

ĐÁNH GIÁ KIM TƯƠNG SỰ BIẾN ĐỔI TỔ CHỨC TẾ VI VÀ ĐỘ CỨNG CỦA THÉP C45 SAU NHIỆT LUYỆN BẰNG KÍNH HIỂN VI QUANG HỌC MT7000 SERIES

METALLOGRAPHIC ASSESSMENT OF MICROSTRUCTURAL EVOLUTION AND HARDNESS VARIATION IN HEAT-TREATED C45 STEEL USING THE MT7000 SERIES OPTICAL MICROSCOPE

Trương Minh Đức^{1,*}, Nguyễn Như Hòa¹, Hoàng Quang Huy¹, Nguyễn Huy Trọng¹,
Vũ Khánh Xuân¹, Hoàng Đức Cường²

¹Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: tmduc@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Thép C45 là vật liệu cacbon trung bình được sử dụng rộng rãi trong chế tạo trục, bánh răng, chi tiết truyền động và các bộ phận chịu tải vừa nhờ khả năng nhiệt luyện tốt. Bài báo trình bày kết quả đánh giá kim tương sự biến đổi tổ chức tế vi và độ cứng của thép C45 trước và sau các trạng thái nhiệt luyện cơ bản bằng kính hiển vi quang học MT7000 Series. Mẫu thép được chuẩn bị theo quy trình kim tương gồm cắt mẫu, mài, đánh bóng, tẩm thực bằng dung dịch Nital và quan sát ở các độ phóng đại 5X, 10X, 20X, 50X và 100X; đồng thời độ cứng được đo theo thang Rockwell C. Kết quả cho thấy mẫu trước nhiệt luyện có tổ chức Ferit + Peclit với độ cứng khoảng 20–35 HRC, thuận lợi cho gia công cắt gọt. Sau tôi, tổ chức chuyển biến mạnh sang Mactenxit dạng kim, độ cứng tăng lên khoảng 52–58 HRC nhưng đi kèm tính giòn và ứng suất dư cao. Sau ram, tổ chức Mactenxit ram, Troostite ram có độ cứng khoảng 40–48 HRC, thể hiện sự cân bằng tốt hơn giữa độ cứng và độ dai. Kết quả nghiên cứu khẳng định phương pháp hiển vi quang học kết hợp đo độ cứng là hướng đánh giá hiệu quả, trực quan và phù hợp với điều kiện đào tạo, thực nghiệm và kiểm tra chất lượng vật liệu trong cơ khí chế tạo.

Từ khóa: Thép C45; Nhiệt luyện; Tổ chức tế vi; Độ cứng; Kim tương; Kính hiển vi quang học MT7000 Series.

ABSTRACT

C45 steel is a medium-carbon steel widely used for shafts, gears, transmission components, and moderately loaded machine parts due to its good response to heat treatment. This paper presents a metallographic evaluation of the microstructural evolution and hardness variation of C45 steel under basic heat-treatment conditions using an MT7000 Series optical microscope. The specimens were prepared following standard metallographic procedures, including cutting, grinding, polishing, and Nital etching, followed by optical observation at magnifications of 5X, 10X, 20X, 50X, and 100X. Hardness was measured using the Rockwell C scale. In the as-received

condition, the steel exhibited a ferrite-pearlite microstructure with a hardness of approximately 20–35 HRC, which is suitable for machining. After quenching, a pronounced transformation into needle-like martensite occurred, increasing the hardness to approximately 52–58 HRC while also increasing brittleness and residual stresses. After tempering, a tempered martensite/troostite-like structure was obtained, with hardness ranging from 40 to 48 HRC, indicating a better balance between hardness and toughness. The results confirm that optical metallography combined with hardness testing is an effective and practical approach for evaluating the relationship among heat treatment, microstructure, and mechanical response of C45 steel in mechanical engineering education and quality inspection.

Keywords: C45 steel; Heat treatment; Microstructure; Hardness; Metallography; MT7000 Series optical microscope.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép C45 là thép cacbon trung bình được sử dụng rộng rãi trong chế tạo các chi tiết cơ khí như trục, bánh răng, chốt, bu lông và các bộ phận chịu tải nhờ sự cân bằng giữa độ bền, khả năng gia công và khả năng đáp ứng nhiệt luyện. Trong thực tế sản xuất, nhiệt luyện là một trong những phương pháp quan trọng để cải thiện cơ tính của thép C45 thông qua việc điều chỉnh tổ chức tế vi, đặc biệt là sự chuyển biến giữa ferit, peclit, austenit và mactenxit [1].

Các nghiên cứu đã công bố cho thấy các thông số nhiệt luyện như nhiệt độ austenit hóa, thời gian giữ nhiệt, tốc độ nung và môi trường làm nguội có ảnh hưởng trực tiếp đến tổ chức tế vi và cơ tính của thép C45. Blaoui và cộng sự chỉ ra rằng khi tốc độ làm nguội tăng, lượng mactenxit hình thành nhiều hơn, làm tăng độ cứng nhưng đồng thời có thể làm giảm độ dẻo của vật liệu [1]. Magnabosco và cộng sự cũng sử dụng kết hợp thử độ cứng và phân tích hiển vi quang học để đánh giá quá trình nhiệt luyện cảm ứng đối với thép ISO C45, cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa lịch sử nhiệt, tổ chức kim tương và độ cứng sau xử lý [2].

Bên cạnh quá trình tôi, ram sau tôi cũng giữ vai trò quan trọng trong việc ổn định tổ chức mactenxit, giảm ứng suất dư và cải thiện sự cân bằng giữa độ cứng và độ dai. Woźniak và cộng sự đã nghiên cứu cơ tính của thép C45 có tổ chức mactenxit sau quá trình ram cao, qua đó khẳng định sự thay đổi chế độ ram có ảnh hưởng rõ rệt đến cấu trúc và tính chất cơ học của thép [3]. Tương tự, nghiên cứu trên thép S45C vật liệu tương đương gần với C45 cho thấy nhiệt độ nung, thời gian giữ nhiệt và môi trường làm nguội làm thay đổi mạnh tổ chức tế vi và độ cứng của thép [4].

Tuy nhiên, trong điều kiện đào tạo kỹ thuật và kiểm tra chất lượng cơ khí cơ bản, việc xây dựng một quy trình đánh giá trực quan, dễ triển khai bằng phương pháp kim tương quang học vẫn có ý nghĩa thực tiễn. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung đánh giá sự biến đổi tổ chức tế vi và độ cứng của thép C45 trước và sau nhiệt luyện bằng kính hiển vi quang học MT7000 Series. Kết quả nghiên cứu nhằm làm rõ mối quan hệ giữa chế độ nhiệt luyện, tổ chức tế vi và độ cứng, đồng thời góp phần củng cố khả năng ứng dụng phương pháp hiển vi quang học trong giảng dạy, thực nghiệm vật liệu và kiểm tra chất lượng chi tiết cơ khí.



2. LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Thép C45 là thép cacbon trung bình, có khả năng đáp ứng tốt với các quá trình nhiệt luyện nhờ sự chuyển biến tổ chức giữa ferit, peclit, austenit, mactenxit và mactenxit ram. Các thông số nhiệt luyện như nhiệt độ austenit hóa, thời gian giữ nhiệt và tốc độ làm nguội có ảnh hưởng trực tiếp đến tổ chức tế vi, độ cứng và cơ tính của thép [1], [2]. Khi tôi, austenit chuyển biến nhanh thành mactenxit, làm tăng độ cứng nhưng đồng thời làm tăng ứng suất dư và tính giòn. Quá trình ram sau tôi giúp ổn định tổ chức, giảm ứng suất bên trong và cải thiện sự cân bằng giữa độ cứng, độ bền và độ dai [3], [5]. Các nghiên cứu gần đây về thép C45 và thép cacbon trung bình cũng khẳng định mối liên hệ chặt chẽ giữa tổ chức tế vi sau nhiệt luyện và sự thay đổi độ cứng của vật liệu [6], [7].

2.2. Vật liệu và thiết bị nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu là thép C45 ở ba trạng thái: trước nhiệt luyện, sau tôi và sau ram. Đây là nhóm thép được sử dụng phổ biến trong chế tạo trục, bánh răng, chi tiết truyền động và các bộ phận chịu tải trung bình nhờ khả năng gia công và cải thiện cơ tính bằng nhiệt luyện [1], [6]. Tổ chức tế vi của mẫu được quan sát bằng kính hiển vi quang học kim tương MT7000 Series ở các độ phóng đại 5X, 10X, 20X, 50X và 100X. Độ cứng được xác định theo thang Rockwell C nhằm đối chiếu với sự biến đổi tổ chức tế vi sau từng trạng thái xử lý nhiệt [8].



Hình 1. Kính hiển vi MT7000SERIES

2.3. Quy trình chuẩn bị mẫu kim tương

Mẫu thép C45 được chuẩn bị theo quy trình kim tương gồm cắt mẫu, mài, đánh bóng và tẩm thực. Bề mặt mẫu được mài từ cấp thô đến mịn, sau đó đánh bóng để loại bỏ vết xước cơ học và tạo điều kiện quan sát tổ chức tế vi. Mẫu được tẩm thực bằng dung dịch Nital nhằm làm rõ ranh giới hạt và tăng tương phản giữa các pha như ferit, peclit và mactenxit. Sau khi tẩm thực, mẫu được rửa sạch, sấy khô và quan sát bằng kính hiển vi quang học. Ảnh kim tương thu được được sử dụng để so sánh sự biến đổi tổ chức tế vi của thép C45 trước nhiệt luyện, sau tôi và sau ram, đồng thời liên hệ với kết quả đo độ cứng [2], [9].

2.4. Phương pháp nhiệt luyện và phân tích

Nghiên cứu được thực hiện trên thép C45 ở ba trạng thái: trước nhiệt luyện, sau tôi và sau ram. Mẫu sau khi austenit hóa được làm nguội nhanh nhằm tạo chuyển biến mactenxit, sau đó ram để giảm ứng suất dư, ổn định tổ chức và cải thiện sự cân bằng giữa độ cứng và độ dai. Cách tiếp cận này phù hợp với bản chất của quá trình tôi – ram đối với thép cacbon trung bình, trong đó tốc độ làm nguội, môi trường tôi và chế độ ram có ảnh hưởng trực tiếp đến tỷ lệ mactenxit, độ cứng và mức độ ứng suất bên trong vật liệu [10], [11].

Sau nhiệt luyện, mẫu được quan sát bằng kính hiển vi quang học MT7000 Series ở các độ phóng đại khác nhau để nhận dạng sự thay đổi hình thái tổ chức tế vi. Đồng thời, độ cứng được xác định theo thang Rockwell C và đối chiếu với ảnh kim tương. Việc kết hợp giữa quan sát tổ chức tế vi và đo độ cứng cho phép đánh giá mối quan hệ giữa chế độ nhiệt luyện, sự hình thành mactenxit/mactenxit ram và phản ứng cơ học của thép C45 [12], [13], [14].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả quan sát kim tương cho thấy thép C45 có sự thay đổi rõ rệt về tổ chức tế vi sau quá trình nhiệt luyện. Ở trạng thái trước nhiệt luyện, mẫu thép có tổ chức chủ yếu gồm ferit và peclit. Trong đó, ferit là pha sáng, mềm và dẻo; peclit là vùng tối hơn, góp phần tạo độ cứng cơ bản cho vật liệu. Tổ chức ferit-peclit tương đối ổn định này phù hợp với trạng thái thép C45 trước xử lý nhiệt, có độ cứng thấp và thuận lợi cho gia công cắt gọt.

Sau quá trình tôi, tổ chức tế vi chuyển biến mạnh sang dạng mactenxit hình kim. Đây là kết quả của quá trình làm nguội nhanh từ vùng austenit hóa, khiến cacbon không kịp khuếch tán ra khỏi mạng tinh thể. Sự hình thành mactenxit làm độ cứng tăng đáng kể, từ khoảng 15–20 HRC ở trạng thái ban đầu lên khoảng 52–58 HRC sau tôi. Tuy nhiên, tổ chức này cũng làm tăng ứng suất dư và tính giòn của vật liệu.

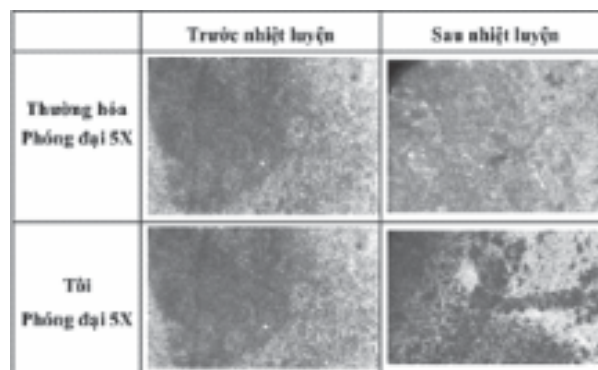
Sau quá trình ram, tổ chức mactenxit được ổn định hơn, chuyển dần sang mactenxit ram hoặc tổ chức dạng troostite ram. Độ cứng giảm còn khoảng 35–48 HRC, thấp hơn so với sau tôi nhưng vẫn cao hơn đáng kể so với trạng thái ban đầu. Điều này cho thấy ram sau tôi giúp giảm tính giòn, cải thiện độ dai và tạo sự cân bằng tốt hơn giữa độ cứng và khả năng làm việc của thép C45.



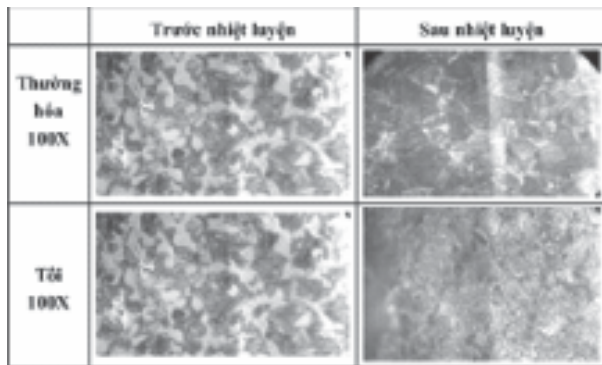
Hình 2. Kết quả đo độ cứng sau ram và tôi

Bảng 1. Mối quan hệ giữa trạng thái nhiệt luyện, tổ chức tế vi và độ cứng của thép C45.

Trạng thái mẫu	Tổ chức tế vi chủ yếu	Độ cứng trung bình	Nhận xét cơ tính
Trước nhiệt luyện	Ferit + Peclit	20–35 HRC	Dẻo, dai, dễ gia công
Sau tôi	Mactenxit hình kim	52–58 HRC	Rất cứng, chống mài mòn tốt, nhưng giòn
Sau ram	Mactenxit ram / Troostite ram	40–48 HRC	Độ cứng và độ dai cân bằng hơn



Hình 3. Tổ chức tế vi của thép C45 trước và sau nhiệt luyện ở độ phóng đại 5X



Hình 4. Tổ chức tế vi của thép C45 trước và sau nhiệt luyện ở độ phóng đại 100X

Từ các kết quả trên có thể thấy, sự thay đổi độ cứng của thép C45 có quan hệ trực tiếp với sự chuyển biến tổ chức tế vi. Tổ chức ferit–peclit cho độ cứng thấp nhưng thuận lợi cho gia công; tổ chức mactenxit sau tôi tạo độ cứng cao nhưng làm tăng tính giòn; trong khi tổ chức mactenxit ram sau ram tạo cơ tính ổn định hơn. Như vậy, việc kết hợp quan sát kim tương bằng kính hiển vi quang học MT7000 Series với đo độ cứng cho phép đánh giá rõ ràng mối liên hệ giữa chế độ nhiệt luyện, tổ chức tế vi và cơ tính của thép C45.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả đánh giá tổ chức tế vi và độ cứng của thép C45 sau nhiệt luyện, có thể rút ra một số kết luận chính như sau:

(1) Ở trạng thái trước nhiệt luyện, thép C45 có tổ chức chủ yếu là ferit – peclit, độ cứng khoảng 20–35 HRC, thể hiện đặc trưng của vật liệu có khả năng gia công tốt.

(2) Sau quá trình tôi, tổ chức tế vi chuyển biến rõ sang mactenxit dạng kim, làm độ cứng tăng lên khoảng 52–58 HRC. Tuy nhiên, trạng thái này đi kèm với ứng suất dư lớn và tính giòn cao.

(3) Sau ram, tổ chức chuyển sang mactenxit ram hoặc dạng troostite ram, độ cứng giảm còn khoảng 40–48 HRC, nhưng cơ tính tổng hợp được cải thiện nhờ sự cân bằng tốt hơn giữa độ cứng và độ dai.

(4) Kết quả nghiên cứu cho thấy sự thay đổi độ cứng của thép C45 có quan hệ chặt chẽ với sự biến đổi tổ chức tế vi dưới tác động của nhiệt luyện.

(5) Phương pháp kết hợp kính hiển vi quang học MT7000 Series với đo độ cứng Rockwell C là hướng tiếp cận phù hợp, trực quan và hiệu quả trong nghiên cứu thực nghiệm, giảng dạy vật liệu học và kiểm tra chất lượng chi tiết cơ khí. ❖

Ngày nhận bài: 11/5/2026

Ngày phản biện: 22/5/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. M. M. Blaoui, M. Zemri, and A. Brahami, “Effect of Heat Treatment Parameters on Mechanical Properties”. *Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 909–918, 2018, doi: 10.2478/mme-2018-0071, 2018.
- [2]. I. Magnabosco, P. Ferro, A. Tiziani, and F. Bonoll, “Induction heat treatment of a ISO C45 steel bar: Experimental and numerical analysis”. *Computational Materials Science*, Volume 35, Issue 2, February 2006, Pages 98–106.
- [3]. W. Woźniak, M. Sasiadek, T. Jachowicz, M. Edl, and, “Studies on the Mechanical Properties of C45 Steel with Martensitic”. *Advances in Science and Technology Research Journal* 2022, 16(3), 306–315.
- [4]. Pham Thi Hang, “Effects of Heat Treatment Process on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel”. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 1283–1292, 2021, doi: 10.31817/vjas.2021.4.4.07.

- [5]. J. Wilzer, M. Weber, and S. Theise, “*The influence of heat treatment and resulting microstructures on the thermophysical properties of martensitic steels*”. Journal of Materials Science, vol. 48, pp. 8483–8492, 2013. DOI: 10.1007/s10853-013-7665-2.
- [6]. J. Moravčíková, R. Moravčík, and M. Palcut, “*Effect of Heat Treatment on the Resulting Dimensional Characteristics of the C45 Carbon Steel after Turning*”. Metals, vol. 12, no. 11, 1899, 2022. DOI: 10.3390/met12111899.
- [7]. . Han, Z. Zhang, G. C. Barber, S. Thrush, and X., “*Wear Resistance of Medium Carbon Steel with Different Microstructures*”. Materials, vol. 14, no. 8, 2015, 2021. DOI: 10.3390/ma14082015.
- [8]. ASTM E407, Standard Practice for Microetching Meta.
- [9]. E. Girault, A. Mertens, P. Jacques, Y. Houbaert, B., “*Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructure of TRIP-Assisted Steels*”. Materials Characterization, vol. 40, no. 2, pp. 111–118, 1998. DOI: 10.1016/S1044-5803(97)00154-X.
- [10]. E. R. Vieira, “*Evaluation of the characteristics of an AISI 1045 steel quenched in different concentration of polymer solutions of polyvinylpyrrolidone*”. Scientific Reports, vol. 11, 2021. DOI: 10.1038/s41598-020-79060-0.
- [11]. O.O. Agboola, “*Optimization of heat treatment parameters of medium carbon steel quenched in different media using Taguchi method and grey relational analysis*”. Heliyon, 2020.
- [12]. H. W. Zhu, K. Xu, S. Qin, F. R. Xiao, and B. Liao, “*Effect of heat treatment on microstructure and properties of 1045 steel modified with (NbTi)C nanoparticles*”. Materials Science and Engineering: A, vol. 728, pp. 175–182, 2018. DOI: 10.1016/j.msea.2018.05.019.
- [13]. X. Han, Z. Zhang, G. C. Barber, S. Thrush, and X., “*Wear Resistance of Medium Carbon Steel with Different Microstructures*”. Materials, vol. 14, no. 8, Article 2015, 2021. DOI: 10.3390/ma1408201
- [14]. T. P. Hung, “*Temperature Modeling of AISI 1045 Steel during Surface Hardening Processes*”. Materials, vol. 11, no. 10, Article 1815, 2018. DOI: 10.3390/ma1110181.