

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ ĐẾN CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI MÀI THÉP HARDOX 500

A STUDY ON EFFECT OF DRESSING PARAMETERS ON SURFACE QUALITY WHEN GRINDING HARDOX 500 STEEL

NGUYỄN ĐẶNG^{1,a}, LÊ HỒNG KỶ², LÊ XUÂN HÙNG³

¹ Học viên cao học, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

² Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

³ Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

^aTác giả liên hệ: nguyendang@agvc.edu.vn

Nhận bài(Received): 19/7/2023; Phản biện (Reviewed):24/7/2023; Chấp nhận (Accepted):17/10/2023

TÓM TẮT

Bài báo trình bày về một nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá khi mài phẳng thép Hardox 500. Một hệ thống thiết bị thí nghiệm được xây dựng kết hợp ứng dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi, 16 thí nghiệm được thiết kế. Ảnh hưởng của chế độ sửa đá tới chất lượng bề mặt được khảo sát. Một bộ thông số chế độ sửa đá tối ưu được đề xuất đảm bảo trị số nhám bề mặt đạt giá trị nhỏ nhất (Ramin = 0,436 μm). Kết quả của nghiên cứu cho thấy rõ chế độ sửa đá có ảnh hưởng rất lớn tới chất lượng bề mặt của quá trình mài. Chế độ sửa đá tối ưu được tìm ra giúp nâng cao chất lượng bề mặt của sản phẩm, góp phần nâng cao hiệu quả của quá trình mài.

Từ khóa: Thép Hardox 500, Sửa đá, Mài phẳng, Phương pháp Taguchi

ABSTRACT

The paper presents a study on the influence of dressing parameters when grinding Hardox 500 steel. A system of experimental equipment was built in combination with the application of the Taguchi experimental planning method, and 16 experiments were performed design. The influence of dressing parameters on surface quality was investigated. A set of optimal dressing parameters is proposed to ensure the minimum value of surface roughness. The results of the study clearly show that the dressing parameters mode has a great influence on the surface quality of the grinding process. The optimal dressing parameters were found to improve the surface quality of the product, contributing to the efficiency of the grinding process.

Keywords: Hardox 500 Steel, Dressing, Grinding, Taguchi method

1. GIỚI THIỆU

Mài là phương pháp gia công được dùng phổ biến để nâng cao độ chính xác và độ bóng bề mặt [1-4]. Quá trình mài rất

phức tạp và nó phụ thuộc vào các thông số của đá mài, các thông số của chế độ cắt khi mài, chế độ bôi trơn làm mát và các thông số của chế độ sửa đá. Trong quá trình mài,

bề mặt của đá bị mòn dần do: hạt mài bị vỡ, phoi bám dính khe giữa hạt mài. Điều này làm giảm độ chính xác, giảm chất lượng bề mặt gia công. Để đạt được độ chính xác gia công và độ nhám bề mặt cần thiết, cần phải độ sắc của hạt mài, biên dạng của đá mài trong suốt quá trình mài. Nói cách khác đá mài cần phải được sửa bằng dụng cụ sửa đá sau một khoảng thời gian làm việc nhất định. Nhờ quá trình sửa đá, các hạt đá bị cùn sẽ bị bóc đi để tạo ra các hạt đá mới có cạnh sắc để chúng dễ dàng bóc tách vật liệu gia công. Chế độ sửa đá khác nhau, sẽ cho biên dạng của đá mài và hình dạng hạt mài khác nhau dẫn đến ảnh hưởng tới kết quả của quá trình mài.

Cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số sửa đá đến khả năng cắt của đá và đến chất lượng bề mặt gia công. Chẳng hạn như, trong [5, 6], ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến nhám bề mặt, lực mài được nghiên cứu. Chiều sâu sửa đá, số lượt sửa đá, lượng chạy dao khi sửa đá là những thông số được khảo sát và đề xuất giá trị tối ưu đã được tối ưu hóa nhằm xác định tuổi bền tối ưu của đá, khả năng cắt lớn nhất của đá, và độ nhám nhỏ nhất của bề mặt gia công [6, 7]. Các phương pháp khác nhau như phương pháp neutron network, phương pháp Taguchi và phương pháp quan hệ xám [8-11]. Đến nay, các nghiên cứu về mài thép Hardox 500 còn rất hạn chế.

Thép Hardox là thép có khả năng chịu

va đập tốt, độ cứng cao, hàm lượng crom, niken trong thép giúp nó có tính chống mài mòn cao. Thép Hardox 500 được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực công nghiệp như làm dụng cụ cắt, bánh răng, máy đập, thiết bị khai thác mỏ, tấm lót băng tải [12]. Việc mài loại thép Hardox 500 vẫn chưa được nghiên cứu sâu. Chế độ công nghệ cho quá trình mài thép Hardox 500 vẫn còn nhiều hướng còn bỏ ngỏ. Do vậy, nghiên cứu nhằm ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến kết quả quá trình mài, hay xác định các bộ thông số tối ưu cho quá trình mài phẳng thép Hardox 500 là cấp thiết. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến chất lượng bề mặt khi mài phẳng thép Hardox 500.

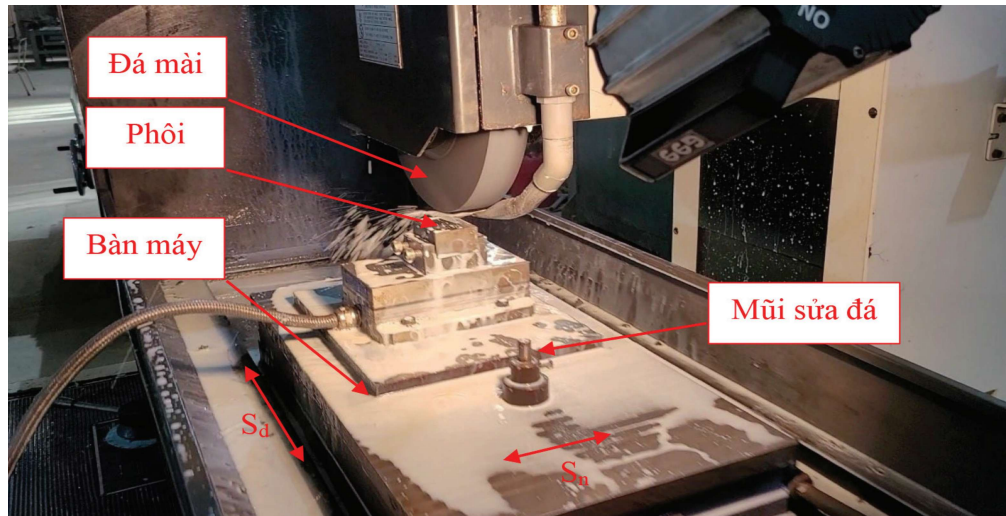
2. MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CHẾ ĐỘ SỬ ĐÁ ĐẾN CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT.

2.1. Máy móc, thiết bị thí nghiệm

Hệ thống máy, trang thiết bị thí nghiệm được xây dựng như trong *Hình 1* và *Bảng 1*. Đá mài quay tạo chuyển động cắt chính. Bàn máy chạy thực hiện các chuyển động để gia công hết lượng dư theo yêu cầu. Sơ đồ sửa đá mài được thể hiện như *Hình 2*. Mũi sửa đá được gắn trên bàn máy và thực hiện các chuyển động chạy dao khi sửa đá và cắt bỏ hết chiều sâu sửa đá theo chế độ thí nghiệm. Chế độ công nghệ khi mài được thực hiện theo phần 2.2

Bảng 1. Trang thiết bị thí nghiệm

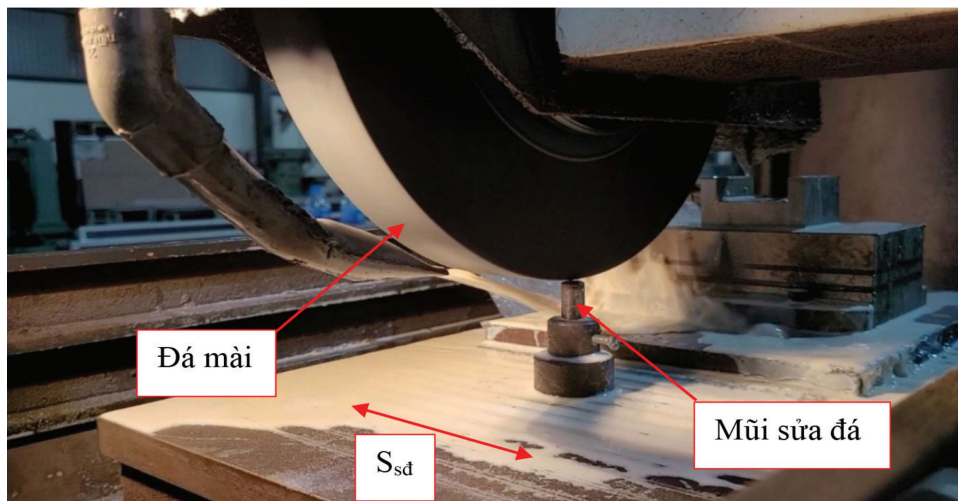
TT	Trang thiết bị	Xuất xứ	Mã số, ký hiệu
1	Máy mài phẳng	Đài Loan	PSG-CL3060AH Palamry Machine
2	Đá mài	Việt Nam	Cn60MV1G V1 350x40x203
3	Dụng cụ sửa đá	LB Nga	3908-0088C loại 2
4	Máy đo độ nhám	Nhật Bản	Mitutoyo 178-923-2A, SJ-201



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm mài phẳng

2.2. Chế độ công nghệ gia công mài phẳng

- Lượng chạy dao dọc: $S_d = 8$ m/phút
- Lượng chạy dao ngang: $S_n = 10$ mm/hành trình đơn
- Chiều sâu mỗi lượt cắt: $t = 0,02$ /hành trình đơn
- Vận tốc cắt: $V_d = 26,6$ m/s
- Lượng chạy dao sửa đá: $S_{sd} = 1,2$ m/phút
- Dung dịch tưới nguội: Emulsion, nồng độ 5%, lưu lượng 10 lít/phút
- Phôi thép Hardox 500 [13]: dài x rộng x dày = 60 x 45 x 30 (mm)



Hình 2. Sơ đồ sửa đá mài

2.3. Quy hoạch thực nghiệm.

2.3.1. Thiết kế thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

Đây là phương pháp quy hoạch thực nghiệm được tiến sĩ Taguchi đề ra. Mục tiêu của phương pháp là thiết kế một quá

trình hoặc sản phẩm ít chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố gây ra sự sai lệch về chất lượng. Phương pháp này với mục đích là điều chỉnh các thông số đến mức tối ưu để quá trình và sản phẩm ổn định ở mức chất lượng là tốt nhất. Taguchi đã sử dụng dây trực giao trong quy hoạch thực nghiệm và

sử dụng tối thiểu các thí nghiệm cần thiết để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đặc tính cần lựa chọn của quá trình hoặc sản phẩm từ đó điều chỉnh các thông số tiến đến tối ưu nhanh nhất.

Sử dụng phương pháp quy hoạch Taguchi với các thông số công nghệ và các mức khảo sát ở bảng 2. Các thông số này đều là những thông số cơ bản cho chế độ

công nghệ sửa đá. Khai báo biến thí nghiệm theo phương pháp Taguchi với 05 biến trong đó có 04 biến với 04 mức và 01 biến với 02 mức. Phần mềm Minitab 19 được sử dụng để xây dựng ma trận thí nghiệm theo phương pháp Taguchi gồm 16 thí nghiệm (như trong bảng 3). Ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá tới nhám bề mặt gia công sẽ được nghiên cứu trong bài báo này.

Bảng 2. Các thông số sửa đá và các mức tương ứng

TT	Thông số	Đơn vị	Ký hiệu	Mức			
				1	2	3	4
1	Chiều sâu sửa đá thô	mm	a_r	0,015	0,02	0,025	0,03
2	Số lượt sửa đá thô	Lượt	n_r	1	2	3	4
3	Chiều sâu sửa đá tinh	mm	a_f	0,005	0,01	-	-
4	Số lượt sửa đá tinh	Lượt	n_f	0	1	2	3
5	Sửa đá không ăn dao	Lượt	n_{non}	0	1	2	3

Bảng 3. Bảng Taguchi L16 (các thông số đầu vào).

Số thí nghiệm	a_r	n_r	a_f	n_f	n_{non}
	Chiều sâu sửa đá thô (mm)	Chiều sâu sửa đá thô (Lượt)	Chiều sâu sửa đá tinh (mm)	Số lượt sửa đá tinh (Lượt)	Sửa đá không ăn dao (Lượt)
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	2	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Tỷ lệ S/N được Taguchi phát triển là thước đo hiệu suất để chọn các mức độ kiểm soát mức độ nhiễu tốt nhất. Tỷ lệ S/N tính cả giá trị trung bình và chế độ biến thiên. Ở dạng đơn giản nhất tỷ lệ S/N là tỷ lệ trung bình (tín hiệu) với độ lệch chuẩn (nhiều). Phương trình S/N phụ thuộc vào tiêu chí cho đặc tính chất lượng tối ưu hóa. Việc đánh giá tỷ lệ S/N giúp các nhà công nghệ biết xu hướng và mức độ ảnh hưởng của từng thông số đến độ nhám bề mặt, từ các nhận biết đó giúp các nhà nghiên cứu nhanh chóng tìm ra các thông số công nghệ và phạm vi cần tác động để tìm ra được độ nhám bề mặt sau ra công là tốt nhất. Đồng thời từ đó cũng đánh giá riêng lẻ các ảnh hưởng của các thông số công nghệ tối ưu cho độ nhám bề mặt chi tiết sau gia công.

Ngoài tỷ lệ S/N, các kết quả được kiểm tra bằng cách sử dụng phân tích phương sai ANOVA với biểu đồ Pareto để chỉ ra các tác động của các tham số đến độ nhám của bề mặt gia công.

- Đặc tính nhỏ hơn cho chất lượng tốt hơn:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2)$$

Trong đó: \bar{y} là giá trị trung bình của dữ liệu, s_y^2 là phương sai của y , n là số lượng quan sát, và y là dữ liệu quan sát.

Nghiên cứu này mục đích tìm các thông số công nghệ cho độ nhám bề mặt là nhỏ nhất. Do vậy chỉ tiêu nhỏ hơn là tốt hơn được sử dụng cho bài toán.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành lần lượt 16 thí nghiệm theo trình tự tại bảng 3 với chế độ công nghệ như trong mục 2.2. Quá trình sửa đá thực hiện qua 3 bước: sửa đá thô, sửa đá tinh và cuối cùng là sửa đá siêu tinh. Mỗi thí nghiệm được tiến hành 3 lần, trị số nhám bề mặt là trung bình kết quả đo 3 lần ở mỗi

thí nghiệm tương ứng. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Bảng thông số thí nghiệm và kết quả độ nhám

TT	a_r (mm)	n_r (lượt)	a_f (mm)	n_f (lượt)	n_{non} (lượt)	Ra (μm)
1	0,015	1	0,005	0	0	0,674
2	0,015	2	0,005	1	1	0,590
3	0,015	3	0,010	2	2	0,594
4	0,015	4	0,010	3	3	0,647
5	0,020	1	0,010	1	2	0,436
6	0,020	2	0,010	0	3	0,480
7	0,020	3	0,005	3	0	0,617
8	0,020	4	0,005	2	1	0,785
9	0,025	1	0,005	2	3	0,452
10	0,025	2	0,005	3	2	0,812
11	0,025	3	0,010	0	1	1,216
12	0,025	4	0,010	1	0	0,875
13	0,030	1	0,010	3	1	0,943
14	0,030	2	0,010	2	0	0,693
15	0,030	3	0,005	1	3	1,384
16	0,030	4	0,005	0	2	0,774

3.1. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến độ nhám bề mặt Ra.

Thông qua phân tích ANOVA trị số của độ nhám bề mặt trung bình (\bar{Ra}) được thể hiện như Bảng 4. Theo tỷ lệ phần trăm đóng góp ảnh hưởng (tỷ lệ C%). Chiều sâu sửa đá thô có đóng góp ảnh hưởng lớn nhất đến Ra (34,54%), tiếp đến là số lần sửa đá thô (34,14%), số lần sửa đá tinh (13,43%), số lần sửa siêu tinh (12,83%) và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh (0,03%). Như vậy, số lần sửa đá tinh, số lần sửa đá siêu tinh và chiều sâu sửa đá tinh ảnh hưởng không đáng kể tới độ nhám bề mặt gia công. Các chỉ số Seq SS, Adj SS, Adj MS, F và P là các giá trị toán học được phần mềm Minitab tính toán một cách tự động và là các tham số trung gian (SS là

tổng bình phương của các kết quả tỷ số S/N, MS là giá trị trung bình của các giá trị bình phương kết quả Ra, F và P là các giá trị thể hiện ảnh hưởng có ý nghĩa của các nhân tố thí nghiệm tới kết quả đầu ra (nhám bề mặt).

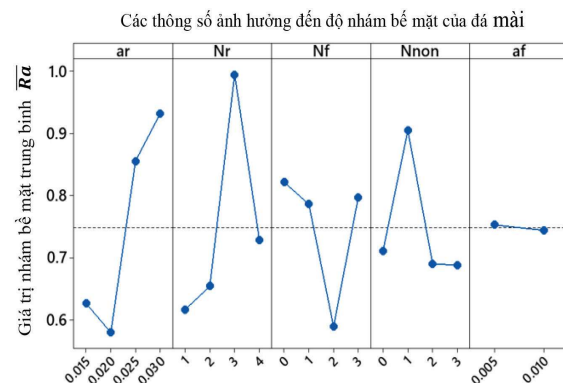
Bảng 5. ANOVA giá trị khi sửa đá.

Nhân tố	Bậc tự do	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
a_r	3	0,35395	0,353948	0,117983	4,58	0,184	34,54
n_r	3	0,34987	0,349865	0,116622	4,53	0,186	34,14
n_f	3	0,13766	0,137662	0,045887	1,78	0,379	13,43
n_{non}	3	0,13153	0,131533	0,043844	1,70	0,391	12,83
a_f	1	0,00031	0,000312	0,000312	0,01	0,922	0,03
Sai số	2	0,05153	0,051532	0,025766			5,03
Tổng	15	1,02485					

Từ Hình 3 cho thấy xu hướng ảnh hưởng của các nhân tố tới nhám bề mặt: Chiều sâu sửa đá thô a_r tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 2 (0,02 mm). Điều này có thể lý giải như sau: Ban đầu khi tăng chiều sâu sửa đá làm tăng chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tiếp tục tăng. Mặt khác chi tiết gia công có độ cứng và khả năng chịu mài mòn cao nên các lưỡi cắt sẽ bị vỡ để trở về trạng thái có chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá nhỏ, chiều cao của lưỡi cắt giảm làm số lưỡi cắt động tăng dẫn đến nhám bề mặt giảm. Nếu vẫn tăng chiều sâu sửa đá thô, sự vỡ ngẫu nhiên của các hạt mài làm cho nhám bề mặt khó kiểm soát, có thể tăng hoặc giảm. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng chiều sâu sửa đá thô, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tiếp tục tăng.

Số lần sửa đá thô n_r tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 1 (tương ứng với sửa đá thô 1 lần). Điều này được lý giải là do khi số lần sửa càng tăng thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài tăng, mật độ hạt mài giảm làm nhám bề mặt tăng.

Chiều sâu sửa đá tinh a_f tăng thì nhám bề mặt giảm và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 2 (0,01 mm). Lý do là khi tăng chiều sâu sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tăng làm phoi thoát dễ dàng hơn dẫn đến nhám bề mặt giảm. Số lần sửa tinh n_f tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt giá trị nhỏ nhất tại mức 3 (tương ứng với sửa đá tinh hai lượt). Rõ ràng, khi có sửa đá tinh thì số lưỡi cắt động tăng so với không sửa đá tinh, làm tăng khả năng cắt của đá mài dẫn đến nhám bề mặt giảm. Tuy vậy, càng tăng số lần sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá và chiều cao ban đầu của đá giảm, không gian chứa phoi nhỏ nên nhanh chóng bị lấp đầy.



Hình 3. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến \overline{Ra} khi sửa đá

Do đó tính năng cắt của đá mài giảm. Thêm vào đó độ cứng và khả năng chịu mòn của vật liệu gia công cao, ma sát giữa chất kết dính với bề mặt gia công tăng nên nhám bề mặt tăng.

Số lần sửa đá siêu tinh n_{non} tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 4 (tương ứng với 3 lượt). Điều này được lý giải là do số lần chạy không ăn dao càng tăng thì số lưỡi cắt động tăng, nghĩa là đá càng mịn, dẫn đến nhám bề mặt giảm.

3.2. Xác định bộ thông số chế độ sửa đá hợp lý

Theo Bảng 3, thí nghiệm số 5 với chế độ sửa đá: Sửa đá thô một lần với chiều sâu $a_r = 0,02$ mm, sửa tinh hai lần với chiều sâu $a_f = 0,01$ mm, chạy sửa đá siêu tinh hai lần, lượng chạy dao sửa đá $S_{sd} = 1,2$ m/phút cho kết quả nhám bề mặt nhỏ nhất $Ra = 0,436$ μm . Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến nhám bề mặt là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiều là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt

nhám bề mặt nhỏ nhất.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày về nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ sửa đá khi mài phẳng thép Hardox 500. Loại thép này thường được sử dụng để chế tạo các chi tiết máy làm việc trong điều kiện chống mài mòn cao. Thông qua phân tích ANOVA và sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi, ảnh hưởng của các nhân tố của chế độ sửa đá (chiều sâu sửa đá thô, tinh; số lượt sửa đá thô, tinh; số lượt sửa đá siêu tinh) tới nhám bề mặt đã được khảo sát. Chiều sâu và số lượt sửa đá thô có ảnh hưởng mạnh mẽ nhất đến nhám bề mặt gia công (lần lượt là 34,54% và 34,14%), chiều sâu sửa đá tinh có ảnh hưởng rất nhỏ tới chất lượng bề mặt (0,03%). Thông qua nghiên cứu thực nghiệm, bài báo cũng đưa ra lời khuyên về chế độ sửa đá hợp lý khi mài thép Hardox 500 (Sửa đá thô một lần với chiều sâu $a_r = 0,02$ mm, sửa tinh hai lần với chiều sâu $a_f = 0,01$ mm, chạy sửa đá siêu tinh hai lần, lượng chạy dao sửa đá $S_{sd} = 1,2$ m/phút)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] F Klocke (2009); “*Manufacturing processes 2 – Grinding, honing, lapping*”, Springer
- [2] M C Shaw (1996); “*Principles of Abrasive Processing*”, Oxford University Press.
- [3] S Malkin (1989); “*Grinding technology: Theory and Applications of Machining with abrasives*”, Ellis Horwood Limited.
- [4] P Walke, and N K Kamble (2017); “*A review on dressing and grinding operation*”, International Research Journal of Engineering and Technology, Vol 04, Issue 07, pp 2573-2575.
- [5] M Novák, N Naprstkova, and H Kasuga (2016) “*Influence of Grinding Wheel Dressing on the Roughness of Final Surface and Cutting Force during GGG60 Grinding*”, Key Engineering Materials, Vol 686, pp 218-223.
- [6] Tran Thi Hong, Nguyen Thanh Tu, Nguyen Anh Tuan, Tran Ngoc Giang, Nguyen Thi Quoc Dung, Le Xuan Hung, Bui Thanh Danh, and Luu Anh Tung, (2020); “*Optimization of Dressing Parameters in Surface Grinding SKD11 Tool Steel by Using Taguchi Method*”, Lecture Notes in Networks and Systems, Vol 178, pp 636 – 647.

- [7] Le Xuan Hung, Tran Ngoc Giang, Tran Quoc Hoang, Nguyen Hong Linh, Nguyen Dinh Ngoc, and Vu Ngoc Pi, (2021); “*Determining the Optimum Set of Dressing Parameters Satisfying Minimum Surface Roughness when Conducting the Internal Grinding of Hardened SKD11 Steel*”, Solid State Phenomena, Vol 324, pp 58-65.
- [8] Tran Thi Hong, Ngo Ngoc Vu, Nguyen Huu Phan, Tran Ngoc Giang, Nguyen Thanh Tu, Le Xuan Hung, Bui Thanh Danh, and Luu Anh Tung (2020); “*Multi Response Optimization of Dressing Conditions for Surface Grinding SKD11 Steel by HaiDuong Grinding Wheel Using Grey Relational Analysis in Taguchi Method*”, Lecture Notes in Networks and Systems, Vol 178, pp 560 – 571.
- [9] S P Sanjay, and J B Yogesh (2017); “*Selection of levels of dressing process parameters by using TOPSIS technique for surface roughness of En-31 workpiece in CNC cylindrical grinding machine*”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol 178, Issue 1, pp 12 – 33.
- [10] D Dadaso, Mohite, N Tiwari, and S Sontakke, Udayshankar Mishra (2017); “*Modelling and Optimization of Dressing Parameters of CNC Cylindrical Grinding Wheel for Minimum Surface Roughness*”, International Journal of Engineering Research and General Science”, Vol 5, Issue 4.
- [11] I Aleksandrova (2016); “*Optimization of the dressing parameters in cylindrical grinding based on a generalized utility function*”, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol, 29, Issue 1, pp 63-73.
- [12] <https://www.ssab.com/vi-vn/brands-and-products/hardox> (Truy cập ngày 18/7/2023).
- [13] <https://thepmaigia.vn/thep-tam-hardox-500/> (Truy cập ngày 18/7/2023).