

Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt khi tôi bằng mô phỏng số

Research the Heat Transfer in Quenching Process by the Numerical Simulation

Trần Thị Xuân^{1*}, Nguyễn Văn Tư¹, Lê Thị Chiêu², Vũ Đình Toại¹

¹ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội – Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

² Viện nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ mới, 30F9 ngõ 104 Lê Thanh Nghị, Hai Bà Trưng, Hà Nội
 Đến Tòa soạn: 28-11-2016; chấp nhận đăng: 25-01-2018

Tóm tắt

Trong quá trình tôi thép, việc xác định chính xác đường nguội tại các vị trí trong chi tiết tôi có ý nghĩa quan trọng. Thông qua đó tính toán được tốc độ nguội và xác định được tổ chức tế vi tại các vùng khác nhau của chi tiết sau khi tôi. Nhược điểm chính của phương pháp nghiên cứu thực nghiệm là khó xác định tức thời được nhiệt độ và thí nghiệm cần được lặp lại nhiều lần để có độ chính xác cao, do vậy chi phí cho thử nghiệm cao. Đồng thời, phương pháp này cũng chỉ xác định được đường nguội tại các vị trí đo nằm rời rạc ở bề mặt của chi tiết. Bài báo này trình bày phương pháp xác định toàn bộ trường nhiệt độ phân bố trong mô hình chi tiết tôi là mẫu có hình dạng chữ C và đường nguội tại bất kỳ vị trí nào của mẫu nghiên cứu bằng kỹ thuật mô phỏng số. Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp mô phỏng số phản ánh đúng thực tế nên có thể được sử dụng làm công cụ thí nghiệm ảo để dự đoán trước các kết quả của quá trình tôi trong thực tế và làm cơ sở để tối ưu hóa chế độ công nghệ tôi.

Từ khóa: Mô phỏng số, Tôi, Truyền nhiệt, Phần mềm Sysweld

Abstract

In quenching process of steel, the accurate determination of cooling curve at the positions in a quenched part is very important. Since the cooling rate will be calculated and the microstructure at the different quenched zones of the part will be determined base on the cooling curve. The difficulty in the determination immediately temperature in the quenched part and the high cost of repeating experiments to obtain the accurate results are the main disadvantages of the experimental method. In addition, the experimental method only can be used to determine the cooling rate at certain points on the surface of the quenched part. This paper presents the method to determine the whole distribution of the temperature field and the cooling rate at every point in the quenched C-ring model specimen by using a numerical simulation technique. The similarity in the experimental and the simulation results prove that the numerical simulation technique can be reliably used as a virtual experiment method to predict the results of the practical quenching process and to optimize the quenching technical parameters.

Keywords: Numerical simulation, Quenching, Heat transfer, Sysweld software

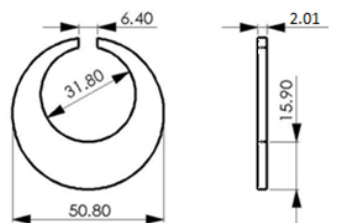
1. Giới thiệu

Trong quá trình tôi thép, môi trường tôi là nhân tố quyết định đến tổ chức, cơ tính và biến dạng của chi tiết sau tôi. Môi trường tôi phải có tốc độ nguội đủ lớn, lớn hơn giá trị tốc độ nguội tới hạn tương ứng với từng loại thép để xảy ra chuyển biến austenit thành mactenxit có độ cứng và độ bền cao. Mặt khác môi trường tôi phải có tốc độ nguội đủ nhỏ để không gây ra ứng suất có thể dẫn đến biến dạng hoặc nứt vỡ chi tiết, nhất là ở vùng chuyển biến mactenxit. Như vậy đối với từng loại chi tiết có hình dáng và vật liệu xác định, việc chọn đúng môi trường tôi để có thể đạt được cơ tính cao nhất mà không gây ra hiện tượng biến dạng, nứt, vỡ... là rất quan trọng. Từ đó, việc nghiên cứu quá trình truyền nhiệt trong chi tiết khi tôi để qua đó xác định tốc độ nguội tại các vị trí trong chi tiết tôi có ý nghĩa quan trọng.

Bài báo này trình bày phương pháp mô phỏng số để xác định trường nhiệt độ và các đường nguội tại các vị trí trong mô hình chi tiết tôi dạng nhẫn chữ C, chế tạo từ thép 100Cr6 (hình 1) khi tôi trong môi trường tôi tự chế PAG (PolyAlkylen Glycol) hòa tan trong nước ở nồng độ 10% (viết tắt là PAG-10).

2. Mô hình hóa quá trình tôi chi tiết

2.1. Mô hình nghiên cứu

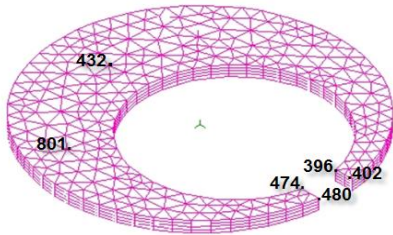


Hình 1. Hình dáng và kích thước mẫu nghiên cứu

* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 986.985.861
 Email: xuan.tranthi@hust.edu.vn

Theo tài liệu [1], mô hình dạng nhẫn chữ C khoét lệch tâm như mô tả trên hình 1 được dùng như “mẫu chuẩn” khi nghiên cứu quá trình tôi chi tiết, bởi vì mẫu dạng này có chỗ dày, chỗ mỏng khác nhau nên tốc độ nguội tại các vị trí trên mẫu sẽ khác nhau, dẫn đến biến dạng, ứng suất, độ cứng và tổ chức tế vi tại các vị trí đó cũng khác nhau. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng mẫu có hình dạng và kích thước thể hiện chi tiết ở hình 1.

Sử dụng phần mềm Sysweld để rời rạc hóa mô hình 3D ở hình 1, ta nhận được mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) của mẫu nghiên cứu như thể hiện trên hình 2. Ở đây, do tiết diện của mô hình có đường bao là đường cong, vì vậy để bảo đảm độ chính xác khi chia lưới tác giả sử dụng loại phần tử có cạnh cong trong mặt tiết diện. Mặt khác, theo hướng chiều dày thì mô hình có dạng tiết diện đều, do đó loại phần tử cạnh thẳng sẽ thích hợp theo hướng chiều dày. Kết hợp cả 2 đặc điểm nêu trên, tác giả sử dụng loại phần tử có 5 mặt 15 nút với cạnh thẳng và cạnh cong phối hợp để chia lưới cho mô hình. Để đạt độ chính xác cao cần thiết, kích thước của phần tử cần phải đủ nhỏ [2] và trong nghiên cứu này tác giả chia lưới với cạnh lớn nhất của phần tử là 2 mm.



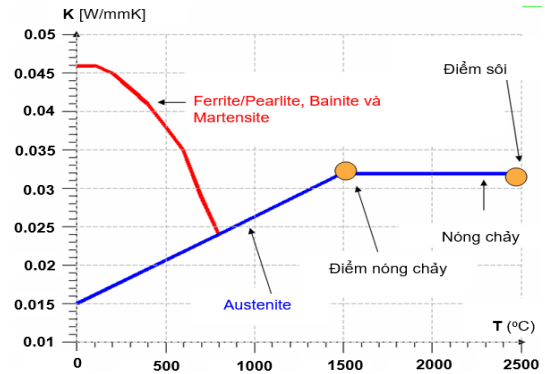
Hình 2. Mô hình PTHH của mẫu nghiên cứu & một số nút khảo sát (nhìn từ mặt đáy)

2.2. Khai báo các thông số của vật liệu

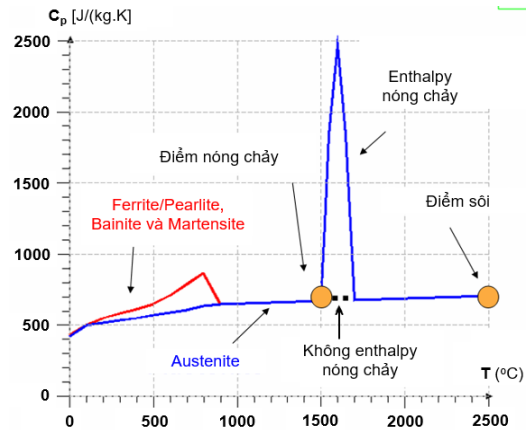
Khi tính toán mô phỏng, mô hình PTHH trên hình 2 phải được xác định rõ ràng về vật liệu sử dụng, nghĩa là nó phải được gán 1 bộ thông số đầy đủ về các tính chất cơ - lý - kim loại học của vật liệu. Với lưu ý rằng, bài toán mô phỏng quá trình tôi chi tiết sẽ nghiên cứu trong sự thay đổi liên tục các tính chất của vật liệu từ trạng thái ở nhiệt độ tôi (850°C) đến trạng thái nguội hoàn toàn (30°C). Trong nghiên cứu này, vật liệu sử dụng là thép 100Cr6 (theo EN ISO 683-17: 1999) và có các tính chất vật lý như thể hiện trên các hình từ hình 3 đến hình 5 [3].

2.3. Thiết lập các điều kiện tính toán

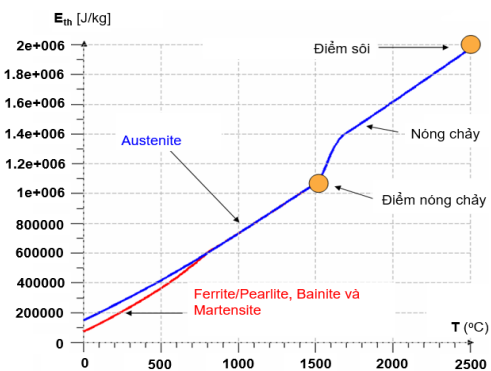
Đối với quá trình tôi, luôn tồn tại 2 quá trình truyền nhiệt: a) truyền nhiệt trong nội bộ chi tiết tôi bằng dẫn nhiệt – được đặc trưng bởi hệ số dẫn nhiệt K trên hình 3 và b) truyền nhiệt từ chi tiết ra ngoài môi trường tôi qua bề mặt trao đổi nhiệt của chi tiết tôi với môi trường.



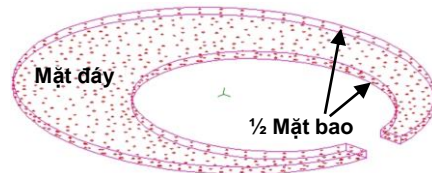
Hình 3. Hệ số dẫn nhiệt của thép 100Cr6 [3]



Hình 4. Nhiệt dung riêng của thép 100Cr6 [3]



Hình 5. Enthalpy của thép 100Cr6 [3]



Hình 6. Các mặt trao đổi nhiệt với môi trường tôi của một nửa mô hình nghiên cứu

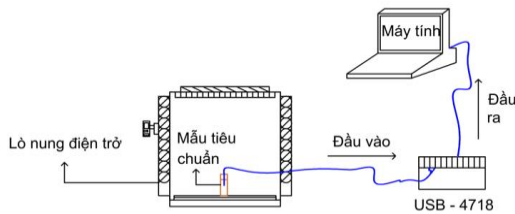
Ở bài toán này, bề mặt trao đổi nhiệt giữa mô hình với môi trường tôi là các phần tử 2D (hình 6), được xây dựng và khai báo trước khi tính toán. Trong đó, hệ số trao đổi nhiệt (HTC) tại bề mặt này chính là

điều kiện biên của bài toán mô phỏng. Giá trị của hàm số trao đổi nhiệt tại bề mặt mô hình được xác định bằng thực nghiệm và sẽ được đưa vào phần mềm Sysweld để tính toán [4].

Để xác định hệ số trao đổi nhiệt HTC của môi trường tôi tự chế PAG-10, tác giả tiến hành thí nghiệm đo tốc độ nguội của môi trường tôi bằng thiết bị USB - 4718 trên hình 7. Hệ thống gồm một lò nung có trang bị bộ điều khiển và kiểm soát nhiệt độ; một mẫu chuẩn làm từ hợp kim inconel 600 được chế tạo đúng kết cấu, hình dáng và kích thước theo tiêu chuẩn ISO 9950 (trương đương tiêu chuẩn ASTM D6200); sơ đồ nguyên lý đo được thể hiện ở hình 8



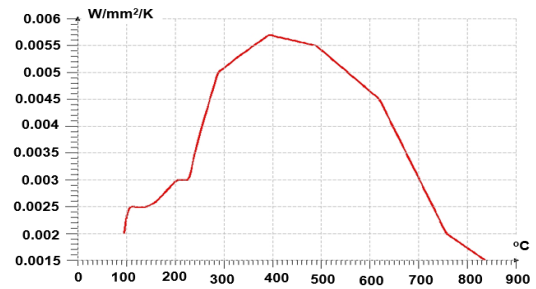
Hình 7. Thiết bị đo tốc độ nguội USB - 4718



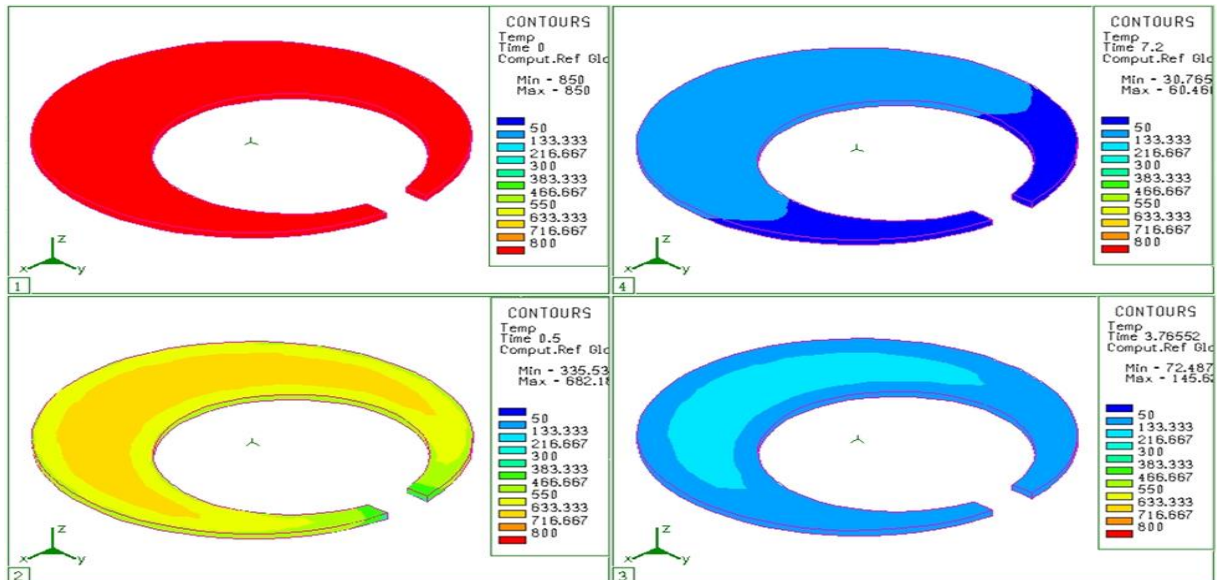
Hình 8. Sơ đồ nguyên lý đo tốc độ nguội

Khi mẫu chuẩn (inconel 600) được nung đến nhiệt độ tôi (850°C), nó sẽ được nhấc ra khỏi lò nung và nhúng ngay lập tức vào trong môi trường tôi, trong khi đó thiết bị ghi nhiệt độ liên tục ghi lại nhiệt độ đo được của dây cặp nhiệt tại các thời điểm khác nhau với nhịp 0,5 giây, đồng thời các tín hiệu này được gửi tới máy tính và phần mềm WaveScan sẽ vẽ lên một đường nguội mô tả quá trình nguội của mẫu chuẩn khi nó được nhúng trong môi trường tôi. Sau đó, đường nguội đo được này sẽ được nhập vào phần mềm Sysweld để tính toán ra hệ số trao đổi nhiệt (HTC) của môi trường tôi như trình bày trên hình 9. Hệ số trao đổi nhiệt này sẽ được sử dụng với vai trò là điều kiện biên của bài toán mô phỏng như đã nêu trên hình 6.

Do tính đối xứng nên tác giả chỉ mô hình hóa cho một nửa của mô hình như đã thể hiện trên hình 6 và khai báo một mặt liên kết đối xứng (mặt cắt) trong trường trình tính toán. Việc làm này sẽ tiết kiệm được khá nhiều thời gian tính toán và tài nguyên bộ nhớ của máy tính, trong khi độ chính xác tính toán không thay đổi [2].



Hình 9. Hệ số trao đổi nhiệt HTC của PAG-10



Hình 10. Trường nhiệt độ phân bố trong chi tiết tôi tại các thời điểm 0 giây①, 0,5 giây②, 3,76552 giây③ và 7,2 giây④ sau khi chi tiết được nhúng vào trong môi trường tôi (nhìn từ mặt tiết diện).

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Trường nhiệt độ phân bố trong chi tiết tôi

Sau khi mô hình hóa, sử dụng phần mềm Sysweld để tính toán mô phỏng quá trình truyền nhiệt khi tôi mẫu ở hình 2 với các thông số vật lý như đã trình bày trong mục 2.2 và các điều kiện biên, điều kiện đối xứng như đã nêu trong mục 2.3, ta xác định được trường nhiệt độ phân bố ở tất cả các vị trí trên toàn bộ mẫu tôi tại các thời điểm khác nhau như thể hiện trên hình 10.

Tại thời điểm 0 giây (hình 10ⓐ), trước khi mẫu được nhúng vào trong môi trường tôi thì mọi điểm trên mẫu tôi đều có nhiệt độ là 850°C.

Sau khi mẫu được nhúng vào trong môi trường tôi 0,5 giây (hình 10ⓑ) thì nhiệt độ tại các điểm trên mẫu tôi đã có sự khác biệt nhau khá lớn. Tại các điểm nằm trên bề mặt của mô hình, nhiệt độ đã giảm đi nhanh chóng do được tiếp xúc trực tiếp với môi trường tôi, còn tại các điểm nằm ở trong lõi thì nhiệt độ còn khá cao (điểm có nhiệt độ cao nhất là 682,1°C, thuộc tiết diện ngang và ở giữa mô hình). Kết quả tính toán cũng cho biết rằng nhiệt độ tại các điểm nằm trên bề mặt của chi tiết tôi là không đều nhau. Các điểm nằm trên bề mặt nhưng ở cạnh của mô hình có tốc độ nguội lớn hơn so với các điểm thuộc bề mặt mà không ở cạnh của mô hình. Mặt khác, kết quả tính toán còn chỉ ra rằng các điểm nằm ở vị trí móm của mô hình chữ C có tốc độ nguội lớn nhất (sau 0,5 giây nhiệt độ đã giảm từ 850°C xuống còn 335,53°C – tương đương tốc độ nguội 1029 °C/s). Như vậy thông qua tính toán mô phỏng quá trình truyền nhiệt khi tôi bằng phương pháp số, chúng ta có thể biết trước được những vị trí có tốc độ nguội lớn để thông qua đó dự đoán được những vị trí sẽ có độ cứng cao, đồng thời cũng xác định được những vị trí có tốc độ nguội thấp để qua đó khuyến cáo sử dụng các biện pháp kỹ thuật bổ sung nhằm đạt được hiệu quả tôi cao nhất.

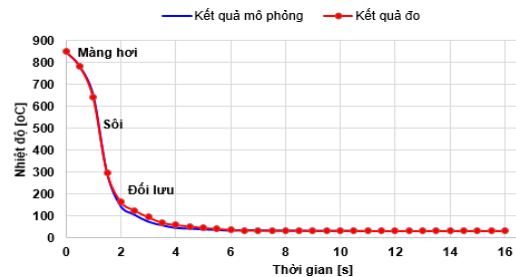
Trên hình 10ⓒ là kết quả tính toán trường nhiệt độ phân bố trong mẫu tôi sau khi mẫu được nhúng vào trong môi trường tôi 3,76552 giây. Kết quả tính toán mô phỏng ở thời điểm này cũng tiếp tục phản ánh quy luật phân bố nhiệt độ như đã phân tích hình ảnh trên hình 10ⓑ, tuy nhiên tại thời điểm này nhiệt độ trên mẫu đã giảm đi rất nhiều. Nhiệt độ tại móm của mẫu chữ C chỉ còn 72,487°C và nhiệt độ cao nhất tại vị trí giữa mô hình chỉ là 145,6°C.

Kết quả tính toán trường nhiệt độ phân bố trong mẫu tôi sau khi mẫu được nhúng vào trong môi trường tôi 7,2 giây được thể hiện trên hình 10ⓓ. Tại thời điểm này, nhiệt độ cao nhất ở trong lòng của mẫu chỉ còn là 60,46°C và tại móm chữ C thì nhiệt độ đã gần bằng với nhiệt độ của môi trường tôi (30,765°C). Nghĩa là sau khi tôi 7,2 giây thì quá trình truyền nhiệt từ mẫu ra môi trường tôi gần như là kết thúc.

3.2. So sánh kết quả mô phỏng với thực nghiệm

Để kiểm chứng độ chính xác của các kết quả tính toán mô phỏng so với thực tế, tác giả tiến hành thí nghiệm đo nhiệt độ tại vị trí trên mẫu thực mà tương ứng với nút 801 thuộc mặt đáy của mô hình mô phỏng, theo cách thức như sau: sử dụng thiết bị ghi nhiệt độ như mô tả trên hình 7, ở đây thay vì sử dụng mẫu chuẩn inconel 600, ta hàn bộ dây cặp nhiệt vào vị trí cần đo trên mặt đáy của mẫu thử (thép OL100Cr1.5 theo TCVN 4148 – tương đương với thép 100Cr6 theo EN ISO 683-17; hình dáng và kích thước mẫu thử được cắt đúng như hình 1) bằng máy hàn dây cặp nhiệt chuyên dùng. Mẫu thực được nung ở trong lò đến nhiệt độ tôi 850°C, sau đó nó được nhúng vào trong môi trường tôi tự chế PAG-10 để đo và ghi lại đường nguội tại vị trí đo. Tiến hành thí nghiệm 5 lần rồi lấy kết quả trung bình của 5 lần đo và vẽ đồ thị đường nguội theo kết quả trung bình đo được cùng với đường nguội theo tính toán mô phỏng trên cùng một hệ trục tọa độ ta được kết quả như thể hiện trên hình 11.

Các đồ thị trên hình 11 cho thấy rằng kết quả tính toán mô phỏng phản ánh khá đúng thực tế. Cụ thể, ở giai đoạn đầu tiên ($\leq 0,5$ giây - giai đoạn mẫu tôi được bao phủ bởi một lớp màng hơi, theo tài liệu [5]) và ở giai đoạn sôi ($0,5 \div 1,6$ giây) thì kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm gần như trùng khít với nhau. Trong giai đoạn kể tiếp ($> 1,6$ giây - giai đoạn đối lưu [5]) thì kết quả mô phỏng có khác so với kết quả thực nghiệm, tuy nhiên sự sai khác này là không lớn. Chênh lệch lớn nhất giữa nhiệt độ đo được và nhiệt độ tính toán là 18°C tại thời điểm tôi 2,5 giây (bằng 2,1% của nhiệt độ tôi 850°C) và sai khác này là có thể chấp nhận được. Nguyên nhân có sự sai khác giữa giá trị đo được bằng thực nghiệm và kết quả mô phỏng là vì vật liệu mô phỏng (100Cr6) và vật liệu thực nghiệm (OL100Cr1.5) mặc dù cùng loại nhưng khác nhau về tiêu chuẩn. Mặt khác còn có sai lệch do dụng cụ đo và điều kiện thí nghiệm.



Hình 11. Đường nguội tại vị trí đo & tại nút 801

Từ kết quả trên có thể khẳng định rằng phương pháp tính toán mô phỏng số có độ chính xác và độ tin cậy khá cao, do đó phương pháp mô phỏng số có thể được sử dụng làm “công cụ thực tế ảo” trong nghiên cứu quá trình tôi thép.

3.3. Đường nguội tại một số nút khảo sát

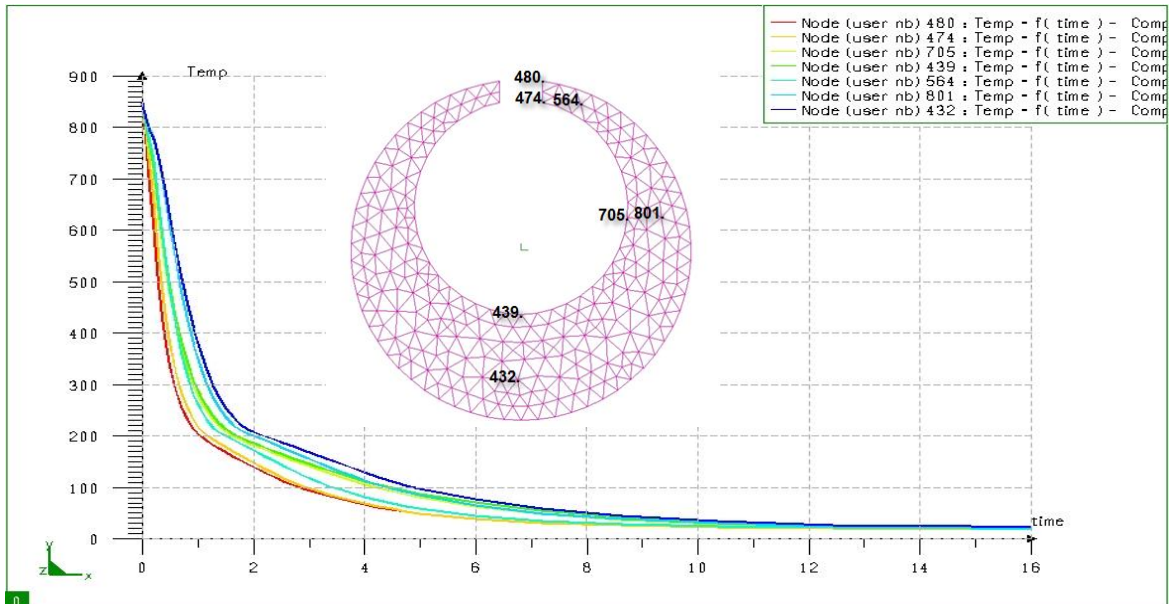
Tiến hành trích xuất các kết quả tính toán mô phỏng đường nguội của một số nút thuộc mặt đáy và mặt tiết diện ngang của mô hình nghiên cứu ta được các đồ thị như thể hiện tương ứng trên các hình 12 và 13. Trong đó, kết quả tính toán đường nguội của một số nút thuộc mặt đáy của mô hình (mặt tiếp xúc với môi trường tôi) được thể hiện trên hình 12. Khi chi tiết được nhúng vào trong dung dịch tôi, dung dịch tôi thấm ướt bề mặt kim loại, ngay lập tức bị hóa hơi, hình thành chần hơi bao quanh chi tiết, giai đoạn này được gọi là giai đoạn màng hơi. Lớp màng hơi hoạt động như một lớp cách nhiệt. Trong suốt giai đoạn, quá trình làm nguội xảy ra với tốc độ nguội chậm, truyền nhiệt xảy ra chủ yếu bởi bức xạ thông qua màng hơi [5]. Lớp màng hơi này phát triển và được duy trì khi nguồn nhiệt từ bên trong của một phần bề mặt chi tiết vượt quá tổng lượng nhiệt cần thiết để làm bay hơi dung dịch tôi và duy trì pha hơi. Khi bề mặt và bên trong lõi của chi tiết nguội đến mức mà dòng nhiệt không đủ để duy trì màng hơi, màng hơi bắt đầu bị phá vỡ và chuyển sang giai đoạn sôi. Từ kết quả ghi nhận được ở hình 12 ta thấy, giai đoạn màng hơi tồn tại khoảng 0,5 giây tính từ lúc chi tiết được nhúng vào trong dung dịch tôi.

Giai đoạn sôi (trong khoảng thời gian từ 0,5 giây đến 1,6 giây), trong giai đoạn này, khả năng trao đổi nhiệt là lớn nhất do sự hình thành và tách rời của hàng trăm các bong bóng nhỏ từ bề mặt vật tôi. Ngay sau khi giai đoạn này bắt đầu, hệ số trao đổi nhiệt tăng nhanh và đạt được giá trị lớn nhất. Kết quả cho thấy, tất cả các đường nguội của các nút khảo sát đều có độ dốc lớn thể hiện rằng tốc độ nguội của các nút

nằm trên bề mặt của mẫu là rất lớn. Đây chính là giai đoạn làm cho quá trình tôi không cần vào “đường cong chữ C” và thúc đẩy quá trình chuyển biến austenit thành mactenxit. Kết quả tính toán cho biết rằng các nút nằm ở cạnh mép của mô hình (nút 480, 474, 705 và 439) có tốc độ nguội cao hơn so với các nút nằm ở phía trong (nút 564, 801 và 432), trong đó các nút nằm ở cạnh mép của mô hình và thuộc vùng mòm chữ C (nút 480 và 474) có tốc độ nguội cao nhất (đạt khoảng 1100°C/s). Trong suốt giai đoạn, nhiệt độ bề mặt của chi tiết giảm xuống đáng kể nhưng vẫn cao hơn nhiệt độ sôi của chất lỏng. Quá trình sôi vẫn diễn ra, bề mặt chi tiết được làm nguội thêm, dòng nhiệt từ bề mặt chi tiết ngừng tăng và sau đó giảm dần. Trong thời gian này, tại một số điểm trên bề mặt chi tiết, nhiệt độ giảm xuống gần bằng nhiệt độ sôi của chất lỏng thì dòng nhiệt từ bề mặt chi tiết không đủ để duy trì quá trình sôi, chuyển sang giai đoạn làm nguội đối lưu hay giai đoạn làm mát chất lỏng [5].

Trên hình 12 cho thấy, giai đoạn đối lưu bắt đầu khi nhiệt độ của chi tiết giảm xuống khoảng 220°C và sau 1,5 giây đối với vị trí nút 480 và sau 1,8 giây ứng với vị trí nút 432 trên mô hình. Tốc độ nguội của giai đoạn này là nhỏ nhất trong 3 giai đoạn và phụ thuộc vào tốc độ khuấy. Theo kết quả tính toán thì sau khoảng 11 giây, các nút trên biên của mô hình được làm nguội đến nhiệt độ thường.

Theo tài liệu [6], nhiệt độ bắt đầu chuyển biến mactenxit của thép OL100Cr1.5 là $M_s = 212^\circ\text{C}$, căn cứ theo kết quả tính toán các đường nguội trên hình 12 ta có thể xác định được thời điểm bắt đầu có chuyển biến mactenxit tại các nút khảo sát như trình bày trong bảng 1.



Hình 12. Đường nguội của một số nút trên mặt đáy của mô hình

Bảng 1. Thời điểm bắt đầu chuyển biến mactenxit tại một số nút trên mặt đáy của mô hình

TT	Nút	Thời điểm chuyển biến mactenxit [giây]
1	480	0,80
2	474	0,95
3	705	1,20
4	439	1,40
5	564	1,20
6	801	1,80
7	432	2,00

Theo bảng 1, các nút nằm ở cạnh mép của mô hình là các vị trí sẽ xảy ra chuyển biến mactenxit sớm hơn so với các nút nằm ở phía trong. Các nút nằm ở vùng mỏng hơn sẽ xảy ra chuyển biến mactenxit sớm hơn so với các nút nằm ở vùng vật liệu dày.

Kết quả tính toán đường nguội trên mặt tiết diện ngang của mô hình ở hình 13 cũng phản ánh quy luật tương tự như ở trên mặt đáy. Ở giai đoạn màng hơi thì tốc độ nguội của các nút thuộc mặt tiết diện ngang của mô hình là tương đối chậm thể hiện bởi đường nguội có độ dốc nhỏ. Ở giai đoạn sôi, độ dốc của các đường nguội của các nút trên mặt tiết diện ngang mô hình rất lớn thể hiện tốc độ nguội của các nút trong giai đoạn này là rất lớn. Các nút nằm ở bề mặt của mô hình (nút 479, 473, 703 và 440) có tốc độ nguội cao hơn so với các nút nằm ở trong lòng của mô hình (nút 562, 799 và 430). Trong đó nút 479 có tốc độ nguội cao nhất là khoảng 900 °C/s. Nút 430 là nút nguội chậm nhất thể hiện bằng đường nguội thoải hơn. Ở giai đoạn truyền nhiệt đối lưu, độ dốc của các đường nguội giảm mạnh và khi thời gian tăng đến khoảng 13 giây thì các đường nguội nằm ngang (độ dốc của các đường nguội giảm về 0). Kết quả tính toán cũng cho

biết rằng sau khi nhúng mẫu vào môi trường tôi 13 giây thì toàn bộ mẫu sẽ nguội về đến nhiệt độ của môi trường tôi. Cũng theo các đồ thị trên hình 13, ta có thể xác định được thời điểm bắt đầu xảy ra chuyển biến mactenxit khi tôi tại các nút khảo sát trên mặt tiết diện ngang của mô hình như trình bày trong bảng 2.

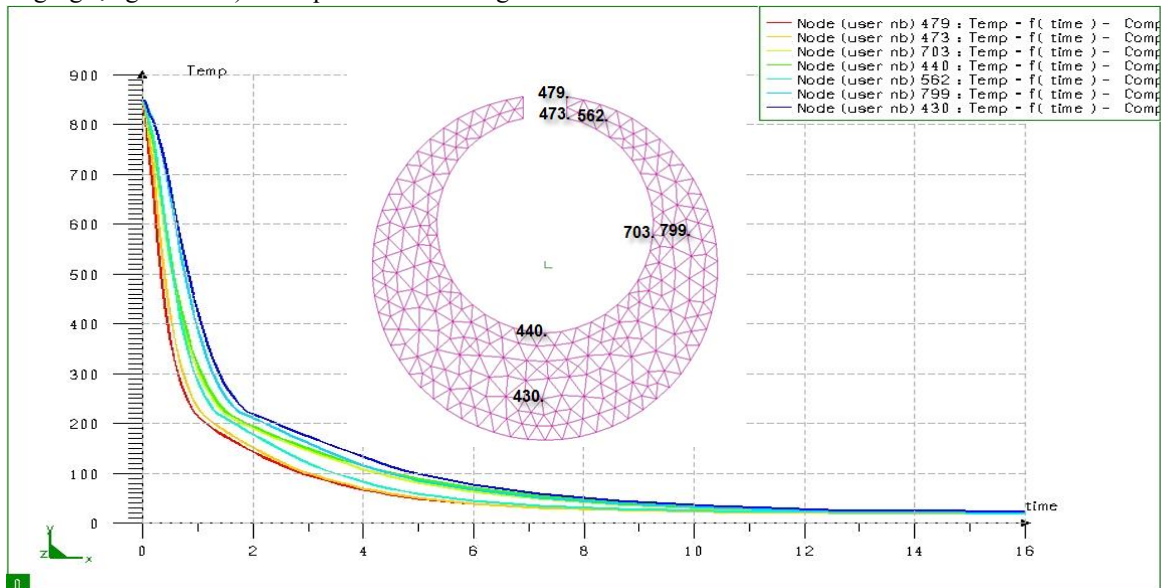
Bảng 2. Thời điểm bắt đầu chuyển biến mactenxit tại một số nút trên mặt tiết diện của mô hình

TT	Nút	Thời điểm chuyển biến mactenxit [giây]
1	479	0,80
2	473	0,95
3	703	1,20
4	440	1,40
5	562	1,20
6	799	1,90
7	430	2,20

4. Kết luận

Bằng phương pháp mô phỏng số có thể xác định chính xác trường nhiệt độ và đường nguội tại bất kỳ vị trí nào trong chi tiết tôi để thông qua đó có thể tính toán được tốc độ nguội và đánh giá được khả năng hình thành các tổ chức kim loại (mactenxit, ôstenit dư) khi tôi.

Ngoài ngân hàng dữ liệu về hệ số truyền nhiệt HTC của một số môi trường tôi có sẵn, phần mềm Sysweld cho phép người dùng nhập bổ sung các hệ số HTC của môi trường tôi thực tế. Để tăng độ chính xác và tin cậy của phép tính, Tác giả khuyến cáo người dùng cần phải đo đạc xác định hệ số HTC thực tế rồi nhập vào phần mềm để tiến hành mô phỏng.



Hình 13. Đường nguội của một số nút trên mặt tiết diện ngang của mô hình

Tài liệu tham khảo

- [1] M. Manivannan, D. O. Northwood & V. StoilovNavy, C-rings to study and predict distortion in heat treated components: experimental measurements (2014) University of Windsor, Ont., Canada.
- [2] Bathe, K. J., Finite Element Procedures in Engineering Analysis (1982) Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [3] ESI Group, Sysweld 2010 Reference manual (2010).
- [4] Holman, J. P., Heat Transfer, Fourth Edition (1976) McGraw-Hill, New York.
- [5] M. Eshraghi-Kakhki, et al., Application of Polymeric Quenchants in Heat Treatment of Steels, International Journal of ISSI Vol.6 (2009) No.1, pp. 34-38.
- [6] Houghton Company, Houghton on Quenching (2015) Madison and Van Buren Aves, Valley Forge, PA 19482.