисюк, М.Д. Паранський, О.Ю. Ташук // *Металлофізика и новейшие технологии*. – 2018. – Т. 40, № 12. – С. 1625-1635.
8. M. D. Raransky, A. V. Oliynych-Lysyuk, R. Yu Tashchuk, O. Yu. Tashchuk, O. V. Lysyuk, “Peculiarities of Deformation in Crystals of In in a Wide Temperature Range”. *Metallophysics. The Latest Technologies*. 2018. – 40, 11.– С.1453–1463. (in Ukrainian).
9. Микола Паранський, Алла Олійнич-Лисюк, Роман Ташук, Олександр Лисюк. Особливості поведінки дефектів кристалічної будови в ауксетичних кристалах // *Журнал фізичних досліджень*. 2019.– Т.23, №2.– С.2998-13–2998-14.
10. М.М. Аракелян. Анализ и моделирование процесса движения дислокаций в монокристаллах алюминия // *Известия НАН Армении, Физика*. 2015.–Т.50, №1.– С.126-133.

ON PECULIARITIES OF MECHANICAL STRESS RELAXATION IN PARTIALLY AUXETIC MATERIALS IN THE PROCESS OF THEIR PLASTIC DEFORMATION

M.D. Raransky, A. V. Oliynych-Lysyuk, R.Yu Tashchuk, O. Yu.Tashchuk

Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Chernivtsi, Kotsyubynskoho, 2, Ukraine,
tashchuk.roman@chnu.edu.ua

Abstract. *The paper presents the results of the study of the behavior of defects in partially auxetic crystals in normal and auxetic states, and shows that under conditions of energy or orientation prohibition on their movement in the crystal lattice, some of them such as dislocation kinks, impurities in dislocation atmospheres with high probability can move through the lattice by coherent penetration through potential barriers.*

Keywords: partial auxetics, tunneling of dislocation kinks, quantum diffusion of impurities in the dislocation atmosphere.

ВПЛИВ ТЕРМОЦИКЛЮВАННЯ НА СУБСТРУКТУРУ СПЛАВІВ Al-Cu ТА Al-Cu-Zn

А. І. Білюк¹, В. В. Широков², О. В. Мозговий¹, М. В. Лисий³

¹Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Україна
Вінниця, вул. Острозького, 32, anbilyk57@gmail.com

²Українська Академія друкарства, Україна, Львів

³Вінницький національний технічний університет, Україна, Вінниця

Анотація. *В роботі представлені результати досліджень впливу термоциклювання на механізм полігонізації в конструкційних матеріалах на основі алюмінію.*

Ключові слова: термоциклювання, субструктура, дисперсійна фаза, дислокації, внутрішнє тертя.

Термоциклювання (ТЦО) як і динамічне старіння ефективно впливає на розвиток субструктури і розпад твердого розчину.

Дослідження закономірностей зміни структури і властивостей старіючих сплавів Al-Cu і Al-Cu-Zn при високотемпературній ТЦО (ВТЦО) у рівноважному і напруженому станах (ПЗН) проводились на установці типу оберненого крутильного маятника при частоті 1 Гц. ВТЦО проводилося в інтервалі температур (495-520) К. Швидкість нагрівання і охолодження витримувалась на рівні (30-40) К/с. Величина напруження на зразок під час обробки становила $0,2 \sigma_{0,2}$. Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3. Хімічний склад сплавів: сплав 1 - Al-4%Cu; сплав 2 - Al-4%Cu -4%Zn.

Вплив домішок на процеси формування і стабілізації структури відбивається за характером поведінки непружних ефектів А, В, С [1, 2], що мають релаксаційну природу і

зв'язані з взаємодією і перерозподілом дислокацій і точкових дефектів у процесі формування і стабілізації в матеріалі полігональної структури.

Енергія активації процесів, що обумовлюють їхній прояв відповідно рівні 1,30, 1,38 і 1,45 еВ. Ступінь їхнього прояву визначається режимом термічної обробки. Вибір домішок міді і цинку викликаний тією обставиною, що системи Al-Cu і Al-Cu-Zn відносяться до сплавів, що дисперсійно-твердіють. Отже створюються передумови для подальших досліджень можливостей закріплення дислокаційної структури не тільки окремими домішками чи атомами, їх скупченнями, але і дисперсними виділеннями. Можливості сполучення двох різних напрямків досягнення зміцненого стану за допомогою створення субструктури і виділень дисперсної фази повинні послужити новим перспективним етапом одержання високоміцного стану матеріалів.

Вплив атомів міді на характер прояву непружних ефектів А, В, С в процесі формування і стабілізації субструктури приведений на рисунку 1 для сплаву Al-4%Cu. До термоциклювання на кривій $Q^{-1}=f(T)$ виявляється невеликий зернограничний ефект при 623-633 К і домішковий зернограничний пік близько 673-693 К (рис.1. а, крива 1). Вже один термоцикл (рис. 1а; крива 2) створює підвищену концентрацію дефектів кристалічної будови, а нагрівання цього зразка під навантаженням обумовлює їхній перерозподіл і прояв субструктурних ефектів: А при 493 К, В при 553 К і С при 598 К. Крім того, з'являється пік при 453 К, який зв'язується з рекристалізацією зразка. Прояв субструктурних ефектах А і В говорить про інтенсивний процес полігонізації в навантаженому стані внаслідок перерозподілу дислокації в стінки і дифузії далеких точкових дефектів у стінках. При цьому зернограничний ефект збільшується і зміщується у бік низьких температур, що говорить про здрібнювання зерна при ТЦО в ПЗН. З аналізу $Q^{-1}=f(T)$ випливає, що залежність субструктурних ефектів від кількості ВТЦО носить осциляційний характер (рис. 1, б). Період цих процесів після ВТЦО без навантаження складає 30 циклів; а після ВТЦО в ПЗН процес зміни ефектів зменшується в 2 рази. Як видно з рис. 1, б величини субграничних ефектів зі збільшенням кількості термоциклів осцилюють із затухаючою амплітудою. Стабілізація субграничних ефектів проходить після 60 ТЦО.

Результати впливу атомів цинку (сплав 2) на залежність $Q^{-1}=f(T)$ після ВТЦО в ПЗН приведені на рисунку 2. Крім субструктурних ефектів А(513 К), В(553 К) і С (603 К) спостерігаються піки при 353 К, 393 К, 453 К, 633 К, 693-703 К (рис. 2а). Їхнє всебічне дослідження і порівняння з літературними даними дають підставу припускати, що вони зв'язані з такими процесами, ефекти яких при 353 К і 393 К зв'язані з розчиненням зон ГП; ефект при 453 К, обумовлений рекристалізацією зразка; ефекти при 633 К і 693-703 К є зернограничний і домішковий зернограничний відповідно.

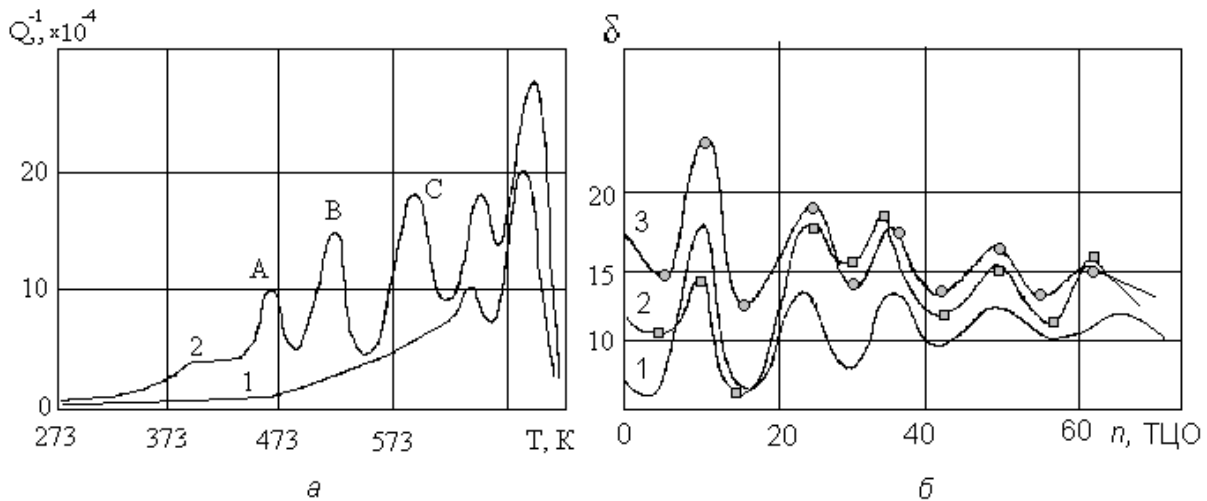


Рис.1. Характер зміни субструктурних ефектів для сплаву 1 при ВТЦО в ПЗН: а) 1 - 0 ТЦО; 2 - 1 ТЦО; б) 1 - ефект А, 2 - ефект В, 3 - ефект С.

Дослідження показали, що в міру формування субструктури й осідання на дислокаційних стінках окремих атомів домішки їхніх скупчень чи фазових виділень субструктура ефективно блокується, стає слабкішою і релаксаційні ефекти виявляються слабкіше (рис. 2а, крива 2). Збільшення числа термоциклів до 5 (рис. 2а, крива 3) обумовлює крім різкого збільшення піка С також формування піка В на місці попереднього перегину.

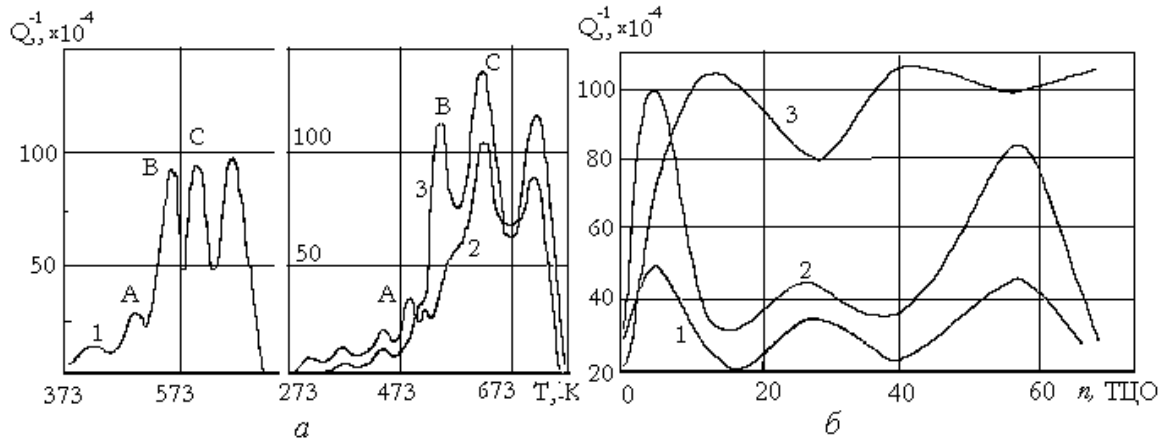


Рис.2. Характер зміни субструктурних ефектів для сплаву 2 при ВТЦО в ПЗН: а) 1 - 0 ТЦО, 2 - 1 ТЦО, 3 - 5 ТЦО; б) 1 - ефект А, 2 - ефект В, 3 - ефект С

Аналіз температурної залежності ВТ сплавів Al-Cu -Zn показує, що як і в сплавах Al-Cu залежність субструктурних ефектів носить осциляційний характер (рис. 2б). Період осциляції складає 15 ТЦО. Характер поведінки ефектів А (крива 1) і В (крива 2) практично повторюють один одного. Слід зазначити аномальний характер поведінки ефекту С (крива 3). Так період його осциляції відображає періоди змін перших двох ефектів, але характер його поведінки цілком протилежний. Зменшення ефектів А і В зв'язується з осіданням домішкових атомів на дислокаційних стінках, які стабілізують субструктуру.

При цьому внутрішні дислокації стають більш рухливими й ефективно розсіюють пружну енергію. Це і супроводжує збільшення піка С. Збільшення щільності дислокації при ВТЦО сприяє перетворенню малокутових границь у більшкутові границі зерен. Відбувається часткове дроблення зерна, про що говорить збільшення піка при 635 К.

Наступне збільшення кількості термоциклів викликає нагромадження дефектів у нових зернах і починається формування нової більш тонкої субструктури. Наявність добре розвинутої системи субграниць створює умови для виділення частини домішок по субграницям. При цьому кількість домішок на висококутових границях зменшується, що приводить до зменшення домішкового зернограничного піка при 693-703 К.

Про характер структурних змін і її еволюції при ВТЦО свідчить зміна параметрів дислокаційної структури (табл. 1)

Щільність дислокації ρ , довжину дислокаційного сегмента L_N визначали з експериментальних даних амплітудної залежності внутрішнього тертя. Так при ВТЦО в ПЗН максимальне значення щільності дислокації ρ і мінімальне значення величини L_N досягається в процесі перших 15-25 ТЦО а при ВТЦО без навантаження - протягом 35-45 ТЦО (табл. 1).

Подальше нарощування термоциклів веде до зменшення величини ρ і незначному збільшенню L_N , при ВТЦО без навантаження

Доказом зміцнення сплавів при ТЦО і ТЦО в ПЗН є зміна другої критичної амплітуди деформації $\gamma_{кр. 2}$, тангенса кута нахилу фону амплітудної залежності ВТ $tg\theta$, густини дислокацій ρ і мікротвердості H_{μ} , (табл. 1)

Таблиця 1.

Характер зміни параметрів субструктури і мікротвердості алюмінієвих сплавів після ТЦО

| Сплав | Термо-обробка | Виміряна величина* | Кількість циклів | | | | | |
|--------------|---------------|--------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 5 | 20 | 25 | 50 | 60 |
| Al-4%Cu | ТЦО | 1 | 6,0 | 8,2 | 9,6 | 12,0 | 14,2 | 14,0 |
| | | 2 | 0,7 | 0,7 | 0,39 | 0,23 | 0,30 | 0,10 |
| | | 3 | 194,0 | 280,5 | 382,4 | 387,2 | 256,3 | 203,3 |
| Al-4%Cu-4%Zn | ТЦО | 1 | 4,0 | 6,2 | 11,5 | 6,1 | 8,9 | 8,7 |
| | | 2 | 0,9 | 1,5 | 1,33 | 0,96 | 0,9 | 1,9 |
| | | 4 | 2,1 | 10,2 | 10,2 | 6,2 | 9,1 | 11,1 |
| | | 5 | 4,9 | 2,9 | 2,9 | 3,9 | 2,9 | 2,9 |

* 1 - $\gamma_{кр.2}$, $\times 10^{-5}$; 2 - $tg\Theta$; 3 - $H_{ц}$, МПа; 4 - ρ , $\times 10^{-12}$ м⁻²; 5 - L_N , $\times 10^{-6}$ м.

Таким чином ТЦО в напруженому стані забезпечує прискорення досягнення більш зміцненого стану і розширення інтервалу збереження підвищених експлуатаційних характеристик матеріалу (табл.1).

Спільна дія підвищеної температури і полів напруг сприяє перерозподілу дефектів і формуванню тонкої, більш рівноважної, а значить стабільної субструктури. Варіація параметрами ВТЦО в ПЗН відкриває широкі можливості керування процесами структуроутворення і отримання необхідних експлуатаційних характеристик матеріалу.

Література

1. Лисий М. В. Формування зміцнюючої субструктури в композиційних матеріалах на основі алюмінію/ М.В. Лисий , О.В. Мозговий , А.І. Білюк //Вісник ВПІ. - №3. – 2012. – С. 148-153.

2. Karbivskii O.F. Impact of thermocycling on aluminum alloy polygonal structure/ O.F. Karbivskii, A.I.Biliuk, M.V. Lysiy// Tehnomus journal (Romania)/ - 2017. -P.-117-121.

EFFECT OF THERMOCYCLING ON THE SUBSTRUCTURE OF Al - Cu AND Al - Cu - Zn ALLOYS

A. I. Biliuk¹, V. V. Shirokov², O. V. Mozghovyi¹, M. V. Lisiy³

¹Vinnitsia Mykhailo Kotsyubynskiy State Pedagogical University, Vinnitsia, mavimfto@gmail.com

²Ukrainian Academy of Printing, Ukraine, Lviv

³Vinnitsia National Technical University

Abstract. The paper presents the results of research on the effect of thermal cycling on the mechanism of polygonization in structural materials based on aluminum.

Keywords: thermal cycling , substructure, dispersion phase, dislocations, internal friction.

ОЦІНКА ПОШКОДЖУВАНOSTІ МЕТАЛІВ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ РОЗСІЮВАННЯ НИМИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

О. В. Мозговий¹, В. А. Тітов², А. В. Тітов²

¹Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ

Анотація. Запропоновано параметр пошкоджуваності металів визначати за частотними характеристиками вільних затухаючих коливань.

Ключові слова: Пошкоджуваність, вільні коливання, розсіювання механічної енергії.