

ДО ПИТАННЯ ПРО МЕТАСТАБІЛЬНИЙ СТАН ДИСЛОКАЦІЙНОЇ АТМОСФЕРИ У БЕРИЛІЇ

У роботі приведені результати дослідження стану дислокаційної домішкової атмосфери в Ве за амплітудно-кінетичними залежностями внутрішнього тертя та ефективного модуля зсуву. Показано, що і в умовах обмеженої дії дестабілізуючих факторів зберігається достатньо висока лабільність атмосфери домішок.

In work results of researches of a condition of impurity dislocation atmosphere in beryllium on amplitude-kinetik dependences of internal friction and effective sheare modulus are submitted. Is shown, that in conditions of limited action of the destabelised factors is saved reasonably high lability of impurities atmosphere.

Дослідження стану дислокаційних домішкових атмосфер (дда) в інверсному Ве показали, що вони є досить лабільними утвореннями: під дією температурних та періодичних механічних полів йде інтенсивний перерозподіл домішок між дислокаційними трубками та об'ємом кристалу [1]. Слід також відзначити, що атоми домішок у дда не стають ефективними стопорами для дислокацій. Спроби виявити природу такої рухливості дда у Ве показали, що зміна стану домішкових атмосфер залежить від кількох дестабілізуючих факторів, які не можна не враховувати. Так, при нагріванні на атмосфері діють: а) власне термічні, б) термопружні (термопластичні) та в) періодичні механічні поля, вплив яких приводить до значної рухливості домішок в атмосфері. Перший, температурний, фактор викликає термоактивоване розсмоктування атмосфер Коттрелла, він стає особливо дієвим у районі 400°C. Це область температур, де за даними різних авторів знаходиться температура конденсації домішок T_k у Ве (370-470°C) [2]. Під дією термопружних (термопластичних) полів, які виникають внаслідок анізотропії α та χ (коефіцієнтів термічного розширення та лінійного стискування), повинен суттєво змінюватись стан дда і самої дислокаційної системи, оскільки термічні напруги σ_T досягають ~180 МПа при нагріванні до 400°C і при звичайно використовуваних швидкостях нагрівання та охолодження ~4 град/хвилину не встигають релаксувати [3]. Вплив зовнішніх періодичних механічних полів виявляється найбільш контрольованим, оскільки визначається вибором методики досліджень та

області використовуваних деформацій, але ми розуміємо, що повністю уникнути дії цього фактору нам не вдасться, більше того, самі кінетичні дослідження базуються на обов'язковій дії методу вимірювань на стан дислокаційно-домішкової системи матеріалу. Всі ці фактори діють при нагріванні берилію.

Виходячи із сказаного, нами були проведені дослідження ізотермічних амплітудних та кінетичних залежностей внутрішнього тертя (ВТ) та ефективного модуля зсуву ($G_{\text{еф}}$) в інверсному Ве при охолодженні системи для виявлення характеру поведінки дда в умовах обмеженої дії температурного та термопластичного дестабілізуючих факторів.

Результати проведених досліджень представлені на рис. 1-3.

Часові залежності ВТ та $G_{\text{еф}}$ виміряні одразу ж після АЗВТ та АЗ $G_{\text{еф}}$. Нагадаємо також, що завдяки інверсному стану берилію при охолодженні спостерігається сильне "розм'якшування" ефективного модуля зсуву [1,4]. Як видно з рис. 1а-3а, нестійкість дда у Ве при охолодженні проявляється ще більше - всі петлі амплітудних залежностей незамкнуті. В той же час, саме вимірювання АЗВТ та АЗ $G_{\text{еф}}$ при 380, 320 та ~120°C менше впливає на приріст як модуля, так і величини поглинання пружної енергії. Очевидно, при сильному "розм'якшуванні" $G_{\text{еф}}$ додаткова деформація від вимірювання АЗВТ та АЗ $G_{\text{еф}}$ менш дієва, ніж при нагріванні. Нижче 200°C спостерігається неухильне зростання ефективного модуля і практичне співпадання кінцевих

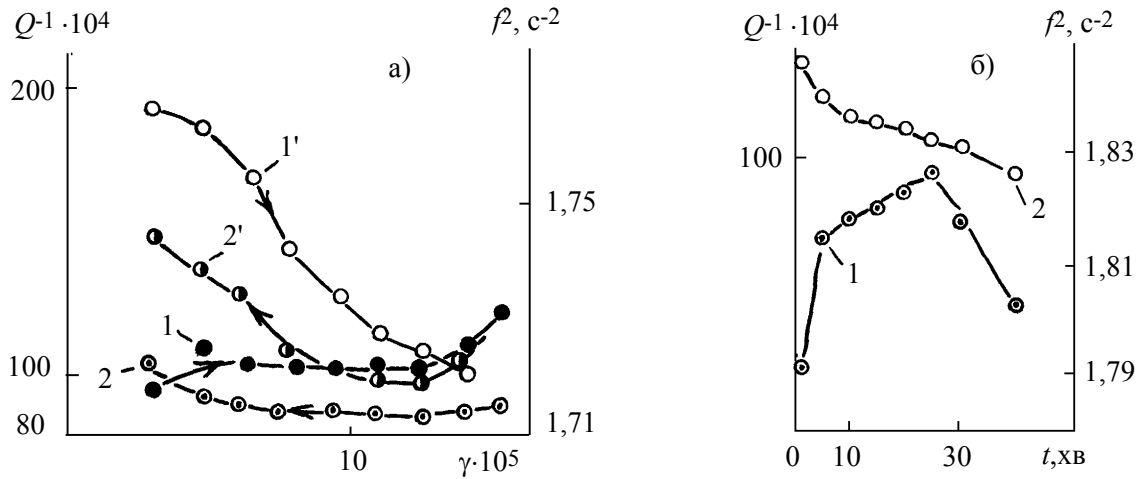


Рис.1 Амплітудно-кінетичні залежності внутрішнього тертя та $G_{\text{еф}}$, в МТБК Ве при 380°C: а) амплітудні залежності ВТ (1,2) та f^2 (1',2'), пропорційного $G_{\text{еф}}$; б) часові залежності $G_{\text{еф}}$ (1) та внутрішнього тертя (2).

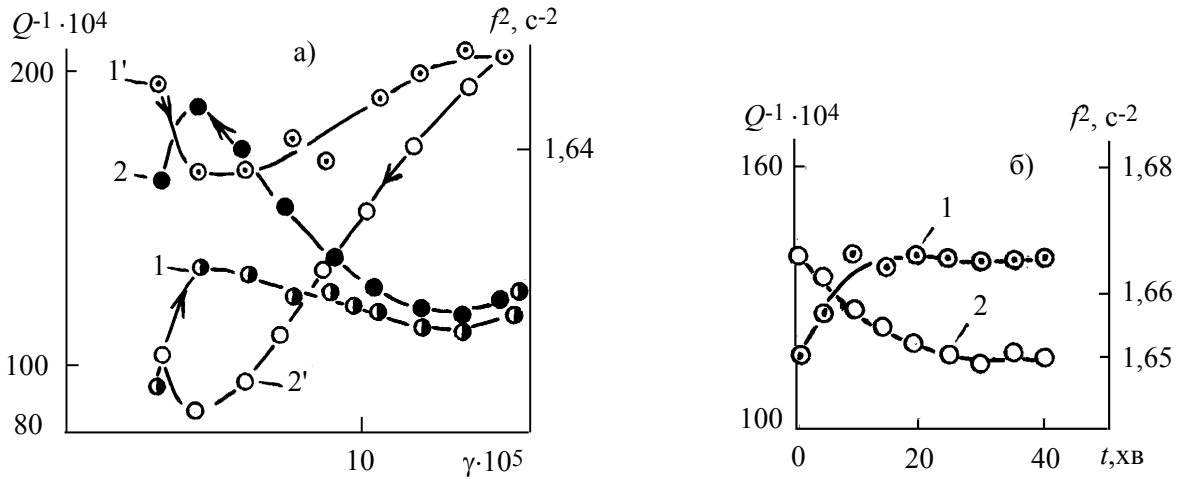


Рис. 2. Амплітудні (а) та часові (б) залежності ВТ та $G_{\text{еф}}$ в МТБК Ве при 320°C. Цифри біля кривих означають те ж, що і на рис. 1а та 1б відповідно.

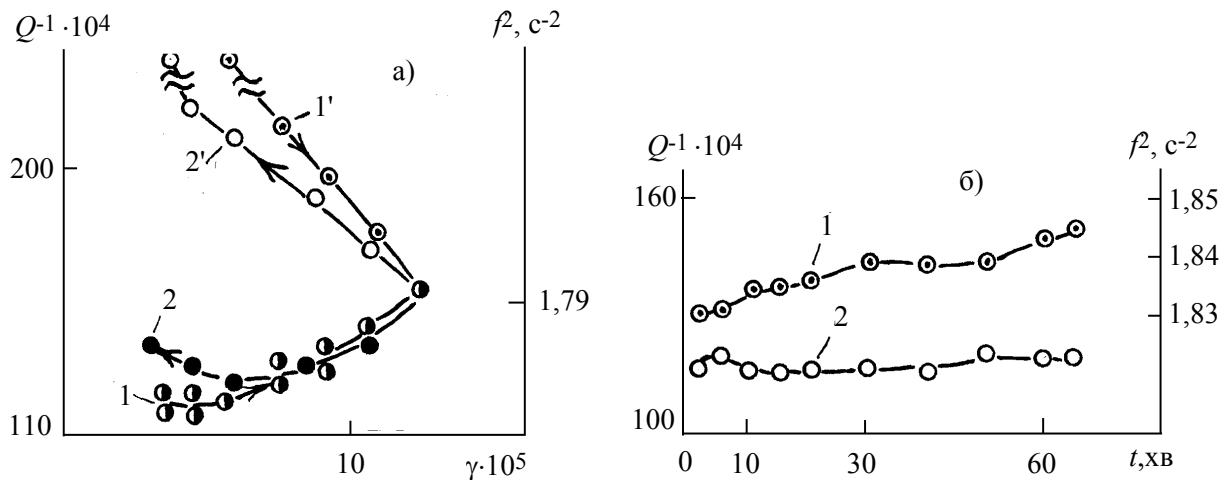


Рис. 3. Те ж саме, що на рис.2 при 120°C.

значень $G_{\text{еф}}$ з початковими. Цей факт свідчить про те, що в даному інтервалі температур відбувається суттєвий перерозподіл домішкових атомів в дда, в результаті якого значна їх доля осідає в ядрах дислокаційних трубок і приводить до ефективного закріплення дислокацій. Більш детальний аналіз АЗВТ при 380, 320 та $\sim 120^\circ\text{C}$ показує, що між Q^{-1} та $G_{\text{еф}}$, на відміну від нагрівання, спостерігається нормальне співвідношення: деякому підвищенню ВТ відповідає падіння $G_{\text{еф}}$. Таку поведінку вказаних величин можна пояснити переходом домішкових атомів з дислокаційних трубок назовні (в об'єм кристалу). Збільшення деформації веде до більшого прогинання дислокаційних сегментів, які ковзаючи в об'ємі зерна та зустрічаючи домішкові атоми знову закріплюються ними, як наслідок - тертя падає, а модуль росте. Зростання модуля свідчить про те, що домішкові атоми досягають таки дислокаційних трубок і зменшують дислокаційну частину деформації. Однак через низьку енергію зв'язку атомів з дислокаціями в Ве [5], при зменшенні амплітуди деформації дислокаційні петлі стягуються і зриваються з закріплюючих атомів, в результаті чого тертя зростає (рис. 1а, 2а), а значення динамічного модуля зсуву різко падає, вказуючи на зростання дислокаційної рухливості. Порівнюючи криві 1 та 2 цих рисунків бачимо, що початкове та кінцеве значення фону ВТ сильно відрізняються. Цей факт свідчить про звільнення більшої частини дислокаційних сегментів від домішок в процесі повернення ВТ. Однак чи домішки при цьому покинули дислокації, продифундувавши в об'єм кристалу, чи промігрували під дією прикладених напружень до вузлів дислокаційної сітки можна буде з'ясувати лише дослідивши часові залежності ВТ та $G_{\text{еф}}$ [6] (рис. 2б). Характер залежності $Q^{-1}(t)$ свідчить про те, що лише частина домішок була захоплена дислокацією при зменшенні зовнішньої напруги: кінцеве значення фону ВТ, що встановилось в результаті "старіння" при 320°C на протязі 40 хвилин і початкове відрізняється більше ніж на 20 %.

Пониження температури стабілізує дислокаційну атмосферу в Ве: деформація зразка в тій же області амплітуд, що і при 320°C приводить лише до незначного незамикання кривих $Q^{-1}(\gamma)$, яке починає проявлятися не одразу ж після зменшення зовнішньої вимушуючої сили, а лише при $\gamma < 7 \cdot 10^{-5}$ (рис. 3а). Відсутність часових залежностей в поглинанні пружної енергії, та слабкий ріст ефективного модуля свідчать про поступове завершення процесів стабілізації дда в Ве в цьому інтервалі температур, однак велике значення $\partial f^2 / \partial \gamma$ для кривих $f^2(\gamma)$ підтверджує нестійкий характер такої стабільності.

Таким чином, проведені експерименти показують, що дислокаційні домішкові атмосфери в берилії продовжують залишатись достатньо мінливими, незважаючи на те, що кількість дестабілізуючих ці утворення факторів стала меншою. Очевидно лабільність дда пов'язана зі зміною фундаментальних властивостей берилію в досліджуваній області температур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Олійнич А.В., Стронгін Б.Г., Раранський М.Д.* Метастабільний стан домішкової дислокаційної атмосфери в берилії // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 32: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1998. - С.35-40.
2. *Левин Д.М., Ткаченко В.Г., Лашук Н.К., Канунникова И.Ю.* Релаксационные эффекты и механизмы дислокационной неупругости бериллия // Металлофизика. - 1990. - 12, № 5. - С.13-19.
3. *Стронгін Б.Г., Ткаченко В.Г., Олейнич А.В., Лашук Н.К.* Температурный гистерезис эффективного модуля сдвига и внутреннего трения в бериллии // ФММ. - 1990. - №11. - С.187-192.
4. *Олейнич А.В., Раранский Н.Д., Стронгін Б.Г.* Поведение эффективного модуля сдвига и внутреннего трения при образовании инверсного состояния в бериллии // Металлофизика и новейшие технологии. - 1996. - 18, №4. - С.58-62.
5. *Олейнич А.В., Раранский Н.Д., Стронгін Б.Г.* Исследование аномалий дислокационно-примесного взаимодействия в Ве // Металлофизика и новейшие технологии. - 1994. - 16, №4. - С.47-51.
6. *Криштал М.А., Головин С.А.* Внутреннее трение и структура металлов. - М.: Металлургия, 1976.