

경도변화에 따른 Al의 밀링가공시 가공 특성에 관한 연구

김성일*, 이상진+, 김민호+, 김태영**, 이위로***

A Study on the Cutting Characteristics of Al in End Milling for Various Hardnesses

Seong-Il Kim*, Sang-Jin, Lee+, Min-Ho, Kim+, Tae-Young, Kim**, Wi-Ro, Lee***

Abstract

The cutting tests of aluminum alloy for various hardnesses were carried out using CNC milling machine. The surface roughness(Ra, Rmax) of cut surface and cutting forces are measured at various cutting conditions such as spindle speed, feed speed and hardness. In the CNC end-milling, the surface roughness increases as feed speed increases and decreases as spindle speed increases. However, the built-up edge has occurred on in case of low hardness and low feed speed. In experimental conditions, as the hardness of aluminum alloy increases, the surface roughness(Ra, Rmax) decreases

Key Words : Hardness(경도), Surface roughness(표면거칠기), cutting forces(절삭력)

1. 서론

최근 에너지 절감 및 기계제품의 경량화가 요구되어짐에 따라 자동차, 알루미늄 휠, 실린더 블록, 정밀기계 부품이나 전자기기 등 여러 산업 분야에서 알루미늄 재료의 이용이 증대되어 가고 있지만, 높은 제조비용과 절삭가공에 많은 어려움이 있어 적극적으로 이용되지 못하고 있다. 그러나 알루미늄은 가볍고 강도가 있으며, 열전도성이 좋고, 단일 금속으로서는 실용에 적합하지 않으나 다른 원소와 배합한

합금은 가볍고 인성이 풍부할 뿐만 아니라 경도도 상당히 높고, 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있어서 내마모성이 뛰어난 기계재료이다. 또한 알루미늄 합금은 주조가 비교적 용이하고 다른 금속과 합금이 잘되며 상온이나 고온 상태에서 가공이 비교적 용이한 특징을 가지고 있고, 사용 범위는 매우 다양하여 사용 비중이 점차 증대되고 있다⁽¹⁾.

자동차 엔진 피스톤 재료로 사용되는 알루미늄 합금은 가볍고 내식성이 양호할 뿐만 아니라 합금에 따라 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있어서 내마모성이 우수한 재

* 주저자, 대불대학교 자동화기계공학과 (sikim@mail.daebul.ac.kr)

주소: 526-702 전남 영암군 삼호읍 산호리

+ 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

++ 전북대학교 정밀기계공학과

+++ 기술표준원

료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 절삭가공에 있어서 절삭저항은 그다지 크지 않으나 연질재이기 때문에 저속에서는 칩이 공구 및 가공면에 부착되고, 구성인선의 발생이 많으며, 절삭깊이가 증가하면 표면층 변화양상이 매우 복잡하게 됨에 따라 양호한 절삭 가공면을 얻을 수 없다. 그렇지만 각종 기계부품 및 전자공업 부품의 중요한 재료로서 알루미늄이 더욱 각광받게 됨에 따라 절삭성 향상이 절실히 요구되고 있다⁽²⁾. 알루미늄 제품 공정은 주로 주조 또는 단조방법이 이용되고 있는데 주조방식은 제품 내부에 기공을 포함하거나 금형 비용의 증가 및 제품간의 불규칙한 치수 등으로 기계적 성질이 떨어진다. 단조방식은 기계적 성질은 좋으나, 큰 성형하중이 요하고 단조 후 기계 가공량이 많기 때문에 프레스 등 설비비와 재료비의 비용이 증대된다^(1,3). 이러한 방법 외에 Flemings⁽⁴⁾에 의해 처음 제안된 내부결합, 기계적 성질, 치수제어, 최종 부품 가격에 있어서 다이캐스팅이나 주조 등에 능가하는 성질을 가지고 있다는 반응용 성형과 최근 사용이 증대되고 있지만 연구내용이 부족한 반응고단조가 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 사용이 증대되는 직접 가압방식의 반응고단조를 이용한 알루미늄 합금의 가공성 평가를 위해 경도 변화에 따른 엔드밀 가공특성을 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 시편의 형상을 보여주고 것으로, 가공면은 8mm, 가공면과의 폭은 10mm로 가공하였으며, 시편의 경도는 브리넬 경도계로 62, 95, 120인 3종류를 제작하였다. 가공 공구는 $\phi 10\text{mm}$ 2날 엔드밀(HSS, YG-1 20RS)이며, 건식절삭을 실시하였다. 공구는 열 발생이 많아 가공시간과 휴식시간을 가지고 절삭하였다.

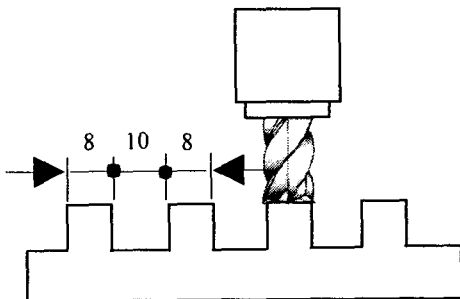


Fig. 1. The dimension and shape of specimen

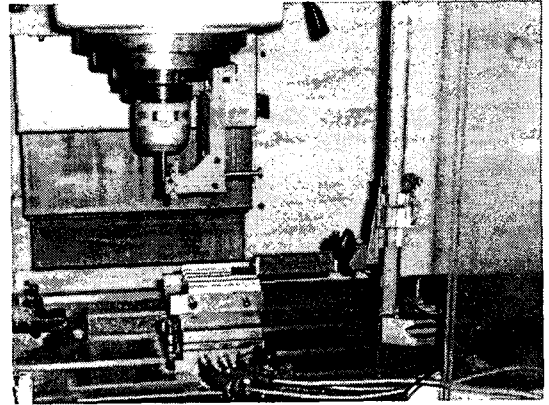


Photo. 1 The experimental apparatus

Photo. 1은 실험장치와 표면거칠기 측정모습을 보여주는 사진으로, 실험조건에 따라 NC 프로그램한 후, RS-232C 케이블을 사용하여 DNC s/w로 컴퓨터에서 CNC밀링머신

Table 1 The specifications of experimental apparatus and cutting conditions

CNC milling machine	<ul style="list-style-type: none"> - HiSUPER-4(HWACHEON) - Controller : FANUC Series O-MD - Table size 1350×450 mm - X/Y/Z Axis 950/430/500 mm - Spindle speed 40~4000 RPM
Tool dynamometer	<ul style="list-style-type: none"> - Model : KISTLER 9257 A - Maximum range : ± 5000 N - Resolution : 0.01 N - Resonant frequency : $\approx 4\text{kHz}$
Toolmakers' microscope and CCD camera	<ul style="list-style-type: none"> - Mitutoyo TM101 * Objective magnification : 2× * Total magnification : 30× - Total magnification : 50×
Portable surface roughness tester	<ul style="list-style-type: none"> - Mitutoyo surftest 301 - Measuring range * Ra, Rq(RMS) : 0.05 ~ 40 μm * Rmax, Rz, Rt : 0.3 ~ 160 μm
Cutting conditions	<ul style="list-style-type: none"> - Spindle speed : 280, 520, 990 rpm - Feed speed : 87, 187, 342 mm/min - Depth of cut : 0.5mm - Center-milling

에 데이터를 전송하여 가공하였다. 자세한 실험장치의 사양과 절삭조건은 Table 1과 같다. 절삭력의 측정은 공구동력계(Dynamometer, KISTLER 9257A)를 사용하였으며, 공구동력계에서 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 증폭기를 사용하였다. 절삭시 발생하는 데이터는 A/D converter를 통하여 5초간 1kHz로 샘플링하여 IBM-PC에 저장하였다.

표면거칠기의 측정은 표면조도계(Surface roughness tester, Surftest 301)로 중심선 평균거칠기(Ra), 최대높이거칠기(Rmax)를 절삭실험이 종료한 후, 시편의 정해진 중앙 3곳의 위치에서 측정하였으며, 중심선 표면 거칠기(Ra)와 최대높이 표면거칠기(Rmax)를 측정하였다. 표면 거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정반복상수(n)는 5로 설정하였다. 절삭표면의 형상은 공구현미경을 사용하여 관찰하였고, 50배의 CCD카메라로 절삭면의 표면거칠기 부분을 촬영하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 280 rpm, feed speed 342 mm/min인 조건으로 경도를 달리한 시편의 Fx, Fy, Fz 방향의 절삭력을 보여주는 것으로, 경도가 62인 경우는 절삭시 가공재가 연질재이기 때문에 가공면이 경작 형상이 되고 엔드밀에 칩이 붙고 탈락하는 구성인선(BUE, Built-up edge)이 발생하였다. 특히 경도 62인 시편은 이런 구성인선의 발생과 칩의 부착으로 인하여 절삭력이 커졌지만, 경도 증가에 따라 구성인선이 줄면서 경도가 95인 경우에는 절삭력 값이 낮다가, 경도가 120인 경우는 Fx, Fy방향의 절삭력이 증가하였다.

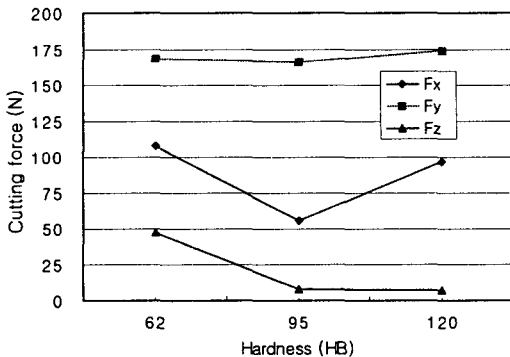


Fig. 2 Cutting force vs. Hardness (280 rpm, feed speed 342 mm/min)

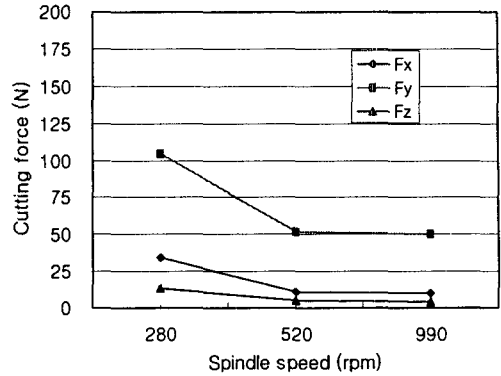


Fig. 3 Cutting force vs. spindle speed (HB 95, feed speed 187 mm/min)

Fig. 3은 경도 95, feed speed 187 mm/min인 조건에서 Fx, Fy, Fz 방향의 절삭력과 주축회전수와의 관계를 보여주는 것으로, 주축회전수가 증가할수록 3방향의 절삭력은 감소하는 경향을 보여주는데 주축회전수 520, 990 rpm에서는 거의 미소한 차이를 보여준다.

Fig. 4는 경도변화에 따른 X방향의 절삭력 Fx, Y방향의 절삭력 Fy와 주축회전수와의 관계를 보여주는 것으로, 주축회전수의 증가에 따라 절삭력은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 경도가 낮은 62, 95일 때는 주축회전수 520, 990rpm의 경우 절삭력의 차이가 미소하지만, 경도가 120일 경우는 절삭력이 감소함을 알 수 있다. 따라서 경도가 낮은 알루미늄의 절삭력은 주축회전수에 크게 관계되지 않으나, 경도가 높으면 주축회전수가 증가함에 따라 차이가 나면서 감소한다는 것을 보여준다.

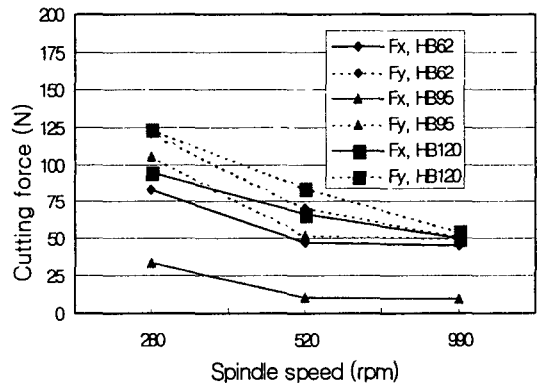


Fig. 4 Cutting force vs. spindle speed for various hardness (feed speed 187 mm/min)

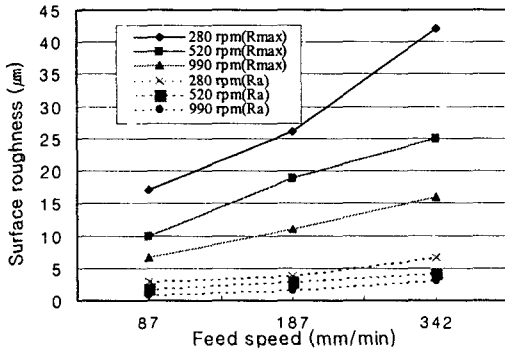
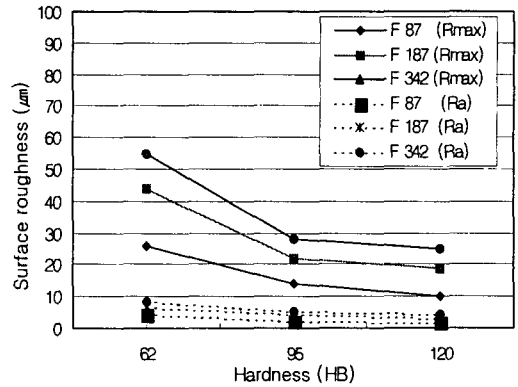


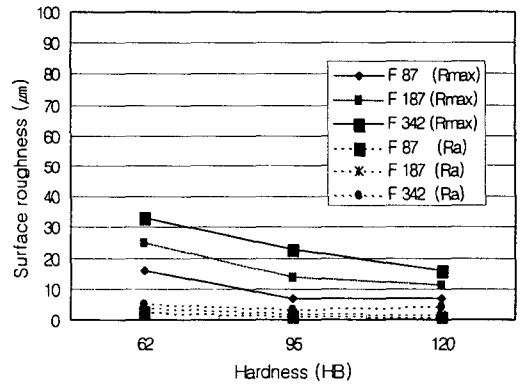
Fig. 5 Surface roughness vs. hardness for various spindle speed (Hardness :HB 120)

Fig. 5는 경도 120인 시험편을 주축회전수의 변화에 따른 중심선 표면 거칠기(Ra), 최대높이 표면 거칠기(Rmax)와 이송속도와와의 관계를 보여주는 그림이다. 이송속도가 증가함에 따라 중심선 표면 거칠기와 최대높이 거칠기가 증가함을 보여주고 있다. Fig. 4와 종합하여 경도 120의 경우를 살펴보면, 절삭력과 표면 거칠기는 주축회전수의 증가함에 따라 감소한다. 또한 이송속도의 증가에 따라서는 모든 영역에서 주축회전수가 증가함에 따라서 표면 거칠기가 감소함을 보인다. 절삭력의 경우, 경도가 낮을 때는 주축회전수의 변화에 민감하지 않으나 경도가 높을 때는 주축회전수의 증가에 따라 감소한다.

Fig. 6은 이송속도의 변화에 따른 중심선 표면 거칠기(Ra), 최대높이 표면 거칠기(Rmax)와 경도와의 관계를 보여주는 그림이다. (a)는 주축회전수가 280 rpm, (b)는 주축회전수가 520 rpm, (c)는 주축회전수가 990 rpm인 경우로

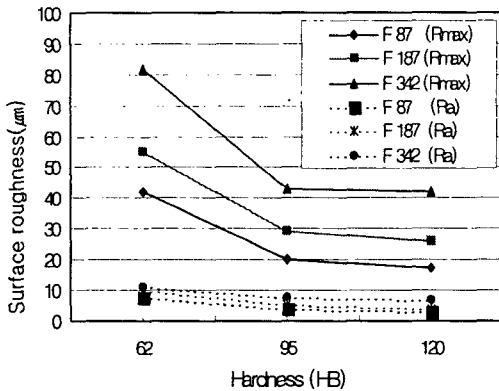


(b) 520 rpm



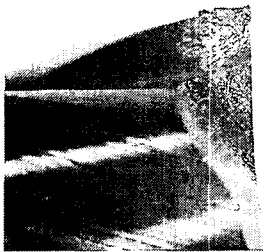
(c) 990 rpm

Fig. 6 Surface roughness vs. hardness for various feed speed



(a) 280 rpm

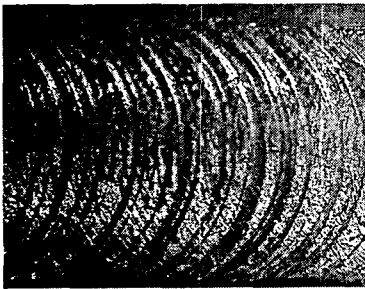
경도가 높아짐에 따라 표면 거칠기가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 경도가 낮은 경우(62, 95), 표면 거칠기 변화가 심하지만 경도가 증가(95, 120)하면 거칠기 변화가 크지 않음을 보인다. 경도가 낮은 시험편의 가공에서는 엔드밀에 칩이 부착되고 가공면도 뜯기는 현상, 구성인선 발생 등 여러 가지 원인으로 표면 거칠기가 상당히 좋지 않음을 보이다가 경도가 증가함에 따라서 표면 거칠기도 좋아짐을 볼 수 있었다. 저속 주축회전수(280, 520 rpm)영역에서의 표면 거칠기는 경도변화(95, 120)에 미소하게 차이가 나지만, 990 rpm에서는 경도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 양호한 감소 경향을 보이고 있다. 따라서 고속의 주축회전수에서는 경도의 변화가 표면거칠기에 밀접한 관련이 있음을 보여준다.



(a) front



(b) Side

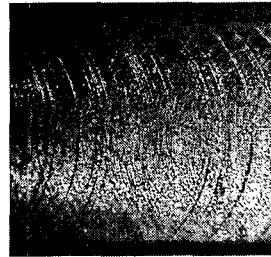


(c)
Surface after
machining

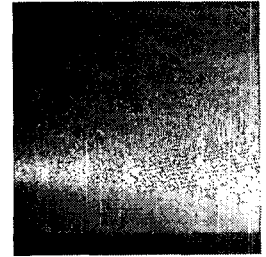
Photo. 2 The Built-up edge of endmill
(990rpm, feed speed:342mm/min, Hardness :62)

Photo. 2는 경도가 62인 시편을 990rpm, feed speed 342 mm/min로 가공한 후, 엔드밀의 정면 (a)와 측면(b), 가공후의 표면상태 (c)를 보여주는 사진으로, 가공표면이 상당히 거칠음을 볼 수 있다. 이는 사진에서 보듯이 연질의 알루미늄 가공시 구성인선(BUE, Built-up edge)이 발생하여 절삭면을 파고 들어가는 현상과 칩이 엔드밀의 헬릭스 경사면에 부착된 후 탈락되지 않아 가공면의 뒷부분도 함께 가공하여 거친 표면이 나타나기 때문이다. 이러한 경향은 알루미늄의 선삭가공에서도 유사한 결과를 보였다⁽⁶⁾. 그러나 알루미늄 합금의 경도를 증가시키면 이러한 구성인선도 감소함을 볼 수 있었다.

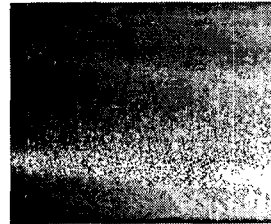
Photo. 3은 경도변화에 따른 알루미늄 합금을 990rpm, feed speed 87mm/min 조건으로 가공한 후, 가공표면을 촬영한 것으로 경도가 증가함에 따라 표면이 양호해짐을 볼



(a) Hardness : 62



(b) Hardness : 95



(c) Hardness : 120

Photo. 3 The cut surface for various hardness
(990rpm, feed speed : 87 mm/min)

수 있다. 경도가 62인 (a)는 구성인선과 뒤 부분이 뜯긴 흔적을 보이고 있고, 경도가 증가시킨 (b), (c)는 표면이 좋아짐을 볼 수 있다. 절삭력과 표면거칠기를 종합하여 살펴보면 절삭성을 향상시키기 위한 한 인자로 가공물의 경도가 밀접한 관련이 있음을 보여 준다.

4. 결론

- 1) 경도가 낮은 알루미늄 합금의 경우, 칩이 표면과 공구에 눌러 붙어 가공면의 표면거칠기가 불량함으로 인하여 양호한 가공면을 얻기가 어렵다.
- 2) 알루미늄 합금의 가공시 절삭력은 경도가 낮을 때 저속 주축회전시는 감소하나 고속 주축회전시는 미세한 감소 현상을 보이고 있고, 경도가 높을 때는 주축 회전수의 증가에 따라 감소한다.
- 3) 절삭력과 표면거칠기를 종합하여 살펴보면, 절삭성을 향상시키기 위한 한 인자로 가공물의 경도가 밀접한 관련이 있다.

참고 문헌

- (1) 김정하, 1995, "알루미늄/철의 주조단조", 열조형기술, pp.95~105

- (2) Kaldor, S., Ber, A., Lenz, E., 1979, "On the Mechanism of Chip Breaking", *ASME J. of Eng. for Ind.* Vol. 101, pp 241
- (3) 이성모, 왕신일, 김효량, 배원병, 2002, "알루미늄 주조/단조 공정을 이용한 자동차용 에어컨 컴프레서 피스톤의 생산에 관한 연구", *한국정밀공학회*, Vol. 17, No. 8, pp.53~58
- (4) D.P.Spencer, R. Meharabian and M.C. Flemings, 1972, "Rheological Behavior of Sn-15%Pb in the Crystallization Range", *Met. Trans.*, Vol. 3, pp.1925~1932
- (5) 최현민, 김경우, 김우순, 김용환, 김동현, 채왕석, 2002, "AC8A-T6알루미늄 합금재의 절삭가공 특성에 관한 연구", *한국공작기계학회 추계학술대회논문집*, pp.192~197
- (6) 채왕석, 김경우, 최현민, 김동현, 2002, "알루미늄 합금의 미세조직 개선에 의한 절삭 가공 특성 향상", *한국공작기계학회 춘계학술대회논문집*, pp.290~295