



CỤC TIỂU HÓA SAI LỆCH KÍCH THƯỚC THEO PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI KHI PHAY TRÊN TRUNG TÂM GIA CÔNG CNC

Nguyễn Trọng Hùng¹, Hoàng Minh Thuận¹, Nguyễn Quang Hưng², Chu Việt Khánh³

¹ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

² Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghiệp

³ Trường Cao đẳng nghề Bắc Giang

Ngày nhận: 12/4/2016

Ngày sửa chữa: 06/5/2016

Ngày xét duyệt: 29/5/2016

Tóm tắt:

Bài báo này trình bày phương pháp cực tiểu hóa sai lệch kích thước theo phương pháp Taguchi khi phay trên trung tâm gia công CNC, làm giảm số lượng thực nghiệm, tạo ra sản phẩm chất lượng cao với chi phí thấp cho các nhà sản xuất. Kết quả cho quan hệ giữa chế độ cắt gồm tốc độ quay, lượng chạy dao và chiều sâu cắt với các tương tác cặp, tương tác ba giữa chúng với sai lệch kích thước và xác định được chế độ cắt tối ưu cục bộ (trong phạm vi khảo sát) có sai lệch kích thước nhỏ nhất khi phay trên máy CNC.

Từ khóa: Cực tiểu hóa; Sai lệch kích thước; Taguchi; Tốc độ quay; Lượng chạy dao; Chiều sâu cắt; Trung tâm gia công CNC.

1. Đặt vấn đề

Việc nghiên cứu cực tiểu hóa sai lệch kích thước theo phương pháp Taguchi khi phay trên trung tâm gia công CNC, làm giảm số lượng thực nghiệm, nâng cao độ chính xác gia công và xây dựng mối quan hệ giữa chế độ cắt gồm tốc độ quay, lượng chạy dao và chiều sâu cắt với các tương tác cặp, tương tác ba giữa chúng với sai lệch kích thước, do đó nâng cao chất lượng làm việc của các chi tiết máy và nâng cao năng suất gia công. Đây là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu trong lĩnh vực cơ khí chế tạo máy.

2. Cơ sở phương pháp nghiên cứu

2.1. Hàm tổn thất Taguchi [1]

Mục tiêu của phương pháp Taguchi là để giảm chi phí cho nhà sản xuất và xã hội từ thay đổi trong quá trình sản xuất. Tiến sỹ Taguchi (Nhật Bản) xác định sự khác biệt giữa giá trị mục tiêu về các đặc tính hiệu suất của một quá trình τ và các giá trị đo được y , như một hàm tổn thất:

$$l(y) = k_c \cdot (y - \tau)^2 \quad (1)$$

Trong đó: $k_c = \frac{C}{\Delta^2}$ - Hằng số.

Nếu hàm mục tiêu là để thực hiện *cực tiểu hóa* giá trị đặc trưng, thì hàm tổn thất được xác định như sau:

$$l(y) = k_c \cdot y^2 \quad (2)$$

Trong đó: $\tau = 0$

Nếu hàm mục tiêu là để thực hiện *cực đại hóa* giá trị đặc trưng, thì hàm tổn thất được xác định như sau:

$$l(y) = \frac{k_c}{y^2} \quad (3)$$

2.2. Thiết kế thực nghiệm Taguchi [1]

Tiến sỹ G.Taguchi (Nhật Bản) đã phát triển phương pháp thiết kế các thực nghiệm, để nghiên cứu biện pháp xác định các thông số khác nhau ảnh hưởng đến *giá trị trung bình và phương sai (average value and variances)* của đặc tính hiệu suất quá trình, xác định xem quá trình này hoạt động tốt như thế nào. Thiết kế thực nghiệm bởi Taguchi đề xuất liên quan đến việc sử dụng các *ma trận trực giao* để tổ chức các thông số ảnh hưởng đến quá trình và các mức, mà tại đó chúng sẽ được thay đổi, nó cho phép để thu thập các dữ liệu cần thiết để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hầu hết chất lượng sản phẩm với một số lượng tối thiểu của thí nghiệm, do đó tiết kiệm thời gian và nguồn lực. Phân tích phương sai trên các dữ liệu thu thập được từ các thiết kế thực nghiệm Taguchi, có thể được sử dụng để chọn các giá trị thông số mới nhằm tối ưu hóa các đặc tính hiệu suất.

Việc lựa chọn ma trận trực giao được thực hiện theo phương pháp Taguchi, được lựa chọn phụ thuộc vào số thông số nghiên cứu, các mức ảnh hưởng của chúng và được trình bày trong Bảng 1.

Từ hàm tổn thất Taguchi, để cực tiểu hóa hàm mục tiêu và xác định ảnh hưởng cho từng biến ở đầu ra, giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu S/N, cần phải tính toán cho mỗi thí nghiệm theo biểu thức (4).

$$\eta_i = S/N_i = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4)$$

Trong đó:

n - Số lặp lại thí nghiệm.

y_i - Giá trị hàm mục tiêu đối với một thí nghiệm.

Bảng 1. Thiết kế Taguchi

n\k	3	4	5	6	7	10	11	12	13	15	21	22	26	27	31	40	63
4	$\frac{L4}{2}$																
8	.	.	.	.	$\frac{L8}{2}$												
9	.	$\frac{L9}{3}$															
12	.	.	.	.	.	.	$\frac{L12}{2}$										
16	.	.	$\frac{L16b}{4}$	.	.	.	.	.	.	$\frac{L16}{2}$							
18	.	.	.	.	$\frac{L18}{3.6}$												
25	.	.	.	$\frac{L25}{5}$													
27	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L27}{3.2}$									
32	.	.	.	.	.	$\frac{L32b}{4.2}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L32}{2}$		
36	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L36}{3}$	.	$\frac{L36b}{3.2}$			
50	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L50}{5.2}$									
54	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L54}{3.2}$				
64	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L64b}{2}$	.	.	.	.	.	$\frac{L64}{4}$
81	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	$\frac{L81}{3}$	

Trong Bảng 1:

n - Số thí nghiệm;

k - Số thông số ảnh hưởng.

2, 3, 4, 5 (mẫu số) - Số mức ảnh hưởng của thông số.

Chú ý rằng, trong ma trận được lựa chọn, nếu số thông số ảnh hưởng nhỏ hơn k, có thể bỏ bớt các cột trong ma trận đó.

Trong thực nghiệm ở đây, gồm có các mức ảnh hưởng đến nhám bề mặt $I = 3$; các yếu tố ảnh hưởng đến nhám $J = 3$; số lần thử nghiệm $K = 3$; số lần lặp các điểm thiết kế $L = 3$.

Suy ra, sử dụng ma trận trực giao $\frac{L9}{3}$, do chỉ có 3 thông số công nghệ được khảo sát, do đó có thể bỏ cột P4.

2.3. Phân tích phương sai [1]

Phân tích phương sai (*analysis of variance* - ANOVA) là kỹ thuật thống kê được sử dụng khi muốn so sánh các giá trị trung bình của từ ba nhóm trở lên, được dựa trên các giá trị trung bình của các mẫu quan sát từ các nhóm này và thông qua kiểm định giả thuyết để kết luận về sự bằng nhau của các giá trị trung bình này.

Trong nghiên cứu, phân tích phương sai được dùng như là một công cụ để xem xét ảnh hưởng của một hay một số yếu tố nguyên nhân (định tính) đến

một yếu tố kết quả (định lượng).

Kỹ thuật này chia phương sai của một quan sát (*observation*) thành hai phần:

Phương sai giữa các nhóm (*between groups*);

Phương sai nội nhóm (*within group*).

Do phương sai là độ phân tán tương đối của các quan sát so với giá trị trung bình, nên việc phân tích phương sai giúp so sánh các giá trị trung bình dễ dàng (*bên cạnh việc so sánh các phương sai*).

Để phân tích phương sai cần xác định một số các thông số dưới đây (công thức và kết quả trong Bảng 5):

Tổng các sai lệch bình phương toàn bộ mẫu - SST

Tổng các sai lệch bình phương giữa các nhóm - SSB

Tổng các sai lệch bình phương trong mỗi nhóm - SSW

Sai lệch bình phương trung bình toàn bộ mẫu - MST

Sai lệch bình phương trung bình giữa các nhóm - MSB

Sai lệch bình phương trung bình trong từng nhóm - MSW

Kiểm định F- test (F - Fisher):

$$F - test = \frac{MSB}{MSW} \quad (5)$$

3. Thực nghiệm và phân tích kết quả nghiên cứu

3.1. Bài toán nghiên cứu

Cực tiểu hóa sai lệch kích thước theo phương pháp Taguchi với các thông số chế độ cắt gồm tốc độ quay n , lượng chạy dao S và chiều sâu cắt t khi phay trên trung tâm gia công CNC. Số liệu thực nghiệm được tính toán theo phân tích phương sai.

3.2. Điều kiện thực nghiệm

Sử dụng trung tâm gia công 3 trục V40-Leadwell (Đài Loan), gá dao tiêu chuẩn BT-40 (Hình 1). Các thông số công nghệ gồm có 3 mức thấp, trung bình và cao (Bảng 2), được lựa chọn phụ thuộc vào thiết bị, dụng cụ cắt, vật liệu gia công được tra cứu từ tài liệu [2], [3], [6] và [7]. Do đó, ta có ma trận trực giao được thiết kế theo phương pháp Taguchi (Bảng 2).

Bảng 2. Giá trị các thông số công nghệ trong thực nghiệm

Các thông số chế độ cắt	Thông số thiết kế	Các mức		
		Thấp	Trung bình	Cao
Tốc độ quay (vòng/phút)	P1	750	1000	1500
Lượng chạy dao (mm/vòng)	P2	10	15	20
Chiều sâu cắt (mm)	P3	0,1	0,15	0,2

3.3. Thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

3.3.1. Ma trận trực giao theo phương pháp Taguchi

Ma trận trực giao được thiết kế theo phương pháp Taguchi (Bảng 3).

Bảng 3. Ma trận thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

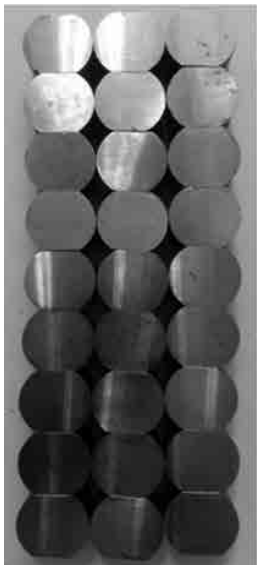
Thí nghiệm số	P1 (vòng/phút)	P2 (mm/phút)	P3 (mm)
1	750	10	0,1
2	750	15	0,15
3	750	20	0,2
4	1000	10	0,15
5	1000	15	0,2
6	1000	20	0,1
7	1500	10	0,2
8	1500	15	0,1
9	1500	20	0,15

3.3.2. Lựa chọn phương pháp và thiết bị đo

Phương pháp đo sai lệch kích thước theo phương pháp so sánh với căn mẫu; đồng hồ so 0,001 mm (Nhật Bản) và đồ gá đo và bàn chuẩn, định vị 5 bậc tự do.



Hình 1. Trung tâm gia công 3 trục V40-Leadwell



Hình 2. Mẫu phay

3.3.3. Tính toán kết quả thực nghiệm theo phương pháp Taguchi

Nhận xét 1: Theo phương pháp Taguchi để cực tiểu hóa sai lệch kích thước khi phay trên trung tâm gia công CNC, từ biểu thức (1) tính được giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu η (Bảng 4). Ta thấy rằng, trong cuộc thí nghiệm thứ 4, giá trị hiệu suất η bằng tỷ lệ tín hiệu nhiễu S/N nhỏ nhất, suy ra tác động của các thông số chế độ cắt đến sai lệch kích thước là lớn nhất, đồng thời giá trị sai lệch kích thước cũng nhỏ nhất.

Bảng 4. Giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu

Số thí nghiệm	P1	P2	P3	Δ_{m_1}	Δ_{m_2}	Δ_{m_3}	$\bar{\Delta}_m$	η_i
1	750	10	0,1	133	138	127	132,6	-42.46
2	750	15	0,15	123	123	125	123,6	-41.85
3	750	20	0,2	131	114	131	125,3	-41,73
4	1000	10	0,15	138	090	129	119	-41,64
5	1000	15	0,2	172	135	169	158,6	-44.05
6	1000	20	0,1	129	132	144	135	-42.61
7	1500	10	0,2	149	135	232	172	-44.97
8	1500	15	0,1	177	131	355	221	-47.64
9	1500	20	0,15	150	135	267	184	-45.72

3.4. Phân tích phương sai

tích phương sai như Bảng 5:

Từ kết quả thực nghiệm tính toán được phân

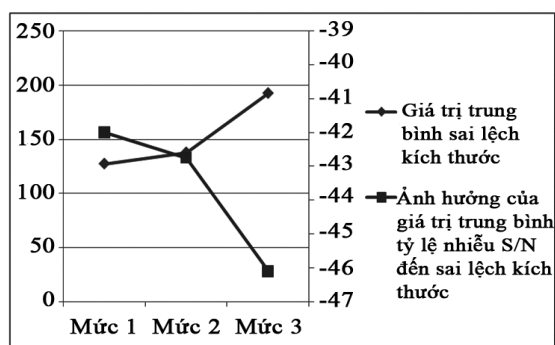
Bảng 5. Phân tích phương sai

Biến thiên	f	SS	MS	F	F_T
P1	J-1 = 2	$SS_{P1} = 220611,96$	$MS_{P1} = \frac{SS_{P1}}{J-1} = 110305,98$	$F_{P1} = \frac{MS_{P1}}{MS_E} = 38,08$	$F_{2,54;0,95} = 3,183$
P2	K-1 = 2	$SS_{P2} = 326595,63$	$MS_{P2} = \frac{SS_{P2}}{I-1} = 163297,81$	$F_{P2} = \frac{MS_{P2}}{MS_E} = 56,37$	$F_{2,54;0,95} = 3,183$
P3	L-1 = 2	$SS_{P3} = 604486,78$	$MS_{P3} = \frac{SS_{P3}}{K-1} = 302243,39$	$F_{P3} = \frac{MS_{P3}}{MS_E} = 1,04$	$F_{2,54;0,95} = 3,183$
Tương tác P1xP2	(J-1)(I-1) = 4	$SS_{P1P2} = -185795,81$	$MS_{P1P2} = \frac{SS_{P1P2}}{(I-1)(J-1)} = -46448,95$	$F_{P1P2} = \frac{MS_{P1P2}}{MS_E} = -16,04$	$F_{4,54;0,95} = 2,557$
Tương tác P1xP3	(J-1)(K-1) = 4	$SS_{P1P3} = -494824,52$	$MS_{P1P3} = \frac{SS_{P1P3}}{(J-1)(K-1)} = -123706,13$	$F_{P1P3} = \frac{MS_{P1P3}}{MS_E} = -42,71$	$F_{4,54;0,95} = 2,557$
Tương tác P2xP3	(I-1)(K-1) = 4	$SS_{P2P3} = 401453,37$	$MS_{P2P3} = \frac{SS_{P2P3}}{(I-1)(K-1)} = 100363,34$	$F_{P2P3} = \frac{MS_{P2P3}}{MS_E} = 0,34$	$F_{4,54;0,95} = 2,557$
Tương tác P1xP2xP3	(J-1)(I-1)(K-1) = 8	$SS_{P1P2P3} = 580794,81$	$MS_{P1P2P3} = \frac{SS_{P1P2P3}}{(I-1)(J-1)(K-1)} = 72599,35$	$F_{P1P2P3} = \frac{MS_{P1P2P3}}{MS_E} = 2,5$	$F_{8,54;0,95} = 2,13$
Lỗi	N-IJK=54	$SS_E = 156423$	$MS_E = \frac{SS_E}{N-IJK} = 2896,72$	-	-
Tổng cộng	N-1 = 80	1609745,22	-	-	-

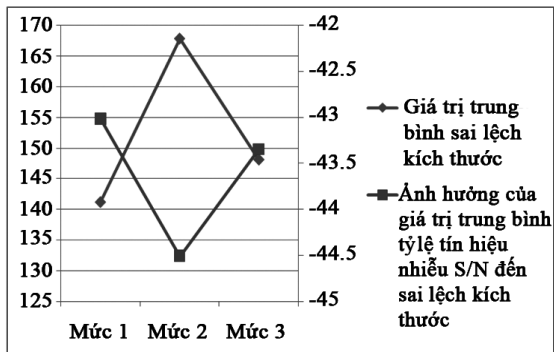
Giá trị trong cột F_T được tra từ bảng giá trị tới hạn phân phối F, với mức ý nghĩa 0,05 [4].

3.5. Đồ thị thực nghiệm

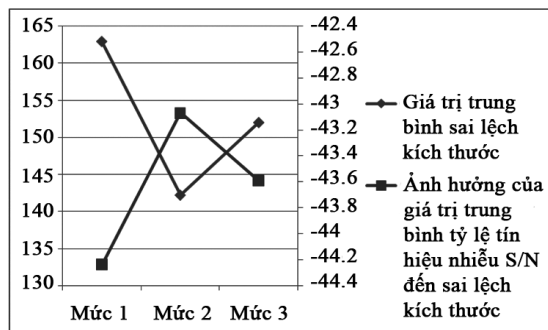
Từ các giá trị trung bình của các thông số P1, P2 và P3; giá trị trung bình sai lệch kích thước $\bar{\Delta}_m$ và giá trị trung bình hiệu suất η_i trong Bảng 4, sử dụng phần mềm Microsoft Excel xây dựng được biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của giá trị trung bình tỷ lệ tín hiệu nhiễu S/N khi thay đổi tốc độ quay, lượng chạy dao và chiều sâu cắt khi phay trên Trung tâm gia công 3 trục V40-Leadwell đến sai lệch kích thước (Hình 3a, b và c).



Hình 3a. Ảnh hưởng của tỷ lệ S/N khi thay đổi n đến sai lệch kích thước



Hình 3b. Ảnh hưởng của tỷ lệ S/N khi thay đổi S đến sai lệch kích thước



Hình 3c. Ảnh hưởng của tỷ lệ S/N khi thay đổi t đến sai lệch kích thước

Nhận xét 2: Từ các đồ thị Hình 3a, b và c suy ra, tác động đến sai lệch kích thước của thông số chế độ cắt lớn nhất ở mức 1 khi thay đổi tốc độ quay và lượng chạy dao và ở mức 2 khi thay đổi chiều sâu cắt. Tương ứng với các mức này, giá trị sai lệch kích thước của chi tiết gia công là nhỏ nhất.

Nhận xét 3: Từ Bảng 5 thấy rằng, lượng chạy dao và tốc độ quay có giá trị $F_{p2} = 56,37 > F_{p1} = 38,08 > F_T = 3,183$, nghĩa là lần lượt theo thứ tự lượng chạy dao và tốc độ quay đều ảnh hưởng đến sai lệch kích thước. Các tương tác cặp giữa tốc độ quay và chiều sâu cắt; giữa tốc độ quay và lượng

chạy dao có giá trị $F_{p1p3} = |-42,71| > F_{p1p2} = |-16,04| > F_T = 3,183$, nghĩa là theo thứ tự đều ảnh hưởng ngược đến sai lệch kích thước. Còn chiều sâu cắt, các tương tác cặp giữa lượng chạy dao và chiều sâu cắt, cũng như tương tác ba giữa các thông số chế độ cắt có giá trị $F < F_T$, nên không điều chỉnh được để đạt sai lệch kích thước mong muốn. Từ nhận xét 2 thấy rằng, nên ưu tiên lấy giá trị lượng chạy dao ở mức 1.

4. Kết luận

1. Trong bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu cực tiểu hóa sai lệch kích thước theo phương pháp Taguchi làm giảm đáng kể số lượng thực nghiệm với độ chính xác và độ tin cậy cao (95%) của kết quả và sử dụng phân tích phương sai ANOVA với ba thông số, ba mức ảnh hưởng, ba lần thử nghiệm và ba lần lặp các điểm thiết kế, cho biết ảnh hưởng định lượng một cách khoa học của chế độ cắt đến độ chính xác kích thước khi phay trên Trung tâm gia công 3 trục V40-Leadwell (Đài Loan).

2. Các yếu tố có giá trị $F > F_T$ theo thứ tự gồm lượng chạy dao và tốc độ quay đều ảnh hưởng đến sai lệch kích thước. Các tương tác cặp giữa tốc độ quay và chiều sâu cắt; giữa tốc độ quay và lượng chạy dao theo thứ tự đều ảnh hưởng ngược đến sai lệch kích thước. Còn chiều sâu cắt, các tương tác cặp giữa lượng chạy dao và chiều sâu cắt, cũng như tương tác ba giữa các thông số chế độ cắt có giá trị $F < F_T$, nên không điều chỉnh được để đạt sai lệch kích thước mong muốn.

3. Để cực tiểu hóa sai lệch kích thước thông số chế độ cắt được chọn theo thí nghiệm số 1: tốc độ quay $n = 1000$ (vòng/phút); lượng chạy dao $S = 10$ (mm/vòng) và chiều sâu cắt $t = 0,15$ (mm). Khi đó, giá trị tỷ lệ tín hiệu nhiễu $\eta = -41,64$ lớn nhất, nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến sai lệch kích thước nhiều nhất, đồng thời giá trị sai lệch kích thước cũng nhỏ nhất $\bar{\Delta}_m = 119 \mu\text{m}$.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Trọng Hùng, Phùng Xuân Sơn, *Giáo trình Thiết kế thực nghiệm trong chế tạo máy*, NXB Xây dựng, Hà Nội 2016.
- [2]. Nguyễn Đắc Lộc và các tác giả, *Công nghệ chế tạo máy*, NXB KHKH, Hà Nội 1998.
- [3]. NTU, *Tra cứu chế độ cắt*, Khoa cơ khí, Trường Đại học Nha Trang.
- [4]. Nguyễn Thu Hương (Chủ biên), *Bài giảng Lý thuyết xác suất và Thống kê toán*, NXB Lao động - Xã hội, Hà Nội 2011.
- [5]. Nguyễn Quang Hưng, *Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số công nghệ đến độ chính xác kích thước khi gia công thép cacbon trên máy phay CNC theo phương pháp Taguchi và ANOVA*, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên. Hưng Yên 2015.
- [6]. Saurav Datta, Sanjit Moshat, Asish Bandyopadhyay and Pradip Kumar Pal, *Optimization of CNC End Milling Process Parameters using PCA-based Taguchi Method*, International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 2, No. 1, 2010, pp. 92-102. 2010 MultiCraft Limited.

- [7]. Nitil Agarwal, *Surface Roughness Modeling with Machining Parameters (Speed, Feed & Depth of Cut) in CNC Milling*, MIT International Journal of Mechanical Engineering, Vol 2, No. 1, Jan. 2012, pp (55-61).
- [8]. E. Daniel Kirby, *A Parameter Design Study in A Turning Operation using the Taguchi Method*, The Technology Interface/Fall 2006. Iowa State University.

MINIMIZATION DEVIATION OF DIMENSIONS USING TAGUCHI'S METHOD IN THE MILLING OPERATION ON THE MACHINING CENTER CNC

Abstract:

This paper presents the method of study minimization deviation of dimensions using Taguchi's method in milling operation on the machining center CNC, which reduces the number of experiments, produces high quality products with low cost for manufacturers. Results for the relations between the cutting regime include rotational speed, flow range and depth of cut with the pair interactions, three interactions between them with the accuracy dimensions and determine the local optimum the cutting regime (within the survey) with minimum deviation dimensions in the milling operation CNC.

Keywords: *Minimization; Deviation of dimensions; Taguchi; Rotational speed; Flow range; Depth of cut; The machining center CNC.*