

# Al합금의 중절삭시 정밀가공 특성에 관한 연구

## A Study on the Precision Machining Characteristics in Heavy Cutting of Al-alloy

권용기\*      김동현\*\*  
전주공업대학      원광대학교

### Abstract

This paper deals with turning experiments of aluminium alloy using a single crystal diamond with round cutting edge. A face cutting was conducted using a special precision machine to study the characteristic phenomena in heavy cutting of aluminium alloy. In many cases, one of the most important matter on the surface integrity is about a damaged layer remaining just under the surface after machining. A machined surface roughness can be improved at a small geometrical surface roughness under special cutting conditions, even if a steady vibration exists between a tool and a workpiece.

### 1. 서    론

정밀가공이라고 일컬어져야 할 분야는 그것을 위한 가공의 난이도가 단순히 가공정밀도만이 아니라 가공형상의 특성(크기, 가공의 살두께, 가공설치방법, 구면가공, 비구면가공) 절삭공구재질(금속, 다이아몬드, CBN, 유리스돌립)등에 의해서 좌우되기 때문에 여러 인자가 복합적으로 작용되는 경우가 대부분이다. 정밀가공은 일반적으로 치수정밀도와 면거칠기로 나타내는데 전자가 주로 절삭공작기계에 의존한다면 후자는 공구에 의존한다고 볼 수 있다. 따라서 정밀가공용 다이아몬드공구의 성능을 평가하기 위한 방법으로 절삭다듬질면의 거칠기와 표면 성상 및 공구의 마모와 관련된 바이트의 성능을 평가해 보는 것도 정밀가공을 실현하는데 있어서 중요한 검토 대상이라고 본다[1,2].

본 연구에서는 알루미늄재료를 다이아몬드공구로 경면절삭하는 과정에서 수반되는 재 현상을 도출하여 절삭성능을 실험적으로 평가하기 위해 실험계획을 하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 실험장치는 X축과 Z축은 각각 공압장치를 자동 이송장치로 제작하여 탑재한 전용선반이다. 실험조건에 따르는 절입량과 이송량은 각각 PLC장치에서 프로그램 처리된 조건으로 구동하도록 설계되었다. 절입량은 1회당 0.05mm까지 정밀도를 유지할 수 있도록 제어되며, 최대회전수는 1500rpm이다.

실험에 사용된 공구는 단결정 천연다이아몬드 공구로서 Fig1의 (b)에 제시된 형태의 절인부를 가지는 인선반경 3mm, 앞면여유각 6°, 상면경사각 3° 인 공구가 사용되었다. 인선반경을 크게 선정한 이유는 본 실험의 의도가 알미늄합금소재의 정밀가공 표면 성상 특성을 검토하는데 있어서 효율성을 고려한 것이다.[5] 또한, 단결정 다이아몬드공구의 특성을 비교 검토하기 위하여 P20 초경합금공구를 사용하였다.

피삭재는 성분이 Si:10~12%, Cu:2.0~4.0%, Al:rest인 알미늄합금소재를 다이캐스팅하여

원반형으로 제작한 것으로서 피삭재 크기는 외경이 180mm이다.

절삭조건은 절삭속도 1500rpm, 절입량 3~0.05mm, 이송량은 2~0.05mm의 범위에서 조건을 변화시키면서, 공구의 미소마모측정, 공작물 표면조도 상태, 공작물 표면의 결합상태 발생 정도 등을 측정하였다. 미소현미경을 이용하여 표면의 결합상태를 보다 면밀히 검토하였다. 가공 표면의 성상은 표면조도측정기로 1차 측정을 한 후, 3차원 측정기로 샘플링한 측정부위를 스캐닝하여 그 결과를 검토하였다. 절삭방법은 단면절삭방법을 이용하였고, 건식절삭으로 각각의 조건을 변화시키면서 재 현상을 검토하였다.

## 2. 단결정 다이아몬드 공구

요구정밀도에 맞는 절삭날의 형상과 절삭성을 갖는 초정밀 단결정 다이아몬드공구를 개발하는 것은 정밀가공의 절삭성 향상에 기여할 것이며, 가공 성능과 형상에 알맞는 어떤 덤 형상과 날 형태의 선택도 정밀가공의 중요한 변수가 될 수 있다고 본다.[3]

원반 단면의 경면 가공용으로 선택할 수 있는

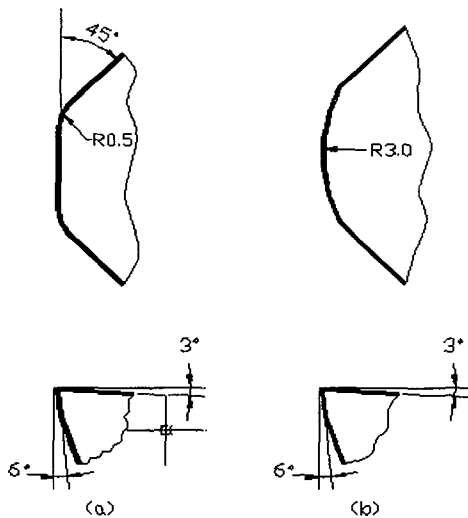


Fig. 1 The shape of cutting edge

팁 형상 중 다이아몬드 공구의 인선부 형상은 Fig. 1과 같이 2종류로 틀링하였다.

Fig.1(a)의 경우, 직선날을 형성하는 절삭인선과 주절인·부절인과의 코너부를 형성하도록 R 0.5mm의 코너를 둔 경우이다. 기존의 연구에 의하면 곡률반경이 큰 부분을 연마하는 경우에는 정밀하게 코너R을 제작하는 것이 어려워서 그 형상의 차이에 따르는 절삭성능에 영향이 미치는 것으로 보고되어 있다. 또한, 코너 R부로 인하여 절삭저항이 커지게 되어 공작물의 휨 등의 발생 원인을 고려해야만 된다. Fig.1(b)의 경우는 인선반경 R의 제작이 용이하므로 경면절삭용으로 활용이 가능한 공구 형태이다. 절삭작업 중 떨림현상이 발생하여 절삭인과 공작물 사이에 상대적 변위가 존재하여도 절삭인과 공작물의 접촉상태가 동일하므로 뜯김이나 스크래치 발생 빈도가 낮은 것으로 보고된 바 있다.[4]

본 실험은 원반단면의 경면 가공을 목적으로 공구를 선정하는데 목표를 두었으므로, 공작물에 대해 공구의 인선반경 R은 3mm를 취하였다. 양호한 절삭과 버니싱의 일부 효과를 기대하면서 절삭면은 경면을 얻기 위한 수단으로 공구 조건을 취한 것이다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 공구의 미소마모

Fig.2와 Fig.3은 회전수 1500rpm, 절입량 0.1mm에 대한 이송량을 0.1mm/rev의 절삭조건으로 가공한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2는 초경합금공구 P20을 사용한 결과로서 미소마모 값을 절삭시간과 대비하여 나타낸 것인데, 그림에 제시된 바와 같이 절삭시간이 5분 정도 경과하면서 마모값은 430 $\mu$ m에 도달하는 것을 볼 수 있다. 또한 알루미늄합금 소재와의 친화성으로 인하여 인선 선단에 미소 BUE가 발생하여 공작물 표면을 긁고 지나가는 형태의 결합 특성을 가지므로 미소가공과 경면절삭가공용으로는 사용하기가 매우 적합하지 못한 것을 본 실험에서도 확인할 수 있었다.

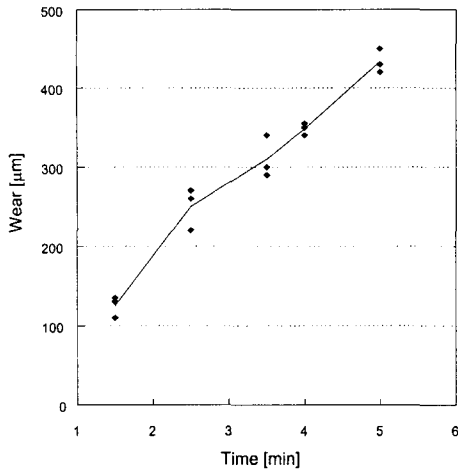


Fig.2 Characteristics of wear according to cutting time(WC tool).

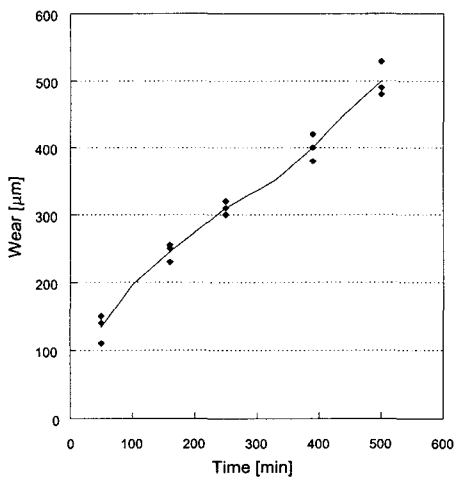


Fig.3 Characteristics of wear according to cutting time(diamond tool).

Fig.3은 단결정 다이아몬드공구를 사용한 결과로서 미소마모 값을 절삭시간과 대비하여 나타낸 것인데, 그림에 제시된 바와 같이 절삭시간이 500분 정도 경과하면서 마모값은 500 $\mu\text{m}$ 에 도달하는 것을 볼 수 있다. 즉, 단결정 다이아몬드공구는 마모가 적고 알루미늄합금 소재 가공에서는 생산성 향상에도 유효한 공구로 인정된다고 볼 수

있겠다. 한편, 이러한 결과로부터 뒤에 검토되는 현상적 규명은 단결정 다이아몬드공구를 이용하여 성상 평가 등을 진행하는 것이 적절함을 확인시켜 주는 결과가 되고 있다.

#### 4.2 가공표면 성상

Fig.4(a)는 본 실험의 절삭조건으로 절삭작업하면서 인선 선단부에 발생된 BUE를 확대 촬영한 사진이다. 가공표면 부위를 연마하여 확대 촬영한 의도는 가공된 표면부위의 변질층 존재 유무를 현상적으로 파악하기 위함이었다. Fig.5(b)에 제시된 사진에서도 볼 수 있는 바와 같이 본 실험의 재반 조건에서 대체로 표면 결함 상태가 빈번하게 나타났다. 처음에는 재료적인 결함일 수도 있다는 견해를 가지고 문제 접근을 해 보았다. 그러나 실험조건을 다양하게 취해본 결과, 절입량을 0.08mm이하로 취하면서 발생되던 표면결함은 확연히 없어지는 것을 확인할 수 있었다.

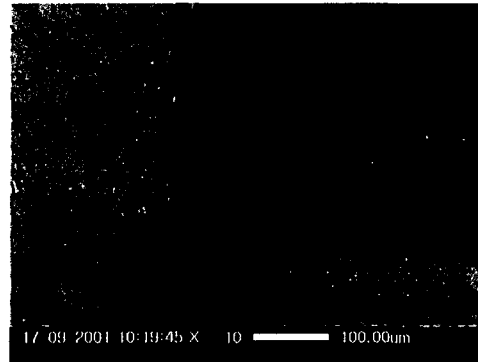


Fig.4(a) SEM micrograph of a machined surface.

가공변질층이 존재할 수 있다는 가정하에 결함이 발생된 피하 조직 상태를 평가하기 위하여 현미경사진 촬영용으로 시편을 채취하여 평가해 보았다. 본 실험에서 취한 실험조건 중에서는 비교적 중절삭에 해당되는 상태라고 볼 수 있는 BUE가 발생한 상태에서도, 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 피하조직에는 변질층 성격의 조직은 발견되지 않았다.

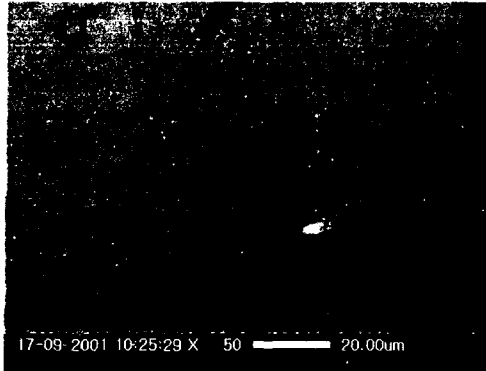


Fig.4(b) SEM micrograph of built-up-edge surface.

Fig.4(b)는 BUE의 단면 부위를 확대하여 촬영한 사진이다. 원래 BUE는 인성이 있는 재료의 압축과정에서 발생한 결과로서, 본 사진에서도 발생부위가 압축되어 있는 것이 인선 앞 부분의 조직 상태와 비교되고 있다. 확대 사진에서도 확인할 수 있는 바와 같이 절삭가공과 관련하여 절삭력에 수반되는 표피부분의 가공변질 징후는 발견되지 않고 있음을 볼 수 있다.



Fig.5(a) Photograph of a machined surface.

Fig.5(a)는 회전수 1500rpm, 절입량 0.05mm와 이송량은 0.1mm/rev의 절삭조건으로 가공한 결과, 얻어진 정밀가공 표면을 촬영하여 제시한 사진이다. 또한 Fig.5(b)는 회전수 1500rpm, 절입량 3.0mm와 이송량은 2.0 mm/rev의 절삭조건으로

로 가공한 결과, 얻어진 가공 표면을 촬영하여 제시한 것이다

주로 본 실험에서는 다양한 조건의 범위에서 표면 결함 상태가 빈번하게 나타났다. 앞서도 언급한 바와 같이 재료적인 결함일 수도 있다는 견해를 가지고 문제 접근을 해 보았다. 그러나 실험조건을 다양하게 취하면서 검토해 본 결과, 넓은 반점과 같은 무늬의 표면 결함이 빈번하게 발생되어 표면 성상에는 정밀가공으로서의 결정적인 결함이 되는 문제를 수반하고 있었다.

반면, 절입량을 0.08mm이하로 취한 절삭조건 하에서는 표면결함이 확연히 없어지는 것을 실험결과 확인하였다. 실험조건 중 열적인 원인을 검토하고자 절삭속도를 저속역에서부터 고속역까지 변화시키면서 표면 상태를 점검해 보았다. 실험 결과 절삭속도 850 m/min ~ 80 m/min의 범위 내에서 알미늄 합금재료의 열변형과 관련된 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다.

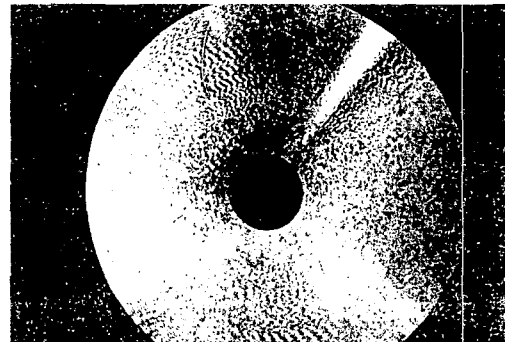


Fig.5(b) Photograph of a machined surface with deformation.

이송의 영향을 검토하기 위하여 앞에서 설정한 속도 영역에 대한 절입량을 0.5mm, 1mm로 할 때, 이송량 변화 범위를 2.0 mm/rev ~ 0.05mm/rev까지 다양하게 취하면서 검토해 보았다. 이송이 커지면 Fig.5 (b)와 같은 떨림에 의한 진동이 발생하여 채터마크가 나타나는 현상이 본 실험의 중절삭조건에서도 빈번하였다. 외주와 가

까운 곳에서는 일정한 위상지연을 수반한 격심한 진동이 발생하고 있는데 내측으로 이송되어감에 따라서 진폭은 작아지면서 소멸되는 현상을 보이고 있다. 이것은 내측으로 진행 되어감에 따라서 절삭속도가 저하되므로 진동이 상쇄되는 것을 의미한다고 볼 수 있겠다.

절입량의 영향을 검토하기 위하여 앞에서 설정한 속도 영역에 대한 이송량을 0.3, 0.1mm/rev로 할 때, 절입량은 각각 3, 2, 1, 0.5 0.1, 0.08, 0.05mm로 취하면서 실험결과를 검토하였다. 그 결과 대부분의 조건에서 발생되던 표면 결함이 절입량 0.8 mm 이하에서는 나타나지 않았다. 이 결과로 미루어 볼 때, 절삭력으로 작용하는 인자가 예민한 연질재료인 알루미늄합금의 표피부분을 변질시키는 것으로 추정된다. 이러한 개선 요인은 P20공구의 절삭상태에서는 적용되지 않으며, 단지 단결정 다이아몬드공구로 절삭하는 경우에서만 가능한 결과였다.

이상의 실험 결과로 미루어 볼 때, 정밀 표면을 얻기 위해서는 지금까지 많은 연구물에서 제안하였듯이 단결정 다이아몬드 공구가 적합하다는 것이 확인되었다. 그러나 중절삭을 필요로 하는 알루미늄합금 절삭에서 다이아몬드공구를 이용한 절삭을 하는 경우 경절삭조건을 취하여도 표피가 변질된다. 따라서 이러한 경우 중절삭은 초경공구를 사용하여 진행하고 미세절삭만 다이아몬드공구를 활용하여 절삭하게 되면 표면결함을 피할 수 있는 정밀절삭이 가능하여 경제적인 절삭이 될 수 있다. 다만, 본 실험에서 검토한 결과의 특성으로 볼 때 절삭가공시 변질되는 알루미늄합금의 표피부분을 개선시키는데 필요한 유효 절입량 범위가 존재한다는 것을 제시하고자 한다.

Fig.6과 Fig.7은 가공정밀도를 검토하고자 형상정밀도와 표면조도 상태를 3차원측정하여 각각 나타낸 그림들이다. 경면을 얻기 위한 가공정밀도로는 대체적인 기준이 형상정밀도 0.1~0.2 $\mu$ m 이하, 표면조도는 0.01~0.02  $\mu$ m이 요구되며 평평도는 waveness의 1/2이하 수준은 되어야 한다고 본다. 본 연구에서는 전용공작기계로 상급 수준의 정밀 수준 가공이 가능한지에 대해서는 실증적으로 검증해 보았다. 결과적으로 0.1~

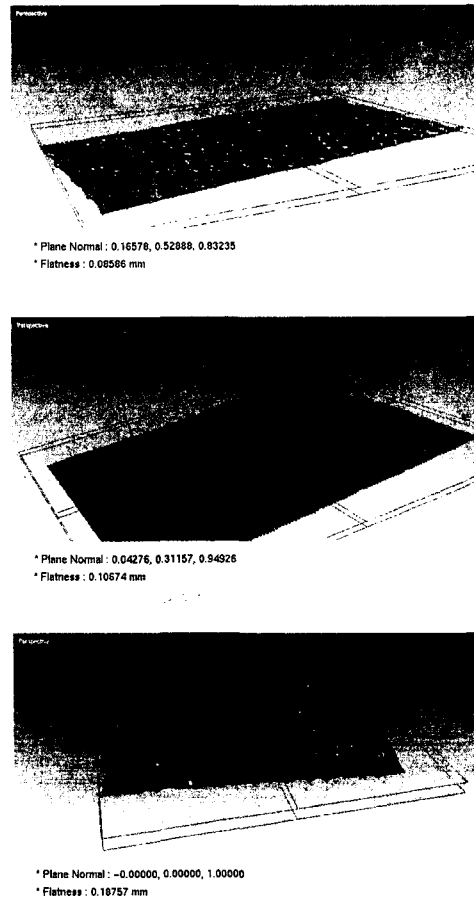


Fig.6 Flatness photograph of a machined surface.

0.2 $\mu$ m는 큰 무리가 없으며 0.01~0.02 $\mu$ m 수준의 경면가공은 가공조건에 선정에 따라 접근이 가능하다는 것이 검토되었다.

한편, 본 실험의 진행 과정 중 중요하게 대두된 현상으로서 가공표면의 표면성상이었다. 가공면 표면조도 이외에 표면물성의 완전성을 포함하여 가공의 양부 문제도 정밀도 영역에 포함시켜야 된다고 본다. 절삭가공 중 표층은 여러 가지 영향을 받을 수 있겠으나 본 실험재료인 알루미늄합금에서는 표면 변질이 중요한 또하나의 정밀가공 과제임을 확인하였다. 경면절삭이 요구되는 분야에서 미세한 표면층의 문제는 정밀가공에서 아주 중요한 문제로 제기될 것으로 예상된다.

일부 연구에서는 알루미늄 합금재료의 가공 시

열영향으로 인한 변질층이 0.2~0.5 $\mu$ m 깊이로 생기는 것으로 보고한 바 있다.[6,7] 그러나 본 연구에서 검토한 결과로는 열영향이라고 단정하기에는 무리가 있다는 결론을 제시하고자 한다. 즉, 버니싱에 의한 잔류응력 효과도 있을 수 있겠으나 구체적인 단정은 어렵다고 보며, 이점에 대해서는 보다 심층적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

실험적으로 접근하여 도출된 연구결과를 분석한 바, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 절삭가공시 변질되는 알루미늄합금의 표피부분을 개선시키기 위해서는 유효절입량 범위가 존재하고 있음을 확인하였다.
2. 본 실험의 진행 과정 중 중요하게 대두된 현상중의 하나는 표면성상이었다. 가공면 표면조도 이외에 표면물성의 완전성을 포함하여 가공의 양부 문제도 정밀도 영역에 포함시켜야 된다고 제안한다.
3. 본 연구에서 검토한 결과, 알루미늄합금재료의 표면결함이 발생하는 원인은 열영향이라고 단정하기에는 무리가 있다고 본다. 또한, 버니싱에 의한 잔류응력 효과도 있을 수 있겠으나 이점에 대해서도 보다 심층적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. N.A.Ei, Mahallawy, M.A.Taha and M. Lotfi Zamzam "On the Microstructure and Mechanical Properties of Squeeze Cast Al-7 WT% Si Alloy" Journal of Materials Processing Technology, Vol.40, pp.73-85, 1994.
2. R.E.Parks and C.J.Evans, "Rapid Post-Polishing of Diamond-Turned Optics" Precision Engineering, Vol.16, No,3, pp.223-227, 1994.
3. 유기현, 정진용, 권용기, 서남섭 "직선날 다이아몬드공구에 의한 Al합금의 정밀가공 특성 연구" 한국정밀공학회지 14권 2호, pp.113-119, 1997.

4. Enomoto,T. Tani,Y., Sato,H. and Kamimura,Y., "Single Point Machining Technology of a Super-smooth Surface Using a Flying Tool," Nanotechnology 3, pp.1-5, 1992.
5. D.K.Bowen, M.Wormington and P.A.McKeown "Measurement of Surface roughness and Topography at nanometer levels by diffuse X-Ray Scattering" Annals of the CIRP,Vol. 43/1, pp.497-500, 1994.
6. Sato,M., Yamazaki, T., Shimizu,Y and Takabayashi,T "A Study on the Microcutting of Aluminum Single Crystals" JSME International Journal. SeriesIII, Vol.334 No.4, pp.540-545, 1991.
7. Z.J.YUan, L.Geng and S.Dong "Ultra Precision Machining of SiCw/Al Composites" Annals of the CIRP, Vol. 42/1, pp.107-109, 1993.
8. 한복수의 외 1 "PCD공구를 이용한 미소가공시 표면거칠기 특성" 한국공작기계학회논문집 Vol.10 No.5, pp.31-38, 2001.10.