

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ В ТЕРМОДИНАМІЧНІЙ СИСТЕМІ Fe-Ni

Ольшанецький В. Ю. д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: olshan@zpu.edu.ua;*

Золотаревський І. В. канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри фізики Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: zolotarevsky.i@gmail.com*

В роботі [1], на основі аналізу експериментальних даних по впливу сильних магнітних полів на мартенситне $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення, було висловлено припущення, що зародження мартенситної фази може відбуватися в локальних областях γ - фази з дезорієнтованими атомними магнітними моментами. Це можуть бути магнітні неоднорідності, збагачені атомами основного компонента – заліза, які мають тенденцію до антиферомагнітної взаємодії [2].

Метою даного повідомлення є пошук співвідношення між конкуруючими елементами в бінарній термодинамічній системі Fe-Ni, яка є основою багатьох сталей і спеціальних сплавів.

Згідно відомої кривої Бете-Слетера (рис.1) [2–4] в парамагнітній ГЦК-матриці обох елементів відбуваються магнітні фазові переходи другого роду різних типів (точка Нееля T_N в γ -залізі та точка Кюрі T_K в нікелі). При цьому, перетворення в обох системах відбуваються в малих кластерних зонах типу першої координаційної сфери. З часом в процесі перетворення кількість подібних кластерів збільшується, що приводить до збільшення ентропії в обох металах, а це уповільнює швидкість формування більш стабільного термодинамічного стану. Перебіг такого роду подій характеризується постійними значеннями інтегралів магнітної взаємодії $A_{Fe}^{\downarrow\uparrow}$ та $A_{Fe}^{\uparrow\uparrow}$ (позначки ($\downarrow\uparrow$) і ($\uparrow\uparrow$) символізують антипаралельну (γ -залізо) чи паралельну (Ni) орієнтацію векторів спінів електронів у 3d-смугах атомних будов у відповідних системах).

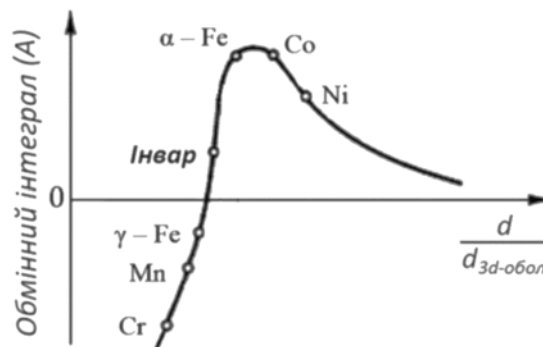


Рис. 1. Якісна залежність енергії обмінної взаємодії пари найближчих атомів A від відношення діаметра атома до діаметра незаповненої оболонки $d/d_{3d-обол.}$ перехідних металів [2]

Інакше відбувається при додаванні Fe у чистий нікель. Інтеграл обмінної взаємодії змінюється до нульового значення (рис. 2). Те саме повинно відбуватися і з чистим γ - залізом при збільшенні у ньому концентрації Ni. Відповідно рис. 2 рівняння для $A = f(c_{Ni})$ і $A = f(c_{Fe})$ відповідають дійсним залежностям, бо істинні рівняння впливають зі схеми, яка представлена на рис. 3. При цьому перехід в ГЦК гратці від парамагнетизму до феромагнетизму у сингулярній точці ($A \sim 0$) може тимчасово відповідати схемі $\gamma_n \rightarrow \gamma_{af} + \gamma_\phi$ через непереводовану структуру неколінеарних векторів електронних спінів. Це збуджений стан, який забезпечує своєрідний енергетичний поштовх для появи паралельної орієнтації спінових моментів (рис. 4).

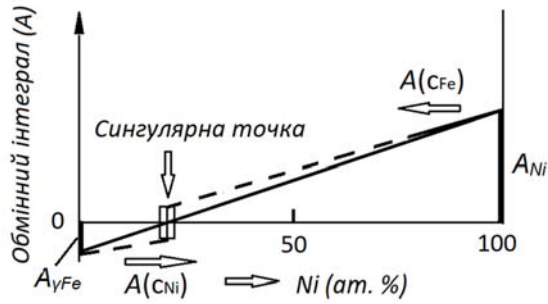


Рис. 2. Концентраційна залежність обмінного інтегралу A в ГЦК-структурі сплавів Fe-Ni в першому наближенні

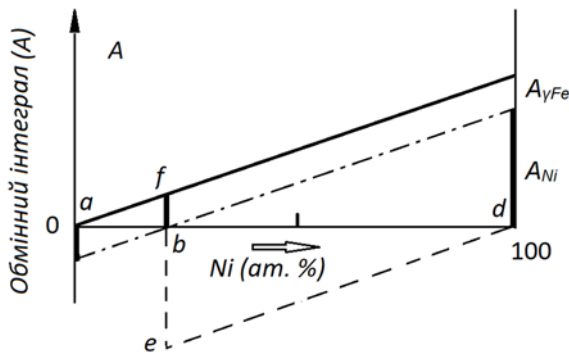


Рис. 3. Схема для графічного розрахунку концентрації нікелю і заліза в сингулярній точці

Розрахунки згідно цієї схеми дають такі оцінки концентрації нікелю і заліза в сингулярній точці:

$$c_{Ni} = \frac{ab}{ab+bd} = \frac{bf}{bf+be} = \frac{A_{\gamma Fe}}{A_{\gamma Fe} + A_{Ni}} = \frac{T_N}{T_N + T_K};$$

$$c_{Fe} = \frac{bd}{ab+bd} = \frac{be}{be+bf} = \frac{A_{Ni}}{A_{\gamma Fe} + A_{Ni}} = \frac{T_K}{T_N + T_K}.$$

Отже, враховуючи числові значення точки Нееля в γ -залізі (67 K [2]) і точки Кюрі в чистому нікелі (633 K [2–3]), отримаємо в ат. %:

$$c_{Ni} = 9,57\%; \quad c_{Fe} = 90,43\%.$$

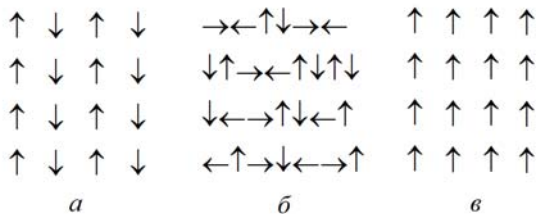


Рис. 4. Магнітна взаємодія атомних магнітних моментів в γ -Fe (а), в Ni (б) і в системі Fe-Ni в області сингулярної точки (в) – нестійка рівновага типу спінове скло

Список літератури

1. Золотаревский И. В. Мартенситное превращение в системах на основе составов Fe-Ni в сильных магнитных полях / Золотаревский И.В. // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2020. – №. 2. – С. 22–29. DOI 10.15588/1607-6885-2020-2-3.
2. Седов В. Л. Антиферромагнетизм гамма-железа. Проблема инвара / Седов В. Л. – М. : Наука, 1987. – 288 с.
3. Белов К. П. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнитных металлах / Белов К. П. – М.-Л. : ГИТТЛ, 1951. – 256 с.
4. Золотаревський І. В. Інварні аномалії і мартенситне перетворення в сталях і стопах на основі Fe-Ni в сильному магнітному полі та без нього / Золотаревський І. В. // Металофізика і новітні технології – 2022. – Т. 44, № 2. – С. 159–174. DOI: 10.15407/mfint.44.02.0159

Одержано 12.12.2022

**ON THE PECULIARITIES OF PHASE TRANSITIONS IN THE
Fe-Ni THERMODYNAMIC SYSTEM**

- | | |
|------------------|--|
| Ol'shanetskii V. | Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Physical Material Science, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, <i>e-mail: olshan@zp.edu.ua;</i> |
| Zolotarevsky I. | Ph. D., Associate Professor of the Department of Physics, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, <i>e-mail: zolotarevsky.i@gmail.com</i> |