

선삭가공에서 표면 거칠기에 미치는 냉각방법의 영향

김영덕[#]

Effect of Cooling Method on Surface Roughness in Turning

Yeong-Duck Kim[#]

(Received 4 April 2011; received in revised form 22 June 2011; accepted 24 June 2011)

ABSTRACT

CNC lathe machining has been widely used for parts machining of vehicles, aircraft, ships, electronics, etc. because cost savings for shortening processing time and increasing productivity are great. In this study, the purpose is to investigate the effect of cooling methods such as oil mist, water-soluble cutting oils on the workpiece surface roughness with the cutting speed, cutting depth, tool nose radius and feed rate of CNC lathe machine as a parameter in the cutting process of the aluminum alloy 2024 which is used a lot recently on aircraft parts. It is found that oil mist is coolant and water-soluble cooled by cutting the experimental conditions, cutting speed and cutting depth without effecting the surface roughness value was constant.

Key Words : Surface Roughness(표면 거칠기), Aluminum Alloy 2024(알루미늄 합금 2024), CNC lathe machine(CNC선반), Cutting Speed(절삭속도), Feed Rate(이송속도), Water-soluble Cutting oil(수용성 절삭유), Oil Mist(오일 미스트), Nose Radius(노오즈 반경)

1. 서론

우리나라의 항공기 산업은 그동안 각종 국제사업을 통하여 완제기 위주의 성장을 이루었고 기체조립 부문을 제외한 나머지 분야에서는 기술수준이 아주 낮은 편이다. 여기에는 군용 전투기 조립생산 이외에는 이렇다 할 생산 경험을 쌓을 기회가 없었다는 점과 항공기산업 관련 정책 역시 성과가 쉽게 가시화되는 기체조립 분야에 치우쳐 왔다는 점 등이 원인으로 작용했다고 할 수 있다. 그 결과 항공기 산업 본래의 첨단기술과 고부가가치의 특성을 갖는 소재 가공분야의 발전은 답보상태에 있으며 항공기 산업의 불균

형적인 발전은 심화되고 있다.

항공기 부품산업은 고부가가치산업으로 대량생산이 아니고 생산량이 제한되는 소량의 주문생산 규모 이면서 부품의 종류도 수십만 가지로 많기 때문에 기존 CNC선반의 X, Z축에 CNC밀링의 Z축을 C축으로 부착된 복합가공기로 생산되는 부품이 증가하고 있다. 그런데 이러한 부품은 고도의 신뢰성과 안정성이 요구되기 때문에 부품가공시에 고도의 정밀성이 요구된다.

Greenhow 등^[1-4]은 절삭가공에서 잔류응력과 표면 거칠기는 주축 회전속도가 높을수록, 절삭공구 날수의 이송속도가 작을수록 감소한다고 하였다. 또한, Shaw^[5]는 공구수명과 가공면의 표면 거칠기에 영향을 주는 절삭변수인 주축 회전속도와 이송속도의 최적조건을 제시하였다.

[#] 교신저자 : 한국폴리텍VI대학 달성캠퍼스 자동화시스템학과
E-mail : kimydo9@kopo.ac.kr

배 등^[6]은 알루미늄 합금 가공에 있어서 절삭유제 대신에 환경친화적인 오일 미스트를 사용한 결과 표면 거칠기는 절삭유제를 사용한 경우와 비슷하고, 건식가공에 비해서는 표면 거칠기가 양호하게 나타났다고 했는데, 건식가공의 경우에는 공구에 소재가 달라 붙어 가공을 저하시키지만, 절삭유제와 오일 미스트를 사용한 경우에는 용착현상이 발생하지 않아 표면 거칠기의 가공성을 향상시킬 수 있다고 했다.

절삭가공에 있어서 가공면의 거칠기에 관한 연구는 많지만, 아직까지 항공기 부품에 널리 사용되고 있는 알루미늄 합금의 공구냉각방법에 따른 표면 거칠기 특성에 대한 연구가 국내에서는 아직 미진한 상태이다.

본 연구에서는 최근 항공기 부품에 많이 사용되고 있는 알루미늄 합금 2024의 절삭가공에 있어서 CNC 선반의 주축 회전속도와 이송속도를 파라미터로 하여 가공물의 표면 거칠기에 미치는 수용성 절삭유와 환경친화적 측면과 절삭성 향상을 위해 개발된 오일 미스트 냉각방법에 따른 영향을 조사하는 것이 목적이다.

2. 실험장치 및 조건

2.1 실험장치

본 실험에서는 알루미늄 합금 2024의 CNC선반 절삭가공에서 냉각방법으로 수용성 절삭유 및 오일 미스트를 사용하여 절삭된 가공물의 표면 거칠기 및 표면을 고찰하였는데, 실험에 사용된 CNC선반은 국내D사에서 제작한 것으로 밀링기능이 장착이 되어 있어 기존 X, Z축 및 C축을 가공할 수 있다. 최대 주축 회전속도는 6,000rpm이고 X, Y축의 이송속도는 500mm/rev 이고 Z축의 이송속도는 4,800deg./min로 컨트롤러는 Fanuc 0i-TD를 사용하고 있다. CNC선반의 주요제원은 Table 1에 나타내고 있다.

절삭공구는 국내 T사에서 생산된 알루미늄용 단면 인서트로 노오즈 반경이 0.4mm(SCGT 120404 FL) 및 0.8mm(SCGT 120408FL)를 인서트 홀더(SSSCR/L2020K12)에 장착하여 절삭시험에 사용하였으며, 팁의 치수 및 형상을 Fig. 1, Table 2와 같다.

Table 1 The specification of CNC lathe machine

Item	Specification	
Type	Lynx220LM	
Max. spindle speed(rpm)	6,000	
Spindle bore diameter(mm)	90	
Max. cutting speed	X axis(mm/rev)	500
	Y axis(mm/rev)	500
	C axis(deg./min)	4,800
No. of tool station(st)	24	
Cutting axis	X, Z, C	
Controller	Fanuc 0i-TD	

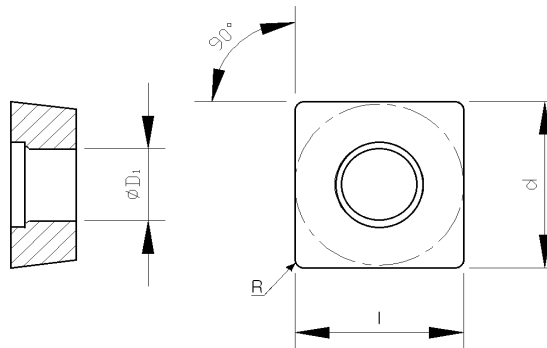


Fig. 1 CNC lathe machine insert tip

Table 2 Dimensions of insert tip

	l (mm)	d (mm)	t (mm)	R (mm)	ϕD_1 (mm)
SCGT 120404	12.3	12.7	4.76	0.4	5.5
SCGT 120408	11.9	12.7	4.76	0.8	5.5

본 실험에 사용된 알루미늄 합금 2024는 알루미늄 합금 2,000계열로 기계적 성질이 우수한 구조용 경량 소재로 높은 강도를 가지고 있어 항공기용 고강도 및 내식성 재료로 많이 사용되고 있다.

시험편의 크기는 $\phi 50\text{mm}$, 길이 110mm로 기계톱에서 절단한 후 CNC선반에서 재가공하여 사용하였다. 시험편의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 3, 4에 나타내고 있다.

절삭가공시 시험편과 공구냉각에 적용된 수용성 절삭유는 국내 K사의 알루미늄용 판매되는 것으로 본 연구에서는 물을 혼합하지 않은 100%의 원액을 사용하였고, 각각의 물성 값은 Table 5, 6에 나타내고 있다. 또한 오일 미스트 장치는 국내 중소기업에서 중대형 CNC선반 및 CNC밀링용으로 개발된 초미세립화 오일 미스트 장치를 사용하였으며, 장치의 주요제원은 Table 7에 나타내고 있다.

Table 3 Chemical composition of workpiece Al alloy 2024 (wt%)

Zn	Mg	Si	Cr	Cu	Al
0.25	1.8	0.5	0.1	4.9	remainder

Table 4 Mechanical properties of workpiece Al alloy 2024

Tensile strength(MPa)	563.33
Yield strength(MPa)	443.27
Elongation, break(%)	9.6

Table 5 Chemical composition of water-soluble cutting oil

Properties	CAS No.	Value(%)
Deionized water	7732-18-5	20 ~ 30
Mineral oil	64742-65-0	5 ~ 20
Carboxylic acid	142-22-0	5 ~ 15
Alkanolamine	693-23-2	20 ~ 30
Fatty amide	102-71-6	5 ~ 15
PEG oleate	68155-20-4	4 ~ 10

Table 6 Physical properties of water-soluble cutting oil

Test items	Test method	Value
Specific gravity @15/4℃	ASTM D1298	1.0002
Color	ASTM D1500	Bluish green
Surface tension(dyne/cm)	KS M 2525	35.4
Non-volatile content(%)	KS M 2525	53.6
Ph(3.3% solution)	KS M 0011	9.19
Foaming	KS M 2525	0.0
Corrosion	KS M 2525	Pass

Table 7 The specification of oil mist unit

Item	Specification
Type	WT-01
Supply air pressure(Max., Kgf/cm ²)	9.9
Oil load capacity(Max., L)	2
No. of mist point(No.)	2
Main body size(mm)	W160×D175×H346
Mist oil usage(cc/H)	20

2.2 실험방법

CNC선반의 절삭시 떨림이 발생하지 않게 유압척에 시험편을 견고하게 고정하고, 실험에 사용한 절삭공구와 동일한 공구를 사용하여 0.3mm 깊이로 선형 절삭가공을 실시한 후 실험의 절삭공구와 절삭조건으로 절삭실험을 실시하였다.

Table 8에는 절삭조건을 나타내고 있는데, 절삭속도는 100에서 250m/min까지 50m/min의 간격으로, 이송속도는 0.05에서 0.2mm/rev까지 0.05mm/rev의 간격으로, 절삭 깊이는 0.1에서 0.4mm까지 0.1mm의 간격으로, 절삭공구의 노오즈 반경을 0.4 및 0.8mm로 공구의 2가지 냉각방식에 따라 총 256조건의 절삭 실험을 데이터로 나타내어 고찰했다.

Fig. 2는 표면 거칠기 측정시스템을, Table 9에는 조도측정기의 주요제원을 나타내고 있다. 표면 거칠기의 정확한 측정을 하기 위해 수준기로 수평을 맞춘 후에 컷오프 값은 0.8mm로, 기준길이는 2.5mm로, 범위 값은 80 μ m로 설정하였으며 가공된 시험편을 알코올로 세척한 후 측정테이블 위에 올려놓고 절삭공구 이송방향으로 이송장치를 작동하여 측정하였다.

증폭기 및 기록기로부터 최대 높이(Ry), 10점 평균 거칠기(Rz), 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정한다. 그 중에서 중심선 평균 거칠기 값을 선정하여 3회 측정된 평균값을 데이터로 사용하였다.

절삭가공 후 가공 표면의 형상을 관찰하기 위해 광학현미경(Mitutoyo, TF-510F)에 부착된 CCD 카메라로 표면 형상을 컴퓨터의 측정프로그램(XT-Measure)에 의해 이미지로 저장하여 관찰하였다. 그리고 각 시험편의 표면 형상은 대물렌즈 10배율, 대안렌즈 10배율로 표면 거칠기를 측정된 중심 부분에 측정하여 관찰하였다.

Table 8 Cutting conditions

Cooling method	Oil mist, Water-soluble cutting oil
Cutting speed(m/min)	100, 150, 200, 250
Feed rate(mm/rev)	0.05, 0.1, 0.15, 0.2
Depth of cut(mm)	0.1, 0.2, 0.3, 0.4
Nose radius(mm)	0.4, 0.8
Work piece metal	Al alloy 2024

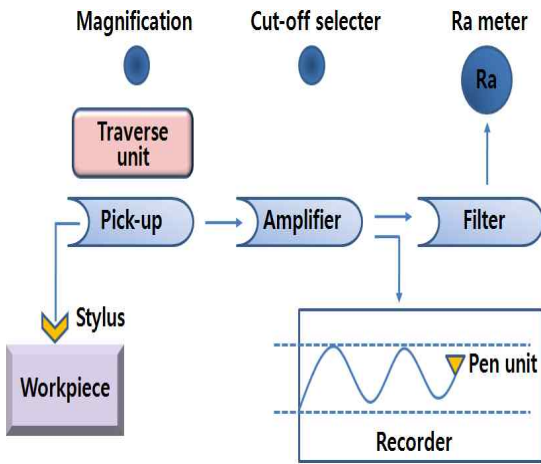


Fig. 2 Measuring system of surface roughness

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 표면 거칠기

Fig. 3 및 4에서는 절삭공구를 수용성 절삭유 및 오일 미스트에 의해 냉각시킬 경우에 대해 절삭 깊이 0.1mm부터 0.1mm간격으로 0.4mm까지 변화시켜 절삭속도에 따른 표면 거칠기를 나타내고 있다.

Fig. 3 및 4의 (a), (b), (c), (d)로부터 절삭속도가 100m/min에서 250m/min까지 증가할수록, 절삭 깊이가 0.1mm에서 0.4mm까지 증가할수록, 수용성 절삭유와 오일 미스트에 의해 냉각시켰을 때 표면 거칠기 값은 거의 동일한 일직선으로 변화가 없음을 알 수 있었다. 하지만 수용성 절삭유와 오일 미스트에 의해 냉각시켰을 때 공구의 노오즈 반경이 0.8mm보다

0.4mm일 때 표면 거칠기 값 약 2배정도 높은 것을 알 수 있었다. 이것은 이론적 표면 거칠기 값(ideal roughness)^[6]과 동일한 것으로 동일한 이송속도와 절삭속도에서 절삭 공구의 노오즈 반경이 0.4mm에서 0.8mm로 2배 증가하게 되면 이론적 표면 거칠기 값도 약 2배로 증가하게 된다.

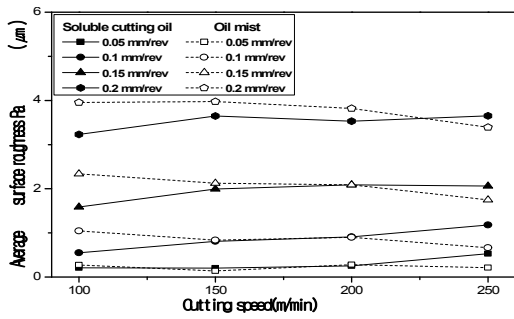
그림에서 이송속도가 0.05mm/rev에서 0.2mm/rev로 증가할수록, 수용성 절삭유와 오일 미스트에 의해 냉각시켰을 때 표면 거칠기 값은 약 2배로 증가하는 것을 보여주고 있는데 이것은 이송속도가 증가할수록 커스 높이(cusp height)가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 절삭 표면

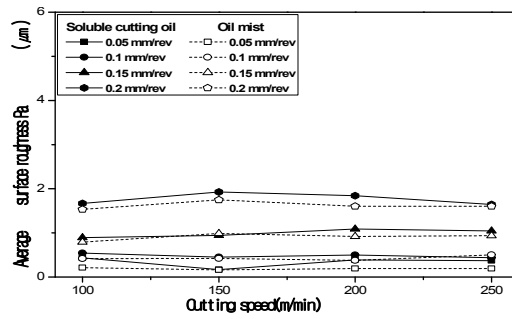
Fig. 5, 6, 7 및 8에서는 수용성 절삭유와 오일 미스트에 의해 냉각시켰을 때 절삭속도 중 대표적으로 100m/min, 절삭 깊이 0.2mm, 절삭공구 노오즈 반경 0.4mm 및 0.8mm, 이송속도 0.05, 0.1, 0.15 및 0.2mm/rev로 변화시켰을 때 절삭된 표면을 100배율로 확대된 것을 보여주고 있다.

그림에서 검정색 부분은 표면 거칠기 골 부분을 나타내고 있으며, 흰색 부분은 표면 거칠기 봉우리 및 산 부분을 보여주고 있다. 이송속도가 0.05mm/rev에서 0.2mm/rev로 증가할수록 산과 골부분의 폭이 넓어지는 것을 보여주는데, 이것은 표면 거칠기 고찰에서 기술한 것과 이송속도가 증가하게 되면 1회전에 대해 공구 이송속도가 증가하여 커스 높이가 증가하기 때문이다.

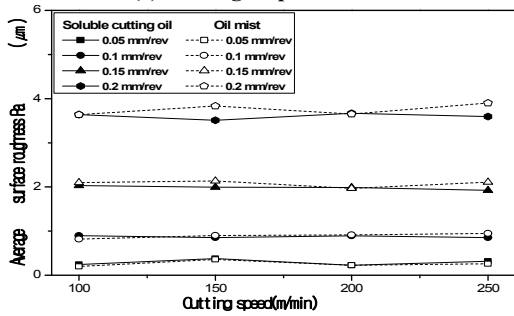
Fig. 6에서는 오일 미스트에 의해 냉각한 경우 절삭속도 100m/min, 절삭 깊이 0.2mm, 절삭 공구의 노오즈 반경이 0.4mm일 때 이송속도가 0.05, 0.1, 0.15 및 0.2mm/rev로 변화시켰을 경우 절삭된 표면을 나타낸 것으로 절삭과정 중 칩이 인서트 바이트에 고착되어 순간적으로 과절삭(over cutting)되거나, 시험편에 용착되어 발생한 현상으로 이와 같은 현상은 본 논문의 그림 내에 화살표 모양으로 하나씩만 도시하였고, 절삭속도 100에서 150m/min로 증가할수록, 절삭 깊이가 0.1에서 0.4mm로 증가할수록, 이송속도 0.05에서 0.2mm/rev로 증가할수록 용착수량이 증가하는 것을 알 수 있었다.



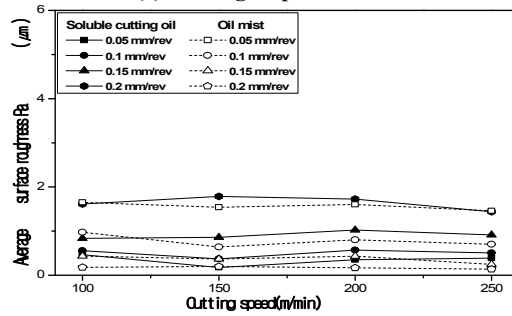
(a) Cutting depth 0.1mm



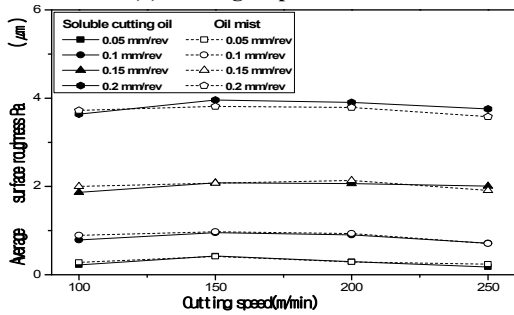
(a) Cutting depth 0.1mm



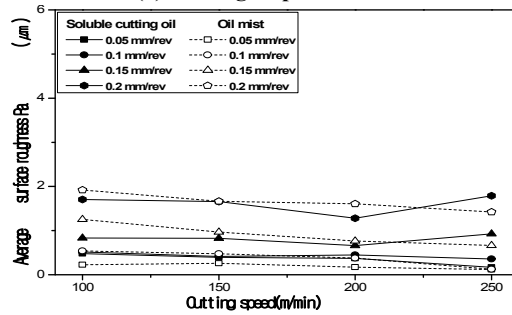
(b) Cutting depth 0.2mm



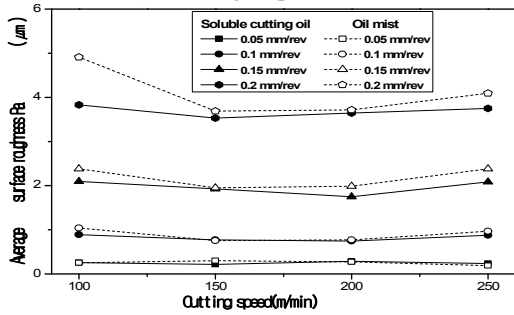
(b) Cutting depth 0.2mm



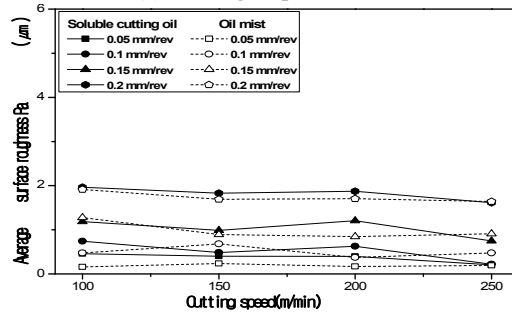
(c) Cutting depth 0.3mm



(c) Cutting depth 0.3mm



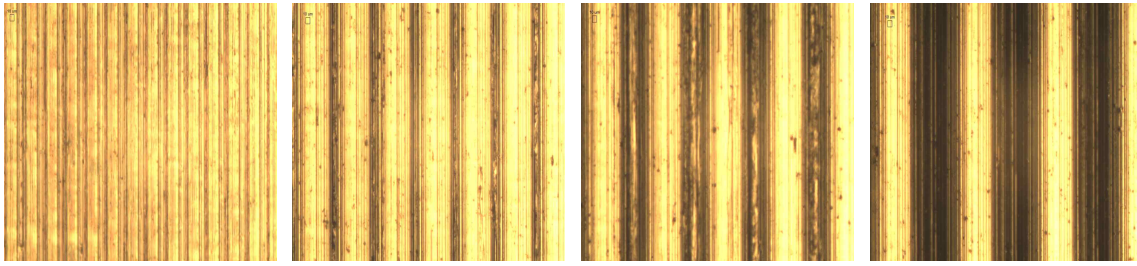
(d) Cutting depth 0.4mm



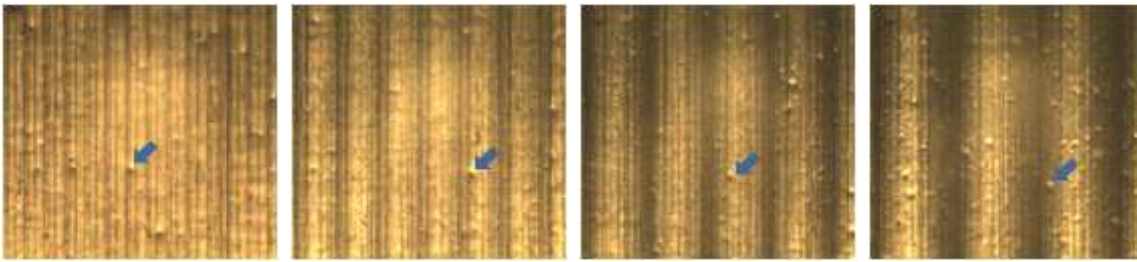
(d) Cutting depth 0.4mm

Fig. 3 Effect of cutting speed on average roughness as a parameter of cooling method at the cutting depth (nose radius = 0.4mm)

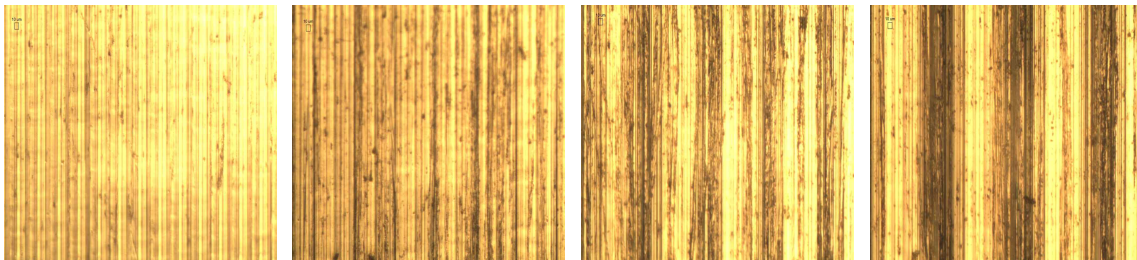
Fig. 4 Effect of cutting speed on average roughness as a parameter of cooling method at the cutting depth (nose radius = 0.8mm)



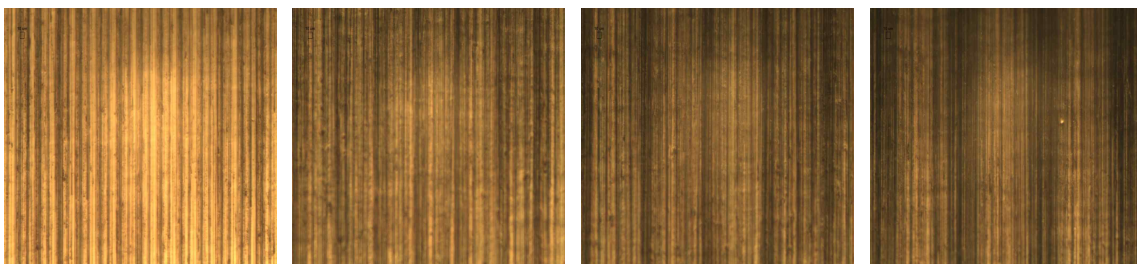
(a) Feed rate 0.05mm/rev (b) Feed rate 0.1mm/rev (c) Feed rate 0.15mm/rev (d) Feed rate 0.2mm/rev
Fig. 5 Optical micrographs surface : Cutting speed 100 m/min, depth of cut 0.2mm and nose radius 0.4mm in soluble cutting oil(x100)



(a) Feed rate 0.05mm/rev (b) Feed rate 0.1mm/rev (c) Feed rate 0.15mm/rev (d) Feed rate 0.2mm/rev
Fig. 6 Optical micrographs surface : Cutting speed 100m/min, depth of cut 0.2mm and nose radius 0.4mm in oil mist(x100)



(a) Feed rate 0.05mm/rev (b) Feed rate 0.1mm/rev (c) Feed rate 0.15mm/rev (d) Feed rate 0.2mm/rev
Fig. 7 Optical micrographs surface : Cutting speed 100m/min, depth of cut 0.2mm and nose radius 0.8mm in soluble cutting oil(x100)



(a) Feed rate 0.05mm/rev (b) Feed rate 0.1mm/rev (c) Feed rate 0.15mm/rev (d) Feed rate 0.2mm/rev
Fig. 8 Optical micrographs surface : Cutting speed 100 m/min, depth of cut 0.2mm and nose radius 0.8 mm in oil mist(x100)

결 론

본 연구에서는 알루미늄 합금 2024를 수용성 절삭유와 오일 미스트에 의해 냉각시켰을 절삭속도를 100, 150, 200 및 250m/min로, 절삭 깊이를 0.1, 0.2, 0.3 및 0.4mm로, 노오즈 반경이 0.4mm 및 0.8mm로 변화시켜 표면 거칠기 값 및 표면을 측정하고 비교하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

1. 수용성 절삭유와 오일 미스트 절삭에 의해 냉각한 경우 실험 조건의 절삭속도와 절삭 깊이에 영향을 받지 않고 표면 거칠기 값이 일정하게 나타났다.
2. 수용성 절삭유와 오일 미스트 절삭에 의해 냉각한 경우 절삭 공구의 노오즈 반경이 0.8mm보다 0.4mm일 때 표면 거칠기 값은 약 2배정도 높게 나타났다.
3. 오일 미스트에 의해 냉각한 경우 절삭속도 100에서 150m/min로 증가할수록, 절삭 깊이 0.1에서 0.4mm로 증가할수록, 이송속도 0.05에서 0.2mm/rev로 증가할수록 용착 크기는 작아지고, 수량은 증가하였다.

참고문헌

1. J. N. Greenhow, C. Rubenstein, "The Dependence of Cutting Force on Feed and Speed in Orthogonal Cutting with Worn Tools", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 9, pp. 1-16, 1969.
2. V. Solaja, "Wear of Carbide tools and Surface Finish Generated Finish Turning of Steel", Wear Vol. 2, pp. 40-58, 1958.
3. K. V. Olson, "Surface Roughness on Turned steel Component and the Relevant Mathematical Analysis", prod Ergr47, pp. 595-606, 1968
4. V. Solasa, "Wear of Carbide TODIS and Surface Finish Turning of steel", Wear2, pp. 40-58, 1958
5. M. C. Shaw "Optimum Selection of Machine Tool: Speed and Feeds", Int. J. Mech. Des. Res. Vol. 5, pp. 25-34, 1965.
6. G. H. Moon, "A Study on the Turning Characteristics of High Speed Steel by TiN Coated Tool", Jinju National University Graduate School of Industrial Papers, pp. 7-13, 2004.