

## 에폭시 수지의 절삭가공시 표면거칠기에 관한 연구

김 회 남\*, 김 순 채\*\*  
( 명지대 ) ( 명지대학원 )

### ( Study on the Surface Roughness of the Epoxy resins )

Hee-Nam Kim\*, Soon-Chae Kim\*\*

#### Abstract

The mechanism for cutting epoxy resins specimens, which were specially provided, was experimentally investigated to obtain a fine surface finish. The specimens were cut the three -dimensional under dry conditions using a lathe.

The relationship between the topography of the cut surface due to the change rate of temperature of the cutting condition using sintered carbides ( P20, K10, KT150) was investigated. The main results obtained are as follows :

- 1) The change rate of temperature of the cutting edge is increased in nearly proportion to cutting speed, feed rate, depth of cut.
- 2) The profile of surface roughness were regulated K10 but irregular P20, KT150.
- 3) The surface roughness value decreased K10 rather than P20, KT150.
- 4) The cutting resistance increased thrust force rather than cutting force due to the visco-elastic material of epoxy resins.

Key word : Epoxy Resins ( 에폭시 레진 ), Change Rate of Temperature ( 온도변화율 ), Cut Surface ( 절삭표면 ),  
Visco-Elastic material ( 점탄성물질 )

#### 1. 서 론

에폭시 수지는 전기, 기계, 화학, 토목, 건축 등의 전반에 걸쳐서 그 실용성이 입증되고 있으며 또한, 고급복합재료의 다양한 물성 요구를 충족할 수 있는 가장 일반적인 매트릭스이며 우수한 접착성과 강도, 낮은 수축성, 내마모성, 가공의 다양성 등의 여러가지 특성들 때문에 주요한 재료로 취급되고 있다. 폴리에스텔보다 가격이 비싸며 포리아미드 만큼 고온에서 잘 견디는 특성은 없지만 대부분의

물성은 우수하다. 고급복합재료에 에폭시수지가 광범위하게 이용되고 있는 가장 큰 이유는 종류가 다양하고 경화제도 성능이나 경화속도 등이 상업적으로 경제성이 있기 때문이다. 고성능 항공기에는 섬유에 수지가 침투되어 있는 프리프레그라 불리는 재료를 사용하는데 이러한 프리프레그는 에폭시 수지와 경화제를 이용하여 쉽게 제조할 수 있으며 저온에서 반응성이 없고 120℃~350℃의 온도에서 경화되며 고온에서 경화가 빠르게 일어날 수 있는 물성을 가지고 있어 사용이 간편하다. 이와 같이 에폭시 수지는 복합재료의 매트릭스로서 그라스나 카본, 금속과 결합시 재료 내의 하중을 전달하는 역할을 하므로 본 논문에서는 GFRP를 절삭하기 전 성형한 에폭시 수지의 절

\* 명지대학교 기계공학과

\*\* 명지대학교 대학원 기계공학과

삭가공을 수행하며 그라스가 절삭 특성에 미치는 영향을 비교하여 난삭성인 GFRP 재를 절삭가공시 절삭조건을 파악하므로써 일반 금속재료에 비해 급격한 공구마모, 가공면의 거칠기, 재료의 기계적성질 저하등을 개선으로 CNC화에 따른 다품종 소량생산 체제에서의 생산효율을 향상시키고 원가절감을 최대화 하는데 그 목적이 있다.

Hasegawa et al[1]는 그라스비즈 강화 폴리에스테르 수지 절삭시 공구마모를 연구하여 초경합금중에서는 K종이 특히 내마모성이 크고, 또한 WC+Co 초경합금의 경우, Co의 함유량이 높으면 공구마모가 크다고 하였으며, Sakuma[2]는 강화 프라스틱(GFRP) 절삭에 있어서 매트릭스인 에폭시 레진을 결합하여 섬유배열방향과 공구마모와의 관계를 연구하여 left hand winding의 절삭의 경우 그라스 섬유의 파단이 인장에 의한 것이 많기 때문에 저항치가 크고, right hand winding 절삭의 경우 섬유의 파단이 주로 전단에 기인하기 때문에 저항이 작고 GFRP의 절삭에 있어서 주분력에 비해 배분력의 역할이 크며 특히 좌권층재의 절삭에 있어서 주분력보다 배분력이 크다고 하였다.

Inoue 와 Ido[3]에 의하면 섬유강화경질 염화비닐수지(FRPVC)를 절삭시 절삭속도가 증가하면서 표면거칠기가 증가하지만 1400m/min 이하에서는 감소를 하며 저속에서는 수지의 일부가 돌출을 하지만 고속에서는 절삭열에 따라 모재의 수지가 연화되어 그라스에 포함된다고 하였으며, Inoue et al[4]는 일방향 GFRP 재를 절삭가공한 경우의 가공표면에 대한 섬유방향 연구에서 섬유방향과 그라스방향과의 상대적인 관계가 가공면에 영향을 미친다고 하였다.

따라서 지금까지 복합재료의 연구는 매트릭스에 의한 것보다도 섬유에서 발생하는 공구마모나 공구수명에 대해 표면형상을 비교하여 논의를 하였지만, 본 논문에서는 에폭시 수지를 성형한 후 절삭하여 그라스가 함유된 GFRP의 최적 절삭조건을 찾고자 한다.

## 2. 에폭시 수지의 제특성

복합 재료중에서 섬유강화 복합재료인 GFRP는 다층구조

(angle-ply)이며 라미네이트의 형태이다. 에폭시 수지는 강도, 내약품성, 전기적 성질, 다양성, 피로강도, 접착성이 매우 우수하며 열경화성 수지로서 모든분자 사이에 교차된 연결이나 망조적을 가지고 있으며 특성은 반결정인 폴리머가 그라스 전달온도의 결정융점  $T_m$  일 때 비결정질 상태에서 그라스의 전달온도  $T_g$ 에 의해 특성화 된다 Fig. 1에서 비교하면 비결정인 폴리머는 온도에 대한 비체적이 완만하게 변화하고 있으나 반결정인 폴리머는 용융 온도에서 비체적이 변화하는 것을 알 수가 있다.

Fig. 2는 온도와 탄성계수 거동의 관계를 나타내고 있는 것으로 (a)는 열가소성 폴리머로서 온도에 따른 탄성계수 변화가 크고 온도의 증가에 따라서 탄성력이 존재하지만 (b)는 열경화성 폴리머로서 온도의 변화에 따른 탄성계수 변화가 작고 교차연결 상태이기 때문에 그라스의 전달온도에서 많은 감소를 가지지만 전달온도  $T_g$  보다는 낮고 온도와 변형율에 대해서 영향을 받지 않으며, 그 관계를 Fig. 3의 열경화성 폴리머 ①, ②, ③를 보면 응력에 따른 변형율이 미소한 변화를 갖지만 열가소성 폴리머 ④, ⑤는 변형율 변화가 크다는 것을 알 수 있으며 환경에 대해서도 중요한 영향을 주며 습기 흡수는 물의 상대습도가 100% 이거나 잠겨 있는 상태에서 흡수력은 최대 4-5%이다.

또한, 에폭시 수지는 폴리 에스테르처럼 상온에서 제조를 하지만 화학적 반응에 따라 큰 변화를 가지며 폴리 에스테르 보다 섬유와 폭넓은 접착성, 내습성, 내화학성이 우수하며 Table 1은 23℃에서 에폭시 수지의 특성을 보여주고 있다.

Table 1 Typical properties of cast epoxy resins ( at 23 ℃ )

Density ( g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength ( Mpa )	Tensile modulus Gpa	Thermal expansion ( 10 <sup>-6</sup> /℃ )	Water absorption
1.2-1.3	55-130	2.75-4.10	45-65	0.08-0.15

## 3. 실험장치와 방법

실험은 GFRP의 매트릭스인 에폭시 수지를 성형한후

절삭실험을 하여 화이트 재종에 따른 절삭표면을 온도, 절삭속도, 이송속도, 절삭력, 절입깊이에 따라 엑폭시 수지의 표면거칠기를 측정을 하였다.

### 3.1 피삭재와 화이트재종

피삭재는 열경화성인 엑폭시 수지를 주재, 경화재, 촉진제의 비율을 100/85/1-3 로 혼합한후 혼합장치에서 모타를 정역회전하며 충분히 혼합한 후 성형 틀에 가득 채운 다음 진동장치에서 진동을 주어 내부의 기공을 상승시킨 후 진공장치에서 액체 위에 생성된 기공들을 제거하였다. 경화조건은 100 ℃에서 2 시간, 120 ℃에서 2 시간, 150 ℃에서 1 시간 동안 경화를 시킨 다음 일정한 시간이 지난 후 성형틀을 제거한 다음  $\phi$  40x 120 mm으로 시편을 제작하여 양센터 작업을 하였다.

화이트는 대한중석에서 생산한 초경합금재종인 P20, K10 과 코팅재종인 KT150 을 사용하였으며 노이즈반경은 0.8 mm이며 공구홀더는 CSDPN 2020K 12 를 사용하여 절삭날 부분에 K 계열인 열전대를 절삭날에서 1mm 거리에 삽입하여 온도변화를 측정하고 절삭조건에 따른 온도의 영향을 비교하였다.

### 3.2 실험장치와 데이터 처리

실험장치는 Fig. 4 와 같이 구성하여 공구 동력계에서 측정된 절삭력은 스트레인 증폭기에서 증폭하여 저역필타를 통과 시킨 후 다시 2 차 증폭을 시켜 A/D 컨버터를 거친 다음 Turbolab 소프트웨어로 데이터 샘플링을 1 kHz로 분석을 하였다.

온도는 K 계열인 열전대를 사용하여 온도 제어기에서 증폭한 다음 2 차 증폭을 분석하고 실험전 온도를 균일하게 하기 위해서 2 개의 열전대를 화이트에 삽입하여 하나는 열기전력을 다른 하나는 화이트의 현재온도를 측정하였다. 가속도계는 절삭가공시 진폭을 측정하여 절삭가공시 진동현상이 표면거칠기에 미치는 영향을 분석을 하였으며 데이터 처리의 정확성을 얻기 위해 실험장치에 접지를 하여 외부 노이즈를 최소화 하였다.

표면거칠기 측정은 Fig. 5 와 같이 Mitudoyo 사의 SV-600 모

델의 표면거칠기 측정장치를 사용하여 시편을 자동수평장치에서 위치를 보정한 다음 측정하고자 하는 근접한 위치에 놓아두면 임의로 측정부위를 찾아서 예비측정을 하며 두번째는 앞에서 행한 위치를 보정하여 측정 데이터를 받아 저역필타링을 거쳐 A/D 컨버터에서 변환한 다음 Surfpak 소프트웨어를 사용하여 Rmax 와 Ra 를 측정하였다.

### 3.3 실험조건

실험조건은 화이트 재종 P20, K10, KT150 으로 공구홀더 CSDPN 2020K 12 를 사용하여 절삭속도 100, 200, 300m/min 과 이송량을 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm/rev 그리고 절입을 0.5, 1mm 로 하여 양 센터작업으로 건식절삭을 행하여 엑폭시 수지의 절삭시 절삭특성을 찾고자 하였으며 절삭조건은 Table 2 와 같다.

Table 2 Experimental condition

Cutting velocity (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Tool
100	0.05	0.5	K10
200	0.10	1	P20
300	0.15		KT150
	0.20		

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 절삭표면의 관찰

엑폭시 수지의 절삭표면을 관찰하기 위해 이송방향의 표면형상을 축침식 측정기를 이용하여 표면형상을 표준시편과 비교하면 다음과 같다.

Fig. 6 은 축침식 표면거칠기 측정장치의 표준시편으로 Rmax 가 9.5  $\mu$ m이며 Fig. 7 은 엑폭시 수지의 절삭표면의 형상을 나타내며 그림에서 엑폭시 수지가 절삭되지 않은 부분과 절삭하면서 균열되어 골이 불규칙한 상태로 나타난다.

그러므로 엑폭시 수지의 절삭표면은 산과 골의 형상이 규칙성을 갖지않고 절삭열에 의한 경화와 취성으로 인한 균열이 발생되고 있다.

#### 4.2 절삭온도의 변화와 표면거칠기

· 절삭온도의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향을 고찰하기 위해 절삭속도가 일정하고 이송속도가 증가하는 경우의 바이트 재종별로 비교하고 절삭속도가 100m/min, 이송량이 0.1mm/rev, 절입이 0.5mm 일 때의 바이트 재종별로 절삭온도의 변화율과 표면거칠기 Rmax 를 분석하였다. Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 은 절삭길이가 8.5m, 17m, 25m 이고 절입이 0.5mm 일 때 이송량의 증가에 따른 온도변화율을 바이트 재종별로 비교한 것으로 P20 은 절삭길이가 8.5m 일 때 K10 과 KT150 보다 온도변화율이 높았지만 절삭길이가 증가함에 따라 K10 의 온도변화율이 증가하는 것을 알 수 있으며 이송량이 증가하면 온도변화율이 일정하게 상승하지만 Fig. 9 에서는 이송속도가 0.2mm/rev 일 때는 P20, K10, KT150 의 온도변화율이 유사한 것은 알 수 있었다.

Fig. 10 은 절삭길이가 25m 일때는 KT150 공구가 온도변화율이 불안정하게 변화를 하지만 온도변화율은 절삭길이가 증가하고 이송속도가 빠르면 상승한다.

본 실험에서의 온도측정은 인선으로 부터 1mm 의 떨어진 곳에서 측정을 하였기 때문에 온도변화율이 높으면 절삭날 부분이 열전달로 인해 온도가 낮아진다. 즉, K10 공구가 열전달을 빠르게 하여 절삭날의 온도 상승을 감소시키는 것을 알 수 있다.

Fig. 11 ~Fig. 16 는 P20, K10, KT150 공구의 절삭시간이 증가에 따른 온도 변화율과 표면거칠기를 살펴보면 K10 공구가 열전달이 빠르고 시간이 흐름에 따라 완만하게 변화하고 있으며 표면거칠기를 비교해도 K10 공구가 가장 좋고, KT150 이 가장 거칠은 것을 알 수 있다. 또한, 표면형상을 비교하면 K10 은 산과 골이 규칙성을 가지고 있지만 P20 과 KT150 은 불규칙한 형상을 보인다.

Fig. 1 에서 열가소성 수지는 온도에 대한 비체적이 완만하게 변화하지만 반결정인 에폭시 수지는 용융온도에서 비체적이 변화하므로 열전달이 되지않고 절삭중에 경화가 되어 절삭날로 인한 균열을 일으킨다.

따라서 공구중에서 K10 공구가 인선의 온도를 억제하여 경화온도가 낮으므로 절삭표면의 표면거칠기를 향상시킨

다.

Fig. 17, fig. 18 은 이송속도의 증가에 따른 온도변화율을 절입이 1mm 이고 절삭길이가 8.5m, 25m 일 때를 보여주며 그림에서 절삭길이가 8.5m 인 경우는 K10 이 가장 낮지만 절삭길이가 25m 인 경우는 상승하며 P20 공구는 절삭길이가 8.5m 인 경우가 가장 높고 안정되지만 절삭길이가 증가하면 불안정한 상태를 보여준다.

즉, 이송량이 0.15mm/rev 인 경우가 P20, K10, KT150 의 온도 변화율이 가장 높으며 이송량이 0.2mm/rev 로 증가하면 낮아짐을 알 수가 있다.

#### 4.3 바이트 재종과 절삭력

P20, K10, KT150 의 바이트 재종을 절삭속도의 증가에 따라 주분력과 배분력을 관찰하여 이송속도에 따른 공구의 절삭력을 분석한다.

Fig. 19, Fig. 20 은 P20 공구의 주분력과 배분력을 나타내고 절삭속도의 증가에 따라 완만하게 변화하지만 절삭속도 200m/min 에서는 이송속도의 영향을 받으며 주분력 보다 배분력이 약 2 배정도 크다.

Fig. 21, Fig. 22 는 K10 공구의 주분력과 배분력의 변화를 살펴보면 절삭속도가 증가하면 P20 공구와 비슷하지만 절삭력은 더 감소를 하고 절삭속도가 300m/min 에서 이송량에 따른 변화가 크지만 이송량의 증가에 따라 절삭력은 커진다.

Fig. 23, Fig. 24 는 KT150 공구의 주분력과 배분력을 나타내며 주분력은 절삭속도 증가에 따라 비례적으로 상승을 하나 이송속도가 0.2mm/rev 인 경우는 절삭속도가 300m/min 에서 0.15mm/rev 에서 보다 작으며 배분력은 이송속도가 0.1mm/rev 인 경우가 절삭속도의 증가로 인한 절삭력이 상승하였다.

따라서 Fig.19~Fig.24 의 주분력과 배분력의 절삭력을 비교하면 P20, K10, KT150 이 거의 큰 변화는 없지만 P20 공구가 절삭속도와 이송량의 증가에 따라 안정된 변화를 보이고 있다.

#### 4.4 바이트 재종과 표면거칠기

바이트 재종이 표면거칠기에 미치는 영향을 고찰하고 저 절삭속도, 이송량, 절입이 일정할 때 바이트 재종별 표면거칠기를 비교하고 이송량과 절입이 일정할 때 바이트 재종별 절삭속도의 증가량과 표면거칠기를 분석하면 다음과 같다.

Fig. 25 는 절삭속도가 100m/min, 이송량이 0.1mm/rev, 절입이 1mm 일 때 바이트 재종별 표면거칠기를 비교하면 KT150 공구가 Rmax 가 가장크며 절삭시 온도 상승율이 높고 열전달이 느리므로 순간적으로 경화현상을 일으키지만 K10 공구는 Rmax 의 값이 3 μm로서 열 경화에 의한 균열이 작다. 이런 현상은 앞에서 언급을 했듯이 절삭속도가 100m/min 일 때 K10 공구가 절삭날 부분의 온도 상승율이 가장 낮았다.

Fig. 26~Fig. 28 은 이송량이 0.15mm/rev, 절입 0.5mm 일 때 절삭속도별 P20, K10, KT150 의 표면거칠기를 측정한 것으로 Fig. 26 의 P20 공구는 절삭속도가 증가에 따라 표면거칠기가 작지만 표면형상이 일정하지 않고 불규칙한 산과 골이 나타난다.

표면균열 현상은 절삭속도가 증가할 수록 균열이 증가하며 Fig. 27 의 K10 공구의 표면거칠기를 보면 산과 골이 규칙적이며 Rmax 는 절삭속도가 증가에 따라 거의 변화는 없었지만 표면형상이 고속일 수록 날카롭게 나타나고 P20 공구에 비해 산의 모양이 주기적으로 발생한다.

Fig. 28 은 KT150 공구의 표면거칠기이며 P20, K10 보다 KT150 이 더 거칠며 절삭속도가 100m/min 일 때가 가장 나쁘고 200m/min 경우가 가장 양호 하였으며 산의 형상이 불규칙한 주기를 가지고 나타난다.

## 5. 결 론

에폭시 수지를 성형한 후 절삭조건에 따라 실험을 수행하여 온도변화율과 절삭력이 절삭표면의 표면거칠기에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공구인선의 온도변화율은 K10 공구가 가장 좋고 P20, KT150 은 인선의 온도를 상승 시킨다.
2. 절삭표면 형상은 K10 공구가 산과 골이 규칙성을 보이지만 P20, KT150 은 불규칙적으로 나타난다.

3. 절삭력은 P20, K10, KT150 이 절삭속도에 따라 유사하지만 P20 이 절삭속도의 증가에 따라 안정된 변화를 보인다.
4. 절삭력은 에폭시 수지의 점탄성 때문에 배분력이 주분력보다 크게 변한다.
5. 표면거칠기 값은 K10 공구가 가장 작고 KT150 이 가장 크다.

## 참고문헌

- [1] Y. Hasegawa, S. Hanasaki and M. Nishikimi : Tool Wear in Cutting Glass Beads Reinforced Polyester Resin. J.S.M.E, Vol. 51, No. 02, P. 415.
- [2] Sakuma, K., and Seto, M : Tool Wear in Cutting Glass-fiber reinforced plastics, JSME, Vol. 26. No. 218 , P. 1420, 1989.
- [3] H. Inoue and M. Ido : Study of the Cutting Glass Fibre Reinforced Polyvinyl Chloride, J.S.M.E, Vol.40, No.12, PP1035-1041. (1974)
- [4] H. Inoue, T. Yuge and I. Kawaguchi : Effect of Fiber direction on the Cut Surface Finish of Unidirectional Glass Fiber Reinforced Plastics, J. Soc. Mat. Sci, Vol. 41, No. 464, P.618.
- [5] H. Inoue and T. Yuge : Study on the Surface Finish after Cutting Glass Fibre- Reinforced Plastics , Elsevier Science B.V and The Society of Materials Science, Japan. Ch.13, PP261-274 (1994).
- [6] Charles A. Harper : Handbook of Plastic, Elastomers and Composites, McGraw-Hill INC.(2nd ed) (1992).
- [7] 김 계용외 4 인, 최신프라스틱 성형기술(F), 산업연구원, (1990).
- [8] 안 태완외 1 인, 고분자 합성요론, 대광문화사, (1986)
- [9] 우 복균외, 최신프라스틱 재료, 대광서림. ( 1980 )
- [10] 김 일수의 4 인, 화공재료, 형설출판사, ( 1996 )
- [11] T. V. Vorburger, Stylus Flight in Surface Profiling, Transaction of the A.S.M.E, Vol. 118, No. 5, PP 188-198. ( 1996 )

[12] W. König, L. Cronjager, G. Spur, H.K. Tonshoff, M. Vigneau, W. J. Zdeblick : Maching of New Materials. CIRP. Vol.39, No.2 (1990). P.673.

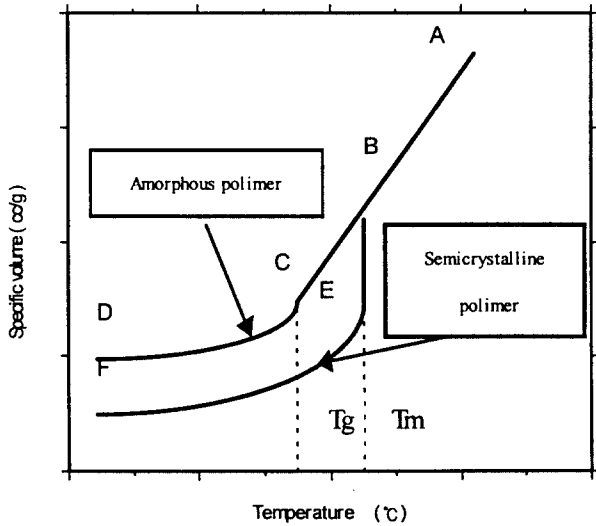


Fig. 1 Specific volume versus temperature behavior of amorphous and semicrystalline polymers.

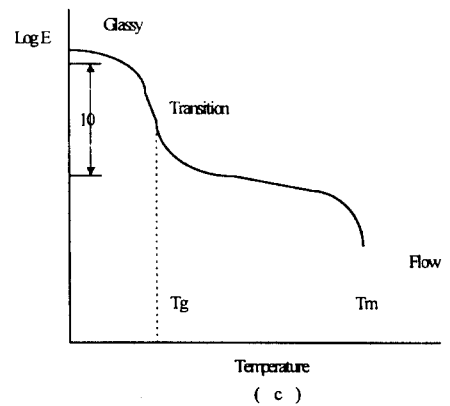
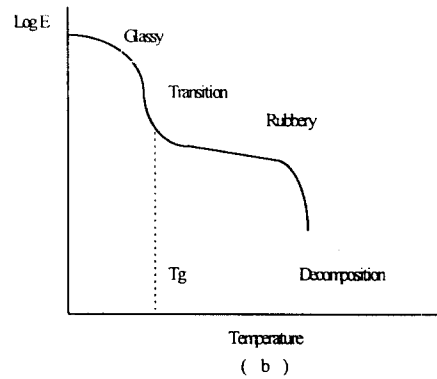
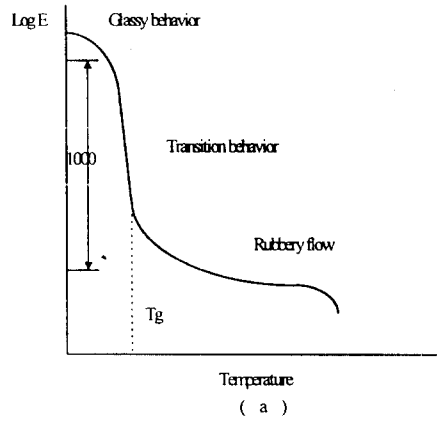


Fig. 2 Variation of elastic modulus of polymers with temperature : (a) thermoplastic, amorphous ( high molecular weight or lightly crosslinked) ; (b) thermoset, highly crosslinked ; (c) semicrystalline.

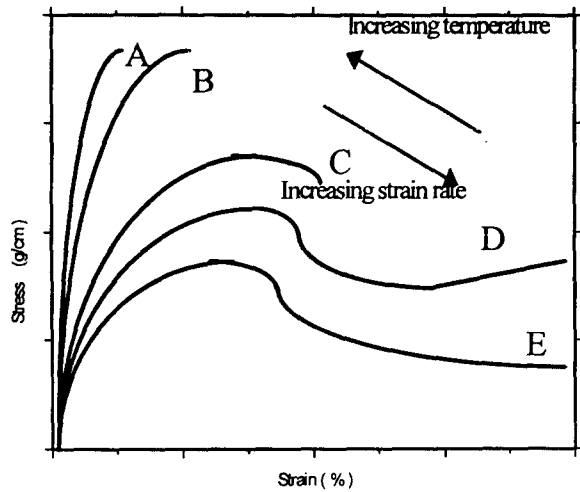


Fig. 3 Typical tensile stress-strain curves of a thermoplastic showing effect of strain rate and temperature

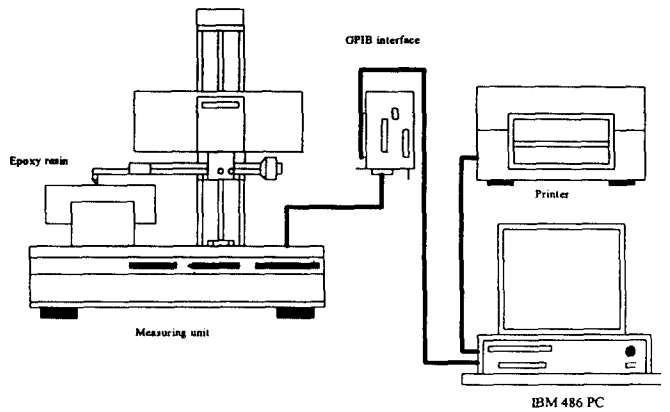


Fig. 5 Schematic of the surface roughness tester set-up.

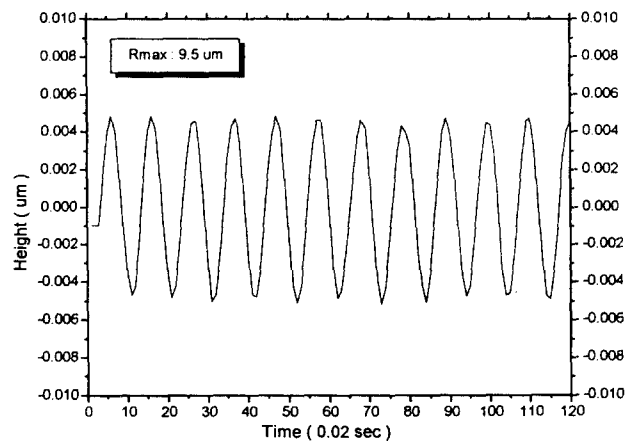


Fig. 6 Typical variation of standard specimen

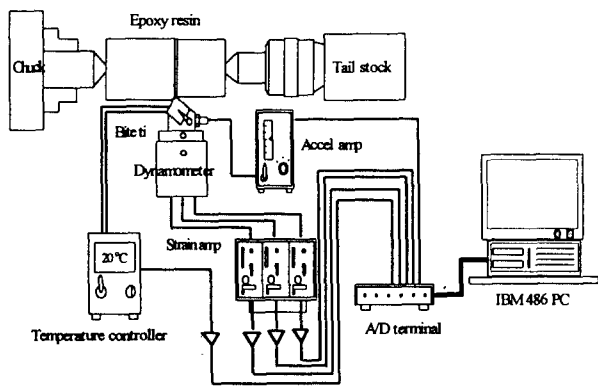


Fig. 4 Schematic of the machine set-up.

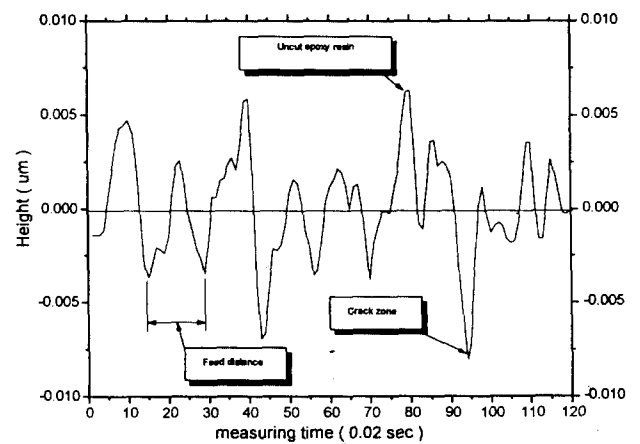


Fig. 7 Surface topography during machining of epoxy resins )

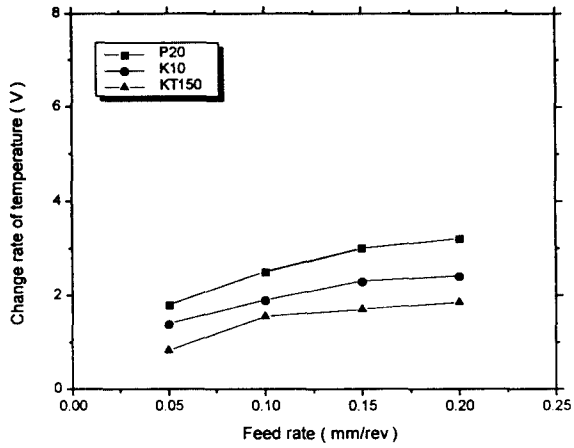


Fig. 8 Typical variation of cutting temperature during machining of Epoxy resin ( cutting length : 8.5m, depth of cut : 0.5mm )

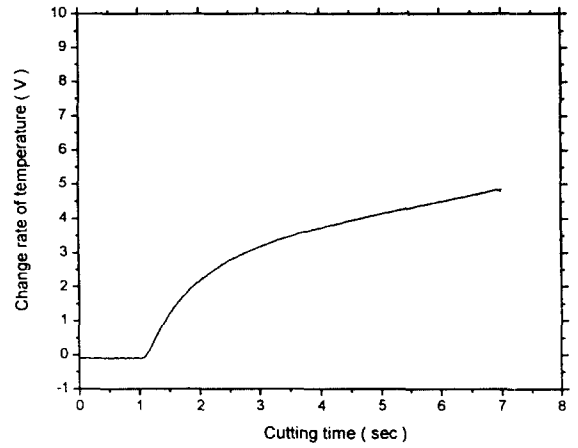


Fig. 11 Typical variation of cutting temperature : Epoxy resin/P20 ( V : 300 m/min, f : 0.10 mm, t : 0.5 mm )

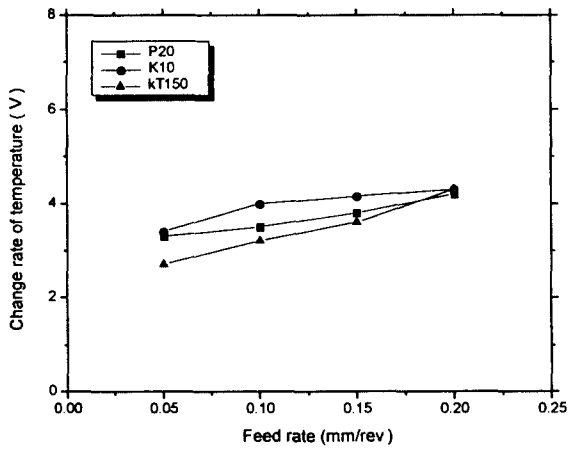


Fig. 9 Typical variation of cutting temperature during machining of Epoxy resin ( cutting length : 17m, depth of cut : 0.5 mm )

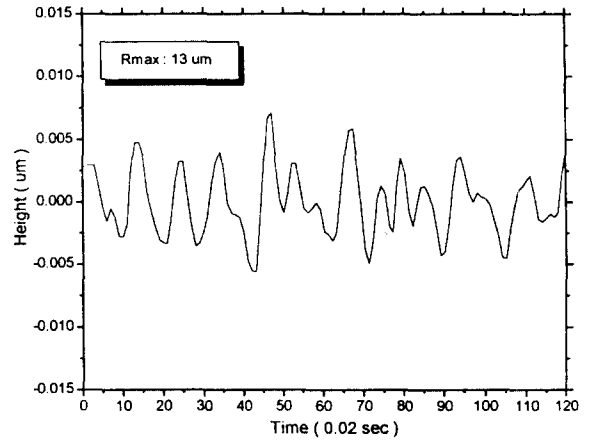


Fig. 12 Typical variation of surface topography : Epoxy resin/P20 ( V : 300 m/min, f : 0.1 mm/rev, t : 0.5 mm )

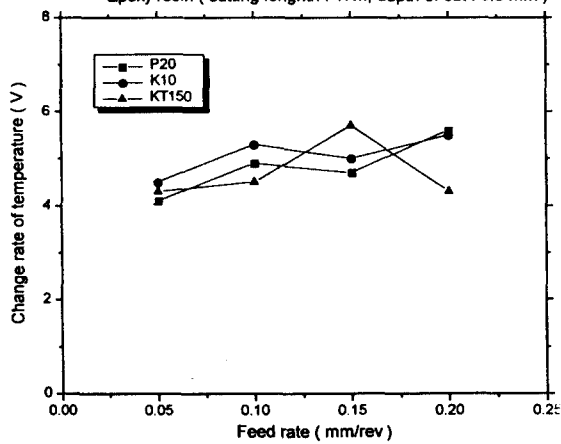


Fig. 10 Typical variation of cutting temperature during machining of Epoxy resin ( cutting length : 25m, depth of cut : 0.5mm )

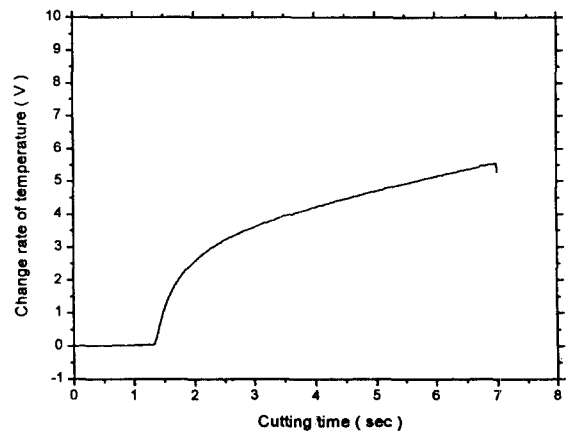


Fig. 13 Typical variation of cutting temperature : Epoxy resin/K10 ( V : 300 m/min, f : 0.10 mm, t : 0.5 mm )



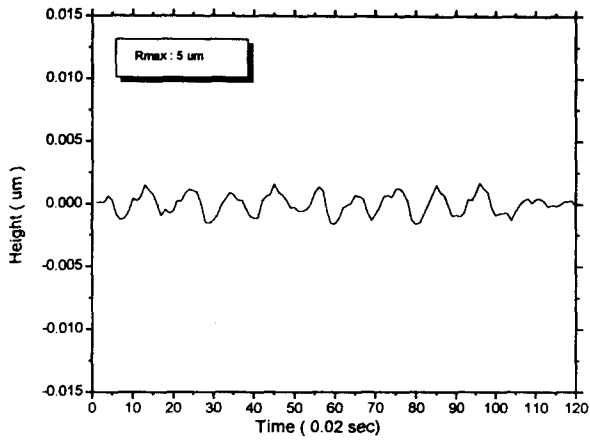


Fig. 14 Typical variation of surface topography : Epoxy resin/K10  
( V : 300 m/min, f : 0.10 mm/rev, t : 0.5 mm )

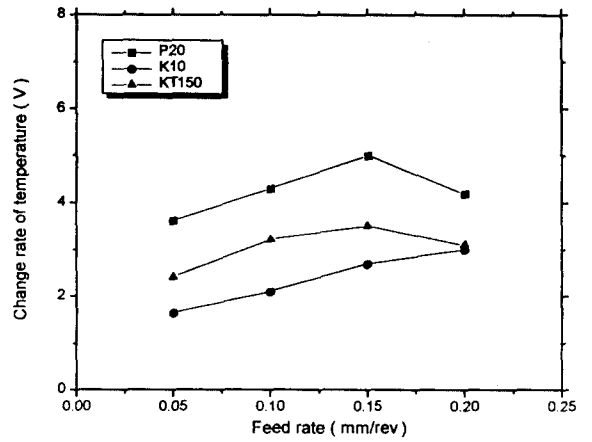


Fig.17 Typical variation of cutting temperature during machining of Epoxy resin ( cutting lengthh : 8.5m, depth of cut : 1mm )

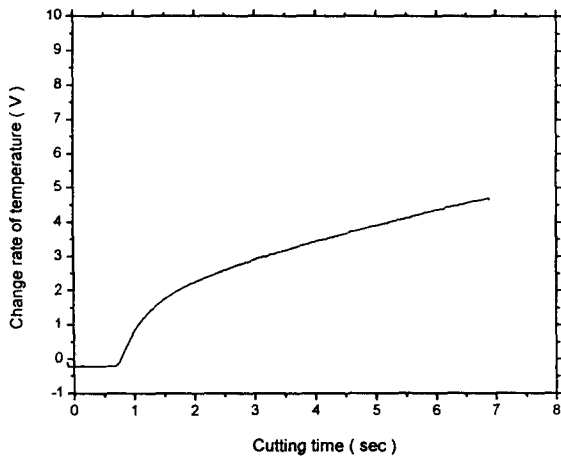


Fig. 15 Typical variation of cutting temperature : Epoxy resin/KT150  
( V : 300 m/min, f : 0.10 mm, t : 0.50 mm )

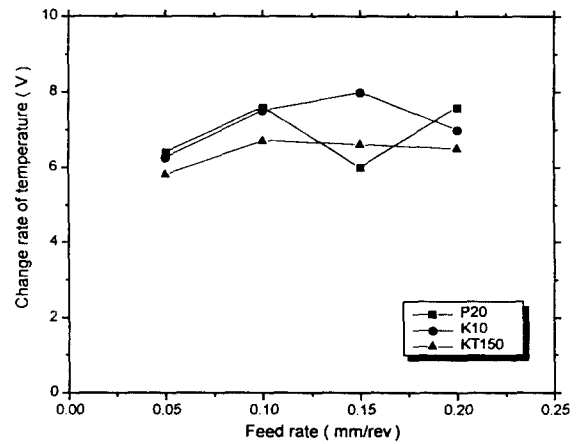


Fig. 18 Typical variation of cutting temperature during machining of Epoxy resin ( cutting lengthh : 25m, depth of cut : 1mm )

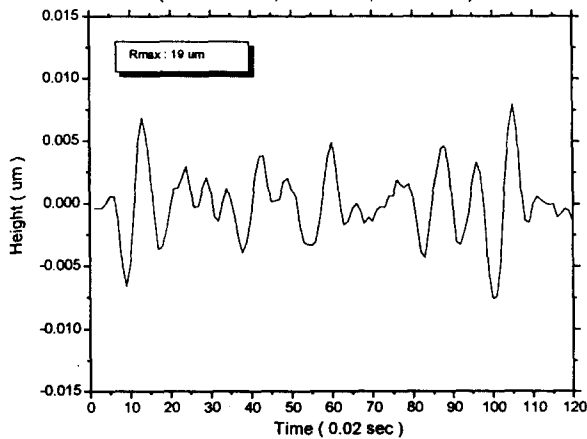


Fig. 16 typical variation of surface topography : K150  
( V : 300 m/min, f : 0.1 mm/rev, t : 0.5 mm )

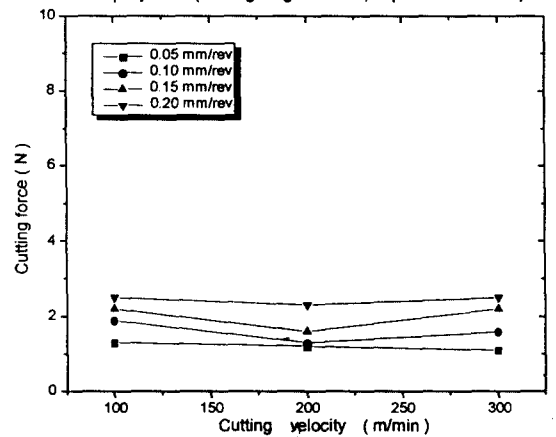


Fig. 19 Typical cutting force characteristics : Epoxy resin/P20  
( Depth of cut : 0.5 mm )

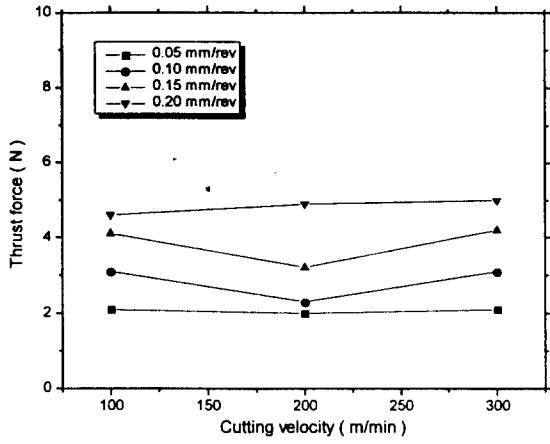


Fig. 20 Typical thrust force characteristics : Epoxy resin/P20 (Depth of cut : 0.5 mm)

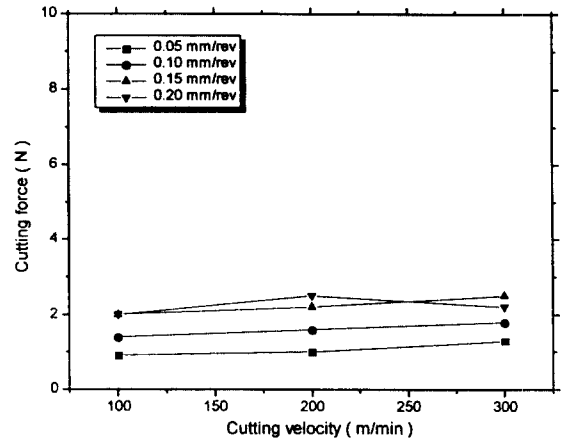


Fig. 23 Typical cutting force characteristics : Epoxy resin/KT150 (Depth of cut : 0.5 mm)

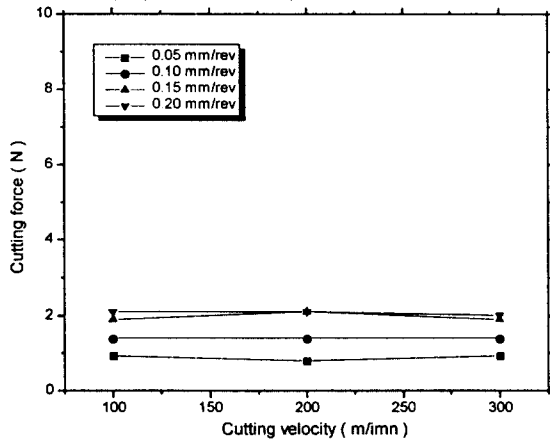


Fig. 21 Typical cutting force characteristics : Epoxy resin/K10 (Depth of cut : 0.5 mm)

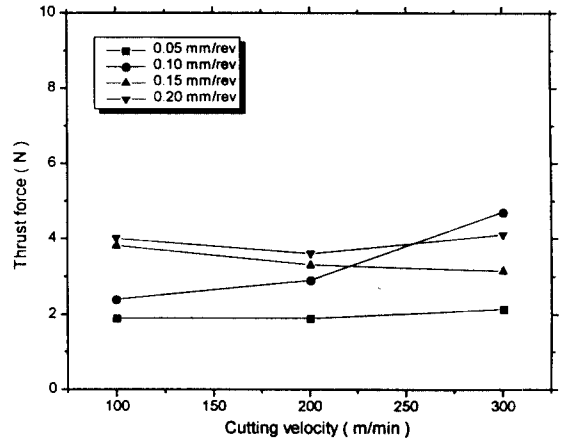


Fig. 24 Typical thrust force characteristics : Epoxy resin/KT150 (Depth of cut : 0.5 mm)

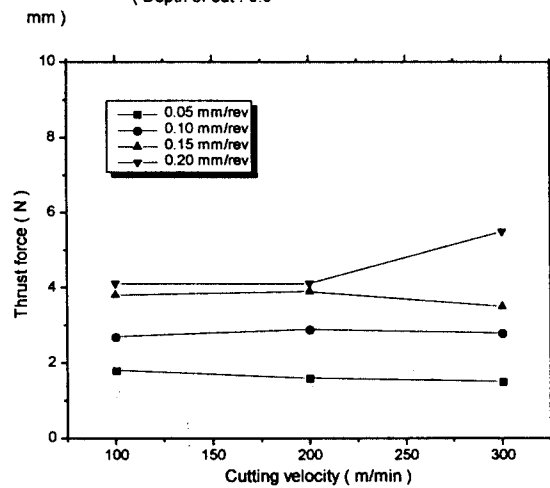
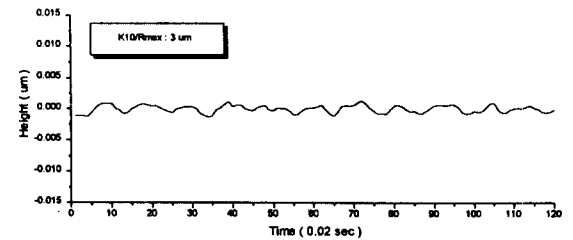
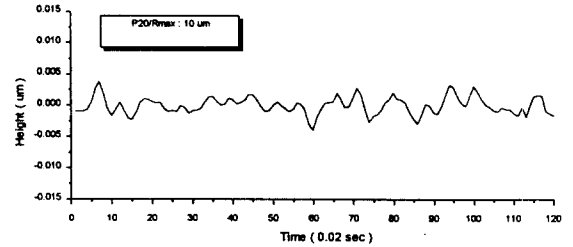


Fig. 22 Typical thrust force characteristics : Epoxy resin/K10 (Depth of cut : 0.5 mm)



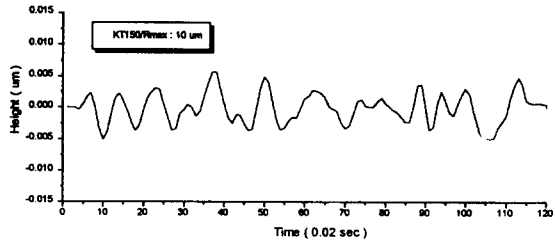


Fig. 25 Typical variation of surface topography  
(V : 100 m/min, f : 0.1 mm/rev, t : 1 mm)

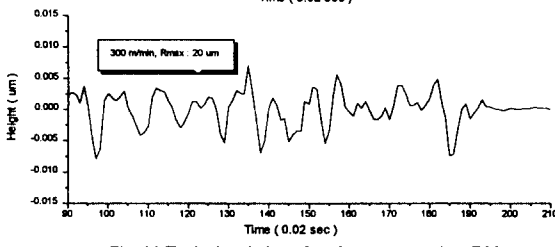
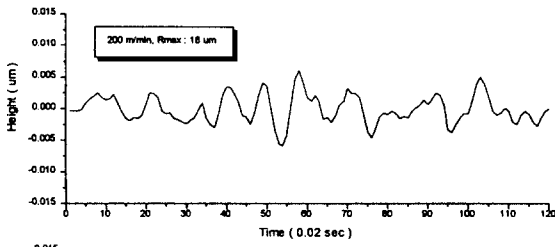
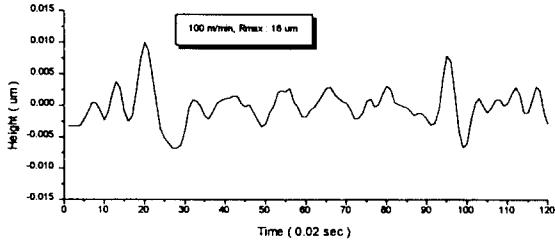


Fig. 26 Typical variation of surface topography : P20  
(f : 0.15 mm/rev, t : 0.5 mm)

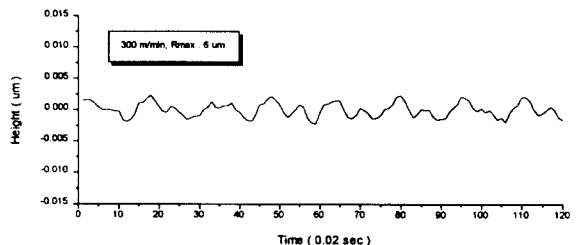
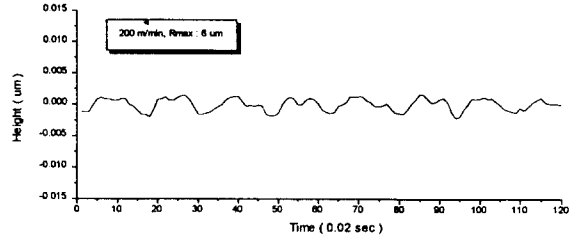
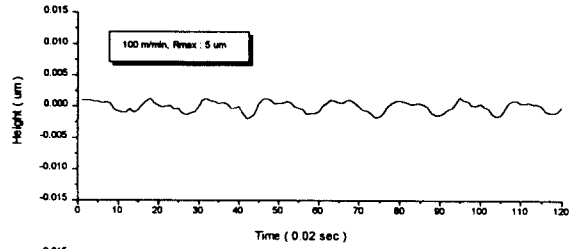


Fig. 27 Typical variation of surface topography : K10  
(f : 0.15 mm/rev, t : 0.5 mm)

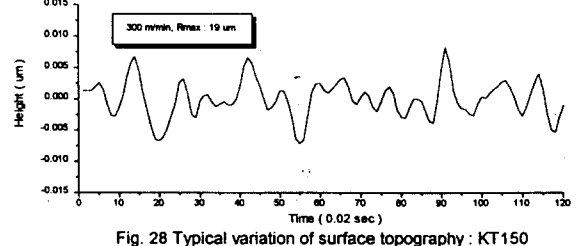
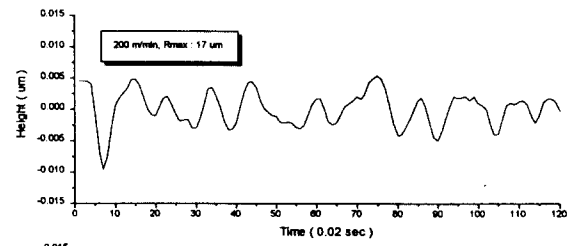
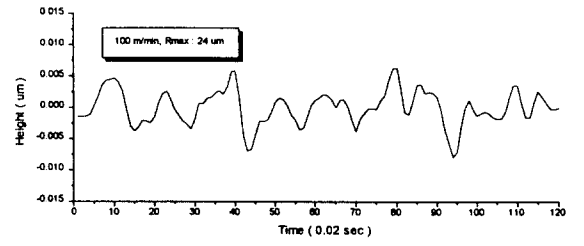


Fig. 28 Typical variation of surface topography : KT150  
(f : 0.15 mm/rev, t : 0.5 mm)