

ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA PANME ĐẦU ĐO CHỮ V THÔNG QUA SO SÁNH VỚI MÁY ĐO TỌA ĐỘ

EVALUATION OF V-ANVIL MICROMETER ACCURACY VIA COMPARISON WITH A COORDINATE MEASURING MACHINE

Nguyễn Thành Trung

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

Email: trung.nguyenthanh2@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo này phân tích độ chính xác khi sử dụng panme đầu đo chữ V để đo đường kính ngoài của các chi tiết có bề mặt gián đoạn với số cạnh lẻ, như đường kính ngoài then hoa, bánh răng, mũi taro hoặc dao phay ngón. Trong các trường hợp số cạnh lẻ này, panme thông thường với hai tiếp điểm không thể đảm bảo độ chính xác do không thể tiếp xúc đúng trên bề mặt đo. Ngược lại, panme đầu đo chữ V tiếp xúc tại ba vị trí, bao gồm hai mặt chữ V và đầu đo động, tạo khả năng tự định tâm tốt nhưng phụ thuộc nhiều vào kỹ năng thao tác người đo. Kết quả đo được so sánh với máy đo tọa độ (CMM), sử dụng cả bốn thuật toán xác định đường tròn: bình phương tối thiểu (LSC), ngoại tiếp nhỏ nhất (MCC), nội tiếp lớn nhất (MIC) và miền tối thiểu (MZC). Kết quả so sánh cho thấy panme đầu đo chữ V có xu hướng cho kết quả bằng hoặc lớn hơn nhiều nhất tới 0,03 mm so với CMM, trong đó sai lệch đáng kể nhất xuất hiện khi đối chiếu với kết quả theo thuật toán đường tròn nội tiếp lớn nhất.

Từ khóa: Panme đầu đo chữ V; Bề mặt gián đoạn; Độ chính xác; Lực đo; Máy đo tọa độ.

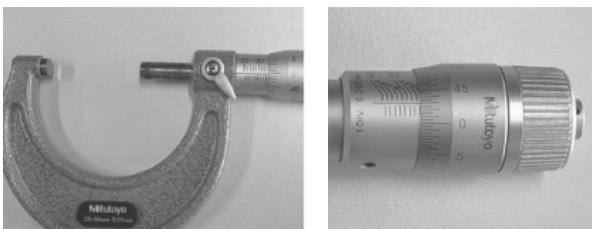
ABSTRACT

This work investigates measurement accuracy when using a V-anvil micrometer to determine the outer diameter of features with uneven lobes or teeth, such as splines, gears, taps, or multi-flute end mills. Conventional micrometers with two contact points are unsuitable for such geometries due to insufficient surface engagement, which can result in significant measurement errors. In contrast, a V-anvil micrometer provides three-point contact, two at the V-anvils and one at the spindle. However, the accuracy of the measurement remains highly dependent on the operator's ability to align the micrometer correctly. Measurement results were compared with those obtained from a coordinate measuring machine (CMM) using four common standard evaluation algorithms: Least squares circle (LSC), Minimum circumscribed circle (MCC), Maximum inscribed circle (MIC), and Minimum zone circle (MZC). The comparison results show that the micrometer produces values equal to or greater than 0.03 mm compared to those of the CMM, with the greatest deviation observed when using MIC algorithm.

Keywords: V-anvil micrometer; Discontinuous surface; Accuracy; Measuring force; Coordinate Measuring Machine.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực đo lường cơ khí chính xác, panme là một trong những dụng cụ đo cơ bản và phổ biến nhất, được sử dụng rộng rãi tại các nhà máy, xưởng gia công cơ khí hoặc trong phòng kiểm tra chất lượng. Thiết bị này hoạt động dựa trên nguyên lý chuyển động tịnh tiến của đầu đo động, thông qua sự ăn khớp giữa cơ cấu ren và đai ốc [1]. Thiết kế truyền thống của panme sử dụng hệ thống chia vạch cơ khí trên du xích để đọc kết quả, cho phép đạt được độ phân giải lên đến 0,01 mm, 0,005 mm hoặc thậm chí 0,001 mm. Độ phân giải của panme cơ khí được xác định bằng tỷ số giữa bước ren của trục vít và số lượng vạch chia trên du xích. Ví dụ, đối với panme có bước ren 0,5 mm và du xích gồm 50 vạch chia, độ phân giải đạt được là 0,01 mm (Hình 1a). Khi số vạch chia tăng lên 100 (Hình 1b), độ phân giải được cải thiện, đạt mức 0,005 mm. Nguyên lý này cũng có thể áp dụng với các loại panme có bước ren khác như 0,25 mm (loại bước mịn) hoặc 1 mm (loại bước thô), giúp mở rộng dải ứng dụng tùy theo yêu cầu đo cụ thể.



(a) (b)
Hình 1. Cách chia vạch trên panme có bước đầu đo động 0,5 mm và số lượng vạch chia trên du xích: a) 50 vạch, b) 100 vạch

Tuy nhiên, panme hai tiếp điểm thông thường chỉ hoạt động hiệu quả khi đo các chi tiết có mặt ngoài tròn đều hoặc gián đoạn có số cạnh chẵn. Khi gặp các chi tiết có tiết diện biên dạng gián đoạn có số cạnh lẻ như trục then hoa, bánh răng, dao phay hay mũi taro, việc xác

định đường kính ngoài bằng hai điểm tiếp xúc là không khả thi [2]. Để khắc phục hạn chế này, nhiều hãng thiết bị đo đã phát triển loại panme đầu đo chữ V (V-anvil micrometer) với ba điểm tiếp xúc, trong đó hai điểm tạo bởi rãnh chữ V cố định và một điểm còn lại từ đầu đo động. Thiết kế này giúp đảm bảo khả năng tự định tâm tốt hơn và thiết lập các vị trí tiếp xúc đúng vào bề mặt cần đo đối với các chi tiết có số cạnh lẻ.

Panme đầu đo chữ V hiện được sử dụng rộng rãi trong các xưởng sản xuất nhằm kiểm tra nhanh kích thước hoặc độ mòn của dụng cụ cắt, đặc biệt trong các trường hợp không có sẵn thiết bị đo cao cấp như máy đo tọa độ ba chiều (CMM) [3, 4]. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng độ chính xác của panme chữ V có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như: sai số chế tạo tại góc chữ V, hình dạng đầu đo động, vị trí tiếp xúc thực tế, lực đo tác động, cũng như kỹ năng thao tác của người vận hành [5].

Mặc dù các tiêu chuẩn như ISO [2, 6] đã đưa ra các yêu cầu về độ chính xác cho dụng cụ đo cơ khí, nhưng các nghiên cứu so sánh trực tiếp giữa panme đầu đo chữ V và CMM trong điều kiện đo các bề mặt gián đoạn vẫn còn ít được công bố. Trong bối cảnh này, việc đối chiếu kết quả đo của panme chữ V với CMM là cần thiết để đánh giá độ tin cậy và phạm vi sử dụng phù hợp của thiết bị. Do vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá sai lệch của panme đầu đo chữ V khi đo bánh răng có số răng lẻ, thông qua so sánh với kết quả đo bằng máy CMM theo các thuật toán xử lý dữ liệu hình học đã được tích hợp trong phần mềm thương mại.

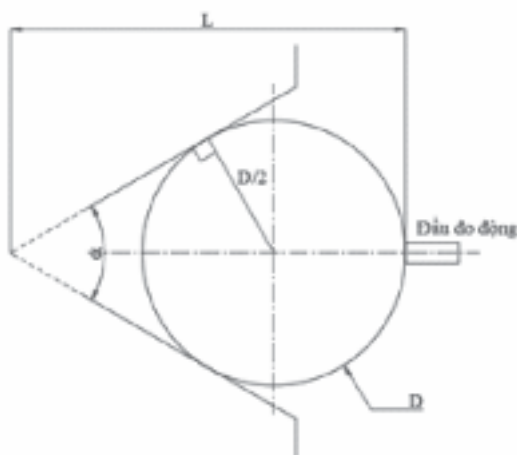
2. NGUYÊN LÝ ĐO CỦA PANME ĐẦU ĐO CHỮ V

Nguyên lý đo đường kính theo phương 

pháp ba tiếp điểm được minh họa trong hình 2. Khác với phương pháp hai tiếp điểm, khi lượng dịch chuyển của đầu đo động chính là đường kính cần đo, panme đầu đo chữ V đo đường kính thông qua sự dịch chuyển của đầu đo ứng với chiều dài L , được tính theo công thức sau [7]:

$$L = \frac{D}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin(\frac{\alpha}{2})} \right) \quad (1)$$

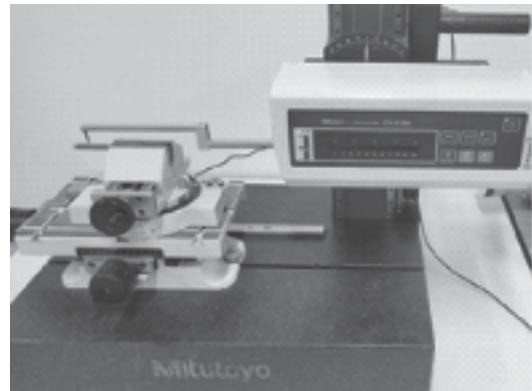
Trong đó, D là đường kính cần đo, α là góc giữa hai mặt của rãnh V.



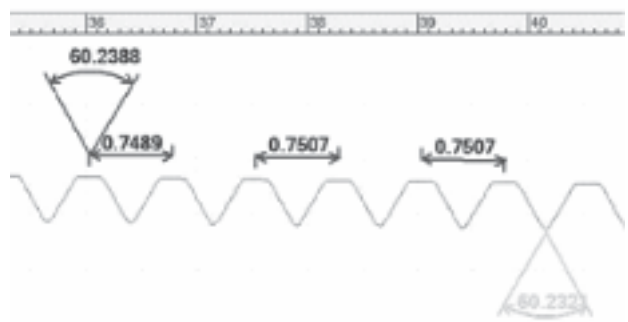
Hình 2. Nguyên lý hình học của phương pháp đo ba tiếp điểm bằng panme đầu đo chữ V.

Với góc $\alpha = 60^\circ$, ta có $L = 1,5D$, nghĩa là đầu đo phải dịch chuyển 1,5 mm để đo được 1 mm đường kính thực. Do đó, bước ren của trục vít trong panme được chế tạo là 0,75 mm thay vì 0,5 mm như panme thông thường. Điều này được kiểm chứng thực nghiệm khi tiến hành đo bước ren của đầu đo động panme bằng máy đo biên dạng Contracer CV-2100 của hãng Mitutoyo, như thể hiện trong hình 3. Kết quả hiển thị trên phần mềm cho thấy bước ren là xấp xỉ 0,75 mm, phù hợp với sự tính toán ở trên. Ngoài ra, hình 4 minh họa khoảng cách thực tế giữa các vạch khắc trên thang chia chính của panme. Với dải đo từ 85 mm đến 100 mm của

panme Mitutoyo 114-107, khoảng cách thực tế đo được là 22,5 mm, xác nhận tỷ lệ khuếch đại 1,5 lần của phương pháp đo ba tiếp điểm.

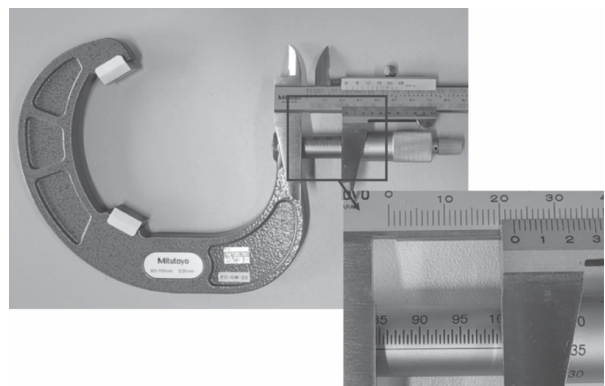


(a)



(b)

Hình 3. (a) Trục ren của đầu đo panme được gá trên máy đo biên dạng và (b) Kết quả đo bước ren và góc profin ren trên phần mềm của máy đo biên dạng.



Hình 4. Cách chia vạch trên thang chia chính của panme - khoảng cách thực tế từ vạch 85 đến 100 có giá trị 22,5 mm.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng khi đo đường kính của các bề mặt gián đoạn có số cạnh lẻ, việc lựa chọn góc chữ V của panme phải phù hợp với hình học của chi tiết để đảm bảo tiếp xúc đúng và định tâm chính xác. Với n là số cạnh của chi tiết cần đo, góc chữ V ký hiệu là α được xác định theo công thức sau [8], nhằm đảm bảo ba cạnh của chi tiết tiếp xúc chính xác tại hai mặt răng chữ V cố định và đầu đo động của panme:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{360^\circ}{n} \quad (2)$$

Bên cạnh đó, trong thực tế, nên ưu tiên lựa chọn các giá trị góc chữ V theo tiêu chuẩn thông dụng để thuận tiện khi chọn mua hoặc chế tạo panme. Đối với các chi tiết có số cạnh n lớn và chia hết cho 3, có thể áp dụng quy tắc rút gọn để sử dụng lại các góc tiêu chuẩn. Một số ví dụ minh họa được trình bày trong Bảng 1 dưới đây:

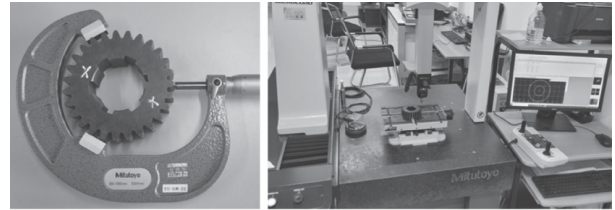
Bảng 1. Lựa chọn góc V của panme theo số cạnh của bề mặt đo.

Số cạnh của mặt đo n	3	5	7	9	15	21	27
Góc V ($^\circ$)	60	108	128 (hoặc 120, 135)	60	60	60	60

3. KẾT QUẢ ĐO SO SÁNH VỚI MÁY ĐO TỌA ĐỘ

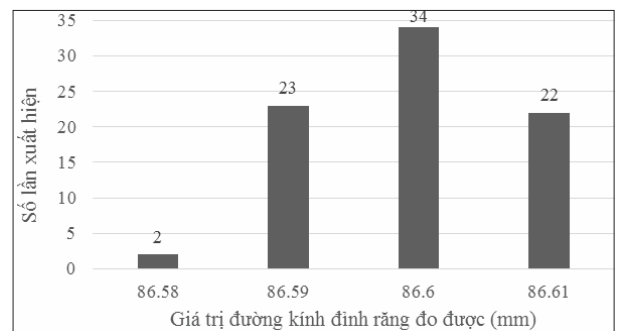
Bề mặt gián đoạn được sử dụng trong nghiên cứu là một bánh răng có số răng $z = 27$ và mô đun $m = 3$ mm. Đường kính đỉnh răng của bánh răng này được đo bằng cả panme đầu đo chữ V Mitutoyo 114-107 và máy đo tọa độ Mitutoyo Crysta-Apex S544, như minh họa trong Hình 5. Để đánh giá độ lặp lại của phép

đo trên panme, bánh răng được đo 81 lần, mỗi lần dịch tiến một răng, do đó quá trình đo bao phủ ba vòng răng liên tiếp.



Hình 5. Bánh răng có $z = 27$, $m = 3$ được đo trên: (a) Panme đầu đo chữ V, (b) Máy đo tọa độ Mitutoyo Crysta-Apex S544.

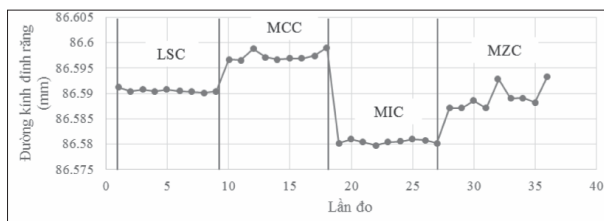
Trên máy đo tọa độ CMM, phép đo được thực hiện 9 lần bằng chế độ tự động. Mỗi lần, máy thu thập 27 điểm đo tại đỉnh các răng, với vị trí bắt đầu đo giữa hai lần đo liên tiếp cách nhau 3 răng. Quy trình đo này được lặp lại cho cả bốn thuật toán xử lý dữ liệu khác nhau. Kết quả đo bằng panme được trình bày trong hình 6, trong khi kết quả đo của CMM được thể hiện ở hình 7.



Hình 6. Kết quả đo đường kính đỉnh răng ($z = 27$, $m = 3$) bằng panme đầu đo chữ V.

Quan sát Hình 7 cho thấy giá trị đường kính đỉnh răng đo được bằng CMM khá ổn định khi sử dụng các thuật toán LSC, MCC và MIC, trong khi thuật toán MZC có sự dao động nhẹ, lên đến 0,0062 mm. Hơn nữa, đối với cùng một bánh răng, kết quả đo đường kính đỉnh răng đạt giá trị lớn nhất khi sử dụng thuật toán MCC,

nhỏ nhất với thuật toán MIC, và gần với giá trị trung bình khi sử dụng LSC và MZC. Sự khác biệt này là phù hợp với định nghĩa trong tiêu chuẩn ISO về bốn phương pháp xác định đường tròn tham chiếu khi đo trên CMM, cũng như các tài liệu tham khảo khác [9-11].



Hình 7. Kết quả đo đường kính đỉnh răng bằng CMM. Lần đo 1-9 sử dụng thuật toán LSC, 10-18: MCC, 19-27: MIC, 28-36: MZC.

Sự chênh lệch lớn nhất giữa 36 lần đo bằng CMM là 0,0193 mm, và chủ yếu xuất phát từ sự khác nhau trong thuật toán xử lý dữ liệu. Trong khi đó, kết quả đo bằng panme đầu đo chữ V có độ chênh lệch lớn hơn, lên đến 0,03 mm. Nguyên nhân chính là do sự sai lệch tại các vị trí tiếp xúc giữa panme và bánh răng đo. Các vị trí tiếp xúc này không phải là điểm mà là các đường tiếp xúc, nên dù panme có lực đo giới hạn trong khoảng 5 đến 10 N khi dùng cơ cấu bánh cóc [3], kết quả đo vẫn phụ thuộc nhiều vào kỹ năng và thao tác của người sử dụng để lựa chọn vị trí tiếp xúc phù hợp nhằm đạt được kết quả chính xác.

4. KẾT LUẬN

Kết quả của 81 lần đo đường kính đỉnh răng của bánh răng 27 răng thực hiện bằng panme đầu đo chữ V cho thấy giá trị trung bình đạt 86,5995 mm với độ lệch chuẩn 0,0081 mm. Khi so sánh với kết quả đo bằng máy đo tọa độ CMM, sử dụng bốn thuật toán xử lý dữ liệu đường tròn phổ biến, giá trị trung bình thu được là 86,5894 mm với độ lệch chuẩn 0,0062 mm. Sự sai lệch giữa hai phương pháp là rất nhỏ và

hoàn toàn chấp nhận được trong các ứng dụng đo kiểm thông thường.

Điều này cho thấy rằng, mặc dù chỉ là một dụng cụ cơ khí đơn giản, nhưng panme đầu đo chữ V vẫn có thể được sử dụng để đo các bề mặt gián đoạn có số cạnh lẻ, như đường kính đỉnh răng của bánh răng hoặc dao phay ngón, với độ chính xác tương đương so với thiết bị CMM chuyên dụng. Trong khi CMM là thiết bị đắt tiền, yêu cầu điều kiện môi trường nghiêm ngặt (nhiệt độ, độ ẩm, rung động) và thường chỉ được sử dụng trong phòng đo chuẩn, thì panme đầu đo chữ V lại có ưu điểm lớn: dễ vận hành, đo trực tiếp tại hiện trường, ít chịu ảnh hưởng bởi môi trường xung quanh, và đặc biệt phù hợp với các nhà máy nhỏ không có điều kiện đầu tư thiết bị đo cao cấp. Tuy nhiên, để đảm bảo độ chính xác, kỹ năng và kinh nghiệm của người vận hành panme vẫn đóng vai trò rất quan trọng. ❖

Ngày nhận bài: 08/5/2025

Ngày phản biện: 26/5/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Francis T. Farago, Mark A. Curtis (1994), "Handbook of Dimensional Measurement", Third Edition. Industrial Press Inc. Pages. 23-26.
- [2]. Tiêu chuẩn ISO 3611:2023(E): "Geometrical product specifications (GPS) - Dimensional measuring equipment - Design and metrological characteristics of micrometers for external measurements".
- [3]. [https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/mitutoyo/01.02.01.075/3%20Flute%20V-Anvil%20Micrometer/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/114-107/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/mitutoyo/01.02.01.075/3%20Flute%20V-Anvil%20Micrometer/$catalogue/mitutoyoData/PR/114-107/index.xhtml).
- [4]. Heinrich Schwenke, Ulrich Neuschaefer-Rube, Tilo Pfeifer, Horst Kunzmann, "Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering". CIRP Annals,

- Volume 51, Issue 2, 2002, Pages 685-699.
- [5]. Sangeeta Pandit, Neel. P. Padia. Chapter: Ergonomic Design Analysis of Analogue Micrometer Screw Gauge. (2023) “*Sustainable Material, Design, and Process*”. Taylor & Francis Group.
- [6]. Tiêu chuẩn ISO 14253-1:2017, “*Geometrical product specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment*”.
- [7]. Nguyễn Tiến Thọ, Nguyễn Thị Xuân Bảy, Nguyễn Thị Cẩm Tú (2007), “*Kỹ thuật đo lường và kiểm tra trong chế tạo cơ khí*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, trang 18.
- [8]. Nguyễn Tiến Thọ, Nguyễn Thị Xuân Bảy, Nguyễn Thị Cẩm Tú (2007), “*Kỹ thuật đo lường và kiểm tra trong chế tạo cơ khí*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, trang 71.
- [9]. ISO 12181-1:2011(E), “*Geometrical product specifications (GPS) – Roundness, Part 1: Vocabulary and parameters of roundness*”.
- [10]. 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(8), 2021, trang 982-993.
- [11]. Qingze He, Peng Zheng, Xingchen Lv, Jicun Li, Yan Li, “*A new method for evaluating roundness error based on improved bat algorithm*”. Measurement, Volume 238, 2024, 115314.