論文 10-2-7

생산효율을 고려한 상자형모터회전자의 유효절삭조건에 관한 연구(Ⅱ)

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

김희남*·이해종*·신광호**·하상용***
H. N. Kim·H. J. Lee·K. H. Shin·S. Y. Ha

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.

NC선반(numerical control lathe)이나 머시닝센터(machining center) 또는 FMS(flexible manufacturing system)이라 하는 자동생산시스템에서 이런 트러블이 발생하면 자동화, 무인화뿐만 아니라 생산시스템의 효율적인 운용도 힘들게 된다. 따라서 난삭재 절삭시 자동화, 무인화를 이루기 위해서는 난삭재 가공을 위한 적절한 공구재종의 개발이나 공구설계, 그리고 합리적인 절삭조건을 정하는 것이 필수적이라 하겠다.

지금까지 많은 사람들이 금속절삭에 대한 새로운 문제들을 연구하고 있으나, 절삭현상에 대한 실험은 이론적 연구와 더불어 고속도강공구, 초경공구로 비교적 가공하기 쉬운 피삭재로 주로 행하

* 명지대학교 기계공학과
** 주식회사 성신 생산기술부
*** 명지대학교 대학원 기계공학과

여 졌으며, 공구의 형상[1], 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 하였다. 그리고 Masuda[12], Enomoto[13] 등이 난삭재에 대한 공구수명과 절삭특성에 관하여 실험하였다. 또한 1960년대에 이르러 가공면의 표면품위가 재료강도에 영향을 미치는 것이 판명되었고, 이에 따라 가공면의 품질에 관한 인식이 높아지면서 연구[14]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 있다. 따라서 소형모터 제조공장에서 많이 사용되고 있는 상자형모터회전자 가공을 위하여 국내 D사 SPGN 120308 K10의 공구형상을 변화시킨 후 그에 대한 절삭성을 규명하여 적절한 공구각을 선택하는데 그 목적이 있다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

상자형모터회전자의 전용공작기계인 bench lathe(Donghuyp Co.)로써 상자형모터회전자를 가

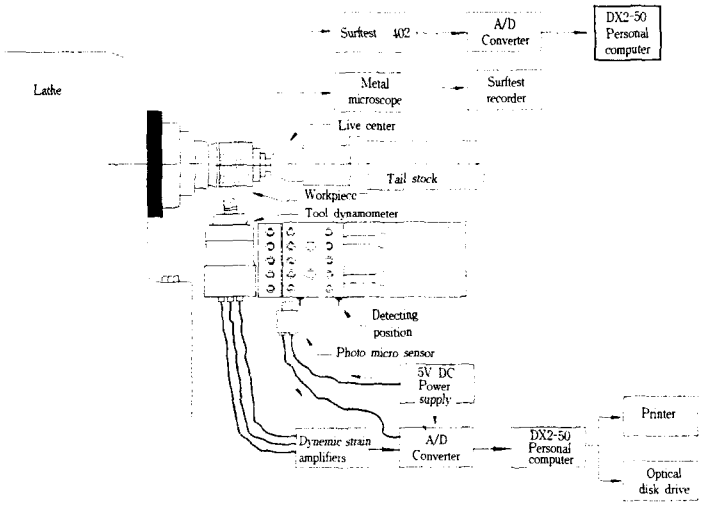


Fig. 1 Measurement system of cutting force along the cutting time

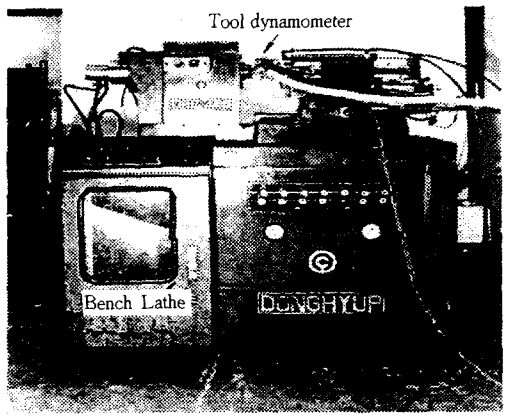


Photo. 1 Layout of the experimental system

공하였다.

측정계는 기본적으로 공구동력계(tool dynamometer), 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 광전센서(photo micro sensor)를 부착하였으며, 컴퓨터와 A/D 변환기는 데이터를 받아 분석처리하기 위해서 필수적이다. Fig. 1은 본 실험장치 및 측정

계의 전체적인 개요도를 나타낸 것이다. Photo. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 사진이다.

2.2 시편 및 공구

2.2.1 시 편

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

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

2.2.2 절삭공구 및 insert tip

공구각에 따른 표면거칠기 및 절삭력을 알아보기 위해서 국내 D사의 SPGN 120308 K10 insert tip을 project profile grinder로써 Table 2와 같이 인선반경(nose radius), 윗면경사각(back rake angle), 앞면여유각(end relief angle)을 가공하였다. Insert

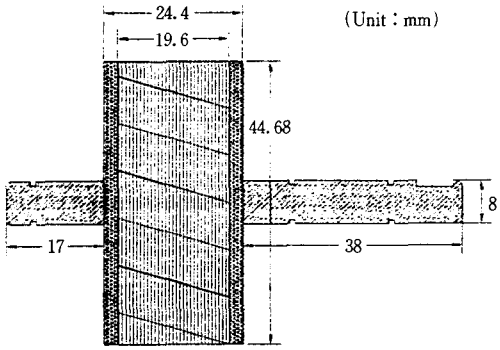


Fig. 2 Dimensions of specimen

Table 2 Variable of tool angle

Order No.	Back rake angle(°)	Side rake angle(°)	End cut edge angle(°)	Nose radius (mm)	End relief angle(°)	Side relief angle(°)	Side cut edge angle(°)
Tool holder : CSDPR 202K 12 Insert tip : SPGN 120308 K10	−10 0 10 20 30 40	6	45	0.8	11	11	45
	0	6	45	0.8 1.2 1.6 2.0 2.4 2.8	11	11	45
	0	6	45	0.8	11 16 21 26 31	11	45

tip의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 3에 있다.

2.3 실험방법

상자형모터회전자의 전용공작기계인 bench

lathe에 바이트와 회전자를 설치한 후 절삭공구의 인선반경, 윗면경사각, 앞면여유각을 변화시킨다. 이에 따른 절삭력의 변화는 공구동력계를 통해 입수되고, 이 신호는 dynamic strain amplifier를 통해

Table 3 Mechanical properties of insert tip(KTK10)

Hardness (H_RA)	Transverse Rupture (bend)Strength (Kpsi)	Modulus of direct elasticity (10^3kg/mm^2)	Thermal conduction (Cal/cm·sec·℃)	Compressive strength (kg/mm^2)	Coefficient of linear expansion (10^{-6}/C)
92.7	>240	64	0.19	620	4.7

증폭된다. Dynamic strain amplifier에서 증폭된 신호는 A/D convert를 통해 PC로 입수되며, unkelscope라는 software로써 절삭력을 측정 및 분석한다. 가공후 표면거칠기의 측정은 surface roughness tester인 surftest 402로써 측정한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공구각이 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 절삭속도를 347, 409m/min, 이송속도를 0.10mm/rev, 절삭깊이를 0.05mm로 준 뒤에, K10 insert tip을 optical project profile grinder로 Table 2와 같이 인선반경(nose radius), 윗면경사각(back rake angle), 앞면여유각(end relief angle)을 각각 변화시켜 가공한 후, 공구각의 변화가 가공면의 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향을 조사하여 보았다. Table 4는 SPGN 120308 K10의 기본적인 공구각을 나타낸 것이다.

Table 4 Tool angles

Bite tip	Back rake angle(°)	Side rake angle(°)	End relief angle(°)	Side relief angle(°)	End Cut edge angle(°)	Side Cut edge angle(°)	Nose radius (mm)
KTK10	0	6	11	11	45	45	0.8

3.1.1 인선반경(Nose radius)의 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 nose radius가 표면거칠기에 미치는 영향을 고찰하기 위해서 절삭조건을 전항과 같이하고 nose radius만을 변화시켜 가공하였다. 실험시 작업조건과 nose radius의 변화는 Table 5와 같으며 실험을 통해 얻어진 시편의 표면거칠기값 및 절삭력과 nose radius와의 관계는 Fig. 3~Fig. 5와 같다.

Table 5 Working condition

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Nose redius (mm)	Bite tip
347 409	0.10	0.05	0.8 1.2 1.6 2.0 2.4 2.8	KTK10

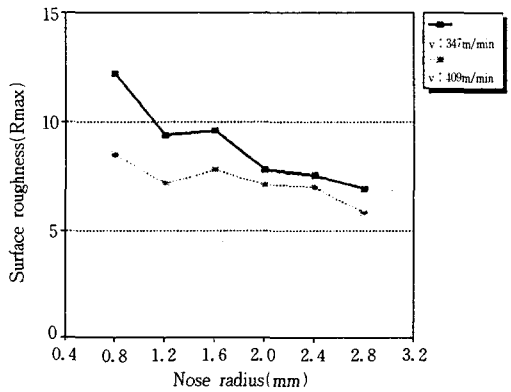


Fig. 3 Nose radius vs. surface roughness

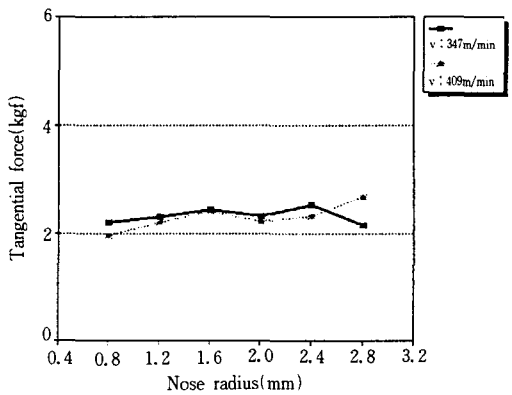


Fig. 4 Nose radius vs. tangential force

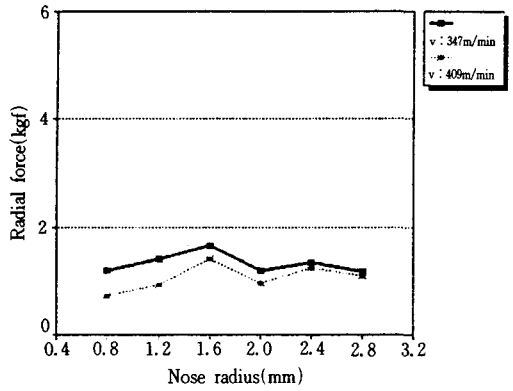


Fig. 5 Nose radius vs. radial force

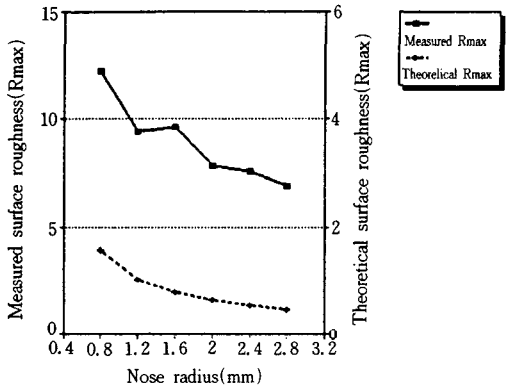


Fig. 6 Nose radius vs. theoretical Rmax and measured Rmax

Fig. 3에서 nose radius의 변화에 따른 표면거칠기값이 nose radius가 커짐에 따라 표면거칠값은 감소함을 볼 수 있다. Nose radius가 2.0mm~2.8mm인 구간에서 절삭조건에 따른 표면거칠기값의 차이 폭은 작아지므로, nose radius를 2.0mm이상으로 선정하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 그러나 nose radius가 너무 커지게 되면 공구에 균열이 생기거나 채터진동[15]이 생기기 쉽고 공구수명도 단축되는 원인이 되므로 nose radius를 신중하게 선택하는 것이 필요하겠다.

Fig. 4, Fig. 5은 nose radius변화에 따른 절삭력의 변화를 나타낸 그림으로써, nose radius의 변화에 따른 절삭력에 미치는 영향이 그리 크지 않음을 알 수 있다. 따라서 상자형모터회전자 절삭시 표면거칠기값만을 고려한다면 nose radius는 2.0mm로 하는 것이 좋으리라 생각된다.

또한 이론상의 표면거칠기값과 가공면의 표면거칠기의 측정값을 비교하여 보았으며, Fig. 6은 본 실험에 사용된 nose radius값의 변화에 따른 이론적인 표면거칠기값과 실제 측정한 표면거칠기값을 나타낸 그림이다. nose radius가 0.8mm에서 2.8mm로 증가함에 따라 이론적인 값은 Rmax 0.4~1.6의 범위에 있는 반면 실제 가공하여 측정한 값은 Rmax 5.5~12.5의 범위에 있다. 이는 표면거칠기값이 이론값에 대하여 실제 측정값이 강의 경우 1.5~3배, 주철의 경우 3~5배인 반면, 본 절삭실험을 통해 나타난 표면거칠기의 이론값과 실제값은 약 8배에서 14배에 이르는 값으로 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 이론값과 실제 측정된 표면거칠기값의 비만 보아도 본 실험에 사용된 재료가 난삭성을 나타낸다고 할 수 있겠다.

3.1.2 윗면경사각(Back rake angle)의 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 back rake angle의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향을 조사하기 위하여 절삭조건과 back rake angle을 Table 6과 같이 변화시켜 표면거칠기 및 절삭력에 관한 실험을 하였다. 이와 같은 조건으로 가공하여 얻어진 상자형모터회전자의 표면거칠기 및 절삭력을 측정해서 Fig. 7~Fig. 9에 나타내었다.

Table 6 Working condition

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Back rake angle(°)	Bite tip
347 409	0.10	0.05	−10 0 10 20 30 40	KTK10

Fig. 7은 back rake angle의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향을 나타낸 그림으로, back rake angle이 −10°, 0°, 10°, 20°, 30°, 40°로 증가함에 따라 표면거칠기값은 점차 커짐을 알 수 있다.

Fig. 8, Fig. 9는 back rake angle의 변화가 절삭력에 미치는 영향을 나타낸 그림으로 back rake angle이 증가함에 따라 절삭력이 감소하는 경향을

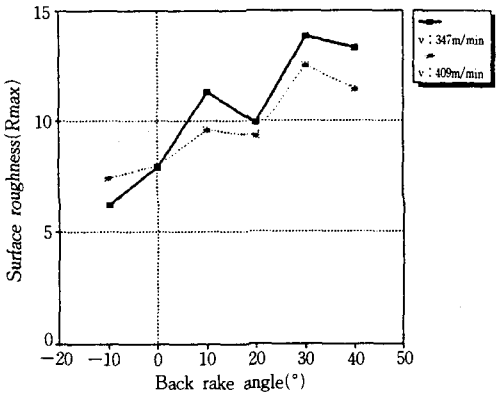


Fig. 7 Back rake angle vs. surface roughness

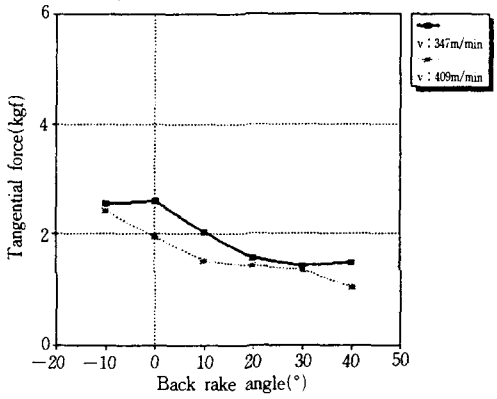


Fig. 8 Back rake angle vs. tangential force

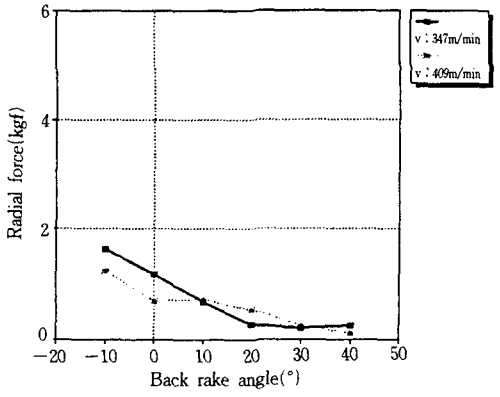


Fig. 9 Back rake angle vs. radial force

볼 수 있다. 이는 절삭가공시 절삭면적의 감소로 인하여 절삭력이 감소된 것으로 생각된다. 따라서 back rake angle의 설정에 있어서 표면거칠기와 절삭력만을 생각한다면 back rake angle을 −10°로 설정하는 것이 좋으나 다음에 설명하는 마찰계수와 사진관찰을 통해서 back rake angle을 설정하는 것이 합리적이라 생각된다.

Fig. 10은 back rake angle의 변화에 따른 마찰계수를 계산하여, back rake angle과 마찰계수의 관계를 나타낸 그림으로 back rake angle이 증가할수록 마찰계수는 커짐을 볼 수 있다. 이는 마찰계수 μ=F/N에서 back rake angle이 증가할수록 합력 R의 경사면 방향의 분력인 F가 커지고, 반면 합력 R의 경사면에 수직인 분력 N은 작아짐을 의미한다. 또한 back rake angle이 40°에서는 마찰계수가 1보다 크다. 이는 경사면 방향의 분력 F가 경사면에 수직 분력 N보다 크다는 것을 의미하며, 칩에 의한 crater 마모가 쉽게 발생하리라 예상된다.

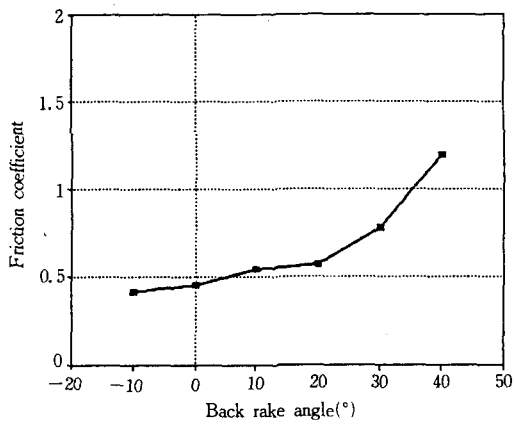


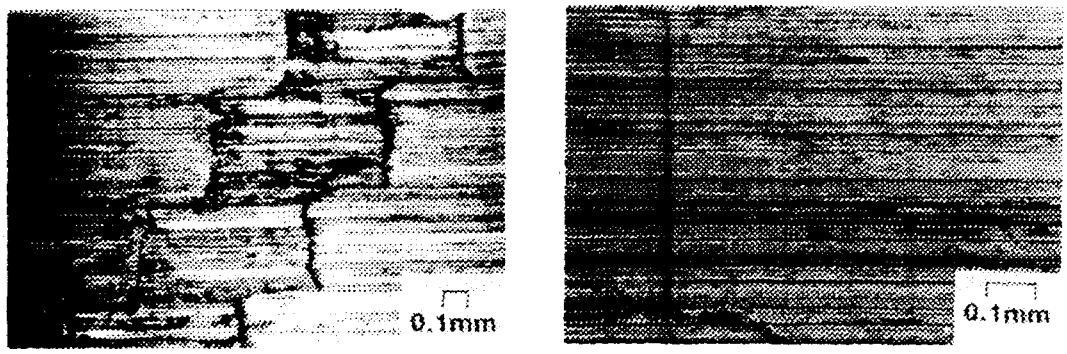
Fig. 10 Back rake angle vs. friction coefficient

반면 합력R의 경사면에 수직분력 N이 커지게 되면 주분력과 배분력의 증가와 함께 절삭동력이 많이 소요되어 절삭효율은 떨어지게 된다. 또한 Photo. 2에서 보듯이 back rake angle이 −10°에서는 가공표면이 거칠어지고 절삭면적이 커짐으로 인하여 공구의 조기 마모가 유발될 것으로 예상된다. 반면 Photo. 3~Photo. 5를 관찰해 보면 back rake angle이 증가할수록 가공표면에 chatter진동이 발생되어 가공면의 품위를 저하시키고 공구의 이상마모를 유발할 수도 있다.

고로 적절한 back rake angle의 선정이 공구손상을 줄일 수 있음과 동시에 절삭효율을 높일 수 있는 방안이 될 것이다. 따라서 공구손상, 제품의 품질, 절삭동력 등을 고려한다면 back rake angle을 0°로 설정하는 것이 좋으리라 생각된다.

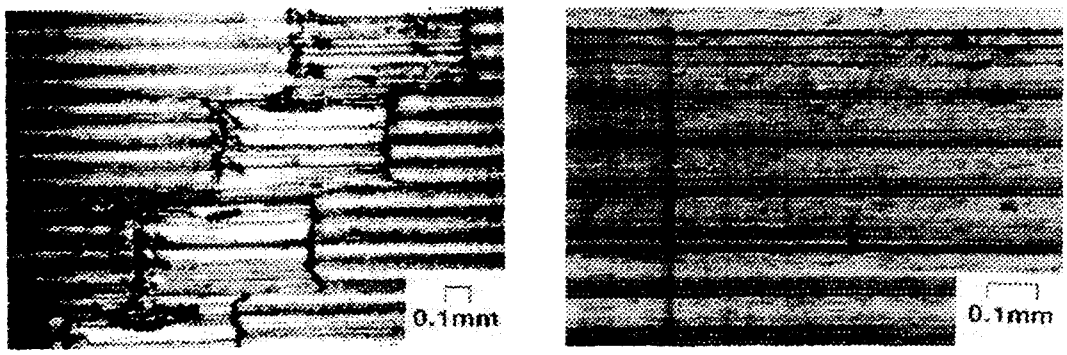
3.1.3 앞면여유각(End relief angle)의 영향

상자형모터회전자 절삭가공시 end relief angle의 변화에 따른 표면거칠기 및 절삭력의 경향 실험에서 Table 7과 같이 end relief angle과 절삭조건을 변화시켜 가공한 후 표면거칠기 및 절삭력을 측정하였다.



↖ ×50 ×100 ↗
Cutting speed : 347m/min
Feed rate : 0.10mm/rev
Depth of cut : 0.05mm
Insert tip : KTK10
Back rake angle : −10°

Photo. 2 The surface observed by metal microscope



↖ ×50 ×100 ↗
Cutting speed : 347m/min
Feed rate : 0.10mm/rev
Depth of cut : 0.05mm
Insert tip : KTP10
Back rake angle : 0°

Photo. 3 The surface observed by metal microscope

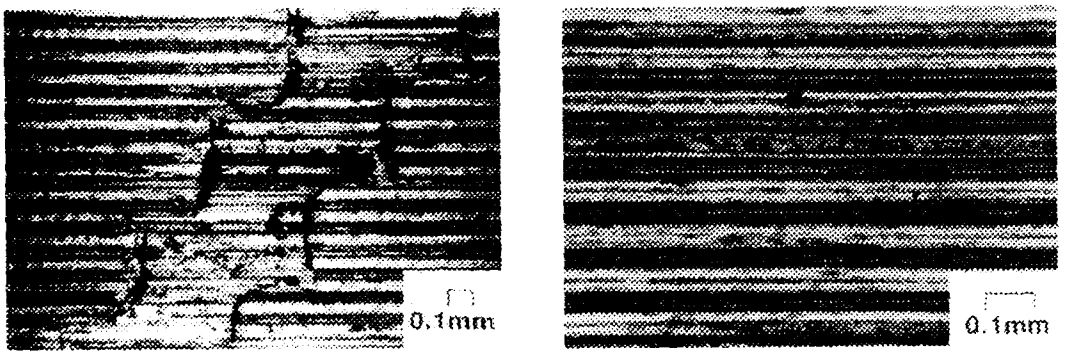


Photo. 4 The surface observed by metal microscope

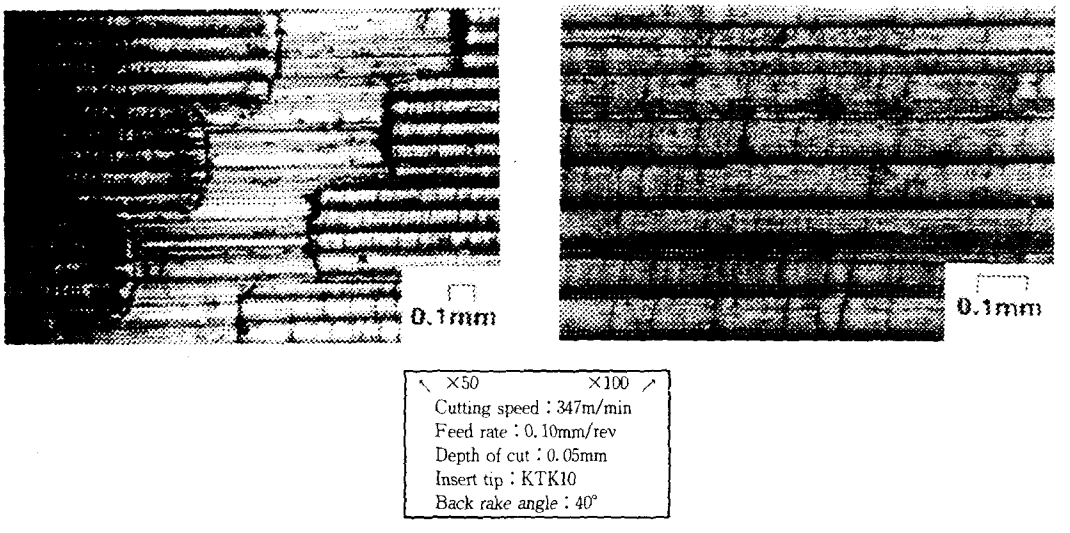


Photo. 5 The surface observed by metal microscope

Fig. 11은 end relief angle의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향을 나타낸 그림으로써 end relief angle이 11°, 16°, 21°, 26°, 31°로 증가함에 따라서 표면거칠기값은 다소 증가함을 볼 수 있었다. 그러나 end relief angle이 21°이상이 되면 절삭조건에 따른 표면거칠기값의 편차가 커지므로 end relief angle을 21°이상으로 설정하는 것은 좋지 않으리라

Table 7 Working condition

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	End relief angle(°)	Bite tip
347 409	0.10	0.05	11 16 21 26 31	KTK10

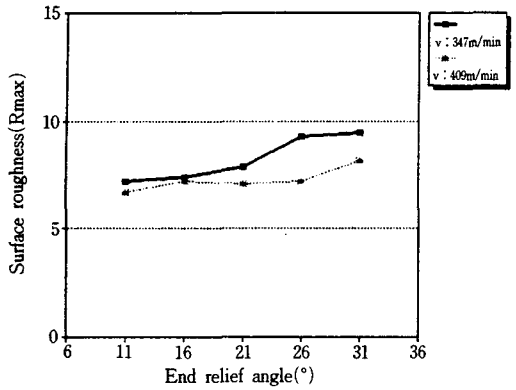


Fig. 11 End relief angle vs. surface roughness

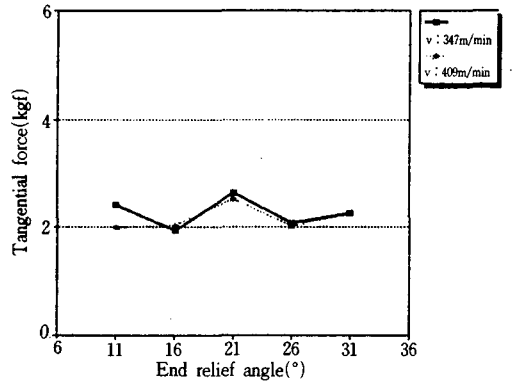


Fig. 12 End relief angle vs. tangential force

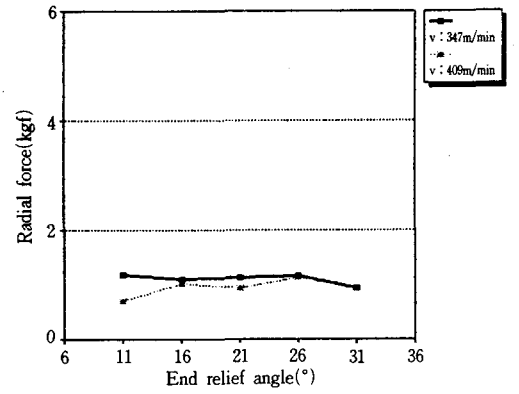


Fig. 13 End relief angle vs. radial force

생각된다.

Fig. 12, Fig. 13은 end relief angle의 변화가 주분력 및 배분력에 미치는 영향을 나타낸 그림으로, end relief angle이 16°일 때와 21°일 때 주분력이 감소함을 알 수 있다.

따라서 end relief angle의 선정에 있어서 주분력과 표면거칠기를 고려한다면 절삭력이 작고 표면거칠기 값이 좋은 16°로 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

상자형모터회전자 절삭가공시 표면거칠기값, 절삭력, 생산효율을 고려하여 인선반경(nose radius)은 2.0mm, 윗면경사각(back rake angle)은 0°, 앞면여유각(end relief angle)은 16°로 설정하는 것이 바람직하리라 생각된다.

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. Hsű, 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 wave-removing 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.
15) C. R. Liu, T. M. Liu, Automated chatter suppression by tool geometry control, ASME, Vol. 107, pp. 95~98, May. 1985.