

# 표면 Rolling시 가압력이 표면 조도에 미치는 영향

## An Effect of Load on Surface Roughness in Surface Rolling

강 명 순,\* 김 희 남\*\*  
M. S. Kang H. N. Kim

### ABSTRACT

The surface rolling method which is one of the plastic deformation processes increases the surface roughness with reduction of diameter and hardness.

In this study, three NACHI 6000 ZZ bearing were used for surface rolling tool on a mild steel.

The following results have been obtained with the mild steel.

- 1) The load is major factor in getting fine surface roughness of roller finishing after grinding. The optimal surface roughness of SS41 steel can be obtained at the contact pressure of 210kgf/cm<sup>2</sup>.  
But, Better surface roughness can not be expected, Due to flaking phenomena at more than 300kgf/cm<sup>2</sup> of contact pressure.
- 2) At the contact pressure range of 200kgf/cm<sup>2</sup>~210kgf/cm<sup>2</sup> for optimal surface roughness, The surface hardness increased to Hv200~Hv240 from Hv 125 before surface rolling.
- 3) Within the diameter variation of 13μm the surface roughness and the surface hardness were increased, but out of variation of 14μm, The surface roughness become worse and the surface hardness was increased.

### 1. 서 론

기계의 성능유지와 수명의 연장을 위해서는 끼워 맞춤부의 정밀도와 금속표면의 조도 및 경도의 향상이 요구된다. 선삭으로 가공된 다듬질면도 화이트의 날끝상태와 가공조건에 따라 양호한 표면조도를 나타낼 수 있지만 금속의 표면조도를 향상시키는 방법으로서 grin-

ding, lapping, superfinishing과 같이 미세한 절삭가공법과 다듬질면에 소성변형을 주어 표면 조도를 향상시키는 소성가공법이 사용된다.<sup>1~4)</sup> 이중 소성가공법은 절삭가공법과는 달리 선삭한 공작물 표면에 로울러를 사용하여 가압에 의하여 금속표면에 소성변형을 줌으로써 표면 조도와 표면경도를 동시에 향상시키는 소성가공법으로서, 1928년 독일에서 처음으로 철도

\* 한양대학교 기계공학과  
\*\* 명지대학교 기계공학과

차륜의 다듬질에 사용되어 좋은 효과를 보았으며, 근래에와서는 버니싱과 함께 정밀한끼워맞춤을 요하는 부분에 보편적으로 이용되고 있는 방법이다.

로울러 다듬질에 대한 대표적 연구로는 伊藤 纈<sup>5),6)</sup>의 로울러 다듬질의 특성과 효과에 관한 연구, 菅 博<sup>7)</sup>의 로울러 다듬질에 관한 연구, 大岩 藤造, 高沢 孝哉, 吉田 直政,<sup>8),9)</sup> 등의 로울러 다듬질 연구, 佐藤 健兒,<sup>10)</sup>의 로울러 다듬질면의 미끄럼 접촉에 대한 연구등이 있으나 대부분이 연삭 후의 로울러 다듬질에 대한 연구이며 아직도 충분한 정량적인 검토가 이루어졌다고 볼 수 없고 연삭 후의 로울러 다듬질에 대한 연구는 거의 이루어 지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 금속표면의 정밀가공법을 연구 대상으로 하여 연삭가공된 시편에 NACHI 6000ZZ 볼 베어링을 로울러로 사용하여 미량의 taper를 부여한 연강봉에 로울러 다듬질을 시행함으로써 가압력이 표면조도에 미치는 영향을 구명하는데 목적을 두었으며 아울러 rolling회수에 따른 표면조도, 경도 및 직경의 변화량을 실험적으로 구명하였다. 본 연구의 결과를 로울러 다듬질에 이용하여 자동차용 크랭크 축의 커넥팅 로드 저어널 및 메인 베어링 저어널부의 표면 정밀가공을 하는 경우 기초자료로 활용이 가능할 것이다.

## 2. 실험방법 및 장치

### 2-1 실험방법

전가공이 연삭일 경우에 로울러 다듬질이 표면조도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시편을 선반의 양 센터에 물리고 Fig. 1과 같은 가압체를 시편의 축방향으로 이동하여 로울러 다듬질을 하였다. surface rolling 작업 조건은 필자가 “표면 rolling 시 작업조건이 표면조도에 미치는 영향”<sup>1)</sup>에서 이미 밝힌 표면 rolling 작업조건인 가장 좋았던 영역의 한 부분인 12m/min의 다듬질속도와 0.36mm/rev의 이송속도를 선택하여 실험을 수행하였다. 또한 가압력은 동일한 여러개의 시편에 각

각 다른 압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 Fig. 2와 같이 미량의 taper진 시편을 선반의 양 센터 사이에 고정하고 가압체를 시편의 축방향으로 이송시킴으로써 각 구간에서 서로다른 가압력이 가하여 지도록 하였다. 이와 같이 양쪽에서 5mm 씩을 띄우고 10개의 측정점을 등간격으로 선정하여 시편의 전구간에서 표면조도를 측정하였으며 표면조도가 가장 좋았던 부분의 경도 및 지름 변화량을 측정하여 이들의 관계를 검토하였다. 또한 이들 접촉부의 가압력 계산과정은 부록-A에 나타내었다.

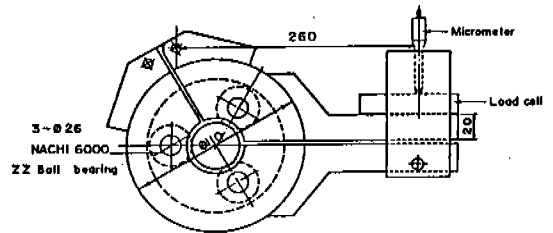


Fig. 1 The surface rolling tool

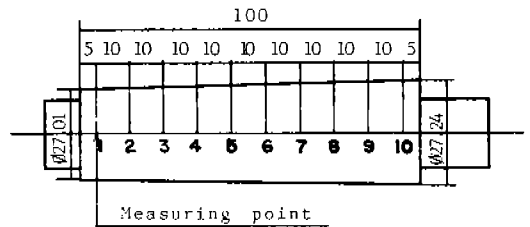


Fig. 2 The tapered specimen

### 2-2 실험장치

#### (1) 실험장치의 개요도

Fig. 3의 실험장치는 시편과 강체의 조건을 측정하기 위한 것이다. 여기서 측정할 것은 시편의 각 위치에서의 가압력이다. 위치는 시편의 가공점과 가공끝점간의 일차원 좌표값으로 나타내게 하였다. 이 일차원 좌표값을 측정하기 위해서는 가압체의 위치를 기준으로 하여 그 이동된 거리를 직류전압으로 변환하는 전위차계를 사용하였다. 전위차계의 가변접점

을 가압체와 연동되게 하여 가압체의 위치에 따라서 전위차계의 전위가 변동되게 하였다. 이때 전위차계의 양쪽단자에는 전위변동이 무시될 정도의 직류전압을 공급하였다. 전위차계의 위치변위에 대한 변위전위를 1cm당 0.05 V로 설정하였으며, 이 값을 X-Y기록계의 X좌표축상의 전위에 대한 변위값과 일치시키면 기록지의 눈금과 가압체의 이동변위 눈금도 일치하게 된다. 따라서 가공체 위의 가압체 위치와 X-Y기록계의 pen 위치는 항상 동일하게 된다. 시편의 가공가압력 조건은 가압체에 장치된 load cell에 가해지는 압력을 스트레인 증폭기로 증폭한 후 X-Y기록계의 Y축에 공급함으로써 그 용력값을 기록하였다. 따라서 시편의 위치에 대한 가압력변화의 상태는 X-Y기록계의 X좌표에 대한 Y좌표의 분포로 나타낼 수가 있다. 이때 디지털 전압계는 스트레인 증폭기의 영점조정과 전위차계의 위치변위에 대한 전압변위량을 측정하기 위하여 사용하였다.

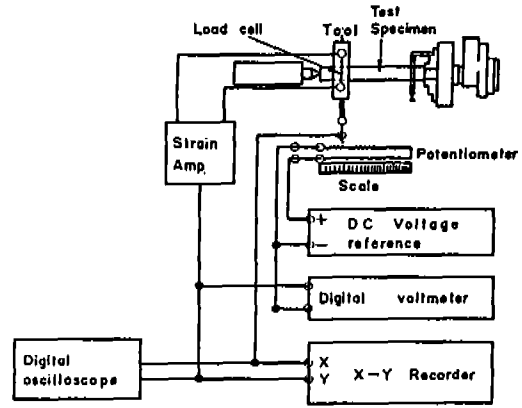


Fig.3 Test specimen measurement system



Fig.4 Layout of experimental apparatus

(2) 선 반

로울러 다듬질에 사용된 선반은 화천기계 주식회사 제품으로 Model WHPL-380을 사용하였다. Fig. 4는 로울러 다듬질시 사용된 실험장치를 나타낸 것이다.

(3) 가압체(로울러 및 호울더)

① 가압체의 모양과 치수

가압로울러는 시편의 진원도와 진직도를 유지하고 굽힘을 억제하기 위하여 3개의 NACHI 600ZZ ball bearing을 이용하였으며 Fig. 1과 같이 제작한 surface rolling tool를 사용하였다.

② 로울러 모양과 치수

로울러는 NACHI 600ZZ ball bearing을 만능 공구 연삭기에서 연삭한것을 사용하였으며 그 모양은 Fig. 5와 같다.

(4) 시 편

① 재 질

본 실험에서 사용된 재료는 연강(SS 41)이며 이들의 기계적 성질 및 화학적 성분은 Table

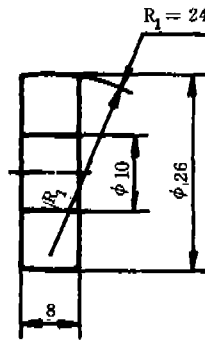


Fig.5 Dimensions of roller

1과 같다.

② 시편의 모양과 치수

전가공으로 연삭가공하여 중심선 평균조도가  $0.40 \mu\text{m Ra} \sim 0.55 \mu\text{m Ra}$ 로, 평균  $0.42 \mu\text{m Ra}$ 로 여러개의 시편에 각각 다른 압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 미량의 테이퍼를 갖는 시편을 8개로 대용하였

Table 1 Mechanical properties and Chemical composition of specimen

Mechanical properties		Chemical compositions (%)	
Tensile strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )	46.7	C	0.171
Yield strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )	29.1	Si	0.33
Young's modulus (Kgf/mm <sup>2</sup> )	21.5 × 10 <sup>8</sup>	Mn	0.39
Possion's ratio (ν)	0.28	P	0.016
Hardness (Hv)	125	S	0.021
Elongation (%)	31.8		

Table 2 Specification of specimens

Specimens	μmRa	Diameter (mm)		Hardness (Hv)	L (mm)
		φ D	φ d		
1	0.4	27.04	27.01	125	100
2	0.4	27.07	27.01	"	"
3	0.4	27.10	27.01	"	"
4	0.4	27.13	27.01	"	"
5	0.4	27.16	27.01	"	"
6	0.45	27.19	27.01	"	"
7	0.43	27.22	27.01	"	"
8	0.4	27.25	27.01	"	"

φD : large end φd : small end

다. 시험편의 모양과 치수는 Fig. 2 및 Table 2와 같다.

### ③ 연삭조건

시험체료를 연삭하기 위하여 사용된 정밀원통 연삭기는 KONDO Machine Works Co., Ltd. 제 Model Gloss-N 1200H 이다.

a) 연삭깊이 : 선삭으로 황삭가공된 시험편에 연삭가공 하였다. 연삭깊이는 0.05mm 로 하였다.

b) 시험편의 원주속도 : 시험편의 원주속도는 13m/min 이었다.

c) 시험편의 이송속도 : 1.5m/min 으로 하였다.

d) 연삭숫돌 : A 60L 7VA형 405 × 38 × 203mm 이며 숫돌의 회전수는 1,470rpm 이다.

(5) 시험편의 측정

### ① 측정위치

각 시험편의 측정점에서 길이방향으로 10mm 씩 10구간으로 나누어 매 rolling마다 각구간에서 5mm 위치의 표면조도, 경도 및 직경의 감소량을 측정하였다.

### ② 표면조도의 측정

측정기는 SURFCOM 300B (TOKYO Seimitsu 사)를 사용하였으며, cut-off R 0.8mm, traversing length 2.5, range 2K로 하였다. 또한 시험편이 환봉이고 미량의 테이퍼진 시험편에 로울러를 축방향으로 이송가압 시킬때 시험편에 접촉가압력이 많이 받는 부분에서는 flaking 및 waviness가 나타나므로 매 rolling후 표면조도는 μmRa 값으로 측정하였다.

### ③ 직경측정

taper진 시험편의 외경을 측정하기 위하여 block gauge를 이용하여 비교측정 하였으며

rolling 전후의 시편의 직경을 측정하였다.

④ 경도측정

micro-Vickers hardness tester(MATSUZA-WA SEIKI CO.)를 사용하였으며 사용하중 10kgf, 가압시간 30초로 하여 매 가압가공 후에 각 구간의 경도변화를 측정하였다.

⑤ 가압력측정

가압체에 설치된 100kgf load cell 에 미치는 동적 변형율의 거동상태 측정용으로 dynamic strain amplifier로서는 KYOWA Electronic Instruments Co.,Ltd 제 Model-311 A 와 Nicolet Instrument Co.,제 Model-2090 digital oscilloscope 를 사용하여 가압력 변화를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 로울러 가압력에 따른 다듬질면의 조도

로울러 다듬질시 가압력에 따른 표면조도의 변화를 Fig. 6~Fig. 8에 나타내었다. 이때 로울러 다듬질 속도는 12m/min으로 하였고 이송속도는 0.36mm/rev로 하였다.

Fig. 6에서는 1차 금속표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면조도의 상태를 보여주고 있으며, 각 시편의 1차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이 120kgf/cm<sup>2</sup>~190kgf/cm<sup>2</sup>에서 표면조도가 0.1μm Ra로 향상됨을 알 수 있었으며 로울러 접촉압력이 300kgf/cm<sup>2</sup>~570kgf/cm<sup>2</sup>에서는 표면조도는 0.5μm Ra~3.75μm Ra까지 거칠어 짐을 알 수 있었다.

Fig. 7에서는 2차금속 표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면조도의 상태를 보여주고 있으며, 각 시편의 2차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이 120kgf/cm<sup>2</sup>~225kgf/cm<sup>2</sup>에서 표면조도가 0.08μm Ra로 향상됨을 알 수 있었으며, 360kgf/cm<sup>2</sup>~585kgf/cm<sup>2</sup>에서는 표면조도는 0.5μm Ra~2.2μm Ra까지 거칠어 짐을 알 수 있었다. 또한 1차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이 120kgf/cm<sup>2</sup>~180kgf/cm<sup>2</sup>보다 표면조도는 0.02μm Ra정도 더 향상됨을 알 수 있었다.

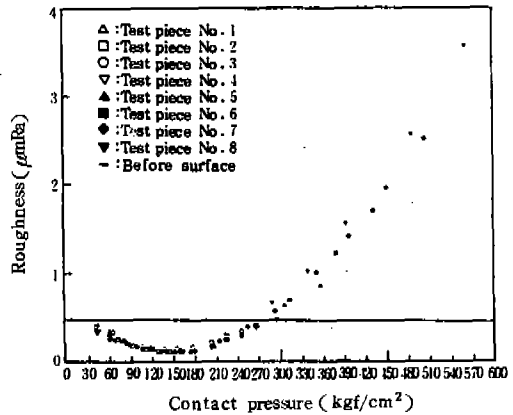


Fig.6 Surface roughness vs. contact pressure ( First rolling)

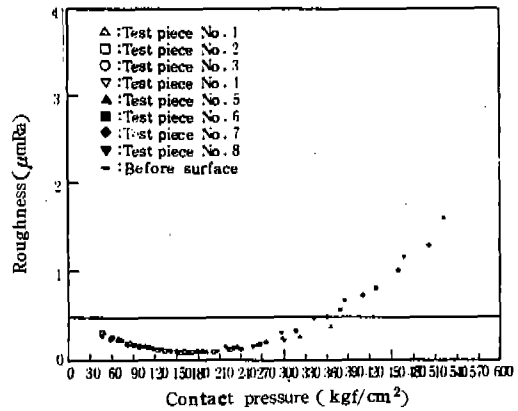


Fig.7 Surface roughness vs. contact pressure ( Second rolling)

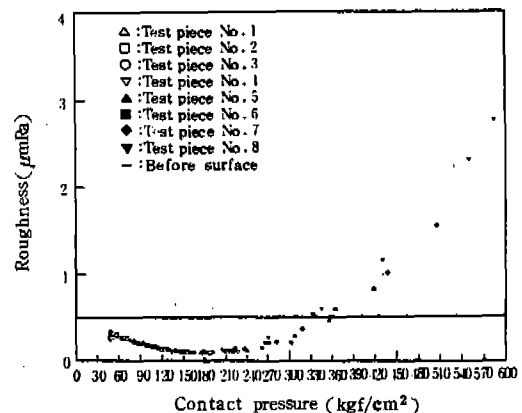


Fig.8 Surface roughness vs. contact pressure ( Third rolling)

Fig. 8에서는 3차 금속표면 rolling 시로 울러 가압력에 따른 표면조도의 상태를 보여 주고 있으며 각 시편의 3차 표면 rolling 시로울러의 접촉압력이  $112.5 \text{ kgf/cm}^2 \sim 240 \text{ kgf/cm}^2$ 에서 표면조도가  $0.90 \mu\text{mRa}$ 로 2차 rolling시 보다  $0.01 \mu\text{mRa}$  정도 표면조도는 약간 악화됨을 볼 수 있으나  $360 \text{ kgf/cm}^2 \sim 585 \text{ kgf/cm}^2$ 에서는  $0.5 \mu\text{mRa} \sim 3.7 \mu\text{mRa}$ 로 2차 rolling시 보다 표면조도는 거칠어 짐을 알 수 있었다.

Fig. 6~Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 가압력의 변화는 가공면의 표면조도에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 본 실험을 통하여 연강의 경우 로울러의 접촉압력이  $210 \text{ kgf/cm}^2$ 일때가 가장 좋은 표면조도를 얻을 수 있었으며 로울러의 접촉압력이  $300 \text{ kgf/cm}^2$  이상에서는 소성변형의 정도가 과다해져 오히려 가공면의 표면에 플레이킹(flaking)현상을 일으켜 오히려 표면조도가 악화된다.

Fig. 9에서는 시편의 길이방향 전체를 10 구간으로 등분하여 살펴보면 2~3 구간에서는 표면조도의 값이 양호한 것을 볼 수 있으나 4~10 구간에서는 표층이 가압력의 증가에 의하여 플레이킹(flaking)현상이 나타나는 것을 볼 수 있었다.

### 3-2 로울러 가압력과 표면경도의 변화

Fig. 10~Fig. 12은 로울러 다듬질시 가압력의 변화에 따르는 표면경도의 변화를 알아보기 위하여 동일한 표면조도를 갖는 여러개의 시편에 각각 다른 접촉압력의 효과를 얻기 위하여 각 시편마다 미량의 taper를 준 경우 이에 따른 표면경도의 변화를 나타낸 그림이다.

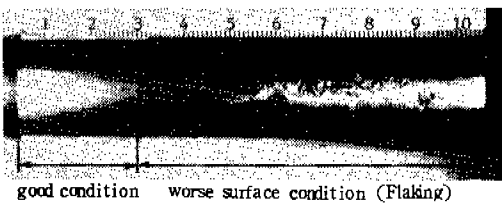


Fig. 9 The effect of contact pressure on surface roughness in surface rolling

이때 로울러 다듬질 속도는  $12 \text{ m/min}$ 으로 하였고 가장 양호하였던 부분의 경도를 보면 Fig. 10에 나타나듯이 1차 표면 rolling 시

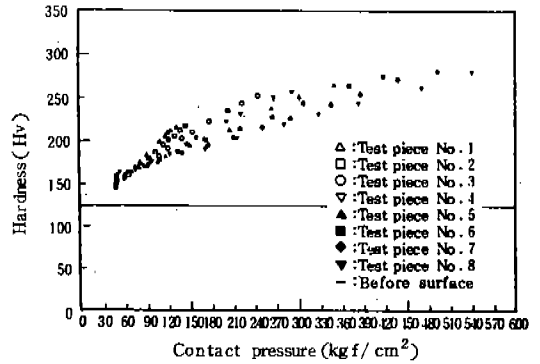


Fig. 10 Surface hardness vs. contact pressure (First rolling)

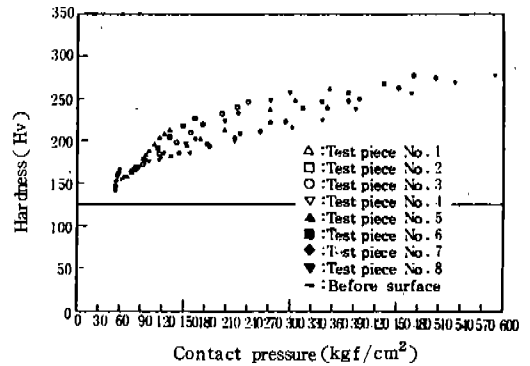


Fig. 11 Surface hardness vs. contact pressure (Second rolling)

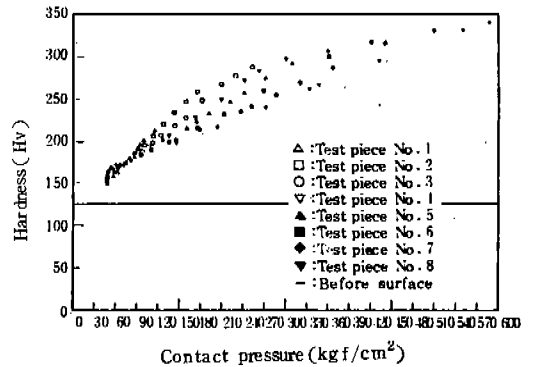


Fig. 12 Surface hardness vs. contact pressure (Third rolling)



부 록 - A

로울러 압착력에 의한 접촉압력 계산

Fig. A-1에 공작물과 로울러의 접촉시에 있어서의 모든 기호를 도시 하였다.

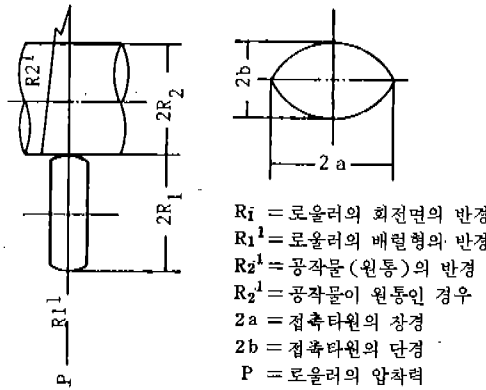


Fig. A-1 Configuration of roller contact

탄성접촉 범위내에서 Hertz<sup>7)</sup>의 이론에 의하면 양물체는 다음식에 표시한 타원접촉면으로 접촉한다.

접촉타원의 장단축의 반경 a, b는

$$a = \mu^3 \sqrt{\frac{3\rho(\xi_1 + \xi_2)}{8(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22})}}$$

$$b = \nu^3 \sqrt{\frac{3\rho(\xi_1 + \xi_2)}{8(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22})}}$$

단  $\rho_{11} = \frac{1}{R_1}$ ,  $\rho_{12} = \frac{1}{R_1}$ ,  $\rho_{21} = \frac{1}{R_2}$ ,  $\rho_{22} = \frac{1}{\infty}$

$$\xi = \frac{2(1+\theta)}{h(1+2\theta)}$$

h = 전단탄성계수

$$\theta = \frac{1}{m-2}$$

m = 포아손수

$\mu, \nu$ 는 제 1종 및 제 2종의 타원적분을 포

함하는 함수인데 다음식의  $\tau$ 로부터 Fig. A-2에서 구할수 있다.

$$\cos \tau = \frac{\rho_{11} - \rho_{12} - \rho_{21} - \rho_{22}}{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}}$$

$$= \frac{\rho_{12} + \rho_{21} - \rho_{11}}{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21}}$$

가정한 타원접촉면의 장단반경 a, b가 구하여 졌으므로 다음식을 이용하여 접촉부의 가압력  $P_0$ 를 구할수 있다.

$$P_0 = \frac{P}{\pi ab} = \frac{27.32}{\mu\nu} 3 \sqrt{(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21})^2 \cdot P}$$

kgf/cm<sup>2</sup>

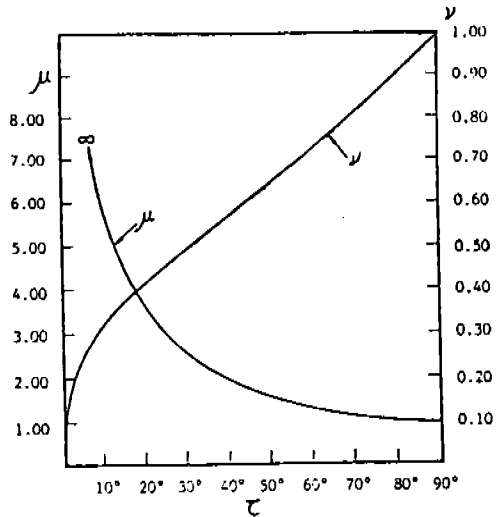


Fig. A-2  $\mu, \nu$  value according to  $\tau$

참 고 문 헌

1. 강명순, 김희남, "표면 로울링시 작업조건이 표면조도에 미치는 영향", 한국자동차학회지, 제 8 권, 제 3 호, pp. 68~76, 1986
2. 岡田裕二, 高強度 クランクシャフトの製造方法, 日本國特許廳(JP), 昭 59-129730, pp. 133~



- 137, 1984
3. 육평수, 이용성, 김윤제, 이동주, "Effect of surface rolling on mild steel with ball bearing", Proceeding of 4th I. C. P. E., Tokyo, pp. 1035 ~ 1040, 1980
  4. E. Paul, DeGarmo, "Materials and processes in manufacturing", MacMillan publishing Co., Inc, New York, 1979
  5. 伊藤鎮, ローラ仕上の特性と効果(1), 機械の研究, 제 2 권, 제 8 호, pp. 406 ~ 408, 1950
  6. 伊藤鎮, ローラ仕上の特性と効果(2), 機械の研究, 제 2 권, 제 9 호, pp. 457 ~ 460, 1950
  7. 管博, ローラー仕上について, 日本國有鐵道, Vol. 2, pp. 126 ~ 133, 1950
  8. 大岩藤造, 高沢孝哉, 吉田直政, ローラー仕上の研究, 精密機械, 제 18 권, 제 6 호, pp. 189 ~ 193, 1952
  9. 大岩藤造, 高沢孝哉, 吉田直政, 軸頭のローラー仕上に關する研究, 精密機械, 제 16 권, 제 11 호, pp. 309 ~ 314, 1950
  10. 佐藤健兒, ローラー仕上面の滑り接觸における耐磨耗性, 機械の研究, 제 3 권, 제 2 호, pp. 137 ~ 140, 1951