한국생산제조시스템학회지 Vol.21 No.1 2012. 2. pp. 144~149
Korean Society of Manufacturing Technology Engineers

기술논문

선반 가공조건에 따른 경화처리된 Al7075-T6 소재의 가공특성 변화에 관한 연구

이희덕*, 김정석+, 정지훈++, 임학진+++

(논문접수일 2011. 11. 16, 수정일 2011. 12. 16, 심사완료일 2011. 12. 20)

A Research on the Change of Cutting Characteristics in Hardened Al7075-T6 Depending on Turning Conditions

Hee-Deok Lee*, Jeong-Suk Kim+, Ji-Hoon Jeong++, Hak-Jin Im+++

Abstract

The cutting characteristics of hardened aluminum alloy Al7075-T6 were investigated during turning processing. Under variation conditions of cutting speed, depth of cut, and feed rate, the characteristics of cutting force, surface roughness, and machined texture were investigated. Surface roughness became worse in proportion to the increase of the feed rate. The thickness of material alteration layer which is derived from the effect of cutting force was the biggest when feed rate 0.148mm/rev. This research confirmed that the deformed layer is dominantly dependent on the variation of feed rate.

Key Words : Cutting force(절삭력), Surface roughness(표면조도), Deformed layer(가공변질층)

1. 서 론

알루미늄은 경량재료이면서 기계적 특성이 우수할 뿐 아니라 전기화학적 특성도 우수하여 건축재료, 자동차 경량부품, 우주항공재료, 식음료 포장재료 등 다양한 분야에 사용되고 있다. Al-Zn-Mg계 합금은 알루미늄 전신재 합금 중에서 기계적 강도가 가장 높은 고력합금으로서 초두랄루민(Extra Super Duralumin)으로 알려져 왔는데 일반적으로 항공기, 철도차량, 스포츠용품 등 비강도를 중요시하는 구조재료에 쓰인다[1].

두랄루민의 한 종류인 알루미늄 7075는 알루미늄, 마그네슘, 구리, 아연 등의 합금으로서 현재 알루미늄 중에서 가장 우수한 강도를 지니는 재료중 하나이고 우수한 피로강도를 가짐과 동시에 절삭성이 우수하다[2]. 절삭성의 평가는 가공의 정밀성에 큰 영향을 미치고 경제적인 절삭조건의 선택에 있어 중요하기 때문에 많은 실험이 필요하며, 가공물의 물리적 성질, 공구재료, 절삭조건 및 공구 기하학은 절삭성에 많은 영향을 미치기 때문에 임의적인 절삭조건으로 정확한 결과를 얻어내기란 어려운 일이다[3]. 그리고 절삭으로 인하여 가공표면에 가공변질층이 생성되는데 이 변질층은 절삭가공에 있어서 표면의 성능을 결정하는 중요한 항목으로서 구체적으로 잔류변형력, 표면처리성, 반사율, 전도성, 내식성, 내마모성에 영향을 준다[4].

또한 경도변화, 부식, 소성유동 등 피삭재의 강도에 영향을

* (주)한국교정기술센터
+ 교신저자, 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공연구소(ERC/NSDM)
주소: 609-735 부산광역시 장전동 산30 (juskim@pusan.ac.kr)
++ 부산대학교 기계공학부 대학원
+++ 풍산금속(주)

미치는 변화가 적용되기 때문에 가공면 품질을 향상시키기 위해 변질층을 얇게 하는 것이 중요시 되고 있다[5].

따라서 본 연구에서는 절삭가공 조건에 따른 Al7075-T6 소재의 변화를 파악하기 위해 이송속도, 절삭깊이, 절삭속도에 따라 변하는 절삭력, 표면조도 측정 및 각 조건에서 생성되는 변질층을 광학현미경을 이용한 조직사진 촬영과 나노인덴터 경도법으로 확인하게 된다.

2. 실험방법 및 측정방법

2.1 실험방법

알루미늄 소재의 절삭성을 실험하기 위해 실험장치를 Fig. 1과 같이 구성하여, 절삭력 및 표면조도 측정에 사용된 장치들을 나타내었다. 본 실험에 사용한 재료는 Al7075-T6로서 성분분포는 Table 1에 나타내었다. 절삭실험은 건식 절삭가공을 적용하여, 가공조건에 따른 Al7075-T6 가공특성변화를 파악하였다.

절삭실험을 위하여 범용선반(Lathe, Namsun hi-tech, 600x2000)을 사용하였고, 튜브 소재의 두께를 고려하여 선반의 최대 절삭속도를 450m/min로 설정하였다. 공구는 인선반경 0.8R, 코너각 55°, 절입각 90°의 알루미늄 절삭전용 인서트팁을 사용하였다.

또한 가공변질층 혹인 경화층 확인을 위하여 광학현미경과 마이크로 비커스 경도 및 나노인덴터를 사용한 실험을 하였다.

2.2 절삭력 및 표면조도 측정방법

표면조도는 매 실험마다 측정하였고, 컷오프 값(Cut Off)은 2.5mm로 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하였다.

Minitab을 이용한 반응표면법으로 실험계획을 하여 Table 2에 제시된 실험조건에서 실험을 수행하였고, 시편형상은 Fig. 2에 보이는 바와 같이 실린더형 소재를 5단으로 나누었다.

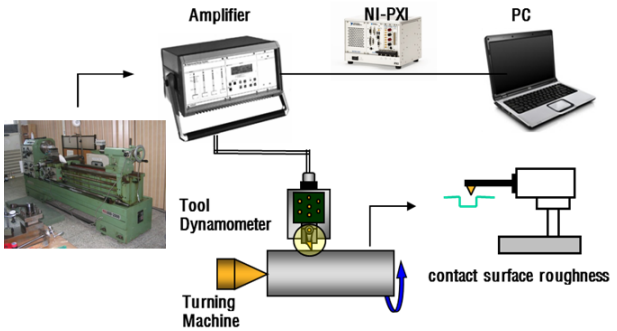


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Chemical comparisons of Al7075-T6

Element	Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Cr	Fe	Ti	Ni	Al
wt(%)	1.5	0.4	0.6	5.5	0.2	0.25	0.5	0.2	0.2	rest

Table 2 Experimental conditions for Al 7075-T6

Exp. No.	Cutting speed(m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)
1	350	0.098	0.25
2	250	0.049	0.45
3	350	0.123	0.05
4	350	0.148	0.25
5	450	0.098	0.25
6	350	0.123	0.25
7	450	0.148	0.45
8	450	0.049	0.05
9	450	0.148	0.05
10	450	0.049	0.05
11	250	0.049	0.45
12	450	0.148	0.45
13	250	0.123	0.25
14	350	0.123	0.45
15	350	0.123	0.25
16	350	0.123	0.25
17	350	0.148	0.05
18	250	0.123	0.25
19	350	0.123	0.25
20	350	0.049	0.25

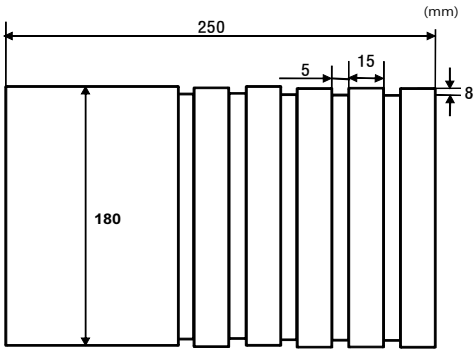


Fig. 2 Size of test specimen

가공조건 변화에 따른 절삭력, 표면조도에 대한 실험 후, 가공변질층 확인을 위해 시편표면을 0.1mm 정삭하여 면을 치고 이송속도를 0.049, 0.080, 0.098, 0.123, 0.148(mm/rev)로 나누어 가공조건에 따른 가공변질층 평가 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공조건 변화에 따른 절삭력 결과

Fig. 3은 절삭속도에 따른 절삭력의 변화특성을 나타낸 것이다. 특이한 현상은 절삭속도 350m/min을 기점으로 그 특성이

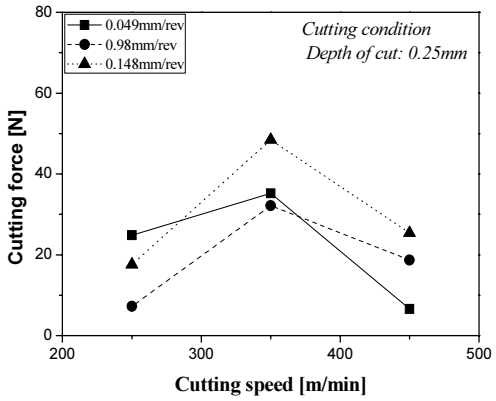


Fig. 3 Cutting force according to cutting speed

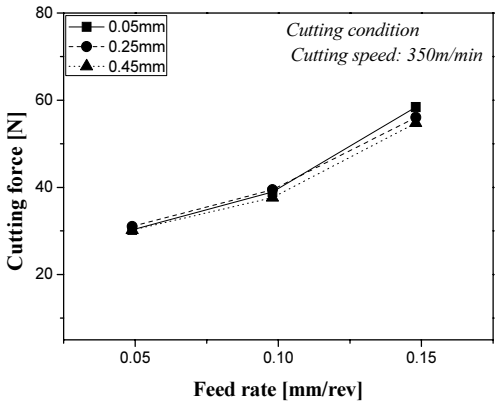


Fig. 4 Cutting force according to feed rate

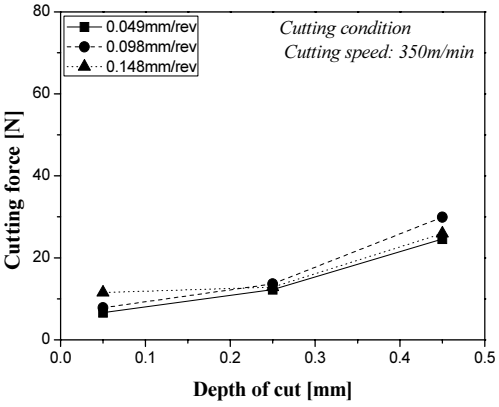


Fig. 5 Cutting force according to depth of cut

크게 달라지고 있다. 즉, 이보다 클수록 알루미늄 소재의 절삭가공시 자주 발생하는 구성인선(Built up edge) 현상이 많이 감소되어 절삭력이 감소하는 현상을 보이고 있다[6]. Fig. 4와 Fig. 5는 이송속도와 절삭깊이에 따른 절삭력 변화특성을 나타내었다. 절삭력의 경우, 이송속도에 대하여 30N에서 60N, 절삭깊이에 대하여 8N에서 30N 정도로 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 6은 이송속도와 절삭속도의 변화에 따른 절삭력의 반

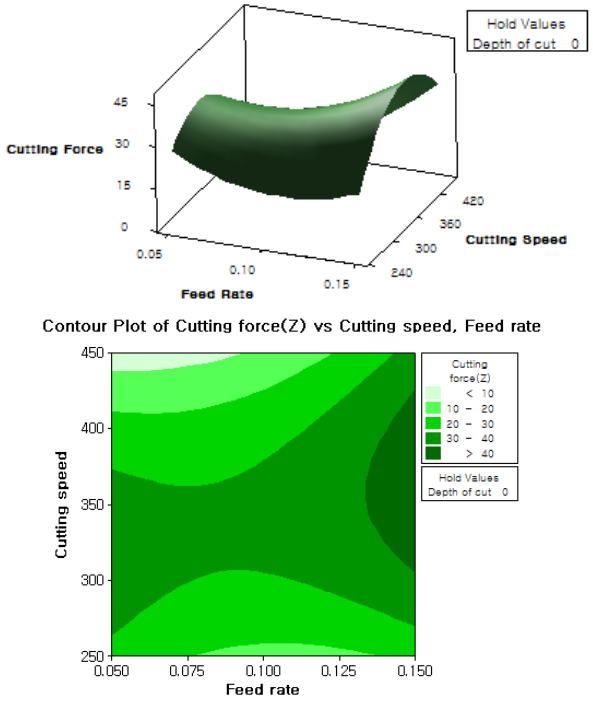


Fig. 6 Cutting force according to Cutting speed and Feed rate

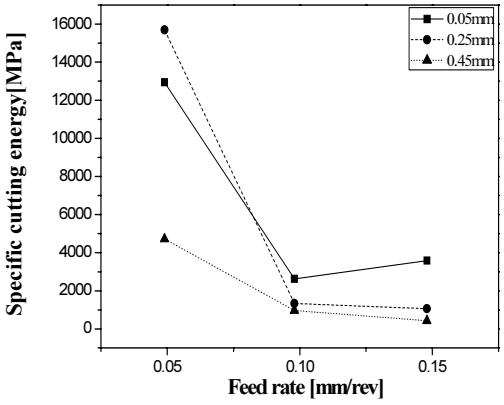


Fig. 7 Specific cutting energy according to Feed rate

응표면(Response surface) 특성을 나타내고 있다.

Fig. 7은 이송속도에 대한 비절삭에너지(Specific cutting energy)의 그래프이다. 절삭깊이 0.05, 0.25, 0.45mm의 3개의 선도가 그려지는데 0.049mm/rev에서 0.098mm/rev 사이의 값이 급감하는 경향이 나타난다.

Fig. 8은 절삭깊이에 대한 비절삭에너지의 그래프인데 이송속도 0.049mm/rev의 선도는 절삭깊이 0.05mm에서 16000MPa 정도 나오며 0.25, 0.45mm에서 비절삭에너지가 급감한다. 이송속도 0.098mm/rev, 0.148mm/rev 선도는 절삭깊이 0.05mm에서 3000MPa 정도로 비교적 낮게 나오며 0.25, 0.45mm 지점까지 미소하게 감소한다. Fig. 7과 Fig. 8을 종합하면 절삭깊이의 영향보다 이송속도의 영향이 큰 것을 알 수 있다.

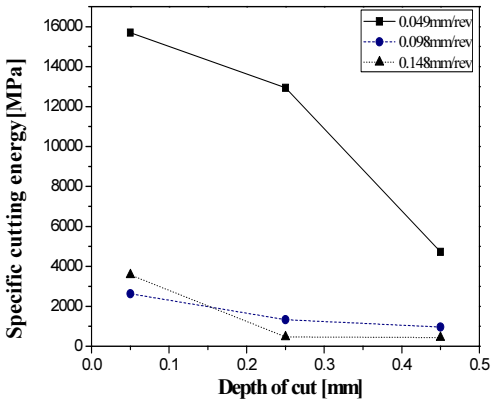


Fig. 8 Specific cutting energy according to Depth of cut

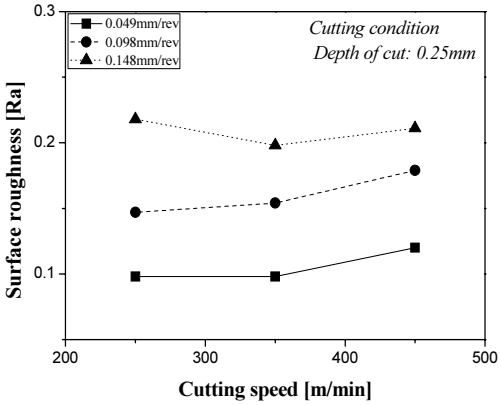


Fig. 10 Surface roughness according to cutting speed

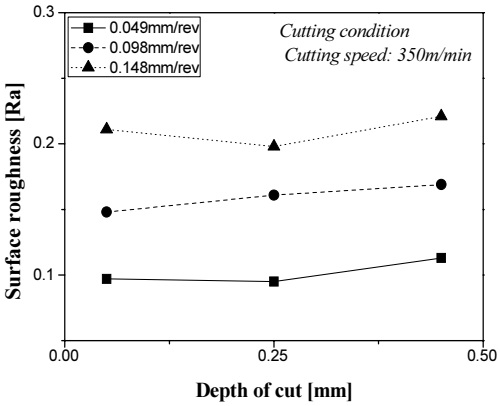


Fig. 9 Surface roughness according to depth of cut

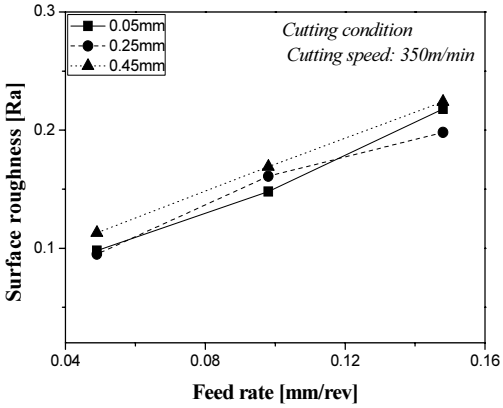


Fig. 11 Surface roughness according to feed rate

3.2 가공조건 변화에 따른 표면조도 특성

Fig. 9와 Fig. 10은 절삭깊이와 절삭속도의 변화에 따른 표면조도의 특성을 나타내고 있는데, 그 변화특성은 미미한 수준으로 관찰되었다.

Fig. 11에 나타난 이송속도별 표면 조도의 변화특성을 보면 절삭속도, 절삭깊이 변화조건에 비하여 거칠기 변화가 큰 값을 보이는 경향을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 앞서 시행한 절삭력 실험과 같은 방법으로 반응표면과 등고선도를 그린 결과이다. 표면조도는 절삭속도보다 이송속도에 큰 영향을 받으므로 표면조도에 대한 주효과도는 이송속도가 가장 크다고 볼 수 있다. 따라서 같은 소재제거율을 가지는 절삭조건이라면 이송속도가 낮은 조건을 택하는 것이 표면조도 측면에서는 유리하다.

따라서, 절삭력실험에서 가장 큰 주효과도를 보인 이송속도를 변수로 두어 가공변질층 평가 실험을 하였다. 가공시 나타나는 변질층 혹은 경화층을 확인하기 위하여 폴리싱과 에칭을 한 후 광학현미경(Nikon Epipht 200, Max x1000)으로 조직사진을 확인하고, 마이크로 비커스 경도기(AMXT-α)와 나노인덴터(MTS)로 변질층의 경도 및 두께를 확인하였다. Table 3은

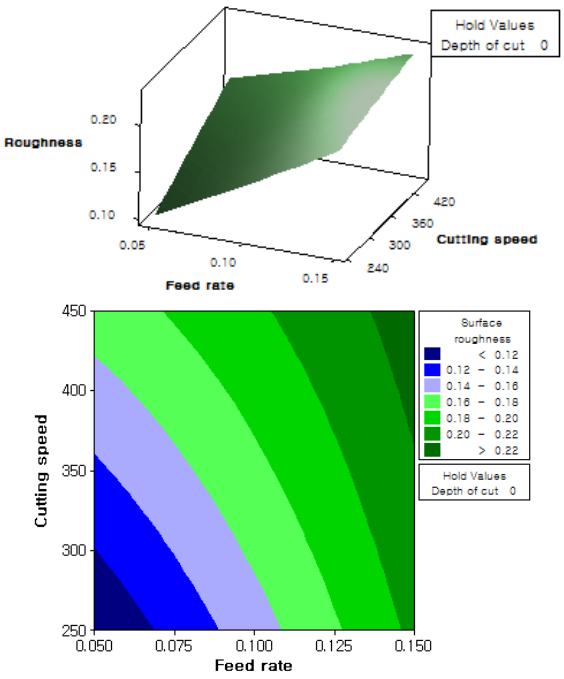


Fig. 12 Surface roughness according to cutting speed and feed rate

Table 3 Cutting condition for Evaluation of Damaged layer

Diameter of Workpiece	Depth of cut	Cutting Speed	Feed rate
115.5mm	0.25mm	450m/min	0.049mm/rev
			0.080mm/rev
			0.098mm/rev
			0.123mm/rev
			0.148mm/rev

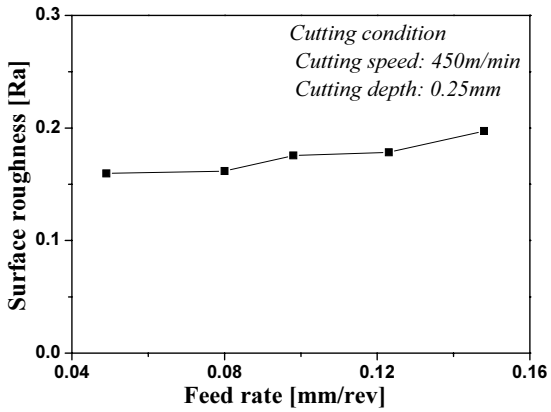


Fig. 13 Surface roughness according to feed rate

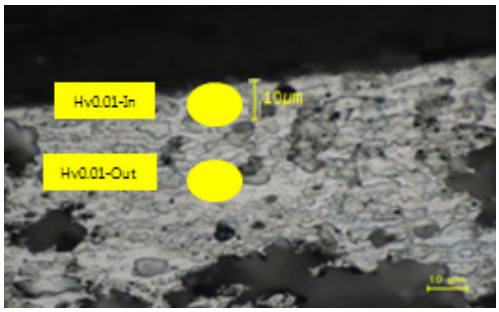
가공조건이며 표면조도는 Fig. 13에 나타냈다. 이송속도 별로 나누어 표면조도를 측정한 결과, 이송속도가 증가함에 따라 표면조도는 증가하였다.

3.3 가공조건에 따른 가공변질층 평가

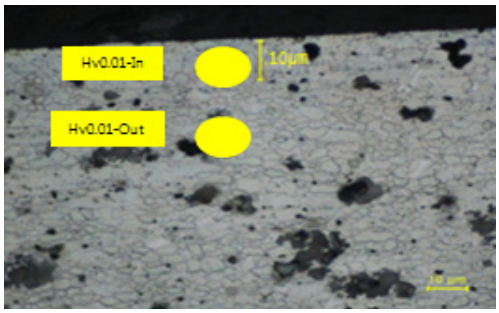
실험시 사용되었던 소재를 링모양으로 절단한 후 Micro vickers hardness tester로 Hv 0.2의 하중을 가하여 15회 경도 측정을 하였다. 마운팅은 Black bakelite powder를 사용하여 열간으로 하였고 현식연마용 연마지 #800, #1000, #1500, #2000, #2400을 사용하여 연마한 후 다이아몬드 페이스트로 3㎛, 1㎛까지 사용하여 폴리싱을 마무리 하였다. 에칭액으로는 증류수 50%, 질산 15%, 염산 25%, 불산 10%로 선정하여 약 10초간 부식하였고, 변질층의 조직사진을 가시적으로 확인하기 위하여 광학현미경(Epiphot 200, Nikon)을 사용하여 x500, x1000 배율로 확인하였다.

Fig. 14는 이송속도 0.049, 0.080, 0.098, 0.123, 0.148(mm/rev) 순으로 광학현미경 촬영한 사진으로서, 전체적으로 페라이트(Ferrite) 조직이 관찰되었으나 가공면 부분을 보게 되면 이송속도별로 조직의 변형을 확인할 수 있다.

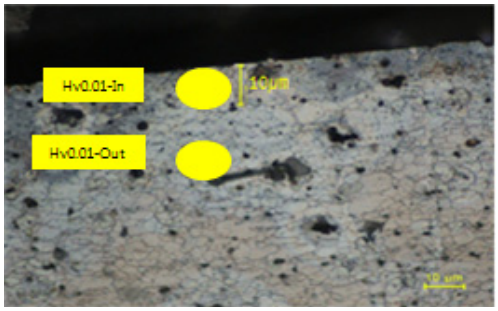
(a)~(c)에서는 부분적으로 10㎛ 내외의 변질층이 생긴 것을 확인할 수 있었고, (d), (e)에서는 앞선 (a)~(c)보다 깊은 층이 보이고 깊이는 일정하지는 않음을 알 수 있다. 광학현미경으로 조직 사진 관찰후 경도를 확인하기 위하여 다시 폴리싱 작업을



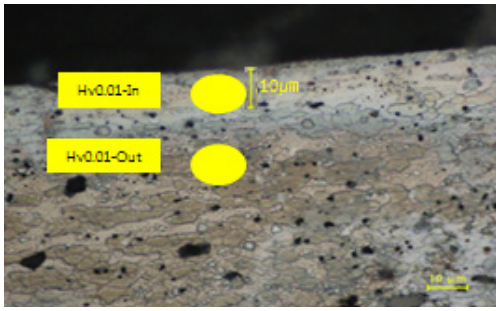
(a) feed rate 0.049mm/rev



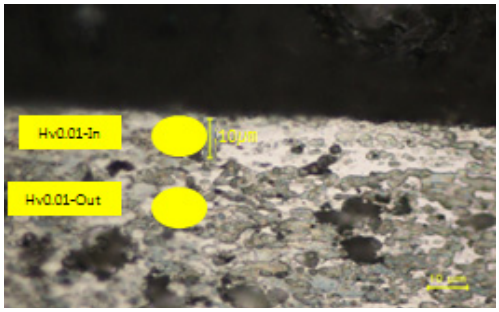
(b) feed rate 0.080mm/rev



(c) feed rate 0.098mm/rev



(d) feed rate 0.123mm/rev



(e) feed rate 0.148mm/rev

Fig. 14 Metallographic figure

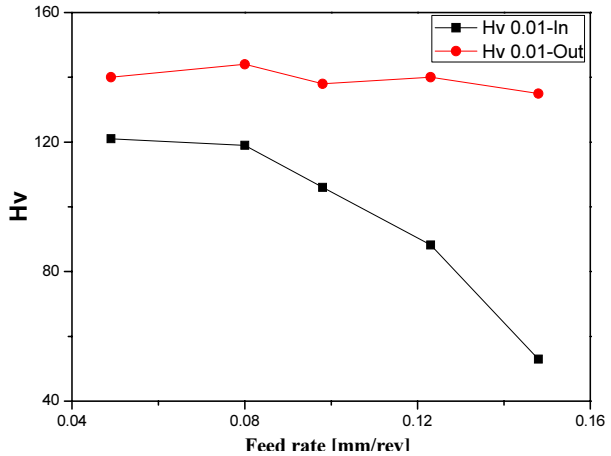


Fig. 15 Hv 0.01 according to feed rate

하였다. Micro vickers hardness tester(MXT-α)를 사용하여 하중을 경도기 최소값인 10gf로 하였고 가공면을 기준으로 10 ㎛ 깊이(In)와 그 아래(Out)의 두 구간을 측정하였다.

Fig. 15는 이송속도에 따른 Hv 경도값의 그래프이다. 이송속도가 증가할수록 경도값은 점점 감소한다. 이송속도가 증가함에 따라 열연화현상이 일어나 경도가 낮아짐을 알 수 있다[7]. Hv 0.01-In 범위는 가공변질층 부분으로서 이송속도에 따른 변질층 면적이 넓어짐에 따라 경도측정값은 120에서 50까지 급감하였다.

4. 결 론

알루미늄 합금(Al7075-T6)의 가공성 평가를 통하여 절삭속도, 절삭깊이, 이송속도변화에 따른 절삭력, 표면조도, 가공변질층에 대한 특성을 다음과 같이 얻었다.

(1) 절삭력과 비절삭저항에 대한 이송속도의 영향이 두드러지는 것을 확인하였고 이는 Al7075-T6 선삭가공시 이송속도가 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.
(2) Al7075-T6 소재의 선삭가공시 이송량 0.08mm/rev에서 절삭력이 상대적으로 낮게 나오며, 이는 일반적으로 이송량이 작을수록 낮아지는 절삭력 경향과 다른 특징으로 보여진다. 또한, 같은 소재제거율을 가지는 절삭조건이라면 이송속도가 낮은 조건을 택하는 것이 표면조도 측면에서는 유리하다.
(3) 가공면의 가공변질층은 전체적으로 페라이트(Ferrite) 조직으로 관 찰되었으며, 이송속도의 증가에 따라, 변질층의 경도는 감소하는 현상을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2011년 정부(방위사업청) 민군겸용기술개발사업 과제의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임으로 관계기관에 감사의 말씀을 드립니다(한국연구재단-2009-DU-MP-02).

참 고 문 헌

(1) Lee, H. I., Han, Y. S., and Kim, W. T., 1996, “The Comprehension and Application of Aluminum Advanced Technology,” *The Korean Steel News*, Republic of Korea, pp. 19~38.
(2) Yu, M, H., Yu, C. H., Hong, D. P., Kim, C. S., and Kim, Y. J., 2010, “Study on the Mechanical and Surface Properties of Friction Welded Al Alloy 6061-T6 and 7075-T6,” *Korean society of Machine Tool Engineers 2010 Autumn Conference*, pp. 389~393.
(3) Oh, S. H., 2004, “A Study on the Correlation between Machinability and the Cutting Condition in Machining Aluminum Alloy,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers,* Vol. 3, No. 4, pp. 56~62.
(4) Park, Y. W., 1997, “Depth of Deformed Layer in Machining,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers 1997 Autumn Conference*, pp. 247~250.
(5) Kim, D. E., Lee, K. Y., Kang, M. C., and Kim, J. S., “Characteristics of Damaged Layer in High Speed End Milling,” 2000, *Korean society of Machine Tool Engineers 2000 Spring Conference,* pp. 326~331.
(6) Choi, T. K., Kim, J. S., Park, J. H., and Lim, H. J., 2009, “The Machinability Estimation Depending on Cutting Condition in Al6061-T6 Turning Operations,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers,* Vol. 18, No. 6, pp. 675~680.
(7) KISTI, 2007, “Aluminum alloy,” *MCT NET*, Republic of Korea, pp. 1~2.
(8) Lee, J. H.., Kim, J. S., Kwon, D. H., Park, J. H., Kim, B. M., Jung, Y. H., Kang, M. C., and Lee, S. Y., 2007, “The Characteristics of Damaged Layer According to Depth of Cut in Micro Endmilling,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers,* Vol. 16, No. 5, pp. 77~83.