한국기계가공학회지, 제17권, 제1호, pp.63～68(2018.02) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.17, No.1, pp.63~68(2018.02) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.1.063

초정밀가공의 재질에 따른 발열과 가공정밀도에 관한 연구

이경일*, 김재열**,#

*조선대학교 기계시스템공학과, **조선대학교 기계시스템◦미래자동차공학부

A Study on Heat Generation and Machining Accuracy According to Material of Ultra-precision Machining

Gyung-Il Lee*, Jae-Yeol Kim**,#

*Department of Mechanical System Engineering, Chosun University, 375 Seoseok-dong, Dong, Gwang-Ju South Korea, 501-759.

**Department of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University, 375 Seoseok-dong, Dong, Gwang-Ju South Korea, 501-759.

(Received 18 January 2018; received in revised form 29 January 2018; accepted 31 January 2018)

ABSTRACT

At present, ultra-precision cutting technology has been studied in Korean research institutes, focusing on development of ultra-precision cutting tool technology and ultra-precision control engineering. However, the developed technologies are still far behind advanced countries. It focuses on metals including aluminum, copper and nickel, and nonmetals including plastics, silicone and germanium which require high precision while using a lathe. It is hard to implement high precision by grinding the aforementioned materials. To address the issue, the ultra-precision cutting technology has been developing by using ultra-precision machine tools very accurate and strong, and diamond tools highly abrasion-resistant. To address this issue, this study aims to conduct ultra-precision cutting by using ECTS (Error Compensation Tool Servo) to improve motion precision of elements and components, and compensate for motion errors in real time. An IR camera is used for analyzing cutting accuracy differences depending on the heat generated in diamond tools in cutting to examine the heat generated in cutting to study cutting accuracy depending on generated heat..

Key Words : Ultra-precision Machining(초정밀가공), Having Fever(발열), Machining Accuracy According(가공정밀도)

1. 서 론

현재 초정밀 절삭기술은 국내의 연구소를 중심으로 초정밀 가공기 기술개발 및 초정밀 제어공학에 대해 꾸준히 연구중이다. 그러나 선진국에 비하여 그 개발수준이 미력하며 선삭의 특성상 고정밀도가 필요한 알루미늄, 구리, 니켈 등의 금속 및 플라스틱, 실리콘, 게르마늄 등의 비금속 등이 사용되고 있으며 이런 재료들은 연삭 가공으로는 높은 정도를 내기 어렵다. 이러한 단점을 해소하기 위하여 고정도, 고강성을 지닌 초정밀 가공기와 내마모성

Corresponding Author : jykim@chosun.ac.kr
Tel: +82-53-581-2239, Fax: +82-53-581-2295

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 큰 다이아몬드공구를 이용한 초정밀 절삭 가공 기술이 발전하고 있다.[1~3].

초정밀 가공에서 이송계 등의 주요 부품의 운동특성이 가공정밀도에 큰 영향을 가진다. 기존 연구로는 음성이나 영상 신호처리, 지진파, 의료, 진동신호의 분석 등에서 많은 응용과 연구가 이루어지고 있다[4~5].

본 연구에서는 nm급 정밀도의 초정밀 가공기의 가공 시 바이트 곡률 형상 바이트의 재질에 따른 가공발열과 가공정밀도에 관계에 대하여 연구하고자 한다.

2. 초정밀 절삭 가공

2.1 표면조도

만일 분석하고자 하는 신호를 f(t), 웨이브렛 함수를 ›a, b(t)라고 하고, 이는 공액복소수이다. ³(t) 절삭다듬질면의 조도는 단순히 외관 가치를 좌우할뿐만 아니라, 제품의 기능에 큰 영향을 미치는 중요한 문제가 된다. 가공 표면의 조도는 기하학적으로는 동일조건 상태에서도 일정한 기하학적인 조도가 되어야한다. 그러나 절삭공구 및 공작기계의 강성, 피삭제의 재질, 절삭조건, 기계적인 충격 및 진동 등의 여러 가지 요인에 의해 실제 가공면의 조도를 추정하는 것은 매우 복잡하다.

가공표면의 건전성은 표면 거칠기(Surface roughness), 표면균열정도, 열에 의한 손상, 바람직하지 않은 잔류응력(인장잔류응력)등에 의해 평가된다. 이들 중 초정밀 다이아몬드 터닝가공의 경우 제품의 최종적인 가공결과를 평가하기 위하여 표면거칠기를 측정함으로서 제품의 정밀도를 판단하거나 가공기기의 정확도 및 가공방법의 타당성을 검증할 수 있는 것으로서 그 중요성이 점차 증대되고 있다.

Fig. 1은 둥근 날 형상의 바이트(공구)를 이용한 터닝가공 시 둥근 날 공구의 형상이 공작물에 전사되는 모양을 나타내며 공작물의 표면에는 원호모양의 홈이 일정한 간격으로 연속해서 나타나게 된다.

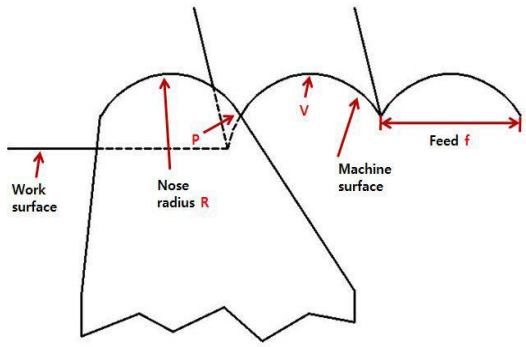

Fig. 1 Theoretical surface roughness,Rz for diamond tool of nose radius, R

Fig. 1와 같이 다이아몬드 공구가 둥근 형상의 경우 최대 표면 거칠기는 식(1)로 계산되어진다.

$$R_z = \frac{f^2}{8R} \tag{1}$$

이론적인 다이아몬드 터닝(절삭)가공 과정에서 바이트의 절삭단면은 원호를 이루지만 실제의 터닝과정에서는 공구의 절삭날 형상이 그대로 공작물 표면에 전사되는 것이 아니라 터닝가공 시 공구와 공작물 사이에서 절삭현상과 동시에 플라우잉, 버니싱, 스크레칭등의 현상이 동시에 발생되므로 실제로 공작물에 나타나는 절삭단면의 형상은 이론적인 것과는 차이가 나는데 이중에서 스크레치는 어느 정도의 공구의 마멸이 진행된 후에는 점점 작아지게 되며 이로, 인해 공작물의 실질적인 표면 거칠기가 이론적인 표면 거칠기보다 커지는 이유가 되므로 정밀한 터닝가공을 위해서는 잘 다듬어진 공구를 사용하는 것이 중요하다.

Fig. 1에서 P점은 나사의 산에 해당되는 부분으로 둥근 날에 의한 초정밀 다이아몬드 터닝가공 시 가장 작은 깊이로 가공되는 부분을 나타내며, V점은 나사의 골에 해당되는 부분으로 둥근 날에 의한 절삭가공 시 가장 깊게 가공되는 부분을 나타낸다.

따라서 둥근 날 터닝가공 시 이론적인 표면 거칠기인 Rz는 P점과 V점의 차이로 나타나게 된다. 그러나 실제로 초정밀 다이아몬드 터닝가공 시 가공표면에는 공구와 공작물 사이의 플라우잉, 버니싱,

스크레칭 등의 현상으로 이와는 다르게 나타나게 된다.

기하학적인 표면 거칠기란 공구와 공작물 사이의 이상적인 절삭가공현상 이외에는 발생하지 않고 공구와 공작물간의 상대 운동이 공작물 표면에 수직 방향으로는 없고 평행한 방향으로 이송량 만큼 정확히 이동하는 이상적인 경우의 표면거칠기이다. 그러나, 실제적인 경우에는 가공기계의 운동오차, 가공조건에 따른 칩의 불안정한 유동, 공구와 공작물의 상대 이동으로 생기는 정적, 동적 힘에 의한 가공기계의 강성문제 등으로 이론적인 표면 거칠기와는 상당한 차이를 보이게 된다. 그러므로, 이론상의 기하학적 표면 거칠기는 실제 절삭에 있어서 절삭조건에 따른 거칠기 변화 경향성의 비교 대상으로 주로 사용된다.

Fig. 2는 둥근 날 공구로 다이아몬드 터닝가공하는 경우 노즈 반경과 이송에 따른 최대 표면 거칠기 Rz를 나타내고 있으며, 이때 이론상의 표면거칠기는 식(1)로 나타내어진다.

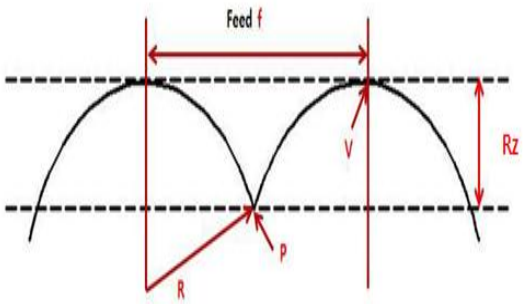

Fig 2 Geometric surface roughness Rz in ideal cutting

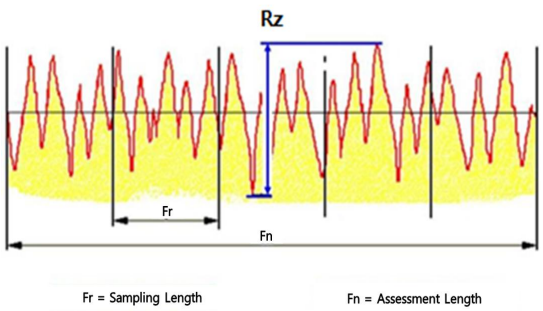

Fig. 3 Geometric of surface roughness Rz

이론적인 표면 거칠기는 노즈 반경에 반비례하고 이송속도의 제곱에 비례한다. 따라서 노즈 반경이 클수록 그리고 이송속도가 작을수록 이론적인 기하학적 표면 거칠기는 좋아진다. 노즈 반경이 큰 다이아몬드 공구로 터닝가공 할 때에는 실제 절삭되는 많은 부분이 미세 절삭깊이로 절삭됨에 따라 미세 절삭 부분이 많아지며 이 부분에서 플라우잉, 버니싱, 스크레칭 등의 현상에 의한 가공으로 표면거칠기의 악화와 잔류응력의 문제가 발생한다. 따라서 노즈 반경이 큰 공구를 사용하는 경우에는 이에 맞추어 절삭깊이와 이송속도을 적절히 증가시켜 주어야 한다. 이송속도는 표면 거칠기와 생산성에 직접적인 영향을 주므로 이송속도는 최소 표면 거칠기가 얻어지는 범위 에서 충분히 크게 해 주는 것이 바람직하다고 판단된다.

Fig. 3의 그림에서 보는 바와 같이 초정밀 다이아몬드 터닝가공 후의 가공표면의 측정 시 Rz는 측정구간 내에서 즉 측정길이 이내에서 최고 높이와 최저 깊이의 합이다.

Rz는 최대 표면 거칠기이기 때문에 높은 산이나 깊은 골에 의해 쉽게 영향을 받고 먼지나 티끌의 입자, 흠, 긁힌 자국에 영향을 많이 받을 뿐 아니라 측정시의 진동에 의해서도 많은 영향을 받는다.

평균 표면거칠기는 식(2)으로 계산되어지고 측정길이 내에서의 평균 선으로부터 형상을 제외한 산술적인 평균이다 한 기준길이내의 기준선을 중심으로 산과 골의 높이와 깊이를 평균하여 얻어지는 값이다. 평균 표면거칠기 Ra를 구하는 구체적인 단계는 측정길이 전체에 대한 평균선이 측정 데이터로 근사되었으며, 측정구간 이내의 평균선 아래 영역은 역적되어 선의 윗 방향으로 나타내며, 원래 평균라인 위 형상의 평균 높이가 된다.[6~11].

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{R} \qquad (2)$$

3. 초정밀 가공 실험

본 실험에서 초정밀 가공은 초정밀선반인 UP3를 이용하여 진행하였다. UP3는 유정압 베어링을 이용하여 개발한 초정밀 CNC선반으로 광학센서와 피드백

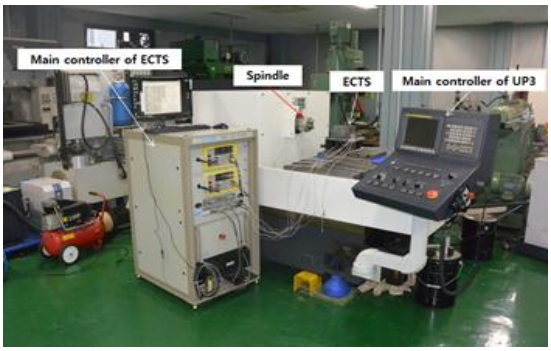

Fig. 4 UP3

포지션 컨트롤러등을 이용하여 나노미터 가공정도를 갖는 선반이다. Fig. 4은 ECTS 가 장착된UP3를 나타내었다.

실험은 다이아몬드 바이트와 세라믹 바이트 2종류의 바이트를 이송속도와 절삭깊이를 고정하고 주축회전속도를 100rpm ~ 600rpm까지 변경하며 가공시 발열과 가공정밀도(조도)의 관계를 실험하였다.

3.1 다이아몬드 바이트 실험

주축회전 속도 변경에 따른 발열과 가공정밀도 실험은 UP3로 가공하며 열화상카메라로 발열을 측정하고 Fig. 7의 DSF-1000 표면조도측정기를 이용하여 진행하였으며 이송속도는 70mm/min 절삭 깊이는 0.002mm로 고정하여 실험하였다. 그 결과는 Fig. 6의 그래프와 Table 1 의 표 로 정리하였으며 발열과 가공정밀도 의 관계로 볼때 가장 좋은 정밀도를 보인 주축회전속도는 500rpm으로 나타났다.

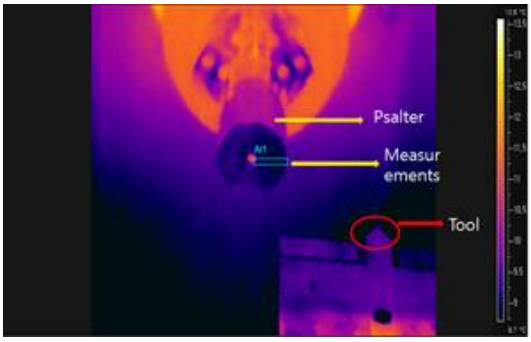

Fig. 5 Image measured with IR camera

Table 1 Generated heat and cutting accuracy in ultra-precision cutting depending on spindle rotation speed changes

Spindle speed(rpm)	Result(°)	Surface roughness(㎛)
100	15.542	0.2141
200	14.668	0.2882
300	15.21	0.1841
400	15.001	0.1986
500	13.556	0.1785
600	13.179	0.2052

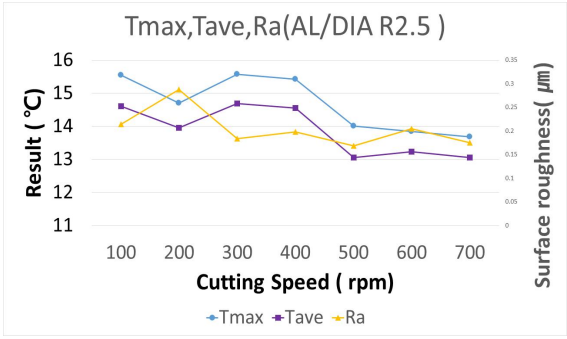

Fig. 6 Graph of generated heat and roughness in cutting depending on spindle speed

Fig. 7 Surface roughness measurement for shape meter(DSF-1000)

3.2 세라믹 바이트 실험

세라믹 바이트 실험은 다이아몬드 바이트 실험과 동일하게 진행하며 바이트의 재질만 바꾸었다.
실험 결과는 Fig. 8과 Table 2 와 같이 주축회전속도 300rpm시 가공정밀도가 가장 좋게 나왔다.

Table 2 Generated heat and cutting accuracy in ultra-precision cutting depending on spindle rotation speed changes

Spindle speed(rpm)	Result(°)	Surface roughness(㎛)
100	10.9	0.7333
200	12.6	0.8863
300	13.2	0.6335
400	12.4	0.8187
500	12.3	0.9332
600	15.2	0.8804

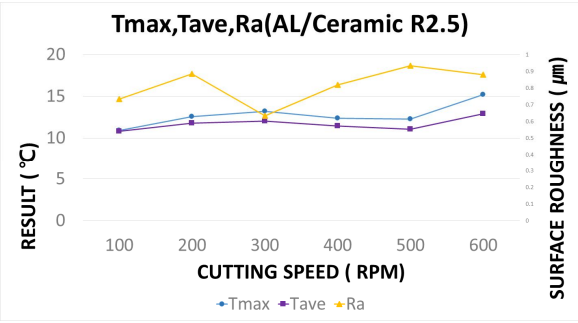

Fig. 8 Graph of generated heat and roughness in cutting depending on spindle speed

4. 실험결과 및 고찰

본 연구는 초정밀 가공 시 발생하는 발열과 가공정밀도에 관하여 분석하여 초정밀 가공 시 가공정밀도가 가공 시 발생하는 발열과 관계가 있음을 검증하였다.

또한 가공 시 공구 재질에 따라 발생되는 발열과 그에 따른 가공정밀도에 차이를 연구하였다.

1. 다이아몬드 가공공구를 사용시 발열과 가공정밀도 의 관계로 볼때 가장 좋은 정밀도를 보인 주축회전속도는 500rpm으로 나타났다.
2. 세라믹 가공공구를 사용시 발열과 가공정밀도의 관계로 볼때 가장 좋은 정밀도를 보인 주축회전속도는 300rpm으로 나타났다.

후 기

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 조선대학교 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 UIC고도화 연구실의 연구결과 입니다.

REFERENCES

1. Kim, J. Y., Park, D. K., Lee, G. I., Gao, J. C., “Research on the Design of the Ultra-high-precision Positioning Control Error Compensation,” IJPEM pp. 1351-1358, 2016.
2. Kim, J. Y., Lee, H. N., Kwac, L. K., Han, J. H., Cho Y. T., Jun C. G., "Control Performance Evaluation of Ultra Precision Positioning Apparatus," Proc. ISIM 2000, pp. 252-255, 2000.
3. Lee, G. L., and Kim, J. Y., Yoon, S. U., Jung, Y. S., “Assessment of soundness by applying of Optimal design hybrid CURVIC gear and IRT technique,” Journal of Advanced Engineering and Technology, Vol. 9, No. 4, pp. 309-314, 2016.
4. Kim, J. Y., and Roh. C. S., Lee. G. I., Jung. Y. S., “Integrity Evaluation By IRT Technique And FEM Analysis Of Spur Gear,” Journal of The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 113-118, 2016.
5. Geyl, R., "Design and Farication of Three Mirror Flat Field Anastigmat for High Resolution Earth Observation," SPIE, Vol.2210, pp. 739-745, 1994.
6. Park, D. K., "A Study on the Performance Evaluation about nm-level design of Ultra-precision Machine and Error Compensation Produced," A Thesis for a Doctorate, Chosun University, Republic of Korea, 2016.
7. Jeong, J. U., Kwon, S. J., Chu, B. S., Park, J. Y., “Unified-type Design and Structural Analysis for Mecanum Wheel Performance Improvement,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 2, pp. 117-123, 2014.

8. Cho, J. H., Moon, D. J., Lee, J. C., “A Study om the CAE Analysis of Bed of Multi-Tasking Machine for Automotive Power Train Shafts,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 9-14, 2015.
9. Choi, Y. S., Lee, W. S., Hwang, I. H., Park, H. K., Jo, H. T., Lee, Y. S., Kim, K. J., Song, S. T., Lee, J. C., “A Study on the Structural Analysis of Automotive Crankshaft Multi Grinding Machine,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 20-25, 2012.
10. Han, M. S., Jo, J. U., “A Study on Durability of Under Bar at car through Structural and Fatigue Analysis,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 44-50, 2015.
11. Jeong, S. H., Cha, K. R., Kim, H. U., Na, Y. C., “Development of Virtual Prototype for Labeling Unit on the Automatic Battery Manufacturing Line,” KSMTE Conference, 2002. 4., pp. 357-362, 2002.
12. Lee, G. I., Kim, J. Y., “Evaluation of Reliability of Large Hybrid Curvic Gear by Using Thermography,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 146-152, 2017.