

УДК 669.14.018.44 / 45

П.Васнлюк, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНУ СТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗО-ХРОМОВИХ СПЛАВІВ

У роботі досліджено магнітні властивості сплавів системи Fe-Cr залежно від хімічного складу при кімнатних температурах. Дана оцінка впливу електромагнітного поля на формування поверхневої структури. В основі формування багатопшарової окалини покладено ефект виштовхування слабоманітних елементів сплаву.

Умовні позначення:

μ_B	- магнетон Бора;
σ	- намагніченість, А М ² / кг;
H	- напруженість магнітного поля, МА/м;
σ_s	- намагніченість насичення, А м ² /кг;
P_M	- магнітний момент атома;
B	- індукція магнітного поля, Тс;
K	- стала Больцмана, дж/грд;
T	- температура за Кельвіном, К;
M	- мольна маса.

Метою роботи є дослідження магнітних характеристик сплавів при кімнатній температурі залежно від хімічного складу та впливу електромагнітного поля на формування багатопшарової окалини.

Фазовий склад багатопшарової окалини визначено рентгеноструктурним та мікроспектральним аналізом. При цьому використано зразки сплавів після витримки їх при 1200 °С протягом 20 год у печі з вільним доступом повітря [1]. Хімічний склад сплавів наведений у таблиці 1.

Намагніченість залежно від зовнішнього магнітного поля досліджено на магнітометрі з вібраційним зразком системи Фонсера. Заміри зроблено на сферичних зразках у вакуумі.

Залежність намагніченості від напруженості зовнішнього магнітного поля подана на рис. 1. Для визначення магнітних моментів P_M склад у вагових процентах обчислювався на склад в атомних процентах. Момент на середній атом Cr, Fe визначали за формулою:

$$\mu = \frac{\sigma_s \cdot P_M}{5585} \mu_B. \quad (1)$$

Таблиця 1
Залежність магнітних характеристик від хімічного складу сплавів

	Склад, %	H, МА/м	σ_s А м ² /кг
1	35Cr-1Al-0,5La-2W-0,3Si-0,3Ti	0,5	102,6
2	75Cr-0,5La-2Al	0,8	16,98
3	75Cr-0,5La-0,5Al	0,6	64
4	75Cr-0,5La-3Al-2W	0,5	4,51
5	85Cr	0,8	0,54
6	85Cr-0,7La-2W	0,8	0,49

*Fe - решта.

Магнітний момент, визначений для $H=0,8$ МА/м, становить $0,1 \mu_B$.

Сплави 1, 2, 3 мають хід кривої намагніченості, властивий феромагнетикам, із виходом цієї залежності на насичення. Друга трійка сплавів 4, 5, 6 належить парамагнетикам з лінійною залежністю $\sigma(H)$, що характеризуються величиною магнітного сприйняття як слабوماгнітні речовини.

З цих даних (табл. 1) випливає, що магнітне насичення для сплавів на основі Fe значно вище, ніж для сплавів на основі хрому. Перші належать до феромагнетиків, а другі - до антиферомагнетиків. Відповідно величина μ_B перших значно перевищує таку ж величину для сплавів на основі хрому. Експериментальні дані дозволяють скоректувати формули для обчислення електронних дірок. Так, для сплаву N2 $\mu_B=2,28$, а для сплаву N1 $\mu_B=0,1$.

Вивчення магнітних характеристик сплавів допомагає краще зрозуміти суть роботи дозаторів (живильників) у реальних умовах.

Сплави системи Fe-Cr використовують як дозачинні пристрої при виробництві мінеральних волокон. Вихід на робочий режим $1200-1350^\circ\text{C}$ здійснюється за допомогою високочастотних генераторів чи потужних трансформаторів промислової частоти.

Враховуючи магнітні властивості сплаву, «холодне» нагрівання до T_K (температури Кюрі) відбувалося на високій потужності, а вище T_K за - «гаряче» нагрівання на низькій потужності [2,3].

Оскільки для феромагнітного тіла значення відносної магнітної проникності у десятки разів більше за 1, то феромагнітний сплав поглинає значно більше електромагнітної енергії, ніж парамагнітний сплав.

При нагріванні металу струмами високої частоти поверхневі шари більш інтенсивно нагріваються, ніж глибинні, тому значення магнітного опору і магнітної проникності відрізнятимуться від їх значень у глибинних шарах. При цьому в глибинних шарах є термічна дифузія, а в поверхневих - спільний вплив термічної і електромагнітної дифузії. Дифузійний струм є при наявності градієнта концентрації зарядів. В умовах робочих температур основа сплаву - парамагнетик, а деякі леговані елементи, Al, Si, поведуться як діаманти.

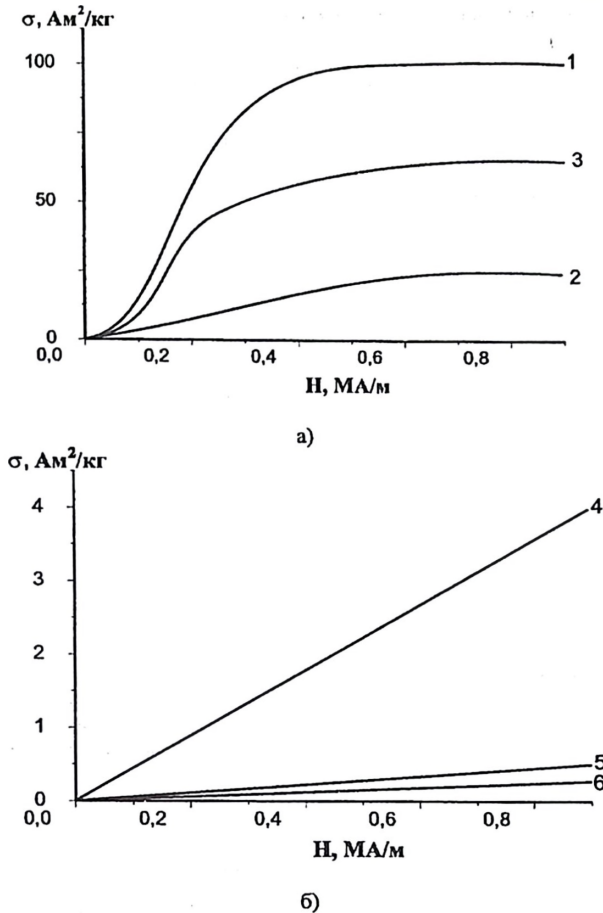


Рис. 1. Залежність намагніченості σ від напруженості зовнішнього магнітного поля H :
а) залежність σ від H для феромагнітних сплавів;
б) залежність σ від H для парамагнітних сплавів.

Тепловий рух частинок парамагнетика (співудар) приводить до поступового згасання прецесії магнітного моменту атома, а також зменшення кутів між напрямками P_m і B . Сумарний вплив все ж приводить до переважної орієнтації магнітного моменту атома за напрямом вектора B . При цьому залежність між потужністю поля і температурою подана формулою Ланджевена [4]:

$$\beta = P_m B / kT \quad (2)$$

Для вільних атомів алюмінію і кремнію магнітне поле викликає лиш прецесію навколо поля H , тобто діамагнітний ефект.

Відомо (5), що коли магнітна проникність тіла менша за магнітну проникність речовини, у якій воно перебуває, то тіло поводить як діамагнетик. Об'ємна густина

сил, що діє в речовині для електричних і магнітних полів, подана [4,5] відповідно формулами (3), (4):

$$f = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{2} \text{grad } E^2, \quad (3)$$

$$f = \frac{\mu - \mu_0}{\mu \cdot \mu_0} \text{grad } B^2. \quad (4)$$

У випадку $\mu < \mu_0$ ($\epsilon < \epsilon_0$) виникає діамagnetний ефект, що приводить до виштовхування тіла з речовини і, навпаки, при $\mu < \mu_0$ - ефект втягування тіла у речовину. В нашому випадку у залізохромових сплавах хром, алюміній і кремній поведуться як діамagnetики. У сплавах на основі хрому проявляється ефект втягування заліза в сплав, оскільки залізо має більшу магнітну проникність порівняно з хромом. Виштовхування електромагнітним полем названих елементів на поверхню сприяє швидшому утворенню відповідних оксидів порівняно з термічним нагріванням.

Структура сплаву формується під впливом одночасної дії високої температури і електромагнітного поля. При цьому на поверхні утворюються багатошарові оксиди, фазовий склад яких визначається, у першу чергу, хімічним складом. Вплив електромагнітного поля зводиться як до скін-ефекту, так і до розшарування за хімічним складом елементів.

Встановлено [1], що жаростійкість сплавів визначається як фазовим складом оксидів і взаємним розташуванням, так і їх товщиною.

Високотемпературна стійкість забезпечується утворенням у зовнішніх шарах окислення оксидів алюмінію і кремнію, рис.2, а у внутрішніх - оксидів шпінельного типу FeCr_2O_4 [1].

Захисна дія окислини визначається як зчепленням її з матрицею (коефіцієнт Піллінга-Бедтвора), так і магнітоелектричними властивостями. У сильних електричних полях оксиди алюмінію, хрому, шпінельного типу $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ набувають переважно електричного моменту. Поряд з цим названі оксиди при високих температурах виявляють слабший парамагнетизм порівняно з чистими залізом, хромом, алюмінієм. Це пов'язано з тим, що між магнітоактивними катіонами металу є магнітонейтральні аніони кисню.

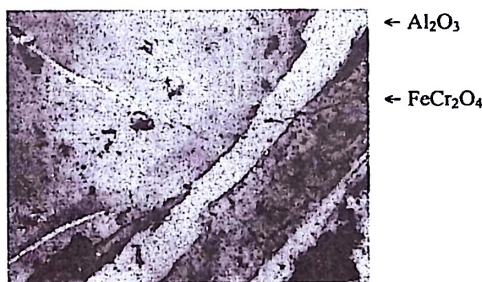


Рис. 2. Утворення багатошарової окислини Al_2O_3 - FeCr_2O_4 при 1200°C (20 год)

В електричному полі діелектричні властивості таких оксидів виявлені сильніше, ніж їх парамагнетизм. При високих температурах ($1000 - 1350^\circ\text{C}$) всі оксиди стають слабкими провідниками. Це підтверджує той факт, що при вимкненні струму в реальних умовах роботи дозаторів окислина помітно осипається.

Таким чином, дослідження дозволяють скоректувати хімічний склад сплавів і з урахуванням магнітних властивостей підібрати режими нагрівання для створення багатошарової окислини.

The alloys of iron-chromium system are used for manufacturing of mineral fibres as the structural material of the mounting component and the electric heating elements. They may operate in the conditions of high frequency current heating at the temperature to 1400°C.

Under the influence of the high temperature and the electromagnetic field simultaneously the gradient structure of scale is formed. It was found that the effect of electromagnetic field leads to the formation of multilayer scale structure and improving of protective property of the scale. The formation of the protective barrier layers in the electromagnetic field explained by the ejection effect of alloying elements of Al and of Si out of the paramagnetic alloy into the outer scale layer.

Література

1. Василюк П.М., Бутенко Л.И. Повышение окалинстойкости сплавов железо-хром: Металлы.-М., 1989.- №1.
2. Василюк П.М., Нагорняк С.Г. Способ термической обработки жаростойких сплавов. А.с.СССР №1678857 от 23.09.91.Бюл.№35.
3. Василюк П.М., Гаврилюк В.П. и др. Влияние электрического тока на коррозию железохромистых сплавов в силикатных расплавах: Защита металлов.-М., 1988. - №1.
4. Ахизер А.И., Ахизер И.А. Электромагнетизм и электромагнитные волны. М., 1985. – 505 с.
5. Вонсовский С.В. Магнетизм М., 1984.- 967 с.

Статтю подав до друку докт. техн. наук, проф. П.В.Ясній.