

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 539.6: 66971

ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ СТРУКТУРНИХ І ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ МЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Слободяник А.Д., Зузяк П.М., Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця, Україна*

Розроблена математична модель визначення фізико-технічних параметрів металів та сплавів на їх основі. Такий підхід дозволяє встановлювати просторово-часовий розподіл дефектів структури, їх взаємодію і перерозподіл

Вступ

Створення перспективних конструкційних матеріалів і посилення їх технічної спрямованості потребує поліпшення структури шляхом пошуку і наукового обґрунтування принципово нових прогресивних технологій обробки металічних матеріалів на підставі знання механізмів і кінетики структурних та фазових перетворень з урахуванням стану кристалічної ґратки, наявності дефектів структури, їх взаємодії та перерозподілу. Такі структурні зміни і фазові перетворення відбуваються в метастабільних станах металів і сплавів. Вони супроводжуються зменшенням вільної енергії і обумовлюють перехід матеріалів у більш стабільний термодинамічний стан. Науковою базою для розробки методів отримання металічних матеріалів з підвищеними механічними та оптичними властивостями служать дослідження механізмів і кінетики перетворень, що відбуваються саме в метастабільних станах.

В останні роки з'явилися нові експериментальні методи дослідження стану електронів в металах і сплавах [1 - 3]. Застосування спектрометрів з високою роздільною здатністю дозволяє отримати важливі дані про характер симетрії електронів в зовнішніх електронних смугах металів та їх сплавів. У видимій частині спектру метали досить сильно поглинають випромінювання, маючи коефіцієнт поглинання порядку 10^5 см^{-1} . Характерною особливістю більшості металів є те, що на деякій характерній для даного металу довжині хвилі коефіцієнт поглинання значно зменшується. Таке поглинання спостерігається для чистих металів за відсутністю домішок, коли поглинання вільними електронами незначне у порівнянні з власним поглинанням [4]. Селективність поглинання випромінювання металами можна використати для оцінки фізико-механічних властивостей металів та сплавів на їх основі.

Мета та об'єкт досліджень

Проблема вивчення кінетики процесів переходу металів у стабільний зміцнений стан досі залишається актуальною. Важливо встановити механізм

цих процесів і знайти можливості керувати ними з метою отримання термодинамічно рівноважного стану зі стабільними експлуатаційними характеристиками.

Вивчення оптичних властивостей металів методами застосування оптики пояснюється їх чутливістю до різних дефектів кристалічної будови та розподілі дефектів на їх зображенні. При цьому розрізняють лінійну та кутову здатність, яка визначається відповідно мінімальною відстанню між точками і мінімальним кутом дезорієнтації двох субструктурних складових, за якими ці дефекти розрізняються на зображенні.

Оптичні методи дослідження поверхневого стану металів та сплавів на їх основі можна поділити на дві групи. Перша група характеризується локальними змінами напрямів дифрагованих променів після взаємодії з досліджуваними матеріалами. Інша група характеризується локальними змінами інтенсивності дифрагованих променів після взаємодії з досліджуваними матеріалами. До двох вказаних методів дослідження структури кристалів відносяться методи Лауе, Шульги, Брега – Баррета, Ламбо, Ланга, Бормана, методи оптики розсіюючих матеріалів та інші.

Спільним для усіх методів, з використанням відповідно розробленої методики, є унікальна можливість досліджень недосконалостей внутрішньої будови металів та їх сплавів без руйнування досліджуваних зразків. Використання цих методів дозволяє виявити дефекти упаковки, субграниці, границі зерен, далекодіючі поля зовнішніх навантажень тощо, крім того, окремі дислокації в металах та їх сплавах. В основі цих методів використовується залежність інтенсивності розсіяного випромінювання від напрямку розміщення дислокацій та від ступені досконалості й орієнтації кристалічної ґратки в досліджуваних металічних матеріалах.

Для повного аналізу металічного стану речовини необхідно розглядати не тільки окремі метали, але й сплави на їх основі. Тому проблема встановлення електронної структури металів та сплавів є досить складною, невирішеною і актуальною.

Математична модель

Найбільш розповсюджений метод вивчення структури речовини полягає в дослідженні розподілу випромінювання, розсіяного при його зіткненні з атомами мішені. Експериментальні дані завжди порівнюються з результатами розрахунків, що базуються на квантовій теорії розсіяння. В основі квантової теорії розсіяння є рівняння Шредінгера

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi. \quad (1)$$

Якщо випромінювання взаємодіє з мішенню, яка складається з N однакових частинок, то гамільтоніан такої системи має вигляд:

$$H = H_0 + V; \quad H_0 = H_n + H_A, \quad (2)$$

де H_n – гамільтоніан поширення падаючого випромінювання;

H_A – гамільтоніан мішені, яка складається з N частинок;

V – взаємодія падаючого випромінювання з усіма частинками мішені, причому

$$V = \sum_{\alpha=1}^N V_{\alpha} = \sum_{\alpha=1}^N V(r_n - r_{\alpha}), \quad (3)$$

де r_n – оператор положення падаючого випромінювання;

r_{α} – оператор положення частинки мішені.

Розв’язок рівняння Шредінгера дає можливість визначити диференціальний переріз, що припадає на одиничний інтервал енергії розсіяного випромінювання [5]

$$\frac{d\sigma(\theta)}{dE} = N \alpha^2 \frac{k_f}{k_i} S(k, \omega), \quad (4)$$

$$\text{де } S(k, \omega) = \frac{1}{2\pi\hbar N} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\omega t) \sum_{\alpha, \beta} \left\langle \left\langle \exp\{-ik r_{\alpha}(0)\} \exp\{ik r_{\beta}(t)\} \right\rangle \right\rangle dt;$$

$d\sigma(\theta)$ – диференціальний переріз;

α – довжина розсіяння падаючого випромінювання;

k_f – імпульс фотона після розсіяння;

k_i – імпульс падаючого фотона;

$S(k, \omega)$ – динамічний структурний чинник.

Експериментальне вимірювання диференціального перерізу, що входить у формулу (4) дає можливість визначати динамічний структурний чинник $S(k, \omega)$. Такий підхід дозволяє встановлювати структуру просторово-часового розподілу атомів в мішені досліджуваних металів та сплавів на їх основі застосовуючи метод внутрішнього тертя [6-7].

Колір металу визначається залежністю його коефіцієнта дифузного відбивання $R(\omega)$ від частоти: деякі частоти відбиваються краще ніж інші. Відмінність кольору міді, цинку, та алюмінію вказує на те, що залежність коефіцієнта відбивання від частоти може суттєво змінюватись при переході від одного металу до іншого. Визначення коефіцієнта дифузного відбивання $R(\omega)$ методами розсіюючого випромінювання дозволяє визначати зміну фізико-механічних параметрів металів та їх сплавів в полях зовнішніх напружень. Такими параметрами, що залежать від структурних та фазових змін металу та сплаву в полях зовнішніх напружень, є електропровідність та теплопровідність металу, мікротвердість.

З теорії електромагнітних хвиль випливає, що коефіцієнт відбивання $R(\omega)$ металу визначається його провідністю, яка залежить від частоти ω

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 - i\omega\tau}, \quad \sigma_0 = \frac{ne^2\tau}{m},$$

де σ_0 – статична електропровідність металу;

n – концентрація електронів в одиниці об'єму;

$\tau = \frac{m}{\rho n e^2}$ – час релаксації;

ρ – питомий опір.

Структура коефіцієнта відбивання за моделлю вільних електронів є досить спрощеною, щоб пояснити характерні різкі зміни досліджуваних коефіцієнтів відбивання реальних металів та їх сплавів. Такі зміни коефіцієнта відбивання пов'язані з різного роду механізмами поглинання енергії. У моделі вільних електронів залежність коефіцієнта відбивання від частоти зумовлена тільки поглинанням енергії в наслідок зіткнення випромінювання з вільними електронами. В такій моделі не враховується, що при зіткненні випромінювання з електронами частина енергії поглинається електронами і перетворюється в теплову. Крім того, такий ефект проявляється на різних частотах, що не дає можливості виявити характерних особливостей різких змін коефіцієнта відбивання металів.

Взаємодію випромінювання з вільними електронами зручно представити, як потік фотонів з енергією $\hbar\omega$, здатних зумовити перехід електронів з одного рівня на інший $E' = E + \hbar\omega$. Для зміни енергії електрона на величину $\hbar\omega$, він повинен перейти з однієї зони в іншу. Мінімальна енергія $\hbar\omega$, яка необхідна для міжзонного переходу електронів, визначається за формулою [8]

$$\hbar\omega = \frac{\hbar^2}{2m}(2k_0 - k_F)^2 - \frac{\hbar^2}{2m}k_F^2,$$

де k_0 – довжина відрізка ΓN між центром зони Бріллюена і серединою грані зони;

k_F – радіус сфери Фермі.

Розрахунок мінімальної енергії міжзонного переходу представлено на рис.1.

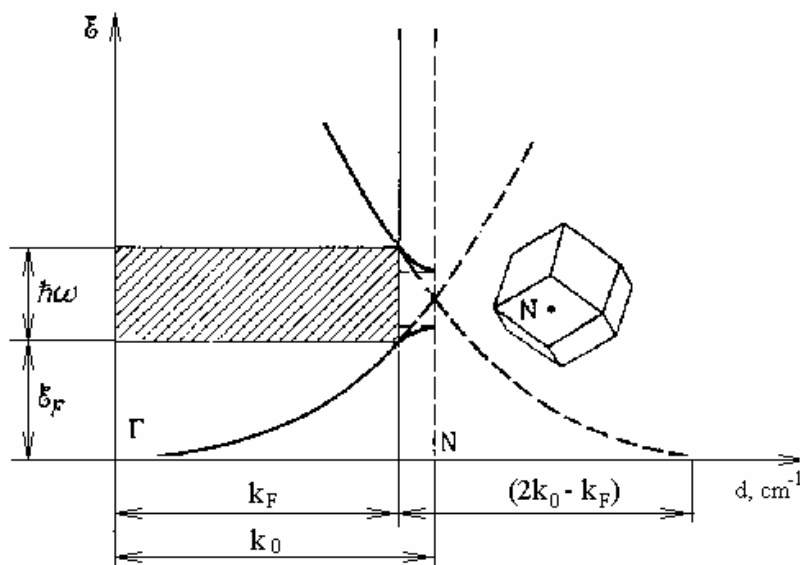


Рисунок 1 – Розрахунок мінімальної енергії міжзонного переходу металів за моделлю вільних електронів

При застосуванні такого підходу визначення параметрів зонної структури за оптичними властивостями є доступним, але не для всіх металів його можна провести безпосередньо. У багатовалентних металах на поверхні Фермі знаходяться точки, де зона провідності перекривається сусідньою зоною. Тому перехід електронів між зонами відбувається при менших енергіях, що призводить до зникнення чіткої межі міжзонного переходу.

Розроблена математична модель визначення фізико-технічних параметрів металів та сплавів на їх основі дозволяє встановлювати просторово-часовий розподіл дефектів структури, їх взаємодію і перерозподіл.

Висновки

1. Вирішується проблема підвищення міцності металів та їх сплавів шляхом визначення спектральних коефіцієнтів дифузного відбивання в умовах зовнішніх навантажень та при їх термоциклюванні.

2. Для визначення фізико-технічних параметрів металів створена математична модель, що дозволяє визначати динамічний структурний чинник $S(k, \omega)$. Такий підхід дозволяє встановлювати структуру просторово-часового розподілу атомів в мішені досліджуваних металів та сплавів на їх основі застосовуючи метод внутрішнього тертя.

3. Отримані результати дають можливість здійснювати подальші дослідження міцностних властивостей металів на основі встановлення їх внутрішньої будови за розсіяним випромінюванням.

Література

1. Гаврилюк К.В., Маяковский Є.А. Структурочутливі особливості бінарних сплавів системи Al-Cu // Металознавство і обробка металів. - 2001. - № 3. - С.61-68.
2. Зузяк П.М., Лисий М.В. Особливості внутрішнього тертя волокнистих композиційних матеріалів // Физика прочности и пластичности. Металлофизика и новейшие технологии. -2000. - Т.24, №6. - С.843-848.
3. Коротаев А.Д., Дударев Е.Ф. и др. Некоторые актуальные проблемы физики пластичности и прочности моно- и поликристаллов // Известия высших учебных заведений. - 1998. - № 8. - С5-15.
4. Дехтяр И.Я., Немошkalенко В.В. Электронная структура и электронные свойства переходных металлов и их сплавов. - К.: Наукова думка, 1971. - 304 с.
5. С.Сунакава. Квантовая теория рассеяния: Пер. с яп. - М.: Мир, 1979. - 268 с.
6. Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов.- М.: Наука, 1973. -223 с.
7. Зузяк П.М., Білюк А.І., Ходак В.Й. та ін. Закономірності зміни механічних характеристик систем Al-Cu і Al-Zn під час еволюції субструктури // Фізико-хімічна механіка матеріалів. -2002. - №3. - С.119-121.
8. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела: Пер. с англ. -М.: Мир, 1979. - 399 с.

Слободяник А.Д., Зузяк П.М. Изучение кинетики структурных и фазовых превращений металлических материалов Разработана математическая модель определения физико-технических параметров металлов та сплавов на их основе. Такой подход разрешает устанавливать пространственно-часовое распределение дефектов структуры, их взаимодействие и перераспределение.	Slobodyanyk A.D., Zuzyak P.M. Kinetic study of structural and phase transformations of metal materials There had been developed the mathematical model for determining and technical parameters of materials and ferrons on their basis. Such an approach the special and time distribution of structure failures, their interaction and redistribution allows to determine.
--	--

*Надійшла до редакції
18 червня 2005 року*

УДК 681.7.013.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЛЬЕФНЫХ ТРАСС

Агалиди Ю.С., Левый С.В., Мачнев А.М., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Представлены результаты экспериментальной оценки чувствительности и достоверности средств магнитооптической визуализации рельефных трасс на фоне рельефа поверхности ферромагнитного листового проката, с учётом фактора толщины неферромагнитного покрытия

Вступление

Чувствительность и достоверность являются базовыми понятиями и основными характеристиками неразрушающего контроля [1]. Очевидно, что появление новых методов (или применение известных методов по отношению к нерегламентированным для них классам или параметрам дефектов, новым условиям применения) должно сопровождаться новой оценкой их чувствительности и достоверности.

В данной статье исследуются характеристики магнитооптических средств [2] при визуализации полей рассеяния (обусловленных рельефом поверхности ферромагнитных изделий) сквозь слой неферромагнитного покрытия. Решение подобного рода задач необходимо, например, при экспертно-криминалистических исследованиях автотранспорта, когда требуется неразрушающими методами наблюдать рельефные трассы на поверхности металла кузова под слоем лакокрасочного покрытия. Обычно подобного рода исследования выполняют при оценке подлинности идентификационного номера автомобиля. Характер рельефа металлической поверхности в этом случае определяется сочетанием рельефа заготовки (прокатного листа) с рельефом штамповки кузовных деталей, на фоне которого эксперт-криминалист выявляет трассы последующей обработки или последствий взаимодействия с другими объектами.