

CHIẾN LƯỢC LẤY MẪU KHI ĐO CÁC CHI TIẾT DẠNG TRÒN XOAY BẰNG MÁY ĐO TỌA ĐỘ

SAMPLING STRATEGY WHEN MEASURING CYLINDER WORKPIECE BY COORDINATE MEASURING MACHINE

Nguyễn Thành Trung

Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày ảnh hưởng của việc lấy mẫu các điểm đo khi đo chi tiết trụ trên máy đo tọa độ (CMM). Mục đích của nghiên cứu này là để xác định mối quan hệ giữa số lượng điểm đo, vị trí các điểm đo với kết quả đường kính và sai lệch độ tròn. Để xác định số lượng điểm đo tối ưu khi đo các chi tiết chính xác cao, chi tiết lỗ chuẩn được đo trên máy đo tọa độ và các kết quả đo được phân tích, thảo luận. Ảnh hưởng của số lượng điểm đo và vị trí lấy điểm đo đầu tiên được đánh giá kỹ lưỡng.

Từ khóa: Chiến lược lấy mẫu; Chi tiết tròn xoay; Máy đo tọa độ.

ABSTRACT

This paper presents the effect of sampling measurement points when measuring cylinder workpiece on coordinate measuring machine. The purpose of this study is to determine the relationship between the number of measuring points, the location of measuring points and calculated roundness, diameter. To determine the optimal number of measuring points when measuring high-precision parts, the ring gauge is measured on a coordinate measuring machine and the measurement results are analyzed and discussed. The influence of the number of measuring points and the location of the first measurement point is carefully evaluated.

Keywords: Sampling strategy; Cylinder workpiece; Coordinate measuring machine.

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm qua, kỹ thuật đo tọa độ đã trở nên ngày càng quan trọng và phổ biến khi kiểm tra sản phẩm cơ khí. Các chi tiết cơ khí dạng tròn xoay chiếm tỷ trọng đáng kể như: Piston, xylanh, trục khuỷu, tay biên (đầu to, đầu nhỏ), trục dẫn động ... và độ tròn của chi tiết ảnh hưởng lớn đến khả năng lắp ghép, làm việc của chúng, do vậy, đánh giá độ tròn

là công việc chủ yếu trong các phòng kiểm tra chất lượng.

Tùy theo mục đích làm việc của chi tiết cần kiểm tra mà thuật toán nên chọn trong khi đo bằng máy đo tọa độ là: Đường tròn bình phương tối thiểu (LSC – Least square circle), đường tròn nội tiếp lớn nhất (MIC – Maximum Inscribed circle), đường tròn ngoại tiếp nhỏ nhất (MCC – Minimum circumscribed circle) 

đường tròn miền tối thiểu (Minimum zone circle) [1, 2]. Phép đo được thực hiện bằng việc lấy một số lượng điểm đo nhất định trên bề mặt đo rồi xây dựng nên đặc điểm hình học thay thế dựa vào dữ liệu thu được. Tuy nhiên, tọa độ các điểm đo không bao giờ là chính xác tuyệt đối, do vậy, luôn có sai số nhỏ đối với từng điểm đo dẫn đến độ không đảm bảo đo của kết quả cuối cùng. Độ không đảm bảo đo bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như: Số lượng điểm đo, vị trí của các điểm đo trên bề mặt đo và các sai số vốn có của phép đo và thiết bị đo. Do vậy, cần có các khảo sát một cách có hệ thống để xác định ảnh hưởng của số lượng và sự phân bố điểm đo đến độ chính xác và tin cậy của phép đo tọa độ.

Bài báo này, giải quyết vấn đề về chiến lược lấy mẫu khi các phép đo được thực hiện trên máy đo tọa độ. Mục đích là để đánh giá các sai số trong quá trình kiểm tra chi tiết dạng trụ tròn xoay và các thí nghiệm được tiến hành để xác thực các kết quả này.

2. CHIẾN LƯỢC LẤY MẪU

Chiến lược lấy mẫu là việc đưa ra quyết định về số lượng điểm chạm cần thiết để đo và cách phân bố các điểm này. Gần đây, điều này đã được công nhận là một thành phần chính của độ không đảm bảo đo [3] và là yếu tố quan trọng nhất chi phối hiệu quả của việc đánh giá dung sai [4]. Hầu hết các phép đo tọa độ ngày nay sử dụng một số điểm tương đối nhỏ để xác định hình dạng hình học đối tượng đo.

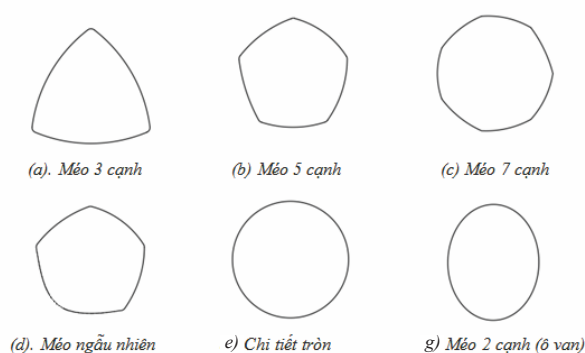
Nói chung, có hai loại kỹ thuật lấy mẫu chính: Lấy mẫu ngẫu nhiên và lấy mẫu cách đều. Trong kỹ thuật lấy mẫu ngẫu nhiên, các điểm lấy mẫu được phân bố ngẫu nhiên trên bề mặt phôi. Những điểm này thường được phân bố không hợp lý bó hẹp trong một khu vực nào đấy và do đó cung cấp một biểu diễn không khách quan về đặc điểm hình học. Mặt khác,

lấy mẫu cách đều bao phủ toàn bộ hình dạng của phôi, tức là bằng cách phân bố đều các góc đối với tâm ước lượng của một đối tượng tròn. Do đó, dữ liệu thu thập được giả định là đại diện cho bề mặt được đo.

Tọa độ x , y , z của các điểm đo được sử dụng để tính toán ra các thông số yêu cầu (như đường kính, tọa độ tâm, khoảng cách tâm ...). Tuy nhiên, thuật toán sử dụng để khớp với dữ liệu điểm đo rất nhạy cảm. Ngoài ra, việc lựa chọn và phân bố các điểm đo hoàn toàn được quyết định bởi người vận hành, do đó, có thể phát sinh các sai số do điều kiện đo và vị trí của đối tượng cần đo. Hình 1, cho thấy các sai lệch hình học đặc trưng của chi tiết dạng tròn. Trong hầu hết các quy trình sản xuất, số cạnh méo của chi tiết chiếm ưu thế là hai hoặc ba, đôi khi méo bốn hoặc năm cạnh cũng xuất hiện. Nếu số lượng điểm đo rời rạc được sử dụng để đo chi tiết dạng tròn thì sự thay đổi trong kết quả thu được là hệ quả của thông tin khác nhau được cung cấp thông qua các phép đo. Trình tự của thao tác định vị và lấy mẫu trong quá trình đánh giá có thể ảnh hưởng rất nhiều đến độ lệch của phép đo. Điều này có nghĩa là cả độ lệch phép đo do thao tác lấy mẫu và độ lệch hình dạng của phôi gia công đều ảnh hưởng đến kết quả đo được.

Nếu chi tiết đo lại sử dụng một chiến lược lấy mẫu khác, thì một kết quả khác có thể xuất hiện. Mỗi kết quả đo đều dựa trên thông tin hạn chế được cung cấp bởi số điểm đo về được sử dụng. Điều này cho thấy rằng, cần phải biết các dạng đặc trưng cho quy trình sản xuất được sử dụng trước khi tính toán số điểm đo tối ưu và cân bằng giữa nhu cầu về thông tin đáng tin cậy với các cân nhắc về hiệu quả kinh tế. Tuy nhiên, không có tiêu chuẩn nào nêu rõ cần lấy bao nhiêu điểm đo và cách phân bố các điểm này trên bề mặt tiếp xúc trong quá trình

đo. Các điểm dữ liệu được lấy mẫu cũng có thể tạo ra sự khác biệt khi các thuật toán khác nhau được sử dụng để tính toán. Do đó, cần có một chiến lược lấy mẫu tiêu chuẩn (các điểm lấy mẫu, phân bố và thuật toán của chúng) cho các chi tiết khác nhau dưới ảnh hưởng của các tham số khác nhau và độ tin cậy của phép đo. Trong một số trường hợp, việc lấy mẫu không chính xác có thể dẫn đến việc loại bỏ các sản phẩm tốt hoặc chấp nhận sản phẩm loại.



Hình 1. Độ méo cạnh đặc trưng của các chi tiết dạng tròn

Các ước tính tốt nhất của các kết quả thu được khi các điểm được lấy mẫu đối xứng và phân bố đồng đều trên bề mặt của bề mặt được đo. Ngoài ra, việc lập trình một máy đo để di chuyển theo các khoảng góc hoặc không gian bằng nhau sẽ dễ dàng hơn nhiều so với việc sử dụng các kỹ thuật lấy mẫu khác. Trong các thí nghiệm ở các phần tiếp theo sẽ tập trung chủ yếu vào lấy mẫu cách đều nhau, vì nó đã được chứng minh là thiết thực nhất đối với người dùng bình thường.

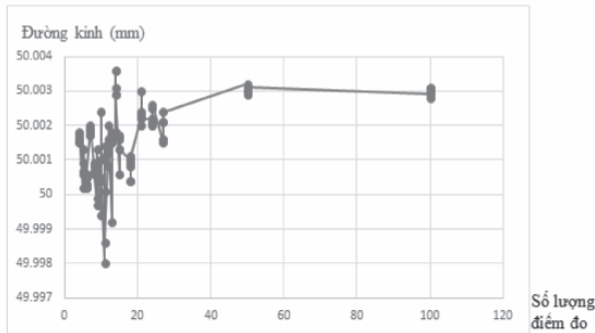
3. PHƯƠNG PHÁP ĐO VÀ CÁC KẾT QUẢ

Chi tiết đo được sử dụng trong thực nghiệm này là chi tiết lỗ chuẩn (ring gauge) của hãng Mitutoyo ký hiệu 177-146 có đường kính danh nghĩa 50,002 mm, độ tròn 0,001 mm và một kích thước lỗ trên vỏ hộp giảm tốc có kích

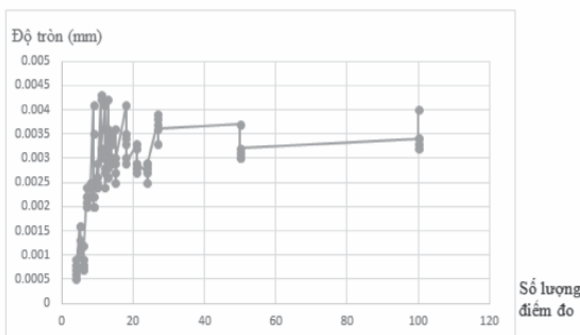
thước danh nghĩa và dung sai $\varnothing 52G7 \begin{smallmatrix} +0,034 \\ +0,009 \end{smallmatrix}$, độ tròn đạt cấp chính xác 8 (tương ứng là 0,02 mm với kích thước trên 30 đến 50 mm [5]). Các phép đo được thực hiện trên máy đo tọa độ Mitutoyo Crysta Apex S544 có sai số cho phép lớn nhất $E0, MPE = 2,2 + 4L/1000 \mu m$, điều kiện môi trường nhiệt độ $27 \pm 1^\circ C$, độ ẩm $50 \pm 5\%$. Để thực hiện các phép đo, một hệ tọa độ Descartes được đặt lên chi tiết đo với cách xác định là mặt phẳng Oxy trùng với mặt đầu của chi tiết lỗ cần đo, góc 0 trùng với tâm của lỗ đo và trục 0x trùng với trục x của máy đo.

Để đánh giá ảnh hưởng của số lượng điểm đo và độ chính xác trong phương pháp đo đường kính và độ tròn trên CMM, chi tiết lỗ chuẩn được đo với số lượng điểm đo là: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 21, 24, 27, 50, 100. Mỗi phép đo thực hiện 5 lần, sử dụng thuật toán đường tròn miền tối thiểu (Minimum zone circle) để tính toán đường kính và độ tròn. Hình 2, thể hiện các giá trị đường kính tương ứng với số lượng điểm đo, kết quả của tất cả các lần đo nằm trong phạm vi $49,9980 \div 50,0036$ mm và không có khác biệt nhiều ở số lượng điểm đo khác nhau. Kết quả này cũng rất hợp lý với giá trị đường kính danh nghĩa 50,002 của chi tiết đo. Tuy nhiên, với số lượng điểm đo càng lớn thì sự chênh lệch kết quả giữa 5 lần đo càng ít, sự chênh lệch đường kính nhỏ nhất là 0,0003 mm ứng với 50 điểm đo so với 0,0034 mm của 11 điểm đo. Ngoài ra, đường kính của chi tiết hình trụ khi đo trên CMM thay đổi rất nhiều theo bốn thuật toán được sử dụng, trong tài liệu [6], đường kính thay đổi lớn nhất lên đến 0,0195 mm với cùng một bộ dữ liệu tọa độ điểm đo khi đo chi tiết đường kính 50 mm, sử dụng hai thuật toán khác nhau là đường tròn ngoại tiếp nhỏ nhất và đường tròn nội tiếp lớn nhất. Biểu đồ thể hiện kết quả đo độ tròn theo số lượng điểm đo được thể hiện trong hình 3. Sai lệch độ tròn của chi tiết lỗ thay đổi lớn khi

số lượng điểm đo ít, có thể lên đến 51% (từ 0,002 đến 0,0041 mm) khi đo 9 điểm. Ngược lại, độ tròn thay đổi nhỏ khi số lượng điểm đo tăng lên, tương ứng khoảng dưới 19% khi số lượng điểm đo lớn hơn 18.

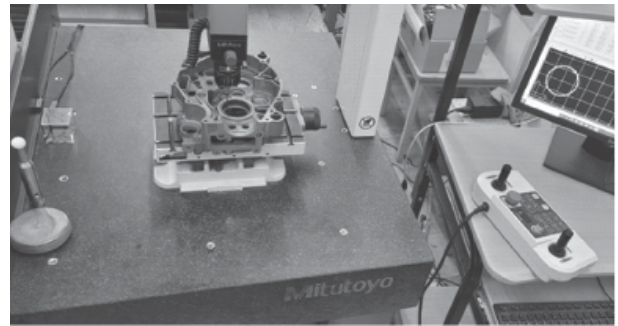


Hình 2. Giá trị đường kính ứng với số lượng điểm đo

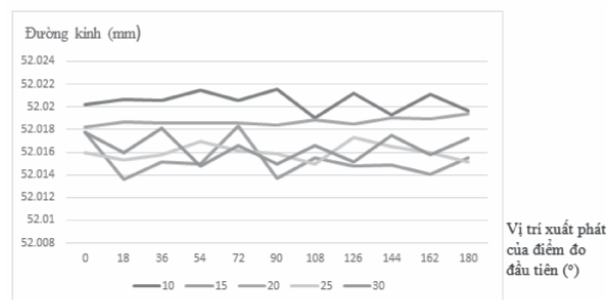


Hình 3. Giá trị đường độ tròn ứng với số lượng điểm đo

Khi tiến hành đánh giá ảnh hưởng của vị trí điểm đo đầu tiên, một chi tiết cơ khí điển hình là lỗ trên vỏ hộp giảm tốc để lắp vòng bi có kích thước $\varnothing 52G7 \left(\begin{smallmatrix} +0,034 \\ +0,009 \end{smallmatrix} \right)$ (hình 4) được đo với các vị trí của điểm đo ban đầu ở các góc $0^\circ, 18^\circ, 36^\circ, 54^\circ, 72^\circ, 90^\circ, 108^\circ, 126^\circ, 144^\circ, 162^\circ, 180^\circ$. Nhìn vào hình 5, chúng ta thấy rằng, vị trí của điểm bắt đầu lấy tọa độ đo không ảnh hưởng nhiều đến đường kính đo được, các kết quả ở vị trí khác nhau không chênh lệch nhau nhiều, không thể hiện xu hướng nào rõ ràng và đều nằm trong miền dung sai.



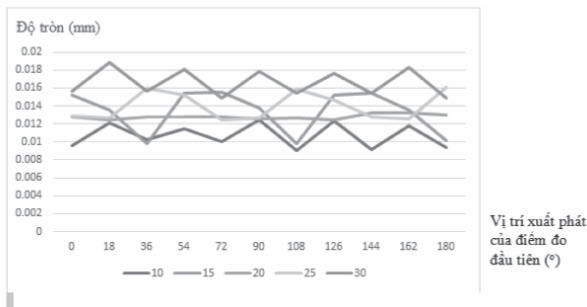
Hình 4. Kích thước lỗ $\varnothing 52G7$ của vỏ hộp giảm tốc được đo trên máy đo tọa độ



Hình 5. Kết quả đo đường kính ứng với vị trí khác nhau của điểm xuất phát

Tuy nhiên, vị trí điểm đo đầu tiên lại ảnh hưởng lớn đến độ tròn của chi tiết đặc biệt là khi số lượng điểm đo ít (hình 6), với số điểm đo là 15 thì giá trị độ tròn thay đổi nhiều nhất lên đến 36,8% và sự thay đổi này giảm khi số điểm đo tăng lên. Có một xu hướng rõ ràng là khi số điểm đo tăng lên thì giá trị độ tròn thu được cũng tăng theo, điều này có thể được giải thích là chúng ta chỉ lấy số lượng điểm đo hữu hạn để đại diện cho cả biên dạng mặt cắt ngang hình tròn của chi tiết đo là không khách quan. Do vậy, nhiều khi lấy số lượng điểm đo ít sẽ cho ra kết quả độ tròn rất nhỏ nhưng không phản ánh đúng sai số của chi tiết đo. Nhưng nếu lấy số lượng điểm đo quá lớn thì chi phí và thời gian đo bị đẩy lên rất cao mà độ chính xác của phép đo độ tròn không được cải thiện nhiều bởi bị giới hạn bởi sai số cho phép lớn nhất E0,MPE của máy đo. Trong thực nghiệm này chi tiết lỗ $\varnothing 52$, tiếp tục được đo với 200

điểm tại các góc 0, 45 và 72°, giá trị đường kính và độ tròn tương ứng với các góc lần lượt là 52,0143; 52,0155; 52,0137 và 0,0176; 0,0184; 0,0179. Có thể thấy rằng, độ tròn thu được có các giá trị ổn định ứng với các góc của điểm xuất phát khác nhau và khác biệt không nhiều với kết quả trung bình khi đo 30 điểm nhưng thời gian đo bị đẩy lên rất nhiều.



Hình 6. Kết quả đo độ tròn ứng với vị trí khác nhau của điểm xuất phát

4. KẾT LUẬN

Các kết quả trong bài báo này đã minh họa rõ ràng ảnh hưởng của chiến lược lấy mẫu đối với đường kính và sai lệch độ tròn của các chi tiết dạng tròn xoay. Số lượng và vị trí của các điểm đo ảnh hưởng rất ít đến đường kính nhưng lại làm thay đổi giá trị độ tròn rất lớn. Điều này là do bản chất của phương pháp đo trên máy đo tọa độ là chỉ thu được một số lượng điểm đo hạn chế. Sai số này có thể được giảm đi đáng kể nếu tăng số lượng điểm đo lên nhưng sẽ làm tăng thời gian đo lên nếu vẫn dùng đầu

đò chạm - kích hoạt (touch-trigger probe). Tuy nhiên, ảnh hưởng của chiến lược lấy mẫu đối với kết quả phụ thuộc vào hình dạng hình học (độ méo cạnh) của đối tượng được đo và loại thuật toán trong phần mềm đo. ❖

Ngày nhận bài: 19/5/2023

Ngày phản biện: 26/5/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Thành Trung, Vũ Toàn Thắng, Lê Trung Kiên; “*Nghiên cứu so sánh các thuật toán đánh giá sai lệch độ tròn từ dữ liệu điểm đo trên máy đo ba tọa độ (CMM)*”, trang 33-40, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 8/2021.
- [2]. Tiêu chuẩn ISO 1101: Thông số hình học sản phẩm (*Geometrical product specifications - GPS*) – *Dung sai hình học, Dung sai hình dạng, hướng, vị trí và độ đảo* (2013).
- [3]. S.D. Philips, B. Borchardt and G. Caskey. “*Measurement uncertainty considerations for coordinate measuring machines*”, NIST Report, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1993.
- [4]. A.B. Forbes, *Geometric tolerance assessment. NPL Report DITC 210/92*, National Physical Laboratory, Teddington, UK, 1992.
- [5]. Ninh Đức Tôn; “*Dung sai và lắp ghép*”, NXB. Giáo dục (2007), trang 147.
- [6]. Nguyễn Thành Trung, Vũ Toàn Thắng, Vũ Tiến Dũng; “*Sử dụng phương pháp tối ưu giải bài toán đánh giá sai lệch độ trụ từ bộ dữ liệu điểm đo*”, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, số 72 (2021), trang 982-993.