

Побудовані графіки перехідних процесів у системі автоматичного керування з ПД-на інтервалі регулятором при поданні на вході одиничного ступеневого сигналу. Перехідна характеристика близька до оптимальної, час регулювання наближається до періоду дискретності.

Досліджено вплив зміни періоду дискретності системи ($T = 0,5 + 1,5$) на перехідну характеристику. Збільшення періоду дискретності мало впливає на перерегулювання.

На підставі результатів цифрового моделювання можна стверджувати, що ПД-на інтервалі є ефективним для систем з великим періодом дискретності.

Висновки. 1. Виділено окремий клас об'єктів регулювання з великим періодом дискретності, який є параметром налагодження системи та залежить від циклу вимірювання або роботи машини. 2. Застосування відомих підходів до розрахунку систем з великим періодом дискретності є малоефективним. Зменшується швидкодія системи, можуть виникати незгасаючі коливання з великою амплітудою. 3. Розвинуто і обґрунтовано нові підходи до побудови систем з ПД-на інтервалі регуляторів. 4. Запропоновано новий варіант побудови структурної схеми регулятора, яка має, порівняно з класичною схемою, удвічі меншу кількість операцій, що спрощує реалізацію. 5. Результати цифрового моделювання підтвердили ефективність застосування ПД-на інтервалі регулятора для систем з великим періодом дискретності. Перехідна характеристика системи близька до оптимальної, час регулювання наближається до періоду дискретності.

1. Ефимов М. В., Толстой Г. Д. Автоматизация технологических процессов полиграфии. М., 1989. 2. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. М., 1986. 3. Луцків М. М., Петрів Р. І., Шульжик Ю. О. Синтез систем приводки з диференціюючим на інтервалі коригуючим пристроєм // Поліграфія і видавнича справа. 1996. № 31. С.106-111. 4. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій. К., 1995.

УДК 536.532

СТРУКТУРНІ НЕОДНОРІДНОСТІ МЕТАЛІЗОВАНИХ СТЕКОЛ

© Скоропад П.І., Гамула П.Р., 2000

кафедра “Інформаційно - вимірювальна техніка”

Аналізуються проблеми опису неоднорідностей структури металізованих стекол.

The problems of the description of heterogeneity of a structure of metal glasses are analysed.

Мікрокристалітні, “молекулярні” та хаотично щільно паковані – найбільш поширені альтернативні структурні моделі аморфного стану, котрі застосовують для інтерпретації експериментальних результатів. Взаємозв’язок між останніми схематично подано на рис. 1, де у вершинах розташовано “базові” моделі. Аналізуючи верхню вершину трикутника, що є мікрокристалітною моделлю, звернемо увагу на пункт 1 всередині мікрокристала та, зменшуючи його розмір, опиняємося в нижній лівій вершині, що символічно зображає елементарні комірки як певним чином паковані молекулярні формування. Пункт 2, що лежить на межі зерен, також може бути вихідним, а в загальному

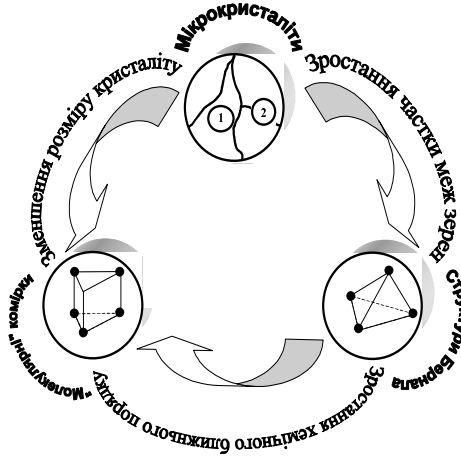


Рис. 1. Схема взаємозв’язку моделей структурного стану аморфних матеріалів.

випадку межа зерен може бути представлена сукупністю дислокацій. Ці дефекти являють собою порушення структури, що аналогічні тим, котрі спостерігаються в хаотично щільно пакованій структурі Бернала. Слід відзначити, що п’ять типових класів полідрічних вакансій у структурі Бернала є структурою ядра дислокацій. Опускаючись правим боком трикутника, поступово збільшуємо частку обсягу твердого тіла, що займають межі зерен, доки не досягнемо правої нижньої вершини, що символізує структуру Бернала.

Слід мати на увазі, що кожна з цих моделей – досить ідеалізоване формування, а тому в реальності треба враховувати цілий ряд спільних аспектів проблеми: термодинаміку та кінетику аморфізування, метастабільні фази, стехіометрію, пакування, співвідношення розмірів, координацію, електронегативність, ковалентність, хаотичність, дефекти та деякі інші ймовірні чинники.

На наш погляд, слід запровадити певну “засаду невпорядкованості”, яка показує, що схильність до аморфізування тим сильніша, чим більше число станів та фаз притаманне системі. Їх інтегральний вплив спричиняє наявність реальних структурних станів аморфних фаз, що схематично можуть бути розташовані всередині зображеного на рис. 1 трикутника.

Подальший розвиток структурних моделей аморфного стану бачимо як поєднання геометрично побудованих моделей з фізичними уявленнями про сили зв’язку та взаємодії між електронними оболонками атомів, хаотично розташованих в просторі. Такі моделі повинні не лише описувати структуру, а й передбачати фізичні властивості матеріалів з аморфною структурою.

Відомо, що фізичні властивості металевих аморфних стовпів структурно чутливі та залежать від зовнішніх чинників: умов гартування, термообробки, деформації та ін. Отже, властивості металізованих стекол також є структурно чутливими, як і у випадку кристалічних матеріалів. У кристалічних матеріалах структурно чутливі властивості визначаються дефектами ґратки: дислокаціями, вакансіями, дислокованими атомами

тощо. Отже, явища, пов'язані зі структурною чутливістю, що спостерігаються у металевих аморфних матеріалах, дають всі підстави прогнозувати наявність в них дефектів структури.

Визначення “аналогів дефектів” структури металізованих стекол – важливий аспект дослідження, зокрема електрокінетичних властивостей цих матеріалів. Відомо, що у кристалічних матеріалах переміщення атомів залежить від наявності та руху дефектів. Періодична ж ґратка дає еталонну структуру, відносно якої можна ідентифікувати такі дефекти структури, як от: дислокації, вакансії, межі зерен тощо.

Що ж стосується металевих матеріалів з аморфною структурою, то в них також відбувається рух атомів. Здійснюється він, імовірно, через певні утворення системи, котрі ідентифікувати як “дефекти” настільки проблематично, наскільки проблематичним є визначення “ідеальної” аморфної структури. Зрозуміло, що у разі домінування у структурі ближнього порядку залишається можливість оперувати лише поняттями локальних “неоднорідностей”, що мають здатність до конфігураційної перебудови, та внутрішніх напружень на атомному рівні і симетрії атомних позицій, котрі можуть дати не позбавлені фізичного змісту визначення “аналогів дефектів” аморфної структури. Для опису просторових флуктуацій атомної структури зручно запровадити напруження на атомному рівні та розмірно-симетричні чинники, що визначають локальне атомне оточення вибраного елемента структури.

Напруження, що можуть існувати в твердому тілі на атомному рівні під дією центрально-симетричних сил з потенціалом U та енергією E ансамблю атомів при сталому об'ємі визначаються в [1] та в роботах Т. Егамі, К. Маєди, Д. Сроловіца [2] так:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i,j} U(r_{ij}), i \neq j, \text{ де } r_{ij} = r_i - r_j, \text{ а } r_i \text{ та } r_j - \text{ відстань відповідно до } i\text{-го та } j\text{-го атома. Для}$$

визначення ж атомних напружень використовують тензор напружень для положення i -го атома в ансамблі N атомів:

$$\sigma^{\alpha\beta}(i) = \frac{1}{2\Omega_i} \sum_{i \neq j} \frac{dU(r_{ij})}{dr_{ij}} \frac{r_{ij}^{\alpha} r_{ij}^{\beta}}{r_{ij}}, \quad (1)$$

де r_{ij}^{α} та r_{ij}^{β} – α та β компоненти вектора r_{ij} відповідно; Ω_i – локальний атомний об'єм, що визначається як об'єм поліедра Вороного, пов'язаного з i -м атомом. В першому ж наближенні локальний атомний об'єм визначають із залежності:

$$\Omega_i = \frac{4\pi}{3} a_i^3, \text{ а } a_i = \sum_j r_{ij}^{-1} / 2 \sum_j r_{ij}^{-2}. \quad (2)$$

Оскільки в металевих аморфних матеріалах вибір системи координат є довільним, то, звісно, тензор напружень залежить від цього вибору. Так, замість повного тензора, зазвичай, беруть два обертові інваріанти:

$$p = 1/3(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \quad \tau = \sqrt{\frac{1}{3} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2}{2} + \frac{(\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2} + \frac{(\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]}, \quad (3)$$

де p – локальний гідростатичний тиск; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – три головні напрямки; τ – середнє напруження зсуву.

Отже, згідно з поданими вище засадами, можна припустити, що група атомів з екстремальними параметрами ρ та τ характеризує певну область, що має фізичний зміст структурного дефекту в постаті кластера, який складається з 10 – 20 атомів. В самому ж кластері є області n-типу з пониженою та p-типу з підвищеною середньою густиною. Дефекти n-типу – це ні що інше, як області вільного об'єму, що становлять приблизно половину від загальної кількості дефектів аморфної структури.

Другим важливим типом дефектів аморфної структури є τ -дефекти, що визначають локальні напруження зсуву. Роль цих дефектів аналогічна до ролі дислокацій в кристалах та розташовуються вони, здебільшого, на межі дефектів n та p-типу. Так, пара сусідніх дефектів n- та p-типу може асоціювати, що спричиняє між ними зсув, а отже, τ -дефекти аналогічні до крайової дислокації у кристалі. Проте проблема ідентифікації дефектних областей в досліджуваних матеріалах донині актуальна, оскільки не розв'язане однозначно питання еталонного структурного стану.

З огляду на сказане вище, образи дефектів вводять в моделі аморфних систем деформуванням кластерів, або ж як сукупність значної кількості двомірних пухирців [3]. Також вводять точкові чи лінійні дефекти безпосередньо, відповідно усуваючи чи зміщуючи атоми в експериментах на ЕОМ. Так, в аморфній структурі через відсутність впорядкованості не можна ідентифікувати вакансію як відсутність атома у вузлі ґратки. До того ж, аморфному структурному стану не властива симетрія, а тому неможливо передбачити збереження вакансії як локалізованої одиниці у процесі релаксування. З метою перевірки цих міркувань розмаїті кластери атомів двома методами усувались із реалізованих машинних моделей [4] з наданням можливості наступної релаксації. В першому модель розділяється на тонкі шари та вивчається еволюція об'єму вакансій у функції часу. У другому – менш суб'єктивному – вимірюється об'єм міжатомного простору. Об'єм, що містить атоми, ділиться на рівні пробні ділянки, та для кожної з них визначається віддаль до ближчого атома. Локалізований вільний об'єм можна розглядати як конгломерат пробних ділянок, для яких віддаль до ближчого атома перевищує поперечник атома приблизно в 1,4 раза. Цей метод дає можливість простежити за відпадом вакансій та вакансійних кластерів у часі. Важливо відзначити, що при температурах та тисках, при котрих вакансії в кристалічних структурах не піддаються відпалу, вакансії для аморфних структур, що визначаються потенціалом Леннарда-Джонса, відпалюються.

Що стосується поняття лінійних дефектів аморфного структурного стану, то, на відміну від точкових, визначення їх досить проблематичне, оскільки відсутнє визначення поняття вільного від дефектів скла. Навіть враховуючи наявність особливостей лінійних дефектів, що підлягають безпосередньому, без порівняння з ідеальною структурою, вимірюванню, недоцільно використання прийнятої моделі скла та знаходження в ній лінійних дефектів, оскільки дефектні лінії можуть бути викривлені чи сплетені з іншими лінійними дефектами. Отже, хоч у цих дослідженнях використовуються такі самі процеси релаксування, як при вивченні точкових дефектів, тут необхідна спеціальна техніка впровадження дефектів та їх виявлення після релаксування. Отже, ідеальним методом визначення лінійних дефектів в аморфних

структурах є метод, що не вимагає застосування системи відліку. Зокрема таким методом може бути метод вимірювання функції напружень Ейрі у твердому тілі. Зазвичай функція напружень для крайової дислокації характеризується наявністю піка та западини в потенціалі, які розташовані на протилежних кінцях лінії, що проходить через ядро дислокації. Та для виявлення наявності гвинтової дислокації функція напружень Ейрі неефективна, оскільки вектор Бюргерса йде паралельно, а не перпендикулярно до лінії дефекту. У такому разі метод визначення дислокації полягає у вимірюванні пов'язаного з нею поля далекосяжних напружень. У роботах Ашбі та Логана висловлюється припущення, що в металевих аморфних матеріалах створювані дислокаціями далекосяжні поля напружень можуть релаксувати. Якщо ж розглядати ковзання в металевих аморфних матеріалах у рамках дислокаційної моделі, то можна зазначити, що для металізованих стекел цей процес розгортається як всередині, так і назовні дислокації. Розглядаючи, для прикладу, дислокацію Паєрлса, величину напружень зсуву в площині ковзання визначають із залежності [5]:

$$\tau_{xy} = \frac{Gb}{2\pi(1-\mu')} \frac{x}{x^2 + w^2}, \quad (4)$$

де G – модуль зсуву; b – вектор ковзання вздовж осі x ; μ' – чинник Пуассона; w – параметр ширини.

Як результат аналізу залежності (4), на рис. 2 показано поле напружень зсуву у площині ковзання для $w/b = 0...10$ ($M = \tau_{xy}$). Зародження ковзання найімовірніше на віддалі w перед дислокацією та найменш імовірне з тилу на тій самій відстані. Коли $w/b = \text{const}$, тоді напруження зсуву, що необхідне для виникнення ковзання, не залежить від вектора ковзання дислокації.

Для встановлення імовірності зародження зсуву за межами площини ковзання розглядалося поле напружень (фрагмент подано на рис. 3) дислокації Паєрлса [5]:

$$\tau_{xy} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)w} \left[\frac{\alpha}{\alpha^2 + (\beta \pm 1)^2} - \frac{2\alpha\beta(\beta \pm 1)}{[\alpha^2 + (\beta \pm 1)^2]^2} \right], \quad (5)$$

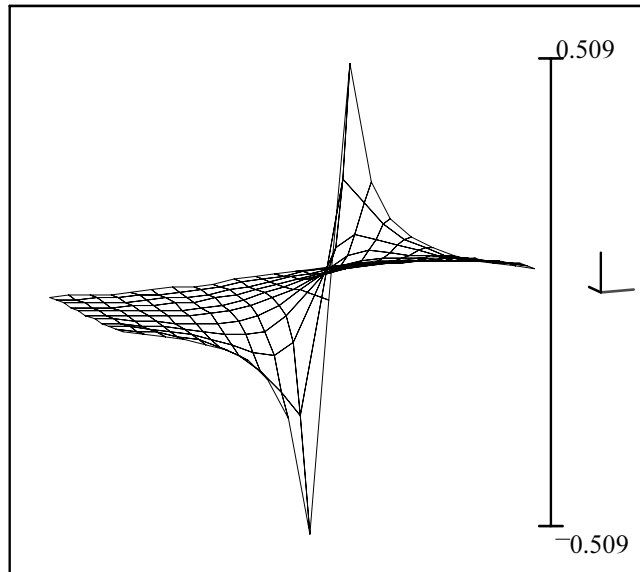
де $\alpha = x/w$, а $\beta = y/w$.

Найімовірніше місце зародження ковзання – вузька ділянка поблизу площини ковзання перед дислокацією. Форма ділянки не залежить від ширини дислокації, а її протяжність в площині ковзання прямо пропорційна до ширини. Звідси чим ширша дислокація, тим більш локалізоване ковзання. Хоч ковзання може зароджуватися як на фронті ковзання, так і з тилу, а найімовірніше, все-таки, – попереду та поблизу фронту.

Ковзання відбувається не просуванням лінійного дефекту, а через повторне зародження як з фронту, так і з тилу ковзання, що перебуває у згоді з незначною величиною активаційного об'єму деформації, визначеного у [6] для ряду металевих аморфних стопів типу $\text{Pd}_{80}\text{Si}_{20}$.

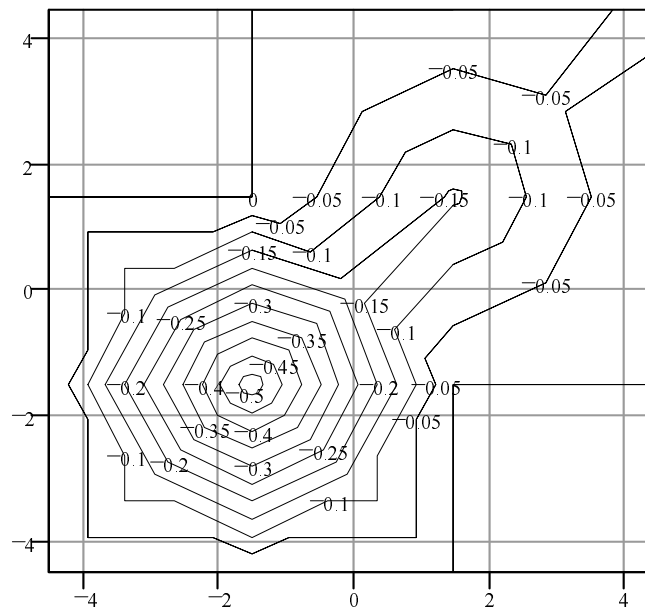
Отже, хоч дефекти структурного стану в металевих аморфних стопах однозначно не підлягають ідентифікації, проте виконані дослідження дають всі підстави вважати, що в металізованих стеклах існують два головні класи структурних неоднорідностей:

- неоднорідності, що визначаються змінами локальної густини (n- та р - типу);
- неоднорідності, що визначаються наявністю високих напружень зсуву.



М

Рис.2. Поле напружень зсуву в площині ковзання ($M = \tau_{xy}$).



М

Рис. 3. Поле напружень дислокації Паєрлса ($M = \tau_{xy}$).

Густина металевих аморфних стопів в дефектах n-типу на 10% нижча, а в дефектах р-типу на 10% вища від звичайної для конкретного матеріалу.

Зростання об'єму, що його посідають дефекти n-типу, може спричинити зменшення об'єму, зайнятого дефектами р-типу, а отже, – у процесі структурної

релаксації металевих стекол можна спостерігати зміну густини, спричинену рекомбінуванням цих дефектів.

Проте слід мати на увазі, що свіжогартовані металізовані стекла містять незначну дефектну частку (не більше ніж 2,5%) у гомогенній, загалом аморфній матриці.

1. Борн М., Хуан Кунь. *Динамическая теория кристаллических решеток*. М., 1958.
2. Egami T. // *Glassy Metals I*. ed. H. -J. Guntherodt, H. Beck, *Topics Appl. Phys. Vol. 46*, 1981. P.25.
3. Argon A.S., Kuo H.Y. / *Proc. 3rd Intern. Conf. Rapidly Quenched Metals*, ed. B. Cantor, *The Metals Soc., London*, 1978. V.2. P.269.
4. Angell C.A., Clarke J.H., Woodcock L.V. // *Advances in Chem. Phys. V.48*, ed. I. Prigogin, S. Rice, *Wiley, New York*, 1981. P.397.
5. Hirth J.P., Lothe J. *Theory of Dislocations*. – *McGraw-Hill*, 1968. P.206.
6. Li J.C.M. // *Frontiers in Materials Science*, ed. by L.E. Murr and C. Stein, *Marcel Dekker*, 1976. Pp.527 – 548.

УДК 681.325

РОЗПІЗНАВАННЯ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

© Паламар М.І., 2000

Тернопільській державний технічний університет ім. І.Пулюя

Розглядається алгоритм обробки біоелектричної інформації у системі реєстрації ЕРГ-сигналів із застосуванням нейронної мережі, яка адаптивно настроюється за зразковим сигналом автоматичним підбором внутрішніх вагових коефіцієнтів для мінімізації різниці між фактичним вихідним сигналом і сигналом навчання. Наведено результати роботи алгоритму.

In this paper the algorithm of bioelectric information processing in signal registration system with neuron application is reviewed. This net is adaptively change on pattern signal by the way of automatic selecting of inside coefficients to minimize the difference between the real output signal and pattern. The result are given.

Нейронні мережі – це клас алгоритмів, що описуються і моделюються за допомогою простих взаємозв'язаних схем, які аналогічно до роботи з нейронами мозку називають штучними нейронами. Нейронна мережа здатна порівнювати свій вихідний сигнал із заданим сигналом навчання і проводити самонастроювання за певними критеріями через автоматичний підбір різних внутрішніх вагових коефіцієнтів з метою мінімізації різниці між фактичним вихідним сигналом і сигналом навчання. Дослідження штучних нейронних систем появились ще в 60-х роках [1], але саме нині завдяки зростанню потужностей обчислювальних засобів стало можливим застосування