

ВПЛИВ ГІДРИДОУТВОРЕННЯ НА КОНСТАНТУ МАГНІОСТРИКЦІЇ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ

Іваницький Р.І.,

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Бойко,

Наговська І.В.,

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,

Прокоп'юк В.А.,

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Бойко,

Тростянчин А.М.,

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,

Замора Я.П.,

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Бойко

У роботі проаналізовано вплив водню на магніострикцію нікелю, кобальту та феромагнітних сплавів на їх основі з рідкісноземельними металами (РЗМ). Встановлено, що воднева обробка приводить до зростання константи магніострикції, при цьому процес гідридоутворення може як погіршувати, так і поліпшувати магнітні характеристики.

Ключові слова: магніострикція сплавів, рідкісноземельні метали.

Вступ і постановка завдань роботи. Сплави на основі перехідних металів, маючи особливу електронну структуру, володіють низкою цінних фізичних властивостей і знайшли широке застосування у техніці. Сьогодні особлива увага дослідників спрямована на розроблення нових магнітних матеріалів на основі сплавів d-перехідних (Fe, Co) та рідкісноземельних металів (Nd, Sm, Dy, Tb). Як технологічне середовище при їх обробці часто застосовують водень [1]. При цьому наводнювання сплавів та сполук на основі рідкісноземельних металів (РЗМ) може приводити як до зростання, так і до зменшення величини обмінної електронної взаємодії, яка визначає магнітні характеристики матеріалу [2]. Їх величина залежить не тільки від хімічного складу сплаву, існуючих в ньому фазових перетворень, але й від умов проведення хіміко-термічної обробки. Особливо це стосується константи магніострикції λ .

Явище магніострикції полягає у зміні геометричних розмірів зразка у магнітному полі, тому λ є функцією його напруженості, температури, фазово-структурного стану матеріалу і оцінюється безрозмірною величиною $\Delta l / l$, де Δl – видовження зразка за накладання магнітного поля, а l – його довжина [3]. Розрізняють два види магніострикції [2] – ізотропну (обмінну) і анізотропну (одноіонну). Обмінна виникає внаслідок взаємодії між магнітними моментами атомів у кристалічній ґратці, які при включенні магнітного поля орієнтуються вздовж його напрямку. При цьому у феромагнітних 3d – перехідних металах з кубічною ґраткою величина Δl не залежить від напрямку осей симетрії кристалу. У випадку РЗМ визначальною є анізотропна магніострикція, особливістю якої є те, що λ вздовж різних осей симетрії

може мати різну величину і знак. Крім того, у атомів РЗМ електронна орбітальна хмарка має не сферичну, а еліпсоїдну форму і тому деформація кристалічної ґратки є більш значною [4].

Таблиця 1 – Поздовжня магнітострикція полікристалічних зразків деяких РЗМ і 3d – перехідних металів при 300 К [4]

Метал	Tb	Dy	Ho	Er	Fe	Co	Ni
$\lambda \cdot 10^6$	600	400	170	- 50	- 10	- 70	- 35

У 1961-1965 роках було встановлено [5], що анізотропна магнітострикція тербію Tb, диспрозію Dy та їх сплавів перевищує у сотні разів цю характеристику у сплавах на основі Fe, Co і Ni. Результати отримані для чистих металів наведені у табл. 1. Знак «—» вказує, що під впливом магнітного поля зразки не збільшують, а навпаки зменшують свої геометричні розміри. Дані для Tb і Dy, які мають гексагональну кристалічну ґратку, найбільші за вимірювань вздовж гексагональної осі с (рис. 1а), а для Ni (ГЦК–ґратка) – вздовж осі [111] (рис. 1б). Великі магнітострикційні зміни розмірів РЗМ (R) та їх сплавів виникають не тільки під впливом магнітного поля, але й температури. Встановлено [6], що інтерметаліди типу RFe_2 , які мають кілька осей легкого намагнічування, мають гігантську магнітострикцію за кімнатних температур, що є дуже важливим щодо їх практичного використання.

У техніці магнітостриктори в основному застосовують для отримання ультразвукових коливань [6]. Для цього їх піддають дії змінного магнітного поля і, як наслідок, отримують електроакустичний перетворювач. Його найважливішим параметром є коефіцієнт магнітомеханічного зв'язку K , який визначається співвідношенням: $K^2 = W_{\text{пруж.}} / W_{\text{магн.}}$, де $W_{\text{пруж.}}$ – величина пружної енергії, яка виникає у перетворювачі за магнітного збудження, а $W_{\text{магн.}}$ – енергія магнітного поля. Коефіцієнт зв'язку K характеризує ефективність перетворення одного виду енергії в інший без врахування магнітних і механічних втрат. Ці втрати компенсуються введенням акустичного коефіцієнта корисної дії ККД перетворювача $\eta = P_{\text{акуст.}} / P_{\text{електр.}}$, тобто відношенням акустичної потужності на виході до електричної потужності, яка задається на вході. В табл.2 приведено порівняння акустичних параметрів РЗМ – магнітостриктора ($Tb_{0,27}Dy_{0,73}Fe_2$) з матеріалами, що широко застосовуються у промисловості.

Таблиця 2 – Динамічні властивості деяких магнітострикційних матеріалів [6]

Матеріал	Максимальний коефіцієнт зв'язку, K	Густина електро-механічної енергії, Дж/м ³	Акустичний ККД, %
Нікель	0,3	21	15
Сплав K50Ф2	0,35	40	40
$Tb_{0,27}Dy_{0,73}Fe_2$	0,6	5300	70

Відомо [7], що сплави РЗМ активно взаємодіють з воднем, утворюючи стабільні гідриди. При цьому залежно від типу інтерметалічної сполуки (R_2Fe_{17} і RFe_2) наводнювання може приводити до зменшення або збільшення

температури магнітного впорядкування і магнітного моменту. Фізичний механізм цього процесу на даний час недостатньо вивчений. Вважають [8], що тут необхідно враховувати залежність величини обмінного інтегралу від об'єму елементарної комірки, який змінюється за втілення водню в кристалічну ґратку. Так, наводнювання металу, що має обмінну енергію, яка відповідає точці 1 на рис.1в, призводить до зростання параметру ґратки (точка 1') і поліпшення магнітних властивостей. А у наводненому металі, що знаходиться на правій гілці кривої (точка 2) спостерігається протилежний ефект (перехід у точку 2'). Крім того необхідно враховувати, що сполуки РЗМ можуть бути і феримагнітними [2], що ускладнює процес їх взаємодії з воднем.

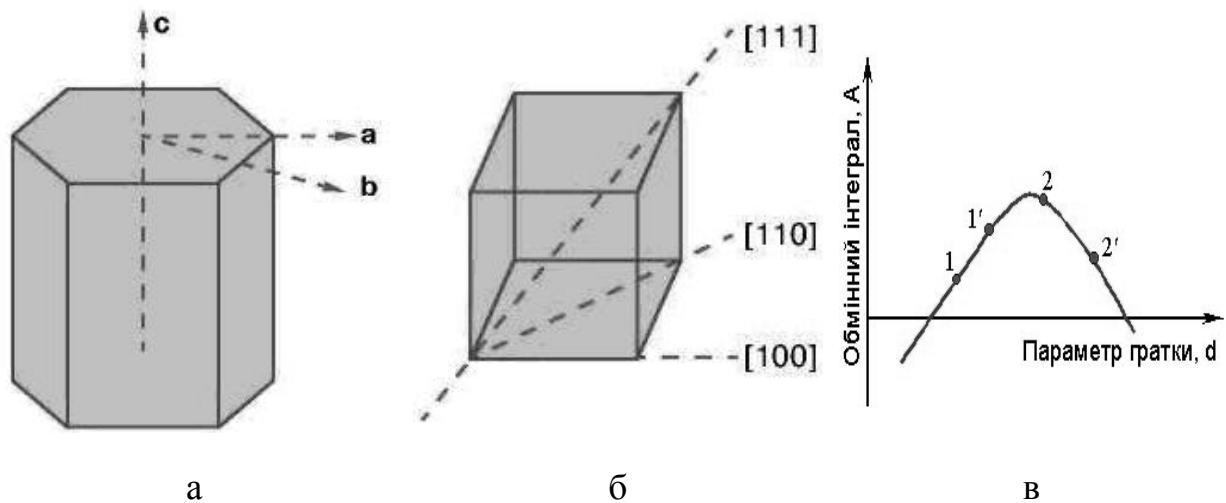


Рисунок 1 – Напрямки осей легкого намагнічування у гексагональному (а) і кубічному (б) кристалах [6] та зміна обмінної енергії феромагнетиків в залежності від параметра ґратки (в) [8]

В роботі [9] показано, що наводнювання сполук на основі систем Tb – Fe і Dy – Fe різко зменшує константу магнітострикції. Однак, при вивченні впливу водню на експлуатаційні властивості сталей магнітів на основі систем Nd(Dd)–Fe–В було встановлено [1], що високотемпературна дегазація після водневої обробки покращує їх коерцитивну і підймальну сили та магнітну енергію. На нашу думку, це зумовлено перерозподілом основних і домішкових елементів внаслідок пришвидшення дифузійних процесів розчиненим воднем [10], внаслідок чого у вказаних сплавах змінюється фазово-структурний стан і гомогенізується структура. При цьому гідридне окрихчення є позитивним чинником, оскільки вироби з функціональних матеріалів на основі РЗМ виготовляють методами порошкової металургії [1]. Однак механізм впливу процесу гідридоутворення на магнітострикцію не достатньо вивчений. Тому у роботі послідовно розглянуті закономірності формування магнітного і атомного порядку при переході від чистих наводнених металів до сплавів РЗМ з метою оптимізувати режими проведення термообробки у водні для поліпшення їх константи магнітострикції.

Методика проведення експерименту. Об'єктом дослідження вибрали Ni, Co, магнітострикційний сплав K50Ф2 та рідкісноземельні сплави на основі інтерметалічних сполук SmCo_5 і $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$. Слід відзначити, що їх магнітострикцію насичення λ_s можна досягнути, застосовуючи великі магнітні поля (біля 100 кЕ). Тому для порівняння впливу різних чинників у лабораторних умовах прийнято визначати величину поздовжньої магнітострикції λ у фіксованому магнітному полі (12 – 25 кЕ) [6].

Вимірювання константи магнітострикції проводили оптичним методом. Принципова схема установки приведена на рис. 2 і складається з лазера, електромагніта і інтерферометра [11].

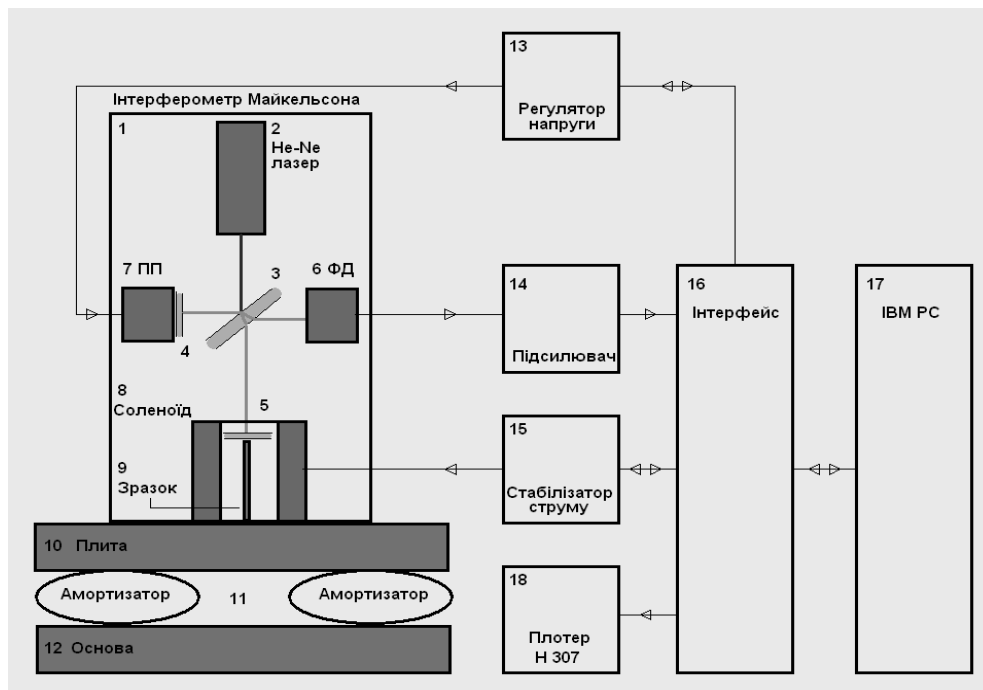


Рисунок 2 – Блок-схема установки для дослідження магнітострикції за допомогою інтерферометра Майкельсона

В якості джерела світла у інтерферометрі Майкельсона (1) використовували He – Ne лазер (2) з довжиною хвилі 632,8 нм. Напівпрозоре дзеркало (3) розділяє початковий промінь на два когерентних. Плечі інтерферометра створюють дзеркала (4) і (5), одне з яких (4) розміщено на п'єзоперетворювачі (7), а друге (5) приклеєне до торцевої поверхні зразка. Зразок (9) розміщений аксіально у соленоїді (8), магнітне поле в якому створюється струмом від керованого стабілізатора (15). Відбиті від дзеркал промені формують результуючу інтерференційну картину на вхідній діафрагмі фотоприймача (6) з підсилювачем (14). При зміні магнітного поля в соленоїді внаслідок магнітострикції довжина зразка зростає, що призводить до переміщення дзеркала (5), закріпленого на ньому, і відповідно змінюється різниця ходу променів і інтенсивність результуючої інтерференційної картини. Загальне видовження Δl оцінюють за формулою $\Delta l = n \times (\lambda/2)$, де n – кількість зміщених смуг інтерференції.

Для встановлення критичних параметрів фазових перетворень у досліджуваних металах і сплавах застосовували метод електропровідності на змінному струмі. Дослідження проводили на установці високочастотної широкодіапазової резистометрії УВШР-01М, яка дозволяє проводити неперервний запис зміни електроопору і від температури, і від часу проведення експерименту в широкому інтервалі температур (20 – 1273 К) і частот змінного струму (до 200 кГц) [12].

Результати досліджень та їх обговорення. Відомо [10], що наявність розчиненого водню викликає погіршення магнітних властивостей нікелю, кобальту та сплавів систем Fe–Ni і Fe–Co. Так, за атомного відношення H/Ni = 0,7 намагніченість нікелю складає 1% від її величини для чистого металу. Це зумовлено тим, що наводнювання проводили або за високих тисків водню, або з середовища електроліту. За таких умов вміст водню у системі Me–H значно переважає рівноважний, що призводить до виникнення структурних напружень, а в деяких випадках і до водневого окрихчення. Тому для їх запобігання у даній роботі зразки наводнювали і обробляли у газоподібному водні тиском 0,1 МПа (концентрація водню в металі H/Me = 10^{-4} – 10^{-5}), за якого після дегазації вихідні фізичні характеристики феромагнетиків відновлюються, а в деяких випадках і поліпшуються.

Нами зроблена спроба застосувати термічну обробку у водні для зміни константи магнітострикції Ni. Зауважимо, що λ нікелю має досить високе значення $(3-6) \cdot 10^{-5}$, однак низька температура точки Кюрі ($T_c = 630$ К) робить малоефективним високотемпературний відпал [12]. Крім того, за нагріву в околі температур 473 – 523 К його константа магнітострикції змінює знак, тобто видовження зразків нікелю під впливом магнітного поля переходить у їх стиснення. Цей ефект зумовлений зміною магнітоеластичної енергії нікелю, на яку термічна обробка в області температур нижче 573 К практично не впливає. Тому за водневого відпалу при 873 К (3 год.) λ нікелю зростає лише від 4,6 до $5,8 \cdot 10^{-5}$.

У випадку кобальту ($T_c = 1450$ К) ефект від ізотермічного відпалу у водні при 1073 К (3 год.) більш значний – λ змінюється від 9 до $28 \cdot 10^{-5}$. Однак у промисловості чистий кобальт внаслідок своєї крихкості не застосовується [3].

Відомо [10], що водень, розчиняючись у металах і сплавах, послаблює сили міжатомного зв'язку, внаслідок чого процеси атомного впорядкування пришвидшуються, що дає можливість змінювати об'ємний вміст та ступінь атомного порядку при формуванні атомних надструктур. Стосовно магнітних характеристик, то їх залежність від атомного впорядкування не є однозначною, оскільки магнітні матеріали можуть бути як магнітотверді, так і магнітом'які [3]. Тому умови водневої обробки потрібно вибирати, виходячи з того, яку експлуатаційну характеристику необхідно поліпшити.

Для виготовлення магнітострикторів в промисловості України широко застосовують залізо-кобальтові сплави, леговані для підвищення

пластичності ванадієм. Тому у роботі досліджено зміну фазово-структурного стану, електропровідності та магнітострикції сплаву К50Ф2 (Со – осн.; Fe – 48,0; V – 1,7 мас.%) залежно від магнітної анізотропії, температури водневої обробки, часу відпалу та швидкості охолодження у водні. Наводнювання зразків проводили з газоподібного водню тиском 0,1 МПа.

Дослідження сплаву К50Ф2 показали, що на температурних залежностях електроопору за частоти струму 15 кГц при нагріві з'являється максимум, який після відпалу у вакуумі ($T = 1003 \text{ K}$, 2 год.) розділяється на два (рис. 3а) [10]. Високотемпературний інтерпретований як поліморфне $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перетворення, а низькотемпературний відповідає точці Курнакова T_K впорядкованої фази FeCo. Те, що висота нижчого максимуму після аналогічної термообробки у водні зростає, свідчить про збільшення об'ємного вмісту фази FeCo у сплаві К50Ф2. Відхилення кривої від лінійного ходу при 530°C є наслідком легування сплаву ванадієм (утворення виділень фази Co_3V), що вимагає врахування можливості формування в процесі охолодження гідридних фаз на основі ванадію. Крім того, стрічки для магнітострикторів вирізають з фольги товщиною 0,5 мм, тому перед обробкою слід дослідити вплив вальцювання на магнітну анізотропію сплаву.

Відомий спосіб обробки магнітострикційного сплаву К50Ф2 після витоплення полягає у нагріві зразків до 1173 K у вакуумі з наступним відпалом за цієї ж температури впродовж 5 год. Потім повільне охолодження зі швидкістю 20-30 К/хв. до температури 1023 K з подальшим швидким охолодженням на повітрі (300-400 К/хв.). Отримана за цим способом константа магнітострикції λ сплаву К50Ф2 рівна $(60 - 65) \cdot 10^{-6}$ [13].

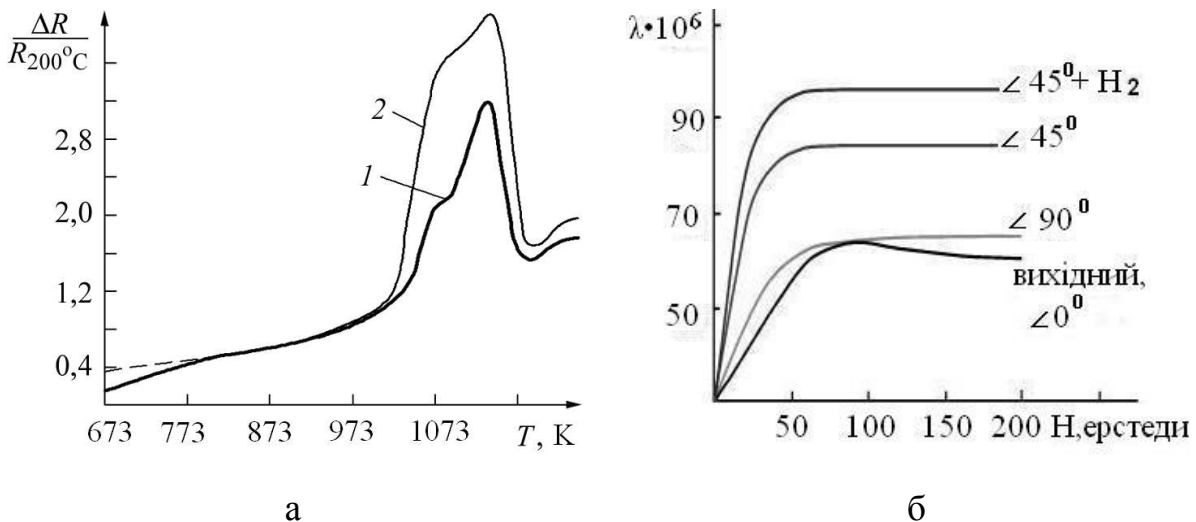


Рисунок 3 – Температурні залежності електроопору сплаву К50Ф2 (а) після відпалу у вакуумі (1) і водні (2) [10] та зміна константи магнітострикції в залежності від кута вирізання фольги до напрямку вальцювання і водневої обробки (б) [13]

На основі проведених у роботі досліджень для поліпшення λ цього сплаву запропоновано наступне (рис. 3б) [14]:

– вирізання стрічки з фольги під кутом біля 45° до напрямку вальцювання, що забезпечує співпадіння напрямку намагнічування зразків з віссю найлегшого намагнічування сплаву (див. рис. 1а);

– її відпал у водні тиском 0,1 МПа за температури 1023 К протягом 2 год. для збільшення об'ємного вмісту впорядкованої фази FeCo з наступною дегазацією у вакуумі 1 год.;

– повільне охолодження (20-30 К/хв.) до температури 823 К з наступним швидким охолодженням до кімнатної температури щоб запобігти водневому окрихченню внаслідок формування гідридних фаз на основі ванадію.

Така термообробка призводить до зростання константи магнітострикції сплаву K50Ф2 від $64 \cdot 10^{-6}$ до $95 \cdot 10^{-6}$ (рис. 3б) за зниження температури відпалу (на 150 К) і скорочення тривалості обробки (на 2 год.). Отже, поєднуючи ці три чинники, можна підвищити константу магнітострикції сплаву K50Ф2 на 45-50% (рис. 5).

При вивченні впливу водню на фазово-структурний стан магнітних матеріалів на основі гідридотвірних РЗМ встановлено [1], що водень, як технологічне середовище, у якому проводять хіміко-термічну обробку, здійснює позитивний вплив на їх експлуатаційні характеристики. В роботі вивчали вплив водневої обробки на структуру і фазові перетворення в сплавах на основі інтерметалічних сполук SmCo_5 і $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ за тиску водню 0,1 МПа.

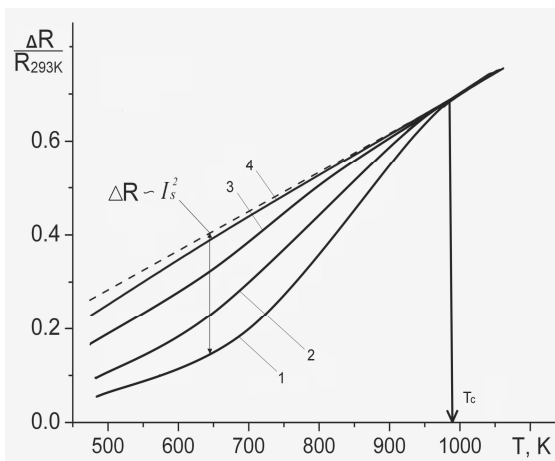


Рисунок 4 – Вплив термосиклювання у водні на електроопір сплаву SmCo_5 : 1 – вихідний; 2 – 1 цикл; 3 – 3 цикли; 4 – 5 циклів. - - - парамагнетик

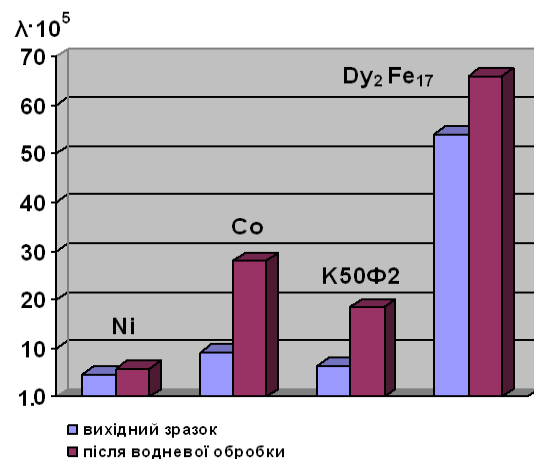


Рисунок 5 – Вплив водневої обробки на константи магнітострикції Ni, Co та сплавів K50Ф2 і $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$.

Вимірювання температурних залежностей електроопору сплаву SmCo_5 на змінному струмі частотою 50 Гц показали (рис. 4), що за наводнювання ця характеристика зростає і її зміни обмежені температурною областю існування феромагнетизму. Оскільки зменшення електроопору феромагнітних металів порівняно з неферомагнітними (пунктир на рис. 4)

пропорційне квадрату величини спонтанної намагніченості ($\Delta R / R_0 = J_s^2 / 9$) [2] і при підході до температури точки Кюрі T_c вплив водню поступово зникає, це свідчить про зміну спонтанної намагніченості J_s в системі $\text{SmCo}_5 - \text{H}$. Причому зростання електроопору за збільшення кількості циклів нагріву-охолодження у водні (криві 2-4) вказує на її зменшення. Отже, термоциклювання у водні різко погіршує магнетизм феромагнітних сплавів на основі РЗМ. Тому для цього класу функціональних матеріалів застосовують інший спосіб водневої обробки – процес ГДДР (гідрування–диспропорціонування–десорбція–рекомбінація) [1].

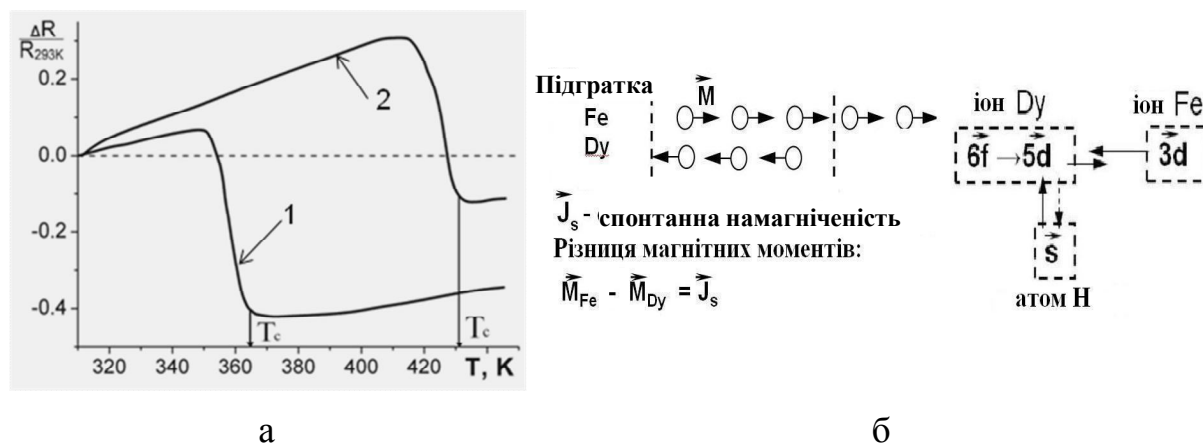


Рисунок 6 – Вплив водню на електроопір сплаву $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ (а: 1 – вакуум, 2 – водень) і схема електронної взаємодії за утворення гідриду DyH_y (б)

Термостабільність отриманих гідридів вивчали методом диференційного термічного аналізу, який дозволяє за виділенням (поглинанням) теплоти фіксувати процес утворення (розпаду) гідридних фаз. Фазово-структурний аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН–3М. Встановлено, що у випадку сплаву SmCo_5 (Co – основа, Sm – 36,7 мас.%) за нагріву у водні в області кімнатних температур формується гідрид вихідної сполуки SmCo_5H_x (стадія гідрування), який за подальшого нагріву до 850 К диспропорціонує (розпадається) на суміш фаз за наступною реакцією: $\text{SmCo}_5 + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{SmCo}_5\text{H}_x \leftrightarrow \text{SmH}_y + \text{Co}$. Після охолодження у водні та наступної дегазації при нагріві у вакуумі гідрид SmH_y розпадається і відбувається процес рекомбінації із відновленням вихідної сполуки SmCo_5 з однорідною дрібнозеренною структурою та поліпшеними експлуатаційними характеристиками [15]. Таким чином, для поліпшення експлуатаційних характеристик сталей магнітів на основі гідридотвірних сплавів РЗМ обов'язковим після водневої обробки є проведення стадій десорбції-рекомбінації.

У випадку магнітострикційної сполуки $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ процес ГДДР описується реакцією: $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Dy}_2\text{Fe}_{17}\text{H}_x \rightarrow \text{DyH}_y + \text{Fe}$. Однак, на відміну від феромагнітних сплавів систем Nd–Fe–B і Sm–Co феримагнітну інтерметалічну сполуку $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ не потрібно дегазувати, а навпаки – слід зупинити процес ГДДР на стадії гідрування-диспропорціонування. Це зумовлено тим, що її електронна структура складається з двох магнітних підґраток – заліза і диспрозію з протилежно спрямованими магнітними

моментами (рис.6б), різниця яких створює результуючу намагніченість $M_{Fe} - M_{Dy} = J_s$, що відповідає температурі точки Кюрі $T_c = 363$ К. За утворення гідриду DyH_y 5d – електрони Dy, які до цього взаємодіяли з 3d – електронами Fe, утворюють хімічні зв'язки з 1s – електронами H, внаслідок чого зростає кількість некомпенсованих 3d – електронів Fe [2], що призводить до збільшення точки Кюрі наводненої сполуки Dy_2Fe_{17} з 363 до 433 К (рис.6а). Наслідком цього є зростання λ від 540 до $660 \cdot 10^{-6}$ (рис. 5).

Висновки. Вперше встановлено, що термообробка у водні підвищує константи магнітострикції Ni і Co відповідно в 1,3 і 4,2 рази.

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 понизити на 150 К температуру обробки і скоротити тривалість відпалу з 5 до 3 год, враховуючи час дегазації. Перед водневою обробкою стрічки для магнітостриктора вирізали з фольги (0,4-0,6 мм) під кутом 45° до напрямку вальцювання. Поєднання цих двох чинників підвищує константу магнітострикції сплаву K50Ф2 на 45-50%.

Встановлено, що формування гідридних фаз у феромагнітних сплавах K50Ф2 і $SmCo_5$ погіршує їх магнітні характеристики, а у випадку феримагнітного сплаву Dy_2Fe_{17} підвищує константу магнітострикції на 20%. Запропоновано фізичний механізм зміни λ у наводненому сплаві Dy_2Fe_{17} . Її зростання є наслідком утворення гідриду DyH_x , що призводить до збільшення температури Кюрі сплаву від 363 до 433 К.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров В. В. Водень як технологічне середовище для виготовлення сталих магнетів на основі сплавів РЗМ / В. В. Федоров, І. І. Булик, В. В. Панасюк // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – № 2. – С. 111-120.
2. Вонсовський С. В. Магнетизм. – М. : Наука, 1971. – 1024 с.
3. Мишин Д. Д. Магнитные материалы. – М. : Выс. шк., 1991. – 384 с.
4. Белов К. П. Магнитострикционные явления. Материалы с гигантской магнитострикцией // Соросовский образовательный журнал. – 1988. – №3. – С. 112-117.
5. Белов К. П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М. : Наука, 1987. – 176 с.
6. Гигантская магнитострикция / К. П. Белов, Г. И. Катаев, Р. З. Левитин и др. // Успехи физических наук. – 1983. – Т. 140. – вып. 2. – С. 271-309.
7. Гидриды металлов / Под ред. В. Мюллера, Д. Блекледжа, Дж. Либовица. – М. : Атомиздат, 1973. – 429 с.
8. Водород в металлах / Под ред. Г. Алефельда и Н. Фелькля. – М. : Мир, 1981. – Т. 1. – 475 с.
9. Влияние гидрирования на магнитные и магнитоупругие свойства соединений $Tb_{0,27}Dy_{0,73}Fe_2$ и $Tb_{0,27}Dy_{0,73}Co_2$ с компенсированной магнитной

анизотропией / [Г. А. Политова, И. С. Терешина, С. А. Никитин и др.] // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47. – Вып. 10. – С. 1834-1838.

10. Похмурський В.І. Вплив водню на дифузійні процеси в металах / В. І. Похмурський, В. В. Федоров. – Львів : ФМІ НАНУ, 1998. – 207 с.

11. Вплив водневої обробки на константу магнітострикції перехідних металів і сплавів / І. В. Наговська, Р. І. Іваницький, Т. М. Засадний // Матеріали ХІХ наук.-техн. конф. молодих науковців і спеціалістів ФМІ НАН України (КМН–2011). – Львів, 2011. – С. 156-160.

12. Вплив водню на магнітне впорядкування нікелю, кобальту та сплавів на їх основі / В. М. Павліський, Я. П. Замора, Р. І. Іваницький, В. В. Федоров // Наукові нотатки. – 2009. – Вип. 25. – С. 261-265.

13. Вплив анізотропії вальцювання та термічної обробки у водні на магнітострикцію сплаву К50Ф2 / [Ю. Г. Бачинський, С. В. Мохун, Р. І. Іваницький та інші] // Фізико–хімічна механіка матеріалів. – 2007. – № 5. – С. 122-124.

14. Effect of the anisotropy of forge-rolling and thermal treatment in hydrogen on the magnetostriction of K50F2 alloy / Yu. H. Bachynskiy, S. V. Mochyn, R. I. Ivanytskyi and other // Materials Science. – 2007. – Vol. 43. – No. 5. – P. 742-745.

15. Патент № 51581 Україна, МПК (2009) C08L 63/00, C09D 163/00. Спосіб підвищення магнітострикції сплаву К50Ф2 з врахуванням анізотропії вальцювання / В. В. Федоров, В. М. Павліський, Я. П. Замора, Р. І. Іваницький, Т. М. Засадний, А. М. Тростянчин. – Заявл. 11.01.10; опубл. 26.07.2010; бюл. № 14. – 5 с.

16. Bulyk I. I., Panasyuk V. V., Trostianchyn A. M. Features of the HDDR process in alloys based on the SmCo_5 compounds. – 2004. – V. 379. – P. 154-160.

Іваницький Р.І., Наговская И.В., Прокопюк В.А., Тростянчин А.Н., Замора Я.П. ВЛИЯНИЕ ГИДРООБРАЗОВАНИЯ НА КОНСТАНТУ МАГНИТОСТРИКЦИИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

В роботі проаналізовано вплив водорода на магнітострикцію нікеля, кобальта і ферромагнітних сплавів на їх основі з рідкоземельними металами (РЗМ). Установлено, що водородна обробка приводить до збільшенню константи магнітострикції, при цьому процес гідридооб'єднання може як погіршувати, так і покращувати магнітні характеристики.

Ключевые слова: магнітострикція сплавів, рідкоземельні метали.

Ivanytskii R.I., Nagovs'ka I.V., Prokop'yuk V.A., Trost'yanchyn A.M., Zamora Ya.P. HYDROGENERATION EFFECT ON MAGNETOSTRICTION CONSTANT OF ALLOYS ON THE BASIS OF RARE EARTH METALS

Hydrogeneration effect on Ni, Co and ferromagnetic alloys magnetostriction on the basis of rare earth metals has been investigated. The hydrogen treatment may cause increasing of magnetostriction constant side by side with both worsening and improvement of magnetic characteristics.

Keywords: magnetostriction of alloys, rare earth metals.