

Đo lường kiểm tra biên dạng chi tiết phay CNC bằng ánh sáng cấu trúc

Ngô Anh Vũ*, Bùi Vũ Hùng

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Ngày nhận bài 12/6/2020; ngày chuyển phản biện 16/6/2020; ngày nhận phản biện 14/7/2020; ngày chấp nhận đăng 20/7/2020

Tóm tắt:

Với sự phát triển của khoa học và công nghệ, đo lường quang học đang được quan tâm và ứng dụng rộng rãi nhằm đáp ứng yêu cầu đo nhanh và giảm thiểu các sai số trong quá trình đo kiểm. Bài báo đưa ra kết quả so sánh giữa hai phương pháp đo (bằng ánh sáng cấu trúc và bằng thiết bị CMM) cho các chi tiết phay CNC. Kết quả thu được cho thấy, có thể ứng dụng phương pháp đo bằng ánh sáng cấu trúc đối với các chi tiết phay CNC có hình dạng phức tạp và giảm thiểu được thời gian đo kiểm tra trong quá trình gia công.

Từ khóa: ánh sáng cấu trúc, đo lường 3D, mã hóa Gray.

Chỉ số phân loại: 2.3

Using structured light to measure and supervise the profile of part milled by CNC machine

Anh Vu Ngo*, Vu Hung Bui

University of Transport and Communications

Received 12 June 2020; accepted 20 July 2020

Abstract:

With the development of science and technology, the optical measurement technique is being interested and widely applied to guarantee measuring speed and minimise errors during the performance. The paper presents a comparison between two methods: structured light scanning and coordinate measuring machine (CMM) for CNC milled parts. The result has shown that the structured light scanning technique could be a good application for checking the complex shape parts with high measuring speed on the machining process.

Keywords: gray code patterns, structured light, 3D scanning.

Classification number: 2.3

Đặt vấn đề

Cùng với sự phát triển của các ngành khoa học kỹ thuật, công nghệ gia công cũng phát triển mạnh mẽ, kéo theo đó là các phần mềm được ứng dụng vào quá trình tự động hóa sản xuất và lắp ráp. Việc ứng dụng các máy điều khiển số CNC (Computer Numerical Control) và các phần mềm vào sản xuất cho phép nâng cao độ chính xác gia công, tăng hiệu quả kinh tế và năng suất lao động, đồng thời rút ngắn được chu kỳ sản xuất. Vì vậy, hiện nay rất nhiều nước trên thế giới đã và đang ứng dụng rộng rãi các máy công cụ CNC vào sản xuất cơ khí.

Theo phương pháp truyền thống, để đo biên dạng và kiểm tra hình dáng hình học của các chi tiết phay thường sử dụng thước cặp, panme, dưỡng đo... Phương pháp này chỉ đo được các chi tiết có hình dạng đơn giản, năng suất đo và hiệu quả công việc thấp, độ chính xác không quá cao. Khi cần đo những chi tiết có hình dạng phức tạp, yêu cầu kết quả đo có độ chính xác cao thì phương pháp đo truyền thống không hợp lý do quá trình thao tác khó khăn, cần tạo nhiều đồ gá và dưỡng đo khác nhau trên mỗi một bề mặt của sản phẩm, dẫn đến giá thành đo cao, không hiệu quả về năng suất và không đáp ứng được tốc độ sản xuất của dây chuyền công nghiệp CNC. Vì vậy, cần phải hướng đến các phương pháp kiểm tra với tốc độ đo nhanh hơn, đo được cả trong quá trình đang gia công mà không cần tháo chi tiết ra khỏi máy.

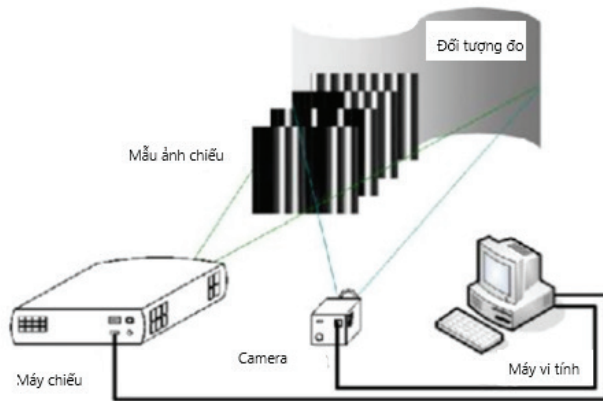
Với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, việc ứng dụng máy tính để xử lý các số liệu đo sẽ đơn giản, nhanh và hiệu quả hơn. Thiết bị đo biên dạng chi tiết bằng ánh sáng cấu trúc đã phần nào đáp ứng được một số yêu cầu như: kết quả đo thu được không chỉ có độ chính xác cao mà còn có thể tiến hành đối với những phép đo mà dùng phương pháp truyền thống không thể thực hiện được, như đo diện tích bề mặt chia cắt từng phần hoặc thể tích; có thể kiểm tra ngay trong quy trình đối với những sản phẩm đang được

*Tác giả liên hệ: Email: ngoanhvugt@gmail.com

chế tạo, sản xuất hay lắp ráp; có khả năng thu được số lượng không giới hạn các số đo tuyến tính và phi tuyến của các chi tiết cơ khí; dữ liệu đo nhận được có thể được sử dụng nhiều lần, lưu trữ lâu dài, có thể sửa đổi bất cứ lúc nào và chủ động kiểm soát quá trình đo và thông số đo; cho phép thu được một định dạng số có thể tích hợp vào các hệ thống khác nhau một cách nhanh chóng.

Công nghệ đo biên dạng bằng ánh sáng cấu trúc

Phương pháp đo biên dạng 3D sử dụng ánh sáng cấu trúc dựa trên nguyên lý tam giác lượng trong quang học. Trong quá trình đo các đối tượng sử dụng ánh sáng cấu trúc hình ảnh thu được chứa thông tin chiều cao thông qua sự biến thiên về pha so với vân chiếu mẫu, do đó quá trình xử lý cần tính toán các pha điều biến bằng phân tích ảnh với kỹ thuật phân tích vân chiếu như: biến đổi Fourier, phương pháp dịch pha, phương pháp xác định không gian pha... Nguyên lý thiết bị đo biên dạng 3D sử dụng ánh sáng cấu trúc được thể hiện ở hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị đo biên dạng 3D bằng ánh sáng cấu trúc.

Để xác định chính xác tọa độ thực của đối tượng đo, các thiết bị đo cần hiệu chuẩn gỡ bỏ phân bố pha nhằm đưa ra tọa độ 3D thực của đối tượng đo, được xác định thông qua 4 bước theo sơ đồ 1.



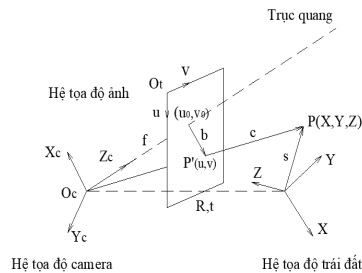
Sơ đồ 1. Sơ đồ khối kỹ thuật đo biên dạng 3D bằng phương pháp chiếu mẫu vân.

Hiệu chuẩn

Quá trình hiệu chuẩn là bước bắt buộc với tất cả các thiết bị đo, việc hiệu chuẩn nhằm xác định được các thông số của hệ thống để xây dựng đám mây điểm đo. Ngoài ra, phương pháp hiệu chuẩn còn cung cấp độ chính xác của thiết bị đo và các yếu tố cần điều chỉnh để tăng độ chính xác khi đo và phù hợp với đối tượng đo. Phương pháp đo biên dạng 3D sử dụng ánh sáng cấu trúc dựa trên nguyên lý tam giác lượng trong quang học. Việc xác định các điểm đo phụ thuộc vào vị trí điểm mã hóa trên ảnh chiếu và điểm ảnh thu được trên cảm biến của camera. Để xác định chính xác tọa độ

điểm ảnh sử dụng mô hình toán học cho camera và máy chiếu sử dụng mô hình camera lỗ nhỏ có tính đến quang sai của hệ thống ống kính quang học.

Quy ước hệ tọa độ ở hình 2: $O^{(C)} X^{(C)} Z^{(C)}$ là hệ tọa độ camera, O_{1uv} là hệ tọa độ cảm biến ảnh, $OXYZ$ là hệ tọa độ vật lý có thể quy ước là hệ tọa độ bàn máy khi dựng đám mây điểm để xây dựng mô hình toán học cho camera cũng như máy chiếu. Khi đó $O^{(C)} Z^{(C)}$ vuông góc và đi qua tâm cảm biến trên O_{1uv} .



Hình 2. Quy ước hệ tọa độ camera lỗ nhỏ.

Một điểm $P(x_p, y_p, z_p)$ trong trường camera được tạo ảnh trên cảm biến P' và được xác định như sau:

Chuyển đổi hệ tọa độ ngoài không gian vào hệ tọa độ camera xác định được:

$$\begin{bmatrix} x_p^{(C)} \\ y_p^{(C)} \\ z_p^{(C)} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

Trong đó: R, T là ma trận quay và ma trận chuyển vị.

Ảnh của điểm P trên cảm biến ảnh là $P'(u, v)$ khi đó theo tọa độ camera tọa độ P' được xác định bởi:

$$\begin{bmatrix} u_p \\ v_p \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_p^{(C)} \\ y_p^{(C)} \\ z_p^{(C)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Như vậy, khi biết được tọa độ điểm ảnh trên cảm biến ảnh và các nội thông số của camera, có thể xác định tọa độ điểm P trên hệ tọa độ camera. Để chuyển đổi tọa độ điểm quy ước trên camera sang hệ tọa độ máy cần xác định ma trận quay R và ma trận tịnh tiến T . Việc xác định các đại lượng của ma trận được thực hiện thông qua các bước hiệu chuẩn [1, 2].

Hầu hết các phương pháp hiệu chuẩn được nghiên cứu nhằm xác định các thông số hệ thống của camera và máy chiếu cũng như vị trí tương quan giữa chúng. Phương pháp hiệu chuẩn có thể hiệu chuẩn riêng lẻ camera, máy chiếu thông qua các phương pháp hiệu chuẩn hoặc có thể xác định đồng thời cả hệ thống.

Chiếu vân và chụp ảnh vân chiếu

Được xác định thông qua cụm cảm biến của thiết bị đo thường là hệ thống chiếu sáng mẫu và camera. Các mẫu chiếu được thiết kế rất đa dạng, phụ thuộc vào sự mã hóa cường độ hoặc phương pháp tạo ảnh chiếu và cách chiếu các ảnh mẫu lên đối tượng đo [3-5].

Ngày nay, hầu hết các hệ thống đo lường 3D tự động sử dụng các thiết bị chiếu có sẵn như thiết bị chiếu vi gương kỹ thuật số (DMD) hoặc công nghệ màn hình tinh thể lỏng (CCD). Do vậy,

việc thiết kế điều khiển các mẫu chiếu sử dụng máy tính cho phép có thể tạo ra các dạng mẫu chiếu rất đa dạng, phương pháp chiếu đơn giản và có hiệu quả cao.

Phân tích vân

Hình ảnh thu được từ camera được lưu trữ vào máy tính để xử lý, thuật toán phân tích vân ảnh hưởng đến tốc độ đo, độ phân giải đo, độ chính xác đo. Phương pháp phân tích vân có thể theo thời gian hoặc không gian, việc áp dụng phương pháp phân tích vân nào phụ thuộc vào đối tượng đo. Một số phương pháp phân tích dùng để đo biên dạng 3D của chi tiết như: biến đổi Wavelet một chiều và hai chiều [6], khóa vòng lặp pha [6], phương pháp biến đổi Fourier [7], các phương pháp dịch pha [5].

Dựng pha tuyệt đối

Trong phương pháp dịch pha, các điểm đo được mã hóa bởi các giá trị pha. Theo lý thuyết thì giá trị pha được xác định và có phân bố liên tục. Tuy nhiên, thực tế ảnh pha bị giới hạn bởi mức độ xám, nhiễu xuất hiện trên ảnh, độ bóng... và các điểm không xác định khi giá trị pha có bước nhảy lớn hơn 2π [8].

Khi sử dụng các phương pháp phân tích vân, giá trị pha xác định được thường bị giới hạn trong khoảng $[-\pi; +\pi]$ do hầu hết các giá trị pha được tính qua hàm arctan. Quá trình gỡ pha để xây dựng ảnh pha tuyệt đối là bước quan trọng, quyết định độ chính xác của phép đo sử dụng phương pháp dịch pha. Có nhiều phương pháp gỡ pha được nghiên cứu dựa theo một số thuật toán tiên tiến đã được phát triển như: giải thuật dựa trên biến đổi Fourier [7], giải thuật gỡ pha thời gian [9], giải thuật phân tích tần số vân [10].

Phương pháp gỡ pha thông thường dựa trên đặc điểm của phương pháp phân tích vân, hầu hết các phương pháp gỡ pha được nghiên cứu phát triển dựa trên hệ thống hoặc đối tượng đo xác định. Với các chi tiết cơ khí thường có hình dạng phức tạp, đa dạng về đặc điểm bề mặt, do đó xuất hiện nhiễu nhiễu trên các ảnh pha, để tăng độ chính xác gỡ pha cần áp dụng các biện pháp gỡ pha kết hợp.

Đặc điểm chi tiết phay CNC

Công nghệ phay chiếm khoảng 75% các phương pháp gia công điều khiển số. Công nghệ phay CNC có khả năng gia công rất đa dạng và có thể phay được nhiều bề mặt có biên dạng phức tạp: gia công mặt phẳng, mặt nghiêng, mặt cầu, bánh răng... Những chi tiết được gia công trên máy CNC đảm bảo được những yêu cầu như độ bóng, độ chính xác về kích thước cũng như biên dạng, đáp ứng được yêu cầu về năng suất và chất lượng sản phẩm. Đo kiểm tra các kích thước, biên dạng phức tạp của các chi tiết được gia công trên máy CNC nếu dùng các dụng cụ truyền thống như thước cặp, panme... thì sẽ không đảm bảo độ chính xác, tốc độ đo chậm hoặc đo những bề mặt có cung lồi, lõm nếu dùng dụng cụ đo là đường, thì phải làm các đường khác nhau với các bề mặt đo khác nhau, dẫn đến giá thành cao, thời gian kiểm tra chất lượng sản phẩm sẽ dài và không đáp ứng được với tốc độ sản xuất của các máy hiện đại được điều khiển theo chương trình số.

Chính vì vậy cần nghiên cứu phương pháp đo biên dạng chi tiết

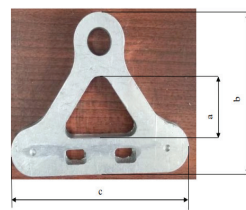
bằng phương pháp ánh sáng cấu trúc nhằm đảm bảo độ chính xác, tốc độ đo nhanh, dễ dàng cho việc tự động hóa sản xuất, tạo điều kiện cho quá trình khai thác và ứng dụng vào quá trình sản xuất.

Kết quả và thảo luận

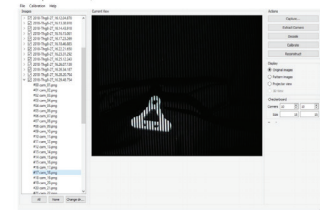
Chúng tôi đã thực hiện phép đo cho các chi tiết mẫu phay CNC bằng 2 phương pháp: đo bằng máy CMM và đo bằng phương pháp ánh sáng cấu trúc với số lần đo được lặp lại trong cùng một điều kiện môi trường nhiệt độ phòng 25°C , ánh sáng môi trường được giảm tối đa để loại trừ các tham số không đảm bảo cho phép đo. Sau đó tiến hành so sánh kết quả đo được giữa hai phương pháp.

Chi tiết phay số 1

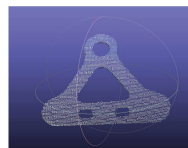
Đo chi tiết phay số 1 có các kích thước danh nghĩa a, b, c. Sau quá trình đo, xử lý hình ảnh thông qua phần mềm và dựng lại kích thước được thể hiện như hình 3, 4, 5.



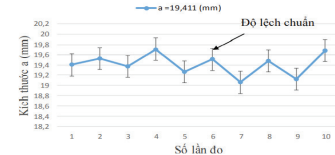
Hình 3. Chi tiết phay số 1.



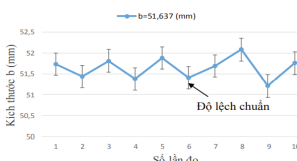
Hình 4. Phần mềm xử lý ảnh mã ánh sáng cấu trúc.



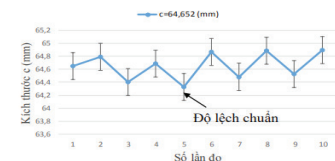
Hình 5. Ảnh đám mây điểm chi tiết phay số 1.



Hình 6. Kết quả đo kích thước a.



Hình 7. Kết quả đo kích thước b.

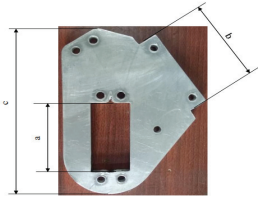


Hình 8. Kết quả đo kích thước c.

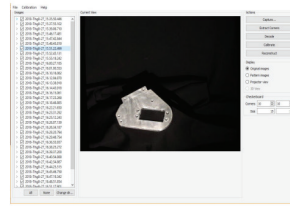
Hình 6, 7, 8 là kết quả đo các kích thước chi tiết bằng phương pháp ánh sáng cấu trúc. Từ bảng số liệu thu được sau quá trình đo cho kết quả đo thực tế của các kích thước a, b, c lần lượt là 19,411; 51,637; 64,652 mm tương ứng với độ phân tán kích thước là 0,215; 0,271; 0,210 mm; sai số tương đối lớn nhất là 1,22%.

Chi tiết phay số 2

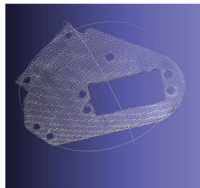
Hình 9, 10, 11 là hình ảnh sau khi đã được đo và xử lý hình ảnh thông qua phần mềm sau khi đo các kích thước a, b, c ở chi tiết phay số 2.



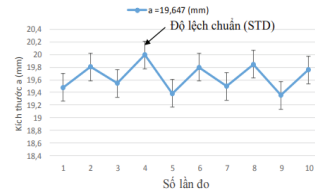
Hình 9. Chi tiết phay số 2.



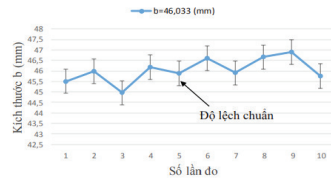
Hình 10. Phần mềm xử lý ảnh mã ánh sáng cấu trúc.



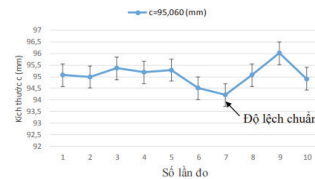
Hình 11. Ảnh đám mây điểm chi tiết phay số 2.



Hình 12. Kết quả đo kích thước a.



Hình 13. Kết quả đo kích thước b.

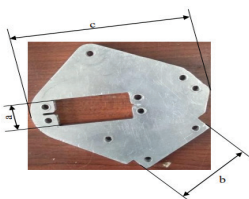


Hình 14. Kết quả đo kích thước c.

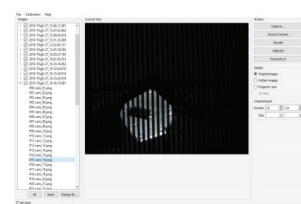
Hình 12, 13, 14 là kết quả đo thu được bằng phương pháp đo ánh sáng cấu trúc. Từ bảng số liệu thu được sau quá trình đo cho kết quả đo thực tế của các kích thước a, b, c lần lượt là 19,647; 46,033; 95,060 mm tương ứng với độ phân tán kích thước là 0,075; 0,334; 0,411 mm; sai số tương đối lớn nhất thu được là 0,73%.

Chi tiết phay số 3

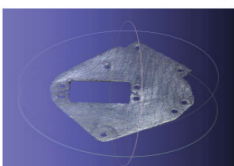
Hình 15, 16, 17 là hình ảnh sau khi đã đo và xử lý hình ảnh thông qua phần mềm đối với chi tiết phay số 3.



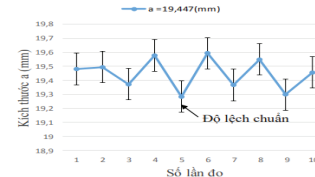
Hình 15. Chi tiết phay số 3.



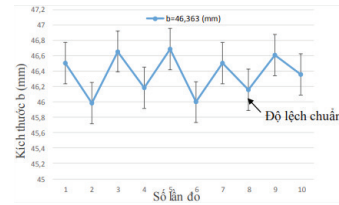
Hình 16. Phần mềm xử lý ảnh mã ánh sáng cấu trúc.



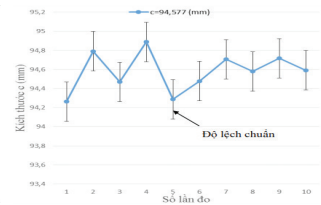
Hình 17. Ảnh đám mây điểm chi tiết phay số 3.



Hình 18. Kết quả đo kích thước a.



Hình 19. Kết quả đo kích thước b.

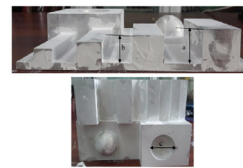


Hình 20. Kết quả đo kích thước c.

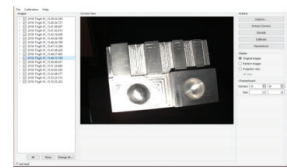
Hình 18, 19, 20 là kết quả thu được bằng phương pháp đo ánh sáng cấu trúc. Từ bảng số liệu kết quả đo thực tế của các kích thước a, b, c lần lượt là 19,447; 46,363; 94,577 mm tương ứng với độ phân tán kích thước là 0,075; 0,175; 0,072 mm; sai số tương đối lớn nhất thu được là 0,386%.

Chi tiết phay số 4

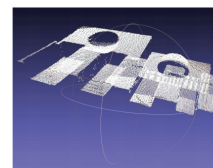
Hình ảnh đo các kích thước a, b, c ở chi tiết phay số 4 sau khi xử lý hình ảnh được thể hiện trên hình 21, 22, 23.



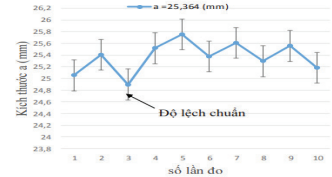
Hình 21. Chi tiết phay số 4.



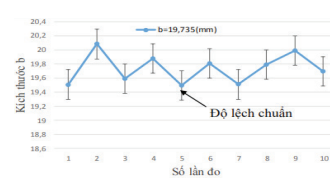
Hình 22. Phần mềm xử lý ảnh mã ánh sáng cấu trúc.



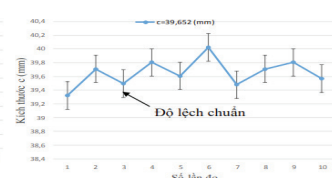
Hình 23. Ảnh đám mây điểm chi tiết phay số 4.



Hình 24. Kết quả đo kích thước a.



Hình 25. Kết quả đo kích thước b.

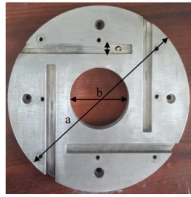


Hình 26. Kết quả đo kích thước c.

Hình 24, 25, 26 cho thấy kết quả thu được bằng phương pháp đo ánh sáng cấu trúc. Từ bảng số liệu kết quả đo thực tế của các kích thước a, b, c lần lượt là 25,364; 19,735; 39,652 mm tương ứng với độ phân tán kích thước là 0,263; 0,209; 0,200 mm; sai số tương đối lớn nhất thu được là 0,629%.

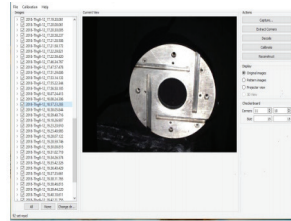
Chi tiết phay số 5

Hình 27, 28, 29 là hình ảnh đo các kích thước a, b, c ở chi tiết phay số 5 sau khi xử lý hình ảnh.

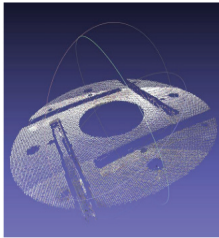


49

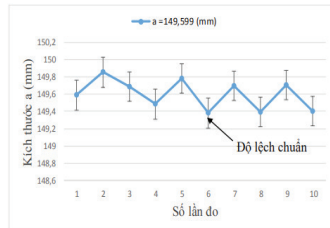
Hình 27. Chi tiết phay số 5.



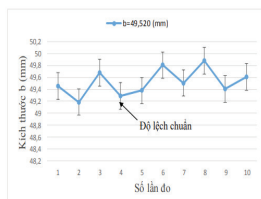
Hình 28. Phần mềm xử lý ảnh mã ảnh sáng cấu trúc.



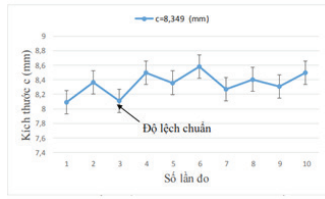
Hình 29. Ảnh đám mây điểm chi tiết phay số 5.



Hình 30. Kết quả đo kích thước a.



Hình 31. Kết quả đo kích thước b.



Hình 32. Kết quả đo kích thước c.

Hình 30, 31, 32 là kết quả thu được bằng phương pháp đo ánh sáng cấu trúc. Từ bảng số liệu kết quả đo thực tế của các kích thước a, b, c lần lượt là 149,599; 49,520; 8,349 mm tương ứng với độ phân tán kích thước là 0,173; 0,223; 0,163 mm; sai số tương đối lớn nhất thu được là 0,297%.

Kết luận

Qua kết quả đo các chi tiết phay CNC bằng ánh sáng cấu trúc cho thấy các số liệu đo biên dạng của chi tiết phay gần đúng với

kết quả đo bằng máy CMM. Thông qua bảng số liệu đo giữa hai phương pháp, kết quả sai số tương đối lớn nhất là 1,22%, như vậy việc đo kích thước chi tiết bằng ánh sáng cấu trúc đảm bảo kết quả đo kích thước là tin cậy. Vì vậy có thể sử dụng phương pháp đo bằng ánh sáng cấu trúc để kiểm tra biên dạng các chi tiết phay CNC ngay trong quá trình gia công nhằm giảm thiểu thời gian gia công và các sai lệch khi tháo lắp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Yu, Q. Peng (2007), "A unified-calibration method in FPT-based 3D data acquisition for reverse engineering", *Opt. Laser Eng.*, **45**(3), pp.396-404.
- [2] D. Feipeng, G. Shaoyan (2008), "Flexible three-dimensional measurement technique based on a digital light processing projector", *Appl. Opt.*, **47**(3), pp.377-385.
- [3] E.B. Li, X. Peng, J. Xi, J.F. Chicharo, J.Q. Yao, D.W. Zhang (2005), "Multifrequency and multiple phase-shift sinusoidal fringe projection for 3D profilometry", *Opt. Express*, **13**(5), pp.1561-1569.
- [4] L. Yuan, J. Yang, C. Guan, Q. Dai, F. Tian (2008), "Three-core fiber-based shapesensing application", *Opt. Lett.*, **33**(6), pp.578-580.
- [5] X.F. Meng, X. Peng, L.Z. Cai, A.M. Li, J.P. Guo, Y.R. Wang (2009), "Wavefront reconstruction and three-dimensional shape measurement by two-step de-term-suppressed phase-shifted intensities", *Opt. Lett.*, **34**(8), pp.1210-1212.
- [6] M.A. Gdeisat, D.R. Burton, M.J. Lalor (2005), "Fringe-pattern demodulation using an iterative linear digital phase locked loop algorithm", *Opt. Laser Eng.*, **43**(7), pp.31-39.
- [7] S. Li, X. Su, W. Chen, L. Xiang (2009), "Eliminating the zero spectrum in Fourier transform profilometry using Empirical mode decomposition", *J. Opt. Soc. Am. A*, **26**(5), pp.1195-1201.
- [8] C. Yu, Q. Peng (2007), "A correlation-based phase unwrapping method for Fourier-transform profilometry", *Opt. Laser Eng.*, **45**(6), pp.730-736.
- [9] H.O. Saldener, J.M. Huntley (1997), "Temporal phase unwrapping: Application to surface profiling of discontinuous objects", *Appl. Opt.*, **36**(13), pp.2770-2775.
- [10] S. Su, X. Lian (2001), "Phase unwrapping algorithm based on fringe frequency analysis in fourier-transform profilometry", *Opt. Eng.*, **40**(4), pp.637-643.