

УДК 669.788

Я. Замора, канд. техн. наук

*Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка*

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ У СЕРЕДОВИЩІ ВОДНЮ НА МАГНІОСТРИКЦІЮ ЗАЛІЗО-КОБАЛЬТОВОГО СПЛАВУ

***Резюме.** Запропоновано спосіб поліпшення магнітострикції сплаву K50Ф2, у якому для збільшення об'ємного вмісту впорядкованої фази FeCo термообробку проводили у водні тиском 0,1 МПа. Це дозволило знизити на 150 К температуру обробки (від 1153 до 1003 К) і скоротити її тривалість з 5 до 4 год., враховуючи час дегазації. На основі проведених експериментальних досліджень показано, що застосування водню, як технологічного середовища в процесі подрібнення та хіміко-термічної обробки постійних магнітів дозволяє збільшити величину константи магнітострикції.*

***Ключові слова:** водень, магнітний момент, температура точки Кюрі, магнітострикція, константа магнітострикції, аномалії електроопору.*

Y. Zamora

THE INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT IN THE HYDROGEN ENVIRONMENT ON THE IRON-COBALT ALLOY MAGNETOSTRICTION

***Summary.** Magnetic properties of materials are divided into two groups – the dependent and independent on the material structure. Magnetostriction is a characteristic that depends on both of these factors and can be both in ferromagnetic and antiferromagnetic metals. Magnetic materials can have both positive and negative magnetostriction. The magnetostriction constant describes the ability of magnetic materials to change their size while imposing a magnetic field or while exceeding the critical temperature of the magnetic transformation (Curie point). The research of the influence of temperature and time of the thermal treatment in a hydrogen environment on the magnetostriction constant of iron-cobalt alloy has been conducted. Dissolved hydrogen increases critical temperature of α - β transformation in cobalt and promotes selfdiffusion of the Co structure. The method of improving magnetostriction of alloy K50F2, in which the thermal treatment in the hydrogen was made with pressure 0,1 MPa to increase the volume content of the ordered phase FeCo has been proposed. It allows to drop the temperature of treatment to 150 K (from 1153 K to 1003 K) and reduce its duration from 5 to 4 hours taking into consideration the time of decontamination. The temperature and time intervals of forming hydride phases in vanadium, by which it is alloyed to improve plasticity to prevent the hydrogen embrittlement under cooling, have been found. On the basis of carried out experimental researches there has been shown that the use of hydrogen as a technological environment during fragmentation and chemical-thermal processing treatment of magnet allows to increase the value of magnetostriction constant.*

***Key words:** hydrogen, magnetic moment, Curie point temperature, magnetostriction, magnetostriction constant, electric resistance anomaly.*

Постановка проблеми. Велика увага дослідників спрямована на вивчення нового класу функціональних матеріалів, які мають високі показники фізичних властивостей. Це – постійні магніти та магнітостриктори на основі сплавів 3d-перехідних металів (Fe, Co, Ni). Однак магнітострикційні матеріали з точки зору використання термічної обробки у середовищі водню практично не досліджувалися. Тому встановлення можливостей застосування водню як технологічного середовища для оптимізації

експлуатаційних характеристик магніострикційних сплавів є актуальною науково-технічною задачею сучасного матеріалознавства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях [1–2] досліджено взаємодію водню з найтипівішими впорядкованими структурами на основі d-перехідних металів та з'ясовано можливості застосування водневої обробки для зміни їх фазово-структурного стану. Про вплив термічної обробки на магнітні властивості залізо-кобальтових сплавів у літературі взагалі немає однозначної думки. Із робіт Емері [3] з дослідження сплавів FeCo (50%) і K50Ф2 випливає, що найкраще співвідношення магнітних властивостей (мала величина коерцитивної сили і велика величина магнітної індукції) може мати місце лише за високого ступеня далекого атомного порядку. З іншого боку, в праці [4] показано, що повільне охолодження в інтервалі температур 550–750°C, тобто в області, де відбувається інтенсивне впорядкування, викликає суттєве зниження магнітних властивостей. Необхідно відзначити, що термічна обробка таких сплавів проводиться у вакуумі і вплив водню на магнітні властивості феромагнетиків у вищезгаданій літературі не розглядався.

Метою даної роботи є встановлення закономірностей впливу температури та часу термічної обробки у середовищі водню на фазово-структурний стан і магніострикцію залізо-кобальтового сплаву.

Результати досліджень. У загальному випадку магнітні властивості матеріалів поділяють на дві групи – залежні й незалежні від структури матеріалу. Перші пов'язані з намагнічуванням, наприклад, коерцитивна сила. Другі – з температурною зміною магнітного порядку – магнітний момент та температура точки Кюрі. Але є така характеристика, яка залежить від обох вказаних факторів – це магніострикція, яка проявляється як у феромагнітних, так і антиферомагнітних металах. Вивчення константи магніострикції має важливе значення при розробленні та виготовленні багатьох виробів сучасної техніки, зокрема в радіотехніці та електрозв'язку – генератори ультразвуку, надчутливі приймачі звуку, лінії затримки звукових та електричних сигналів і високоефективні електроакустичні перетворювачі та томографи, які застосовуються в медицині.

За визначенням, константа магніострикції $\lambda = \Delta l / l$, де l – довжина зразка. Вона характеризує здатність магнітного матеріалу змінювати свої розміри при накладанні магнітного поля або при переході через критичну температуру магнітного перетворення (точку Кюрі). Слід відзначити, що за цих умов нікель має від'ємну магніострикцію, тобто зменшує свої розміри, а сплави на основі РЗМ їх збільшують. При цьому магніострикційні сплави РЗМ, зокрема диспрозію і тербію, володіють так званою «гігантською магніострикцією» – збільшення їх геометричних розмірів, порівняно з застосовуваними на даний час магніострикційними матеріалами (сплави Fe-Co, $\lambda = 10^{-5}$) може досягати значень $\lambda = 10^{-3}$ [1].

Досліджували залізо-кобальтовий сплав FeCo, легований ванадієм (K50Ф2), який вводять для підвищення пластичності перед холодним вальцюванням. Магнітні властивості вихідного сплаву FeCo (50%) і ванадієвого пермендіюру K50Ф2 в поковках товщиною 15...20 мм однакові, а в холодновальцьованих листах відрізняються – у сплаві з V більша коерцитивна сила.

Відомий спосіб термічної обробки магніострикційного сплаву K50Ф2 полягає у наступному: нагрів у вакуумі до 1173 К, відпал за цієї температури впродовж 5 год. та повільне охолодження зі швидкістю 20 – 30 К/хв. до температури 1023 К з подальшим швидким охолодженням на повітрі (300 – 400 К/хв.). Константа магніострикції сплаву K50Ф2 після такої термічної обробки досягає величини $(60 - 65) \cdot 10^{-6}$. Однак її істотними недоліками є висока температура і зміна властивостей за холодного вальцювання.

Оскільки застосування водню як технологічного середовища в процесі хіміко-термічної обробки постійних магнітів дозволило підвищити їх коерцитивну силу і магнітну енергію [2], в даній роботі були проведені дослідження впливу водню на коефіцієнт магнітострикції сплавів системи Fe-Co.

Дослідження впливу температури відпалу на висоту аномалії електроопору сплаву K50Ф2, яка спостерігається в околі температури точки Кюрі (рис.1), проводили, витримуючи зразки в інтервалі температур 700–900⁰С протягом двох годин (рис.2).

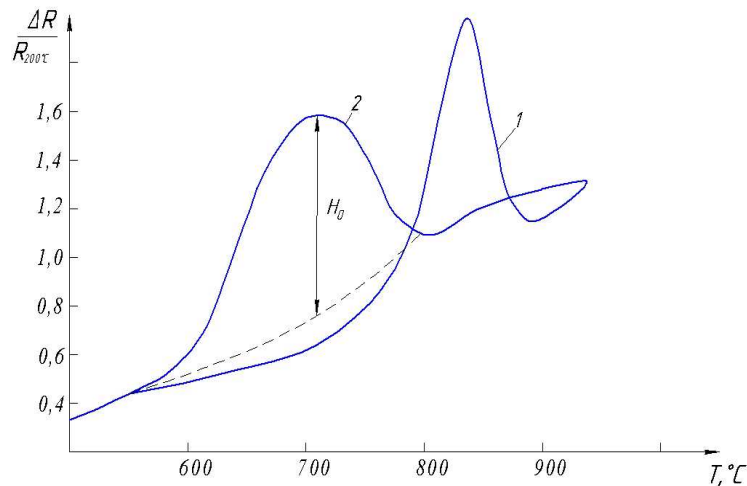


Рисунок 1. Температурні залежності електроопору сплаву K50Ф2 за нагріву (1) і охолодженні (2)

Figure 1. Temperature dependence of the electrical resistance of the alloy K50F2 under heating (1) and cooling (2)

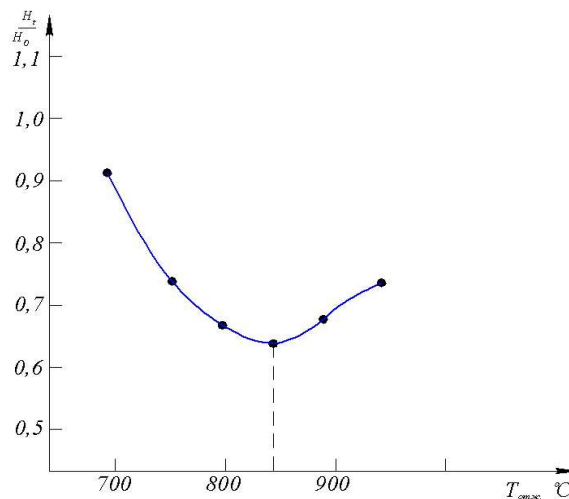


Рисунок 2. Вплив температури відпалу на відносну висоту аномалії електроопору сплаву K50Ф2

Figure 2. The influence of annealing temperature on the relative anomaly height of the alloy K50F2 electrical resistance

Як впливає з отриманих результатів, максимальне зменшення висоти аномалії електроопору (що відповідає найбільшому зростанню магнітострикції [5]) спостерігається за температури 840⁰С. Ця температура є критичною для існування впорядкованої структури FeCo [1] і тому була вибрана для подальших досліджень кінетики зміни висоти електроопору сплаву K50Ф2.

Встановлено (рис.3), що в процесі ізотермічного відпалу висота аномалії знижується протягом 4 годин відпалу, після чого її зміна стабілізується.

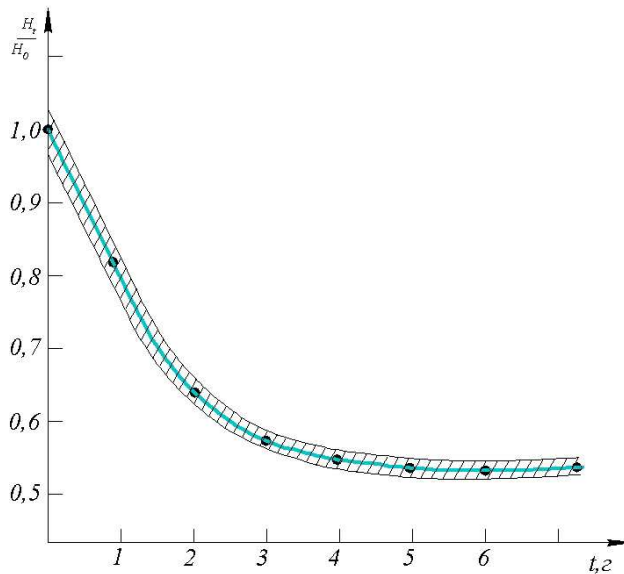


Рисунок 3. Вплив часу відпалу при температурі 840°C на відносну висоту максимуму електроопору сплаву K50Ф2

Figure 3. The influence of annealing time at 840°C on relative height maximum of the alloy K50F2 electrical resistance

Таким чином, встановлено мінімальний час відпалу, необхідний для отримання максимального значення магнітострикції. Цей результат можна пояснити досягненням такого ступеня атомного порядку, який термодинамічно можливий за заданої температури проведення експерименту.

Слід відзначити також, що при температурному інтервалі нижче 600°C можливе утворення мікрообластей, збагачених ванадієм, що, в свою чергу викличе процес гідридоутворення у сплаві й призведе до його гідридного окрихчення [6].

Висновки. За параметрами аномалії електроопору на змінному струмі можна якісно судити про величину константи магнітострикції феромагнетиків.

Максимальна магнітострикція спостерігається у сплавах, що характеризуються утворенням впорядкованих атомних структур – чим вищий їх об'ємний вміст і ступінь порядку в сплаві, тим більша величина коефіцієнта магнітострикції.

Покращити магнітострикцію сплаву K50Ф2 можна за такої обробки:

- відпал у середовищі водню тиском $(0,5-1,2) \cdot 10^5$ Па;
- температура відпалу 780–850°C;
- час відпалу – не менше 4 годин;
- повільне охолодження (40-50 град/год.) до температури 600°C;
- швидке охолодження (1000–1500 град/год.) від 600°C до кімнатної температури.

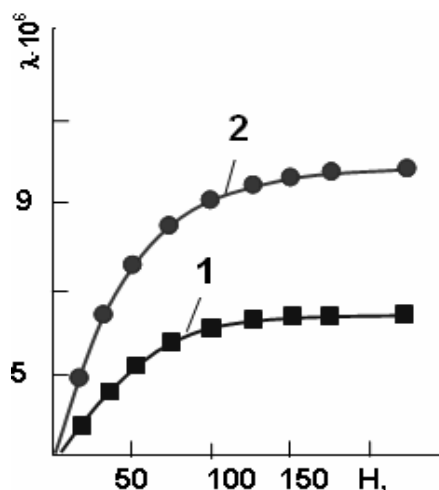


Рисунок 4. Константи магнітострикції сплаву K50F2 у вакуумі (1) та після термічної обробки у середовищі водню (2)

Figure 4. The constants of magnetostriction of alloy K50F2 in vacuum (1) and after thermal treatment in a hydrogen environment (2)

Така термообробка призводить до зростання константи магнітострикції сплаву K50F2 від $64 \cdot 10^{-6}$ до $95 \cdot 10^{-6}$ (рис.4) за зниження температури відпалу (на 150°C) і скорочення тривалості обробки (на 1 год.).

Conclusions. According to the parameters of electrical resistance of anomalies of the alternating current the value of the magnetostriction constant of ferromagnet can be found.

The maximum magnetostriction is observed in alloys, characterized by the formation of ordered atomic structures - the higher their volume content and degree of order in the alloy, the greater the coefficient of magnetostriction.

The magnetostriction of alloy K50F2 is possible by such treatment:

- annealing in hydrogen environment by pressure $(0.5-1.2) \cdot 10^5$ Pa;
- annealing temperature $780-850^\circ\text{C}$
- annealing time – not less than 4 hours;
- slow cooling ($40-50$ deg / hr.) to temperature of 600°C ;
- rapid cooling ($1000-1500$ deg / hr.) from 600°C to room temperature.

Список використаної літератури

1. Вонсовский, С. В. Магнетизм [Текст] / С. В. Вонсовский. – М. : Наука, 1971. – 1032 с.
2. Похмурский, В. І., Федоров В. В. Вплив водню на дифузійні процеси в металах [Текст] / В. І. Похмурский, В. В. Федоров. – Л. : В-во ФМІ НАН України, 1998. – 206 с.
3. Eumery, J. P. Ordering Kinetics of Various Fe-Co alloys. [Text] / J. P. Eumery, S. P. Grosba, P. Moine // Phys. Stat. Sol. (a). – 1974. – 21, №2. – P. 517–521.
4. Елютин, О. П. Влияние технологии производства на магнитные свойства сплава супермендюр [Текст] / О. П. Елютин, Г. В. Пшеченкова // В кн. : Труды ЦНИИЧМ, ИПС. – 1968. – №64. – С. 21–30.
5. Вплив анізотропії вальцювання та термічної обробки у водні на магнітострикцію сплаву K50F2 [Текст] / Ю. Г. Бачинський, С. В. Мохун, Р. І. Іваницький, Я. П. Замора, В. І. Прокопюк, В. В. Федоров // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – Т. 43, №5. – С. 122–124.
6. Вплив модифікування поверхні на кінетику наводнення металів V групи і сплавів на їх основі [Текст] / В. Федоров, І. Сидорак, Ю. Бачинський, Р. Іваницький. Я. Замора, С. Мохун, Т. Засадний // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів : спец. випуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів». – 2008. – Т. 1, №7. – С. 92–95.

Отримано 17.03.2015