



ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CAD/CAM TRONG TẠO HÌNH BỀ MẶT XOẮN VÍT ARSIMET TRÊN MÁY CNC 5 TRỤC

Nguyễn Quốc Dũng¹, Bùi Lê Gòn¹

Tóm tắt: Ở nước ta hiện nay, việc gia công tạo hình các bề mặt xoắn vít chủ yếu được thực hiện bằng phương pháp cắt gọt truyền thống trên các máy tiện hoặc máy phay vạn năng với các loại dao cắt định hình. Phương pháp này chỉ có thể gia công được các bề mặt xoắn vít với profile đơn giản, bước không đổi và thường đòi hỏi phải thiết kế - chế tạo dao định hình. Do phụ thuộc vào việc gá đặt dao, profile của lưỡi cắt, ... nên độ chính xác và năng suất gia công thấp. Bài báo này trình bày một phương pháp gia công bề mặt xoắn vít Arsimet trên máy phay CNC 4+5 trục bằng dao phay ngón với sự trợ giúp của các phần mềm CAD/CAM. Trình tự gia công gồm bốn bước: 1 - Mô hình hóa bề mặt xoắn vít bằng CAD. 2 - Ứng dụng CAM để sinh chương trình NC. 3 - Gia công tạo hình bề mặt xoắn vít Arsimet trên máy CNC 4+5 trục. 4 - Ứng dụng kỹ thuật ngược với máy đo tọa độ 3 chiều (CMM) để kiểm tra độ chính xác. Phần thực nghiệm được tiến hành với mô hình bề mặt xoắn vít Arsimet thiết kế trên Inventor, gia công tạo hình trên máy CNC DMU100 với trợ giúp của phần mềm TOP SOLID. Mẫu chế thử được kiểm tra profile và bước trên CMM Brown & Sharp 544. Kết quả chế thử bước đầu cho thấy sự ưu việt của phương pháp và hy vọng có thể triển khai ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn.

Từ khóa: Bề mặt xoắn vít; máy đo tọa độ; CAD/CAM, CNC.

Abstract: Nowadays in Vietnam, the generations of screw surfaces are performed mainly by traditional cutting methods on universal lathe or milling machine with specific cutting tools. These methods may generate only simple screw surfaces with a constant pitch and requiring designing and manufacturing specialized cutting tools. The accuracy and productivity are not high and depend on the skill of operator and the accuracy of cutting tools, etc. On this paper the authors present a method of generating screw surfaces on 5-axis CNC milling machine by the aid of CAD/CAM software. This method is performed by four basic steps: 1 - Modelling the screw surfaces by CAD. 2 - Applying CAM to generate NC programme. 3 - Generating screw surfaces on 5 - axis CNC milling machine. 4 - Applying CMM to check the accuracy. The experiments are performed on screw surfaces model Arsimet designed by INVENTOR, machining on CNC DMU100 with assistance of TOPSOLID. The profile and pitch of manufactured specimen are checked by CMM Brown & Sharp 544. The experimental results show the advantages of the method and it's hopeful that the method will be applied broadly in practice.

Keywords: Screw surfaces; Coordinate Measuring Machine; CAD/CAM, CNC.

Nhận ngày 05/8/2013, chỉnh sửa ngày 30/8/2013, chấp nhận đăng 30/9/2013



1. Đặt vấn đề

Trục vít Arsimet được sử dụng nhiều trong thực tế kỹ thuật. Ở Việt Nam, do hạn chế về mặt công nghệ và do tính chất đơn lẻ trong sản xuất nên việc gia công trục vít Arsimet thường được thực hiện trên các máy vạn năng (tiện, phay), nên có những nhược điểm sau:

¹ ThS, Khoa Cơ khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: nqdung.nuce@gmail.com

- Độ chính xác và độ bóng bề mặt xoắn vít thấp (phụ thuộc vào tay nghề của người thợ và thiết bị gia công).
- Cần có trang - thiết bị chuyên dùng.
- Đối với mặt xoắn vít có yêu cầu cao về độ chính xác - độ bóng bề mặt cần phải gia công tinh.
- Không gia công được các trục vít có kết cấu phức tạp.

Các bề mặt xoắn vít và các bề mặt phức tạp được gia công trên các máy CNC nhiều trục có trong các thiết bị nhập khẩu cho thấy sự vượt trội về chất lượng so với các sản phẩm được gia công bằng phương pháp truyền thống. Do đó, việc nghiên cứu phương pháp gia công bề mặt xoắn vít trên máy phay CNC 4+5 trục bằng dao phay ngón với sự trợ giúp của các phần mềm CAD/CAM là vấn đề mang tính cấp thiết và có ý nghĩa quan trọng trong thực tiễn sản xuất.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1 Giới thiệu các bề mặt xoắn vít kẻ [2]

Mặt xoắn vít kè là bề mặt xoắn vít do một đường sinh thẳng chuyển động xoắn vít tạo thành (hình 1). Thiết lập hệ trục Oxyz có trục Oz là đường trục của chuyển động vít và của bề mặt vít. Dựng một hình trụ tròn bán kính là r_0 (gọi là hình trụ cơ sở hay hình trụ dẫn). Trên mặt trụ dựng một đường xoắn vít xuất phát từ điểm G nằm trên Ox có bước xoắn là H, góc nghiêng của đường vít là β và góc nâng là $\lambda = 90^\circ - \beta$.

Bước của đường xoắn vít (mặt xoắn vít) tính theo: $H = 2\pi r_0 \cotg\beta$ (1)

Đường thẳng AB tiếp xúc với bề mặt trụ, đồng thời tựa trên đường xoắn vít tại điểm N và hợp với Oz một góc ε tùy ý. Cho AB thực hiện hai chuyển động: Tịnh tiến dọc trục Oz với vận tốc V và quay quanh trục Oz với vận tốc góc ω . Hai chuyển động này có liên hệ với nhau, sao cho một điểm M (x, y, z) bất kỳ thuộc AB quay được một vòng quanh Oz thì đồng thời cũng chạy dọc theo phương Oz một lượng là H. Ta có:

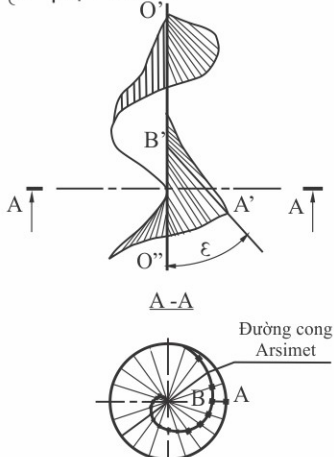
$$\frac{H}{2\pi} = \left| \frac{V}{\omega} \right| = p \quad (2)$$

trong đó p là tham số mặt xoắn vít (chuyển động vít).

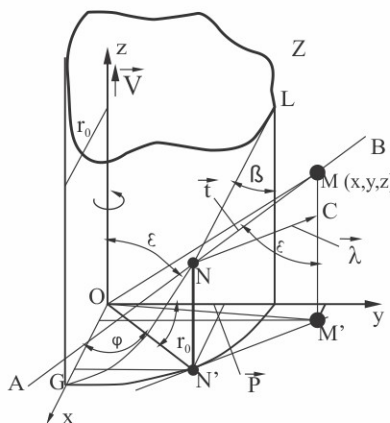
Kết quả là đường thẳng AB sẽ tạo ra một bề mặt xoắn vít, gọi là mặt xoắn vít kép.

Điểm M (x, y, z) chạy trên AB, khi AB chuyển động theo quy luật (1-1), thì tọa độ của M (x_M, y_M, z_M) chính là phương trình biểu diễn mặt vít kẻ. Đặt $MN = t$, trên MN đặt một vectơ chỉ phương đơn vị λ , phương trình mặt vít kẻ có dạng:

$$\begin{cases} x = r_0 \cdot \cos\varphi - t \cdot \sin\varepsilon \cdot \sin\varphi \\ y = r_0 \cdot \sin\varphi + t \cdot \sin\varepsilon \cdot \cos\varphi \\ z = p \cdot \varphi + t \cdot \cos\varepsilon \end{cases} \quad (3)$$



Hình 1. Nguyên lý hình thành mắt xoắn vít kẻ



Hình 2. Mắt xoắn vít Arsimet

Thay đổi một vài thông số trong hệ phương trình (1-3) ta có được một số mặt xoắn vít thông dụng trong chế tạo máy như mặt xoắn vít Arsimet, Convolute hoặc thân khai.

- Mặt xoắn vít Acsimet được tạo thành do đường thẳng AB cắt trục Oz ($r_0 = 0$) tạo với trục một góc ε (hình 2). Mặt xoắn vít Acsimet có những đặc điểm sau:

+ Mặt xoắn vít Acsimet không khai triển được trên mặt phẳng hay bề mặt bất kỳ nào và nó chỉ tạo hình đúng bằng đường thẳng.

+ Giao tuyến của mặt xoắn vít Acsimet và mặt phẳng vuông góc với trục Oz là đường cong Acsimet.

+ Giao tuyến của mặt xoắn vít Acsimet và mặt phẳng chứa trục Oz là đường thẳng nghiêng với trục Oz một góc ε .

+ Nếu AB vuông góc với trục Oz thì bề mặt xoắn vít tạo thành được gọi là Helicoit.

- Mặt xoắn vít Convolute được hình thành do đường thẳng AB tạo với trục Oz một góc chéo ε (đường thẳng AB luôn luôn tiếp tuyến với mặt trụ cơ sở trong quá trình chuyển động, hình 3). Mặt xoắn vít Convolute có những đặc điểm sau:

+ Mặt xoắn vít Convolute không khai triển được trên mặt phẳng, nên chỉ có thể tạo hình chính xác bằng đường thẳng.

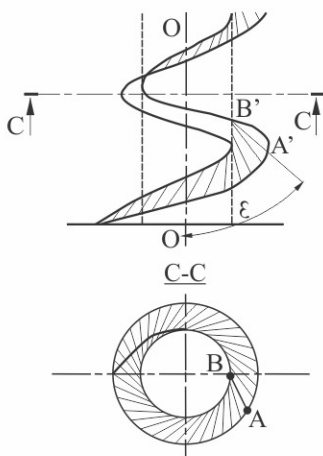
+ Giao tuyến của mặt xoắn vít Convolute và mặt phẳng vuông góc với trục Oz là đường thân khai kéo dài.

+ Giao tuyến của mặt xoắn vít Convolute và mặt phẳng vuông góc với phương của đường xoắn vít là đường thẳng.

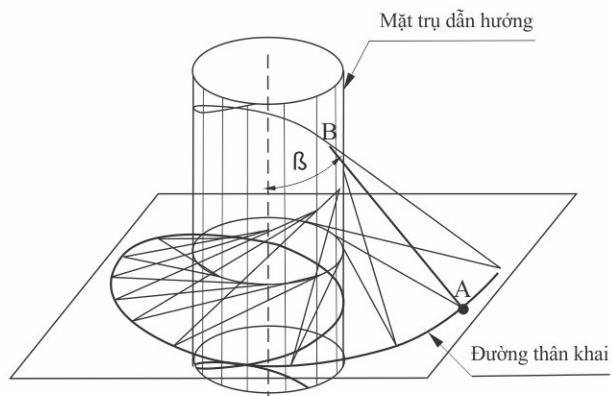
- Mặt xoắn vít thân khai được sinh ra khi cho đường thẳng AB nghiêng với trục một góc β bằng góc nghiêng của đường xoắn vít trên mặt trụ cơ sở (hình 4). Mặt xoắn vít thân khai có những đặc điểm sau:

+ Giao tuyến của mặt xoắn vít thân khai và mặt phẳng vuông góc với trục Oz là đường thân khai.

+ Giao tuyến của mặt xoắn vít thân khai với mặt phẳng tiếp tuyến với hình trụ cơ sở là đường thẳng nghiêng với trục OZ một góc β .



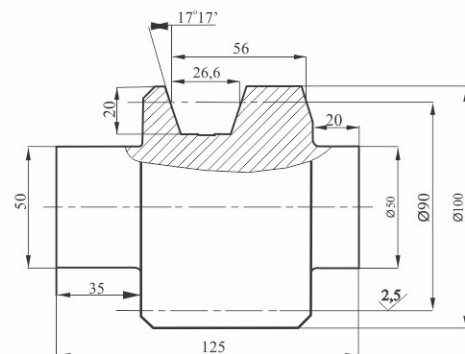
Hình 3. Mặt xoắn vít Convolute



Hình 4. Mặt xoắn vít thân khai

2.2 Mô hình hóa bề mặt xoắn vít Arsimet

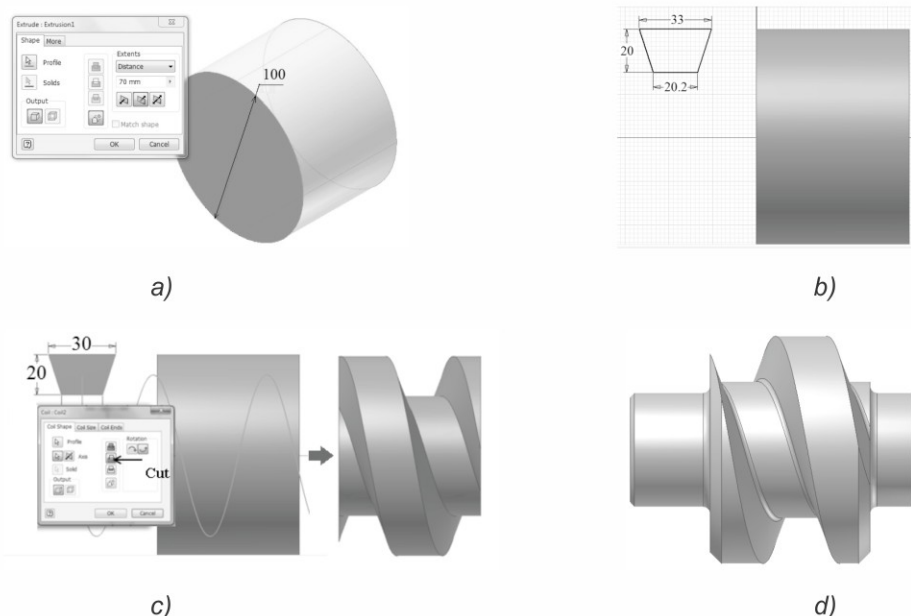
Mẫu chế thử trục vít Arsimet có các thông số hình học như trên hình 5.



Hình 5. Mẫu trục vít Arsimet

Dựa trên mẫu thiết kế, nhóm tác giả đi mô hình hóa trục vít trên phần mềm Inventor, tạo chương trình gia công trên phần mềm Solid'Cam và tiến hành gia công trên máy CNC 5 trục DMU100.

- Mô hình hóa trục vít Arsimet trên Inventor. Mặt xoắn vít Arsimet tạo thành do đường thẳng cắt trục chuyển động của vít quanh trục đó với một góc ϵ . Nếu thay đường thẳng bằng một tiết diện hình học (ví dụ như hình chữ nhật, hình thang cân,...) thì nhận được cặp bề mặt xoắn vít. Các bước mô hình hóa cụ thể như sau:

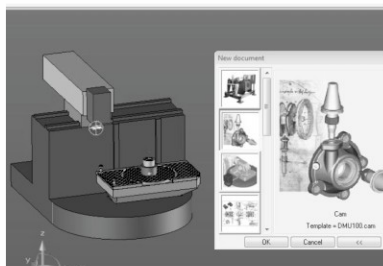


Hình 6. Mô hình hóa trục vít Arsimet

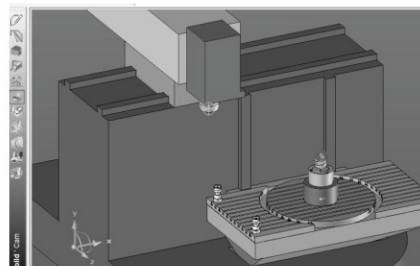
- + Dựng hình trụ $D=100\text{mm}$, dài 70mm bằng lệnh Extrude (hình 6.a).
- + Mở một Sketch trên mặt phẳng YZ, vẽ biên dạng rãnh vít (hình 6.b).
- + Dùng công cụ Coil để tạo biên dạng rãnh vít (hình 6.c). Chọn các thông số của mặt xoắn vít: Kiểu là Pitch and Revolution, bước Pitch 56mm , Revolution (số vòng xoắn) là 3, góc Taper chọn là 0, các thông số còn lại để mặc định nhận được đoạn có ren của trục vít Arsimet.
- + Tạo 2 ngõng trục có đường kính $D50\text{mm}$, chiều dài lần lượt là 35mm và 20mm bằng lệnh Extrude. Sau đó lượn tròn đoạn bậc trục và vát mép các góc ta được đoạn trục vít Arsimet (hình 6.d).

2.3 Thực nghiệm ứng dụng CAD/CAM chế tạo và kiểm tra bề mặt xoắn vít Arsimet

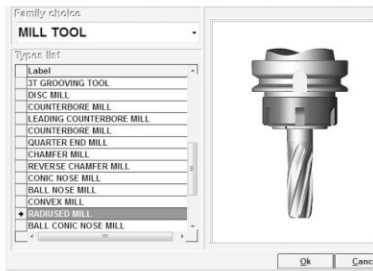
Trong phần này chỉ trình bày cách thiết lập chương trình gia công và tiến hành gia công bề mặt ren vít của trục vít trên TopSolid'Cam. Trên cơ sở mô hình trục vít đã dựng ở trên, việc thiết lập chương trình gia công bề mặt xoắn vít được thiết lập trên TopSolid'Cam theo thứ tự như trên hình 7(a,b,c,d,e,f).



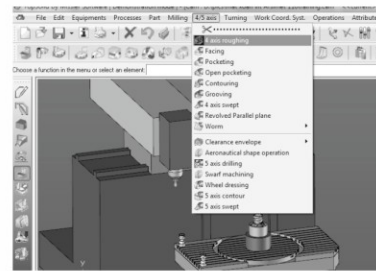
a) Chọn máy gia công DMU100



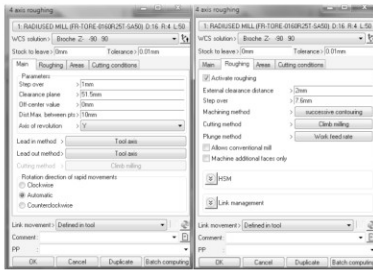
b) Gá và khai báo phôi, chọn chuẩn gia công



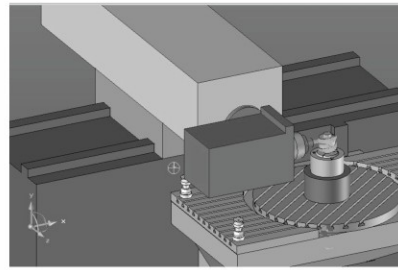
c) Chọn dụng cụ



d) Chọn phương pháp gia công là **Contouring**



e) Thiết lập chế độ cắt

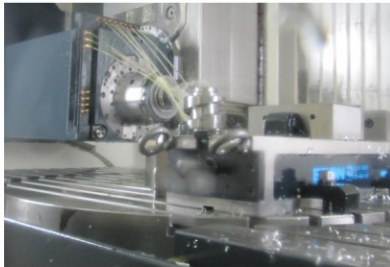


f) Mô phỏng quá trình gia công

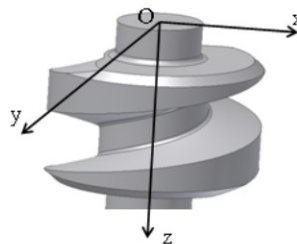
Hình 7. Các bước thiết lập chương trình gia công bằng TopSolid'Cam

- Chế tạo và kiểm tra bề mặt xoắn vít của mẫu. Tiến hành gia công mẫu trên máy DMU100 (hình 8), sau đó kiểm tra profile và bước trên CMM Brown& Sharp 544 (hình 9). Các số liệu đo thực hiện trên mặt phẳng Oxz (cố định trục y).

+ Đo 2 điểm trên mặt phẳng Oxz với cùng tọa độ theo trục x và xác định bước của trục vít theo: $p = z_2 - z_1$. Tiến hành đo 10 lần nhận được bước trung bình của trục vít (bảng 1).



Hình 8. Gia công mẫu trên máy DMU100



Hình 9. Đo mẫu chế thử trên máy CMM

Bảng 1. Kết quả đo profile rãnh vít

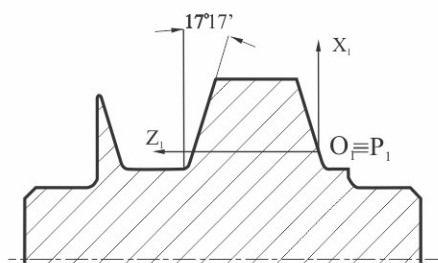
TT	z_1	z_2	$p = z_2 - z_1$	TT	z_1	z_2	$p = z_2 - z_1$
1	52,3312	108,2646	55,9334	6	94,1913	145,3678	56,0767
2	76,4412	132,4531	56,0119	7	97,2776	150,0012	55,8099
3	82,2998	138,2246	55,9248	8	101,4015	153,2298	55,9522
4	85,5398	141,5538	56,0140	9	103,5510	157,3408	55,9393
5	89,2911	145,3678	56,0767	10	109,3389	159,4976	55,9466
				$\bar{p} = \bar{p} = 55,9707$			

Từ bảng trên, có thể tính bước trung bình của mẫu trong tiết diện dọc trục $p_t=55,9707\text{mm}$ và sai số tương đối của bước xoắn vít so với bước danh nghĩa:

$$\Delta p = \frac{|p_t - p|}{p} = \frac{|55,9707 - 56|}{56} \cdot 100\% = 0,05\%$$

+ Để đánh giá sai số profin của trục vít Arsimet, đo biên dạng rãnh vít trong tiết diện dọc trục và đánh giá sai lệch so với biên dạng rãnh vít danh nghĩa. Tiến hành đo 10 điểm trên một cạnh của rãnh vít trong tiết diện dọc trục (hình 10).

Points	Reference	Size	X	Y	Z
1	X-Z		40.8249	0.0000	49.8447
1	X-Z		39.9540	0.0000	49.5752
1	X-Z		38.9245	0.0000	49.2532
1	X-Z		37.8425	0.0000	48.9181
1	X-Z		37.1396	0.0000	48.7018
1	X-Z		36.6444	0.0000	48.5452
1	X-Z		36.1436	0.0000	48.3932
1	X-Z		34.9238	0.0000	48.0561
1	X-Z		33.9454	0.0000	47.7439
1	X-Z		32.6200	0.0000	47.3214



Hình 10. Kết quả đo 10 điểm trên máy CMM

Hình 11. Đặt lại hệ trục tọa độ

Với góc profile cạnh ren lý thuyết $\alpha = 17^\circ 17'$, có thể lập phương trình cạnh của profile danh nghĩa trong mặt phẳng Oxz :

$$z = x \tan \alpha = x \cdot \tan 17^\circ 17' \approx 0,3105 \cdot x \quad (4)$$

Dịch chuyển hệ trục tọa độ Oxz về hệ trục tọa độ $O_1x_1z_1$, với gốc tọa độ $O_1 \equiv P_1$ (hình 11). Lấy điểm đầu $P_1(0; 0; 0)$ và điểm cuối $P_{10}(8,2049; 0; 2,5233)$ trong hệ tọa độ mới để lập phương trình của cạnh xoắn vít thực trong mặt phẳng $O_1x_1z_1$:

$$\frac{z-0}{x-0} = \frac{2,5233-0}{8,2049-0} = 0,3075 \Rightarrow z = 0,3075 \cdot x$$

$$\text{Góc profile cạnh ren thực: } \alpha = \arctan(0,3075) = 17^\circ 10'$$

+ Tính sai số của cạnh profile thực tế và cạnh profile lý thuyết thông qua 10 điểm theo độ lệch trục z khi có cùng tọa độ x (bảng 2):

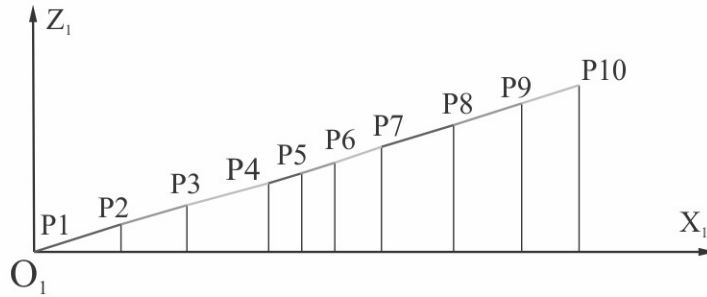
$$\Delta z_i = z_{it} - z_i \quad (5)$$

trong đó: z_{it} - Tọa độ thực của điểm P_i trên trục z ứng với x_i ; z_i - Tọa độ lý thuyết của điểm P_i trên trục z ứng với x_i

Bảng 2. Sai số cạnh profile

Điểm	Tọa độ x thực tế	Tọa độ x theo Oxz	Tọa độ z lý thuyết	Tọa độ z thực tế	Tọa độ z theo $O_1x_1z_1$	Sai lệch Δz
P_1	32,6200	0	0	47,3214	0	0
P_2	33,9454	1,3254	0,4115	47,7439	0,4225	0,0110
P_3	34,9238	2,3038	0,7153	48,0561	0,7347	0,0194
P_4	36,1436	3,5236	1,0941	48,3932	1,0718	-0,0223
P_5	36,6444	4,0244	1,2496	48,5452	1,2238	-0,0258
P_6	37,1396	4,5196	1,4034	48,7018	1,3804	-0,0230
P_7	37,8425	5,2225	1,6216	48,9181	1,5967	-0,0249
P_8	38,9245	6,3045	1,9576	49,2532	1,9318	-0,0258
P_9	39,954	7,334	2,2773	49,5752	2,2538	-0,0235
P_{10}	40,8349	8,2149	2,5508	49,8447	2,5233	-0,0275
Tổng sai lệch $\Sigma \Delta z = 0,2032$						

Dựng biên dạng cạnh của trục vít trong tiết diện dọc trục qua 10 điểm theo kết quả đo:



Hình 12. Biên dạng cạnh của trục vít trong tiết diện dọc trục qua 10 điểm

Nhận xét: Sai lệch của profile và bước vít của sản phẩm chế tạo so với thiết kế là rất nhỏ (sai số ở đây bao gồm sai số chế tạo và sai số kiểm tra) nên trục vít Arsimet chế thử thỏa mãn các yêu cầu về độ chính xác hình học.

Để đánh giá độ nhám bề mặt trục vít, tiến hành đo độ nhám tại 10 vị trí khác nhau trên 2 cạnh ren trục vít. Kết quả đo độ nhám trục vít trên chiều dài chuẩn $L = 4\text{mm}$ như sau:

Bảng 3. Kết quả đo độ nhám bề mặt trục vít trên 10 vị trí

TT	$R_a, \mu\text{m}$	TT	$R_a, \mu\text{m}$
1	2,88	6	2,71
2	2,79	7	2,86
3	2,89	8	2,69
4	2,75	9	2,90
5	2,93	10	2,68

Sai lệch trung bình số học của bề mặt trục vít Arsimet là: $R_a = 2,81\mu\text{m}$.

Nhận xét: Bề mặt xoắn vít gia công bằng phương pháp phay có chất lượng bề mặt không cao như khi gia công bằng phương pháp tiện. Nguyên nhân là do vết của đường chuyển dao để lại. Có thể nâng cao chất lượng bề mặt khi phay bằng cách sử dụng dao phay ngón đầu cầu có bán kính hợp lý khi gia công bề mặt rãnh.



3. Kết luận

Sai số của bước vít và profile của mẫu chế thử so với lý thuyết là rất nhỏ. Phương pháp gia công trục vít trên máy CNC 4+5 trục cho năng suất gia công và chất lượng sản phẩm cao hơn so với các phương pháp truyền thống do khả năng nâng cao chế độ cắt. Do bề mặt xoắn vít được tạo ra bởi tập hợp các đường chạy dao nên phương pháp này có thể gia công các bề mặt xoắn vít có kết cấu phức tạp (mà các phương pháp gia công truyền thống không thể thực hiện được). Các kết quả thực nghiệm bước đầu cho thấy sự ưu việt của phương pháp và hy vọng có thể triển khai ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn.

Tài liệu tham khảo

1. An Hiệp, Trần Vĩnh Hưng, Nguyễn Văn Thiệp (2006), *Thiết kế chi tiết máy trên máy tính*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
2. Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Bùi Sĩ Túy (2004), *Thiết kế dụng cụ công nghiệp*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội
3. Missler software, *TopSolid/Cam help* 2012.