

# ẢNH HƯỞNG CỦA XỬ LÝ NHIỆT VÀ TỪ NHIỆT ĐẾN CÁC TÍNH CHẤT TỪ CỦA HỆ HỢP KIM $\text{Co}_{80-x}\text{B}_{20}\text{Si}_x$

Lê Minh, Bạch Thành Công, Nguyễn Châu  
Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQGHN

## 1. GIỚI THIỆU

Các hợp kim vô định hình trên cơ sở cobalt có các tính chất từ mềm rất tốt [1-3]. Có thể làm cho tính chất từ mềm tốt hơn bằng cách thêm một lượng nhỏ sắt vào hợp kim để được kim có từ giáo bằng không hoặc bằng cách xử lý nhiệt, từ nhiệt, nhiệt ứng suất [4-8].

Bài này đưa ra các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý nhiệt và từ nhiệt đến các tính chất từ như lực kháng từ  $H_c$ , độ từ thẩm ban đầu  $\mu_0$  cũng như các đường cong động vi hao từ trong trường xoay chiều.

## 2. THỰC NGHIỆM

Các băng vô định hình hệ  $\text{Co}_{80-x}\text{B}_{20}\text{Si}_x$  ( $x = 2 \div 12$ ) được tạo ra bằng kỹ thuật nguội nhanh [9] có chiều dày  $20 \div 30 \mu\text{m}$ , chiều rộng  $5 \div 10 \mu\text{m}$  và dài hàng trăm mét. Trạng thái vô định hình của băng được kiểm tra bằng nhiễu xạ Rontgen trên thiết bị DRON-3. Các nhiệt độ chuyển sang tinh thể  $T_{x1}$  được xác định từ các đường cong phân tích nhiệt vi sai (DTA), dùng thiết bị TA-HE-20 Mettler của Thụy Sĩ. Các thông số từ tính được xác định từ đường cong từ trễ thu được từ trên các mẫu băng quấn thành các cuộn, sử dụng điện kế xung kích M17/11. Nhiệt độ Curie  $T_c$  của các mẫu được xác định từ các đường cong từ độ - nhiệt độ. Các phép đo độ tổn hao sử dụng Microvoltmeter B3-57 và Phase Difference Meter  $\phi$ 2-28. Hằng số dị hướng cảm ứng được tính toán từ các số liệu thực nghiệm. Các phương pháp thực nghiệm ở đây có thể thấy chi tiết hơn trong các tài liệu [8, 9, 11, 12].

Các băng được xử lý đẳng nhiệt ở nhiệt độ  $T_a$  trong 2 giờ và được làm lạnh nhanh. Các xử lý từ nhiệt cũng được thực hiện trong thời gian trên và được làm lạnh chậm trong từ trường. Một số mẫu được xử lý trước ở nhiệt độ cao sau đó giảm nhiệt độ xuống dưới nhiệt độ  $T_c$  trong từ trường.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

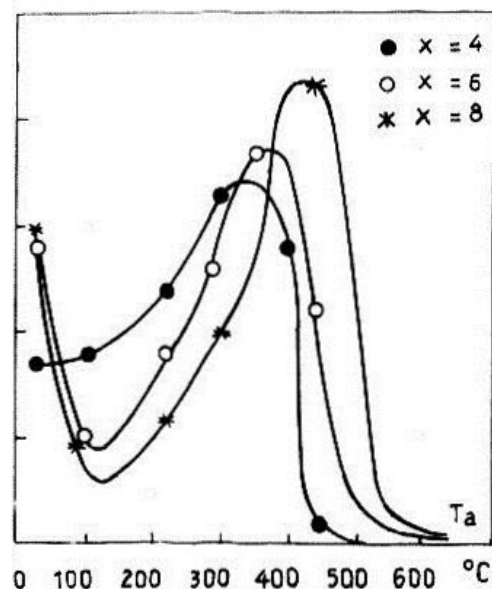
Trong công trình [8], chúng tôi đã đưa ra kết luận quan trọng là nếu xử lý mẫu ở trên nhiệt độ kết tinh, tính chất từ mềm của các hợp kim sẽ trở nên rất xấu. Vì vậy trong công trình này chúng tôi chỉ xử lý các hợp kim ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ kết tinh,  $T_a < T_{x1}$ .

Hình 1 biểu diễn sự phụ thuộc của độ từ thẩm ban đầu  $\mu_0$  vào nhiệt độ xử lý khi không có từ trường. Dễ dàng nhận thấy rằng, khi nhiệt độ xử lý thấp,  $\mu_0$  giảm đi so với mẫu tôi ban đầu. Nhiệt độ xử lý từ  $150 \div 200^\circ\text{C}$ ,  $\mu_0$  lại bắt đầu tăng lên. Nhiệt độ xử lý càng cao  $\mu_0$  càng giảm. Sau đó,  $\mu_0$  giảm đột ngột ở gần điểm kết tinh  $T_{x1}$ . Khi xử lý các mẫu trong từ trường ở

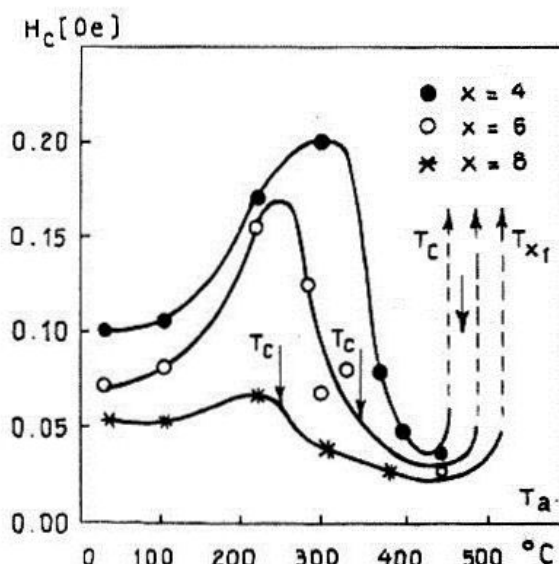
gần  $T_c$ , giá trị  $\mu_0$  cũng chỉ xấp xỉ với giá trị cực đại của nó khi xử lý không có từ trường. Đối với các thành phần  $Co_{74}B_{20}Si_6$  và  $Co_{72}B_{20}Si_8$  chúng tôi thực hiện xử lý trước ở nhiệt độ  $0^\circ C$ , lớn hơn nhiệt độ  $T_c$ , trong thời gian 1 giờ. Sau đó, xử lý lại với nhiệt độ tương ứng là  $255^\circ C$  và  $230^\circ C$ , thấp hơn nhiệt độ Curie. Trong cả hai trường hợp, độ từ thẩm ban đầu đều có giá trị lớn nhất  $\mu_0 \approx 3 \text{ kGs/Oe}$ , lực kháng từ có giá trị nhỏ nhất  $H_c \approx 0,034 \text{ Oe}$ .

Hình 2 đưa ra sự phụ thuộc của lực kháng từ  $H_c$  vào nhiệt độ xử lý (không có từ trường) đối với hợp kim  $Co_{80-x}B_{20}Si_x$ . Khi nhiệt độ xử lý tăng,  $H_c$  tăng lên và đạt cực đại ở nhiệt độ  $255 \div 300^\circ C$ . Sau đó  $H_c$  giảm đến giá trị cực tiểu ở nhiệt độ gần nhiệt độ kết tinh. Lớn hơn nhiệt độ này,  $H_c$  tăng lên rất đột ngột do các hợp kim bị kết tinh. Kết quả này cũng tương tự kết quả trình bày trong [13].

Gs/Oe



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý  $T_a$  vào lực kháng từ  $H_c$  đo ở nhiệt độ phòng của các hợp kim  $Co_{80-x}B_{20}Si_x$



Hình 2. Sự phụ thuộc của lực kháng từ  $H_c$  vào nhiệt độ xử lý  $T_a$  trong các hợp kim vô định hình  $Co_{80-x}B_{20}Si_x$ , đo ở nhiệt độ phòng

### Ổn định của vách domain

Độ từ thẩm ban đầu gây nên chủ yếu do quá trình dịch chuyển vách domain. Quá trình này trở nên khó khăn do bất đồng nhất về năng lượng vách gây nên bởi sự bất đồng nhất về ứng suất cơ học, sự tồn tại các tạp chất, các lỗ trống. Xử lý nhiệt có thể làm giảm ứng suất, bất đồng nhất về ứng suất và lỗ trống làm  $\mu_0$  tăng lên. Thực nghiệm thấy rằng, với các hợp kim vô định hình  $Co_{80-x}B_{20}Si_x$ , khi xử lý ở nhiệt độ thấp và làm lạnh chậm,  $\mu_0$  vẫn giảm đi. Điều đó chứng tỏ đóng góp của ứng suất cơ học làm cản trở dịch chuyển vách là nhỏ so với tác dụng của nhiệt độ làm cho các vách domain trở nên ổn định hơn [2]. Có thể khẳng định điều đó nếu biết rằng hệ số giãn nở nhiệt trong các mẫu của chúng tôi có giá trị rất nhỏ  $\lambda_s \approx -(2 \div 9) \cdot 10^{-6}$  [1, 2, 14]. Sự ổn định của vách domain như vậy còn làm tăng lực kháng từ  $H_c$ , như thấy trên hình 2 khi nhiệt độ xử lý tăng lên  $300^\circ C$ .

### Ứng dụng hướng từ cảm ứng đơn trục

Theo Krönmüller [15], lực kháng từ tổng cộng trong các hợp kim vô định hình có thể được

biểu diễn:

$$H_c = H_c^{surf} + H_c^\sigma H_c^{so} + H_c^{rel} + H_c^i$$

trong đó  $H_c^{surf}$  gây nên do gồ ghề bề mặt của băng,  $H_c^\sigma$  do tương tác về đàn hồi,  $H_c^{so}$  tự gần định hướng của các cặp nguyên tử,  $H_c^{rel}$  do hồi phục cấu trúc (phụ thuộc thời gian do thăng giáng bên trong của năng lượng trao đổi và dị hướng địa phương.

Cũng theo [15],  $H_c^i$  rất nhỏ, có thể bỏ qua. Có thể coi  $H_c^{surf}$  không thay đổi do xử lý bỏ qua được vì thời gian hồi phục rất lớn so với thời gian đo đường cong từ trễ. Do đó, sự đổi của  $H_c$  do xử lý có thể viết dưới dạng:

$$\Delta H_c = \Delta H_c^\sigma + \Delta H_c^{so}$$

Theo [13]:

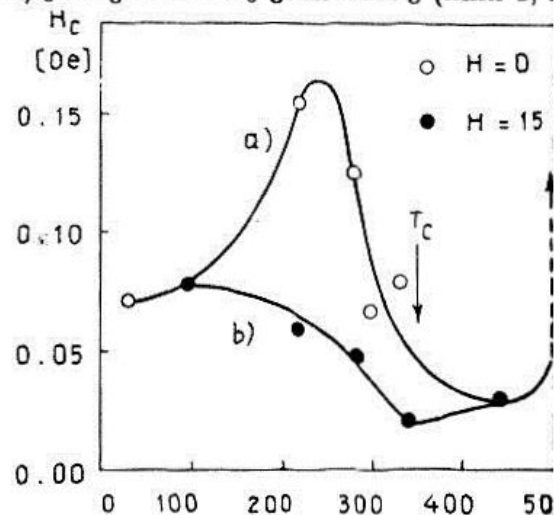
$$H_c^\sigma \approx |\sigma \lambda_s| / M_s$$

Đối với hệ hợp kim vô định hình  $Co_{80-x}B_{20}Si_x$  như đã nói rõ ở trên,  $\lambda_s$  rất nhỏ. Tuy có thể bỏ qua được đóng góp của  $\Delta H_c^\sigma$  hay không còn tùy thuộc vào độ lớn của  $\Delta H_c^{so}$  hợp kim được xử lý ở nhiệt độ cao, sau đó làm lạnh nhanh thì ứng suất trong hợp kim. Nếu làm lạnh chậm, có thể làm giảm được ứng suất. Đối với hệ hợp kim kể trên, chúng ta thấy rằng khi làm lạnh chậm  $H_c$  lại càng tăng, điều đó chứng tỏ sự đóng góp của  $\Delta H_c^\sigma$  vào  $H_c$  rất nhỏ so với sự đóng góp của  $\Delta H_c^{so}$ . Với lập luận như vậy, chúng tôi cho rằng trong kim nghiên cứu, trật tự gần định hướng của các cặp nguyên tử có đóng góp quan trọng nhất vào số từ  $H_c$ . Từ đó có thể dễ dàng giải thích các hình vẽ 1, 2, 3. Thật vậy:

a) Ở nhiệt độ xử lý thấp, một mặt, như đã nói ở trên, vách domain được ổn định. Mặt khác còn tồn tại cấu trúc domain, mỗi domain có một từ trường riêng, dưới tác động của nh các cặp nguyên tử được định hướng lại theo từ trường đó gây nên hiệu ứng dị hướng từ cảm đơn trục trong từng domain. Chính dị hướng địa phương này làm cản trở quá trình dịch vách và quá trình quay momen từ của domain. Kết quả là  $\mu_0$  giảm xuống còn  $H_c$  tăng lên (hình 1, 2).

b) Khi nhiệt độ xử lý cao, đặc biệt là trên điểm Curie, cấu trúc domain bị phá vỡ nên còn tồn tại dị hướng từ cảm ứng đơn trục, do đó  $\mu_0$  tăng lên và  $H_c$  giảm xuống (hình 1, 2).

c) Xử lý trong từ trường, khi tăng nhiệt độ, nói chung,  $H_c$  giảm đi (hình 3). Ở đây, từ trường và nhiệt độ có tác dụng làm cho các cặp nguyên tử định hướng theo từ trường, gây nên hiệu ứng dị hướng từ cảm ứng đơn trục theo trục của từ trường. Khi từ hóa theo hướng này thì đó chính là hướng dễ từ hóa nên  $H_c$  giảm đi. Đặc biệt, khi thực hiện một bước tiên xử lý ở nhiệt độ  $T > T_c$ , sau đó xử lý lại trong từ trường ở nhiệt độ  $T_a < T_c$ , hợp kim sẽ có các tính chất từ mềm tốt nhất. Thực chất của kết quả này là ở chỗ, tiên xử lý  $T > T_c$  làm phá vỡ hoàn toàn các domain để khi xử lý trong từ trường ở nhiệt độ  $T_a < T_c$  các cặp nguyên tử được định hướng chỉ theo từ trường, tạo nên hiệu ứng dị hướng từ cảm ứng đơn trục có giá trị lớn nhất.



Hình 3. Ảnh hưởng khác nhau của xử lý và từ nhiệt lên lực kháng từ  $H_c$  trong kim vô định hình  $Co_{74}B_{20}Si_6$ . a) Xử lý từ nhiệt, b) Xử lý từ nhiệt.

, khi từ hóa theo hướng này, ta nhận được giá trị  $H_c$  nhỏ nhất và  $\mu_0$  lớn nhất.

Trong công trình [8], thực hiện phép đo tính chất dị hướng từ cảm ứng trên dị hướng từ kerner [16], chúng tôi thấy hiệu ứng dị hướng có đối xứng bậc hai. Hằng số dị hướng từ cảm ứng  $K_u$  được tính dựa vào sự khác nhau giữa đường cong từ hóa theo phương dễ và phương khó:

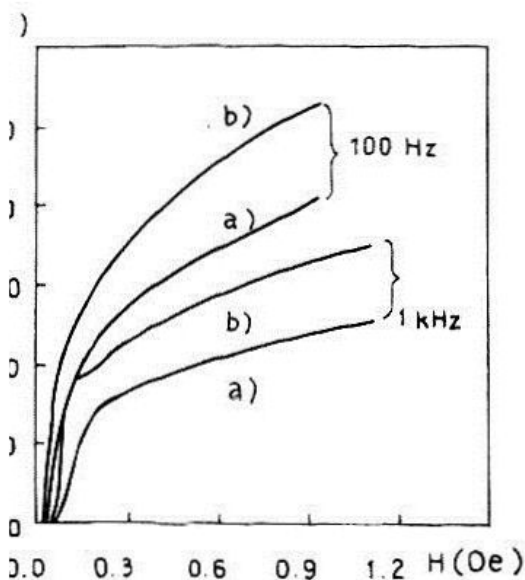
$$K_u = \int_0^{H_a} (B_{\parallel} - B_{\perp}) dH. \quad (4)$$

đó,  $B_{\parallel}$  là cảm ứng từ đo dọc theo phương dị hướng,  $B_{\perp}$  là cảm ứng từ đo theo phương góc,  $H_a$  là từ trường cực đại khi đo. Đối với mẫu  $\text{Co}_{74}\text{B}_{20}\text{Si}_6$ , hằng số dị hướng cảm ứng được có giá trị:

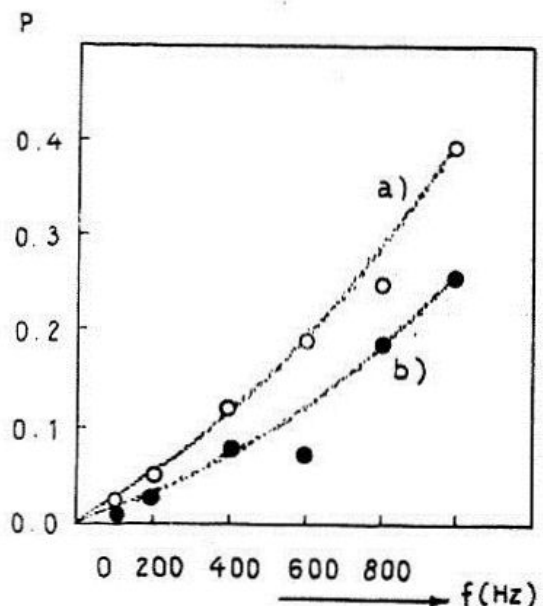
$$K_u \approx 59 \text{ J/m}^3$$

ở phạm vi khoảng độ lớn của  $K_u$  trong các tài liệu [1, 2, 10]. Giá trị  $K_u$  của hợp kim là nhỏ tương đối dị hướng cảm ứng gây nên do các cặp nguyên tử sắt từ cùng loại Co-Co [1].

Trong hình 4 và hình 5, chúng tôi đưa ra sự ảnh hưởng của xử lý dị hướng cảm ứng đến đường cong từ hóa trong từ trường xoay chiều và công suất tổn hao  $P$  toàn phần của hợp kim  $\text{Co}_{74}\text{B}_{20}\text{Si}_6$  ở trạng thái tôi và sau khi xử lý dị hướng. Có thể thấy rõ tác dụng của việc xử lý dị hướng cảm ứng. Hình 5 là công suất tổn hao đo khi cảm ứng từ có giá trị 1 kGs. Sự phụ thuộc công suất tổn hao cho đến tần 1 kHz vẫn gần với dạng tuyến tính, điều đó cho thấy trong phạm vi này tổn hao từ trễ có đóng góp chủ yếu.



Hình 4. Đường cong từ hóa trong trường xoay chiều của hợp kim  $\text{Co}_{74}\text{B}_{20}\text{Si}_6$ . a) Mẫu chưa xử lý. b) Mẫu tiền xử lý  $425^\circ\text{C}$ , 1 giờ;  $300^\circ\text{C}$ , 2 giờ trong từ trường.



Hình 5. Công suất tổn hao toàn phần của hợp kim  $\text{Co}_{74}\text{B}_{20}\text{Si}_6$ . a) Mẫu chưa xử lý. b) Mẫu tiền xử lý  $425^\circ\text{C}$ , 1 giờ;  $300^\circ\text{C}$ , 2 giờ trong từ trường. Đường chấm chấm vẽ theo công thức (5)

Hình 5 cũng cho thấy kết quả tính công suất tổn hao phụ thuộc tần số theo công thức dưới

$$P = a \cdot f + b \cdot f^2, \quad (5)$$

đó,  $f$  là tần số của trường xoay chiều,  $a$  và  $b$  là các hệ số, số hạng thứ nhất là thành phần tổn hao từ trễ, số hạng thứ hai là tổn hao trên dòng xoáy. Các giá trị tính  $a$  và  $b$  cho hợp kim



$\text{Co}_{74}\text{B}_{20}\text{Si}_6$  tôi và hợp kim đã xử lý  $425^\circ\text{C}$ , 1 giờ, sau đó  $300^\circ\text{C}$ , 2 giờ trong từ trường được dưới đây:

- Hợp kim tôi :  $a = 2,0 \cdot 10^{-4}$   $b = 2,0 \cdot 10^{-7}$

- Hợp kim đã xử lý :  $a = 1,1 \cdot 10^{-4}$   $b = 1,5 \cdot 10^{-7}$

Trong trường hợp của hợp kim đã xử lý, cả hai hệ số  $a$  và  $b$  đều nhỏ hơn. Hệ số  $a$  nhỏ do diện tích đường trở của mẫu xử lý nhỏ hơn. Hệ số  $b$  nhỏ hơn có thể do điện trở xuất của kim theo hướng vuông góc với phương dị hướng (phương tạo cặp của các nguyên tử) tăng với khi chưa xử lý.

## KẾT LUẬN

Trong hệ hợp kim vô định hình  $\text{Co}_{80-x}\text{B}_{20}\text{Si}_x$ , hiệu ứng dị hướng từ cảm ứng có đóng quan trọng đến các tính chất từ tĩnh và động khi xử lý nhiệt và từ nhiệt. Chúng tôi đã lựa được cách xử lý tốt nhất cho hệ hợp kim này. Thực chất của việc này là xử lý để khử dị hướng cảm ứng địa phương và/hoặc tạo dị hướng từ cảm ứng đơn trục theo hướng của từ trường.

Cuối cùng, các tác giả cảm ơn PTS Nguyễn Đức Quang và cộng sự thuộc Trung tâm lượng quân đội, trong việc đo công suất tổn hao của các mẫu; cảm ơn Chương trình nghiên cứu cơ bản đã bảo trợ cho công trình này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. F. E. Luborky. Amorphous Metallic Alloys. Butterworths (1983).
2. K. Suzuki, H. Fujimori, K. Hashimoto. Amorphous Metals (Russian translation). M (1987), 163.
3. T. Kulic, H. Matyja. Proc. 4th Int. Conf. on Rapidly Quenched Metals (Sendai, 1981)
4. A. S. Waniewska, A. Siemko, J. F. Finowski, L. Zaluski, H. K. Lachowicz. Journal Magn Magnetic Materials, 101 (1991), 40.
5. S. P. Cruz Fiho, M. Knobel, J. P. Sinnecker, and Sato Turbel. Magnetism, Magnetic Materials and their Applications, Section III (Part 1). La Habana, Cuba (May 1991), 243.
6. J. Degro, P. Vojtanik. Journal Magnetism, Magnetic Materials, 117 (1992), 251.
7. J. Gonzalez Estevez. Journal Magnetism, Magnetic Materials, 87 (1990), 111.
8. Lê Minh, Nguyễn Châu. Tài liệu Hội nghị Vô tuyến Điện tử Việt Nam lần thứ IV (11-86).
9. Lê Minh and Nguyen Chau. Communications in Physics, Hanoi, 1 (4) (1991), 124.
10. Andrzej Siemko, Henryk K. Lachowicz, and Anna Slawska-Waniewska. Journal Magn Magnetic Materials, 101 (1991), 16.
11. Lê Minh, Nguyen Chau, Nguyen Hoang Nghi, Hoang Phuong Dong. Proc. of 2nd National Symposium on Rare Earth Materials and their Application, Hanoi (11-1991), 225.
12. Nguyễn Trọng Quế, Nguyễn Thị Vãn, Nguyễn Anh Tuấn, Lê Minh. Tài liệu Hội nghị Vô tuyến Điện tử Việt Nam lần thứ III (10-1993), 156.
13. T. Kulic. H. Matyja. Journal Magnetism, Magnetic Materials, 43 (1984), 135.

J. K. Kovneristy, E. K. Osipov, E. A. Trophimova. Physico-Chemical Bases Forming Amorphous Metallic Alloys. Nauka, Moskva (1983), 38.

I. Krönmler. Journal Magnetism, Magnetic Materials, **24** (1981), 159.

P. E. Brommer. Magnetic Zener Relaxation and Induced Anisotropy in some Iron-Silicon Alloys. Academic Service, Ruimzicht 118 (Ph. D. Thesis). Amsterdam (1971).

JOURNAL OF SCIENCE, Nat. Sci., t. XII, n°1, 1996

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND THERMO-MAGNETIC ANNEALING  
ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF  $\text{Co}_{80-x}\text{B}_{20}\text{Si}_x$  AMORPHOUS ALLOYS

*Le Minh, Bach Thanh Cong, Nguyen Chau*  
*College of Natural Sciences - VNU*

The  $\text{Co}_{80-x}\text{B}_{20}\text{Si}_x$  ( $x = 2 \div 12$ ) glasses were prepared by single roller method. The influence of temperature and thermo-magnetic annealing on the magnetic hysteresis loop parameters was studied. The coercive force  $H_c$  increases with the annealing temperature  $T_a$  and reaches a maximum at about  $250 \div 300^\circ\text{C}$ . After that,  $H_c$  decreases respectively with  $T_a \approx T_c$  and gets minimum near by  $T_z$ . Effect of initial permeability  $\mu_0$  is in reverse.  $H_c$  always decreases in the different thermo-magnetic annealing. These properties were owing to domain structure stabilization and thermal induced magnetic anisotropy effects. The influence of thermo-magnetic annealing on the magnetization curves and the loss in the alternating fields was presented.