

Література

1. Білий М. У., Охріменко Б. А. Атомна фізика: Підручник. - К.: Знання, 2010. - 559 с. (Основи квантових станів та випромінювання).
2. Вакуленко М. О. Новітні технології в медицині: фізичні аспекти та інновації. // Журнал медичної фізики та інженерії. - 2021. - №3. (Опис МРТ та лазерів).
3. Качур О. С. Основи робототехніки та мехатроніки: навч. посібник. - Львів: Магнолія, 2022. - 280 с. (Про сенсори та приводи).
4. Стівен Гокінг. Короткі відповіді на великі питання. - К.: Книжковий клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», 2019. - 224 с. (Першоджерело про погляди вченого на науку та технології).
5. Ткаченко В. І. Квантові комп'ютери та нейромережеві інтерфейси: фізичні принципи реалізації. // Вісник НАН України. - 2023. - №5. (Про Neuralink та майбутнє зв'язку мозок-комп'ютер).
6. Якібчук П. М. Молекулярна фізика: Навч. посібник. - Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2015. (Основи нанотехнологій).

УДК 537.622

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ МІДЬ-ЗАЛІЗО

О.Ф. Єрьоміна, О.М. Белашов, І.А. Чернишков

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

elena.yeryomina@gmail.com

Дослідженню магнітної сприйнятливості сплавів цієї системи присвячено велику кількість робіт, проте відомості, що містяться в літературі, часто мають суперечливий характер. Ймовірно, це пов'язано з тим, що розчинність заліза в міді суттєво змінюється з температурою, і навіть невеликі відмінності в режимах приготування зразків можуть суттєво змінити магнітний стан сплаву. Це не дозволяє за даними різних досліджень побудувати загальну залежність магнітної сприйнятливості від вмісту заліза в сплаві.

Тому в цій роботі за єдиною методикою були підготовлені зразки сплавів системи Cu-Fe із вмістом заліза до 7,94 мас.% та досліджено їх магнітну сприйнятливість. Вивчалися сплави наступних складів: Cu - 1, 11; 2,21; 2,89; 3,67; 4,62; 4,65 та 7,94 мас.% Fe.

Визначення магнітної сприйнятливості сплавів проводили за напруженості магнітного поля 10...55 кА/м. Залежність питомої магнітної

сприйнятливості від вмісту заліза в сплаві, показана на рис.1 ($H= 40$ кА/м), з хорошою точністю може вважатися лінійною.

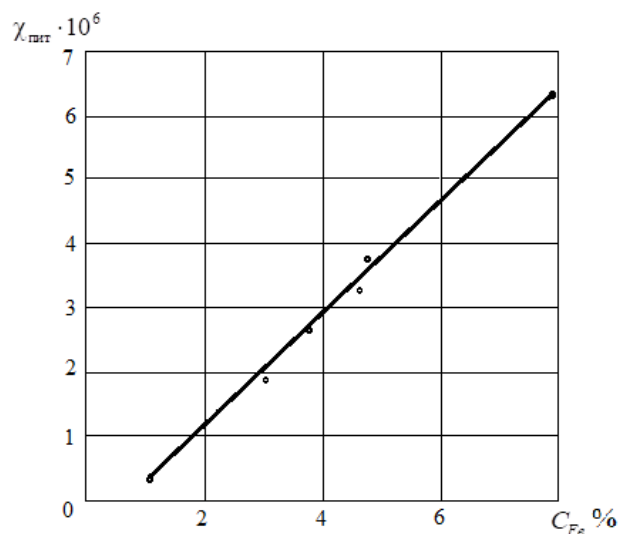


Рис.1. Залежність питомої магнітної сприйнятливості від вмісту заліза

Математичний вираз цієї залежності знайдений за методом найменших квадратів, має вигляд

$$\chi_{питт} \cdot 10^6 = 1,6 + 9,2(C_{Fe} - 1) \quad (1)$$

Така форма запису обрана для того, щоб вказати на застосування цієї формули тільки для розрахунку магнітної сприйнятливості сплавів, що містять більше 1 % заліза.

Металографічні дослідження сплавів, проведені після теплового травлення шліфів, показали, що зразки, що містять 1...2% Fe, мають включення розміром 2...5 мкм. При великих концентраціях заліза в сплаві поряд з дрібними включеннями містяться і більші розміром близько 20 мкм.

Раніше бронзи та латуні, леговані залізом, за своїми магнітними властивостями були віднесені до суперпарамагнетиків [1]. Отримані в цій роботі значення магнітної сприйнятливості за абсолютною величиною також знаходяться в межах, характерних для цього класу матеріалів. Однак залежність магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля для досліджених зразків (рис.2) має вигляд, характерний для феромагнітних матеріалів у галузі магнітного насичення.

Крім того, суперпарамагнітний стан характеризується слабкою взаємодією між феромагнітними частинками та хаотичним розподілом їх магнітних моментів.

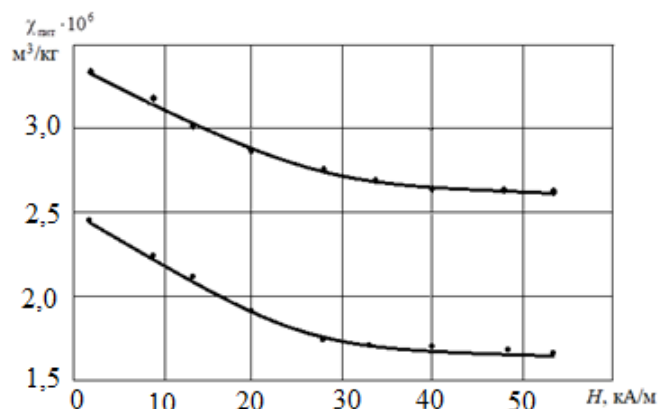


Рис.2. Залежність магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля

Для того, щоб вектори намагніченості частинок змінювали свою просторову орієнтацію, необхідно, щоб енергія теплового руху була більшою за порядок енергії магнітної анізотропії, тобто $kT \geq KV$, де k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура, K – константа магнітної анізотропії, V – об’єм частинки.

При 300 К константа магнітної анізотропії для заліза становить $2 \cdot 10^3$ Дж/м³ [2]. Тоді, вважаючи виділення заліза рівновісними, знаходимо, що суперпарамагнетизм у сплавах Cu-Fe при кімнатній температурі може спостерігатися тільки для частинок розміром менше $1,3 \cdot 10^{-8}$ м, тобто. 0,013 мкм. Появу таких частинок можна очікувати у сплавах із концентрацією заліза близько 0.1%, тобто в бронзах і латунях, що містять залізо як домішку. Сплави на основі міді, леговані залізом і які мають у своєму складі більше 1% Fe, не можуть бути віднесені до суперпарамагнітних матеріалів за характером своєї поведінки в магнітному полі. Очевидно, взаємодія між магнітними моментами окремих феромагнітних частинок у цих сплавах призводить до появи областей із паралельним напрямом моментів й у магнітному полі такі сплави поведуться як дуже слабкі феромагнетики.

Література

1. Мриглод І.М., Цмоць В.М., Соколов В.В. Магнітні властивості феромагнітних наночастинок у немагнітній матриці. *Збірник наукових праць «Фізика наноструктур та систем із сильними електронними кореляціями»* Дрогобич, 2007. С. 14-16.
2. Panin M.I., Kupchinskaya N.E., Bakhmetiev M.V., Morgunov R.B., Berzhansky V.N., Belotelov V.I., Polulyakh S.N., Chernov A.I. Exploring magnetic anisotropy in garnet films at low temperatures using ferromagnetic resonance. *Journal of Applied Physics*. 2025. Vol. 137, 043904.