

<論 文>

표면 로울링시 가압력이 표면 조도에 미치는 영향

강 명 순\* · 김 회 남\*\*

(1987년 7월 27일 접수)

An Effect of Load on Surface Roughness in Surface Rolling

Myung-Soon Kang and Hee-Nam Kim

**Key Words:** Surface Roughness(표면 조도), Surface Rolling(표면 로울링), Contact Pressure(접촉 압력), Dynamic Contact Area(동적 접촉면적), Radius of Curvature of Roller Surface(로울러 표면 곡률반경)

Abstract

The surface rolling, one of the plastic working processes, provides good surface roughness with the reduction of diameter and the increase of surface hardness. In this study three Nachi 6000 ZZ bearing were used for surface rolling on ductile cast iron.

The results obtained are as follows;

- (1) The good surface roughness can be obtained with roller surface radius of curvature of 24 mm after the 2nd rolling.
- (2) The surface roughness of ductile cast iron was  $0.48 \mu m R_{max}$  by the contact pressure of  $140 \text{ kgf/mm}^2$  and surface hardness was Hv 395 with roller surface radius of curvature of 24 mm after the 2nd rolling.
- (3) The reduction of specimen diameter of ductile cast iron were  $-12.8 \mu m$  due to rolling.
- (4) Within the diameter variation of  $-11 \mu m$ , surface roughness and surface hardness were increased, but at the range of exceeding  $-14 \mu m$  of the diameter variation the surface roughness became worse and the surface hardness became worse and the surface hardness was increased.
- (5) Dynamic contact area was about 25% to 30% of static contact area.

The calculated contact pressure showed a good agreement with the experimental contact pressure.

1. 서 론

기계의 성능유지와 수명의 연장을 위해서는 끼워 맞춘부의 정밀도와 금속표면의 조도 및 경도의 향상이

\* 정희원, 한양대학교 공과대학 기계공학과  
\*\* 정희원, 명지대학교 공과대학 기계공학과

요구된다. 선삭으로 가공된 다듬질면도 절삭공구의 날 끝 상태와 가공조건에 따라 양호한 표면조도를 나타낼 수 있지만 금속의 표면조도를 향상시키는 방법으로서 연삭, 래핑, 호우닝, 슈우퍼 피니싱과 같이 미세한 절삭을 하는 절삭가공법과 다듬질면에 소성변형을 주어 표면조도를 향상시키는 소성가공법<sup>(1-6)</sup>이 사용된다. 이중 로울러 다듬질은 절삭가공법과는 달리 선삭한 공작

물 표면에 로울러를 사용하여 가압에 의하여 금속표면에 소성 변형을 줌으로써 표면조도와 표면경도를 동시에 향상 시키는 소성가공법으로서, 1928년 독일에서 처음으로 철도 차륜의 다듬질에 사용되어 좋은 효과를 보았으며, 근래에 와서는 버니싱 함께 정밀한 기워 맞출을 요하는 부분에 보편적으로 이용되고 있는 방법이다.

로울러 다듬질에 대한 대표적 연구로는 伊藤鐵<sup>(7,8)</sup>의 로울러 다듬질의 특성과 효과에 관한 연구, 菅博<sup>(9)</sup>의 로울러 다듬질에 관한 연구, 大岩藤造, 高澤考哉, 吉田直正<sup>(10,11)</sup> 등의 로울러 다듬질연구, 佐藤健兒<sup>(12)</sup>의 로울러 다듬질면의 미끄름 접촉에 대한 연구 등이 있으나 대부분이 선삭 후의 로울러 다듬질에 대한 연구이며 아직도 충분한 정량적인 검토가 이루어졌다고는 볼 수 없고 연삭 후의 로울러 다듬질에 대한 연구는 거의 이루어 지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 금속 표면의 정밀가공법을 연구 대상으로 하여 구상후연추질시편을 미량의 테이퍼로 연삭가공하고 NACHI 6000 ZZ 볼 베어링을 로울러로 사용하여 로울러 다듬질을 행함으로써 로울러 지름 변화에 따른 가압력이 표면조도에 미치는 영향을 구명하는데 목적을 두었으며 아울러 로울링(rolling)회수에 따른 표면조도, 경도 및 직경의 변화량을 실험적으로 구명하였다.

## 2. 실험방법 및 장치

### 2.1 실험방법

전가공이 연삭일 경우에 로울러 다듬질이 표면조도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시편을 선반 양 센터에 물리고 Fig. 1과 같은 가압체를 시편의 축방향으로 이동하여 로울러 다듬질을 하였다. 표면 로울링 작업조건은 “표면 로울링시 작업조건이 표면조도에 미치는 영향”<sup>(1)</sup>에서 이미 밝힌 표면 로울링 작업조건의 가장 좋았던 영역의 한 부분인 12m/min의 다듬질속도와 0.36mm/rev의 이송속도를 선택하여 실험을 행

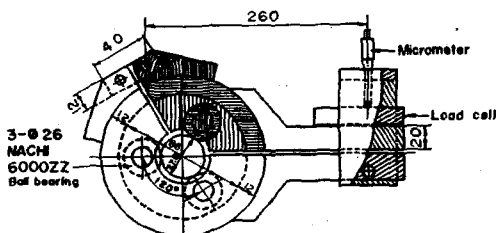


Fig. 1 The surface rolling tool

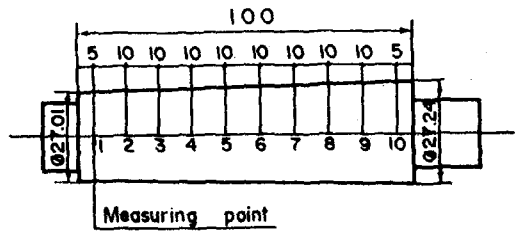


Fig. 2 The tapered specimen

하였다. 또한 가압력은 동일한 여러 개의 시편에 각각 다른 압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 Fig. 2와 같이 미량의 테이퍼진 시편을 선반의 양 센터 사이에 지지하고 가압체를 시편의 축방향으로 이송시킴으로써 각 구간에서 서로 다른 가압력이 가하여 지도록 하였다. 이와 같이 10등분한 시편의 구간에서 표면조도를 측정하였으며 표면조도가 가장 좋았던 부분의 경도 및 지름 변화량을 측정하여 이들의 관계를 검토하였다.

### 2.2 실험장치

#### (1) 실험장치의 개요도

Fig. 3의 실험장치는 시편과 가압력을 측정하기 위한 것이다. 여기서 측정할 것은 시편의 각 위치에서의 가압력이다. 위치는 시편의 가공점과 가공끝점간의 일직선 상의 거리로 나타내었다. 이 거리를 측정하기 위해서는 가압체의 위치를 기준으로 하여 그 이동된 거리를 직류전압으로 변환하는 전위차계를 사용하여 전위차계의 가변접점을 가압체와 연동되게 하여 가압체의 위치에 따라서 전위차계의 전위가 변동되게 하였다.

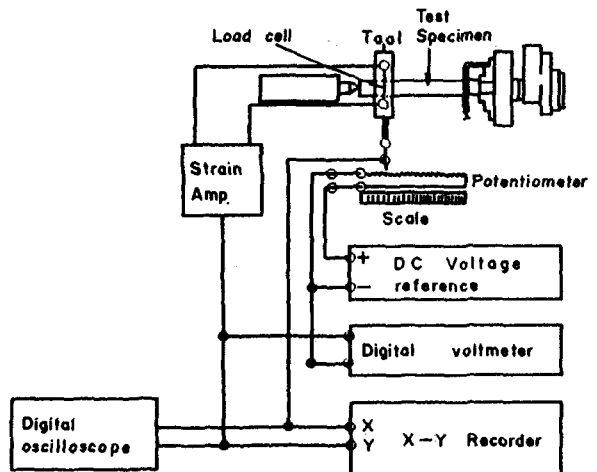


Fig. 3 Test specimen measuring system

이때 전위차계의 양쪽단자에는 전위변동이 무시될 정도의 일정한 직류전압을 공급하고 전위차계의 위치 변위에 대한 변위전위률 1cm 당 0.05 V로 설정하였으며, 이 값을 X-Y기록계의 X좌표측 상의 전위에 대한 변위값과 일치시키면 기록지의 눈금과 가압체의 이동변위 눈금도 일치하게 된다. 따라서 가공체 위의 가압체 위치와 X-Y기록계의 펜 위치는 항상 동일하게 된다. 시편의 가공가압력 조건은 가압체에 장치된 로우드 셀(load cell)에 가해지는 압력을 스트레인 증폭기로 증폭한 후 X-Y기록계의 Y축에 공급함으로써 그 전위변동을 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.

(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 호롤더)

가. 가압체의 모양과 치수

가압로울러는 시편의 진원도와 진직도를 유지하고 굽힘을 억제하기 위하여 NACHI 6000 ZZ 볼 베어링을 120°의 등간격으로 유지되도록 본체 내부에 삽입하고 동시에 베어링의 내륜 측면 크기에 맞는 두께 2mm

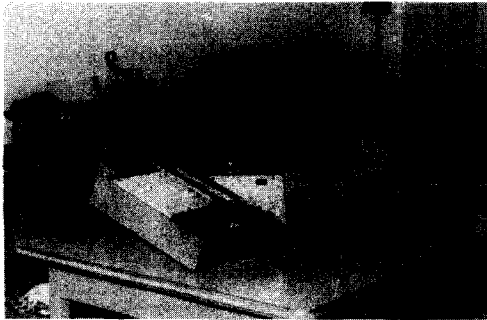


Fig. 4 Layout of experimental apparatus

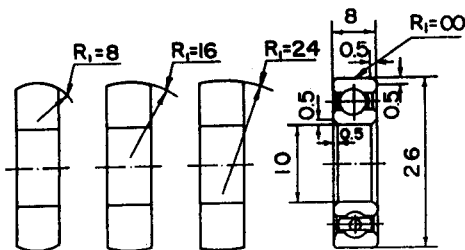


Fig. 5 Dimension of roller

링 와셔를 베어링 좌우에 함께 10 mm 하이스 핀으로 체결하였으며 Fig. 1과 같이 제작한 표면 로울링 기구를 사용하였다.

나. 로울러 모양과 치수

로울러는 NACHI 6000 ZZ 볼 베어링을 만능 공구 연삭기에 의해서 곡률반경 8 mm, 16 mm, 24 mm, ∞로 연삭하여 사용하였으며 그 모양은 Fig. 5와 같다. 한편 로울러베어링의 표면곡률부의 경도는 HRC 52 (Hv 540)이고, 표면조도는 0.1 μmRmax로 가공되었으며, 로울러 곡률반경 ∞에 있어서는 원활한 이송을 위하여 양단에 미소 R 0.5 mm를 주었다.

(4) 시 편

가. 재 질

본 실험에서 사용된 재료는 구상흑연주철이며 이들의 기계적 성질 및 화학 성분은 Table 1과 같다.

나. 시편의 모양과 치수

전가공으로 연삭가공하여 최대 높이 2.0 μmRmax~ 2.1 μmRmax로 즉 최대 높이 평균이 2.05 μmRmax로 표면조도를 가진 여러 개의 시편에 각각 다른 압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 미량의 테이퍼를 갖는 시편을 12개로 대응하였다. 시편의 모양과 치수는 Fig. 2 및 Table 2와 같다.

다. 연삭조건

시험재료를 연삭하기 위하여 사용된 정밀원통 연삭기는 KONDO Machine Works Co., Ltd. Model Gloss-N 1200 H이다.

(i) 연삭깊이 : 선삭으로 황삭가공된 시편에 연삭가공하였다. 연삭깊이는 0.05 mm로 하였다.

(ii) 시편의 원주속도 : 시편의 원주속도는 13 m/min이었다.

(iii) 시편의 이송속도 : 1.5 m/min으로 하였다.

Table 1 Mechanical properties and chemical compositions of the specimen

Mechanical properties						
Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Hardness (Hv)		
71	53.6	17×10 <sup>3</sup>	10.5	250		
Chemical compositions(%)						
C	Si	Mn	P	S	Mg	Sn
3.01	1.81	0.56	0.016	0.009	0.027	0.07

Table 2 Specification of specimens

Radius of curvature of roller surface	Specimens No.	$\mu m R_{max}$	Diameter (mm)		Hardness (Hv)	L (mm)
			$\phi D$	$\phi d$		
$R_1 = 8 \text{ mm}$	1	2.05	27.24	27.01	250	100
	2	2.1	"	"	"	"
	3	2.0	"	"	"	"
$R_1 = 16 \text{ mm}$	4	2.05	"	"	"	"
	5	2.0	"	"	"	"
	6	2.0	"	"	"	"
$R_1 = 24 \text{ mm}$	7	2.0	"	"	"	"
	8	2.1	"	"	"	"
	9	2.05	"	"	"	"
$R_1 = \infty$	10	2.1	"	"	"	"
	11	2.0	"	"	"	"
	12	2.0	"	"	"	"

$\phi D$  : large end,  $\phi d$  : small end

(iv) 연삭숫돌 : A60L7VA 형 405×38×203 mm 이며 숫돌의 회전수는 1,470 rpm 이다.

(5) 시편의 측정

가. 측정위치

각 시편의 측정점에서 길이 방향으로 10 mm 씩 10 구간으로 나누어 매 로울링마다 각 구간에서 5 mm 위치의 표면조도, 경도 및 직경의 감소량을 측정하였다.

나. 표면조도의 측정

측정기는 SURFCOM 300 B (TOKYO Semitsu co.)를 사용하였으며, cut off R 0.8 mm, traversing length 2.5, range 2K로 하였다. 또한 매 로울링 후 표면거칠기의  $\mu m R_{max}$  값을 측정하였다.

다. 직경측정

태이퍼진 시편의 외경을 측정하기 위하여 볼록 계이저를 이용하여 비교측정 하였으며 로울링 전후의 시편의 직경을 측정하였다.

라. 경도측정

비커스 경도 시험기 (Matsuzawa Seiki Co.)를 사용하였으며, 사용하중 10 kgf, 가압시간 30 초로 하여 매 표면 로울링 가압가공 후에 각 구간의 경도변화를 측정하였다.

마. 가압력 측정

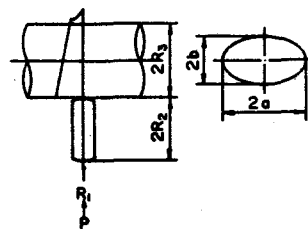
가압체에 설치된 100 kgf 로드 셀에 미치는 동적

변형을 측정용으로는 KYOWA Electronic Instruments Co., Ltd., Model-311 A와 Nicolet Instrument Co. Model 2090 디지털 오실로스코프를 사용하여 가압력 변화를 측정하였다.

### 3. 표면 로울링시 접촉면 압력계산

Fig. 6에 도시한 바와같이 공작물과 로울러가 상호접촉하고 있을 때 주접촉면 사이의 면적은 타원접촉면을 이루게 되며 이와 같은 로울러의 가하중에 따른 공작물 표면에서의 타원접촉면 압력은 Hertz의 탄성접촉 이론<sup>(9)</sup>에 따라 다음과 같이 주어진다.

$$P_s = \frac{P}{\pi ab} = \frac{2732}{\mu\nu} \sqrt{(\sum \rho)^2 \cdot P} \text{ kgf/mm}^2 \quad (1)$$



- $R_1$  = Radius of curvature of roller surface
- $R_2$  = Radius of roller
- $R_3$  = Radius of workpiece
- $2a$  = Major axis
- $2b$  = Minor axis
- $P$  = Load of roller

Fig. 6 Configuration of rolling contact

여기서 장·단 반경  $a, b$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$a = \mu \sqrt{\frac{3P(\xi_1 + \xi_2)}{\sum \rho}} \quad (2)$$

$$b = \nu \sqrt{\frac{3P(\xi_1 + \xi_2)}{8(\sum \rho)}} \quad (3)$$

$$\sum \rho = \rho_1 + \rho_2 + \rho_3$$

$$\rho_1 = \frac{1}{R_1}, \quad \rho_2 = \frac{1}{R_2}, \quad \rho_3 = \frac{1}{R_3}$$

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

$G$  = 권단탄성계수

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

$m$  = 프와송의 수

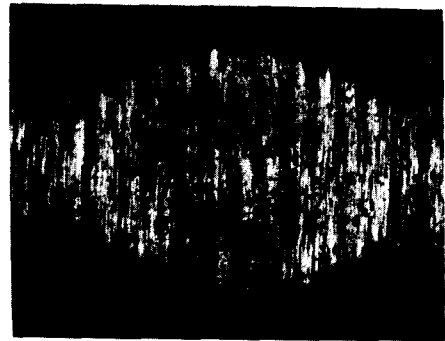
$\mu, \nu$ 는 제 1종 및 제 2종의 타원적분을 포함하는 함수이며 다음 식의  $\tau$  및 Fig. 7에서 구할 수 있다.

$$\cos \tau = \frac{\rho_2 + \rho_3 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3} \quad (4)$$

가정한 타원접촉면의 장·단반경  $a, b$ 가 구하여졌으므로 식 (1)을 이용하여 접촉부의 접촉면 압력  $P_s$ 를 구할 수 있다.

앞서 기술한 Hertz의 접촉면 압력에 대한 식은 공작물과 로울러가 정적인 하중 상태로 작용한다는 가정으로부터 유도된 식이며, 이들이 동적하중 상태를 유지하며 접촉하고 있을 때는 접촉면에 변화가 나타나기 때문에 적용을 할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 이

와 같은 동적하중 상태에서의 접촉면 압력을 구하기 위하여 우선 접촉 면적을 현미경 관찰을 통하여 구하였으며, 이를 Hertz 공식에 적용하여 동적상태 하에서도 적용이 가능하도록 수정을 가하였다. 먼저 동적하중 상태하의 접촉면적을 구하기 위하여 공작물의 회전과 로울러의 길이 방향으로의 이송에 따른 접촉면적의 변화를 생각한다. 먼저 전자인 경우 즉 로울러가 고정되어 있고 공작물이 회전한다고 하였을 때의 접촉면적은 로울러이며 공작물 표면에 대하여 로울링을 수행한 다음에 연속적으로 다음의 미 로울링부분을 향하여 가기 때문에 실제 접촉면은 1/2로 줄어들게 된다. 한편



(a) Static contact area ( $R_1=24$  mm)



(b) Dynamic contact area ( $R_1=24$  mm)

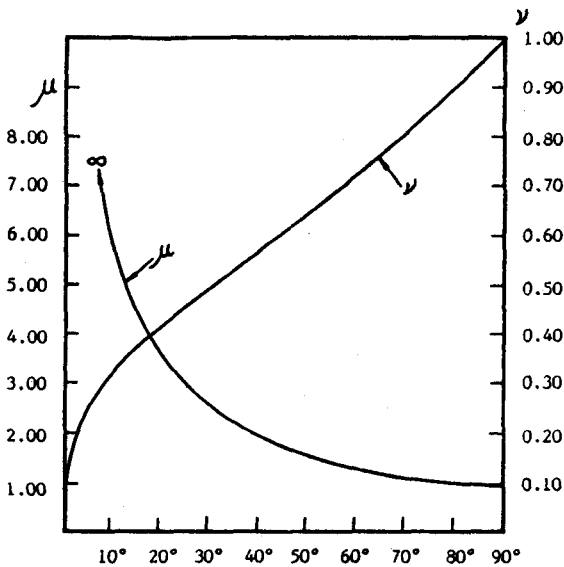


Fig. 7  $\mu, \nu$  value according to  $\tau$

Fig. 8 Shape of contact area at specimen radius,  $R_2=13.61$  mm

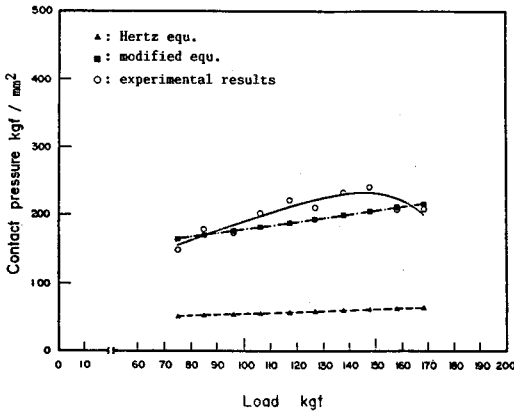


Fig. 9 Relation between the load and contact pressure at  $R_1=24$  mm

후자인 공작물이 고정되어 있고 로울러가 공작물의 길이방향으로 이송한다고 하였을 때 역시 로울러가 공작물 표면 뒤를 연속적으로 이송하고 있기 때문에 접촉면은 1/2로 줄어들게 된다. 따라서 상기의 두 가지가 동시에 발생한다고 하였을 때 접촉면적은 정적하중 상태인 타원접촉면적의 1/4로 줄어들게 됨을 알 수 있다.

따라서 공작물과 로울러가 회전 및 이송하는 경우 동적접촉면은 로울러의 이송 및 로울러와 공작물과의 접촉상태에 따라서 변화되므로 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$Ad = cAs, \quad 1/4 < c < 1/2 \quad (5)$$

여기서  $Ad$ 는 상술한 동적 상태 하에서의 접촉면을 나타낸다. 따라서 동적 접촉면압력( $p_d$ )은

$$p_d = P/Ad \quad (6)$$

에 의하여 계산할 수 있다.

이와 같은 동적 상태하의 접촉면에 대한 변화를 실험적으로 규명하기 위하여 공작물의 접촉사진을 확대하여 조사하였으며 그 결과를 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8(a)는 정적하중하의 접촉면 사진이며, Fig. 8(b)는 동적하중하의 접촉면을 나타낸 것이다. 사진을 통하여 보듯이 동적 상태에서의 접촉면적은 1/3정도로 현저하게 감소되므로,  $c$ 를 1/3로 하였을 때 가압력에 따른 접촉면 가압력의 변화를 Fig. 9에 도시하였다. 그림을 통하여 알 수 있는 바와 같이 Hertz의 공식에 의하여 계산된 결과보다는 본 연구에서와 같이 Hertz의 공식에 의하여 정적 접촉면을 계산하고, 여기에 로울러 이송 및 공작물과의 접촉상태등을 고려하여 식(6)으로부터 동적 접촉 압력을 계산한 결과가 보다 실험치에 잘 접근하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 로울러 표면곡률반경에 따른 접촉압력이 표면조도에 미치는 영향

로울러 다듬질시 로울러 표면곡률반경에 따른 접촉압력이 표면조도에 미치는 변화를 Fig. 10~Fig. 14에 나타내었다. 이때 로울러 다듬질 속도는 12 m/min로 하였고 이송속도는 0.36 mm/rev로 하였다.

Fig. 10은 로울러 표면곡률반경  $R_1=8$  mm일 때, 로울링 회수에 따른 접촉압력과 표면조도와의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 접촉압

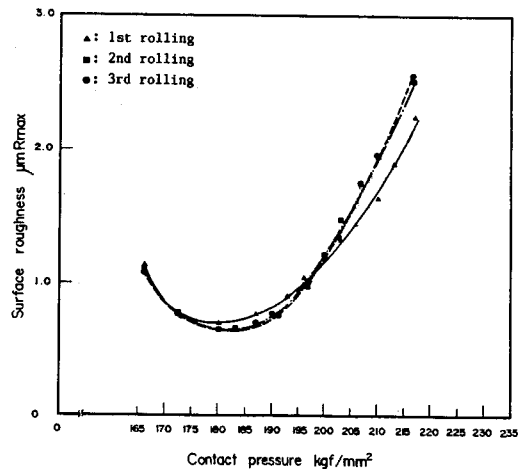


Fig. 10 Relation between surface roughness and contact pressure at  $R_1=8$  mm

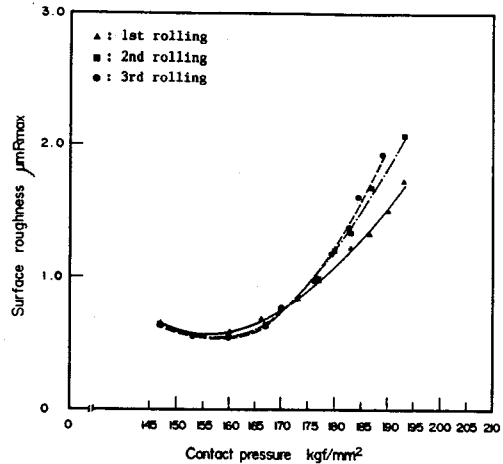


Fig. 11 Relation between surface roughness and contact pressure at  $R_1=16$  mm

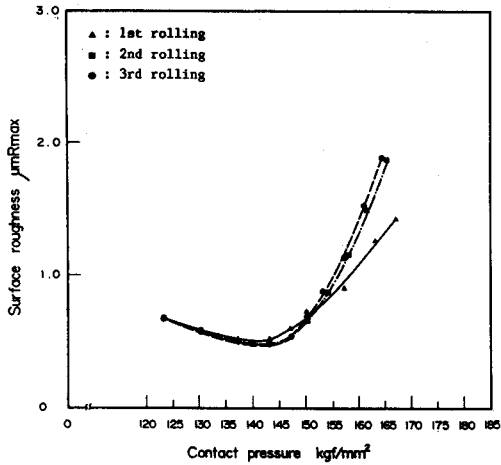


Fig. 12 Relation between surface roughness and contact pressure at  $R_1=24$  mm

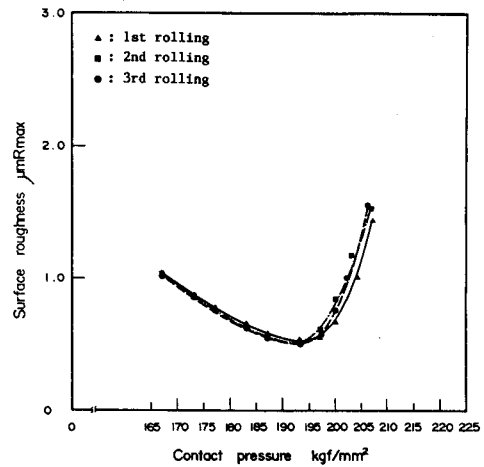


Fig. 13 Relation between surface roughness and contact pressure at  $R_1=\infty$  mm

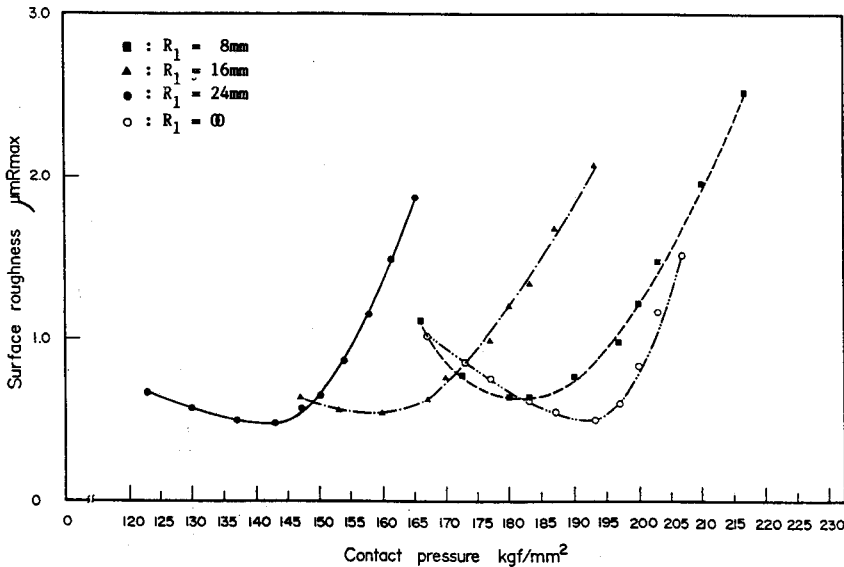


Fig. 14 Relation between surface roughness and contact pressure according to radius of curvature of roller surface at 2nd rolling

력 180 kgf/mm<sup>2</sup>~185 kgf/mm<sup>2</sup> 사이에서 표면조도는 0.64 µmRmax~0.7 µmRmax로서 양호하다.

또한 1차 가공보다는 2차가공 후의 표면조도가 좋아지고 있으나 3차 가공 후에는 2차 가공 후보다 차이가 없는 것으로 나타났다.

Fig. 11~Fig. 13은 로울러 표면곡률반경( $R_1$ )을 각각 16 mm, 24 mm로 변화시켰을 때의 접촉압력과 표면 조도와의 관계를 가공회수에 따라서 도시한 것이다. 접촉압력에 따른 표면조도의 변화는 Fig. 10의 경향과

유사하게 나타나고 있으며, 곡률반경을 크게 함에 따라서 접촉압력은 작아지고 있으나,  $R_1=\infty$ 인 경우 오히려 증가하고 있다.

이러한 현상은 시편이 테이퍼져 있기 때문에 로울러 전체가 접촉되지 않고 일부분이 접촉되면서 로울링이 이루어지기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 2차 로울링 후 곡률반경  $R_1=24$  mm 일 때 표면조도가 가장 좋으며 또한 그때의 접촉압력은 140 kgf/mm<sup>2</sup>으로 나타났다. Fig. 14는 상술한 바와 같이 표면조도가 가장

양호한 2차 로울링 후의 표면조도를 로울러 표면곡률 반경을 변화시키면서 도기한 것이다.  $R_1=24\text{ mm}$  일 때의 표면조도는  $0.48\ \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 로서 연삭가공 직후  $2.01\ \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 보다 조도가 현저하게 향상되는 것으로 나타났다.

따라서 본 실험에서 채택한 시편의 경우 로울러의 표면곡률반경을 24 mm로 하여 1, 2차 가공하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각된다.

4.2 로울러 표면곡률반경에 따른 접촉압력이 표면경도에 미치는 영향

로울러 다듬질시 로울러 표면곡률반경에 따른 접촉압력이 표면 경도에 미치는 변화를 Fig. 15, 16에 나타내었다. 이때 로울러 다듬질 속도는 12 m/min으로 하였고 이송속도는 0.36 mm/rev로 하였다.

Fig. 15는 로울러 표면곡률반경  $R_1=24\text{ mm}$ 일 때 로울러회수에 따른 접촉압력과 표면경도와의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 1차 가공보다는 2차 가공 후의 표면경도가 증가하고 있으나 3차 가공 후에는 2차 가공 후보다 적게 증가됨을 보이고 있다.

로울러 표면곡률반경  $R_1=24\text{ mm}$ 에 있어서 2차 로울링시 표면조도가 가장 양호하였던 부분의 경도를 보면 로울러의 접촉압력이 140 kgf/mm<sup>2</sup>일 때 Hv 395로서 연삭가공 직후 표면경도 Hv 250보다 다소 증가함

을 보이고 있다.

Fig. 16은 상술한 바와 같이 표면조도가 가장 양호한 2차 로울링 후의 표면경도를 여러 로울러 표면곡률반경에 대하여 도시한 것이다.

전반적으로 분석하여 볼 때 로울러의 접촉 압력에 따른 표면경도의 상태는 표면조도가 가장 양호한 부분에서는 일반적으로 적게 경화됨을 나타내고 있다.

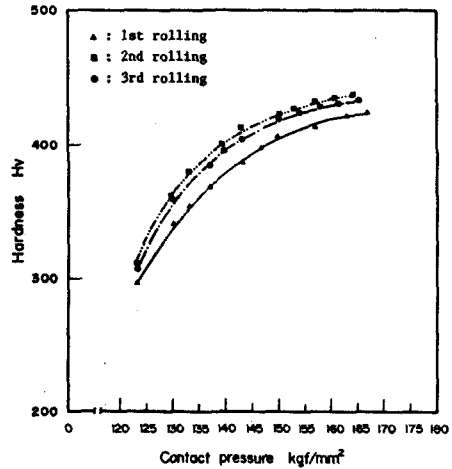


Fig. 15 Relation between surface hardness and contact pressure according to rolling time at  $R_1=24\text{ mm}$

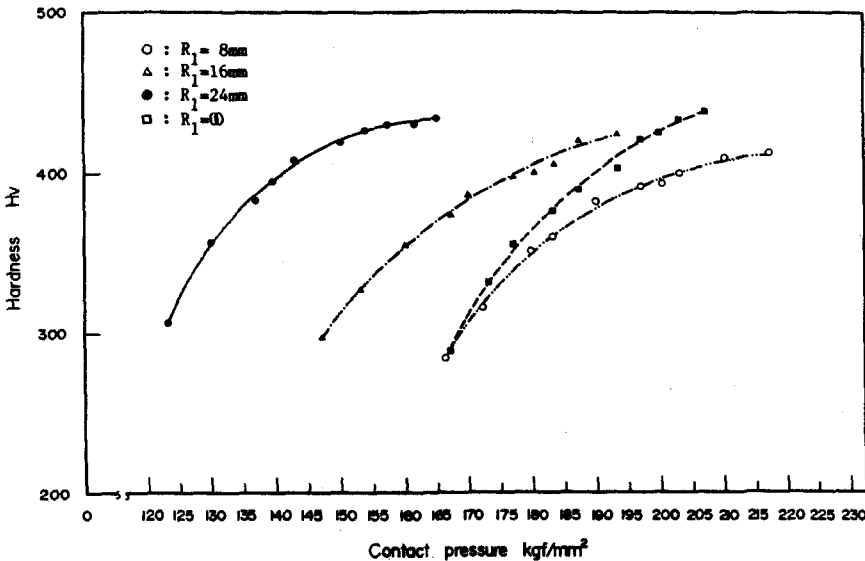


Fig. 16 Relation between surface hardness and contact pressure according to radius of curvature of roller surface at 2nd rolling



### 4.3 로울러 표면곡률반경에 따른 접촉압력이 지름감소량에 미치는 영향

로울러 다듬질시 로울러 표면곡률반경에 따른 접촉압력이 지름감소량에 미치는 변화를 Fig. 17, 18에 나타내었다. 이때 로울러 다듬질 속도는 12m/min으로 하였고 이송속도는 0.36mm/rev로 하였다.

Fig. 17은 로울러 표면곡률반경  $R_1=24$ mm일 때 로울링 회수에 따른 접촉압력과 지름감소량의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 1차 가공보다는 2차 가공후의 지름감소량이 적어지고 있으며 3차 가공후에는 2차 가공후보다 적게 감소됨을 보이고 있다.

로울러 곡률반경  $R_1=24$ mm에 있어서 2차 로울링시 표면조도가 가장 양호한 부분의 지름감소량을 보면 로울러의 접촉압력이 140kgf/mm<sup>2</sup>일 때 -12.8 $\mu$ m로 나타났으며 -14 $\mu$ m 이상의 범위에서는 가공회수에 따라 경도는 증가하나 오히려 표면조도는 악화됨을 알 수 있다.

Fig. 18은 상술한 바와 같이 표면조도가 가장 양호한 2차 로울링 후의 지름 감소량을 여러 로울러의 표면곡률반경에 대하여 도시한 것이다.

전반적으로 분석하여 볼 때 로울러의 접촉 압력에 따른 지름감소량의 상태는 표면조도가 가장 양호한 부분에서는 일반적으로 적게 감소됨을 알 수 있다.

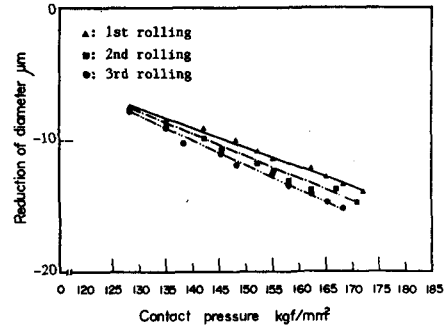


Fig. 17 Relation between reduction of diameter and contact pressure according time at  $R_1=24$  mm

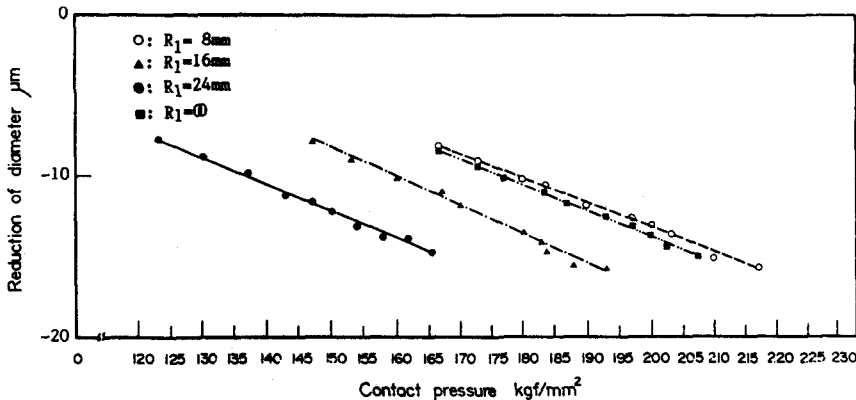


Fig. 18 Relation between reduction of diameter and contact pressure according to radius of curvature of roller surface at 2nd rolling

## 5. 결 론

연삭가공된 구상흑연주철 시편에 로울러 표면곡률반경을 변화시키면서 표면 로울링하는 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 실험에서 제작한 장치를 이용하는 경우 로울러 표면곡률반경 24mm일 때 가장 양호한 표면조도를 얻을 수 있었으며, 1차 로울링시 보다 2차 로울링 후의 표면조도가 더 향상되었다. 그러나 3차 로울링 후에는 대체로 2차 로울링 후의 조도와 차이가 없었다.

(2) 로울러 표면곡률반경 24mm인 경우 2차 로울링 후의 접촉압력이 140kgf/mm<sup>2</sup>일 때 0.48 $\mu$ mRmax로서 연삭후의 2.05 $\mu$ mRmax보다 현저하게 조도가 향상되었다. 한편 표면 경도는 2차 로울링 후 Hv 395로 로울링 전 가공 후의 표면경도(Hv 250)보다 증가하는 경향을 나타내었다.

(3) 로울러 표면곡률반경 24mm일 때 표면조도가 가장 양호하였던 부분의 직경 감소량은 -12.8 $\mu$ m로 나타났으며, 감소량 -14 $\mu$ m 이상에서는 가공회수에 따라서 경도는 증가하나 표면조도는 오히려 감소됨을 알 수 있었다.

(4) 표면로울링시의 동적접촉면은 정적접촉면의 약 25%~30%로 나타났으며, 동적접촉면을 정적접촉면의 1/3로 한 결과 접촉면 압력이 보다 실험치에 잘 접근함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- (1) 강명순, 김희남, 1986, "표면 로울링시 작업조건이 표면조도에 미치는 영향", 자동차공학회지, 제 8권, 제 3호, pp. 68~76.
- (2) 岡田裕二, 1984, "高强度 クランクシャフトの製造方法", 日本國特許廳(JP), 59-129730, pp. 133~137.
- (3) 옥평수, 이용성, 김윤제, 이동주, 1980, "Effect of Surface Rolling on Mild Steel with Ball Bearing", Proceeding of 4th I.C.P.E., Tokyo, pp. 1035~1040.
- (4) E. Paul, DeGarmo, 1979, "Materials and Processes in Manufacturing", MacMillan Publishing Co., Inc, New York, p. 403.
- (5) 손명환, 1975, "마찰가공의 최적 가공조건에 관한 연구(제 1보)", 대한기계학회지, 제 15권, 제 3호, pp. 303~315.
- (6) 손명환, 1975, "마찰가공의 최적 가공조건에 관한 연구(제 2보)", 대한기계학회지, 제 15권, 제 4호, pp. 375~381.
- (7) 伊藤 纈, 1950, "ローラ仕上の特性と效果(1)", 機械の研究, 제 2권, 제 8호, pp. 406~408.
- (8) 伊藤 纈, 1950, "ロー仕上の特性と效果(2)", 機械の研究, 제 2권, 제 9호, pp. 457~460.
- (9) 管博, 1950, "ローラー仕上について", 日本國有鐵道, 2월호, pp. 126~133.
- (10) 大岩 藤造, 高澤孝哉, 吉田直政, 1952, "ローラー仕上の研究", 精密機械, 제 18권, 제 6호, pp. 189~193.
- (11) 大岩 藤造, 高澤孝哉, 吉田直政, 1950, "軸頸のローラー仕上に關する研究", 精密機械, 제 16권, 제 11호, pp. 309~314.
- (12) 佐藤健兒, 1951, "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 3권, 제 2호, pp. 137~140.