

УДК 539.421:620.179.17

О.І. Запорожець, д-р техн. наук, проф.**В.А. Глива**, канд. техн. наук, доц.**А.В. Лук'янчиков**, асист.

СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ЗАХИСНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Розглянуто матеріали з заданими захисними властивостями для екранування магнітних полів широкого частотного та амплітудного діапазонів на основі промислових магнітом'яких аморфних сплавів. Проведено експериментальне дослідження амплітудних і частотних залежностей коефіцієнтів екранування визначених матеріалів. Отримано загальні аналітичні функції.

On the base of industrial magnetic and soft amorphous alloys materials with some protective properties for screening the magnetic fields of wideness frequency and peak ranges are gotten. Experimental research is conducted of accordance's peak and frequency of screening coefficients of certain materials and more analytical functions are gotten.

Вступ

В останнє десятиріччя досягнуто значних успіхів у галузі матеріалознавства щодо розроблення та впровадження у виробництво новітніх полімерних, композитних і металевих матеріалів з унікальними фізичними властивостями.

Однією з перспективних розробок є створення нових магнітом'яких матеріалів, зокрема, аморфних металевих сплавів. Ці матеріали характеризуються високими магнітними проникностями та необхідними для різних застосувань індукціями насичення і коерцитивними силами.

Натепер аморфні магнітні сплави використовуються, переважно, для виготовлення:

- високочутливих ферозондових датчиків;
- компактних фільтрів електромагнітного шуму;
- малогабаритних високочастотних трансформаторів і дроселів.

При цьому потрібні для кожного з застосувань фізичні властивості досягаються за рахунок термічної та магнітотермічної обробки вихідних матеріалів.

Проте прогнозована зміна магнітних властивостей, а також постійне зменшення вартості виготовлення та попередньої обробки аморфних сплавів робить їх дуже перспективними для створення покриттів для захисту людей та технічних засобів від впливу магнітних полів та електромагнітних випромінювань антропогенного походження.

Постановка завдання

Попередні дослідження [1] довели, що магнітом'які аморфні сплави є найбільш перспективними матеріалами для розроблення як індивідуальних засобів захисту людей від негативного впливу електромагнітних полів та випромінювань, так і екранів для захисту чутливого обладнання, що є основним завданням робіт з електромагнітної сумісності технічних засобів.

При цьому з'ясовано, що такі матеріали, навіть однакового хімічного складу, мають суттєві відмінності екрануючих властивостей, що обумовлене, передусім, технологічними відмінностями виробництва.

Різні аморфні матеріали дуже різняться як магнітними властивостями, так і ціною [2], тому розроблення захисних екранів має бути оптимізоване і з технічної точки зору, і з точки зору економічної доцільності.

Використання закордонних технічних рішень [3] недоцільне через відмінність магнітних властивостей використаних матеріалів та їх геометричних параметрів від вітчизняних аналогів [1].

Складність розроблення та виготовлення захисних магнітних матеріалів, ефективних як у низькочастотному, так і у високочастотному діапазонах, пов'язана з тим, що для їх створення потрібно використовувати різні фізичні принципи та різні технологічні підходи.

Наприклад, для низькочастотних магнітних полів (до кілогерц) захисне покриття має бути суцільною оболонкою, а для високочастотних полів (мегагерци та гігагерци) можливо використовувати регулярну структуру з проміжками, ширина яких визначається довжиною хвилі екранованого поля.

Таким чином, завдання екранування у загальному випадку, складається з двох компонентів захисту:

- від магнітних полів;
- від електромагнітних полів.

Універсальне вирішення цього завдання вважається не тільки сумнівним, але й недоцільним. Частотні та амплітудні параметри електромагнітних полів, генерованих тими чи іншими технічними засобами, зазвичай відомі або можуть бути визначені за допомогою спеціального або багатофункціонального обладнання [4].

Найбільш прийнятним є виготовлення екранів та покриттів, призначених для захисту від електромагнітних полів та випромінювань визначених діапазонів частот та амплітуд.

Передумовою цьому є той факт, що магнітні властивості як магнітом'яких кристалічних, так і аморфних матеріалів залежать не тільки від їх хімічного складу й умов виготовлення, а й від режимів механічної, термічної та термомагнітної обробки.

Таким чином, підбираючи режими таких обробок, можна отримувати матеріали заданих властивостей, найбільш ефективних для визначених частотних діапазонів та амплітуд зовнішніх електромагнітних полів.

Мета роботи – дослідження впливу термічної та термомагнітної обробки на магнітні властивості магнітом'яких матеріалів та надання рекомендацій щодо їх використання для захисту людей і обладнання від негативного впливу магнітних та електромагнітних полів антропогенного походження.

Визначення захисних властивостей матеріалів доцільно виконувати експериментально, вимірюючи рівні полів за захисними екранами, як описано в роботі [1].

При цьому калібрування датчиків (вимірювачів) поля є обов'язковим. Це пов'язане зі зміною їх чутливості як від частоти контролюваного поля, так і його амплітуди.

Проте показником екрануючих властивостей обраного магнітом'якого матеріалу може бути і його відносна магнітна проникність, що впливає з фундаментальними фізичними принципів.

Найефективнішим методом підвищення потрібних властивостей є термічне оброблення аморфного сплаву в постійному магнітному полі.

Це пов'язане з тим, що таке оброблення викликає не тільки релаксацію внутрішніх напружень у матеріалі, а й наводить макроскопічну магнітну анізотропію. Це відчутно поліпшує магнітні властивості магнітом'яких аморфних сплавів, проте впливає на їх механічні властивості, що треба враховувати, якщо обробленню піддається не готовий виріб, а матеріал для подальшої роботи.

Зазвичай відрізняють матеріали, за магнітної обробки яких зовнішнє магнітне поле було спрямоване вздовж та поперек вихідної металевої стрічки, отриманої при швидкісному гартуванні. Але для цілей електромагнітного захисту розбіжності їх магнітних властивостей не критичні.

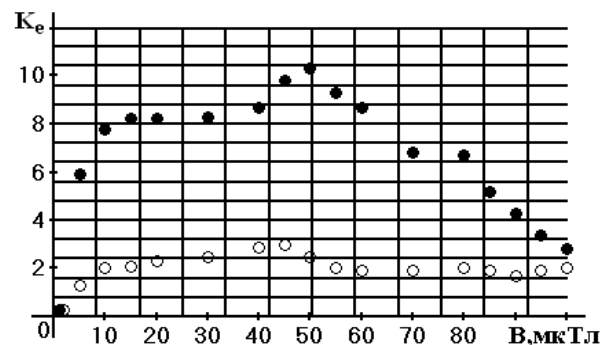
Відомо, що відносна магнітна проникність аморфних сплавів може змінюватися в широкому діапазоні. Наприклад, відносна магнітна проникність висококобальтового сплаву (вміст кобальту 85 %) у магнітному полі частотою 10 кГц та напруженістю 800 А/м після термомагнітного оброблення в постійному магнітному полі напруженістю 1000 А/м при температурі 300 °С зростає від 120 000 до 300 000.

При цьому прямокутність петлі гістерезиса (відношення залишкової магнітної індукції до максимальної) зростає від 0,75 до 0,9.

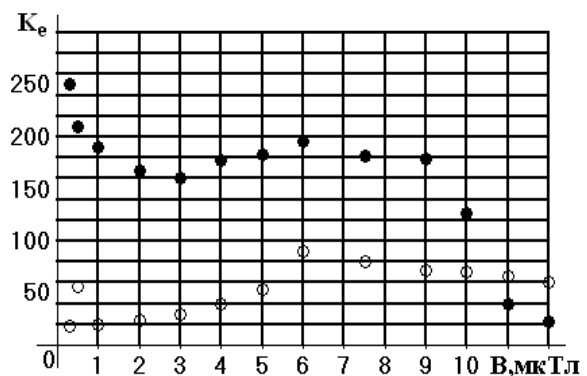
Використання таких матеріалів як захисних потребує визначення залежностей коефіцієнтів екранування або магнітних проникностей від частотних та амплітудних характеристик магнітних (електромагнітних) полів і режимів оброблень, які забезпечують максимальні значення потрібних параметрів.

Температури відпалу для переважної більшості аморфних магнітом'яких матеріалів становлять 300–400 °С. Це пояснюється відносно низькою точкою Кюрі, а також низькими температурами плавлення.

Ефективним засобом екранування змінних магнітних полів промислової частоти є аморфні сплави з відносно малим вмістом кобальту (до 70 %). Для потреб електротехніки вони зазвичай використовуються в нетермообробленому стані, проте їх відпал при температурі 300 °С без магнітного поля значно покращує їх захисні властивості (рис. 1, а).



а



б

Рис. 1. Зміна захисних властивостей аморфного сплаву залежно від амплітуди магнітного поля (вміст кобальту 71 %, товщина стрічки – 50 мкм):

а – частота 50–150 Гц;

б – частота 10 кГц;

○ – вихідний стан;

● – термооброблений стан

Коефіцієнт екранування визначається зі співвідношення

$$K_c = \frac{B_1}{B_2},$$

де B_1 – індукція вихідного магнітного поля;
 B_2 – індукція магнітного поля за екраном.

Вимірювання виконувалися з використанням суцільного екрана, що є обов'язковим для екранування полів наднизької та низької частот.

Для частоти зовнішнього магнітного поля 10 кГц (гранична частота для рівнів електромагнітної сумісності) коефіцієнти екранування значно зростають (рис. 1, б).

Аналіз отриманих результатів свідчить, що відповідні залежності мають досить складний характер і не піддаються узагальненню, яке б дало змогу заздалегідь визначити коефіцієнти екранування цих матеріалів, проте показує, що стандартна термічна обробка підвищує його приблизно у двічі в досить широкому амплітудному інтервалі. Однією з основних характеристик магнітних матеріалів є магнітна проникність. Її значення безпосередньо визначає захисні властивості обраного магнітом'якого сплаву. Становить інтерес визначення зміни магнітної проникності залежно від частоти та амплітуди зовнішнього магнітного поля.

Результати вимірювань магнітної проникності термообробленого висококобальтового сплаву у змінному магнітному полі напруженістю 5 А/м подано на рис. 2.

Наведена залежність має хорошу повторюваність і носить загальний характер для даного класу матеріалів.

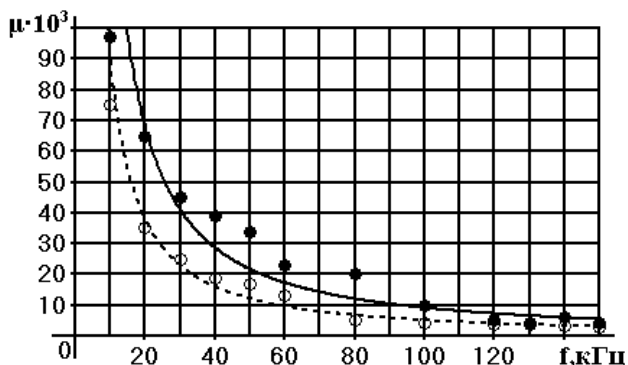


Рис. 2. Частотна залежність магнітної проникності магнітом'якого аморфного сплаву (вміст кобальту – 84 %):

○ – вихідний стан;
 ● – термооброблений стан

Статистичне оброблення даних засобами Excel показало, що отримані криві загалом відповідають функціям:

– для термообробленого стану $\mu = 1634,1f^{-1.25}$;
 – для вихідного стану $\mu = 2932,7f^{-1.25}$.

Отримані дані дають змогу визначити захисні характеристики обраного матеріалу за його заздалегідь відомими параметрами залежно від частот зовнішнього магнітного поля.

Залежність магнітної проникності від амплітуди зовнішнього магнітного поля має немонотонний характер (рис. 3).

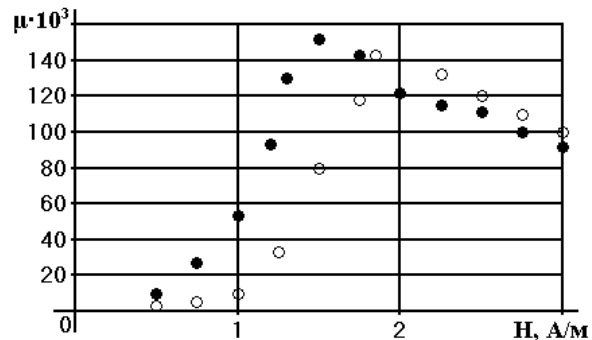


Рис. 3. Залежність магнітної проникності висококобальтового аморфного сплаву від амплітуди магнітного поля частотою 5 кГц (вміст кобальту – 84 %):
 ○ – вихідний стан;
 ● – термооброблений стан

Вихідні зразки піддавали відпалу в постійному магнітному полі напруженістю 1000 А/м при температурі 300 °С.

Аналіз результатів свідчить про значні зміни характеристик сплаву у вихідному та термообробленому стані. При цьому яскраво виражений зсув кривих дозволяє обирати стан матеріалу залежно від числових рівнів зовнішніх полів.

Наведені криві мають однотипну форму для цього класу матеріалів. Це дає змогу без попередніх випробувань визначити графічними методами захисні характеристики обраного матеріалу, що доцільне як з технічної, так і з економічної точок зору.

Висновки

Проведені дослідження довели можливість отримання на основі промислових магнітом'яких аморфних сплавів матеріалів із заданими захисними властивостями.

Термічне та магніотермічне оброблення аморфних сплавів дозволяє отримати матеріали для екранування магнітних полів широкого частотного та амплітудного діапазонів.

Попереднє експериментальне дослідження амплітудних і частотних залежностей коефіцієнтів екранування визначених матеріалів дає змогу отримати загальні аналітичні функції, що у практичній роботі виключає додаткові випробування в разі впровадження організаційно-технічних заходів з електромагнітного захисту.

Запропонований підхід може мати значний економічний ефект через зменшення обсягів робіт з тестування систем захисту.

Натепер не існує матеріалів, які б здійснювали ефективно одночасне екранування магнітних та електромагнітних полів низьких, високих і надвисоких частот.

Використання багат шарових покриттів із різних матеріалів не завжди можливе через складність та велику вартість таких конструкцій.

Перспективними можуть бути роботи зі створення екранів однакового хімічного складу, але різними термічними та магнітотермічними обробками.

Ураховуючи, що такі обробки впливають на механічні властивості металевих матеріалів, виникає низка проблем, пов'язаних з їх використанням у

вигляді напівфабрикату під час виготовлення систем захисту конкретного призначення та конфігурації. Це потребує проведення додаткових експериментів і розрахунків та є предметом подальших досліджень.

Література

1. *Оцінка* захисних властивостей магнітом'яких матеріалів / О.І. Запорожець, В.А. Глива, В.І. Клапченко [та ін.] // Проблеми охорони праці в Україні. – 2007. – Вип. 14. – С. 53–60.
2. *Дисмюкс Д.Р.* Аморфные сплавы для магнитных экранов. Быстрозакаленные металлы / Д.Р. Дисмюкс, Г.Д. Селлерс: пер. с англ. А.Ф. Прокошина. – М.: Металлургия. – 1989. – 472 с.
3. *Пат. 2274914* Российская Федерация МПК G01R29/00. Магнитный и электромагнитный экран / П.А. Кузнецов, Б.В. Фармаковский, А.Ф. Аскинази [и др.]; заявл. 01.06.04, опубл. 20.04.06, Бюл. № 11.
4. *Пат. 29576* Україна, МПК G01R29/08, G01H17/00. Автоматизированный комплекс мониторингу фізичних параметрів виробничого середовища / Ю.Д. Думанський, О.І. Запорожець, С.О. Лук'яненко [та ін.]; заявл. 10.12.07; опубл. 10.01.08, Бюл. № 1.

Стаття надійшла до редакції 09.06.08.