

농형회전자의 유효절삭조건에 관한 연구(2)

김희남 (명지대학교 기계공학과) 이주상 · (명지대학교 대학원 기계공학과)

A Study on the Effective Cutting Conditions of Cage Motor Rotor (2)

H. N. Kim (Myongji Univ.)

J. S. Lee* (Myongji Univ.)

Key Words : cage motor rotor, surface roughness, cutting force

ABSTRACT

This paper proposed on the effective cutting conditions of cage motor rotor by turning. If you want to introduce automatic manufacturing system into the cutting process of cage motor rotor, the selections of effective cutting conditions are necessary. The cutting process of cage motor rotor requires the precision and the out of roundness of cage motor rotor. The surface roughness of cutting face, it is very important factor with effect on the magnetic flux density of cage motor rotor. The purpose of this study is to find out the effects of cutting conditions. Upon adapting this results, we will improve the production rate in the cutting process of cage motor rotor. As a result, the selection of cutting conditions are important factors to production rate. And these are chosen by the investigations of cutting characters and surface roughness. The experimental result, showed that the increase of cutting speed caused the decrease of cutting force and the high surface integrity. The increase of feed rate and increase of depth of cut caused the increase of cutting force and surface roughness. Thus, the effective cutting conditions of cage motor rotor by turning are cutting speed 291m/min, feed rate 0.10mm/rev, depth of cut 0.05mm.

1. 서론

산업발달에 따라 기계분야의 연구가 활발히 진행되고 있는 오늘날 생산성 향상을 위한 공작기계의 고속화, 강력화, 고정도화 및 절삭공구재료 개발의 중요성이 대두되고 있는 실정이다. 특히 난삭재를 포함한 다양한 신소재와 복합재료들이 등장하고 있는 요즈음 이를 가공하기 위한 많은 시도와 절삭특성을 규명하고 최적절삭조건을 선정하려는 노력들이 진행되고 있다. 그러나 다양한 가변 인자로 인하여 모든 절삭현상들이 명확하게 해석되고 있지 않다. 최근 기계가공기술은 눈부시게 발전하여 난삭재를 제외한 일반재료의 절삭은 자동화 및 무인화가 이루어지고 있는 추세이나, 이것에 비하여 난삭재가공은 각종 트러블이 우발적으로 발생하기 때문에 공구수명, 공작기계의 정도, 가공물의 품질등을 예측하기 어렵다. CNC선반, 머시닝센터 그리고

FMS(flexible manufacturing system)등의 유연자동 생산시스템에서 이런 트러블이 발생하면 공장자동화, 무인화뿐만 아니라 생산시스템의 효율적인 운용도 힘들게 된다. 따라서 난삭재 절삭시 자동화, 무인화를 이루기 위해서는 난삭재 가공을 위한 적절한 공구재료의 개발이나 공구설계, 그리고 합리적인 절삭조건을 정하는 것이 필수적이라 하겠다. 지금까지 절삭현상에 대한 실험은 고속도강공구, 초경공구로 비교적 가공하기 쉬운 피삭재를 주대상으로 행하여 왔으며, 공구의 형상, 공구의 수명, 공구의 파손과 마모, 가공면의 표면거칠기, 절삭력, 칩형상과 칩처리⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾등 공구와 피삭재 및 칩에 관한 연구가 있었다. 또한 1960년대에 이르러 가공면의 표면거칠기가 재료강도에 영향을 미치는 것이 판명되었고, 이에 따라 가공면의 품질에 관한 인식이 높아지면서 연구⁽⁷⁾의 대상이 되었다. 1980년대 후반부터 신소재 및 난삭재가 활발히 개발됨에 따라 새로운 절삭공구재료의

개발이 함께 연구의 대상이 되어왔다. Masuda⁽⁸⁾, Enomoto⁽⁹⁾ 등이 난삭재에 대한 공구수명과 절삭특성에 관하여 실험하였다. 본 연구에서 사용한 재료는 적층시킨 규소강판에 아연과 알루미늄을 die casting하여 만든 농형회전자로써 절삭가공시 공구수명이 불안정하며, 또한 농형회전자에 관한 절삭성이 정확히 알려지지 않아 난삭재로 볼 수 있다. 농형 회전자의 경우는 프레스 금형의 정밀도만 정확하다면 선반 작업이 필요 없다. 하지만 금형의 정밀도 문제와 농형회전자 적층시 재료에 소성변형이 생기므로 소성변형층을 없애기 위하여 선반에서 재가공을 하고 있는 실정이다. 농형회전자의 절삭은 회전자의 정밀한 진직도와 진원도를 요구한다. 또한 가공면의 표면거칠기는 농형회전자의 균일한 자속밀도를 위한 중요한 인자이다. 그리고 생산자동화 시스템을 구축하기 위해서는 정확한 공구수명의 예측 및 최적절삭조건이 필요하며 나아가 치수보정장치를 필요로 한다. 따라서 본 연구는 소형모터 제조공장에서 많이 사용되고 있는 적층된 규소강판에 아연을 die casting한 농형회전자와 적층된 규소강판에 알루미늄을 die casting한 농형회전자의 가공을 위하여 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이등의 절삭조건을 변화시킨 후 가공을 하면서 절삭저항을 측정하여 절삭현상을 고찰하고자 하였고, 가공 후에는 표면거칠기를 측정하여 절삭조건에 따른 변화가 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보고 이를 통해 보다 고품위의 제품을 생산하는데 필요한 효율적인 유효절삭조건을 설정하고자 하였다.

2. 실험 및 시편

2-1. 실험장치 및 실험방법

농형회전자의 가공은 범용공작기계인 화천선반(WHPL -380)을 이용하였고, 회전자의 장착을 위해 주축대쪽의 센터에는 jacob's 드릴척을 고정하고 심압대쪽 센터에는 제작한 고정지그를 장착한 후 회전자를 완전하게 고정하였다. 또한 고속도의 절삭속도를 얻어 실험조건에 다양함과 넓은 범위에의 적용을 위하여 속도변환장치로 inverter제어기를 이용하여 기존의 기어 변속을 배제하고 무단으로서 속도를 선택할 수 있게 하였다. 측정계는 기본적으로 tool dynamometer, dynamic strain amplifier, A/D convert, 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 왕복대에 광전 센서(photo micro sensor)를 부착하였으며, 컴퓨터와 A/D 변환기는 데이터를 받아 분석처리하기 위해서 필수적이다. Fig.1은 본 실험장치 및 측정계의 전체적인 개요도를 나타낸 것이다. 본 실험에 사용한 실험장치는 다음과 같으며, Photo.1은 실험에 사용된 실험기기 및 실험장치의 사진이다.

- (1) Lathe : WHPL-380 (Whacheon Co. Korea),
- (2) Tool dynamometer : TD-500KA (Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) Capacity : Ft 500kgf, Ff 300kgf, Fr 200kgf
- (3) Dynamic strain amplifier : DMP-307A (Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan)
- (4) Surface roughness tester : Surfptest 402 (Mitutoyo, Co. Ltd., Japan)
- (5) Inverter : I.G.B.T KC-3700, 50Hz 360Hz, 3.7kW (Minyoung electronic IND.,Co)
- (6) Metal microscope : BMH-3131, Olympus
- (7) A/D convert : PCL-812, 12 bit 16 channel 0.015% of reading 1 bit accuracy, Conversion speed : 30KHz max
- (8) DC power supply : ED-330 Tripple output 160 watts linear/series
- (9) Optical magnetic disk drive : 600Mb
- (10) Computer : intel 80486-DX2-66
- (11) Photo micro sensor : 고출력타입, 전원전압 DC5V-DC15V, 제어출력 80mA

범용선반인 (주)화천 WHPL380에 바이트와 회전자를 설치한 후 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이를 변화시킨다. 절삭속도는 inverter제어기를 사용하여 무단으로 속도를 변속하며 타코메타를 이용하여 주축의 회전수를 측정하였으며 이송속도는 선반의 심압대에 광전센서를 장착하여 왕복시 왕복대에 부착된 검출부를 검출함으로 알 수 있다. 주어진 절삭조건에 따라 수행된 가공에 의하여 나타나는 절삭력의 변화는 공구동력계를 통해 입수되고, 이 신호는 dynamic strain amplifier를 통해 증폭된다. Dynamic strain amplifier에서 증폭된 신호는 A/D converter를 통해 computer로 입수 되며, 절삭력을 측정 및 분석한다. 표면거칠기의 측정은 가공후 표면거칠기계인 surfptest 402로써 측정한다. 이렇게 측정된 절삭력의 변화와 표면거칠기를 통하여 절삭효율 및 절삭력과 절삭상태등의 관계를 알 수 있다. Table 1은 수행한 실험조건이다.

Table 1 Working conditions

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Bite
192 236 291 347 409	0.10 0.15	0.05	PCBNR 120408R12 P20
291 347 409	0.10 0.15 0.20	0.05	
347	0.10 0.15	0.05 0.10 0.15 0.20	

2-2 시편

본 연구에서는 규소강판을 적층시킨 후 아연을 die casting하여 만든 농형회전자와 규소강판을 적층시킨 후 알루미늄을 die casting하여 만든 농형회전자를 사용하였으며, 그 형상과 치수는 Fig.2와 같으며, Photo.2는 시편으로 사용된 농형회전자의 사진이다. 그리고 시편의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of test materials (S-60)

A) Chemical compositions

C	Mn	Si	P
0.01	0.33	0.4	0.06

B) Mechanical properties (L/R direction)

Yielding strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (H _v)
27/28	36/37	38/40	115

3. 실험결과 및 고찰

3-1 절삭속도의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향

농형회전자 절삭가공시 절삭속도의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SNGG 120408R12 KTP20 insert tip으로, 절삭속도 192, 236, 291, 347, 409m/min, 이송속도 0.10, 0.15mm/rev, 절삭깊이 0.05mm로 변화시켜서 실험한 후 절삭시 발생하는 절삭력과 표면거칠기를 측정하였다. Fig. 3은 절삭속도에 따른 주분력의 변화를 나타낸 그림이다. 절삭속도가 증가할수록 주분력은 감소함을 볼 수 있다. 알루미늄 die casting 회전자와 아연 die casting 회전자가 192, 236, 291m/min의 절삭속도 영역에서 아주 작은 주분력의 감소 변화를 보이고 있으며 347, 409m/min의 절삭속도 영역에서 주분력이 감소되고 있음을 알 수 있다. Fig. 4는 절삭속도에 따른 배분력의 변화를 나타낸 그림이다. 절삭속도가 증가할수록 배분력은 감소함을 볼 수 있다. 알루미늄 die casting 회전자와 아연 die casting 회전자가 192, 236m/min의 절삭속도 영역에서 배분력이 감소되고 347, 409m/min의 절삭속도 영역에서 다시 배분력이 감소되고 있음을 알 수 있다. Fig. 5는 절삭속도에 따른 표면거칠기의 변화를 나타낸 그림이다. 절삭속도가 증가할수록 표면거칠기 값은 감소함을 볼 수 있다. 알루미늄 die casting 회전자와 아연 die casting 회전자가 291m/min의 절삭속도 영역에서 표면거칠기 값이 감소되어 표면상태가 좋아짐을 알 수 있으나 291m/min이상의 347,

409m/min의 절삭속도 영역에서는 주목할 만한 변화는 없음을 알 수 있다. 그러므로 절삭속도의 변화에 따른 절삭력과 표면거칠기의 변화는 절삭속도가 192, 236m/min의 영역에서 보다는 291, 347, 409m/min의 영역에서 절삭력이 감소되며 표면거칠기가 양호함을 알 수 있다.

3-2 이송속도의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향

농형회전자 절삭가공시 이송속도의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SNGG 120408R12 KTP20 insert tip으로, 이송속도 0.10, 0.15, 0.20mm/rev, 절삭속도 291, 347, 409m/min 절삭깊이 0.05mm의 절삭조건으로 실험한 후 절삭시 발생하는 절삭력과 표면거칠기를 측정하였다. Fig.6은 이송속도에 따른 주분력의 변화를 나타낸 그림이다. 알루미늄 die casting한 회전자와 아연 die casting한 회전자가 이송속도 0.10, 0.15, 0.20mm/rev의 영역에서 이송속도가 증가할수록 주분력도 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. Fig. 7은 이송속도에 따른 배분력의 변화를 나타낸 그림이다. 이송속도가 증가할수록 배분력은 증가함을 볼 수 있다. 알루미늄 die casting한 회전자와 아연 die casting한 회전자가 0.1, 0.15, 0.20mm/rev의 이송속도로 증가할수록 배분력이 증가되고 있음을 알 수 있다. Fig. 8은 이송속도에 따른 표면거칠기의 변화를 나타낸 그림이다. 알루미늄 die casting한 회전자와 아연 die casting한 회전자가 이송속도 0.1, 0.15, 0.20mm/rev 영역으로 증가할수록 표면거칠기 값이 증가되어 표면상태가 나빠짐을 알 수 있다. 그러므로 이송속도의 변화에 따른 절삭력과 표면거칠기의 변화는 이송속도가 0.1, 0.15, 0.20mm/rev 영역으로 증가할수록 절삭력이 증가하고 표면거칠기가 나빠짐을 알 수 있다.

3-3 절삭깊이의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향

농형회전자 절삭가공시 절삭깊이의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SNGG 120408R12 KTP20 insert tip으로, 절삭깊이 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm, 절삭속도 347m/min 이송속도 0.10, 0.15mm/rev의 절삭조건으로 실험한 후 절삭시 발생하는 절삭력과 표면거칠기를 측정하였다. Fig.9는 절삭깊이에 따른 주분력의 변화를 나타낸 그림이다. 절삭깊이가 증가할수록 주분력이 증가함을 볼 수 있다. 알루미늄 die casting한 회전자와 아연 die casting한 회전자가 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm영역으로 절삭깊이가 증가할 때 주분력도 따라서 증가되고 있음을 알 수 있다. Fig. 10은 절삭깊이에 따른 배분력의 변화를 나타낸 그림이다. 알루미늄 die casting한 회전자와 아연 die casting한 회전자가 절삭깊이가 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm 영역으로 증가 될 수록 배분력도 증가되고 있음을 알 수 있다. Fig.

11은 절삭깊이에 따른 표면거칠기의 변화를 나타낸 그림이다. 절삭깊이가 증가할수록 표면거칠기 값이 증가되는 것을 볼 수 있다. 알루미늄 die casting한 회전자와 아연 die casting한 회전자가 0.10mm의 절삭깊이 영역에서 표면거칠기 값이 매우 크게 증가하고 있으며, 0.15, 0.20mm영역에서도 표면거칠기 값이 약간씩 증가되어 표면상태가 나빠짐을 알 수 있다. 그러므로 절삭깊이의 변화에 따른 절삭력과 표면거칠기의 변화는 절삭깊이가 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm영역으로 증가할 수록 절삭력이 증가하고 0.10mm 이상의 영역에서 표면거칠기 값이 증가함을 알 수 있다. 절삭깊이가 깊어질 수록 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. 그러므로 최적절삭 조건의 선정시 절삭깊이를 0.05mm로 작게 두는 것이 주분력과 배분력을 감소시켜 절삭효율을 높이며 가공면의 표면거칠기가 양호한 상태를 얻을 수 있다.

또한 절삭력의 평가에 있어서 일반강의 경우 주분력 : 배분력 : 이송분력의 비가 10 : 2-4 : 1-2인 반면 본 실험에 사용한 농형회전자 가공시 주 분력 : 배분력 : 이송분력의 비는 약 10 : 5-7 : 0-2로써 배분력이 일반강보다 다소 큼을 알 수 있다. 이것은 농형회전자가 적층된 규소강판에 아연이나 알루미늄을 die casting한 구조로 절삭가공시 난삭성을 보이며 돌발적인 공구의 마멸이나 파손을 유발시키기 때문이다. 이러한 배분력의 증가는 공구의 프론트레이크 면에 플레이킹을 유발시킬 수 있다. 그러므로 복합재료인 농형 회전자를 가공할 때 3분력중 배분력을 고려하여 가공하여야 함을 의미한다. Fig. 12는 3분력의 변화를 나타내었다.

4. 결론

농형회전자 가공시 절삭조건의 변화가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험적인 방법을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 농형회전자 절삭가공시 절삭속도가 291m/min에서부터 표면거칠기가 좋아지고 그 이상의 절삭속도에서는 변화가 적고, 주분력 및 배분력은 291m/min이상에서 점차 감소됨으로 생산성과 품질의 향상을 위하여 절삭속도를 291m/min으로 설정하는 것이 바람직하다.

2. 농형회전자 절삭가공시 이송속도가 0.10, 0.15, 0.20mm/rev영역으로 증가할 수록 주분력, 배분력이 증가되고 표면거칠기 값이 커짐을 알 수 있다. 그러므로 이송속도는 0.1mm/rev로 선정한다.

3. 농형 회전자 절삭가공시 절삭깊이가 0.10mm이상의 영역부터 주분력 및 배분력이 증가하고 표면거칠기 값이 증가하고 있으므로 0.05mm로 설정한다.

4. 농형회전자는 적층된 규소강판에 아연이나 알루미늄을 die casting하여 절삭가공시 난삭성을 보이므로 공구의 파손이나 frontrake면의 마멸을 촉진시켜 일반강보다 배분력이 증가됨을 보이고 있다. 그러므로 농형회전자를 가공할 때 3분력중 배분력을 고려하여 가공하여야 한다.

5. 농형회전자 절삭가공시 생산성과 제품의 품질 향상을 위한 최적절삭조건을 선정할 때 절삭속도는 347m/min, 이송속도는 0.10mm/rev, 절삭깊이는 0.05mm로 설정하는 것이 바람직 하리라 생각된다.

참고문헌

1. N.H.Cook, Tool wear and tool life, ASME, Vol.95, Nov. 1973, pp.931-938
2. K.Weinert, A consideration of tool wear mechanism when machining metal matrix composites, CIRP, Vol.42, Jan. 1993, pp.95-98
3. M.Shiraishi, S.Sato, Dimensional and surface roughness controls in a turning operation, ASME, Vol.112, Feb. 1990, pp.78-83
4. Kasuo Nakayama, Machining characteristics of Hard materials, CIRP, Vol.37, Jan. 1988, pp.89-92
5. S.Sawai, I.Ichiro, Identification of chip form in turning process, JSME, Series, Vol.34, No.4, 1991, pp.553-560
6. D.A.Stephensen, Material characterization for metal-cutting force modeling, ASME, Vol.111, Apr. 1989, pp.210-219
7. A.B.Husein, M.F.Devries, S.M.Wu, Analysis of force components in bar turning, ASME, Nov. 1973, pp. 960-964
8. M.Masuda, K.Kuroshima, S.Manabe, Machinability of sintered carbon, JSPE, Vol.53, Dec. 1987, pp.114-120
9. S. Enomoto, M.Kato, Cutting characteristic of CBN cutting tools in turning, JSPE, Vol.53, Aug. 1989, pp.119-124

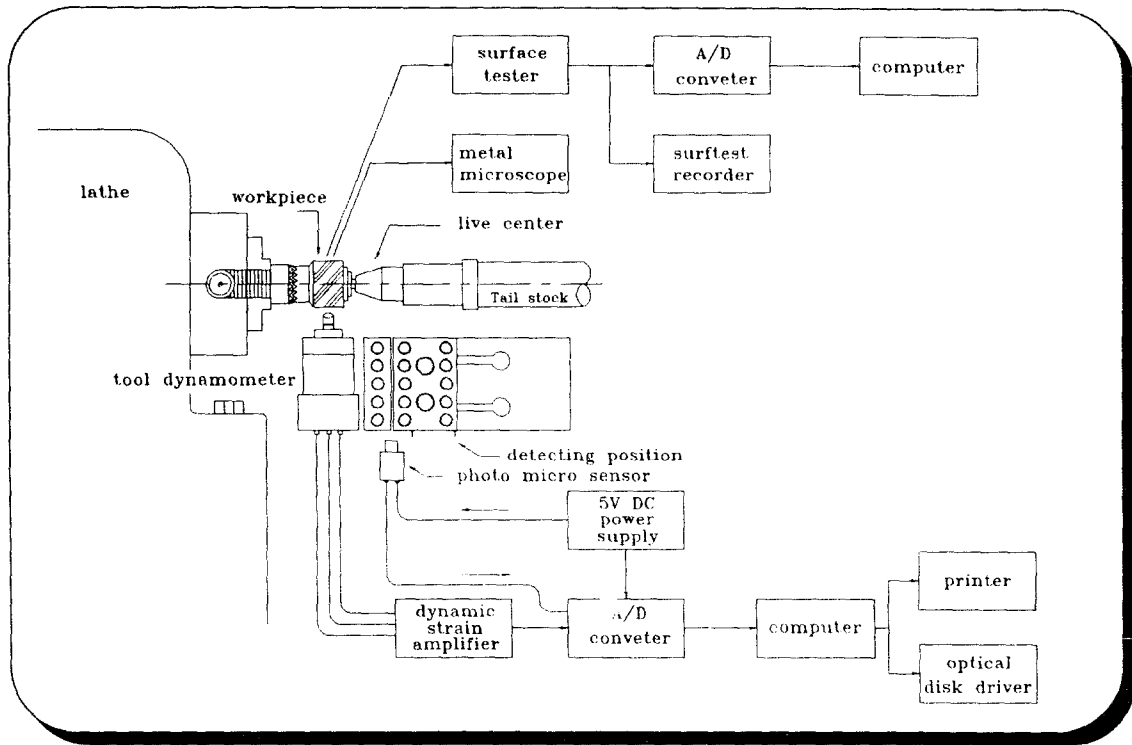


Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment



Photo.1 Layout of measuring system

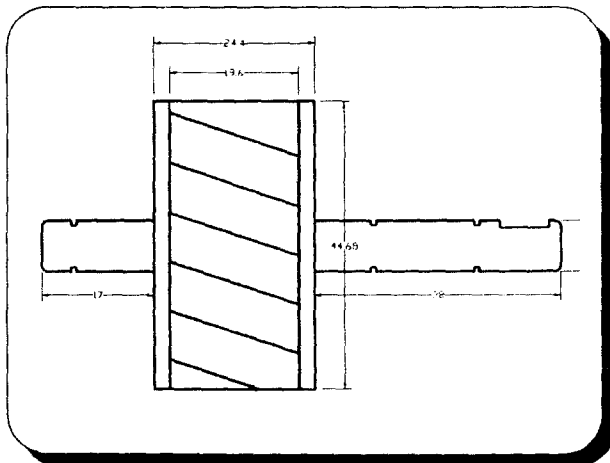


Fig.2 Dimension of the test specimen

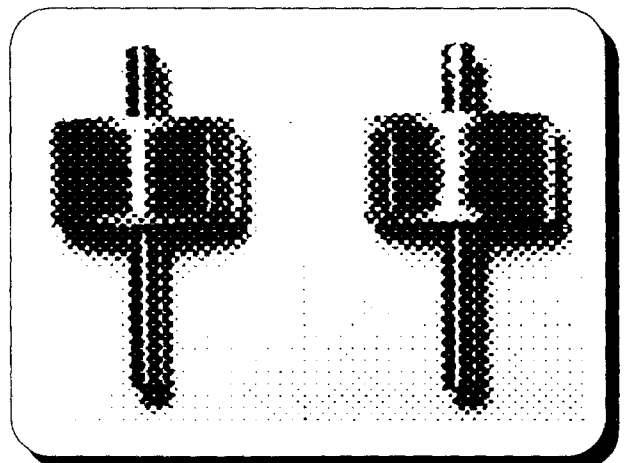


Photo.2 Configuration of the test specimen

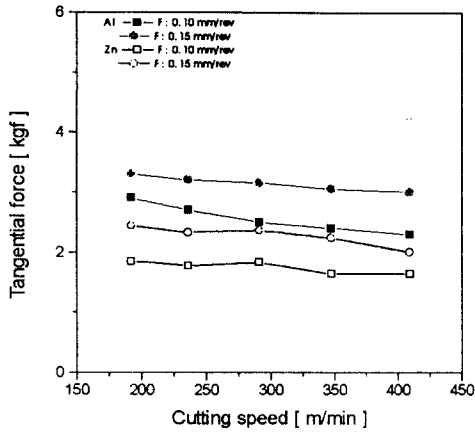


Fig.3 Cutting speed vs. tangential force

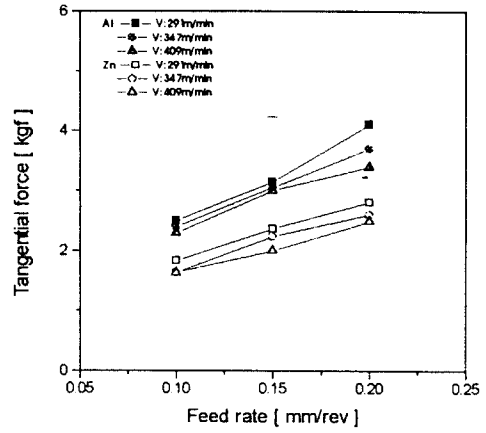


Fig.6 Feed rate vs. tangential force

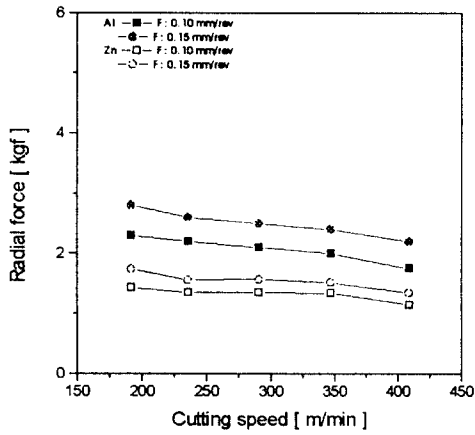


Fig.4 Cutting speed vs. radial force

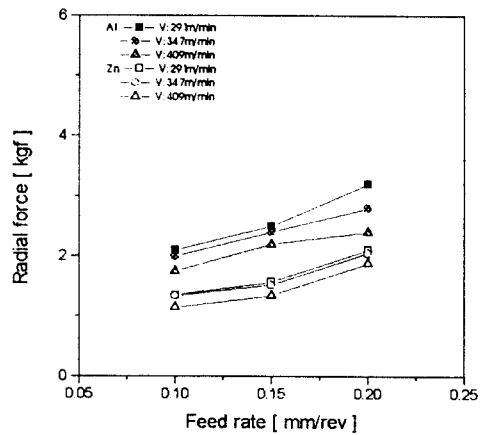


Fig.7 Feed rate vs. radial force

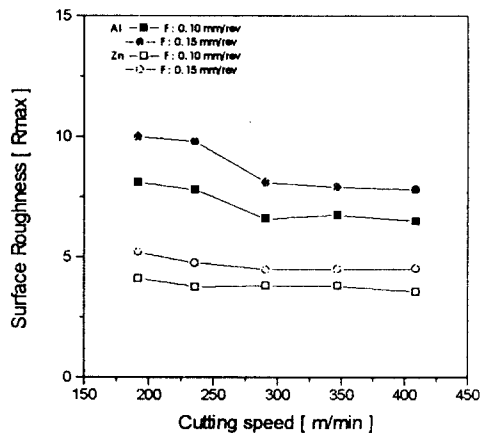


Fig.5 Cutting speed vs. surface roughness

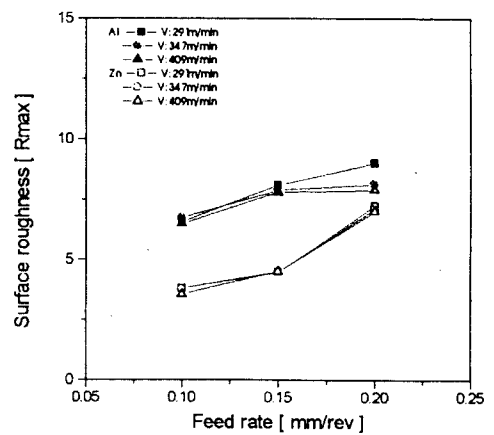


Fig.8 Feed rate vs. surface roughness

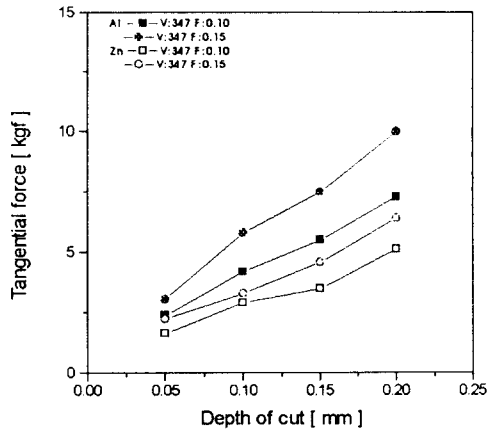


Fig.9 Depth of cut vs. tangential force

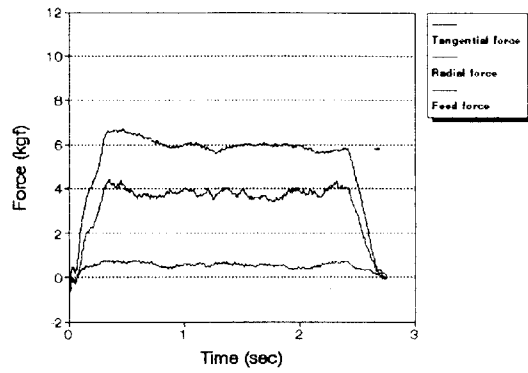


Fig.12 Force components (cutting speed : 347m/min, feed rate : 0.2mm/rev, depth of cut : 0.15mm)

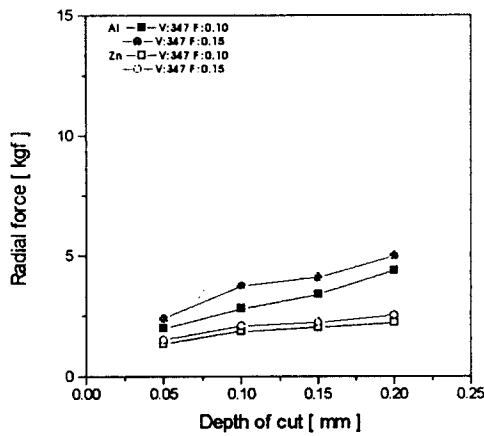


Fig.10 Depth of cut vs. radial force

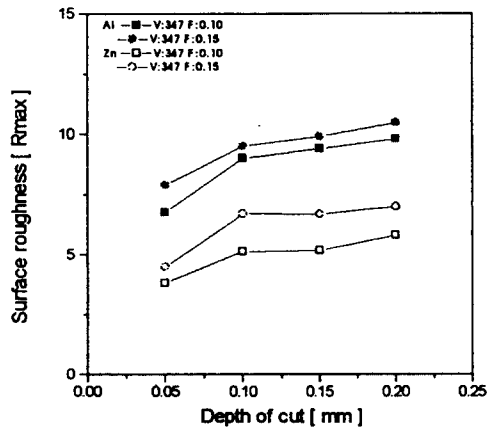


Fig.11 Depth of cut vs. surface roughness