

# NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CÔNG THỨC TÍNH NHIỆT ĐỘ BẮT ĐẦU CHUYỂN BIẾN MACTENXIT ( $M_s$ ) CHO THÉP THEO THÀNH PHẦN HÓA HỌC

## RESEARCH SETTING FORMULA'S STARTING TEMPERATURE OF MARTENSITE TRANSFORMATION ( $M_s$ ) FOR STEEL BY CHEMICAL COMPOSITION

Lê Văn Cương

Đại học Hàng hải Việt Nam  
cuonglv.vck@vamaru.edu.vn

**Tóm tắt:** Bài báo nghiên cứu phương pháp và thực hiện xây dựng công thức thực nghiệm để tính toán một cách gần đúng nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit ( $M_s$ ) của thép theo thành phần hóa học thép trên cơ sở các số liệu thống kê và dáng điệu của đường cong thực nghiệm. Các kết quả nghiên cứu đã cho phép xác định được hệ số ảnh hưởng đến nhiệt độ bắt đầu chuyển biến  $M_s$  của các nguyên tố hợp kim ở trong thép theo dáng điệu của các đường cong thực nghiệm. Với các hệ số đó đã xây dựng được hai công thức tính nhiệt độ bắt đầu chuyển biến  $M_s$  với ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim trong hai khoảng hàm lượng Cacbon khác nhau. Áp dụng các công thức này tính toán ứng dụng cho một số mác thép cụ thể cho thấy hoàn toàn phù hợp và có tính ứng dụng cao trong nhiều lĩnh vực từ nghiên cứu sản xuất thép cho tới xác định trạng thái thép sau nhiệt luyện cũng như tự động hóa quá trình nhiệt luyện. Theo kết quả nghiên cứu đã sử dụng công thức thực nghiệm để tính toán nhiệt độ chuyển biến  $M_s$  cho một số nhóm thép cụ thể; từ đó xác định môi trường nguội phù hợp.

**Từ khóa:** Chuyển biến Mactenxit; môi trường nguội; nhiệt độ chuyển biến pha.

**Chỉ số phân loại:**

**Abstract:** The article researches the method and implements the formulation of an empirical formula to approximate the starting temperature of martensite transformation ( $M_s$ ) of steel according to the composition chemical of steel based on statistics and shape tone of experimental curves. The results of the study have allowed us to determine the coefficient that affects the starting temperature of the martensite transformation of alloy elements in steel in the shape of experimental curves. With these coefficients, we have formulated two formulas which calculated the start temperature martensite transformations with the effect of alloy elements in two different carbon content ranges. Applying these formulas calculates the application for a specific grade of steel that is perfectly suitable and highly applicable in many fields from steel production research to determine the state of steel after heat treatment like as automating the heat treatment process. According to the research results, the empirical formula was used to calculate the martensitic transformation temperature for some steel of groups; Since then determine the appropriate cooling environment.

**Keywords:** Martensite transformation; cooling environment; the temperature of phase transformation

**Classification number:**

### 1. Giới thiệu

Chuyển biến Mactenxit có thể coi là chuyển biến quan trọng và có nhiều điểm đặc biệt nhất trong các chuyển biến xảy ra khi nhiệt luyện thép. Nhờ kết quả của chuyển biến này mà tạo ra cho thép các tính chất quan trọng nhất là độ bền, độ cứng khi làm việc. Có thể nói là 100% các chi tiết máy đều thực hiện chuyển biến này khi tôi để tạo ra cơ tính theo yêu cầu làm việc.

Đặc điểm rất quan trọng của chuyển biến Mactenxit là chỉ xảy ra khi làm nguội nhanh

Austenit xuống nhiệt độ nhỏ hơn một nhiệt độ xác định (phụ thuộc vào thành phần hóa học của thép) được gọi là nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit ( $M_s$ ). Nhiệt độ  $M_s$  của các loại thép chịu tác động rất lớn của thành phần hóa học thép, do vậy với một số loại thép đặc biệt là thép hợp kim cao, nhiệt độ  $M_s$  của thép có thể giảm xuống rất thấp ( $< 0^\circ\text{C}$  rất nhiều). Điều này dẫn đến thép khi tôi đến nhiệt độ thường sẽ chưa chuyển biến thành Mactenxit và do vậy không có hiệu quả hóa bền. Từ đó nảy sinh một vấn đề là dựa vào thành phần hóa học của thép ta có thể

nhau chóng tính toán được nhiệt độ  $M_s$  hay không để cho phép xác định các phương pháp và môi trường làm nguội khi tôi nhằm mục đích thu được Mactenxit.

Hiện nay các loại thép sử dụng trong công nghiệp chưa có giá trị nhiệt độ  $M_s$ . Việc xác định  $M_s$  cho một loại thép cụ thể khi nhiệt luyện chủ yếu dựa vào tra sổ tay vật liệu. Điều này tiêu tốn nhiều thời gian và đôi khi không tìm được do tiêu chuẩn của các quốc gia là khác nhau. Do vậy việc xây dựng một công thức tính toán nhiệt độ  $M_s$  theo thành phần hóa học thép là cần thiết và chưa có công bố nào ở nước ta hiện nay.

## 2. Phương pháp thực hiện

Các tài liệu, đặc biệt là sổ tay nhiệt luyện của rất nhiều tác giả hiện nay đã cung cấp các bảng số liệu về sự ảnh hưởng của thành phần hóa học tới nhiệt độ  $M_s$  của thép. Tuy nhiên các bảng số liệu này chỉ xem xét sự ảnh hưởng của từng nguyên tố hợp kim riêng lẻ trong khi thép lại bao gồm từ khá nhiều các nguyên tố hợp kim khác nhau. Như vậy vấn đề cần giải quyết là kết hợp các ảnh hưởng của các nguyên tố hợp kim đến nhiệt độ  $M_s$  thông qua một công thức thực nghiệm để có thể nhanh chóng xác định khoảng nhiệt độ  $M_s$  khi biết thành phần hóa học.

Để giải quyết điều này, nhóm nghiên cứu thực hiện qua các bước như sau:

- Xác định nhiệt độ trượt mạng Austenit thành Ferit khi nguội nhanh Fe nguyên chất;
- Dựa vào bảng số liệu thực nghiệm xác định nhiệt độ  $M_s$  theo thành phần của nguyên tố hợp kim để xác định hệ số ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim;
- Dựa vào các đồ thị thực nghiệm để xác định vùng hiệu quả của hệ số;
- Kết hợp các hệ số ảnh hưởng để tạo một công thức thực nghiệm tính nhiệt độ  $M_s$  theo thành phần hóa học của thép.

## 3. Kết quả thực hiện

### 3.1. Xác định nhiệt độ trượt mạng trực tiếp Austenit thành Ferit khi nguội nhanh Fe nguyên chất

Khi làm nguội đủ chậm ta có nhiệt độ chuyển biến thù hình lý thuyết của Austenit thành Ferit là  $910^{\circ}\text{C}$ . Khi tốc độ nguội tăng lên thì nhiệt độ bắt đầu chuyển biến giảm xuống. Và khi tốc độ nguội đủ lớn thì sự

chuyển biến Austenit thành Ferit không thực hiện theo cơ chế tạo mầm pha mới Ferit nữa mà là sự trượt mạng trực tiếp từ mạng lập phương diện tâm  $A_1$  của  $\text{Fe}(\gamma)$  thành mạng lập phương thể tâm  $A_2$  của  $\text{Fe}(\alpha)$ . Cơ chế của chuyển biến cũng thực hiện theo cơ chế Bein.

Kết quả thí nghiệm được các nhà khoa học công bố như sau: Với tốc độ nguội thuộc khoảng  $(100 \div 200)^{\circ}\text{C}/\text{giây}$  thì nhiệt độ trượt mạng thuộc khoảng  $(500 \div 550)^{\circ}\text{C}$  [1]. Từ đó kiến nghị nhiệt độ trượt mạng của Fe nguyên chất trong chuyển biến thù hình  $\text{Fe}(\gamma)$  thành  $\text{Fe}(\alpha)$  là  $520^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2. Xác định hệ số ảnh hưởng của Cacbon

Trong khoảng từ  $(0 \div 0,6)\%$  C ta có bảng kết quả nhiệt độ  $M_s$  như sau [1]:

%C	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$M_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	490	455	422	390	360	327

Như vậy trong giai đoạn này, khi %C tăng 0,1% thì nhiệt độ  $M_s$  giảm xấp xỉ  $32^{\circ}\text{C}$ . Và ta có hệ số ảnh hưởng của Cacbon trong khoảng từ  $(0 \div 0,6)\%$  C là 320. Trong khoảng %C  $> 0,6\%$  ta có:

%C	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$M_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	316	305	297	286	276	268

Ở giai đoạn này tốc độ suy giảm của nhiệt độ  $M_s$  nhỏ đi rõ rệt. Với mỗi 0,1%C tăng thêm thì nhiệt độ  $M_s$  chỉ giảm xấp xỉ  $10^{\circ}\text{C}$  và do đó hệ số ảnh hưởng của Cacbon lúc này chỉ còn là (-100).

### 3.3. Xác định hệ số ảnh hưởng của Mn

Mn là nguyên tố hợp kim luôn có mặt trong thép kể cả các loại thép không có mục đích hợp kim hóa. Mn và Fe có nhiều tính chất tương đồng, chúng ở cạnh nhau trong bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học. Trong tự nhiên, quặng sắt luôn có một hàm lượng Mn nhất định và ngược lại. Thêm nữa Fero Mn luôn là hợp chất dùng để khử Oxy khi nấu luyện thép nên thường xuyên trong thép có xuất hiện Mn kể cả thép Cacbon. Do đó Mn là nguyên tố hợp kim đầu tiên phải xét đến sau Cacbon khi nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim đến nhiệt độ  $M_s$ .

Bằng cách tổng hợp trung bình cộng kết quả nghiên cứu của [1], [2], [3] trên thép 0,1

%C với dải thay đổi %Mn từ (0 ÷ 6)% ta có bảng sau:

%Mn	0,15	1,16	2,06	3,12	4,1	5,2	6,3
<b>Ms</b> (°C)	490	442	397	345	300	251	200

Nếu tiếp tục tăng tỷ lệ Mn thì đáng điều giảm của Ms không đổi. Từ bảng trên ta thấy khi Mn tăng 1% thì nhiệt độ Ms giảm xấp xỉ 50°C và do đó hệ số ảnh hưởng của Mn là  $Mn = - 50$  với giới hạn  $Mn < 15\%$ .

### 3.4. Xác định hệ số ảnh hưởng của Cr

Cr được coi là nguyên tố hợp kim phổ biến nhất trong tất cả các nguyên tố. Khi ở hàm lượng thấp Cr tăng rất mạnh độ thấm tôi cho thép, đồng thời tăng độ bền và độ cứng cho thép rất tốt nhờ tạo các bít Cr các loại  $(Fe, Cr)_3C$ ,  $Cr_7C_3$  và  $Cr_{23}C_6$ . Các loại các bít này có độ hạt nhỏ, độ phân tán cao nên cản trở chuyển động của lệch rất tốt và do đó có hiệu quả tăng bền. Khi hàm lượng đủ lớn thì Cr tạo ra bước nhảy vọt về thế điện cực tiêu chuẩn cho thép nhờ đó tạo ra các loại thép không gỉ. Mặt khác Cr rất dễ hợp kim hóa và rẻ tiền. Chính vì vậy Cr trở thành nguyên tố hợp kim phổ biến nhất và do đó cần phải xác định mức độ ảnh hưởng của nó đến nhiệt độ Ms. Cũng thực hiện như với Mn tổng hợp các kết quả thực nghiệm của [1], [2], [3] ta có bảng số liệu sau:

%Cr	0,15	3,15	6,3	9,0	12,25	15,5
<b>Ms</b> (°C)	495	418	340	268	190	115

Tiếp tục tăng hàm lượng Cr các số liệu và đường cong thực nghiệm không bị thay đổi độ dốc. Từ đó có thể thấy cứ tăng 1%Cr thì nhiệt độ Ms của thép giảm xấp xỉ 30°C và do đó hệ số ảnh hưởng của Cr là  $Cr = - 30$  với giới hạn  $Cr < 30\%$ . Việc giới hạn %Cr < 30% là để tránh xuất hiện pha trung gian  $\sigma$  làm giảm độ dai va đập của thép.

### 3.5. Xác định hệ số ảnh hưởng của Ni, Mo, Si và W

Ni là nguyên tố hợp kim quý bậc nhất trong các nguyên tố hợp kim. Tác dụng của Ni là tăng rất mạnh độ thấm tôi cho thép, cản trở sự lớn lên của hạt Austenit rất tốt do đó khi tôi sẽ tạo ra Mactenxit vô cùng nhỏ mịn đồng thời Ni là nguyên tố mở rộng vùng Austenit nên khi có hàm lượng đủ lớn, kết

hợp cùng Cr có thể tạo ra loại thép không gỉ một pha tốt nhất và không có từ tính. Nhược điểm cơ bản của Ni là khó hợp kim hóa và đặc biệt là giá thành rất cao. Ảnh hưởng của Ni đến nhiệt độ Ms cũng tương tự như Cr, với cách xử lý trên mô hình giống như với Mn và Cr ta có bảng kết quả sau với Ni:

%Ni	0,1	2,05	5,1	8,06	11,2	14,02	17,1
<b>MS</b> (°C)	492	450	392	335	276	215	160

Hiệu chỉnh theo nghiên cứu của [3] ta có hệ số ảnh hưởng của Ni là  $Ni = - 20$  với  $Ni < 18\%$ . Tiếp tục xét với một số nguyên tố hợp kim hay gặp khác và có chung xu hướng làm giảm nhiệt độ Ms, dựa vào các số liệu thực nghiệm ta có:

- Hệ số ảnh hưởng của Mo là  $Mo = - 20$  với  $Mo < 6\%$ ;
- Hệ số ảnh hưởng của Si là  $Si = - 5$  với  $Si < 3\%$ ;
- Hệ số ảnh hưởng của W là  $W = - 15$  với  $Si < 20\%$ .

### 3.6. Xác định hệ số ảnh hưởng của Co

Riêng nguyên tố Co khi đưa vào thép có tác dụng chính là làm tăng lực liên kết nguyên tử của Fe rất mạnh và do đó nó tác dụng hóa bền cao. Tuy nhiên Co rất khó hợp kim hóa nên việc ứng dụng có gặp khó khăn và các thép có chứa Co là loại thép khó chế tạo và đắt tiền. Ảnh hưởng của Co đến nhiệt độ Ms của thép là trái ngược với các nguyên tố hợp kim khác. Khi lượng Co trong thép tăng lên nó lại làm tăng nhiệt độ Ms. Chính vì vậy Co được dùng nhiều trong chế tạo các loại thép độ bền cao như thép kết cấu cao Ni, thép Mactenxit hóa già và thép Austenit già ổn định (TRIP). Co khi đó tăng cường độ bền cho thép nhờ tăng lực liên kết nguyên tử Fe đồng thời khắc phục sự giảm Ms của Ni đảm bảo cho thép vẫn tôi được trong điều kiện thông thường. Ảnh hưởng của Co đến nhiệt độ Ms được đề cập trong bảng sau:

%Co	0,12	2,2	4,3	6,2	8,1	10,05
<b>Ms</b> (°C)	490	535	580	627	667	698

Kết hợp đáng điều đường cong ta có cứ 1% Co làm tăng nhiệt độ Ms xấp xỉ 23°C. Vậy hệ số ảnh hưởng của Co là  $Co = 23$  với  $Co < 12\%$ .

Ở đây chỉ xét với các nguyên tố hợp kim hay sử dụng trong các thép hợp kim và có tỷ lệ lớn. Các nguyên tố hợp kim vi lượng dạng Titan không được xét đến. Các hệ số ảnh hưởng của các nguyên tố hợp kim chỉ ra ở trên đều nằm trong vùng tuyến tính của các đồ thị thực nghiệm có trong [1], [2], [3].

### 3.7. Công thức đề xuất

Từ các kết quả trên ta có thể đề xuất công thức tính nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit theo thành phần hóa học như sau:

Với thép có  $\%C \leq 0,6$  ta có:

$$M_s = 520 - 320.C - 50.Mn - 30.Cr - 15.W - 20.Ni - 20.Mo - 5.Si + 23.Co \quad (1)$$

Khi  $\%C > 0,6\%$  lúc đó ta có công thức:

$$M_s = 520 - 320.0,6 - 100.(C - 0,6) - 50.Mn - 30.Cr - 15.W - 20.Ni - 20.Mo - 5.Si + 23.Co \quad (2)$$

## 4. Một số khuyến nghị

### 4.1. Thép không gỉ 40Cr13

Theo công thức (1) ta có:

$$M_s = 520 - 320.0,4 - 30.13 = 20^\circ C$$

Như vậy thép không gỉ 40Cr13 muốn tôi để có chuyển biến Mactenxit phải làm nguội xuống nhỏ hơn  $0^\circ C$ .

### 4.2. Thép không gỉ 10Cr13

Theo công thức (1) ta có:

$$M_s = 520 - 320.0,1 - 30.13 = 98^\circ C$$

Do vậy thép 10Cr13 trong mọi trường hợp làm nguội đều thu được Mactenxit.

### 4.3. Thép 10Cr28

Theo công thức (1) ta có:

$$M_s = 520 - 320.0,1 - 30.28 = -352^\circ C < \text{độ không tuyệt đối.}$$

Như vậy thép này sẽ không có chuyển biến Mactenxit khi làm nguội.

### 4.4. Thép gió 90W18

Do  $\%C > 0,6\%$  áp dụng công thức (2) ta có:

$$M_s = 520 - 320.0,6 - 100.(0,9 - 0,6) - 15.18 = 28^\circ C$$

Vậy thép gió với 18%W nhiệt độ  $M_s$  chỉ cỡ  $28^\circ C$  và do đó nhiệt độ kết thúc chuyển biến Mactenxit ( $M_f$ ) sẽ nhỏ hơn  $0^\circ C$ . Và luôn phải gia công lạnh sau khi tôi.

### 4.5. Thép 130Mn13

Do  $\%C > 0,6\%$  áp dụng công thức (2) ta có:

$$M_s = 520 - 320.0,6 - 100.(1,3 - 0,6) - 50.13 = -392^\circ C < \text{độ không tuyệt đối.}$$

Như vậy thép 130Mn13 không có chuyển biến Mactenxit khi làm nguội. Nó chỉ có thể tạo thành Mactenxit nhờ biến dạng dẻo. Điều này hoàn toàn phù hợp với thép Hapfind trong thực tế.

## 4.6. Thép kết cấu cao Ni độ bền cao 20CrNi6Co4Mo

Theo công thức (1) ta có:

$$M_s = 520 - 320.0,2 - 30.1 - 20.6 - 20.1 + 23.4 = 378^\circ C.$$

Như vậy thép này có nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit khá cao do đó luôn đảm bảo chuyển biến Mactenxit xảy ra hoàn toàn và như vậy là loại thép chế tạo máy rất tốt.

## 5. Kết luận

Có thể thấy thông qua việc đề xuất một công thức tính nhanh nhiệt độ  $M_s$  của thép ta có một số ứng dụng sau:

- Nhanh chóng xác định được nhiệt độ  $M_s$  của thép theo thành phần hóa học thép. Mặc dù chỉ là gần đúng nhưng với nhiệt luyện có thể chấp nhận được;

- Xác định được khả năng tôi của thép theo thành phần hóa học thông qua nhiệt độ  $M_s$ ;

- Căn cứ vào nhiệt độ  $M_s$  đã tính toán được cho phép ta chọn môi trường nguội phù hợp khi tôi phân cấp các chi tiết máy chất lượng cao từ thép kết cấu hợp kim. Điều này là cơ sở đầu tiên của việc tự động hóa khi tôi;

- Lựa chọn môi trường nguội phù hợp với nhiệt độ  $M_s$  đặc biệt khi tôi thép hợp kim cao;

- Đề xuất cải tiến thành phần thép để dễ tôi hơn. Ví dụ dùng thép gió Co sẽ dễ tôi hơn thép gió W và thép gió Mo do tác dụng tăng trở lại  $M_s$  của Co □

## Tài liệu tham khảo

- [1] B.I. Niculin, *Cơ sở vật lý quá trình nhiệt luyện thép (Bản tiếng Nga)*, Nhà xuất bản luyện kim Matxcova.
- [2] P.P. Filinov, *Sổ tay nhiệt luyện (Bản tiếng Nga)*, Nhà xuất bản luyện kim Matxcova.
- [3] A.A. Smukov, *Sổ tay nhiệt luyện (Bản tiếng Nga)*, Nhà xuất bản luyện kim Matxcova.

Ngày nhận bài: 24/4/2020

Ngày chuyển phản biện: 29/4/2020

Ngày hoàn thành sửa bài: 22/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 29/5/2020