

생산효율을 고려한 상자형모터 회전자의 유효절삭조건에 관한 연구(I)

A Study on the Effective Cutting Conditions of Cage Motor Rotor Considering Production Rate (I)

김희남*·박태문**·하상용***·이주상***·김순채***
 H. N. Kim·T. M. Park·S. Y. Ha·J. S. Lee·S. C. Kim

ABSTRACT

The recent development of NC lathe and machining center have enabled automatic or unmanned manufacturing system for the improvement of production rate. And if you want to introduce automatic or unmanned manufacturing system into the cutting process of cage motor rotor, the selections of effective cutting conditions, rational tool grades and tool angles are necessary.

As a result, the selection of cutting conditions, tool grades and tool angles are important factors to production rate.

1. 서 론

최근 절삭가공기술은 눈부시게 발전하여 난삭재를 제외한 일반재료의 절삭은 자동화 및 무인화가 이루어지고 있는 추세이나, 이것에 비하여 난삭재 가공은 공구손상이 우발적으로 발생하기 때문에 공구수명을 예측하기 어렵다.

NC선반이나 머시닝센터 또는 FMS라 하는 자동생산시스템에서 이런 공구손상이 발생하면 자동화, 무인화뿐만 아니라 생산시스템의 효율적인 운

용도 힘들게 된다. 따라서 난삭재 절삭시 자동화, 무인화를 이루기 위해서는 난삭재 가공을 위한 적절한 공구재종의 개발이나 공구설계, 그리고 합리적인 절삭조건을 정하는 것이 필수적이다.

지금까지 절삭현상에 대한 실험은 이론적 연구와 더불어 고속도강공구, 초경공구로 비교적 가공하기 쉬운 피삭재로 주로 행하여 졌으며, 공구의 형상¹⁾, 공구의 수명^{2,3)}, 공구의 파손과 마모^{4,5)}, 가공면의 표면거칠기^{6,7)}, 절삭력^{8,9)}, 칩형상과 칩처리^{10,11)} 등 공구와 피삭재 및 칩에 관한 연구를 하

* 명지대학교 기계공학과

** 주식회사 성신 생산기술부

*** 명지대학교 대학원 기계공학과

였다. 그리고 Masuda¹²⁾, Enomoto¹³⁾ 등이 난삭재에 대한 공구수명과 절삭특성에 관하여 실험하였다. 또한 1960년대에 이르러 가공면의 표면품질가 재료강도에 영향을 미치는 것이 판명되었고, 이에 따라 가공면의 품질에 관한 인식이 높아지면서 연구¹⁴⁾의 대상이 되었다.

본 연구에서 사용한 재료는 적층시킨 규소강판에 알루미늄을 die casting하여 만든 상자형모터회전자(cage motor rotor)로써 절삭가공시 공구수명이 불안정하며, 또한 상자형모터회전자에 관한 절삭성이 정확히 알려지지 않아 난삭재로 볼 수 있

다. 따라서 소형모터 제조공장에서 많이 사용되고 있는 상자형모터회전자 가공을 위하여 국산 insert tip으로 절삭조건, 공구재종을 변화시킨 후 그에 대한 절삭성을 규명하여 유효절삭조건의 설정과 공구재종을 선택하는데 그 목적이 있다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

상자형모터회전자의 전용공작기계인 bench

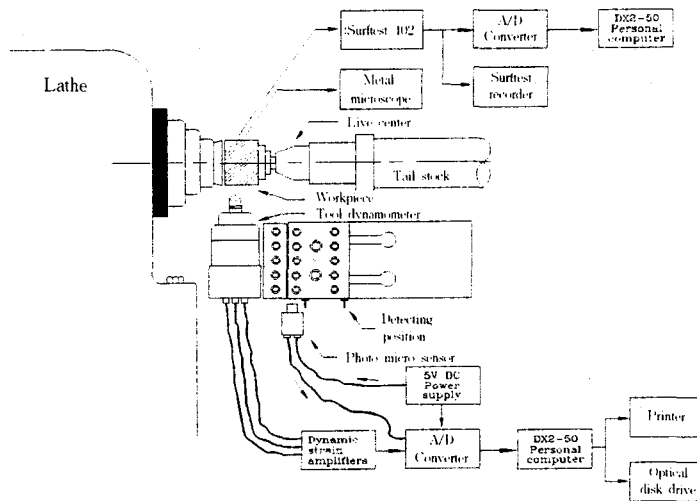


Fig. 1 Measurement system of cutting force along the cutting time

lathe(Donghuyp Co.)로써 가공하였다.

측정계는 기본적으로 공구동력계, dynamic strain amplifier, A/D convert, 80486 DX2 personal computer로 이루어져 있으며, 최종 가공후 가공물의 표면거칠기를 측정할 수 있는 surface roughness tester기, 그리고 공구수명의 판정기준이 되는 flank wear 및 금속표면을 관찰하여 촬영할 수 있는 금속현미경으로 구성되어 있다.

또한 이송속도를 측정하기 위하여 공구대에 광전센서를 부착하였으며, 컴퓨터나 A/D 변환기는 데이터를 받아 분석처리하기 위해서 필수적이다. Fig. 1은 본 실험장치 및 측정계의 전체적인 개요도를 나타낸 것이다. Photo. 1은 본 실험에 사용된

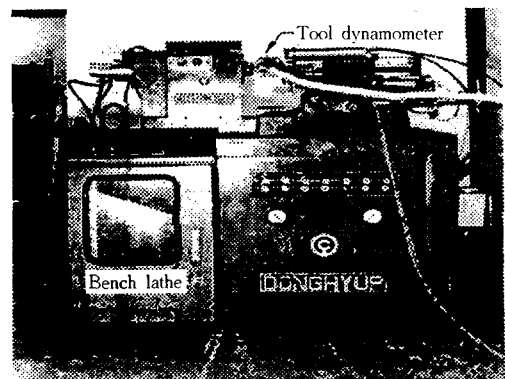


Photo. 1 Layout of the experimental system

실험장치의 사진이다.

2.2 시편 및 공구

2.2.1 시편

본 연구에서는 규소강관을 적층시킨 후 알루미늄을 die casting하여 만든 상자형모터회전자를 사용하였으며, 그 형상과 치수는 Fig. 2와 같으며, 피삭재의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 같다.

2.2.2 절삭공구 및 insert tip

절삭공구는 초경합금인 국내 D사의 SNGG 120408R KTP20과 국내 H사의 SNGG 120408R G10E insert tip을 사용하였다.

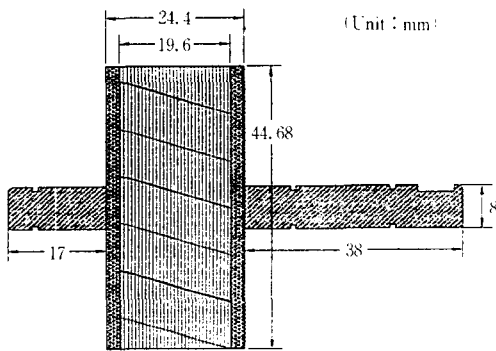


Fig. 2 Dimensions of specimen

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of test materials(S-60)

Chemical composition %				Mechanical property (L/R direction)			
C	Mn	Si	P	Yield Point kg/cm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Hardness HV1
0.001	0.33	0.40	0.06	27/28	36.37	38.40	115

2.3 실험방법

상자형모터회전자의 전용공작기계인 bench lathe에 바이트와 회전자를 설치한 후 절삭속도, 이송속도, 절입깊이, 바이트 재종을 변화시킨다. 이에 따른 절삭력의 변화는 공구동력계를 통해 입수되고, 이 신호는 dynamic strain amplifier를 통해 증폭된다. Dynamic strain amplifier에서 증폭된 신

호는 A/D convert를 통해 PC로 입수되며, unkel-scope라는 software로써 절삭력을 측정 및 분석한다. 이렇게 가공중의 절삭력의 변화를 살펴봄으로써 절삭효율 및 절삭력과 표면거칠기와의 관계를 알아 볼 수 있다. 가공후 표면거칠기의 측정은 surface roughness tester인 surfest 402로써 측정한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭조건과 공구재종이 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 절삭조건의 변화에 따른 표면거칠기 및 절삭력을 측정하기 위하여 Table 2와 같은 절삭조건 및 공구재종을 선택하였다.

Table 2 Working condition

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Insert tip
192			G10E
236	0.05		
291	0.10	0.05	
347	0.15		
409			KTP20
	0.05		
291	0.05		
347	0.10	0.05	
409	0.15		
	0.20		
347	0.10	0.05	
409	0.15	0.10	
		0.15	
		0.20	

Table 3 Tool dimension

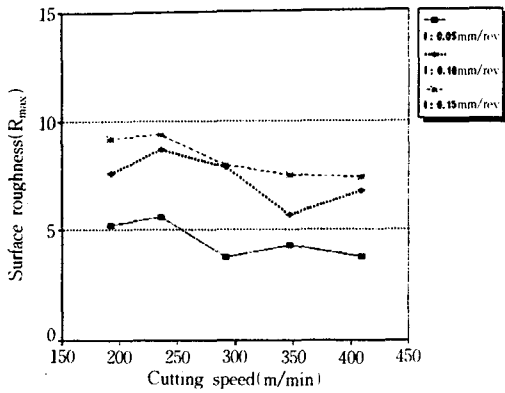
Angles	Degree
Back Rake Angle	-6
Side Rake Angle	-6
End Relief Angle	0
Side Relief Angle	0
End Cut Edge Angle	15
Side Cut Edge Angle	75
Nose Radius	0.8 mm

3.1.1 절삭속도와 공구재종의 영향

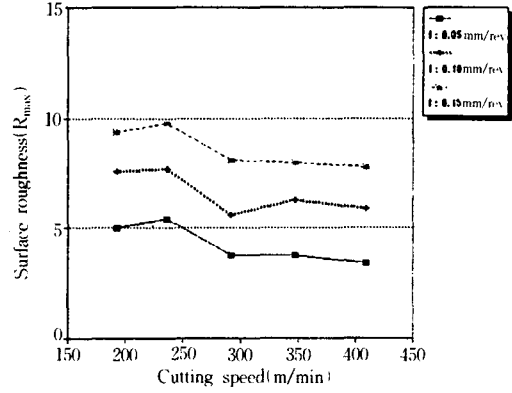
상자형모터회전자 절삭가공시 절삭속도와 공구 재종의 변화에 따른 표면거칠기 및 절삭력의 경향 실험에 있어서 Table 3과 같이 기본적인 공구각을 지닌 K계열인 국내 H사의 G10E와 P계열인 국내 D사의 KTP20 insert tip으로, 절입깊이는 0.05mm, 이송은 0.05, 0.10, 0.15mm/rev의 3가지로

한뒤, 절삭속도를 192, 236, 291, 347, 409m/min으로 변화시켜서 절삭한 후 가공면의 표면거칠기 및 절삭시 발생하는 절삭력을 측정하였다.

절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기값의 변화는 Fig. 3에서 보듯이 절삭속도가 증가함에 따라 표면거칠기는 좋아지나 절삭속도가 291m/min이상일 경우에는 표면거칠기값의 변화는 그리 크지 않음



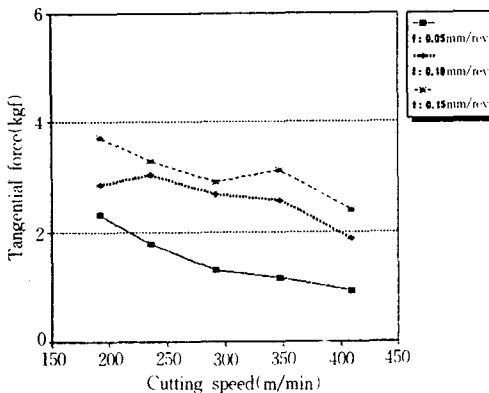
Insert tip : G10E



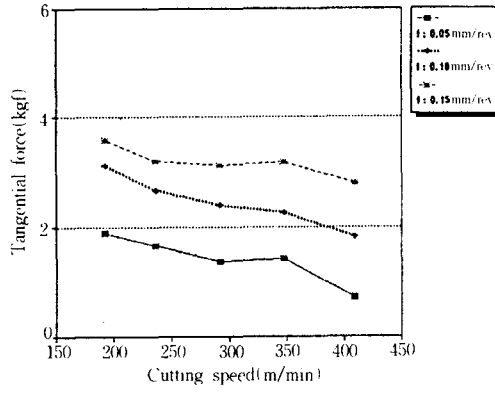
Insert tip : KTP20

Cutting speed : 192, 236, 291, 347, 409m/min
Depth of cut : 0.05mm

Fig. 3 Cutting speed vs. surface roughness



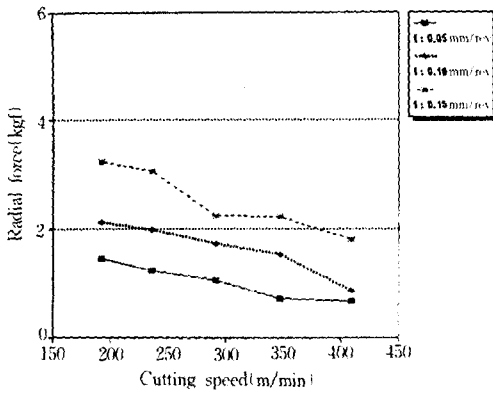
Insert tip : G10E



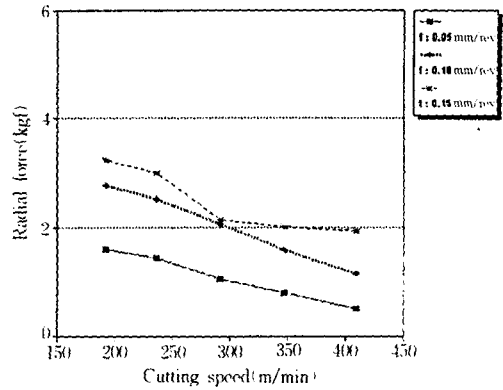
Insert tip : KTP20

Cutting speed : 192, 236, 291, 347, 409m/min
Depth of cut : 0.05mm

Fig. 4 Cutting speed vs. tangential force



Insert tip : G10E



Insert tip : KTP20

Cutting speed : 192, 236, 291, 347, 409m/min
Depth of cut : 0.05mm

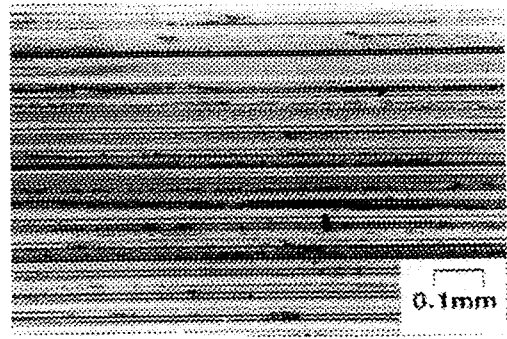
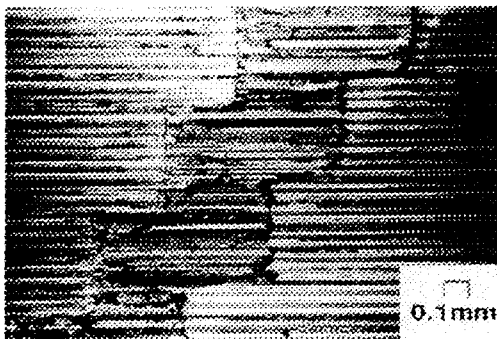
Fig. 5 Cutting speed vs. radial force

을 알 수 있다. Fig. 3에서 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기값은 국내 H사의 G10E보다는 국내 D사의 KTP20이 선형적인 경향을 보임으로 상자형모터회전자 가공시 국내 D사의 KTP20 insert tip을 사용하는 것이 국내 H사의 G10E insert tip보다 더 적합하다고 생각된다.

Fig. 4는 절삭속도변화에 따른 주분력의 변화를 나타낸 그림이며, Fig. 5는 절삭속도의 변화가 배

분력에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. Fig. 4, Fig. 5에서 절삭속도가 증가함에 따라 주분력과 배분력이 감소하므로 절삭효율은 좋아짐을 알 수 있다. 따라서 표면거칠기와 절삭력 측정을 통한, 절삭효율의 관점에서 본다면 절삭속도는 409m/min로 선택하는 것이 좋으리라 생각된다.

한편, 절삭속도와 공구재종의 변화가 금속표면에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보기 위해 알



\ \ 50 \ \ 100 /
 Cutting speed : 192 m/min
 Feed rate : 0.05 mm/rev
 Depth of cut : 0.05mm
 Insert tip : KTP20

Photo. 2 The surface observed by metal microscope

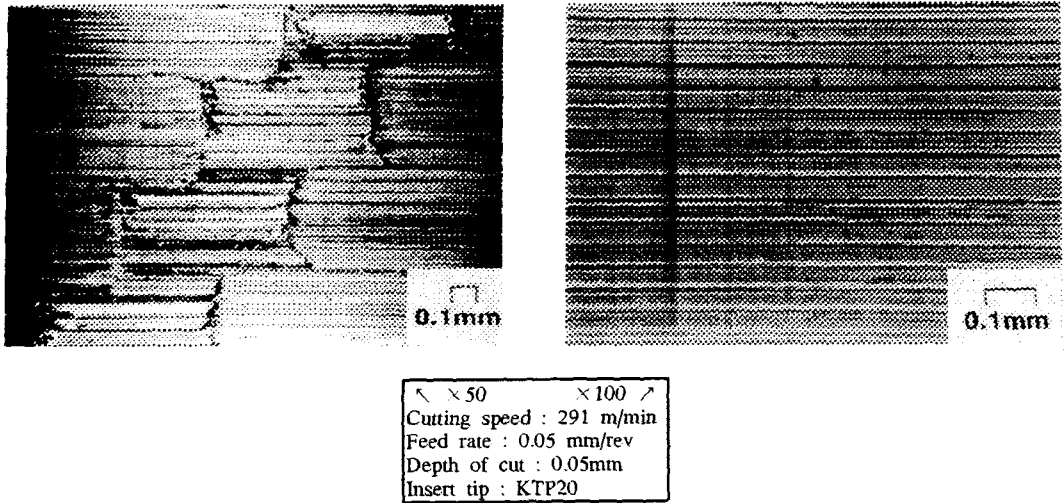


Photo. 3 The surface observed by metal microscope

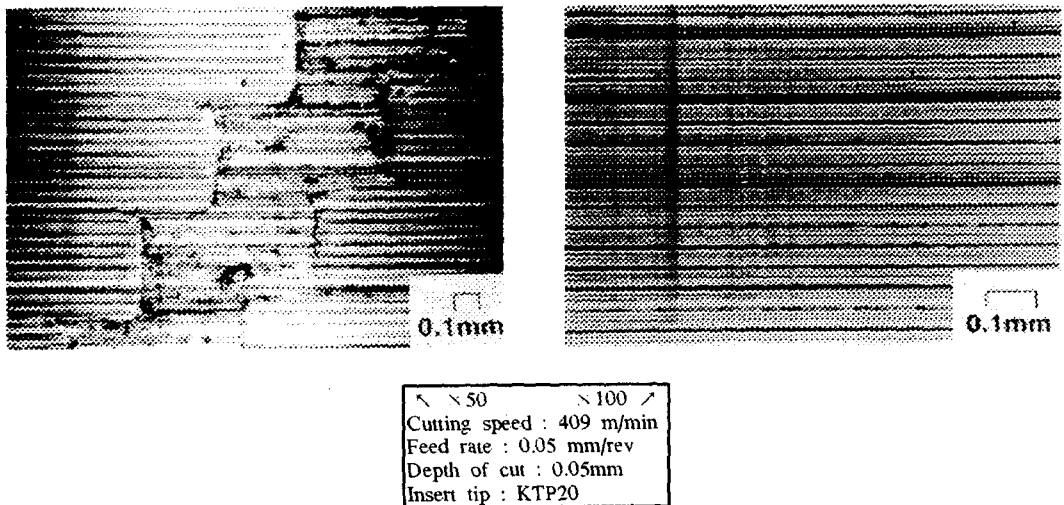


Photo. 4 The surface observed by metal microscope

항과 같은 절삭조건중 절삭속도를 192, 291, 409m/min, 이송속도를 0.05mm/rev, 절입깊이를 0.05mm로 주어 가공한 시편을 금속현미경의 $\times 50$, $\times 100$ 배율로 사진촬영하여 관찰하였다.

Photo. 2~Photo. 4은 국내 D사의 KTP20 insert tip으로 가공한 금속표면의 사진이며, Photo. 5~Photo. 7은 국내 H사의 G10E insert tip으로 가공

한 금속표면의 사진이다. Photo. 2~Photo. 7에서 사각형모양은 알루미늄이 die casting된 부분으로 절삭속도가 증가함에 따라 사각형의 형상이 뚜렷해짐을 볼 수 있다. 이는 상자형모터회전자를 가공함에 있어서 절삭속도가 192m/min보다는 409m/min일때 더 좋은 가공표면을 얻을 수 있음을 의미하며, 절삭속도가 빠를 수록 알루미늄 부분이

가공방향으로 밀리는 현상을 줄일 수 있다.

또한, 가공면의 표면상태는 모터의 수명이나 성능에도 영향을 주리라 생각된다. Photo. 2~Photo. 4과 Photo. 5~Photo. 7, 즉 KTP20으로 가공한 시편과 G10E로 가공한 시편을 비교해보면 G10E로 가공된 시편의 표면은 수염모양으로 부풀이 일어나는 상태를 볼 수 있고, KTP20으로 가공한 시편이 G10E로 가공한 시편보다 가공된 면의

선이 뚜렷함을 볼 수 있다. 이는 KTP20과 G10E insert tip의 화학적, 기계적 성질의 차이로 인한 공구의 조기마모 현상, 연삭면의 연삭상태의 차이 등 여러가지 인자로 생각된다.

결국, 상자형모터회전자의 가공표면의 사진판찰을 통해서 절삭속도가 192m/min부터 409m/min로 증가함에 따라 가공면이 선명해 지는 것과 알루미늄이 die casting된 부분의 사각형이 뚜렷해짐을

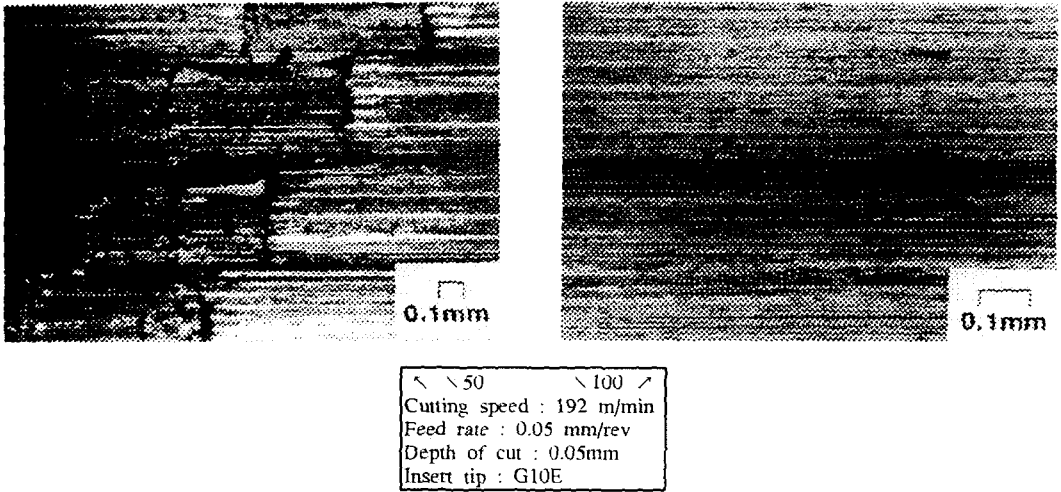


Photo. 5 The surface observed by metal microscope

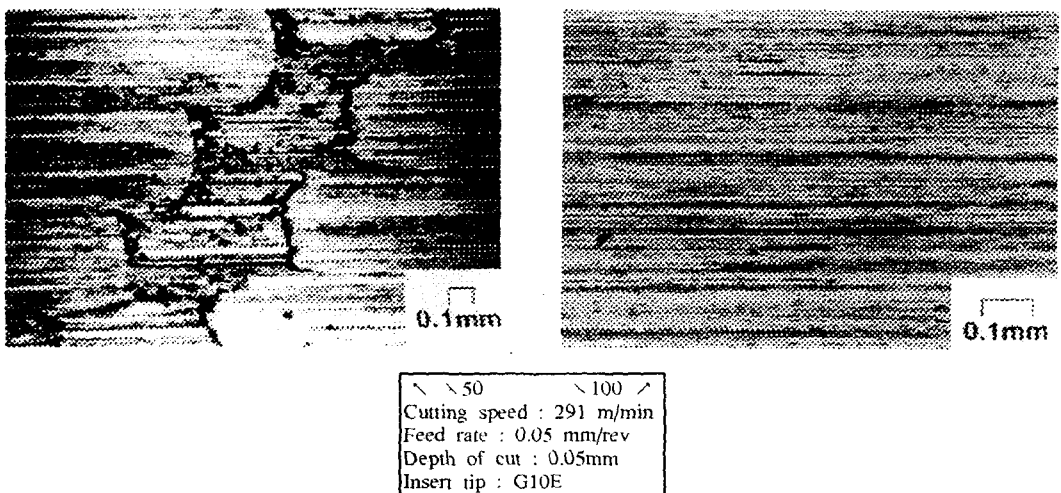


Photo. 6 The surface observed by metal microscope

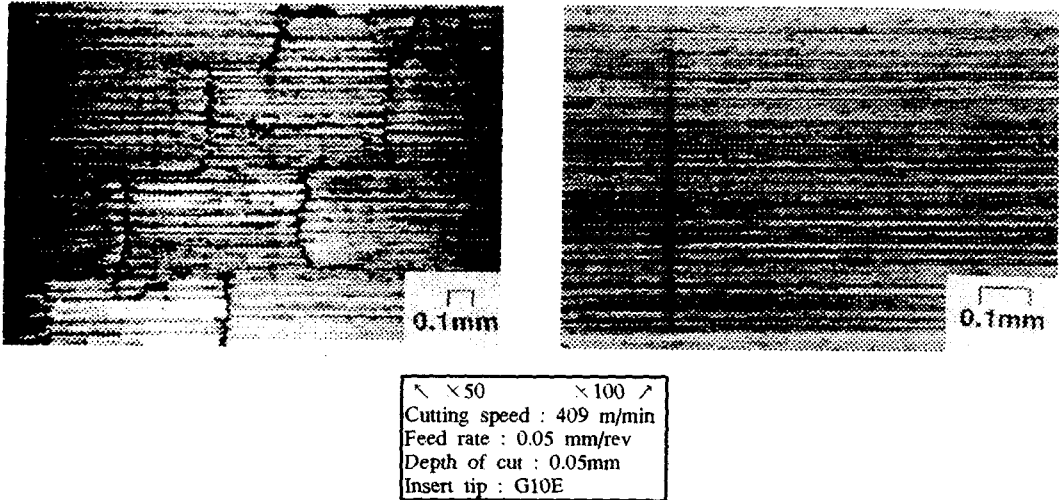


Photo. 7 The surface observed by metal microscope

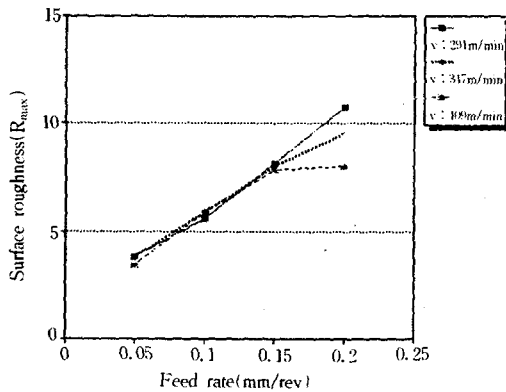
볼 수 있다. 또한 G10E insert tip으로 가공한 면보다는 KTP20 insert tip의 가공표면의 전반적으로 더 깨끗함을 알 수 있었다.

3.1.2 이송속도의 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 이송속도와 공구 재종의 변화가 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 전향과 같은 공구각을 가진 공구를 사용하여 절입깊이 0.05mm, 절삭속도

291, 347, 409m/min로 하고, 이송속도는 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm/rev로 변화시켜 실험하였다.

Fig. 6에서 보듯이 이송속도의 변화에 따른 표면거칠기값의 변화는 이송속도가 증가함에 따라서 표면거칠기값은 나빠진다. 이송속도가 0.05mm/rev~0.15mm/rev까지는 표면거칠기값이 선형적으로 증가하나, 0.15mm/rev이상이 되면 표면거칠기값의 편차가 심해지는 것으로 보아 이송속도는 0.15mm/rev이하로 설정하는 것이 적합하리라 생각



Feed rate : 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm/rev
Depth of cut : 0.05mm
Insert tip : KTP20

Fig. 6 Feed rate vs. surface roughness

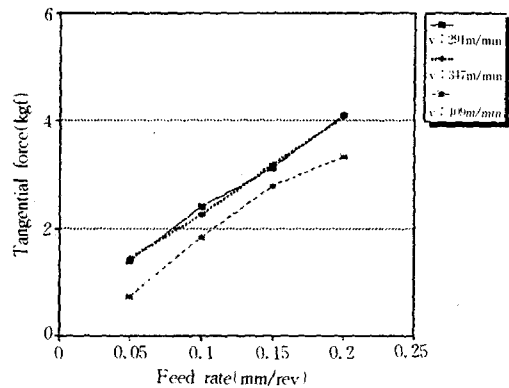
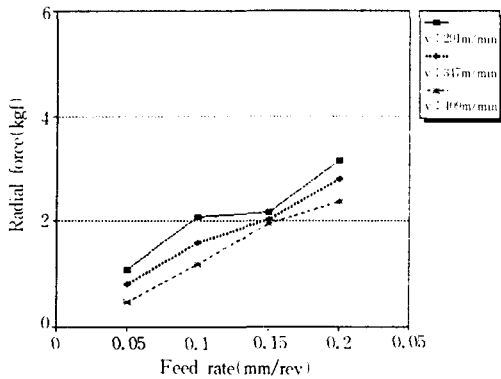


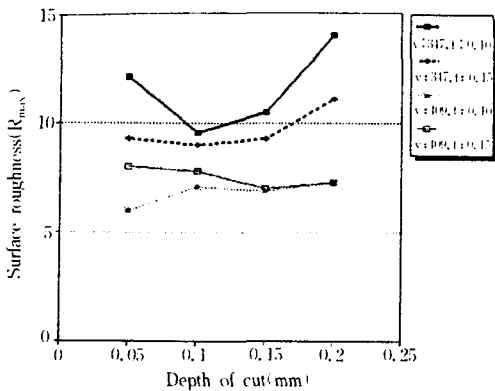
Fig. 7 Feed rate vs. tangential force

된다. Fig. 7은 주어진 절삭속도에 이송속도를 변화시킬 때 주분력의 변화를 나타낸 그림이며, Fig. 8은 주어진 절삭속도에 이송속도변화가 배분력에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. Fig. 7, Fig. 8에서 알 수 있듯이 이송속도가 증가함에 따라 주분력과 배분력이 함께 증가됨을 알 수 있으며, 절삭력이 커진다는 것은 절삭효율이 떨어진다는 것을 의미하므로 절삭효율을 높이기 위해서는 이송속도를 천천히 해야 한다. 그러나 이송속도를



Feed rate : 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm/rev
Depth of cut : 0.05mm
Insert tip : KTP20

Fig. 8 Feed rate vs. radial force



Depth of cut : 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm
Insert tip : KTP20

Fig. 9 Depth of cut vs. surface roughness

작게 할 경우 생산량이 감소하므로 절삭효율과 생산비를 감안하여 이송속도를 정해야 한다. 표면거칠기, 절삭력, 제품의 품질, 생산성 등을 고려하여 이송속도를 0.10mm/rev로 설정하는 것이 바람직하리라 생각된다.

3.1.3 절삭깊이의 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 절삭깊이의 변화가 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 전향과 같은 공구각을 가진 KTP20 insert tip을 사용해서 절삭속도 347, 409m/min, 이송속도 0.10, 0.15mm/rev로 하고, 절삭깊이를 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm로 변화시켜 가면서 실험하였다.

Fig. 9~Fig. 11은 절삭깊이의 변화가 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 표면거칠기값은 절삭깊이 변화에 따라 다소 영향을 받으나, 절삭깊이 보다는 절삭속도나 이송속도에 더 많은 영향을 받을 수 있다. 또한 절삭깊이가 0.10, 0.15mm 일 경우에 절삭조건에 따른 표면거칠기값의 편차가 작아짐을 알 수 있다. 절삭깊이와 절삭력과의 관계를 Fig. 10, Fig. 11에서 나타냈다. 이를 통해 주분력과 배분력 모두 절삭깊이가 깊어질수록 증가하나, 그에 따라 절삭저항이 증가하여 절삭효율은 감소됨을 알 수 있다.

Fig. 12는 절삭깊이에 따른 3분력의 변화를 나타

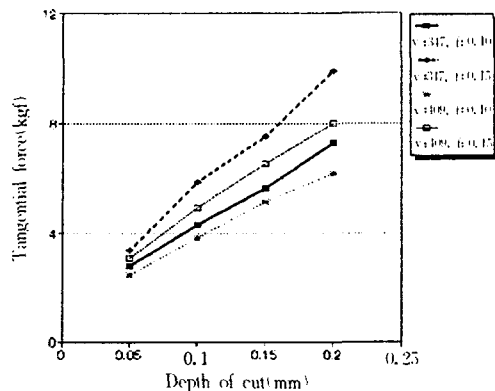
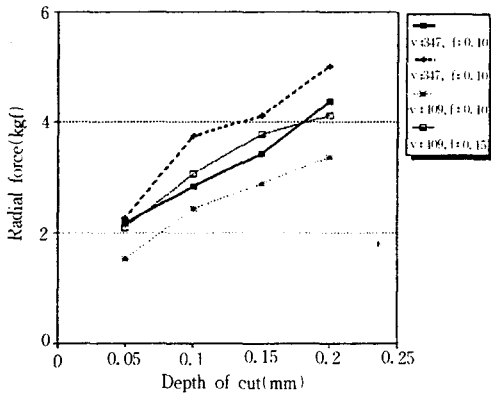


Fig. 10 Depth of cut vs. tangential force

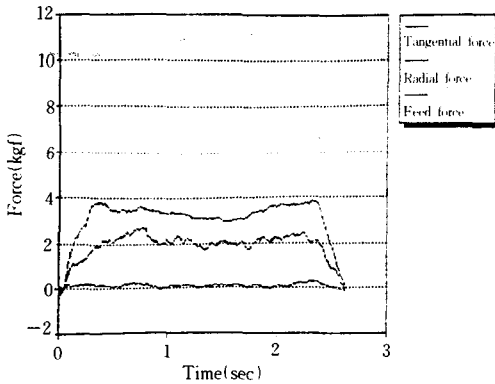
낸 그림으로 Fig. 12의 (a)는 절삭깊이가 0.05mm, (b)는 0.10mm, (c)는 0.15mm, (d)는 0.20mm일 때 3분력을 나타내었다.

일반강의 경우 주분력 : 배분력 : 이송분력의 비가 10 : 2~4 : 1~2인 반면 본 실험에 사용한 상자형모터회전자 가공시 주분력 : 배분력 : 이송분력의 비는 약 10 : 5~7 : 0~2로써 배분력이 일반강보다 다소 큼을 알 수 있다. 이는 상자형모터회전자의 경도가 일반강보다 높아서 생긴 현상으로 생각되며, 재료의 경도는 3분력중 배분력에 미치는 영향이 크다고 생각된다. 이는 고경도 재료를 가공할 때 3분력중 배분력을 고려하여 가공하여야

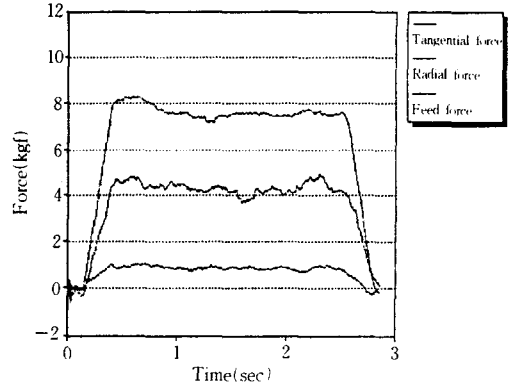


Depth of cut : 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm
Insert tip : KTP20

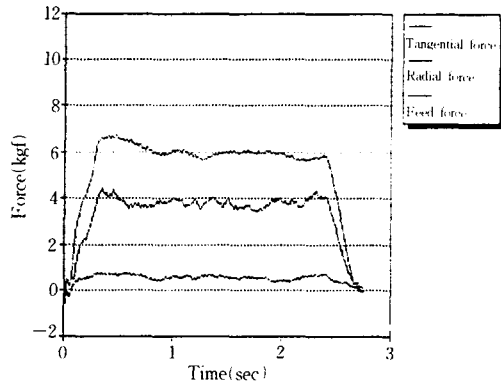
Fig. 11 Depth of cut vs. radial force



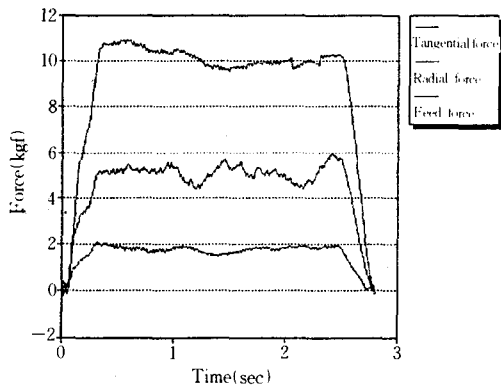
(a)



(b)



(c)



(d)

Cutting speed : 347m/min
Feed rate : 0.15mm/rev
Depth of cut : 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm
Insert tip : KTP20

Fig. 12 Depth of cut vs. force components

함을 의미한다. 또한 배분력의 증가는 공구의 프론트레이크 면에 플레이킹이라고 하는 생선비늘 모양의 박리손상을 유발시킬 수 있다.

절삭깊이가 깊어질수록 주분력 : 배분력 : 이송분력의 비에서 주분력이 차지하는 비율이 커짐을 볼 수 있는데, 이는 절삭깊이가 깊어질수록 절삭면적의 증가와 함께 주분력이 절삭깊이에 가장 많은 영향을 받으며 주분력에 의해 절삭동력이 좌우됨을 의미한다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다. 상자형모터회전자 절삭가공시 표면거칠기값, 절삭력, 생산효율을 고려한 유효 절삭속도는 409m/min이며 이송속도는 0.10mm/rev이고 절삭깊이는 0.10mm 내지 0.15mm이다. 또한, insert tip 은 국내 D사의 KTP 20이 적당하다.

참 고 문 헌

- 1) R. Komanduri, M. lee, The ledge tool : a new cutting tool insert, ASME, Vol. 107, pp.99~106, May. 1985.
- 2) N. H. Cook, Tool wear and tool life, ASME, Vol. 95, pp. 931~938, Nov. 1973.
- 3) C. Rubenstein, An analysis of tool life based on flank-face wear, ASME, Vol. 98, pp. 221~232, Feb. 1976.
- 4) H. Opitz, M. Gappisch, Some recent research on the wear behaviour of carbide cutting tools, Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 2, pp. 43~73, Perfamen Press Ltd. 1962.
- 5) T. C. Hsú, A study of wear on cemented carbide cutting tools, ASME, pp. 652~658, Aug. 1969.
- 6) M. Shiraishi, A consideration of surface roughness measurement by optical method, ASME, Vol. 109, pp. 109~105, May. 1987.
- 7) M. Shiraishi, S. Sato, Dimensional and surface roughness controls in a turning operation, ASME, Vol. 112, pp. 78~83, Feb. 1990.
- 8) A. B. Husein, M. F. Devries, S. M. Wu, Analysis of force components in bar turning, ASME, pp. 960~964, Nov. 1973.
- 9) D. W. Wu, Comprehensive dynamic cutting force model and its application to waveremoving processes, ASME, Vol. 110, pp. 153~161, May. 1988.
- 10) M. Hirao, J. Trusty, R. Sowerby, G. Chandra, Chip formation with chamfered tools, ASME, Vol. 104, pp. 339~342, Nov. 1982.
- 11) D. Lee, The effect of cutting speed on chip formation under orthogonal machining, ASME, Vol. 107, pp. 55~63, Feb. 1985.
- 12) M. Masuda, K. Kuroshima, S. Manabe, Machinability of sintered carbon, JSPE, Vol. 53, pp. 114~120, Dec. 1987.
- 13) S. Enomoto, M. Kato, Cutting characteristic of CBN cutting tools in turning, JSPE, Vol. 53, pp. 119~124, Aug. 1989.
- 14) Y. Matsumoto, M. M. Barash, C. R. Liu, Effect of hardness on the surface integrity of AISI 4340 steel, Trans. ASME, Vol. 108, pp. 245~252, Aug. 1986.