

미세패턴 선삭에서 공구 공작물 세팅에 의한 가공오차 예측

송석균*, 이종민*, 최정주*, 본단*, 김수진[†], 이동윤**, 남성호**, 이석우**

Cutting Error Estimation Induced from Tool and Workpiece Setting Error at Micro Pattern Turning

Seok-Gyun Song, Jong-Min Lee, Jeong-Ju Choi, Bondhan Novandy, Su-Jin Kim, Dong-Yoon Lee, Sung-Ho Nam and Seok-Woo Lee

Key Words: Micro machining(미세가공), Setting error(세팅 오차), Roll mold(롤금형), Tool setting(공구세팅), Stock setting(공작물세팅), Cutting error(가공오차)

Abstract

This research estimate the cutting error induced from tool and stock setting error when micro pattern is fabricated on the surface of roll mold. The precise turning center and diamond tool is used to cut micro v-shape groove pattern on the wide surface of roll mold. The setting error of tool or roll mold is important for precise cutting and this paper present the relation between setting error and cutting error by geometrical analysis.

d = Depth of micro pattern

기호설명

- ϵ_r =Radial cutting position error of roll
- ϵ_θ =Angular cutting position error of roll
- ϵ_z =Axial cutting position error of roll
- ϵ_d =Cutting depth error of micro pattern
- ϵ_p =Pitch error of micro pattern
- δ_l =Position setting error of tool
- δ_L =Left position setting error of workpiece
- δ_R =Right position setting error of workpiece
- δ_a =Side direction angular setting error of tool
- δ_f =Feed direction angular setting error of tool
- r =Radius of roll
- l =Length of roll
- p = Pitch of micro pattern
- a = Angle of micro pattern

1. 서론

디스플레이 및 광학기기 산업분야에는 대면적 미세형상 가공기술이 중요하다. 가공이 대면적화, 미세화 될수록 가공오차를 줄이는 노력이 필요하다.[1-3] 가공오차의 원인은 크게 공작기계, 공구 공작물 세팅, 물리적 절삭현상으로 인한 오차로 나눌 수 있다. 공작기계의 오차는 다시 반복 오차와 랜덤 오차로 나눌 수 있는데, 반복 오차에는 안내면의 진직도, 베드의 뒤틀림, 센터의 불일치가 있다.[4-7]

공작기계의 랜덤 오차에는 주축의 진원도, 제어 오차, 외부온도, 백래시, 하중변형이 있다.[8, 9] 공구와 공작물의 세팅 오차도 가공 오차에 중요한 원인으로 선삭에서 세팅 오차에 대한 연구가 있었다.[10-12] 가공 중에는 물리적 절삭 현상에 의해 오차가 발생할 수 있는데, 공구 마모에 의한 오차[13-15], 절삭력에 의해 변형 오차[16], 채터에 의한 오차[17,18]를 들 수 있다.

이렇게 다양한 오차의 원인이 존재하는데 본

[†] 경상대학교 기계항공공학부
E-mail : sujinkim@gnu.ac.kr
TEL : (055)751-6075 FAX : (055)762-0227

* 경상대학교 기계항공공학부

** 한국생산기술연구원

연구에서는 공구와 공작물의 세팅 오차에 의한 가공위치 오차와 미세형상 오차를 기하학적으로 예측하는 방법을 연구하고자 한다. 2장은 공구의 위치세팅 오차와 소재의 세팅 오차로 발생하는 가공위치 오차를 다루고, 3장은 공구의 각도 세팅 오차로 발생하는 미세형상 오차를 다룬다.

2. 가공위치오차

2.1 공구 위치 세팅 오차에 의한 가공위치오차

Fig. 1의 점선은 공구가 정확히 세팅 되었을 경우 공구위치와 선삭 결과를 나타내고, 실선은 공구의 위치 세팅 오차가 δt 일 때 공구의 위치와 선삭 결과를 나타낸다. 공구의 위치 세팅 오차로 인한 가공오차의 반경 방향 성분은 식(1)과 같고, 회전 방향 성분은 식(2)와 같으며, z방향 오차는 식(3)과 같이 세팅 오차의 z방향 성분과 일치한다. 반경방향 가공오차는 공구의 x방향 세팅 오차에 비례하고, 회전방향 가공오차는 공구의 y방향 세팅 오차에 비례한다.

$$\varepsilon_{rt} = \sqrt{(r + \delta x_t)^2 + (\delta y_t)^2} - r \approx \delta x_t \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\theta t} = \tan^{-1}(\delta y_t / (r + \delta x_t)) \approx \delta y_t / r \quad (2)$$

$$\varepsilon_{zt} = \delta z_t \quad (3)$$

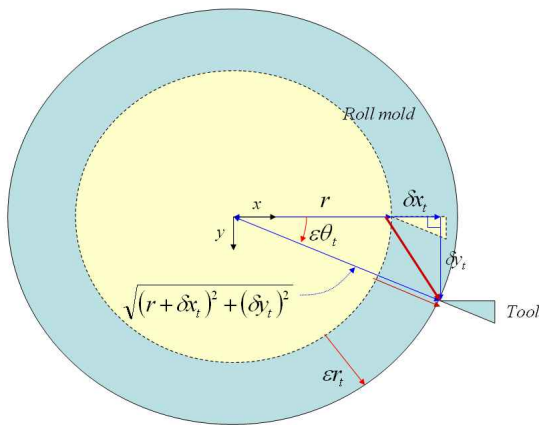


Fig. 1 Position setting error of tool

2.2 공작물 세팅 오차에 의한 가공위치오차

Fig. 2 (a)의 점선은 롤 금형이 정확히 고정되었을 경우의 가공 결과를 나타내고, 실선은 왼쪽 세팅 오차 벡터가 δ_L 이고, 오른쪽 세팅 오차 벡터

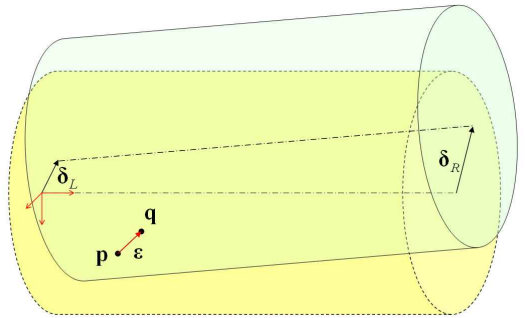
가 δ_R 일 때 가공 결과를 나타낸다. p점이 이상적인 가공 위치이고, q점이 실제가공 위치라고 하면 가공오차 벡터 ε 은 식(4)와 같다. 가공오차 벡터의 반경방향 성분, 회전방향 성분, z방향 성분은 각각 식(5), 식(6), 식(7)과 같다. 좌측 세팅 오차는 x축 방향으로 $1\mu\text{m}$ 이고, 우측 세팅 오차는 y축 방향으로 $1\mu\text{m}$ 일 때 회전각 30° 지점에 위치한 p점의 z위치에 따른 가공위치오차는 Fig. 2 (b)와 같다. 또한 같은 세팅 오차에서 z위치가 500mm인 p점의 회전각에 따른 가공위치 오차는 Fig. 2 (c)와 같다. 반경 방향 가공오차는 공작물 세팅 오차 크기만큼 발생하고, 축 방향 오차는 세팅 오차의 차이에 롤 길이와 반경 비율만큼 축소되어 발생한다.

$$\vec{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \delta x_L + \frac{\delta x_R - \delta x_L}{l} p_z \\ \delta y_L + \frac{\delta y_R - \delta y_L}{l} p_z \\ \delta z_L - \frac{\delta x_R - \delta x_L}{l} p_x - \frac{\delta y_R - \delta y_L}{l} p_y \end{pmatrix} \quad (4)$$

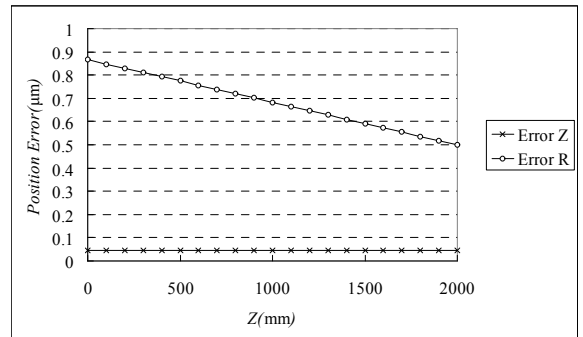
$$\varepsilon_r = \vec{\varepsilon} \cdot \vec{r} \quad (5)$$

$$\varepsilon_\theta = \vec{\varepsilon} \cdot (\vec{z} \times \vec{r}) \quad (6)$$

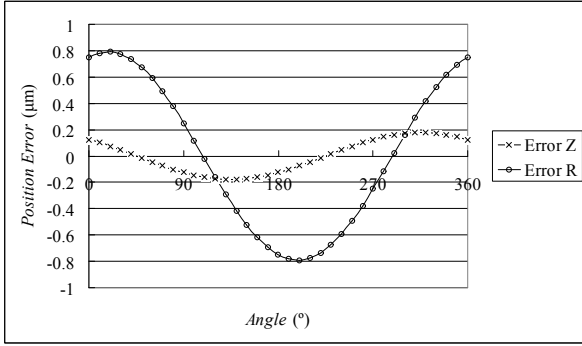
$$\varepsilon_z = \vec{\varepsilon} \cdot \vec{z} \quad (7)$$



(a)



(b) $\delta_L(1,0,0)$, $\delta_R(0,1,0)$, p(216500,125000,z)



(c) $\delta L(1,0,0)$, $\delta R(0,1,0)$, $p(x,y,500000)$

Fig. 2 Setting error of workpiece

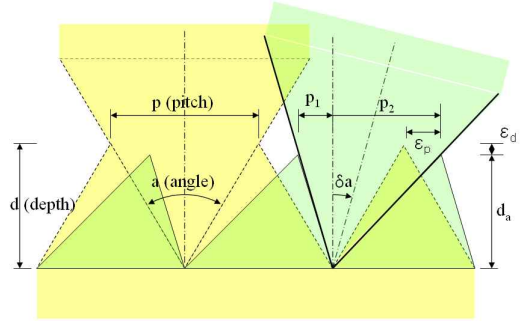
3. 공구 각도 세팅 오차에 의한 미세형상오차

3.1 측면방향 각도 세팅 오차로 인한 미세형상오차

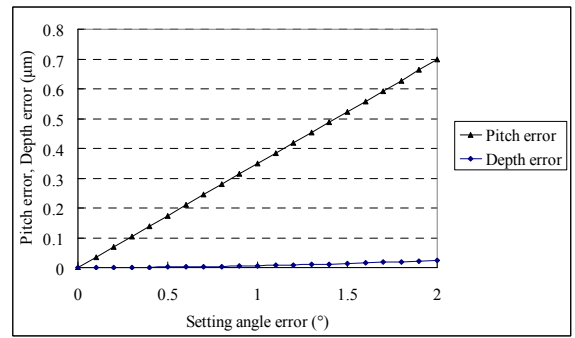
Fig. 3 (a) 의 점선은 공구가 정확히 세팅되었을 경우 미세패턴 가공형상을 나타내고, 실선은 공구의 측면방향 각도 세팅 오차가 δ_a 일 때 공구와 미세패턴 가공형상을 나타낸다. 공구의 측면방향 각도세팅 오차로 인한 미세패턴형상의 깊이오차는 식(8)과 같고, 피치오차는 식(9)와 같다. 각도 90° , 피치 $20 \mu\text{m}$, 깊이 $10 \mu\text{m}$ 일 때 깊이오차와 피치오차 그래프는 Fig. 3 (b)와 같다. 측면방향 각도세팅 오차가 2° 일 때 깊이오차는 $0.028 \mu\text{m}$ 로 깊이에 비해 상대적으로 매우 작고 피치오차는 $0.69 \mu\text{m}$ 로 측면 방향 각도세팅 오차가 피치오차에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

$$\varepsilon_d = p \left(\frac{1}{2 \tan(a/2)} - \frac{1}{\tan(a/2 + \delta_a) + (\tan(a/2 - \delta_a))} \right) \quad (8)$$

$$\varepsilon_p = p \left(\frac{1}{2} - \frac{\tan(a/2 - \delta_a)}{\tan(a/2 + \delta_a) + \tan(a/2 - \delta_a)} \right) \quad (9)$$



(a) Side direction setting error of tool



(b) $a=90^\circ$, $p=20 \mu\text{m}$, $d=10 \mu\text{m}$

Fig. 3 Side direction angular setting error of tool

3.2 이송방향 각도 세팅 오차로 인한 미세형상오차

Fig. 4의 점선은 공구가 정확히 세팅되었을 경우 미세패턴 가공형상을 나타내고, 실선은 공구의 이송방향 각도세팅 오차가 δ_c 일 때 공구와 미세패턴 가공형상을 나타낸다. 공구의 이송방향 각도 세팅 오차로 인한 미세형상의 깊이오차는 식(10)과 같고, 피치오차는 발생하지 않는다. 깊이 $10 \mu\text{m}$, 각도세팅 오차 2° 일 때 깊이오차는 6.1nm 로 깊이에 비해 매우 작은 값이므로 무시할 수 있다.

$$\varepsilon_d = d(1 - \cos(\delta_c)) \approx 0.5d(\delta_c)^2 \quad (10)$$

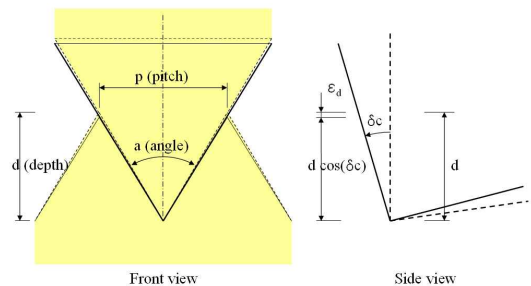


Fig. 4 Feed direction angular setting error of tool

4. 결 론

이 연구는 공작 기계의 오차와 가공 중 발생하는 오차를 무시하고 오직 세팅에서 발생하는 오차만을 대상으로 하였다. 공작물 공구의 세팅에 의해 발생하는 오차를 가공 위치가 이동되는 가공위치 오차와 미세형상의 모양이 변하는 미세형상 오차로 나누었다. 가공위치 오차는 공구의 세팅위치 오차와 공작물의 세팅 오차로 인해 발생하고, 미세형상 오차는 공구의 각도세팅 오차 때문에 발생한다. 공구와 공작물의 세팅 오차가 모두 가공위치 오차에 영향을 준다. 다른 오차를 무시할 때 공작물의 반경 방향 가공오차는 공구의 x방향 세팅 오차와 일치하고 공작물의 회전방향 가공오차는 y방향 세팅 오차와 일치한다. 다른 오차를 무시할 때 공작물의 반경 방향 가공오차는 공작물 세팅 오차만큼 발생하고, 축 방향 오차는 좌우 세팅 오차 차이가 롤 길이 대 반경 비율만큼 축소되어 발생한다. 미세형상 오차에 가장 큰 영향을 미치는 공구세팅 오차는 측면방향 각도세팅 오차로 각도가 틀어짐에 따라 깊이 오차보다는 피치 오차가 크게 발생한다.

따라서 미세패턴 선삭에서 공구를 고정할 때 위치와 측면 방향 회전 오차에 유의해야 하며 공작물을 고정할 때 좌우 중심이 회전축과 일치하도록 유의해야 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 전략기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- (1) 이응숙, 신영재, 강재훈, 제태진, 이재경, 이현용, 2000, "미세금형 제작을 위한 가공기술개발", *한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집*, pp. 1047~1050.
- (2) Gi Dae Kim, Byoung Gook Loh, "An ultrasonic elliptical vibration cutting device for micro v-groove machining : Kinematical analysis and micro v-groove machining characteristics", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 190, pp.

181-188

- (3) A. Q. Biddut, M. Rahman, K. S Neo, K. M. Rezaur Rahman, M. Sawa, Y. maeda, 2007, "Performance of single crystal diamond tools with different rake angles during micro-grooving on electroless nikel plated die materials", *Int J Adv manuf Technol*, Vol. 33, pp. 891-899
- (4) 김범식, 1994, "선반 가공에서 베드의 수평 오차에 따른 가공정밀도에 미치는 영향", *연구 논문집*, Vol. 2, pp. pp. 1-21
- (5) 박정보, 전언찬, 1999, "하중에 의한 위치 결정 오차와 테이블 처짐에 관한 연구", *한국 공작 기계학회지*, Vol. 8 No. 6, pp. 98-104
- (6) 성철현, 김형철, 김기수, 1999, "알루미늄 합금의 고속미소 선삭에 있어서 표면 거칠기 특성", *한국정밀공학회지*, Vol. 16, No. 7, pp. 94-100
- (7) 송일규, 최영, "공작기계 오차 모델링 기법개발", 중앙대학교 대학원 기계공학과 중앙대학교 기계설계학과, *생산공학 연구소 논문집 학술저널*, Vol. 15, No. 1, pp. 1-23
- (8) 김용길, 김수태, 박천홍, 1997, "공정 밀 선반 주축계의 열 특성 해석", *한국공작기계기술학회지*, Vol. 6. No. 3, pp. 44-51
- (9) 홍성오, 조규재, 1999, "Auto Line에서 공작기계 열 변형에 따른 위치 오차 억제에 관한 연구", *조선대 기계기술 연구원 학술저널*, Vol. 2 No. 1 pp. 119-130
- (10) M. Y. Yang, J. H. Park, 1998, "Analysis of setting error in precision ballscrew machining and the automatic adjustable center", *international Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 38, pp. 965-979
- (11) L. Carrino, G. Giorleo, W. Polini, U. Prisco, 2002, "Dimensional errors in longitudinal turning based on the unified generalized mechanics of cutting approach" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 1509-1515
- (12) A. V. Phan, L. Baron, J. R. R. Mayer, G. Cloutier, 2007, "Finite element and experimental studies of diametric errors in cantilever bar turning", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 27 pp. 221-232
- (13) 제태진, 이응숙, 이재경, 2000, "초정밀 절삭 가공기술 현황", *금형저널*, pp. 170~185

- (14) 이도경, 1994, “절삭공정에서 가공공구의 초기 위치와 마모한계 결정”, *학술저널*, Vol. 17 No. 31, pp. 91-98
- (15) 김정석, 김종식, “절삭력을 이용한 공구의 위치 제어”, *학술저널*, Vol. 23, pp. 29-32
- (16) Z. Q. Liu, 2001, “Methodology of Parametric Programming for Error Compensation on CNC Centres”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 17, pp. 570-574
- (17) 홍민성, 김종민, 2003, “선반에서의 채터에 의한 가공 표면 시뮬레이션”, *한국공작기계학회 논문집*, Vol. 12, No. 3, pp. 25-30
- (18) 윤문철, 조현덕, 김성근, 김영국, 조희근, 2001, “선반 가공시 채터 모델링 분석에 관한 연구”, *한국공작기계학회 논문집*, Vol. 10, No. 4 pp. 78-83