

TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ XỬ LÝ NHIỆT KHI TÔI THÉP CARBON TRUNG BÌNH

OPTIMIZATION OF HEAT TREATMENT PARAMETERS WHEN SQUEENCHING MEDIUM CARBON STEEL

Trần Vũ Lâm

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 16/02/2023, chấp nhận đăng ngày 20/8/2023

Tóm tắt: Phương pháp tôi được áp dụng phổ biến nhằm tăng cơ tính của thép sau gia công cơ. Tuy nhiên, hiệu quả của quá trình tôi này phụ thuộc vào một số yếu tố như nhiệt độ tôi, chất làm mát, thời gian giữ nhiệt... cần phải được nghiên cứu để đạt được kết quả tối ưu về độ cứng, độ bền chảy, độ bền đứt. Nghiên cứu này nhằm mục đích tối ưu hóa quy trình cải thiện cơ tính của thép carbon trung bình bằng cách thay đổi một số yếu tố chính như chất làm tôi, nhiệt độ tôi và thời gian giữ nhiệt. Kết quả đo được trong nghiên cứu này là độ cứng, độ bền chảy dẻo và độ bền cực đại giới hạn trước khi bị phá hủy.

Từ khóa: Tôi, thép carbon.

Abstract: The quenching method is commonly applied to improve its mechanical properties after mechanical processing. However, the efficiency of this quenching process depends on a number of factors such as quenching temperature, coolant, heat retention time, etc., which need to be studied to achieve optimal results in terms of hardness, yield strength, breaking strength. This study aimed to optimize the process to improve the mechanical properties of medium carbon steel by varying several key factors such as hardener, quenching temperature and heat retention time. The results measured in this study are hardness, yield strength and ultimate tensile strength.

Keywords: Quenching, carbon steel.

1. GIỚI THIỆU

Xử lý nhiệt khi tôi thép carbon trung bình (MCS) tạo ra một số đặc tính mong muốn trên thép. Thép tôi trải qua quá trình biến đổi pha, vi cấu trúc, làm tăng cường các tính chất cơ học của nó như độ cứng, độ bền kéo, độ dẻo và khả năng chống va đập... Các thông số như nhiệt độ nung, thời gian giữ nhiệt và chất làm mát có ảnh hưởng lớn tới việc cải thiện cơ tính của thép.

Tuy nhiên, để tối ưu hóa các thông số quy trình này, cần phải thực hiện một nghiên cứu sâu hơn liên quan đến việc sử dụng phân tích

Taguchi cũng như phân tích quan hệ xám mờ (GRA). Mặc dù Taguchi là một công cụ tối ưu hóa mạnh mẽ, nhưng nó không phải là phương pháp phù hợp để tối ưu hóa đồng thời các chức năng đa mục tiêu. Do đó, GRA được áp dụng cho xếp hạng tầm quan trọng của từng yếu tố của quy trình tôi bằng cách tối đa hóa độ cứng (H), độ bền chảy (YS) và độ bền cực đại giới hạn trước khi bị phá hủy (UTS) của MCS.

Do đó, nghiên cứu này tối ưu hóa các thông số quy trình để tăng cường tính chất cơ học của MCS bằng cách sử dụng các chất lỏng

làm mát với nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt khác nhau. Nghiên cứu đã xem xét kết quả như độ cứng, độ bền chảy và độ bền cực đại giới hạn của MCS được xử lý nhiệt bằng cách áp dụng đặc tính càng cao càng tốt. Tối ưu hóa đơn mục tiêu được thực hiện thông qua phân tích tỉ lệ tín hiệu - nhiễu (S/N) của Taguchi trong khi GRA dựa trên Taguchi được sử dụng để tối ưu hóa đa mục tiêu của các kết quả phân hồi.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mẫu được sử dụng trong nghiên cứu này là thép carbon trung bình (MCS) phổ biến. Thành phần hóa học thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học MCS

Fe	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Cu
97,87	0,4	0,2	0,9	0,03	0,1	0,2	0,3

Để giảm ứng suất gây ra trong quá trình gia công mẫu các mẫu được chuẩn bị ban đầu được xử lý nhiệt đến nhiệt độ 840°C bằng lò mủp và được chuẩn hóa. Các mẫu đã chuẩn bị được sử dụng để tiến hành thực nghiệm với các thông số nhiệt độ nung nóng và thời gian giữ nhiệt lần lượt tương ứng là (730°C, 760°C, 790°C) và (30, 45, 60 phút). Các thông số thực nghiệm được lựa chọn trên cơ sở khuyến cáo của nhà sản xuất và kết quả khuyến nghị của công bố trước đây [6,7]. Sau đó, các mẫu được làm nguội trong các chất làm mát khác nhau (dầu thực vật - CW, nước - PW và dầu máy - SPE). Các thử nghiệm cơ học như thử nghiệm độ cứng và độ bền kéo sau đó đã được tiến hành trên các mẫu đã được làm nguội. Kiểm tra độ cứng Máy đo độ cứng Brinell EEDB 0006/43, độ bền kéo bằng máy M500-50AT theo tiêu chuẩn ASTM.

Trong nghiên cứu này, ba thông số quy trình được xem xét là chất làm mát, nhiệt độ tôi và

thời gian giữ nhiệt. Ba cấp độ cho mỗi yếu tố được chọn được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Ba thông số và mức độ của nó

Thông số	Kí hiệu	Mức độ		
		1	2	3
Chất làm mát	A	CW	PW	SPE
Nhiệt độ tôi (°C)	B	730	760	790
Thời gian giữ nhiệt (phút)	C	30	45	60

Phương pháp Taguchi được áp dụng cho quá trình xử lý nhiệt trong nghiên cứu này nhằm tối đa hóa độ cứng, độ bền chảy và độ bền cực đại của MCS. Trong phân tích Taguchi, giá trị của các kết quả được chuyển đổi thành tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (S/N). Vì cả ba kết quả độ cứng, độ bền chảy và độ bền cực đại đều được mong muốn là tối đa, nên các đặc tính hiệu suất càng cao càng tốt để tính tỷ lệ S/N đã được chọn trong nghiên cứu này bằng cách sử dụng công thức 1:

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

Trong đó: n là số lần lặp lại cho mỗi thử nghiệm, y_i mô tả giá trị kết quả cho các đặc tính kết quả thứ i .

Phân tích phương sai (ANOVA) được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của quá trình làm mát, nhiệt độ gia nhiệt và thời gian giữ nhiệt đối với độ cứng, độ bền chảy và độ bền cực đại trước khi bị phá hủy. Vì ANOVA làm nổi bật thứ tự quan trọng của các thông số ảnh hưởng đến kết quả, nên nó giúp xác thực các kết quả thu được thông qua phương pháp Taguchi. Trong nghiên cứu này, phần mềm thống kê Minitab 19 được sử dụng cho cả phân tích ANOVA và Taguchi.

Thử nghiệm xác nhận sau khi thiết lập các giá trị tối ưu về độ cứng (H_{dopt}), độ bền chảy (YS_{opt}) và độ bền cực đại (UTS_{opt}) bằng phương pháp Taguchi, một thử nghiệm xác nhận đã được tiến hành để xác nhận các điều kiện tối ưu [1]. Giá trị tối ưu của các kết quả được ước tính bằng cách sử dụng các công thức (2):

$$\begin{aligned} H_{dopt} &= m_h + (A_2 - m_h) + (B_3 - m_h) + (C_3 - m_h) \\ YS_{opt} &= m_y + (A_3 - m_y) + (B_2 - m_y) + (C_3 - m_y) \quad (2) \\ UTS_{opt} &= m_u + (A_3 - m_u) + (B_3 - m_u) + (C_3 - m_u) \end{aligned}$$

trong đó ($A_2B_3C_3$), ($A_3B_3C_2$), ($A_3B_3C_3$) tương ứng đại diện cho các giá trị của mức tối ưu về độ cứng, độ bền chảy và độ bền kéo giới hạn. m_h , m_y và m_u lần lượt là giá trị trung bình của tất cả các H_{dopt} , YS_{opt} và UTS_{opt} thu được từ nghiệm cứu thực nghiệm.

Để xác định xem các giá trị tối ưu của các kết quả có phù hợp với các giá trị thử nghiệm hay không, khoảng tin cậy (CI) đã được tính cho từng phản hồi [3] bằng cách sử dụng các công thức (3):

$$\begin{aligned} CI &= \sqrt{F_{\alpha, 1, f_e} V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right]} \\ n_{eff} &= \frac{N}{1 + T_{dof}} \end{aligned} \quad (3)$$

trong đó tỷ lệ $F_{\alpha, 1, f_e} = F$ với độ tin cậy 95%, α = mức ý nghĩa, f_e là bậc tự do của sai số, V_e = sai số phương sai, n_{eff} = số lần lặp lại hiệu quả, R = số thí nghiệm khẳng định. N = tổng số thí nghiệm và T_{dof} là tổng số bậc tự do của thông số chính.

Taguchi là một phương pháp không phù hợp để tối ưu hóa đồng thời các hàm đa mục tiêu. Do đó, phương pháp GRA đã được áp dụng để đạt được xếp hạng tầm quan trọng của từng

thông số quy trình trên nhiều đặc tính hiệu suất bằng cách tối đa hóa đồng thời tất cả các kết quả (độ cứng, độ bền chảy và độ bền kéo giới hạn). Đầu tiên, kết quả thử nghiệm được chuẩn hóa (thường nằm trong khoảng 0–1). Đặc tính hiệu suất càng cao- càng tốt trong biểu thức (4) đã được sử dụng cho tất cả các chức năng mục tiêu vì các giá trị tối đa của cả ba kết quả đều được mong muốn:

Càng cao càng tốt,

$$y_i(s) = \frac{x_i(s) - \min x_i(s)}{\max x_i(s) - \min x_i(s)} \quad (4)$$

Sau khi chuẩn hóa, hệ số quan hệ mờ xám được tính bằng các biểu thức (5):

$$\varepsilon_i(s) = \frac{\Delta_{\min} + \varphi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(s) + \varphi \Delta_{\max}} \quad (5)$$

trong đó $\Delta_{oi}(s)$ là chuỗi độ lệch được tính từ biểu thức (6):

$$\Delta_{oi}(s) = |x_o(s) - x_i(s)| \quad (6)$$

$x_i(s)$ là dãy so sánh, $\max x_i(s)$ và $\min x_i(s)$ lần lượt là dãy so sánh lớn nhất và nhỏ nhất, $x_o(s)$ là dãy tham chiếu, φ là hệ số nhận dạng nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Trong GRA, sử dụng bất kỳ giá trị nào trong khoảng từ 0 đến 1 cho φ sẽ không thay đổi thứ tự tầm quan trọng của các thông số nhưng 0,5 thường được chọn [2]. Cấp độ quan hệ màu xám (GRG) sau đó được ước tính bằng cách sử dụng phương trình 7 trước khi xếp hạng cuối cùng được thực hiện:

$$GRC = 0,3527 H + 0,3246 YS + 0,3207 UTS \quad (7)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Độ cứng (H), bền chảy (YS) và độ bền cực đại (UTS), là các kết quả - mục tiêu của MCS, được hiển thị trong bảng 3. Bảng 3 cũng trình bày các tỷ lệ S/N cho các loại kết quả.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm và tỷ lệ S/N của chúng

TN Số	Thông số			Hàm mục tiêu			Tỷ lệ S/N cho các loại kết quả		
	A	B °C	C phút	H Bhn	YS Mpa	UTS Mpa	H	YS	UTS
1	CW	730	30	166.42	162.9	171.1	44.423	44.238	44.665
2	CW	760	45	609.97	264.8	268.8	48.458	48.458	48.589
3	CW	790	60	573.35	358.5	399.2	51.090	51.090	52.024
4	PW	730	30	349.19	116.1	138.5	41.297	41.297	42.829
5	PW	760	45	532.27	407.4	427.8	52.200	52.20	52.625
6	PW	790	60	471.59	224.1	252.6	47.009	47.009	48.049
7	SPE	730	30	332.27	342.2	399.2	50.686	50.686	52.024
8	SPE	760	45	243.48	236.3	277.0	47.469	47.469	48.850
9	SPE	790	60	311.41	317.8	242.2	50.043	50.043	50.686

Phân tích một kết quả (độ cứng) Tỷ lệ S/N trung bình và xếp hạng tầm quan trọng của các thông số quy trình đối với giá trị độ cứng thể hiện ở bảng 4.

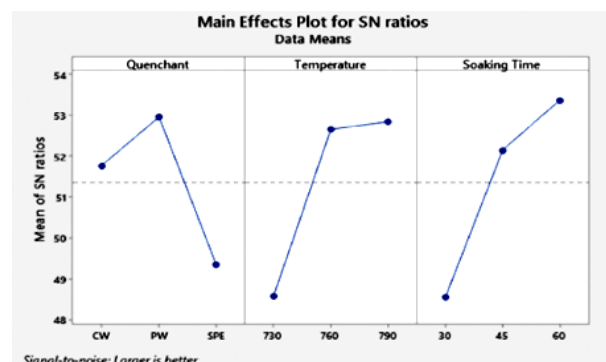
Bảng 4. Kết quả tỷ lệ S/N (Độ cứng so với chất làm mát, nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt)

Mức độ	Làm mát	Nhiệt độ	Thời gian giữ nhiệt
1	51,77	48,57	48,54
2	52,95	52,65	52,14
3	49,34	52,84	53,37
Δ	3,61	4,26	4,83
Hạng	3	2	1
$\Sigma\Delta$	12,7		
Tỷ trọng	35,4749%		

▪ Giá trị in đậm biểu thị mức độ đạt được điều kiện tối ưu cho từng thông số quy trình.

Hình 1 thể hiện ảnh hưởng chính của từng thông số đến độ cứng của MCS. Theo Canbolat [5], khi biên thể của tỷ lệ S/N cao nhất và thấp nhất là nhỏ, vậy có một tác động tương đối thấp của thông số đối với phản hồi. Hơn nữa, mức thông số với S/N tối đa cho

biết các điều kiện tối ưu của hệ thống. Do đó, các thông số quy trình để đạt được các giá trị tối ưu cho độ cứng tối đa được xác định là: Làm mát = PW, Nhiệt độ = 790°C và Thời gian giữ nhiệt = 60 phút (hình 1). Điều này cho biết khi quá trình xử lý nhiệt được thực hiện trong PW ở nhiệt độ gia nhiệt là 790°C với thời gian giữ nhiệt là 60 phút, tức là $A_2B_3C_3$, thì có thể thu được độ cứng cao nhất. Do đó, độ cứng tối ưu từ dải điều kiện làm việc của nghiên cứu này được tìm thấy khi quá trình tôi được thực hiện ở điều kiện làm việc tối ưu ($A_2B_3C_3$).



Hình 1. Biểu đồ ảnh hưởng chính cho tỷ lệ S/N trên độ cứng (Taguchi)

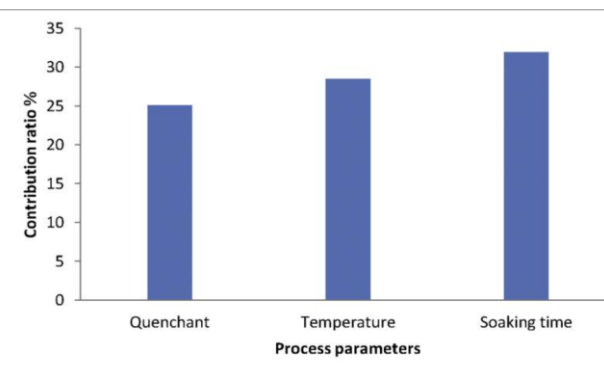
Để kết quả có độ tin cậy về mặt thống kê, phương pháp ANOVA đã được sử dụng để xác

thực kết quả phân tích Taguchi [4]. Điều này được thực hiện để ước tính phần trăm đóng góp của từng thông số của các mẫu được tôi trong các môi trường khác nhau đối với đặc

tính độ cứng của MCS. Việc sử dụng ANOVA cho thấy tác động của các thông số quy trình đến độ cứng, như thể hiện trong bảng 5 và hình 2.

Bảng 5. Kết quả ANOVA về độ cứng của MCS

Source	DF	Seq SS	A _{adj} SS	A _{adj} MS	F-Value	P-Value	R-Sq
Làm mát	2	47902	47902	23951	1,73	0,366	0,86
Nhiệt độ	2	54349	54349	27175	1,97	0,337	
Tg giữ nhiệt	2	60981	60981	30491	2,21	0,313	
Lỗi	2	27625	27625	13813			
Tổng	8	190858					



Hình 2. Tỷ lệ đóng góp của từng thông số quy trình vào độ cứng của MCS (ANOVA)

Thời gian giữ nhiệt là thông số quy trình chính về độ cứng của MCS với tỷ lệ tác động là 31,95 % dựa trên kết quả ANOVA. Các tỷ lệ đóng góp, được thể hiện trong Bảng 4, cũng chỉ ra rằng thứ hạng về tầm quan trọng của các thông số quy trình đối với độ cứng của MCS là Thời gian giữ nhiệt > Nhiệt độ > Chất làm nguội.

Biểu đồ hiệu ứng chính của phương pháp Taguchi và kết quả ANOVA đã đưa ra một thứ hạng tương tự về ảnh hưởng của các thông số quy trình đối với độ cứng của MCS. Do đó, việc tăng thời gian giữ nhiệt so với tất cả các yếu tố quy trình khác trong quá trình xử lý nhiệt của MCS có tác động lớn nhất đến độ cứng của nó.

Bảng 6 chỉ ra thời gian giữ nhiệt được xếp hạng đầu tiên với ảnh hưởng cao hơn đến YS và UTS của MCS trong số ba thông số được xem xét. Bảng 6 cũng cho thấy rằng thời gian giữ nhiệt thường xuyên dẫn trước nhiệt độ, có ảnh hưởng lớn nhất đến độ bền UTS của MCS được xử lý nhiệt.

Bảng 6. Kết quả về tỷ lệ S/N (YS và UTS so với chất làm nguội, nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt)

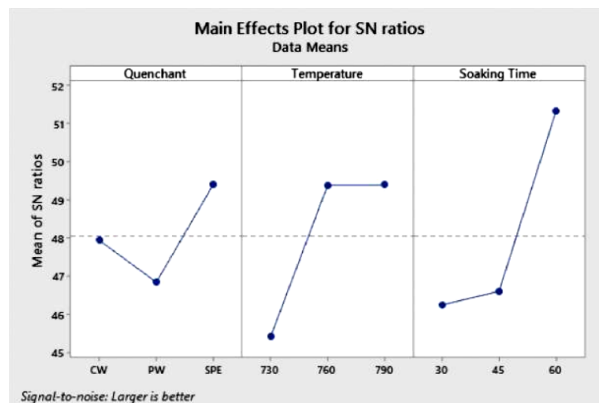
YS

Mức độ	Làm mát	Nhiệt độ	Thời gian giữ nhiệt
1	47,93	45,41	46,24
2	46,84	49,38	46,6
3	49,4	49,38	51,33
Δ	2,56	3,97	5,09
Hạng	3	2	1
$\sum \Delta$	11,62		
Tỷ trọng	32,46%		

UTS

Mức độ	Làm mát	Nhiệt độ	Thời gian giữ nhiệt
1	48,43	46,51	47,19

Mức độ	Làm mát	Nhiệt độ	Thời gian giữ nhiệt
2	47,83	50,02	47,37
3	50,52	50,25	52,22
Δ	2,69	3,75	5,04
Hạng	3	2	1
$\Sigma\Delta$	11,48		
Tỷ trọng	32,07%		

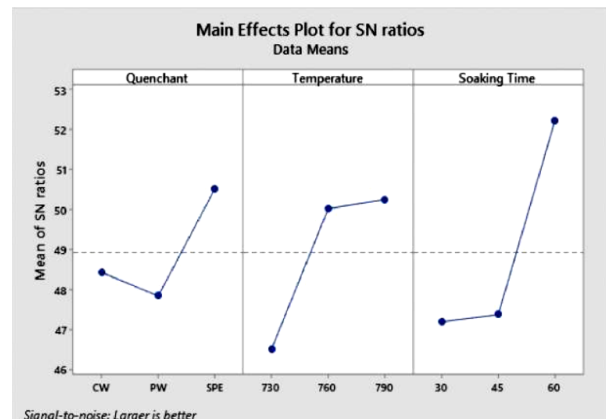


Hình 3. Ảnh hưởng chính của tỷ lệ S/N của từng thông số đến YS (Taguchi)

Bảng 6 cho thấy tỷ lệ S/N trung bình và thứ hạng tầm quan trọng của các thông số quy trình đối với các giá trị của YS và UTS. Thời gian giữ nhiệt được xếp hạng đầu tiên với ảnh hưởng cao hơn đến YS và UTS của MCS trong số ba thông số được xem xét. Bảng 6 thấy thời gian giữ nhiệt thường xuyên dẫn trước nhiệt độ, có ảnh hưởng lớn nhất đến độ

bền UTS. Hình 3 và 4 lần lượt biểu thị tác động của từng thông số đối với YS và UTS.

Việc sử dụng SPE làm chất làm mát trong khi vận hành ở 760°C và giữ trong 60 phút là giá trị tối ưu của các thông số quy trình mà YS tối đa, thể hiện trong hình 3 ($A_3B_2C_3$). Trong khi thời gian giữ (60 phút) và chất làm mát (SPE) không thay đổi vì các giá trị tối ưu làm thông số quy trình để đạt được độ bền cực đại tối ưu cho MCS được xử lý, nhiệt độ đã thay đổi từ 760°C thành 790°C, như trong hình 4. UTS tối đa đạt được khi xử lý nhiệt được thực hiện trong điều kiện làm việc tối ưu ($A_3B_3C_3$). Kết quả ANOVA về tác động của các thông số quy trình khác nhau trên YS và UTS được trình bày trong bảng 7, trong khi tỷ lệ đóng góp được trình bày trong hình 5.



Hình 4. Ảnh hưởng chính của tỷ lệ S/N của từng thông số đến UTS (Taguchi)

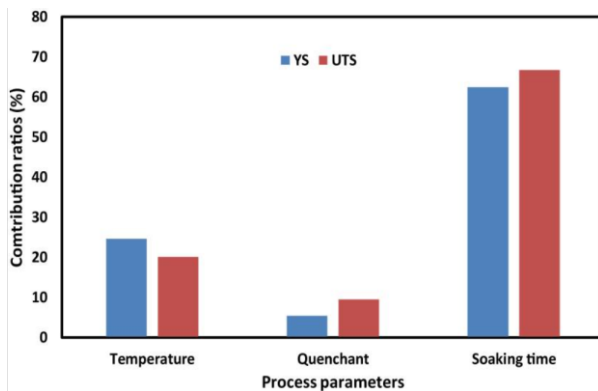
Bảng 7. Kết quả ANOVA về ảnh hưởng của các thông số quy trình đến bền chảy YS và bền cực đại UTS của MCS

YS

Source	DF	SeqSS	A _{adj} SS	A _{adj} MS	F-Value	P-Value	R-Sq
Làm mát	2	3969	3969	1985	0,73	0,579	0,92
Nhiệt độ	2	17840	17840	8920	3,27	0,234	17840
Thời gian giữ nhiệt	2	45369	45369	22685	8,32	0,107	45369
Lỗi	2	5455	5455	2728			
Tổng	8	72634					

UTS

Source	DF	SeqSS	A _{adj} SS	A _{adj} MS	F-Value	P-Value	R-Sq
Làm mát	2	8040	8040	4020	2,62	0,276	0,96
Nhiệt độ	2	16875	16875	8437	5,5	0,154	16875
Thời gian giữ nhiệt	2	56197	56197	28099	18,32	0,052	56197
Lỗi	2	3068	3068	1534	3068		
Tổng	8	84180					



Hình 5. Tỷ lệ đóng góp của từng yếu tố vào YS và UTS của MCS (ANOVA)

Kết quả ANOVA trong bảng 7 cho thấy thời gian giữ nhiệt có ảnh hưởng lớn nhất đến YS và UTS của MCS. Tỷ lệ đóng góp trong hình 5, trong đó thời gian giữ nhiệt có giá trị cao nhất lần lượt là 62,46 và 66,76% đối với YS và UTS. Do đó, dựa trên tỷ lệ đóng góp, thứ tự quan trọng của các thông số quy trình trên YS của MCS được xử lý nhiệt là Thời gian giữ nhiệt > Nhiệt độ > Chất làm mát. Đối với cả ba chức năng mục tiêu (độ cứng, YS và UTS), chất làm mát ít ảnh hưởng hơn đến việc

xác định cách thức hoạt động của MCS được xử lý nhiệt khi so sánh với các thông số khác như nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt. Sự gia tăng thời gian giữ nhiệt mang lại sự gia tăng độ bền kéo. Thứ tự xếp hạng của cả hai phương pháp đều giống nhau, đây là phương tiện xác nhận độ tin cậy của việc sử dụng chúng làm công cụ tối ưu hóa.

Kết quả thu được được kiểm tra xem các giá trị có nằm trong khoảng tin cậy (CI) hay không. CI được ước tính bằng biểu thức (3). $F_{0,05,1,2} = 18,51$, $V_{eH} = 13813$ (bảng 4), $V_{eYS} = 2728$ (bảng 8) và $V_{eUTS} = 1534$ (bảng 8), $R = 3$, $N = 9$, $T_{dof} = 6$ và $n_{eff} = 1,2857$ (theo công thức 3). Các thử nghiệm xác nhận đã được tiến hành dựa trên các điều kiện tối ưu đã thiết lập cho từng chức năng mục tiêu và kết quả được trình bày trong bảng 8. Các giá trị CI được tính toán trong bảng 8 cho thấy các giá trị tối ưu thử nghiệm cho từng thông số quy trình nằm trong giới hạn chấp nhận được.

Bảng 8. Các giá trị thực nghiệm thu được cho từng mục tiêu dựa trên các điều kiện tối ưu

Mục tiêu	Điều kiện tối ưu	Giá trị tối ưu theo thí nghiệm	CI
Độ cứng (Hb-BHN)	$A_2B_3C_3$ (A=PW, B=790°C, C=60)	499,23	± 533
Độ bền chảy (YS-Mpa)	$A_3B_2C_3$ (A=PW, B=790°C, C=60)	382,90	± 237
Độ bền cực đại (UTS-Mpa)	$A_3B_3C_3$ (A=PW, B=790°C, C=60)	325,90	± 178

Phân tích quan hệ mờ xám (GRA) Các điều kiện làm việc tối ưu thu được từ bảng 8 không giống nhau đối với Hb, YS và UTS. Do đó, kỹ

thuật đa mục tiêu là cần thiết để bổ sung cho phương pháp Taguchi được sử dụng. Phương pháp GRA đã được áp dụng để giảm ba mục

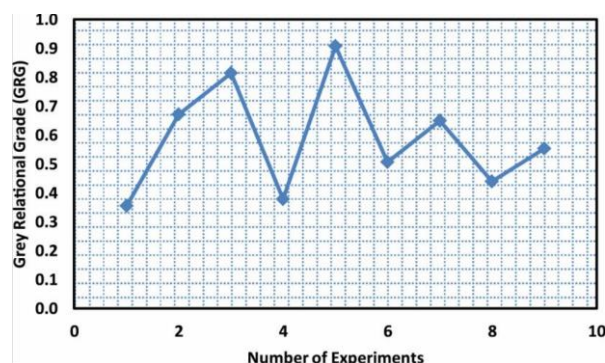
tiêu (tối đa hóa Hb, YS và UTS) của MCS thành một mục tiêu duy nhất (được gọi là đặc tính hiệu suất tổ hợp, MPC). Sử dụng các phương trình (4), (5), (6) và (7), kết quả chuẩn

hóa, hệ số quan hệ mờ xám (GRG), cấp độ quan hệ mờ xám (GRG) và thứ hạng được xác định và trình bày trong bảng 9.

Bảng 9. Kết quả chuẩn hóa, hệ số quan hệ mờ, cấp độ và thứ hạng quan hệ mờ

T/n số	Kết quả chuẩn hóa			Hệ số quan hệ mờ			GRG	Xếp hạng
	Hb	YS	UTS	Hb	YS	UTS		
1	0,0000	0,1607	0,1127	0,3333	0,3733	0,3604	0,3550	9
2	1,0000	0,5105	0,4504	1,0000	0,5053	0,4764	0,6715	3
3	0,9174	0,8321	0,9011	0,8583	0,7487	0,8349	0,8152	2
4	0,4121	0,0000	0,0000	0,4596	0,3333	0,3333	0,3781	8
5	0,8251	1,0000	1,0000	0,7408	1,0000	1,0000	0,9080	1
6	0,6880	0,3708	0,3944	0,6158	0,4428	0,4522	0,5072	6
7	0,3739	0,7762	0,9011	0,4440	0,6908	0,8349	0,6495	4
8	0,1738	0,4126	0,4787	0,3770	0,4598	0,4896	0,4400	7
9	0,3269	0,6924	0,7041	0,4262	0,6191	0,6282	0,5536	5

Biến thể của GRG thể hiện trong hình 6.



Hình 6. GRG cho đặc tính hiệu suất tối đa

Trong nghiên cứu này, thí nghiệm 5 đã cho MPC tối đa. Đặc trưng được tạo ra, như thể hiện trong bảng 10, để GRG ước tính thứ hạng về tầm quan trọng của từng thông số. Theo đó, các thứ tự quan trọng được xếp hạng là Thời gian giữ nhiệt > Nhiệt độ > Làm mát

(bảng 10).

ANOVA được sử dụng để đánh giá kết quả GRG và % đóng góp của từng thông số, như thể hiện trong Bảng 11, cho biết thời gian giữ nhiệt và nhiệt độ là hai thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến MPC với % đóng góp là 69,41% và 25,42% tương ứng (bảng 11).

Bảng 10. Đặc trưng cho GRG

Mức độ	Làm mát	Nhiệt độ	Thời gian giữ nhiệt
1	-5,34	-7,06	-7,34
2	-5,06	-4,27	-5,68
3	-4,74	-3,81	-2,12
Delta	0,6	3,26	5,22
Xếp hạng	3	2	1

Bảng 11. ANOVA cho lớp quan hệ mờ xám mờ

Source	DF	SeqSS	Mức đóng góp	A _{adj} SS	A _{adj} MS	F-Value	P-Value	R-Sq
Làm mát	2	0,00715	2,44%	0,00715	0,00358	0,9	0,527	0,97
Nhiệt độ	2	0,07442	25,42%	0,07442	0,03721	9,34	0,097	
T/g giữ nhiệt	2	0,2032	69,41%	0,2032	0,1016	25,5	0,038	

Source	DF	SeqSS	Mức đóng góp	A _{adj} SS	A _{adj} MS	F-Value	P-Value	R-Sq
Lỗi	2	0,00797	2,72%	0,00797	0,00398			
Tổng	8	0,29275	100%					

Thứ tự xếp hạng là Thời gian giữ nhiệt > Nhiệt độ > Quenchant. Những kết quả này nhất quán với các kết quả trong bảng 10 đối với cấp độ quan hệ xám mờ.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, sự kết hợp giữa phương pháp Taguchi và phân tích quan hệ xám mờ đã được sử dụng để xác định các thông số quá trình xử lý nhiệt tối ưu cần thiết để cải thiện tính chất cơ học của thép carbon trung bình. Có thể kết luận rằng:

- Các điều kiện tối ưu để tối đa hóa độ cứng, độ bền chảy và độ bền cực đại thu được với sự kết hợp được tìm thấy là A₂B₃C₃ (chất làm nguội (PW), nhiệt độ (790°C) và thời gian giữ nhiệt (60 phút)); A₃B₂C₃ (dầu (SPE), nhiệt độ

(760°C) và thời gian giữ nhiệt (60 phút)) và A₃B₃C₃ (dầu (SPE), nhiệt độ (760°C) và thời gian giữ nhiệt (60 phút)), tương ứng.

- Thời gian giữ nhiệt là thông số quan trọng nhất đối với cả ba hàm mục tiêu với tỷ lệ đóng góp 31,95% cho độ cứng, 62,46% cho độ bền chảy và 66,76% cho độ bền cực đại).
- Các giá trị đo được của các kết quả (độ cứng, độ bền chảy và độ bền cực đại) nằm trong khoảng tin cậy 95% dựa trên kết quả thử nghiệm xác nhận.
- Phân tích quan hệ xám mờ và phương pháp Taguchi đã xác nhận thời gian giữ nhiệt là các thông số quy trình chính có tỷ lệ đóng góp cao nhất trên 60% trong cả hai trường hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mandal N., Doloi B., Mondal B., Das R. "Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and Regression analysis". Journal of the International Measurement Confederation, 44, 2149-2155, (2011).
- [2] Naqiuddin N.H., Saw L.H., Yew M.C., Yusof F., Poon H.M., Cai Z., Thiam H.S. "Numerical investigation for optimizing segmented micro-channel heat sink by Taguchi-Grey method". Applied Energy 222:437–450, (2018).
- [3] Dvivedi A., Kumar P. "Surface quality evaluation in ultrasonic drilling through the Taguchi technique". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 34:131–140, (2007).
- [4] Sarıkaya M., Güllü A. "Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning" Journal of Cleaner Production 65:604–616, (2014).
- [5] Canbolat A.S., Bademlioglu A.H., Arslanoglu N., Kaynakli O. "Performance optimization of absorption refrigeration systems using Taguchi, ANOVA and Grey Relational Analysis methods" Journal of Cleaner Production 229:874–885, (2019).
- [6] Ahaneku I.E., Kamal A.R., Ogunjirin O.A. "Effects of heat treatment on the properties of mild steel using different quenchant. Front. Sci. p.153–158, (2012).
- [7] Adeleke A.A., Ikubanni P.P., Adediran A.A., Agboola O.O., Olabamiji T.S., Ogunsola O.J., Ibeawuchi C. "Tensile strength and microstructural behaviour of medium carbon steel quenched in some selected media". Int. J. Civ. Eng. Technol;9(10):2148–2156, (2018).

Thông tin liên hệ: **Trần Vũ Lâm**

Điện thoại:0912559400 - Email: tvlam@uneti.edu.vn.

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.