

칩형성에 의한 정밀선삭 특성연구 A Study on the Characteristics of Precision Cutting by Chip Formation

김범중(전북대학교), 유기현(전북대학교), 정진용(군장전문대), 서남십(전북대학교)

ABSTRACT

This paper is related to the splits at the side of chips and the changes of surface roughness according to cutting conditions in precision cutting. Compared with MCD, the surface roughness of workpiece cut by PCD was inferior at a small feed. But, there were no significant difference between MCD and PCD tool above a certain feed in surface roughness.

Key Words ; MCD(monocrystal diamond:천연다이아몬드), Surface roughness (표면 거칠기)
PCD(polycrystal diamond:인조다이아몬드)

1. 서 론

산업의 계속적인 발달에 따라 인간생활에 필요한 모든 제품들은 점점 복잡화·다양화 되어가고 있으며 그들의 구성부품들을 생산하는 기계산업 분야도 역시 점점 세분화 되고 정밀화 되어가고 있다. 정밀절삭은 광학, 정보화, 우주항공산업 등의 미래지향적인 첨단산업 분야에 직결되며, 절삭공구는 초경합금, cermet 등에서 세라믹(ceramic) 및 CBN, 인조다이아몬드(PCD) 등으로 고급화되었고 가공 생산성을 향상시키기 위해서 피삭재별 최적의 공구 및 절삭 조건을 선택하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 정밀절삭에 큰 영향을 주는 인자중에 공구, 절삭조건 등을 서로 달리 선정하여 칩형태, 가공면의 표면거칠기에 관하여 날의 예리도와 uncut 칩두께가 주 함수인 정밀 절삭의 최적조건을 구하는 정성적 특성을 연구하였다.

2. 표면거칠기 이론

가공면의 표면 거칠기는 이송물과 공구 형상에 의해 결정되는 기하학적인 표면 거칠기보다 보통 크다. 이것은 공구절인의 형상 및 예리도, 공구의 진동 등이 가공면 표면 거칠기의 악화에 영향을 끼치기 때문이다.

2.1 이론적 표면 거칠기

공구와 공작물간의 상대운동이 공작물 표면에 수직인 방향으로는 없고 평행한 방향으로 이송량만큼 정확히 이동할 때 이송자극만에 의한 표면거칠기를 이론적 표면 거칠기라고 말한다. 그렇지만, 실제로는 공작기계의 진동, 가공조건에 따른 칩의 불안정한 유동, 온도상승에 의한 팽창 등으로 발생하는 오차에 의해서 이론적 표면 거칠기와는 상당한 차이를 보이게 된다.

공구선단은 반경이 R=0인 경우와 원호 R≠0으로 대변할 수 있으나, 본 실험에서는 원호 절인을 갖는 공구로 실험하였다.

2.2 공구 선단이 원호인 경우

실제 선삭에서 원호선단만으로 절삭이 이루어지는 경우 원호 모양의 이송무늬가 생성되며, 식(1)에서와 같이 원호선단에 의한 최대높이 표면거칠기는 이송의 제곱에 비례하고, 선단반경 R에 역비례한다. Fig. 1로부터

$$\left(\frac{f}{2}\right)^2 + (R - h_{\max})^2 = R^2$$
$$h_{\max}(=R_{\max}) \cong R - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2 - f^2}$$
$$\cong R - \frac{1}{2}\left(2R - \frac{f^2}{4R}\right)$$

$$\therefore R_{\max} = \frac{f^2}{8R} \quad (1)$$

평균 표면거칠기 R_a 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{2 \cdot A_x}{f} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{x^3}{R}\right)}{f} \\ &= \frac{1}{6R} \cdot \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f\right)^3}{f} \\ \therefore R_a &= \frac{0.0321 f^2}{R} \end{aligned}$$

공구의 원호선단만으로 절삭될 때의 평균 표면 거칠기(R_a)는 최대높이 표면거칠기(R_{\max})에서와 같이 이송에 비례하고 선단반경 R 에 역비례한다.

3. 실험

본 실험에 사용된 실험장치는 공구동력계(Kistler 9257A), 표면거칠기(Mitutoyo SurfTest-201), 금속현미경(Olympus MF-Tr)를 사용하였다. 실험재료로는 정밀부품용 소재로 많이 사용되고 있는 알루미늄(Al 2024)을 선택하였고, 공구는 반경을 갖는 인조다이아몬드와 천연다이아몬드 공구를 사용하였다. 공구동력계를 장착한 CNC선반에 Al합금을 고정시킨 후 PCD공구와 MCD공구를 이용하여 Table 1과 같은 절삭조건에 따라 절삭하였다. 공구동력계로부터 나오는 신호는 charge 증폭기에서 증폭시킨 다음 A/D 컨버터를 통해 컴퓨터에 입력시킨 후 분석하였다. 표면거칠기의 측정에는 촉침식 표면거칠기를 이용하고 컷오프(cut-off) 0.8mm, 트레이싱(traversing)길이 2.4mm, 그리고 칩의 상태를 관찰하기 위해서 발생된 칩을 촬영(배율 70x)하였다.

Table 1 Cutting conditions

cutting speed(m/min)	200, 400
feed($\mu\text{m}/\text{rev}$)	3, 7, 14, 19, 25
depth of cut(μm)	3, 8, 25
nose radius (mm)	0.8, 3

4. 실험 결과 및 고찰

PCD공구와 MCD공구의 Al합금에 대한 가공특성을 표면거칠기 R_a 와 그에 따른 칩의 형태를 촬영하여 다음과 같이 관찰하였다.

4.1 인조다이아몬드(PCD)공구의 절삭특성

Fig.2 는 선단반경 3mm인 PCD공구를 절삭속도 400m/min에서 물림깊이를 변화시키면서 측정한 그래프이다. 표면거칠기 R_a 는 세 조건 모두 이송이 커짐에 따라서 증가하는 데 이는 정상적인 절삭시 나타나는 거칠기 이론식인 $0.0321 f^2/R$ 과 경향이 일치한다. Photo 1은 이송이 $25\mu\text{m}$ 일 때의 사진으로서 측면이 갈라져 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 PCD공구 이송을 비교적 크게 하였을 때 발생되며 공작물이 완전한 절삭이 이루어지기 전에 칩이 절인의 수직방향으로 압축을 받아 바깥쪽으로 밀려나가며 갈라지는 것으로 생각된다. Photo 2는 칩측면의 상태가 비교적 양호한 칩의 사진이며 이송을 좀더 작은 $19\mu\text{m}/\text{rev}$ 로 취했을 때의 구간에서 발생된 칩형상이다. Photo 3은 이송을 좀더 작게 $7\mu\text{m}/\text{rev}$ 로 취했을 때 발생된 칩측면으로서 뜯김 현상과 갈라짐이 많이 보여지고 있다. 이는 너무 작은 이송에서는 공작기계의 제어 한계 때문에 발생하는 문제점인 stick-slip 현상과 진동의 영향으로 보인다. Fig. 3 은 선단반경 0.8mm인 공구를 이용하였을 때 이송에 따른 평균거칠기의 변화를 비교한 그래프이다. 이 그래프에서는 이송 $7\mu\text{m}/\text{rev}$ 이하에서 물림깊이가 감소할수록 R_a 가 증가하는데 이것은 uncut 칩의 감소로 정상 절삭이 어렵기 때문으로 판단된다.

4.2 천연다이아몬드(MCD)공구의 절삭특성

천연 다이아몬드 공구의 경우엔 절인이 PCD공구보다 예리하므로 보다 정밀한 절삭이 가능하며 이것은 칩을 통해서도 확인할 수 있다. Fig. 4 에서는 앞서 PCD공구와 같은 절삭조건에서 구한 표면거칠기 R_a 의 변화를 보여준다. 이것은 앞서 PCD공구로 가공한 것과 비교해볼 때, 이송이 $19\mu\text{m}/\text{rev}$ 이하에서는 MCD에 의한 표면거칠기가 PCD에 의한 것 보다 훨씬 좋은 거칠기를 보이지만 이송이 어느구간 이상에서는 PCD공구에 의한 거칠기와 큰 차이는 보이지 않는다. 절삭깊이 $3\mu\text{m}$, 이송 $14\mu\text{m}/\text{rev}$ 와 절삭깊이 $8\mu\text{m}$, 이송 $19\mu\text{m}/\text{rev}$ 에서는 정상절삭이 이루어지는 최소 이송구역으로서 여러 요인들의 영향이 가장 적게 되는 구간이며, 물림깊이

를 $8\mu\text{m}$ 로 하고 이송을 $19\mu\text{m}$ 로 해도 똑같은 표면거칠기를 얻을 수 있었으므로 이런 부분을 찾는다면 품질과 생산성면에서 최적조건의 가공이 가능할 것이다. Photo 4는 MCD공구에 의한 칩으로 uncut 두께가 PCD공구에 의한 절삭조건보다 작게 취하였음에도 불구하고 정상절삭이 되고 있다.

5. 결 론

절인의 예리도가 함수인 정밀절삭에서 uncut 칩두께가 너무 작으면 정상절삭이 이루어 지지 않고 버니싱 작용에 의하여 버가 생기고, 심하면 칩이 갈라지고 뜯김현상이 발생한다. 이러한 현상을 관찰하므로써 정상절삭의 정도를 알 수 있으며, 본 실험의 결과는 다음과 같다.

1. 칩 형상을 통해서 확인해 본 결과 표면거칠기가 크게 나타나는 절삭조건에서 칩측면에는 갈라짐과 뜯김현상이 많이 발생되고 있었다.

2. 이송이 아주 작은 영역에서 PCD공구에 의한 칩측면은 버니싱의 영향으로 인해 갈라짐과 뜯김현상이 많이 발생되었으나 MCD공구의 경우에는 양호한 칩단면을 보여주고 있었다.

3. PCD공구와 MCD공구에서의 정밀절삭시 칩단면 형상에서도 차이를 보이며, 주어진 공작기계와 공구를 사용한 절삭에서 정밀도 및 생산성의 관점에서 최적절삭조건을 칩 상태를 관찰을 통해서 구할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. P. A. Mckeown, "The Role of Precision Engineering Manufacturing of the Furure", Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 2, pp 495-501, 1987.
2. T. Nichiguchi, Y. Maeda, M. Masuda, M. Sawa, "Mechanism of Micro Chip formation in Diamend Turning of Al-Mg Alloy", annals of the CIRP, Vol.37, No. 1 pp.117 ~120, 1980.
3. 서남섭, "金屬切削理論", 東明社, pp. 210-230, 1994.
4. Asai, S., Taguchi, Y., Horio, K., Kasai, T., "Measuring the Very Small Cutting-Edge Fadius for a Diamend Tool Using a New King of SEM Habing Two Detectors",

Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 85-88, 1990.



Photo 1 Bad shape of chip
($v=400, d=3\mu\text{m}, f=25\mu\text{m}/\text{rev}:\text{PCD}$)



Photo 2 Good shape of chip
($v=400, d=3\mu\text{m}, f=19\mu\text{m}/\text{rev}:\text{PCD}$)



Photo 3 Bad shape of chip
($v=400, d=3\mu\text{m}, f=14\mu\text{m}/\text{rev}:\text{PCD}$)



Photo 4 Good shape of chip
($v=400, d=3\mu\text{m}, f=14\mu\text{m}/\text{rev}: \text{MCD}$)

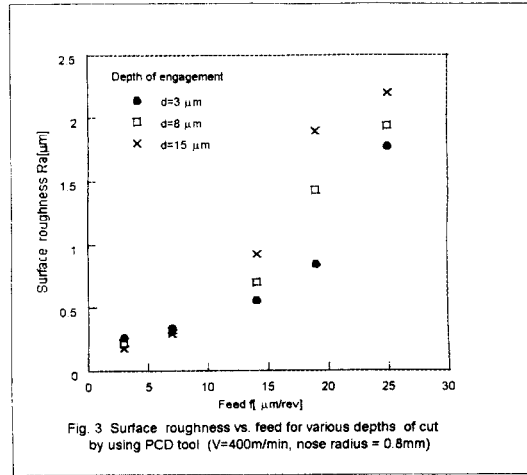


Fig. 3 Surface roughness vs. feed for various depths of cut by using PCD tool ($V=400\text{m}/\text{min}$, nose radius = 0.8mm)

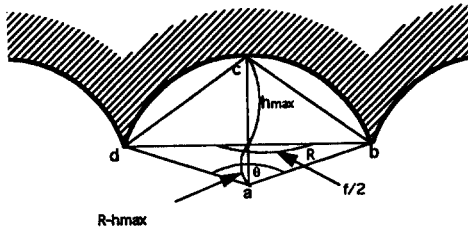


Fig. 1 Surface roughness by the tool with a round nose

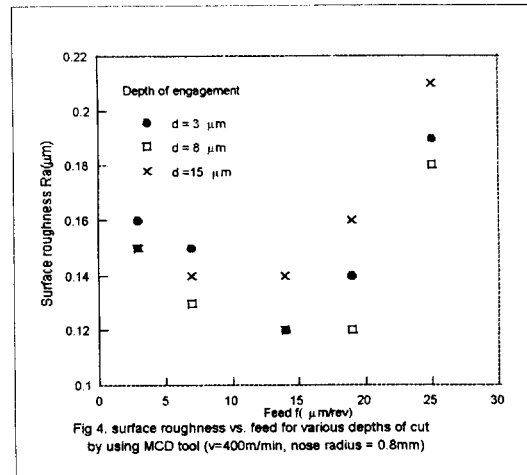


Fig. 4. surface roughness vs. feed for various depths of cut by using MCD tool ($v=400\text{m}/\text{min}$, nose radius = 0.8mm)

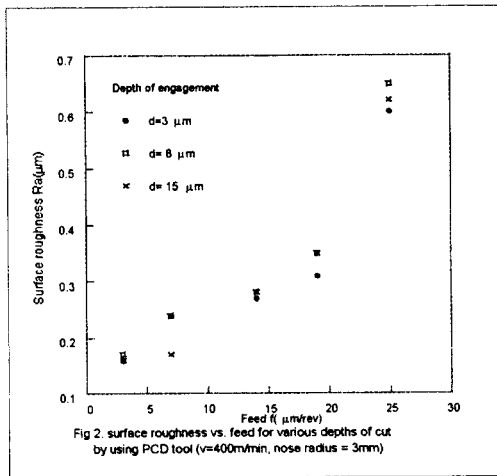


Fig. 2. surface roughness vs. feed for various depths of cut by using PCD tool ($v=400\text{m}/\text{min}$, nose radius = 3mm)