

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP TÔI CẢM ỨNG TỪ CỤC BỘ CNC CHO MẶT PHẪNG

DEVELOPMENT OF CNC INDUCTION HARDENING PROCESS FOR FLAT SURFACE CARBON STEEL SPECIMENS

Trần Trung Trực¹, Trần Quốc Nhiệm², Nguyễn Thị Út Hiền²,
Nguyễn Vinh Dự¹, Phạm Sơn Minh³

¹Trung tâm Ứng dụng tiến bộ Khoa học và Công nghệ TP. Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. Hồ Chí Minh

³Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu quá trình tôi cảm ứng từ cục bộ CNC trên các mẫu thép C45 và SS400. Các thông số và kết quả gia nhiệt được mô phỏng bằng mô hình cảm ứng từ trường 3D trên phần mềm COMSOL Multiphysics 5.0, nhằm tối ưu quá trình gia nhiệt. Cuộn dây cảm ứng được thiết kế với ba vòng xoắn ốc phẳng, nhằm tạo dòng điện Foucault để gia nhiệt bề mặt chi tiết. Các mẫu thí nghiệm được đánh giá qua phương pháp đo độ cứng đạt được sau khi tôi và hình ảnh thành phần kim tương vật liệu. Thục nghiệm cho thấy, tổ chức Mactenxit đạt được sau khi tôi quyết định đến độ cứng bề mặt chi tiết. Hình ảnh kim tương cho thấy, tổ chức Mactenxit xuất hiện hầu hết tại khu vực hình vành khăn nên độ cứng tại khu vực này được cải thiện rõ rệt; trong khi tại tâm cuộn dây tổ chức đạt được là Peclit nên độ cứng không đạt yêu cầu. Để đạt được độ cứng chi tiết đồng đều thì cần phải tiến hành gia nhiệt trên toàn bề mặt trong quá trình tôi bằng phương pháp di chuyển cuộn dây theo từng điểm, rồi gia nhiệt cục bộ tại từng vị trí này. Kết quả phương án di chuyển cuộn dây theo từng điểm kết hợp tôi cảm ứng từ cục bộ tại từng vị trí này, giúp cải thiện và phân bố độ cứng đồng đều trên toàn bộ bề mặt chi tiết.

Từ khóa: Tôi cảm ứng từ; Tôi cao tần; Tôi bề mặt.

ABSTRACT

The aim of this paper is investigate the result of CNC induction hardening process for C45 and SS400 flat surface carbon steel specimens. Experience data and results were simulated and set up by 3D electro-magnetic model coupled temperature fields of COMSOL Multiphysics 5.0 software. The heating source of induction process will be created by Foucault current on the the surface of specimens with flat spiral induction coil. The effect of process will be evaluated by measuring the hardness and metallographic techniques of material. Results showed that the martensite affect the hardness off material. The distribution of the hardness area will be depended on the result of achieved temperature located on the surface which is accordance to the shape of induction coil. In the annular zone, martensite appears almost surface areas of the annular zone, while pearlite causes the lowest hardness of the central zone. To upgrade hardness all surface, induction coil must effect over all areas of specimens. For this purpose, we can move the coil to increase temperature point by point opposite on the surface of specimens. An CNC machine is modified to do this moving task. Results show that the method of moving coil point by point bring the best solution for induction hardening for flat surface.

Keywords: Induction hardening, high frequency hardening, surface hardening.

1. GIỚI THIỆU

Phương pháp tôi cảm ứng từ bề mặt cho các chi tiết thép cacbon hàm lượng trung bình được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực công nghiệp. Đây là một giải pháp nhiệt luyện hiệu quả nhằm nâng cao cơ tính bề mặt chi tiết trong các điều kiện làm việc chịu mài mòn cao. Đề tài dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ khi di chuyển cuộn dây mang dòng điện có tần số thay đổi dọc theo bề mặt chi tiết cần tôi. Từ trường thay đổi xuất hiện trên bề mặt chi tiết sẽ sinh ra dòng điện Foucault giúp gia nhiệt cục bộ trên bề mặt này. Khi thời gian gia nhiệt đủ lớn vượt qua ngưỡng chuyển biến Austenit thì tiến hành làm nguội nhanh bề mặt chi tiết sẽ nhận được vật liệu có cấu trúc bề mặt cứng hơn. Đề tài tập trung phân tích các thông số ảnh hưởng đến cấu trúc và độ đồng đều thành phần thép sau khi tôi nhằm đem lại kết quả tối ưu nhất [1]. Dựa vào mặt cắt cấu trúc vật liệu sau khi tôi, tác giả xác định các điểm tại các vị trí khác nhau để đo thành phần

kim tương vật liệu (Mactenxit, Ferit, Peclit) làm cơ sở xác định chiều sâu lớp thấm tôi đạt được. Kết quả nhận được cho thấy các điểm trên bề mặt mẫu thí nghiệm có thành phần Mactenxit cao nhất và giảm dần về phía bên trong vật liệu chưa được thấm tôi [2].

Quá trình gia nhiệt cảm ứng bằng cuộn dây đồng khi tôi sẽ được mô phỏng trên phần mềm COMSOL Multiphysics 5.0 để xác định thông số nhiệt độ tối ưu. Quá trình tôi cảm ứng được thực hiện ở nhiệt độ 850 - 950°C, sau đó tiến hành làm nguội với tốc độ 200 - 250°C/giây để thu được hoàn toàn Mactenxit như yêu cầu [3]. Kết quả độ thấm tôi bề mặt đạt được là 3,5 mm và độ cứng đạt trung bình 600 HV (56 HRC). Việc sử dụng dòng điện với tần số cao cho phép việc tôi cảm ứng có thể thực hiện được trên các bề mặt kích thước lớn với công suất máy phát nhỏ. Các thí nghiệm được thực hiện với các điều kiện di chuyển chi tiết so với cuộn dây cảm ứng trong quá trình tôi [4].

2. THÔNG SỐ TÔI CẢM ỨNG TỪ

Thành phần hóa học thép C45 theo DIN EN 10083-2: 2006:

Bảng 1. Thành phần hóa học thép C45:

Thành phần hóa học (Theo tỷ lệ %)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr + Mo + Ni
	0,42 - 0,50	<0,40	0,50 - 0,80	<0,045	<0,045	<0,40	<0,10	0,40	<0,63

Thông số tôi thép C45:

- Nhiệt độ tôi: 850°C;
- Môi chất làm nguội: Nước;
- Tốc độ làm nguội: 200 - 250 °C/giây;
- Thời gian làm nguội: 0 - 2 giây;
- Độ cứng trước khi tôi: 20 HRC (207 HB);
- Độ cứng đạt được sau khi tôi: 50 - 55 HRC (482 - 560 HB).

Thành phần hóa học thép SS400 theo JIS G 3101:2010:

Bảng 2. Thành phần hóa học thép SS400:

Thành phần hóa học (Theo tỷ lệ %)	C	P	S	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cr + Mo + Ni
	<0,30	<0,05	<0,05	---	---	---	---	---	---

Thông số tôi thép SS400:

- Nhiệt độ tôi: 900°C;
- Môi chất làm nguội: Nước;
- Tốc độ làm nguội: 200 - 250 °C/giây;
- Thời gian làm nguội: 0 - 2 giây;
- Độ cứng trước khi tôi: Nhỏ hơn 20 HRC (207 HB);
- Độ cứng đạt được sau khi tôi: 45 - 50 HRC (421 - 482 HB).

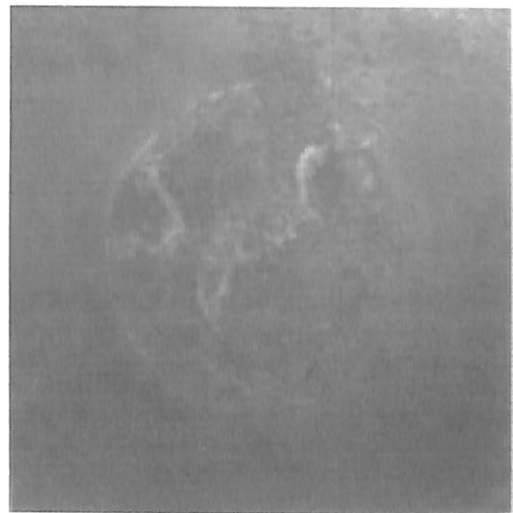
3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Mẫu số 1: Thép C45 kích thước 150 x 150 x 10 mm

- Đặc điểm: Tôi tại một vị trí trên mẫu thép.
- Tổng thời gian gia nhiệt: 30 giây.
- Nhiệt độ lớn nhất đạt được: 905,8°C.
- Tốc độ làm nguội: 200 - 250°C/giây.



Hình 1: Gia nhiệt mẫu số 1

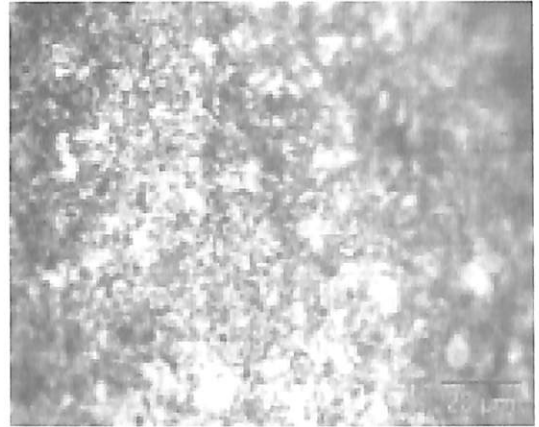


Hình 2: Hình ảnh sau khi làm nguội mẫu số 1

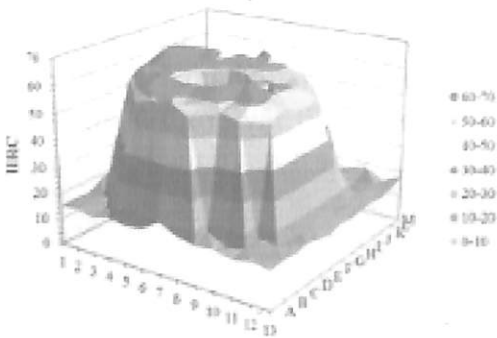
Nhận xét: Nhiệt độ trên bề mặt mẫu thép tại khu vực bên trong cuộn dây (phạm vi đường kính 25 - 30 mm tính từ tâm cuộn dây) chỉ đạt từ 500°C đến 600°C. Độ cứng được đo theo tiêu chuẩn ASTM E18 1998 của Hiệp hội Vật liệu và Thử nghiệm Hoa Kỳ, với thang đo HRC sử dụng đầu đo kim cương. Đo độ cứng mẫu số 1 bằng cách chia lưới bề mặt mẫu thành các ô có kích thước 10 x 10 mm kết quả đo độ cứng như sau:



Hình 3: Quá trình đo độ cứng mẫu số 1



Hình 5: Hình ảnh kim tương mẫu số 1 tại khu vực hình vành khăn J7



Hình 4: Biểu đồ phân bố độ cứng mẫu số 1

Dựa vào biểu đồ phân bố độ cứng trên toàn bề mặt ta nhận thấy 04 vị trí giữa tâm cuộn dây (kích thước 20 x 20 mm) độ cứng nhỏ nhất, lần lượt 25,1; 30,4; 31,8 và 41,5 HRC.

Giá trị độ cứng đạt được lớn nhất và tương đối đồng đều được phân bố theo tiết diện hình vành khăn với kích thước đường kính ngoài 110 mm và đường kính trong 20 mm.

Độ cứng trung bình tại các vị trí được gia nhiệt (xét bên trong hình vành khăn với kích thước đường kính ngoài 110 mm và đường kính trong 20 mm) là 59,2 HRC. Giá trị độ cứng rất cao so với mẫu ban đầu và phù hợp với lý thuyết nhiệt luyện.



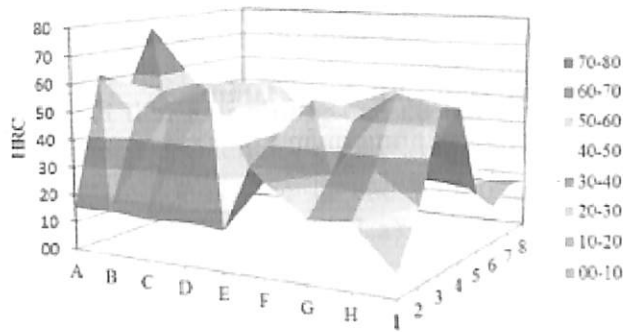
Hình 6: Hình ảnh kim tương mẫu số 1 tại khu vực tâm cuộn dây G7

Thành phần cấu trúc tế vi mẫu thép sau khi tôi cảm ứng được đánh giá bằng phương pháp phân tích kim tương theo tiêu chuẩn ASTM E112 1996 của Hiệp hội Vật liệu và Thử nghiệm Hoa Kỳ. Kết quả phân tích kim tương tại khu vực hình vành khăn thì ta có thể thấy rõ sự tồn tại của tổ chức Mactenxit, có hình dạng hình kim màu xám chiếm tỷ lệ lớn trên toàn bề mặt hình ảnh kim tương.

Ở khu vực tâm cuộn dây, do quá trình tôi cảm ứng chưa đạt được độ cứng yêu cầu nên hình ảnh từ kết quả kim tương cho thấy các tổ chức Peclit và Ferit màu trắng chiếm đa số. Kết quả phân tích cấu trúc tế vi trên phôi

hợp với lý thuyết nhiệt luyện và kết quả đo độ cứng bề mặt sau khi tôi cảm ứng. Chính thành phần Mactenxit được tạo thành và chiếm đa số là nguyên nhân giúp tăng độ cứng bề mặt sau khi tôi.

3.2. Mẫu số 2: Thép C45 kích thước 200 x 200 x 10 mm



Hình 7: Biểu đồ phân bố độ cứng mẫu số 2

- Đặc điểm: Tôi một đường gồm 3 vị trí trên mẫu thép.
- Khoảng cách giữa hai vị trí: 45 mm.
- Thời gian gia nhiệt tại mỗi vị trí: 30 giây.
- Nhiệt độ lớn nhất đạt được: 906°C.
- Tốc độ làm nguội: 200 - 250°C/giây.

Kết quả đo độ cứng được biểu diễn ở dạng biểu đồ như Hình 7. Dựa trên các giá trị độ cứng HRC đo được và biểu đồ ta thấy phân bố giá trị độ cứng bề mặt mẫu thép tương đối đồng đều, tuy có sự sai khác giữa các giá trị, độ cứng lớn chủ yếu tập trung tại vùng được gia nhiệt bên trong cuộn dây đi qua. Vùng tiếp giáp giữa các vị trí gia nhiệt độ cứng thấp hơn. Độ cứng trung bình đạt được trong khu vực mẫu thép sau khi tôi là 47,7 HRC. Tuy nhiên, nếu bỏ qua các khu vực tiếp giáp giữa các vị trí thì độ cứng trung bình đạt được lên đến 54,2 HRC. Độ lệch chuẩn của các giá trị độ cứng là 6,7 HRC. Điều này chứng tỏ quá trình gia nhiệt tương đối đồng đều trên toàn bề mặt.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã thực hiện mô phỏng quá trình gia nhiệt và thực nghiệm tôi cảm ứng từ cho các chi tiết phẳng với vật liệu C45 và SS400.

Trên cơ sở đánh giá các giá trị độ cứng đạt được trên bề mặt mẫu thép tại các vị trí khác nhau cho thấy phương pháp tôi cảm ứng từ cục bộ CNC cho kết quả độ cứng tương đối đồng đều.

Với thép C45 sau khi tôi cảm ứng từ sẽ đạt độ cứng bề mặt trung bình lên đến 50 - 60 HRC.

Với thép SS400 sau khi tôi cảm ứng từ thì độ cứng bề mặt trung bình đạt được nhỏ hơn 50 HRC. ❖

Ngày nhận bài: 12/7/2018

Ngày phản biện: 18/7/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Pavel Karban, Martina Donátová. Continual induction hardening of steel bodies. *Mathematics and Computers in Simulation* 80, 2010, pp. 1771–1782, 21 December 2009.
- [2]. Kai Gao, Xunpeng Qin, Zhou Wang, Shengxiao Zhu. Effect of spot continual induction hardening on the microstructure of steels: Comparison between AISI 1045 and 5140 steels. *Materials Science & Engineering A* 651, 2016, pp. 535–547, 10 November 2015.
- [3]. Kai Gao Xunpeng Qin Zhou Wang Hao Chen Shengxiao Zhu Yanxiong Liu Yanli Song. Numerical and experimental analysis of 3D spot induction hardening of AISI 1045 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, pp. 349–377, 8 May 2014.
- [4]. Daisuke Suzuki, Koji Yatsushiro, Seiji Shimizu, Yoshio Sugita, Motoki Saito, Katsuhiko Kubota. Development of induction surface hardening process for small diameter carbon steel specimens. *International Centre for Diffraction Data 2009* ISSN 1097-0002, 2009, pp. 569–576, 20 October 2009.
- [5]. Jerzy Barglik, Albert Smalcerz, Roman Przylucki, Ivo Doležel. 3D modeling of induction hardening of gear wheels. *Journal of Computational and Applied Mathematics* 270, 2014, pp. 231–240, 2014.
- [6]. Dietmar Hömberg, Thomas Petzold, Elisabetta Rocca. Analysis and simulations of multifrequency induction hardening. *Nonlinear Analysis: Real World Applications* 22 (2015), pp. 84–97, 2015.