

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA YẾU TỐ GÁ ĐẶT ĐẾN KẾT QUẢ ĐO BỀ MẶT TRÊN MÁY CMM

PRECISION STUDY OF SURFACE RESULT ON COORDINATE MEASURING MACHINE USING DIFFERENT FORCES WHEN CLAMPING

Đỗ Lê Hưng Toàn^{1*}, Nguyễn Ngọc Bằng², Lưu Đức Bình¹, Đỗ Hữu Trường Giang³

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Công ty Universal Alloy Corporation Việt Nam

³Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải Trung ương V

*Tác giả liên hệ: dlhtoan@dut.udn.vn

(Nhận bài: 10/6/2022; Chấp nhận đăng: 27/3/2023)

Tóm tắt - Trong bài viết này, tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố gá đặt đến kết quả đo lường bề mặt, các thực nghiệm được thực hiện với hai phương pháp gá đặt khác nhau: Đo với trạng thái tự do và kẹp cứng với thiết bị kẹp. Khi tác dụng lực sẽ ảnh hưởng đến các kết quả đo của dung sai bề mặt. Để từ đó có thể đánh giá được mức độ ảnh hưởng khi tác dụng lực đến kết quả đo bằng máy CMM. Các phép đo được thực hiện tại bốn vị trí khác nhau được phân bố dọc theo thể tích làm việc và các phép đo được lặp lại mười lần với mỗi cách gá, trong đó tất cả chúng được thực hiện ở nhiệt độ $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Sai lệch giữa hai phương pháp gá đặt lớn nhất: 0,0037inch, và sau khi cải thiện bằng phương pháp làm thẳng thì giảm xuống 0,0006 inch.

Từ khóa - CMM; gá đặt; kỹ thuật đo; phương pháp đo; bề mặt.

1. Đặt vấn đề

Hoạt động đo lường có vai trò rất quan trọng trong lĩnh vực sản xuất, đảm bảo chất lượng của sản phẩm cũng như nâng cao năng suất của nhà máy, cung cấp dữ liệu đánh giá quá trình sản xuất. Vì vậy, việc đảm bảo kết quả đo chính xác là một yếu tố vô cùng quan trọng. Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ và sự ra đời của các thiết bị đo hiện đại như: Máy 3d, máy quét laser, máy CMM [1],... các phép đo ngày càng đảm bảo độ chính xác cao. Tuy nhiên, trong quá trình tiến hành phép đo vẫn tồn tại những yếu tố ảnh hưởng đến kết quả của phép đo: Môi trường, nhiệt độ, độ giãn nở vì nhiệt, thiết bị đo, con người... [2].

Để cho ra kết quả có độ chính xác cao cần triệt tiêu những yếu tố ảnh hưởng trong khi thực hiện phép đo. Ngày nay phần lớn người ta sử dụng xây dựng phòng lab cho quá trình đo lường nhằm đảm bảo các yếu tố: Môi trường, nhiệt độ, máy móc thiết bị... Tuy nhiên, một yếu tố cốt lõi vẫn còn tồn tại ảnh hưởng đến kết quả của phép đo đó chính là gá đặt, nó phụ thuộc vào phương pháp và cách thức thực hiện phép đo [1-4].

Trong bài báo này, tác giả nghiên cứu sự ảnh hưởng khi gá đặt đến kết quả của phép đo. Khi gá đặt ở trạng thái tự do và khi gá đặt với thiết bị kẹp cứng, dựa vào kết quả của những lần đo chúng ta sẽ rút ra được kết luận [5]. Từ những kết quả của thực nghiệm sẽ tạo cơ sở cho việc đánh giá được sự ảnh hưởng của gá đặt đến kết quả đo lường

Abstract - In this study, the effects of preposition factors on the surface measurement results were investigated. Mounting methods with rigid clamping force and free mounting performed. Measurement experiments were carried out at five different locations distributed along the sample part in a stable environment. The measurement results on the CMM show the difference in distance when changing the mounting method. We form the sample part and get the results again. The resulting deviation is proportional to the length of the dimension to be measured. All measurements were performed in temperature control of range $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. The maximum deviation between two methods: 0.0037 inch and after straightening improvement reduced to 0.0006 inch.

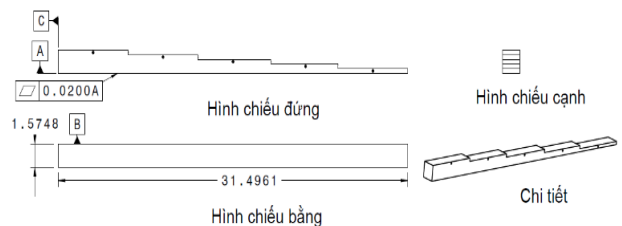
Key words - CMM; clamping devices; measurement; mounting method; surface.

nhằm nâng cao hiệu suất và chất lượng trong sản xuất cũng như làm tài liệu tham khảo trong giảng dạy môn học Kỹ thuật đo tại khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng.

2. Thực nghiệm

2.1. Mô hình tiến hành thực nghiệm

Mô hình chi tiết bằng nhôm có hình bậc thang được thiết kế để làm mô hình thực nghiệm cho nghiên cứu này, chiều dài mô hình 31.4961 inch. Chi tiết gồm 5 bậc thang, mỗi bậc cách đều nhau và có độ dài lần lượt là: 6,2992; 12,5984; 19,1339; 25,1969 và 31,4961 inch. Bề dày các bậc lần lượt theo thứ tự: 1,5748; 1,2598; 0,9449; 0,6299 và 0,3150 inch.



Hình 1. Bản vẽ chi tiết

Sử dụng phần mềm Catia V5.18 [6] tạo mô hình 3D với các kích thước được yêu cầu trong bản vẽ chi tiết sau đó tạo chương trình gia công trên mô hình 3D và gia công

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Do Le Hung Toan, Luu Duc Binh)

² Universal Alloy Corporation Vietnam (Nguyen Ngoc Bang)

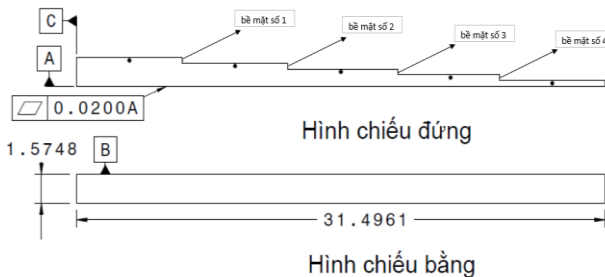
³ The Central College of Transport V (Do Huu Truong Giang)

bằng máy CNC MAG 3 hãng Makino. Ưu điểm máy CNC 5 trục chạy tự động bằng chương trình lập trình sẵn trong một lần gá đặt cho độ chính xác cao, có thể tiết kiệm được nguyên liệu cũng như nhân lực và thời gian vận hành.



Hình 2. Máy CNC MAG3 hãng Makino [7]

Khi đã có được chi tiết tiếp theo sẽ tiến hành kiểm tra thực nghiệm. Sử dụng phần mềm Camio 8.5 [8] tạo chương trình đo tự động trên máy CMM. Lập trình chương trình CMM đo các kích thước gồm: Sai lệch 4 bề mặt áp dụng dung sai $\pm 0,03$ inch và độ phẳng mặt chuẩn A như trên Hình 3 [4].



Hình 3. Bản vẽ đo CMM chi tiết

2.2. Máy CMM

Máy CMM được sử dụng trong nghiên cứu là máy CMM ALTERA S-Tyle 15.10.8 của Nikon [3], một trong những chiếc máy được tích hợp tất cả các tính năng bao gồm cảm biến tiếp xúc (đa cảm biến) và không tiếp xúc, với công nghệ gồm vượt trội và bàn đá ceramic, cung cấp các phép đo có độ chính xác cao.



Hình 4. Máy CMM ALTERA S-Tyle 15.10.8 [3]

Thông số cơ bản máy CMM ALTERA S-Tyle 15.10.8:

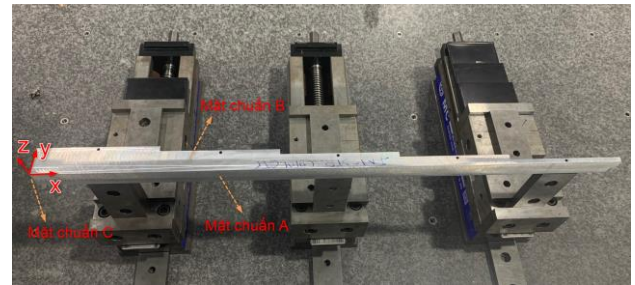
- + Kích thước: 15x10x8 Dm;
- + Độ chính xác: từ $1,8 \mu\text{m} + L/400$;
- + Độ lặp lại: từ $1,7 \mu\text{m}$;
- + Tốc độ: từ 762 mm/s;
- + Gia tốc: từ 2306 mm/s^2 .

2.3. Tiến hành đo thực nghiệm

Tiến hành dùng máy CMM đo chi tiết hình bậc thang bằng chương trình đo đã lập trình sẵn bằng 2 phương pháp: Chi tiết gá đo tự do (Hình 5) và chi tiết được kẹp chặt (Hình 6).

2.3.1. Đo ở trạng thái tự do

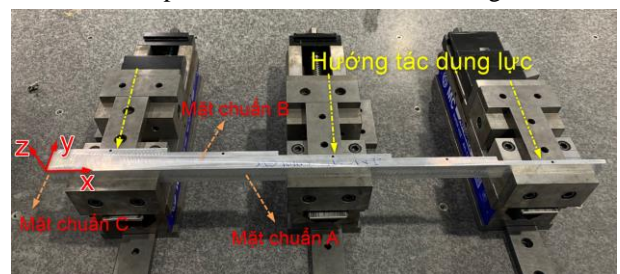
Khi đo ở trạng thái tự do, chi tiết được đặt tự do, không tác dụng bất kì lực gì lên chi tiết, đặt chi tiết trên 3 thanh đỡ mục đích thông thoáng, không có chướng ngại vật để máy CMM dễ dàng chạm các vị trí cần đo, mỗi trụ cách nhau khoảng 10-12 inch, mặt chuẩn C cách trụ đầu tiên khoảng 2-5 inch.



Hình 5. Đo ở trạng thái tự do

2.3.2. Đo ở trạng thái kẹp chặt

Khi kẹp chặt, dùng 3 đồ gá có một mặt phẳng song song với mặt bàn và một mặt song song với trục tung của máy, sắp xếp 3 đồ gá thẳng hàng nhau, dùng máy CMM kiểm tra độ phẳng của 3 mặt 3 đồ gá song song với mặt bàn CMM, sao cho độ song song nhỏ hơn 0,0003 inch. Chạm 6 điểm của 3 đồ gá mặt song song trục hoành máy CMM, sắp xếp sao cho độ lệch lớn nhất của 6 điểm nhỏ hơn 0,0003 inch. Đặt chi tiết sao cho mặt chuẩn A tiếp xúc với mặt song song trục tung của đồ gá, mặt còn lại tiếp xúc với mặt song song mặt bàn của đồ gá, các đồ gá cũng sắp xếp nhau các đều khoảng cách giống như lúc đo tự do. Dùng má kẹp còn lại kẹp siết chặt sao cho mặt chuẩn A tiếp xúc hoàn toàn với mặt của đồ gá.



Hình 6. Đo ở trạng thái kẹp chặt

Kết quả thực nghiệm thu được gồm: Giá trị đo độ phẳng của mặt chuẩn A và chênh lệch tọa độ X, Y, Z giữa thực tế và lý thuyết của từng điểm chạm trên từng bề mặt. Mỗi bề mặt được chạm 3 điểm trải đều, trung bình các điểm chạm trên mỗi bề mặt chính là khoảng cách của từng bậc đến mặt chuẩn C. Mặt chuẩn A được chạm 21 điểm trải dọc theo chiều dài của chi tiết, mỗi điểm cách nhau khoảng 15-16 inch.

Sau khi thực hiện xong các bước đo của 2 phương pháp, chi tiết được đưa đi cải thiện bằng phương pháp làm thẳng bằng máy ép thủy lực Hydraulic Press 200-ton của Wuxi Kelai NC Machine Tool Co [13]. Cờ làm thẳng là thanh thép Carbon đã được hiệu chuẩn với giá trị hiệu chuẩn độ phẳng bề mặt là 0,0001 inch. Chi tiết sẽ được máy ép thủy lực làm thẳng theo mặt chuẩn A (Hình 7).



Hình 7. Hướng tác dụng lực của máy nén thủy lực

3. Kết quả đo và thảo luận giải pháp cải thiện

3.1. Kết quả đo

Bảng 1 thể hiện giá trị đo được của bề mặt số 1 đo chi tiết qua 2 phương pháp gá đặt, và thực hiện 10 lần đo. Kết quả nhận được của mỗi bề mặt là tọa độ của từng điểm chạm theo 3 trục X, Y và Z. Nhưng các bề mặt được chạm có phương song song với mặt chuẩn C và vuông góc với 2 mặt chuẩn còn lại, vì vậy giá trị tọa độ nhận được chỉ có trục X biến thiên, còn trục Y và Z là như nhau trong 10 lần đo của cả 2 phương pháp. Do đó, để so sánh độ lệch khi đo chi tiết giữa 2 phương pháp tác giả so sánh giá trị biến thiên của trục X. [16, 17]

Bảng 1. Kết quả đo của bề mặt số 1

Số lần đo	Kẹp chặt			Đo tự do		
	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3
1	6,2996	6,2994	6,2995	6,2981	6,2984	6,2988
2	6,2995	6,2993	6,2994	6,2982	6,2985	6,2988
3	6,2995	6,2995	6,2995	6,2982	6,2984	6,2988
4	6,2995	6,2995	6,2996	6,2981	6,2985	6,2989
5	6,2996	6,2994	6,2995	6,2983	6,2985	6,2988
6	6,2996	6,2994	6,2996	6,2981	6,2984	6,2989
7	6,2997	6,2994	6,2995	6,2982	6,2984	6,2989
8	6,2995	6,2994	6,2996	6,2982	6,2985	6,2988
9	6,2996	6,2993	6,2995	6,2981	6,2984	6,2989
10	6,2996	6,2995	6,2995	6,2981	6,2984	6,2988

Bảng 2. Kết quả đo của bề mặt số 2

Số lần đo	Kẹp chặt			Đo tự do		
	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3
1	12,5991	12,5991	12,5991	12,5972	12,5973	12,5972
2	12,5992	12,5992	12,5992	12,5973	12,5972	12,5974
3	12,5994	12,5994	12,5994	12,5974	12,5973	12,5972
4	12,5992	12,5992	12,5992	12,5974	12,5972	12,5973
5	12,5993	12,5993	12,5993	12,5972	12,5974	12,5973
6	12,5992	12,5992	12,5992	12,5973	12,5974	12,5974
7	12,5993	12,5993	12,5993	12,5973	12,5972	12,5974
8	12,5993	12,5993	12,5993	12,5974	12,5974	12,5974
9	12,5992	12,5992	12,5992	12,5972	12,5972	12,5972
10	12,5993	12,5993	12,5993	12,5972	12,5973	12,5973

Bảng 3. Kết quả đo của bề mặt số 3

Số lần đo	Kẹp chặt			Đo tự do		
	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3
1	19,1355	19,1352	19,1352	19,1321	19,1321	19,1323
2	19,1355	19,1351	19,1351	19,1322	19,1322	19,1321
3	19,1357	19,1352	19,1351	19,1323	19,1321	19,1321
4	19,1356	19,1351	19,1351	19,1323	19,1322	19,1321
5	19,1356	19,1351	19,1352	19,1321	19,1321	19,1323
6	19,1357	19,1352	19,1351	19,1322	19,1323	19,1321
7	19,1356	19,1351	19,1351	19,1323	19,1321	19,1321
8	19,1357	19,1352	19,1351	19,1323	19,1322	19,1322
9	19,1356	19,1351	19,1351	19,1322	19,1321	19,1321
10	19,1357	19,1352	19,1352	19,1322	19,1321	19,1322

Bảng 4. Kết quả đo của bề mặt số 4

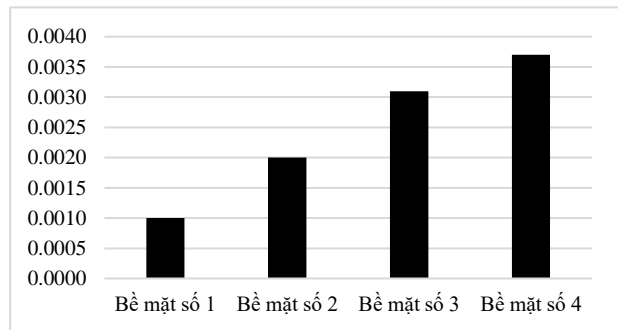
Số lần đo	Kẹp chặt			Đo tự do		
	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3
1	25,1999	25,2001	25,2000	25,1962	25,1963	25,1964
2	25,1999	25,1999	25,2000	25,1963	25,1962	25,1963
3	25,2001	25,2001	25,2000	25,1963	25,1964	25,1962
4	25,2000	25,2001	25,2001	25,1963	25,1963	25,1963
5	25,2000	25,1999	25,2001	25,1962	25,1962	25,1964
6	25,2001	25,2001	25,2001	25,1964	25,1963	25,1962
7	25,2000	25,1999	25,2000	25,1962	25,1962	25,1962
8	25,2001	25,1999	25,2001	25,1962	25,1964	25,1964
9	25,2000	25,2000	25,2001	25,1963	25,1963	25,1963
10	25,2000	25,1999	25,2000	25,1964	25,1962	25,1962

Bảng 5. Giá trị trung bình và chênh lệch giữa 2 phương pháp đo

Phương pháp	Bề mặt số 1	Bề mặt số 2	Bề mặt số 3	Bề mặt số 4
Kẹp chặt	6,2995	12,5993	19,1353	25,2000
Đo tự do	6,2985	12,5973	19,1322	25,1963
Chênh lệch	0,0010	0,0020	0,0031	0,0037

Bảng 2, 3, 4 thể hiện giá trị đo được của bề mặt số 2 khi sử dụng 2 phương pháp, và thực hiện 10 lần đo.

Bảng 5 thể hiện giá trị trung bình từng bề mặt khi đo bằng 2 phương pháp.



Hình 8. Biểu đồ chênh lệch giữa 2 phương pháp đo

Hình 8 thể hiện độ chênh lệch giữa 2 phương pháp đo. Từ bảng so sánh kết quả và biểu đồ có thể thấy, khi được kẹp chặt, chi tiết được nắn thẳng và do đó các bề mặt được đo có xu hướng dịch chuyển ra xa mặt chuẩn C hơn khi đo ở trạng thái tự do, điển hình dài hơn 0,0037 inch ở bề mặt

số 4 xa mặt chuẩn C nhất và dài hơn 0,0010 inch ở bề mặt số 1 gần mặt chuẩn C nhất. Khi khoảng cách càng xa mặt chuẩn C, sai lệch càng nhiều vậy nên nhận thấy chênh lệch giữa 2 phương pháp đo càng lớn khi đo các bề mặt càng xa mặt chuẩn.

3.2. Giải pháp cải thiện

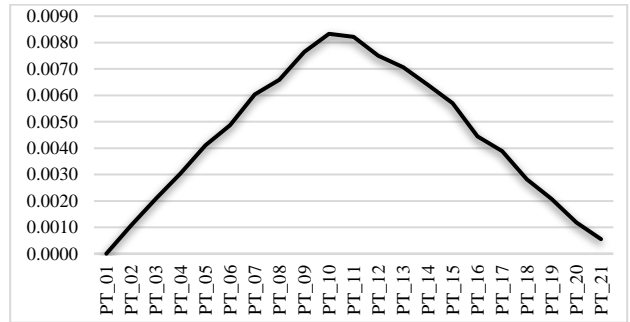
Sự chênh lệch ảnh hưởng chủ yếu từ độ biến dạng của chi tiết sau khi gia công, để biết được chi tiết bị ảnh hưởng như thế nào, tác giả đo độ phẳng của mặt chuẩn A tương ứng với hướng tác dụng lực (Bảng 6) và xu hướng biến dạng của chi tiết bằng cách xuất tọa độ điểm tọa khi chạm điểm mặt chuẩn A (Bảng 7) so với trụ tọa độ phương Y. Các điểm chạm này sẽ có độ lệch với nhau, xây dựng biểu đồ độ lệch để thấy xu hướng biến dạng.

Bảng 6. Kết quả đo độ phẳng của mặt chuẩn A

Số lần đo	Kẹp chặt	Đo tự do
1	0,0011	0,0082
2	0,0012	0,0083
3	0,0011	0,0083
4	0,0010	0,0082
5	0,0012	0,0083
6	0,0011	0,0083
7	0,0010	0,0083
8	0,0012	0,0082
9	0,0011	0,0083
10	0,0011	0,0083
Trung bình	0,0011	0,0083

Bảng 7. Chênh lệch giá trị các điểm chạm so với mặt chuẩn A khi được đo tự do

TÊN	TỌA ĐỘ ĐIỂM CHẠM		ĐỘ LỆCH
	X	Z	Y
PT_01	0,7871	-0,8000	0,0000
PT_02	1,5827	-0,8000	0,0011
PT_03	3,1575	-0,8000	0,0021
PT_04	4,7323	-0,8000	0,0030
PT_05	6,3071	-0,8000	0,0041
PT_06	7,8819	-0,8000	0,0049
PT_07	9,4567	-0,8000	0,0060
PT_08	11,0315	-0,8000	0,0066
PT_09	12,6063	-0,8000	0,0076
PT_10	14,1811	-0,8000	0,0083
PT_11	15,7559	-0,8000	0,0082
PT_12	17,3307	-0,8000	0,0075
PT_13	18,9055	-0,8000	0,0071
PT_14	20,4803	-0,8000	0,0064
PT_15	22,0551	-0,8000	0,0057
PT_16	23,6299	-0,8000	0,0044
PT_17	25,2047	-0,8000	0,0039
PT_18	26,7795	-0,8000	0,0028
PT_19	28,3543	-0,8000	0,0021
PT_20	29,9291	-0,8000	0,0012
PT_21	31,4882	-0,8000	0,0006



Hình 9. Biểu đồ xu hướng cong của mặt chuẩn A khi được đo ở trạng thái tự do

Để khắc phục điều đó, chi tiết được đưa sang công đoạn làm thẳng để ép lại chi tiết với cỡ làm thẳng có sai số sau khi hiệu chuẩn 0,0001 inch. Lực uốn dùng cho máy nén khoảng 240 (kN) được tính dựa trên công thức (1) [14, 15]:

$$P = C \times \frac{L \times t^2 \times \sigma_h}{V} \quad (1)$$

Trong đó:

P: Lực cần thiết trong uốn V (kN);

L: Chiều dài uốn (m);

C: Hệ số bù;

t: Chiều dày vật liệu (mm);

V: Chiều rộng V của khuôn uốn (mm);

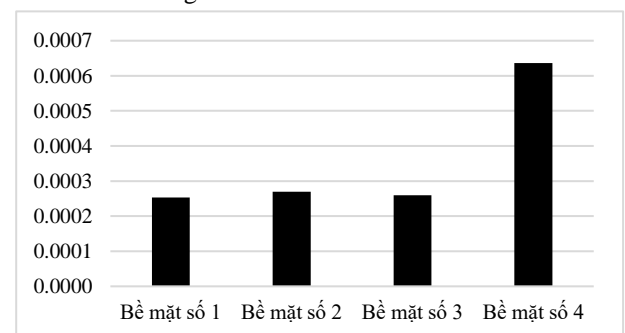
σ_h : Giới hạn bền vật liệu (N/mm²): 505 MPa [8].

Tại công đoạn làm thẳng, sử dụng máy ép thủy lực để làm thẳng chi tiết. Sau khi làm thẳng, tiến hành đo chi tiết theo phương pháp để tự do 10 lần đo và tổng hợp kết quả.

Bảng 8. Giá trị trung bình đo được khi đã làm thẳng

Phương pháp	Bề mặt số 1	Bề mặt số 2	Bề mặt số 3	Bề mặt số 4
Kẹp chặt	6,2995	12,5993	19,1353	25,2000
Sau khi làm thẳng	6,2992	12,5990	19,1350	25,1994
Chênh lệch	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006

Bảng 8 thể hiện giá trị trung bình 4 bề mặt đo của chi tiết khi được kẹp chặt và sau khi được làm thẳng. Từ đó ta có thể dựng biểu đồ 2, giá trị chênh lệch của 2 phương pháp sau khi làm thẳng là rất nhỏ.



Hình 10. Biểu đồ chênh lệch của 2 phương pháp sau làm thẳng

Dựa vào bảng tổng kết kết quả 10 lần đo với hai phương pháp khác nhau bằng thực nghiệm cho thấy, sự sai khác của các bề mặt chính là sự sai khác diễn ra đối với tọa độ trục X. Để làm rõ vấn đề này, tác giả tiến hành

so sách kết quả đo độ phẳng của mặt chuẩn A dựa trên 2 phương pháp đo lúc chưa uốn và sau làm thẳng, kết quả thu được như Bảng 9.

Bảng 9. Kết quả đo độ phẳng của chi tiết sau 4 cách đo khác nhau

Số lần đo	Chi tiết chưa làm thẳng		Chi tiết sau làm thẳng	
	Kẹp chặt	Đo tự do	Kẹp chặt	Đo tự do
1	0,0011	0,0082	0,0010	0,0013
2	0,0012	0,0083	0,0010	0,0015
3	0,0011	0,0083	0,0011	0,0014
4	0,0010	0,0082	0,0012	0,0015
5	0,0012	0,0083	0,0011	0,0015
6	0,0011	0,0083	0,0010	0,0014
7	0,0010	0,0083	0,0010	0,0014
8	0,0012	0,0082	0,0011	0,0014
9	0,0011	0,0083	0,0011	0,0015
10	0,0011	0,0083	0,0010	0,0014
Trung bình	0,0011	0,0083	0,0011	0,0014

4. Kết luận

Trong nghiên cứu ảnh hưởng của sự gá đặt đến kết quả đo được, đều sử dụng cùng một máy đo, thực hiện 10 lần mỗi phương pháp với 2 chi tiết bằng nhôm gia công theo hình dạng bậc thang thẳng. Sau khi đo, lấy giá trị trung bình của các phép đo và đưa đi tính toán ta thấy, kết quả có sự khác biệt giữa hai phương pháp gá đặt. Tại vị trí bề mặt số 1 sai khác giữa hai phương pháp là: 0,0010 inch, tương tự lần cho bề mặt số 2, 3, 4 lần lượt là: 0,0020; 0,0031 và cao nhất là 0,0037 inch [Bảng 5].

Sử dụng kết quả đo độ bằng phẳng của mặt chuẩn A, ta thấy khi đo tự do lúc chưa uốn chi tiết bị biến dạng lớn hơn nhiều so với khi kẹp chặt, sai số giữa 2 kết quả đo là 0,0073 inch. Nhưng sau khi đã làm thẳng chi tiết, sai số giữa 2 phương pháp đo chỉ 0,0003 inch. Như vậy khi kẹp chặt, chi tiết đã được ép thẳng theo phương Y, khi đó kết quả sẽ chênh lệch nhiều so với lúc đo tự do, chứng tỏ chi tiết sau gia công cong hơn so lý thuyết.

Qua trên chúng ta thấy, yếu tố gá đặt ảnh hưởng đến kết quả của phép đo, nhất là chiều dài chi tiết, để đưa ra một kết quả đo chính xác chúng ta cần tính đến yếu tố này khi thiết kế và áp dụng phương pháp đo chính xác khi tiến hành đo đạt kiểm tra. Ngoài ra, bài báo này, còn có thể làm tiền đề để nghiên cứu số liệu áp dụng lực trong phương

pháp gá đặt khi đo bằng máy CMM và uốn chi tiết bằng máy nén thủy lực, xây dựng số liệu tác dụng lực cho sản xuất sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nikon Metrology Inc, "CAMIO Multi-sensor metrology software - Faster and easier CMM inspection", www.nikonmetrology.com, [Online] <https://www.nikonmetrology.com/en-us/lk-metrology-camio>, ngày truy cập 10/03/2022.
- [2] Douglas C, Montgomery, *Design and Analysis of Experiments – Eighth Edition*, John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [3] LK Metrology Inc, "Altera Coordinate Measuring Machines", www.nikonmetrology.com, [Online] www.nikonmetrology.com/images/brochures/altera-en.pdf, ngày truy cập 20/03/2022.
- [4] Engineer Essentials - creators of GD&T Basics, "Our Comprehensive List of GD&T Symbols", GT&D Basics [Online] <https://www.gdandtbasics.com/gdt-symbols>, ngày truy cập 15/02/2022.
- [5] Thái Thị Thu Hà, *Hướng dẫn thí nghiệm kỹ thuật đo lường cơ khí*, Nhà xuất bản, Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2018.
- [6] Nguyễn Phước Hải (14/08/2018), "Phần mềm Catia", advancecad.edu.vn, [Online] <https://advancecad.edu.vn/phan-mem-catia>, ngày truy cập 02/03/2022.
- [7] "MAG3 Horizontal Machining 5-Axis", www.makino.com, [Online] <https://www.makino.com/en-us/machine-technology/machines/horizontal-5-axis/mag3>, ngày truy cập 10/03/2022.
- [8] "CAMIO Multi-sensor metrology software - Faster and easier CMM inspection", www.nikonmetrology.com, [Online] <https://www.nikonmetrology.com/en-us/lk-metrology-camio>, ngày truy cập 10/03/2022.
- [9] "Hydraulic Powder Forming Press", [kelaiexpress.com](http://m.kelaiexpress.com), [Online] <http://m.kelaiexpress.com/showroom/hydraulic-powder-forming-press.html>, ngày truy cập 12/3/2022.
- [10] Nguyễn Văn Thành, *Giáo trình uốn công nghệ NC*, Nhà xuất bản Lao động – Xã hội, 2007.
- [11] ASME (2019), "ASME14,5", [Online] www.asme.org, ngày truy cập 15/02/2022.
- [12] Gene R, Cogorno, *Geometric dimensioning and tolerancing for mechanical design – Second Edition*, McGraw-Hill, 2011.
- [13] Nguyễn Hoàng Mai, *Giáo trình kỹ thuật đo lường*, Nhà xuất bản xây dựng, 2019.
- [14] Trương Văn Chính, "Giáo trình Vật Liệu Cơ Khí", sites.google.com, [Online] <https://sites.google.com/site/truongvanchinhvatlieucokhi/home/bien-dang-va-co-tinh-cua-vat-lieu/pha-huy-trong-dieu-kien-tai-trong-tinh>, ngày truy cập 12/03/2022.
- [15] Trần Quốc Hùng, *Dụng sai kỹ thuật đo*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2016.
- [16] Thomas G, Beckwith, Roy D, Marangoni, John H, Lienhard V, *Mechanical Measurements – Sixth Edition*, Pearson International Edition, 2014.
- [17] Harold Rothbart and Thomas H, Brown, *Mechanical Design Handbook*, McGraw-Hill HandBook, 2018.