

알루미늄 합금(AC4C.1)의 환경친화적 고속가공 특성

황인옥*, 강익수+, 강명창**, 김정석**

Environmentally Conscious High Speed Machining Characteristics of Aluminium Alloys(AC4C.1)

I. O. Hwang*, I. S. Kang+, M. C. Kang**, J. S. Kim**

Abstract

Recently, environmental pollution has become a significant problem in industry and many researches have been investigated in order to preserve the environment. Environmentally conscious machining and technology have more and more important position in machining process. The cutting fluid has greatly bad influence on the environment in the milling process.

This research is experimental study on high speed machining of aluminum alloys through environmentally conscious machining. In this study, the machinability surface roughness and chip appearance was investigated in the machining of aluminum alloys applied dry machining and using cutting fluid, oil mist.

Key Words : Environmental conscious machining(환경친화가공), Aluminum alloys(알루미늄 합금), Oil mist(오일미스트), Cutting fluid(절삭유제), Dry machining(건식가공), Surface roughness(표면거칠기)

1. 서론

최근 기계가공은 고정밀화, 고속화, 무인화의 방향으로 나아가고 있으며, 또 하나의 큰 방향은 환경보전이다. 근래에 공업선진국들을 중심으로 떠오르고 있는 환경문제에 대한 관심은 산업전반에 걸쳐서 환경오염에 대한 규제가 강화되고 있다. 이러한 규제는 ISO 14000 등의 수단으로 국가간 무역에도 연계시킬 움직임이 있어 오염배출

물질의 경감은 국제 경쟁력의 관건이 될 뿐만 아니라, 궁극적으로 쾌적한 삶을 위한 지구환경의 보전차원에서 매우 중요하다.

생산현장에서 가장 널리 사용되고 있는 절삭가공 분야는 환경친화성이 요구되는 대표적인 생산공정 중의 하나로서 절삭가공 분야는 대개의 경우 공구와 피삭재가 접촉하는 절삭부에 절삭유제를 공급하여 가공능률의 증대와 가공 정밀도 향상을 도모해왔다.⁽¹⁾ 하지만 절삭유제로 인한 환경오염과 비용 등의 문제로 인하여 국내외에서 수행되고 있는 연구방향으로서 절삭유제의 사용을 배제한 환경친화적인 가공과 공구의 재질을 개선한 가공이 이루어지고 있는 추세이다.⁽²⁻³⁾

* 황인옥, 부산대학교 대학원 나노시스템공학협동과정 (enoki@pusan.ac.kr)

주소: 609-735 부산시 금정구 장전동 산30

+ 부산대 대학원 정밀기계공학과

++ 부산대 기계공학부/정밀정형 및 금형가공 연구소

기존의 알루미늄 합금에 관한 연구에서는 공구 소재에 따르거나, 가공속도 변화에 의한 알루미늄 합금의 가공성을 연구하였다.⁽⁴⁾ 그러나 알루미늄 합금의 가공에 있어서 가공속도를 고속으로 할수록 그 가공성이 더 우수함은 이미 증명되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 신발금형 등에 상용되고 있는 알루미늄 합금(AC4C.1)을 고속가공함에 있어 환경친화적인 관점에서 기존의 습식에 의한 절삭유제를 대체할 수 있는 방안을 도입하였다. 그 방법으로 건식, 식물성 오일을 이용한 오일미스트(Oil mist)를 사용하여 표면 거칠기, 칩의 형상, 공구에 소재가 달라붙는 정도 등의 가공특성을 규명하고, 환경친화적 가공기술의 우수성을 제시하고자 한다.

2. 연구 배경

2.1 환경친화 가공기술

환경친화적인 가공기술이란 생산가공에서 절삭유제의 사용을 억제하며 절삭유제 대신 대체 냉각제를 이용하여 공구와 공작물간의 마찰로 인한 열을 감소, 냉각 및 윤활작용을 통하여 가공하는 것을 말하며, 현재의 환경보호정책에 따라 절삭유제에 관련되는 비용이 높고, 환경오염에 대한 규제가 엄격해짐에 따라 그 경비도 증가하고 있다. 절삭유제 관련경비는 현재도 생산공정의 약 15 ~ 30%를 차지하고 있고, 앞으로 이 비율은 점점 더 높아질 것이다.⁽⁵⁾

따라서 절삭유제의 사용할 때는 그 양을 최소화하고, 사용한 절삭유제를 폐유처리하는 방식이 아닌 리사이클링하여 사용하는 방법이 있다. 또한 절삭유제를 사용하지 않고, 압축냉각공기 시스템 및 오일미스트의 식물성 오일을 공급, 압축냉각공기와 오일미스트를 동시에 분사하는 환경에 무해한 방법도 있는데, 이는 곧 환경오염의 저감효과를 가져오고 절삭유제에 사용되는 비용 절감 효과를 가져올 수가 있으며, 절삭가공에 있어 공구수명의 향상과 공구마멸의 감소를 가져오는 환경친화 가공기술을 할 수가 있다.⁽⁶⁾

2.2 오일미스트 장치

오일미스트 장치는 절삭유제의 극압첨가제를 배제한 극소량의 식물성 오일을 절삭가공점에 분사하는 방식으로, 외부 전력없이 압축공기만으로 작동하며, 고압의 미세하고 균일한 미스트의 공급으로 공구의 끝단까지 침투가 가능하여 윤활이 우수하고, 또한 가공후 폐유처리, 세척공정이 전혀 없어 후처리 작업이 간단하다.

알루미늄 합금의 고속가공에 있어서, 가공온도는 크게 높지 않으므로, 가공시 냉각보다는 윤활의 효과를 더 기대하게 된다. 이로 인하여, 본 실험에서는 위에서 설명한 오일미스트 장치를 사용하여 환경친화적인 가공을 수행하였다.

2.3 알루미늄 합금의 성분

본 연구에 사용된 소재는 알루미늄 주물합금으로 신발금형 등의 금형에 사용되고 있다. 알루미늄 합금의 주조는 강 주물 알루미늄-청동과 공통점이 많으나, 알루미늄-구리, 알루미늄-마그네슘 합금 등은 용고온도 구간이 길고 주석청동과 비슷한 점이 있다. 알루미늄 합금의 주조방식과 다른 합금들과 비해서 다른 점들은 다음과 같다. 용융점이 낮고, 비중이 적으며 산화피막이 퍼지기 쉽고 견고하며, 열전도율이 높다. 알루미늄 주물 합금의 화학적 성분은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical properties of Aluminium alloy

AC4C	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
	0.25 이하	6.5 ~7.5	0.25 ~0.45	0.35 이하	0.40 이하	0.35 이하
.1	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Al
	0.10 이하	0.20 이하	0.10 이하	0.05 이하	0.10 이하	90.15 이상

알루미늄 합금의 강도향상을 위하여 시효경화(Age hardening)처리를 하게 된다. 이러한 석출경화 공정에서 재가열된 알루미늄 합금은 그 온도에서 일정시간 동안 유지시켜 강도와 경도를 얻게 하였다. 그러나, 석출경화 공정에서 오랜 시간동안 유지되면, 석출물은 합쳐져서 성장하게 되어 석출물의 수는 적어지지만 크기는 커지게 되어 파시효

(Overaging)하게 된다. 알루미늄 합금이 과시효 되면 합금은 부드럽고 약하게 된다. 따라서 원하는 성질을 얻으려면 시간-온도 관계를 적절히 조절하여야 한다. 시효된 알루미늄 합금은 특정한 온도까지만 사용될 수 있고 이를 초과하면 과시효 되어 강도와 경도가 떨어진다. 본 연구에서 사용된 AC4C.1 알루미늄 합금의 시효처리를 위하여 180°C온도에서 10시간 열처리를 수행하였고, 초기 경도치, 70~80HB를 80~95HB으로 향상하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에서는 최대 주축 회전수 20,000rpm인 고속 머시닝센터(MAKINO V55)에서 $\varnothing 10$ 초경플랫엔드밀(TiAlN Coating)을 사용하고 블록 형상 ($100 \times 100 \times 100 \text{mm}^3$)의 알루미늄 합금(AC4C.1)을 가공하여 가공특성을 규명하였다. 실험에 사용된 장비는 Table 2와 같고, 실험 장치도는 Fig. 1에 나타내었다.

Table 2 Experimental device

Instrument	Specification
CCD camera	PULNIX Lens($\times 200$)
Image board	MV-1000(8bit)
Surface tester	Taylor Hopson Surtronic 3+
Oil mist	Spray max. 100cc/h

공구상태 사진은 공구의 착탈에 의한 가공 오차성분을 최소화하기 위해 공구가 장착된 상태에서 CCD 카메라를 이용하여 측정하였다.

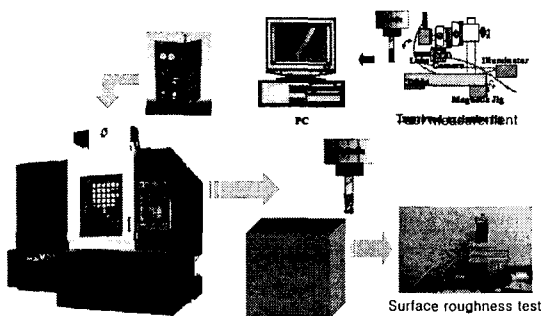


Fig. 1 Experimental set up for test

3.2 실험방법

절삭유제 공급방식에 따른 알루미늄 합금의 가공성 평가에 있어서, 대부분의 알루미늄 합금의 경우 피삭성이 좋은 편이고, 낮은 절삭속도에서 구성인선(Built-up edge)을 형성하고 고속에서는 발생하지 않는다. 그리고 알루미늄 합금은 절삭속도 증가에 따라 절삭저항이 약간 감소하는 경향을 가지고 있다. 이로 인하여 가공속도는 빠르게 고정하였는데, 최대 주축 회전수가 20,000rpm이지만 가공기의 안정성을 고려하여 15,000rpm(절삭속도 471m/min)으로 가공하였다. 이송속도와 반경방향 절삭깊이는 변화를 주었고, 축방향 절삭깊이는 한 가지로 고정하였다. 엔드밀의 오버행(Overhang)을 30mm로 하였고, 오일미스트 분사각도는 45°로 하였다. 실험에 따른 가공조건은 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Cutting condition of aluminum alloys

Spindle speed(rpm)	15000
Feed rate(mm/min)	1200, 2400, 3600
Radial depth of cut(mm)	1.5, 3.0
Axial depth of cut(mm)	5.0
Consumption of oil mist(cc/h)	10
Pressure of oil mist(kgf/cm ²)	6~7

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가공환경 변화에 따른 공구상태 특성

알루미늄 합금을 가공함에 있어서, 건식가공과 기존의 절삭유제를 사용했을 때, 그리고 오일미스트를 사용하여 가공했을 시에 공구상태를 측정하였다. 알루미늄 합금은 가공성이 좋은 연질소재이므로 공구마멸은 크게 나타나지 않았다. 그러나 가공환경 변화에 따라 공구와 소재 사이의 응착 현상이 발생하여 가공품질에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 2는 알루미늄 합금을 반경방향 절삭깊이 3.0mm, 날당이송 0.06mm로 가공했을 때의 공구사진이다. 건식가공시에는 공구에 소재가 달라붙는 응착 현상이 발생하였는데, 반경방향 절삭깊이와 날당이송이 클수록 그 정도가 급격하게 증가되었다. 응착이 발생하게 되면 가공

중에 가공기를 멈추고, 그 달라붙은 것을 제거하여야 하기 때문에 가공시간이 늘어나게 된다. 또한 응착 현상에 의해 가공면이 불량하여 가공품질이 저하되는 원인이 되기도 한다. 절삭유제를 사용했을 때와 오일미스트를 사용하였을 때에는 응착 현상이 거의 발생하지 않았다. 이것은 절삭유제와 오일미스트의 분사로 인한 윤활효과와 칩배출 효과로 인한 것임을 알 수가 있다.

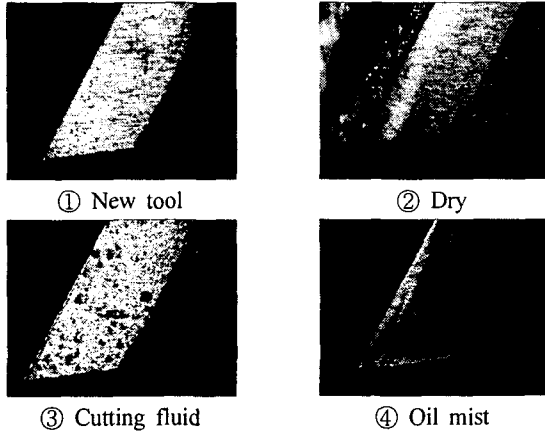


Fig. 2 Condition of tool after aluminum alloy machining

4.2 가공환경 변화에 따른 가공특성

기존의 절삭유제에 의한 습식방식과 건식방식, 그리고 환경친화형 가공인 오일미스트 가공방식의 가공특성을 비교하여 보았다. 축침식 조도측정기를 사용하여 중심선 평균거칠기(Ra)를 측정하였다. 반경방향 절삭깊이의 변화와 날당이송 변화에 따른 표면조도를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 3은 반경방향 절삭깊이를 1.5mm로 하였을 때의 표면조도를 보여주고 있다. 건식에서는 절삭유제와 오일미스트 분사시보다 표면조도가 좋지 않음을 볼 수가 있다. 절삭유제 또는 오일미스트를 사용했을 때에는 좋은 표면조도를 얻을 수 있었고, 오일미스트 분사시에 미세하지만 표면조도가 더 좋음을 볼 수 있다. 그리고 날당이송을 0.06mm로 증가시켰을 때 건식에서는 표면조도가 급격히 나빠짐을 보였다. 그러나 절삭유제와 오일미스트 사용시에는 표면거칠기 증가 추세가 완만하게 나타났다. 이것은 절삭유제와 오일미스트로

인한 윤활효과가 적정하게 일어났음을 보여준다.

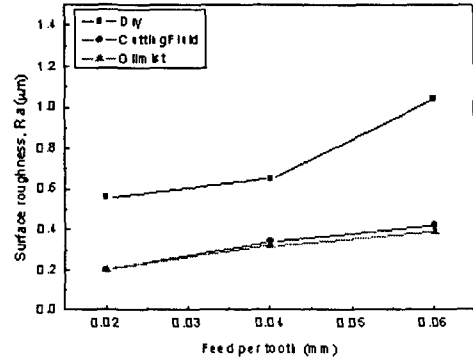


Fig. 3 Surface roughness according to feed per tooth (Radial depth of cut : 1.5mm)

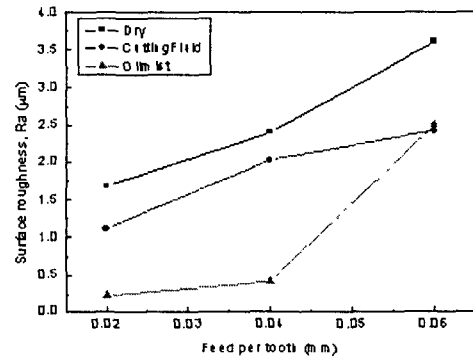


Fig. 4 Surface roughness according to feed per tooth (Radial depth of cut : 3.0mm)

Fig. 4는 반경방향 절삭깊이를 3.0mm로 크게 하였을 때의 표면조도를 측정된 것이다. 건식과 절삭유제 공급 방식을 사용한 경우는 반경방향 절입이 작을 때보다 표면조도가 많이 나빠졌으나 그 증가 추세는 완만하였다. 그러나 오일미스트 분사시 표면조도는 다른 가공환경에서보다 우수함을 보였다. 이것은 환경친화형 가공 방식인 오일미스트가 가공부위에 적절한 윤활효과를 하였음을 보여준다. 날당이송 0.04mm일 때까지의 표면조도는 반경방향 절입이 1.5mm일 때와 크게 차이 나지 않았으나 날당이송 0.06mm일 때에는 표면거칠기가 급격히 나빠져, 절삭유제를 사용하였을 경우보다도 약간 좋지 않았다. 이것은 과도한 가공조건으로 인하여 공구와 피삭재 사이에 충분한 윤활막이

형성되지 않은 것이 그 원인으로 보인다. 그러나 날당이송이 0.06mm일 때는, 표면조도가 전체적으로 나빠지기 때문에 표면조도가 좋은 범주내에 최적의 가공조건으로 가공하였을 때는 오일미스트 사용이 절삭유제 사용보다 고정도의 가공면을 얻을 수가 있었다.

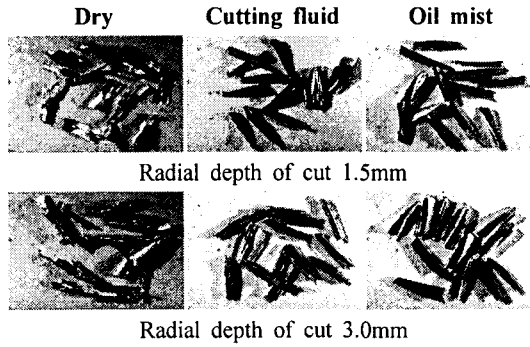


Fig. 5 Chip appearance of cutting environment variation (Feed per tooth : 0.04mm)

Fig. 5는 가공환경 변화에 따른 칩 사진이다. 건식가공에서의 칩의 형태는 그 표면이 거칠고 두께도 일정하지 않음을 볼 수 있었다. 그러나 절삭유제와 오일미스트를 사용했을 때에는 일정한 칩 두께와 매끈한 표면을 가지고 있는 좋은 형상의 칩이 배출되었다. 이것으로 인해 절삭유제 및 오일미스트를 사용했을 때, 상대적으로 가공물의 표면조도가 좋음을 알 수 있었다.

5. 결론

가공환경 변화에 따른 알루미늄 합금 고속가공에 있어서 오일미스트를 사용한 환경친화적인 가공기술을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 알루미늄 합금 고속가공시 반경방향 절입이 작으면 오일미스트를 분사하여 가공할 때와, 절삭유제를 사용할 때에 표면조도의 차이가 크게 없지만 오일미스트가 더 좋은 효과를 보았다.
2. 반경방향 절삭깊이가 크고 날당이송이 클 때는 절삭유제가 조금 더 좋은 효과를 보았으나, 전반적으로 표면조도가 나빠지기 때문에 고정도 가

공면을 얻기 위한 가공조건에서는 오일미스트를 분사하였을 때가 절삭유제를 사용할 때보다 더 양호한 표면조도를 얻을 수 있었다.

3. 건식가공을 하였을 때는 공구에 소재가 달라붙어 가공성을 저하시키지만, 절삭유제와 오일미스트를 사용한 경우는 응착 현상이 발생하지 않아 표면조도 및 가공성을 증가시킬 수 있었다.

이상의 결과로부터, 수용성 절삭유제를 사용한 경우와 극소량의 식물성 오일을 사용한 경우에 제품 생산성과 경제성 등을 전반적으로 고려하면, 환경친화형 가공방법인 오일미스트를 적용했을 때, 작업장의 환경개선과 기존 절삭유제 및 처리비용을 절감하여 생산성 향상을 기할 수 있다.

후 기

본 연구는 2003년 산업자원부 중기거점 과제외 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 平中誠, 1999, "穴あけ加工の高効率と環境に優しいセミライ加工", 機械技術 第47巻 第6号.
- (2) 上原 正也, 1999, "최신 드라이 가공," 기계설계, 제 14권, 제12호, pp. 74-81.
- (3) Rahman, M, Senthil Kumar, A., 2001, "Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 42, pp. 539-547.
- (4) Balkrishna Rao and Yung C. Shin, 2001, "Analysis on high-speed face-milling of 7075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters", International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol. 41, pp. 1763-1781
- (5) Klocke, F., Eisenblatter, G., 1997, "Dry cutting," Keynotepaper, Annals of CIRP, Vol. 46, No. 2, pp. 519-526.
- (6) Mazurkiewicz, M., Kubala, Z. and Chow, J., 1989, "Metal machining with high-pressure water-jet cooling assistance a new possibility", J. Eng. Ind., Vol. 111, pp. 7-12.