

CNC선반 C축 밀링 원호가공에서 절삭조건이 표면 거칠기에 미치는 영향

신국식[#]

(# 한국폴리텍대학 진주캠퍼스)

Effect of Surface Roughness on Cutting Conditions in CNC lathe C-Axis Milling Arc Cutting

Kuk-sik Shin[#]

(Received 15 July 2014; received in revised form 20 August 2014; accepted 25 August 2014)

ABSTRACT

The domestic airline industry undertakes the production of finished products by assembling existing self-described components via a design process which involves assembly and production steps, after which many of the finished products are exported. However, high reliability and stability must be guaranteed, because customers require high-precision components at the time of manufacturing. In the aircraft parts industry, the mass production of high-value-added parts is limited. Therefore, a small production scale depending on the part is used, as many types of conventional CNC lathe machines with X-axis and Z-axis as well as Z-axis and C-axis CNC milling are used. The parts also rely on high-pressure air to increase production. The most important factors are good stability during processing, as high-precision parts are required, as noted above. It was found that as the C-axis rotation speed increased, the diameter of the cutting tool decreased with a decrease in the surface roughness, while the workpiece rotation speed increased with an increase in the surface roughness.

Key Words : CNC Lathe Machine(CNC 선반), C-axis Milling(C축 밀링), Aluminum Alloy 7075(알루미늄 합금 7075), Workpiece Rotation Speed(시험편 회전속도), Turn-mill Spindle Speed(이송 회전 속도), Surface Roughness(표면 거칠기)

1. 서 론

국내 항공 산업은 기존 조립에 의한 완제품 생산에서 자체 설계, 부품가공, 조립 등을 통해 완제품을 생산하여 수출하고 있다. 특히 항공기산업의 메카인 경상남도 사천지역을 중심으로 항공기 100여개의 부품 가공 및 조립회사가 호황을 누리

고 있다. 하지만 항공기 부품의 대부분에 다품종 소량생산방식으로 이루어지기 때문에 고속가공기, 머시닝센터 및 다기능 공작기계로 부품을 절삭가공하고 있다.

항공기 부품산업은 기술집약적인 고부가가치산업으로 대량생산이 아니고 생산량이 제한되는 소량의 주문생산 규모이면서 부품의 종류도 수십만 가지로 많기 때문에 기존 CNC선반의 X, Z축에 C을 부가한 복합가공기로 생산되는 부품이 급속도로 증가하고 있다. 그리고 이러한 부품은 고도의

[#] Corresponding Author :

Department of Computer Applied Mechanical, Jinju Campus of
Korea Polytechnic college

E-mail : ksshin@kopo.ac.kr

신뢰성과 안정성이 요구되기 때문에 부품가공 시에 고도의 정밀성이 요구된다.^[1] 또한, 항공기 부품에 사용되는 재료들은 비중이 낮으면서 인성이 높은 재료들을 많이 사용하고 있으며 안전성을 위해 내부 잔류응력을 최대한 적게 하기 위해 프레스 및 금형에 의한 생산이 아닌 절삭가공을 통해 생산하고 있다.

Greenhow 등^[2-5]은 절삭가공에서 잔류응력과 표면 거칠기는 주축 회전속도가 높을수록, 절삭공구 날당 이송속도가 작을수록 표면 거칠기가 감소한다고 하였다. 또한, Shaw^[6]와 Bae^[7]은 공구수명과 가공면의 표면 거칠기에 영향을 주는 절삭변수인 주축 회전속도와 이송속도의 최적조건을 제시하였다.

절삭가공에 있어서 가공면의 거칠기에 관한 연구는 많지만 아직까지 항공기 부품에 널리 사용되고 있는 알루미늄 합금의 CNC선반 C축 밀링가공에서 얻어지는 표면 거칠기 특성에 대한 연구가 국내에서는 아직 미진한 상태이고 산업 현장에서는 시행착오에 의한 경험적 절삭조건으로 부품을 가공하고 있다.

본 연구는 최근 항공기 부품에 많이 사용되고 있는 알루미늄 합금 7075의 절삭가공에 있어서 CNC선반의 Turn mill 회전수와 시험편 회전속도를 파라미터로하여 원호가공이 가공물의 표면 거칠기에 미치는 공구직경의 영향을 조사하는 것이 목적이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서는 알루미늄 합금 7075-T6의 CNC선반 Turn mill 회전수, 절삭공구의 직경을 $\phi 6, 8, 10,$ 및 12 mm , 시험편 직경 50 mm 를 주축회전속도 $1.9, 2.16, 2.4$ 및 2.68 rev/min 로 절삭된 가공물의 표면 거칠기 및 형상을 고찰하였는데, 실험에 사용된 CNC선반은 국내 D사에서 제작한 것으로 C축에 밀링기능이 장착이 되어있어 기존 X, Z축 및 C축을 가공할 수 있다. Turn mill 최대 회전수는 $5,000 \text{ rpm}$ 으로 CNC선반을 제어하는 컨트롤러는 Fanuc 0i-TD를 사용하고 있다. CNC선반의 주요 제원은 Table 1에 나타내고 있다.

Table 1 The specification of CNC lathe machine

Item		Specification
Type		Lynx220LM
Spindle bore diameter (mm)		90
Travel distance	X axis (mm)	175
	Z axis (mm)	330
	C axis (deg.)	360
Max. spindle speed	X axis (rpm)	6,000
	Turn mil (rpm)	5,000
Max. feed rate	X axis (m/min)	30
	Z axis (m/min)	36
No. of tool station (st)		24
Cutting axis		X, Z, C
Controller		Fanuc 0i-TD

Table 2 Specifications of endmill

No. of teeth	2
Length type	Short
Shank type	Flat
Diameter (mm)	6, 8, 10, 12
Specification (mm : $D_1 \times D_2 \times L_1 \times L_2$)	$\phi 6 \times \phi 6 \times 20 \times 70,$ $\phi 8 \times \phi 8 \times 20 \times 70,$ $\phi 10 \times \phi 10 \times 23 \times 75,$ $\phi 12 \times \phi 12 \times 26 \times 83$
Material	HSS-Co(M42)

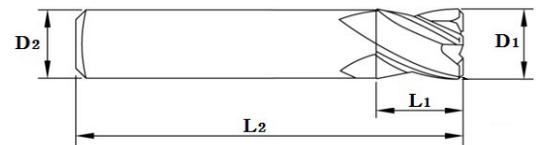


Fig. 1 Shape of endmill

본 실험에 사용된 알루미늄 합금 7075-T6은 알

툴러는 Fanuc 0i-TD를 사용하고 있다. CNC선반의 주요 제원은 Table 1에 나타내고 있다. 절삭시험에 사용된 공구는 알루미늄용 2날 평면 엔드밀로 국내 Y사에서 제작된 것을 사용하였으며 실험에 사용된 엔드밀의 형상과 제원은 Table 2와 Fig. 1에 보여주고 있다.

본 실험에 사용된 알루미늄 합금 7075-T6은 알

Table 3 Chemical composition of aluminum alloy 7075-T6 (wt%)

Zn	Cu	Mg	Fe	Si	Cr	Mn	Ti	Al
6.1	2.0	0.8	0.5	0.4	0.35	0.2	0.2	balance

Table 4 Mechanical properties of aluminum alloy 7075-T6

Tensile strength, Ultimate (MPa)	570
Tensile strength, Yield (MPa)	505
Elongation, Break (%)	9
Elasticity modulus (GPa)	7.2
Shear strength (N/mm ²)	151.9

Table 5 Chemical composition of soluble cutting water

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 soluble cutting water

Test items	Test method	Value
Specific gravity @15/4°C	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

루미늄 합금 7000계열로 기계적 성질이 대단히 우수한 구조용 경량소재로 기존 항공기 주재료인 2000계열보다 매우 높은 강도를 가지고 있으며, 현재 알루미늄 합금 중 최고의 강도를 유지하고 있어 항공기용 고강도 및 내식성 재료로 널리 사

용되고 있다

시험편의 크기는 ϕ 52 mm, 길이 110 mm로 기계톱에서 절단한 후 시험편의 직경을 동일하게 하기 위해 CNC선반 C축 밀링에서 ϕ 50 mm로 가공하여 사용하였다. 시험편의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 3, 4에 나타내고 있다.

절삭가공시 시험편과 공구냉각에 사용한 수용성 절삭유는 국내 K사의 알루미늄 및 비철합금재료용으로 본 연구에서는 원액과 물의 비율을 1 : 10으로 희석하여 사용하였고, 각각의 물성 값은 Table 5, 6에 나타내고 있다.

2.2 실험방법

Fig. 2는 CNC선반의 C축과 밀링으로 시험편 절삭을 나타낸 것으로 ϕ 50 mm 시험편을 유압척에 견고하게 고정하여 실험의 조건에 의해 절삭시험을 실시하였다.

Table 7에는 절삭조건을 나타내고 있는데, Turn mill 회전수를 2,000에서 3,800 rpm까지 200 rpm 간격으로, 절삭공구 직경을 6에서 12 mm까지 2 mm간격으로, 절삭속도를 나타내는 시험편 회전속도는 1.91, 2.16, 2.4 및 2.68 rev/min에서 절삭 깊이는 1 mm로 4가지 절삭공구에 따라 총 128조건 의 절삭실험을 데이터로 나타내어 고찰했다.

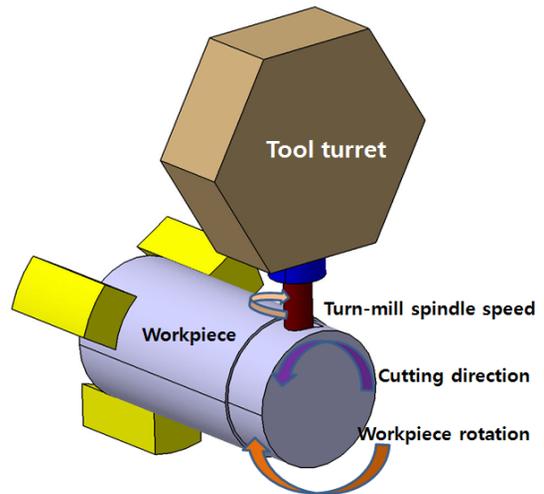


Fig. 2 Cutting process of workpiece by CNC lathe C-axis and milling

Table 7 Cutting conditions

Cooling method	Soluble cutting oil
Turn mill spindle speed (rpm)	2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800
Piece rotation speed (rev/min)	1.9, 2.16, 2.4, 2.68
Endmill diameter (mm)	6, 8, 10, 12
Workpiece diameter (mm)	50
Depth of cut (mm)	1
Cutting load (%)	100

Table 8 Specification of surface roughness measuring instrument

Item	Specification
Model	Mitutoyo SURF-TEST SV-414
Limit indication (μm , Ry)	600
Cut-off value (mm)	0.08 ~ 8
Basic range (mm)	0.25 ~ 8
Stylus force (N)	0.00392
Driving speed (mm/s)	0.02 ~ 1.2
Tip radius (μm)	5

Table 8은 조도측정기의 주요제원을 나타내고 있다. Fig. 3은 표면 거칠기의 정확한 측정을 위해 수준기로 수평을 맞춘 후에 절삭공구 진행방향의 직각 방향으로 측정하는 과정을 나타내고 있다. 측정기의 컷오프 값은 0.8 mm로, 기준길이는 컷오프 값의 5배인 4 mm로, 범위 값은 25 μm 로 설정하였으며 가공된 시험편을 알코올로 세척한 후 측정테이블 위에 올려놓고 절삭방향으로 이송장치를 작동하여 측정하였다.

증폭기 및 기록기로부터 최대높이(Ry), 10점 평균 거칠기(Rz), 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정한다. 그 중에서 중심선 평균 거칠기 값을 선정하

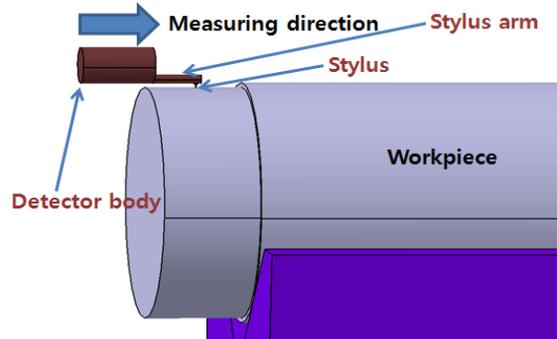


Fig. 3 Surface roughness measuring of workpiece

Table 9 The specifications of optical microscope

Items	Specification
Model	Mitutoyo TF-510F
Digital X, Y counter resolution (mm)	0.001, 0.005
Measuring accuracy (μm , @20°C)	3 + 0.02L (L = measuring length: mm)
Eyepiece magnification	$\times 10, \times 15, \times 20$
Objective lens magnification	$\times 1, \times 3, \times 5, \times 10, \times 20, \times 50, \times 100$
Resolution of magnification (μm)	9.2($\times 1$), 3.9($\times 3$), 2.5($\times 5$), 1.5($\times 10$), 0.7($\times 20$), 0.5($\times 50$), 0.7($\times 100$)

여 3회 측정된 평균값을 데이터로 사용하였다.

Table 9에는 광학현미경의 주요제원을 나타내고 있다. 절삭가공 후 시험편 가공 표면의 형상을 관찰하기 위해 광학현미경에 부착된 CCD 카메라로 표면 형상을 컴퓨터의 측정프로그램(XT-Measure)에 의해 이미지로 저장하여 관찰하였다.

그리고 각 시험편의 표면 형상은 대물렌즈 10배율 총 100배율로 측정하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면 거칠기

Fig. 4는 절삭공구를 ϕ 6, 8, 10 및 12 mm로 절삭시 Turn mill 회전수 2,000 rpm에서 3,800

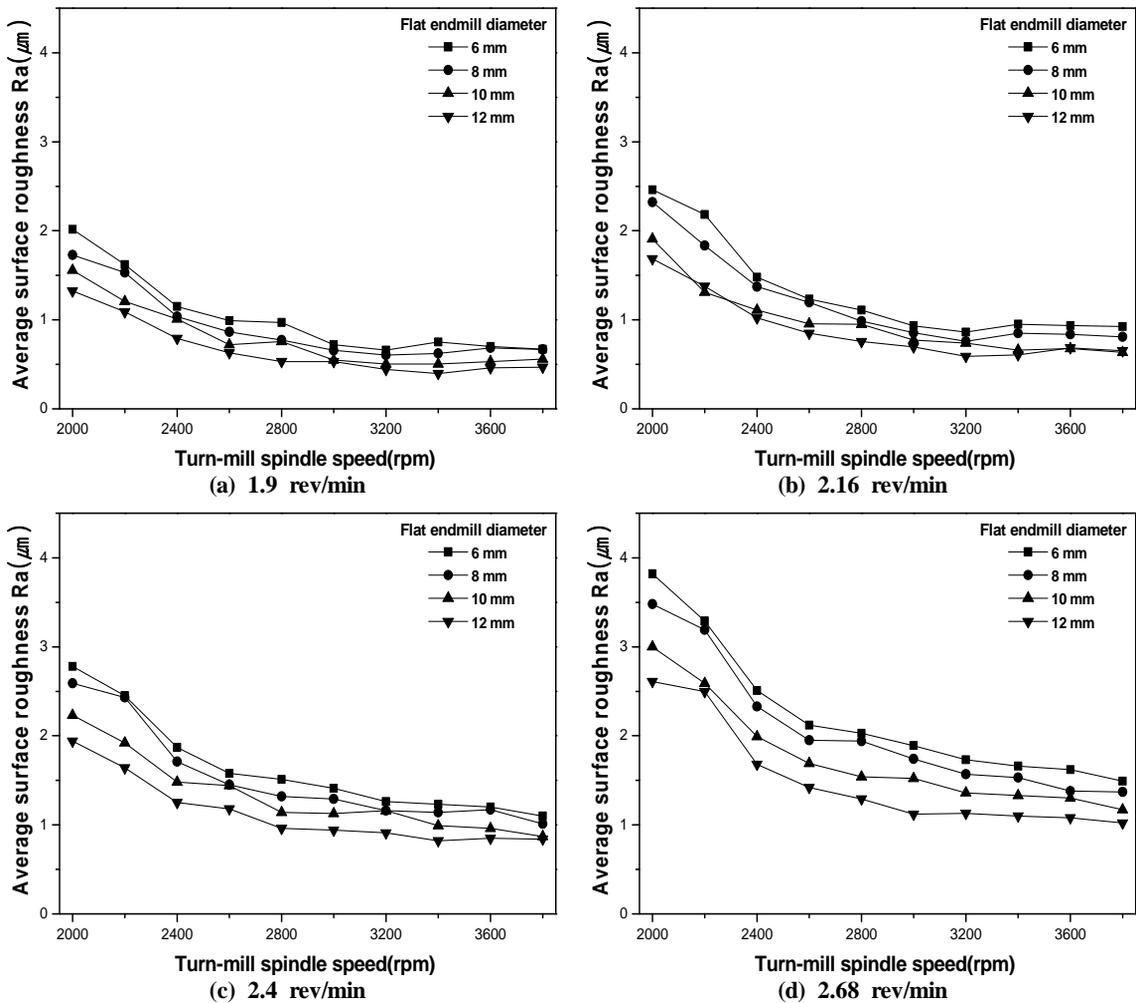


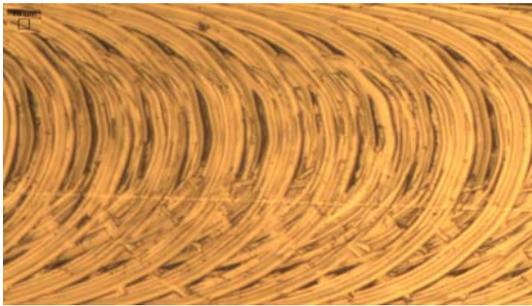
Fig. 4 Effect of turn-mill spindle speed on average surface roughness as a parameter of flat endmill diameter at workpiece rotation speed

rpm까지 200 rpm 간격으로 변화시키고, 시험편 회전속도를 1.9 rev/min, 2.16 rev/min, 2.4 rev/min 및 2.68 rev/min로 회전시켰을 때 중심선 표면 거칠기를 나타내고 있다. 즉 C축인 Turn mill은 회전하고 X, Z축은 고정되면서 시험편이 회전하기 때문에 가공표면은 원호 가공이 이루어진다.

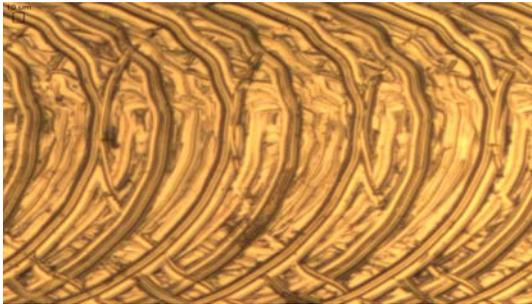
그림으로부터 Turn mill C축 회전수와 절삭공구의 지름이 증가할수록 중심선 표면 거칠기는 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 회전수와 절삭공구

의 지름이 증가하게 되면 절삭력이 증가하기 때문으로 판단된다. 그리고 시험편의 회전수가 증가하게 되면 표면 거칠기가 증가하는 것을 보여주고 있는데, 이것은 본 저자의 이전 연구논문^[1]과 동일한 것으로 시험편의 절삭량이 증가하게 되면 절삭효율의 저하되기 때문이다.

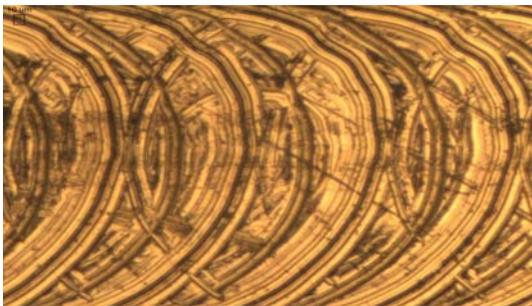
Fig. 4에서 시험편회전속도 1.9 rev/min에서 2.4 rev/min까지의 범위에서 Turn mill 회전속도 3,200 rpm이후에서는 표면 거칠기의 변화가 거의 일정



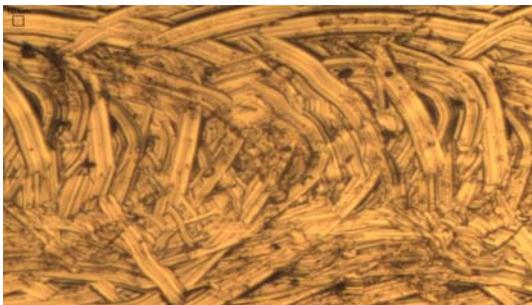
(a) Workpiece rotation speed 1.9 rev/min



(b) Workpiece rotation speed 2.16 rev/min



(c) Workpiece rotation speed 2.4 rev/min



(d) Workpiece rotation speed 2.68 rev/min

Fig. 5 Optical micrographs surface : Turn-mill spindle speed 3,000 rpm, flat endmill diameter 10 mm in aluminum alloy 7075(x100)

하게 변화가 미미한 것을 보여주고 있는데, 이것은 이론상으로는 3,200 rpm 이상에서는 표면 거칠기가 낮아져야 되지만, 실험에서는 평면엔드밀의 취약점 중에 하나인 칩 배출이 원활하지 못하기 때문에 판단된다. 이 문제를 개선하기 위해서는 압축공기와 수용성절삭유를 동시에 공급한다면 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 표면 형상 특성

Fig. 5에서는 Turn mill 회전속도 3,000 rpm, 절삭공구 지름 10 mm에서 시험편 회전속도 1.9 rev/min, 2.16 rev/min, 2.4 rev/min 및 2.68 rev/min의 절삭 후 시험편 표면을 광학현미경 100 배율로 확대한 것으로 검은색부분은 표면 거칠기 곡선의 골 부분을 나타내고 흰색부분은 산봉우리 부분을 나타내고 있다.

그림에서 시험편 회전속도 1.9 rev/min, 2.16 rev/min 및 2.4 rev/min에서는 정상적인 절삭이 이루어져 표면이 절삭공구 회전방향과 동일한 모양을 형성하는 반면 시험편 회전속도 2.68 rev/min에서는 표면 거칠기 특성에서의 고찰과 동일하게 칩의 배출이 원활하지 못해 칩에 의한 2차 절삭이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 그림에서 시험편 회전속도가 1.9 rev/min에서 2.4 rev/min으로 증가할수록 원호모양의 패턴의 간격이 길어지는 것을 보여주고 있는데 이것은 시험편 회전속도가 증가하기 때문에 절삭속도가 증가한 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 합금 7075-T6의 원호 절삭가공에서 절삭공구를 ϕ 6, 8, 10 및 12 mm로, Turn mill 회전수 2,000 rpm에서 3,800 rpm까지 200 rpm 간격으로, 시험편 회전속도를 1.9 rev/min, 2.16 rev/min, 2.4 rev/min 및 2.68 rev/min로 회전시켰을 때 표면 거칠기와 표면 형상을 측정하고 비교하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

- 1) 본 연구의 Turn mill C축 회전수와 절삭공구

의 지름이 증가할수록 중심선 표면 거칠기는 감소하여 표면이 좋아졌다.

2) 본 연구의 시험편의 회전수가 증가하게 되면 절삭저항이 증가하여 중심선 표면 거칠기가 증가하여 표면이 나빠졌다.

3) 본 연구에서는 시험편회전속도 1.9 rev/min에서 2.4 rev/min까지의 범위에서 Turn mill 회전수 3,200 rpm이후에서는 표면 거칠기의 변화가 거의 일정하여 3200rpm이 이상적인 Turn mill 회전수로 나타났다.

4) 본 연구의 시험편 회전속도 1.9 rev/min, 2.16 rev/min 및 2.4 rev/min에서는 정상적인 절삭이 이루어져 표면이 절삭공구 회전방향과 동일한 모양을 형성하는 반면 시험편 회전속도 2.68 rev/min에서는 칩이 원활하기 배출되지 못했다.

High Speed Machining Characteristics of Aluminum Alloys (AC4C.1)", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 3, No. 1, pp. 22 ~ 27, 2004.

REFERENCES

1. K. S. Shin, "Effect of Cutting Conditions on Surface Roughness in CNC Lathe C-axis Milling Cutting", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 115 ~ 115, 2012.
2. 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.
3. V. Solaja, "Wear of Carbide tools and Surface Finish Generated Finish Turning of Steel", Wear Vol. 2, pp. 40 ~ 58, 1958.
4. K. V. Olson, "Surface Roughness on Turned steel Component and the Relevant Mathematical Analysis", prod Ergr47, pp. 595 ~ 606, 1968
5. V. Solasa, "Wear of Carbide TODIS and Surface Finish Turning of steel", Wear2, pp. 40 ~ 58, 1958
6. M. C. Shaw "Optimum Selection of Machine Tool: Speed and Feeds", Int. J. Mech. Des. Res. Vol. 5, pp. 25 ~ 34, 1965.
7. J. C. Bae, I. O. Hwang, I. S. Kang, J. S. Kim and M. C. Kang, "Environmentally Conscious