

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN CHIỀU SÂU CẮT LỚN NHẤT KHI GIA CÔNG BẰNG TIA NƯỚC ÁP SUẤT CAO TRỘN HẠT MÀI KIỂU KHÔNG ÁP

STUDY ON THE INFLUENCE OF SOME TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE MAXIMUM DEPTH OF CUT WHEN MACHINING BY HIGH-PRESSURE WATERJET MIXED WITH NON-PRESSURIZED ABRASIVES

Trần Quốc Hùng^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.011>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xem xét sự ảnh hưởng của hai thông số công nghệ đến chiều sâu cắt lớn nhất khi gia công bằng tia nước áp suất cao trộn hạt mài kiểu không áp. Từ kết quả thực nghiệm tiến hành xây dựng phương trình hồi quy mô tả sự ảnh hưởng của 2 thông số (V_{dc} ; Q_{km}) đến chiều sâu cắt lớn nhất đồng thời khuyến cáo cách điều chỉnh 2 thông số này cho hợp lý khi gia công.

Từ khóa: Gia công tiên tiến, gia công phi truyền thống, gia công đặc biệt, gia công bằng tia nước hạt mài

ABSTRACT

This paper presents the results of an experimental study examining the influence of two technological parameters on the maximum depth of cut when machining by high-pressure waterjet mixed with non-pressurized abrasives. From the experimental results, we build a regression equation describing the influence of two parameters (V_{dc} ; Q_{km}) on the maximum depth of cut and recommend how to adjust these two parameters to be reasonable when machining.

Keywords: Advanced machining, non-traditional machining, special machining, abrasive waterjet machining.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tranquochung.tn@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/03/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/7/2022

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2023

1. GIỚI THIỆU

Gia công bằng tia nước áp suất cao trộn hạt mài là một trong những phương pháp gia công tiên tiến, phương pháp này còn được gọi là phương pháp gia công lạnh. Phương pháp này có thể cắt được hầu hết các loại vật liệu trong chế tạo cơ khí mà các phương pháp gia công truyền thống khó hoặc không thể thực hiện được, đặc biệt thích hợp khi gia công các sản phẩm kim loại trên phôi dạng tấm mà gia công bằng laser hoặc Plasma khó có thể thực hiện được. Chiều sâu cắt lớn nhất bằng tia nước áp suất cao trộn

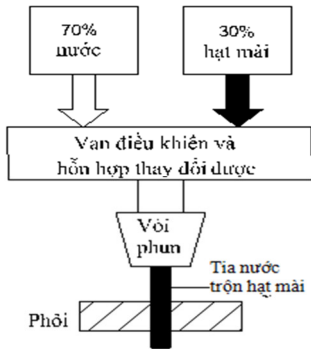
hạt mài là một trong các chỉ tiêu đầu ra, nó phụ thuộc vào rất nhiều thông số công nghệ, một số nghiên cứu cho vấn đề này đã chỉ ra giá trị thích hợp như sau: khoảng cách từ đầu vòi phun đến bề mặt gia công chọn từ $1 \div 2\text{mm}$ [5]; tỷ lệ hợp lý giữa đường kính vòi phun và đường kính vòi tăng tốc được xác định bằng từ 3 đến 4 lần [5]; Chiều sâu cắt lớn nhất tăng tỷ lệ thuận với áp suất nước và tỷ lệ nghịch với vận tốc dịch chuyển đầu cắt [1]; Lượng hạt mài được thêm vào trong tia nước khoảng 30% khối lượng nước thoát ra khỏi vòi phun [3]; Chiều sâu cắt lớn nhất cũng phụ thuộc vào loại hạt mài và kích thước hạt mài [2]. Ở nước ta các nghiên cứu về phương pháp gia công bằng tia nước áp suất cao trộn hạt mài để có thể chỉ dẫn cho doanh nghiệp khai thác và vận hành nó một cách hợp lý còn hạn chế. Vì vậy trong nghiên cứu này mức độ ảnh hưởng của hai thông số là lưu lượng hạt mài và vận tốc dịch chuyển đầu cắt đến chiều sâu cắt lớn nhất sẽ được đề cập đến.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

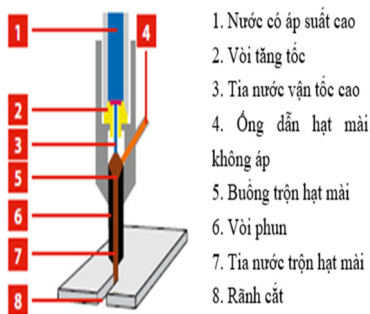
2.1. Nguyên lý gia công

Nguyên lý cắt (hình 1) của phương pháp này là tạo ra dòng nước có áp suất rất cao, dẫn cường bức đi qua vòi tăng tốc có đường kính rất nhỏ để tạo ra một tia nước có vận tốc rất lớn, khi tia nước đi qua một cửa cấp hạt mài không áp, do có chênh lệch áp suất, dòng hạt mài và không khí sẽ bị hút theo vào hòa trộn với tia nước trong buồng trộn. Mỗi hạt mài đi vào dòng tia nước với vận tốc không đáng kể. Nó bị các phần tử của dòng nước cuốn đi (tăng tốc) theo chiều chuyển động của tia nước để thoát ra khỏi vòi phun. Quá trình tăng tốc nếu hạt mài nào đó bị va vào thành vòi phun thì hạt mài đó sẽ bị bật lại tiếp tục bị các phần tử của dòng nước đẩy đi. Hiện tượng này xảy ra cho đến khi hướng vận tốc của các hạt mài gần như song song với hướng của tia nước vận tốc cao, lúc này hạt mài chuyển động cùng chiều với tia nước và bị bắn ra khỏi vòi phun để tham gia cắt vật liệu gia công. Các hạt mài tuy có khối lượng rất nhỏ nhưng lại có một động năng phá hủy vô cùng lớn. Khi bắn vào bề mặt phôi gia công, động năng của các hạt mài chuyển thành lực cắt cơ học. Các hạt mài lúc

này đóng vai trò như những dụng cụ cắt đơn lẻ. Ở góc độ thuận lợi, chúng thực hiện bóc tách phôi từ phôi gia công một cách dễ dàng.



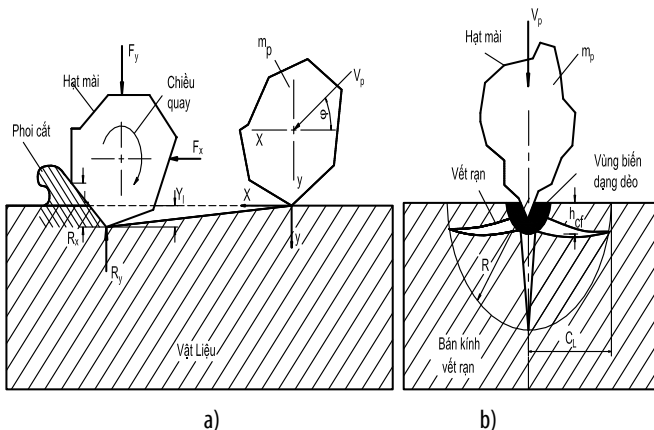
Hình 1. Sơ đồ gia công bằng tia nước áp suất cao trộn hạt mài



Hình 2. Nguyên lý cụm vòi phun tia nước trộn hạt mài

2.2. Nguyên lý bóc tách phôi

Khi một hạt mài bắn phá bề mặt vật liệu dẻo dưới một góc nhọn nào đó sẽ tạo ra góc độ thuận lợi để cắt vào vật liệu và tạo nên quá trình bóc tách phôi (hình 3). Trong quá trình cắt vào vật liệu, hạt mài thực hiện chuyển động tịnh tiến và xoay [2]. Chiều quay của hạt mài phụ thuộc vào trọng tâm và độ lớn góc trước γ của nó tại thời điểm va đập. Sau khi chạm vào vật liệu nó sẽ tiếp tục nén vào vật liệu và trước khi bật ra ngoài nó cắt được một phôi nhô lên trên bề mặt vật liệu (hình 3a). Độ lớn của phôi này chính bằng thể tích của vết lõm. Phôi nhô lên trên bề mặt vật liệu thường bị những hạt mài tiếp theo cắt đứt.



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng nguyên lý cắt của hạt mài [2,4]: a) Cắt tách phôi; b) Gây ra vết rạn nứt trên phôi

Khi một hạt mài bắn phá bề mặt vật liệu dẻo dưới một góc vuông sẽ tạo ra vùng biến dạng và vết nứt tế vi trên phôi tạo điều kiện cho quá trình cắt của các hạt tiếp sau được dễ dàng (hình 3b).

Tuy nhiên việc bóc tách vật liệu bởi tia nước trộn hạt mài không chỉ thực hiện quá trình cắt (hình 3a) mà còn có cả việc tạo môi, làm rạn nứt bề mặt gia công (hình 3b). Do vậy, quá trình bóc tách vật liệu của hạt mài rất phức tạp, phụ thuộc vào nhiều thông số như góc cắt, động năng của hạt mài, hình dạng hạt mài,...

3. CHUẨN BỊ THÍ NGHIỆM

3.1. Máy thí nghiệm: M23120B Follow Waterjet.

3.2. Vật liệu thí nghiệm: thép không gỉ ký hiệu: SUS 304, độ cứng 187HB.

3.3. Loại hạt mài và kích thước

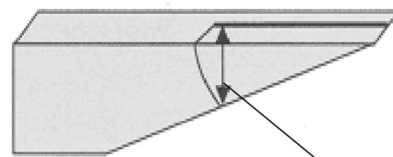
Hạt mài Garnet Sant cỡ hạt mesh 80 (xuất xứ Trung Quốc), là loại hạt đang được sử dụng phổ biến tại Việt Nam.

3.4. Xác định đường kính vòi tăng tốc và đường kính vòi phun

Đường kính lỗ vòi tăng tốc: $d_{ori} = 0,33$ (mm). Đường kính lỗ vòi phun: $d_f = 1,02$ (mm) [5].

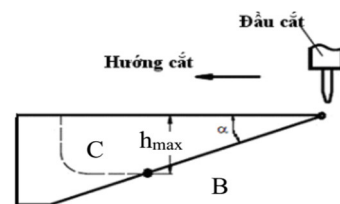
3.5. Thiết kế phôi thí nghiệm

Khả năng cắt của tia nước trộn hạt mài được phản ánh thông qua độ sâu cắt lớn nhất trên vật liệu, các thí nghiệm nghiên cứu khả năng cắt đều là những thí nghiệm cắt rãnh. Do đó phôi được thiết kế dạng hình chêm (hình 4). Chiều sâu cắt được tính sơ đồ mô tả trên hình 5.



Chiều dày thay đổi (tăng dần) theo hướng tiến từ phải sang trái

Hình 4. Ảnh phôi thép SUS 304 có chiều dày thay đổi



$$h_{max} = AB \cdot \sin \alpha$$

Hình 5. Sơ đồ phương pháp tính chiều sâu cắt lớn nhất

3.6. Xác định thông số đầu vào và chỉ tiêu đánh giá của thực nghiệm

Nhóm các thông số không điều chỉnh trong quá trình thực nghiệm gồm: Áp suất làm việc: $P = 300$ (MPa); Khoảng cách từ vòi phun đến bề mặt gia công: $\delta = 2$ (mm); Đường kính lỗ vòi tăng tốc: $d_{ori} = 0,33$ (mm); Đường kính lỗ vòi phun: $d_f = 1,02$ (mm); Chiều dài vòi phun: $l_f = 101,6$ (mm);

Nhóm các thông số điều chỉnh trong thực nghiệm: Vận tốc dịch chuyển đầu cắt: $V_{dc} = 20 - 50$ (mm/ph) và khối lượng lưu lượng hạt mài: $Q_{km} = 5 \div 10$ (g/s);

Chỉ tiêu đánh giá thực nghiệm là chiều sâu cắt lớn nhất: h (mm)

3.7. Thiết kế ma trận thực nghiệm hai biến đầu vào bằng Microsoft Excel

Gán biến đầu vào của thí nghiệm:

$$X_1 = V_{dc}; V_{dc \min} = -1; V_{dc \max} = +1; V_{dc \text{ trung bình}} = 0.$$

$$X_2 = Q_{km}; Q_{km \min} = -1; Q_{km \max} = +1; Q_{km \text{ trung bình}} = 0.$$

$$Y = h.$$

Số thí nghiệm theo 2 biến đầu vào: $2^k + 3 = 7$ ($K = 2$ biến)

Giả sử hàm hồi qui cho ma trận thí nghiệm với hai biến đầu vào x_1, x_2 có dạng:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_1 + b_4X_2X_2 + b_5X_2X_2$$

Ma trận thực nghiệm hai biến đầu vào có bổ sung thêm các biến bậc cao được thiết lập như bảng 1. Kết quả thí nghiệm thu được khi xác định chiều sâu cắt lớn nhất được phân tích trên phần mềm Microsoft Excel.

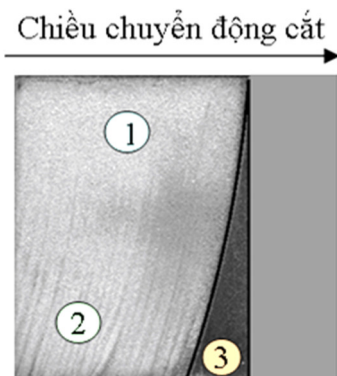
Bảng 1. Ma trận thực nghiệm biểu diễn quan hệ giữa Y với X_1, X_2 và kết quả thực nghiệm

STT	X_1	X_2	$X_1 * X_1$	$X_2 * X_2$	$X_1 * X_2$	Y
1	0	0	0	0	0	30,5
2	1	1	1	1	1	20,4
3	-1	1	1	1	-1	39,1
4	0	0	0	0	0	30
5	0	0	0	0	0	30,3
6	1	-1	1	1	-1	18,7
7	-1	-1	1	1	1	34,7

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Tình trạng mặt cắt

Do đặc điểm của tia nước trộn hạt mài là sự suy giảm năng lượng của dòng tia khi cắt sâu vào phôi, cho nên bề mặt gia công bằng phương pháp tia nước trộn hạt mài thường hình thành 3 hai khu vực (hình 6).



Hình 6. Ảnh 3 khu vực bề mặt thường hình thành trong gia công bằng tia nước trộn hạt mài: 1. Vùng cắt chất lượng cao; 2. Vùng cắt thô (gợn sóng); 3. Diện tích vùng cắt trễ

Ở phía lối vào của tia nước trộn hạt mài là khu vực (1), bề mặt của khu vực này bằng phẳng có chất lượng cao. Khu vực (2) là vùng cắt thô được nối tiếp từ khu vực (1), bề mặt của khu vực này đặc trưng bởi các đường gợn sóng có chiều cong ngược với chiều chuyển động của đầu cắt. Tiếp đến là khu vực (3), đây là diện tích vùng cắt trễ. Khu vực (2 và 3) chỉ xuất hiện khi độ dày vật liệu lớn hơn độ dày của khu vực (1). Chính vì sự không đồng đều về chất lượng trên bề mặt gia công nên không thể có một giá trị chung về độ nhấp nhô cho toàn bộ bề mặt. Cũng vì sự suy giảm năng lượng của tia nước trộn hạt mài khi cắt sâu vào phôi, sự phân phối hạt mài không đồng đều, làm cho tia nước trộn hạt mài không đủ khả năng cắt bỏ vật liệu. Dẫn đến bị lệch hướng, tạo nên các đường gợn sóng, có chiều cong ngược với chiều chuyển động của đầu cắt.

4.2. Chiều sâu cắt được

Chiều sâu cắt được theo ma trận thí nghiệm được tính theo công thức 1 và trình bày ở cột Y trong bảng 1.

4.3. Phương trình hồi quy

Sử dụng phần mềm Microsoft Excel phân tích số liệu sau thí nghiệm ở bảng 1 được kết quả trả ra như bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích số liệu thí nghiệm sau thí nghiệm bằng phần mềm Microsoft Excel

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.999802							
R Square	0.999603							
Adjusted R Square	0.49881							
Standard Error	0.251661							
Observations	7							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	5	319,2933	63,85867	1260,368421	0,021382			
Residual	2	0,126667	0,063333					
Total	7	319,42						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	30,26667	0,145297	208,3095	2,30445E-05	29,64151	30,89183	29,64151	30,89183
X1	-8,675	0,125831	-68,9419	0,000210328	-9,21641	-8,13359	-9,21641	-8,13359
X2	1,525	0,125831	12,11947	0,006739458	0,983595	2,066405	0,983595	2,066405
X1*X1	-2,04167	0,192209	-10,6221	0,008746859	-2,86868	-1,21466	-2,86868	-1,21466
X2*X2	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0
X1*X2	-0,675	0,125831	-5,36436	#NUM!	-1,21641	-0,13359	-1,21641	-0,13359

Căn cứ vào kết quả phân tích bảng 2, quan sát cột P-value, nhận thấy các hệ số để có giá trị xác suất P rất nhỏ so với mức ý nghĩa α (thường chọn $< 0,05$) Loại bỏ các biến có giá trị không hợp lệ. ($X_2 * X_2; X_1 * X_2$). Căn cứ vào các hệ số của các biến ở cột Coef. Phương trình hồi quy theo các hệ số các hệ số có ý nghĩa thống kê như sau:

$$Y = 30,266 - 8,675X_1 + 1,525X_2 - 2,041X_1^2 - 0,675 X_1X_2 \quad (1)$$

Quan sát phương trình (1) thấy rằng, mức độ ảnh hưởng của từng thông số đến đến chiều sâu cắt lớn nhất y khi gia công là khác nhau. (hệ số của biến nào mà giá trị tuyệt đối của nó lớn thì ảnh hưởng nhiều hơn). Như vậy X_1 có ảnh hưởng lớn nhất, sau đó đến X_2 và cuối cùng là tương tác $X_1 * X_2$. Như vậy muốn tăng chiều sâu cắt cách điều chỉnh nhanh nhất là giảm vận tốc đầu cắt vì X_1 có ảnh hưởng lớn nhất.

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này hai thông số công nghệ chính ảnh hưởng đến chiều sâu cắt lớn nhất khi gia công thép SUS 304 bằng tia nước áp suất cao trộn hạt mài kiểu không áp đã được chỉ ra. Dựa vào phương trình hồi quy thấy rằng mức độ ảnh hưởng của từng thông số đến chiều sâu cắt lớn nhất khi gia công là khác nhau: Vận tốc dịch chuyển đầu cắt có ảnh hưởng lớn nhất sau đó mới đến lưu lượng hạt mài. Do vậy trong gia công ứng với một vận tốc cần điều chỉnh hợp lý lưu lượng hạt mài để cắt được chiều sâu lớn nhất tránh trường hợp điều chỉnh lưu lượng hạt mài vào quá nhiều làm tăng chi phí hạt mài trong gia công

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn Công ty Cổ phần Phúc Sinh - Số 257C, Đường Hoàng Công Chất, Cầu Diễn, Hà Nội, đã tạo điều kiện cho tác giả thực hiện nghiên cứu này trên máy cắt bằng tia nước trộn hạt mài kiểu không áp của công ty.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trumph GmbH+Co, 1994. *Water Jet Cutting*. Technical information.
- [2]. Barton Mines Company, 2007. *Technical data and physical characteristics for Barton garnet abrasive grains and powders*.
- [3]. Vu Ngoc Pi, 2008. *Performance Enhancement of Abrasive Waterjet Cutting*. PhD Thesis, TU Delft, The Netherlands.
- [4]. Nguyen Quoc Tuan, Vu Ngoc Pi, Nguyen Van Hung, 2009. *Các phương pháp gia công tiên tiến*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [5]. WARDJet.com - Waterjet University

AUTHOR INFORMATION

Tran Quoc Hung

Hanoi University of Industry