

## 선삭가공시 LASER BEAM을 이용한 금속의 표면 거칠기 측정에 관한 연구

A Study on the Metallic Surface Roughness Measurement in Turning by Laser Beam

김희남\* 남무호\*\* 황재연\*\*\* 박희재\*\*\*  
Hee-Nam Kim, Moo-Ho Nam, Jae-Yeon Hwang, Hee-Jae Park

### ABSTRACT

In-process measurement of surface roughness is introduced which employs an optical method by using laser beam. This makes it possible to detect the surface roughness not only along the circumferential path but also along the feed direction even during machining.

The maximum roughness value is always obtainable from the reading along the feed direction.

#### 1. 서론

최근 공작기계의 고속화와 복잡화가 동시에 초정밀 가공기술의 전개에 있어서 눈부시게 발전되어 인프로세스 계측의 중요성이 증가되고 있다. 이러한 현실에 입각해서 광응용 계측 기술을 이용하는 측정법은 측정정도와 신뢰성에 까지 문제는 남아있지만, 그 최대의 잇점은 타 측정법에 비해서 인프로세스 계측에 적용 가능성이 가장 높다는 점이다.

이때 사용되는 주된 방식은 레이저 광선을 이용한 비접촉식 계측이 일반적이다. 이러한 방식은 W.B. Ribbens<sup>(1,2)</sup>, M. Shiraishi<sup>(7,15)</sup>, S.M. Pandit<sup>(8)</sup>, Y.L. David<sup>(10)</sup>, S.M. Wu<sup>(16, 17)</sup> 등 여러사람에 의하여 연구되어왔으나 아직도 충분한 정량적인 연구가 이루어졌다고는 볼 수 없다.

특히 현재 흔히 사용되는 범용선반(WHPL-380)에 레이저 시스템을 간단히 설치하여 실험한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 선삭가공된 회전체의 표면 거칠기 검출가능성을 위해 좀더 효과적인 방법의 하나로 광학적인 방법을 채택하였으며, 작업하는 동안일지라도 원주경로 뿐만 아니라 이송방향에

\* 正會員 : 명지대학교

\*\* 正會員 : 유한공업전문대학교

\*\*\* 正會員 : 명지대학교 대학원

다른 표면 거칠기의 검출을 가능케 해주는 레이저 광선을 적용하여 표면 거칠기의 측정범위를 찾는 데 그 목적을 두었다.

2. 실험 방법 및 장치

2-1 측정계의 구성과 측정방법

본 실험에서 사용한 광학식 표면 거칠기 측정시스템의 개요도는 Fig.1과 같으며 Fig.2는 그 사진이다.

Fig.3은 He-Ne Laser head와 보조장치로 구성된 신호측정계의 블럭선도이다. Fig.1에서 사용된 광원은 안정화된 7mW He-Ne Laser를 사용하였으며 레이저 광선은 검사면에서 반사되어 광 검출기에 입사된다. 이곳에서 표면의 조건에 따라 반사강도가 달라지는 량을 검출하여 증폭기로 전압증폭한 후 12비트 A/D변환기로 입력된다.

이때 레이저 헤드의 이송과 거칠기 신호의 입력 과정은 컴퓨터 프로그램의 제어에 의하여 시작되고 또한 컴퓨터에 의해 데이터가 처리되도록 하였다.

2-2 표면 거칠기 신호의 분석

Fig.4는 신호처리의 전체적인 흐름도를 나타낸

것이다. 거칠기 신호를 연속 시간영역의 값이  $X_a(t)$ 로 두자.  $X_a(t)$ 의 주파수 영역으로의 변환은 푸리에 변환을 사용하여 변환한다.

$$X_a(t) \xrightarrow{FT} X_a(f) \dots\dots\dots (1)$$

이를 푸리에 적분식으로 표현하면 다음과 같다.

$$X_a(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X_a(t) \exp(-j\omega t) dt \dots\dots\dots (2-a)$$

$$\omega = 2\pi \cdot f \dots\dots\dots (2-b)$$

거칠기 신호  $X(t)$ 가 T주기로 A/D변환이 된 신호로 바뀌면 이산형 신호영역의 신호가 되므로

$X_a(nT) = X_a(n)$ 로 했을때 이 신호의 이산 푸리에 변환과 그 역변환 즉, DFT(Discrete Fourier Transformation)와 IDFT(Inverse Discrete Fourier Transformation)는 다음과 같다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) \exp(-j2\pi \cdot kn/N), \quad k=0,1,2,\dots, N-1 \dots\dots\dots (3-a)$$

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \exp(j2\pi \cdot kn/N), \quad n=0,1,2,\dots, N-1 \dots\dots\dots (3-b)$$

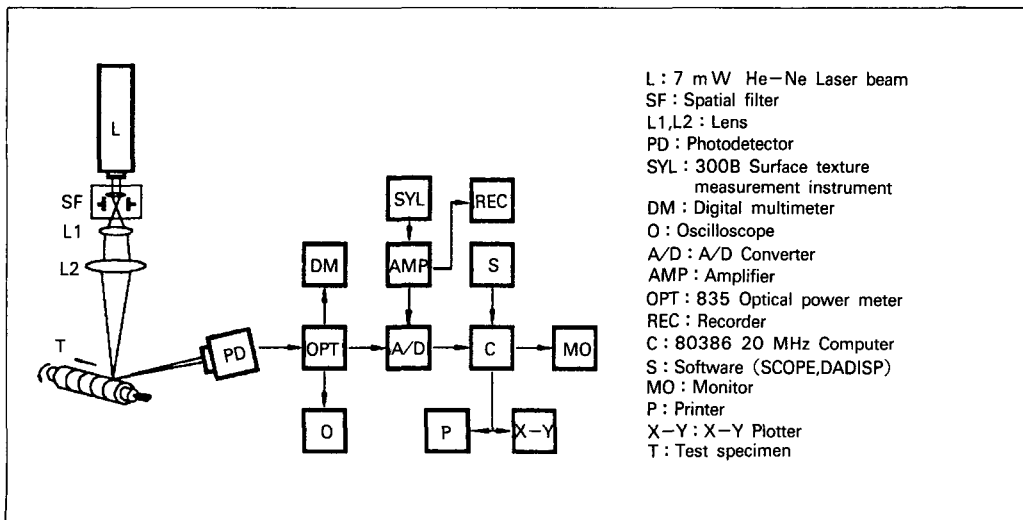


Fig.1 Measuring system of surface roughness

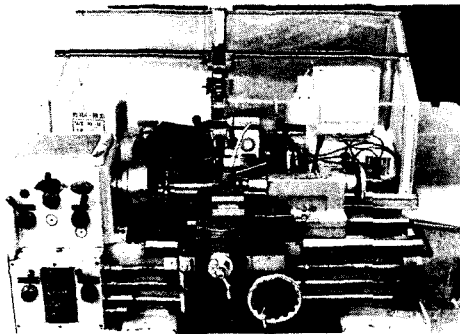


Fig.2 Layout of experiment system

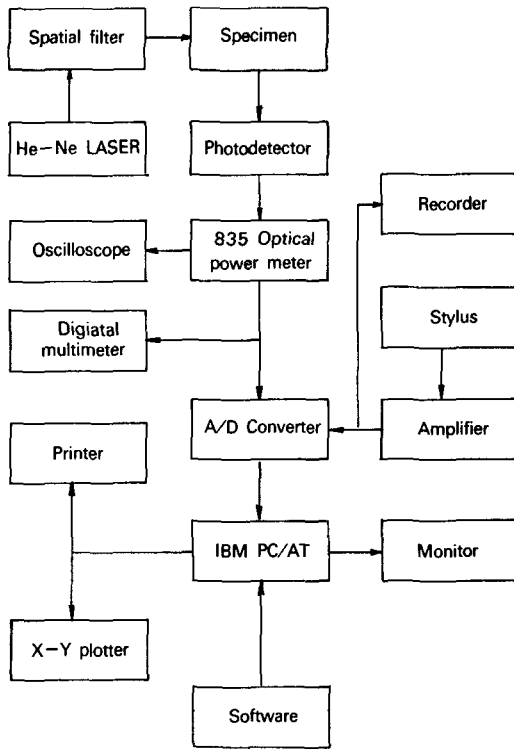


Fig.3 Block diagram of measuring system

이때 A/D 변환 주기 T와 데이터 수는 시간 변수 t와 다음과 같은 관계이다.

$$t = nT = n/F_s \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $F_s$ 는 A/D 변환시의 샘플링 주파수이다.

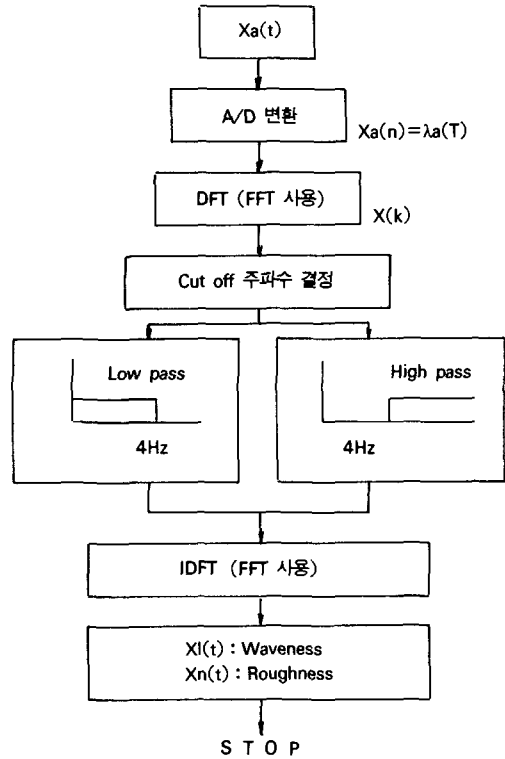


Fig.4 Flowchart of signal processing

2-3 실험장치 및 시편

본 연구 실험에서 사용된 기기들의 구성은 다음과 같다.

- (1) 광원 : 7mW 안정화된 He-Ne Laser, 파장 632.8nm, 모델 Hughes 3027.
- (2) 광검출기 : Photovoltaic type 광검출기, 증폭기 내장형, 명칭 Laser Pico-Watt Digital Meter M835-SL-04.
- (3) 표면 거칠기 측정기 : 축침형 Tokyo Semitsu제 모델 300B.
- (4) A/D 및 Digital I/O : 12bit, 16채널, 최대 변환 속도 30KHz, 16채널 Digital I/O, 압력 ±1V ~ ± 10V, 모델 PCL812.

(5) 컴퓨터 : IBM PC/AT 386

의 기계적 성질과 화학적 성분은 Table 1과 같다.

(6) 시편

②형상과 치수 :

① 재질 :

여러개의 시편에 각각 다른 작업조건을 부가하기

본 실험에 사용된 재료는 연강(SS 41)이며 이들

위하여 Fig.5와 같이 하나의 시편에 6 개의 구간으로

Table 1 Mechanical properties and chemical composition of specimen(SS 41)

a) Mechanical properties

Material	Yielding strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity (kgf/mm <sup>2</sup> )	Hardness (Hv)	Elongation (%)
SS 41	29.1	46.7	21.5×10 <sup>3</sup>	125	31.8

b) Chemical composition(%)

Material	C	Si	Mn	P	S
SS 41	0.171	0.33	0.39	0.016	0.021

Table 2 Working condition of surface roughness (SS41)

Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Laser beam spot diameter (mm)	
4.92	0.24 0.30	0.1	0.1	
9.85				
12.1				
14.26				
21.17				
24.19				
28.51				
34.99				
42.33				
60.48				
69.98				
120.95				
60.48	0.24	0.1	0.1	
	0.30			
	69.98			0.36
				0.41
	120.95			0.48
	0.52			

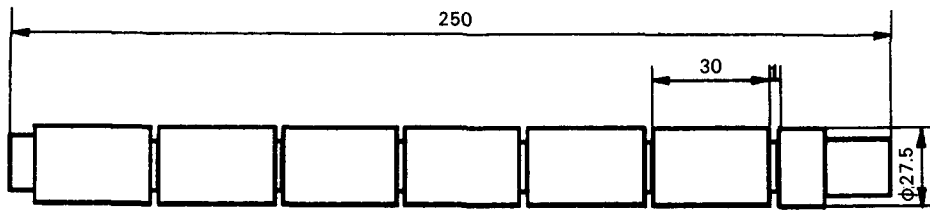


Fig.5 Dimension of test specimen

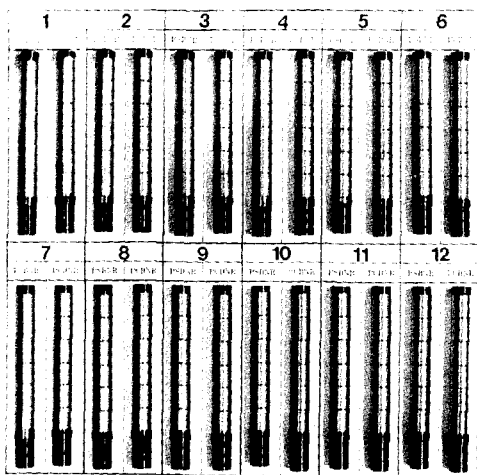


Fig.6 Configuration of test specimens

30mm의 동일 간격으로 나누었다. Fig.6은 실험에 사용된 시편들이다.

③ 실험조건

Table 2는 선삭 가공시 레이저 광을 이용한 금속 표면의 거칠기 측정의 실험조건을 나타낸 것이다.

④표면 거칠기 측정

촉침식 표면 거칠기 측정장치인 Surfcom 300B (Tokyo Semitsu Co. LTD)는 촉침의 상하 변위를 전압으로 변환시킨 후 아날로그 측정신호를 이용하여 디지털 표면 평가를 하기 위한 컴퓨터 인터페이스를 구성한다.

거칠기 곡선 신호와 단면곡선 신호는 12bit A/D 변환기를 통해 디지털 형태로 변환한 후에 마이크로 컴퓨터의 메모리에 저장된다. 이 메모리에 저장된

측정자료들은 표면 평가를 위해 제어되는 인텔 80386 CPU에 의해 처리되고, 모니터를 통해 표시 된다. 또한 산출된 거칠기 변수들과 단면곡선 그래프는 마이크로 컴퓨터의 주변기기인 프린터에 의해 출력된다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 절삭속도의 변화가 표면거칠기 측정에 미치는 영향

절삭속도의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 알아보기 위하여 절삭속도를 4.92, 9.85, 12.1, 14.26, 21.17, 24.19, 28.5, 34.99, 42.33, 60.48, 69.98, 120.95 m/min의 12가지로 한뒤 광촉침의 이송속도를 0.24, 0.3mm/rev로 변화시켜 이들의 결과를 Fig.7,8에 나타내었다.

Fig.9는 Fig.7,8을 조합하여 비교한 상태이다. 이때 절삭속도의 변화에 따른 표면 거칠기의 영향에 있어서 PCBNR 2020-K12 공구를 사용하여 절삭깊이 0.1mm와 이송속도 0.24, 0.3mm/rev의 두가지로 한뒤 절삭속도를 4.92, 9.85, 12.1, 14.26, 21.17, 24.19, 28.5, 34.99, 42.33, 60.48, 69.98, 120.95m/min로 변화시켜 선삭 가공후 가공면의 거칠기를 조사하였다.

이때 절삭속도와 가공면의 거칠기와의 관계를 Fig. 7,8에 나타내었다. 측정 시스템의 이송속도는 선삭 가공시와 동일한 조건으로 움직이며, 0.1mm의 레이저 광속은 시편 이송방향의 경로를 따라 측정된다.

임의의 거칠기와 광촉침의 측정결과를 Fig.7,8에 파선으로 나타내었다. 또한 Fig.9는 이송속도의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 나타낸 그림이다.

그림에서 보는 바와 같이 절삭속도의 증가에 따라 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있었다. 이송속도 0.24 mm/rev일때 절삭속도가 4.92m/min~42.33m/min 사이에서, 이송속도 0.30mm/rev일때 절삭속도가 4.92m/min~60.48m/min사이에서는 축침식과 광촉침식의 거칠기 값은 잘 일치되지 않음을 알 수 있고, 이송속도 0.24mm/rev일때 절삭속도가 60.48m/min~120.95m/min사이에서, 이송속도 0.30mm/rev일때 절삭속도가 69.98m/min~120.95m/min사이에서는 축침식과 광촉침식의 거칠기 값이 잘 일치됨을 알 수 있었다.

이는 레이저 광의 강도가 거친 표면에서는 산란이 크게 나타나 입사되는 광량이 적어지며, 표면 거칠기가 매끄러울수록 산란이 작게 일어나 강렬한 반사광이 집결되므로 인프로세스 계측에 중대한 영향이 미침을 알 수 있었다.

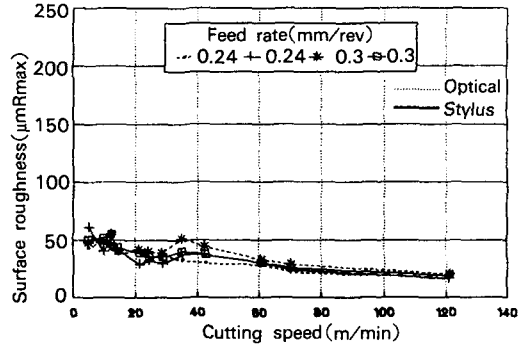


Fig.9 Surface roughness vs. cutting speed

본 실험의 결과로 볼 때 절삭속도는 60.48m/min~120.95m/min과 이송속도 0.24mm/rev의 조건에서는 인프로세스 계측이 가능하지만 그 이하의 조건에서는 불규칙한 값으로 인해 인프로세스 계측이 곤란함을 알 수 있었다.

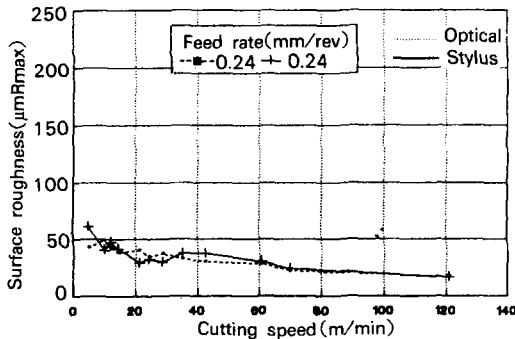


Fig.7 Surface roughness vs. cutting speed

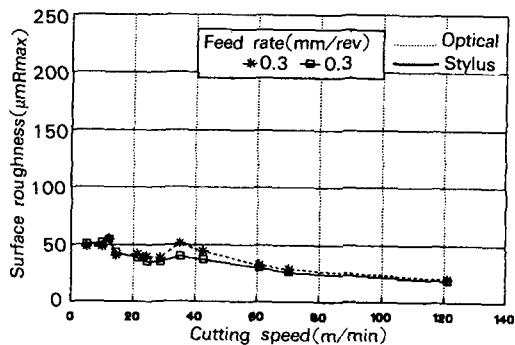


Fig.8 Surface roughness vs. cutting speed

### 3-2 이송속도의 변화가 표면거칠기 측정에 미치는 영향

이송속도의 변화에 따른 표면 거칠기 변화를 알아보기 위하여 0.1mm의 광촉침을 0.24, 0.30, 0.36, 0.41, 0.48, 0.52mm/rev의 6가지로 이송한 후에 절삭속도를 60.48, 69.98, 120.95m/min로 변환시켜 표면의 거칠기를 측정한 결과를 Fig.10,11,12,13에 나타내었다.

이때 절삭가공을 위한 절삭속도를 60.48, 69.98, 120.95m/min의 3가지로 한뒤 이송속도를 0.24, 0.30, 0.36, 0.41, 0.48, 0.52mm/rev의 6가지로 변화시켜 가공한후 가공면의 거칠기를 조사하였다. 이때 이송속도의 변화가 표면거칠기 측정에 미치는 관계는 Fig.10,11,12,13과 같다. 그림에서 실선은 축침식의 결과 값이고 파선은 광촉침식으로 측정된 결과를 나타낸다. Fig.13은 Fig.10,11,12를 중복시켰을 때의 변화상태이다.

Fig.10,11,12,13에서 보인 바와 같이 이송속도의 증가는 표면의 거칠기를 나쁘게함을 알 수 있었다. 또한 절삭속도가 60.48m/min일때 이송속도는 0.24, 0.30mm/rev에서, 절삭속도가 69.98m/min일때

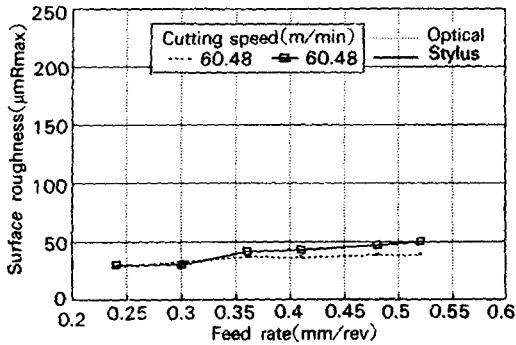


Fig.10 Surface roughness vs. feed rate

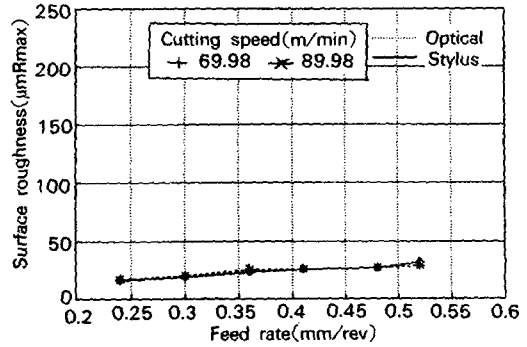


Fig.12 Surface roughness vs. feed rate

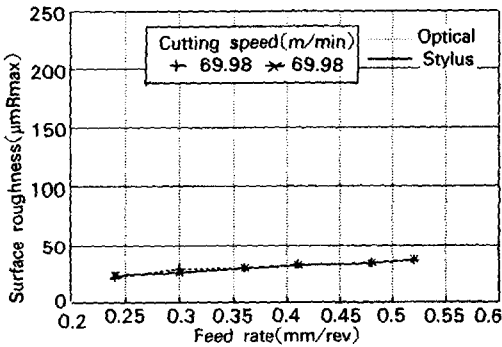


Fig.11 Surface roughness vs. feed rate

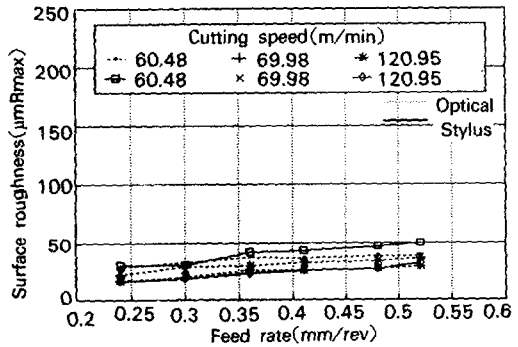


Fig.13 Surface roughness vs. feed rate

이송속도는 0.24, 0.36, 0.41, 0.48, 0.52mm/rev에서, 절삭속도가 120.95mm/min에서 촉침식과 광촉침식 측정법이 잘 일치 됨을 알 수 있었다. 그러나 절삭속도가 60.48m/min일때 이송속도는 0.36, 0.41, 0.48, 0.52mm/rev와, 절삭속도가 69.98m/min일때 이송속도는 0.3mm/rev와, 절삭속도가 120.95m/min일때 이송속도는 0.52mm/rev에서 잘 일치되지 않음을 알 수 있었다.

따라서 인프로세스 계측 영역으로는 절삭속도가 69.98m/min과 120.95m/min일때 이송속도는 0.24~0.52mm/rev에서 촉침식과 광촉침식의 경우가 잘 일치된다는 결론을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 선삭 가공시 Laser beam을 사용한 광학적인 방법에 의해서 금속의 표면 거칠기를 대상으로 실험적인 방법에 의해 실시간의 표면 거칠기를 측정된 결과 다음과 같다.

- ① 제안된 측정 시스템은 작업의 정밀도에 영향을 받지 않고 실시간 검출에 적용 될 수 있다.
- ② 가공중 원주경로 뿐만 아니라 이송방향에 따라서 표면 거칠기를 검출할 수 있다.
- ③ 절삭속도가 60.48m/min~120.95m/min이고 이송속도가 0.24mm/rev의 조건에서 인프로세스 계측이 가능하다.

참 고 문 헌

- 1) William B. Ribbens, Interferometric surface roughness measurement, Applied Opt., Vol.8, No.11, Nov. 1969
- 2) W. B. Ribbens, Surface roughness measurement by holographic interferometry, Applied Opt., Vol.11, No.4, Apr. 1972
- 3) Rober A. Sprague, Surface Roughness measurement using white light speckle, Applied Opt., Vol.11, No.12, Dec. 1972
- 4) E. L. Church and J. M. Zavada, Residual surface roughness of diamond-turned Optics, Applied Opt., Vol. 14, No. 8, Aug. 1975.
- 5) J.M. Elson and J.M.Bennett, Relation between the angular dependence of scattering and the statistical properties of optical surface, J. Opt. Soc. Am., Vol.69, No.1, Jan. 1979
- 6) Osuk Kwon, J. C. Wyant and C. R. Hayslett, Rough surface interferometry at 10.6 $\mu$ m, Applied Opt., Vol.19. No.11. 1980
- 7) M. Shiraishi, In-process measurement of surface roughness in turning by Laser beams, ASME, Vol.103, pp.203~209, May. 1981
- 8) S. M. Pandit, S. Kashou, A data dependent systems strategy of on-line tool wear sensing, Vol. 104, pp.217~223, Aug. 1982
- 9) D. G. Jansson, J. M. Rourke, and A. C. Bell, High-speed surface roughness measurement, ASME, Vol.106, pp.34~39, Feb. 1984
- 10) David Y. Lou, A. Martinez, and D. Stanton, Surface profile measurement with a dual-beam optical system, Applied Opt., Vol.23, No.5, Mar. 1984
- 11) M. S. Lan, In-process tool fracture detection, ASME, Vol.106, pp. 111~118, Apr. 1984
- 12) 谷村吉久, 豊田辛可, レーザ干渉計を應用した非接觸微細形状測定装置ね, 精密機械, 50巻, 10號, 10, 1984
- 13) 官本三, 接觸式と非接觸式による表面形状測定, 精密機械, 51巻, 4號, 4, 1985
- 14) Ming Shong Lan, In-process detection of tool breakage in milling, ASME, Vol.108, pp. 191~197, Aug. 1986
- 15) M. Shiraishi, A consideration of surface roughness measurement by optical method, ASME, Vol.109, pp.100~105, May. 1987
- 16) S. M. Wu, In-process control of cylindricity in boring operations, ASME, Vol.109, pp. 291~296, Nov. 1987
- 17) S. M. Wu, Analysis of alignment error in a Laser-based in-process cylindricity Measurement system, ASME, Vol. 109, pp.321~329, Nov. 1987
- 18) I. Yellowley, In-process detection of tool failure in milling using cutting force models, ASME, Vol.111, pp.149~157, May. 1989
- 19) 清野慧, 黄佩森, 鈴木傳文, 粗と測定の光スキッド法 (第1報), 精密工學會誌, 55, 08, pp.1409~1414, 1989
- 20) K. Srinivasan, On-line indentification of end milling process parameters, ASME, Vol.111, pp.322~330, Nov. 1989
- 21) 김 희남, 전 영식, 구 만서, Laser Beam을 이용한 금속 표면의 거칠기 측정에 관한 연구, 한국산업안전학회지, Vol.5, No.2, Oct. 1990
- 22) 김 희남, 전 영식, 구 만서 Laser Beam을 이용한 금속 표면의 거칠기 측정에 관한 연구 (II), 명지대학교 산업기술연구소 논문집, 제9집, Dec. 1990
- 23) 김 희남, 허 응, 구 만서, 광학식 표면 거칠기계의 디지털 신호처리, 한국산업안전학회지, Vol.6, No.2, June J91