

## 연삭가공된 강재의 표면 Rolling시 가압력이 표면 조도에 미치는 영향

김 희 남  
영지대학교 기계공학과

### An Effect of Load on Surface Roughness on Surface Rolling of Ground Mild Steel.

Hee-Nam Kim

*Department of Mechanical Engineering, Myong-Ji University*

#### 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 SS40 steel can be obtained at the contact pressure of  $210 \text{ kgf/cm}^2$ .

But, Better surface roughness can not be expected, Due to flaking phenomena at more than  $300 \text{ kgf/cm}$  of contact pressure.

2) At the contact pressure range of  $200 \text{ kgf/cm}^2 \sim 210 \text{ kgf/cm}^2$  for optimal surface roughness, The surface hardness increased to Hv 200 ~ Hv 240 from Hv 125 before surface rolling.

3) Within the diameter variation of  $13 \mu\text{m}$  the surface roughness and the surface hardness were increased, but out of variation of  $14 \mu\text{m}$ . The surface roughness become worse and the surface hardness was increased.

1. 서 론

기계의 성능유지와 수명의 연장을 위해서는 끼워맞춤부의 정밀도와 금속표면의 조도 및 경도의 향상이 요구되어진다. 선삭으로 가공된 다듬질면도 화이트의 날끝상태와 가공조건에 따라 양호한 표면조도를 나타낼 수 있지만 금속의 표면조도를 더욱 향상시키는 방법으로서 Grinding, Lapping, Super finishing 과 같이 미세한 절삭을 하는 절삭가공법과 다듬질면에 소성변형을 주어 표면조도를 향상시키는 소성가공법이 사용된다.<sup>1,2,6-11)</sup> 이 중 소성가공법은 절삭가공법과는 달리 선삭한 공작물 표면에 로울러를 사용하여 가압에 의하여 금속표면에 소성 변형을 줌으로써 표면조도와 표면경도를 동시에 향상시키는 소성가공법으로서, 1982년 독일에서 처음으로 철도 차륜의 다듬질에 사용되어 좋은 효과를 보았으며, 근래에 와서는 버니싱 및 볼브로우칭과 함께 정밀한 끼워맞춤을 요하는 부분에 보편적으로 이용되고 있는 방법이다.

로울러 다듬질에 대한 대표적 연구로는 伊藤 鎮<sup>12)</sup>의 로울러 다듬질의 특성과 효과에 관한 연구, 管博<sup>13)</sup>의 로울러 다듬질에 관한 大岩 藤造, 高澤考哉 吉田直正<sup>14)</sup>, 등의 로울러 다듬질연구, 佐藤健兒<sup>15)</sup>의 로울러 다듬질면의 미끄럼 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 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 금속 표면의 정밀가공법을 연구 대상으로 하여 연삭가공된 시편에 NACHI 6000 ZZ 볼베어링을 로울러로 사용하여 미량의 Taper를 부여한 연강봉에 로울러 다듬질을 시행함으로써 가압력이 표면조도에 미치는 영향을 구명하는데 목적을 두었으며 아울러 Rolling 회수에 따르는 표면조도, 경도 및 직경의 변화량을 실험적으로 구명하는 것을 목적으로 하였다. 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

前가공이 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 작업조건은 필자가 "표면 Rolling 시 작업조건이 표면조도에 미치는 영향"에서 이미 밝힌 표면 Rolling 작업조건이 가장 좋았던 영역의 한 부분인 12m/min의 다듬질 속도와 0.36mm/rev의 이송속도를 선택하여 실험을 수행하였다. 또한 가압력은 동일한 여러개의 시편에 각각 다른 압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 Fig. 2와 같이 미량의 Taper진 시편을 선반의 양 센터사이에 고정하고 가압체를 시편의 축방향으로 이동시킴으로써 각 구간에서 서로 다른 가압력이 가하여지도록 하였다. 이와 같이 10등분한 시편의 전구간에서 표면조도를 측정하였으며 표면조도가 가장 좋았던 부분의 경도 및 지름 변화량을 측정하여 이들의 관계를 검토하였다. 또한 이들 접촉부의 가압력 계산과정은 부록-A에 나타내었다.

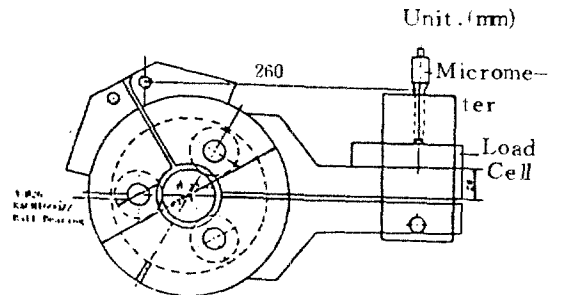


Fig. 1 The surface rolling tool.

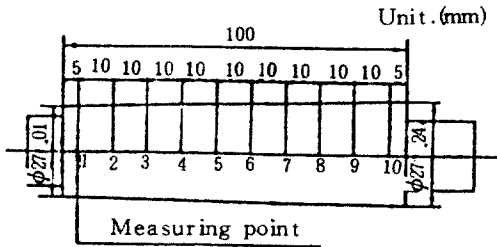


Fig. The taper specimen.

2-2. 실험장치

(1) 실험장치 개요도

Fig. 3의 실험장치는 시편과 강재의 조건을 측정하기 위하여 설계되었다. 여기서 측정되어야 할 조건은 시편에 가해지는 가압력과 위치에 대한 가압력 분포이다. 위치는 시편의 가공시작점과 가공끝점간의 일차원 좌표값으로 나타내게 하였다. 이 일차원 좌표값을 측정하기 위해서는 가압체의 위치를 기준으로 하여 그 이동된 거리를 직류전압으로 변환하는 전위차계를 사용하였다. 전위차계의 가변접점을 가압체와 연동되게 하여 가압체의 위치에 따라서 전위차계의 전위가 변동되게 하였다. 이 때 전위차계의 양쪽단자에는 전위변동이 무시될 정도의 일정한 직류전압을 공급하였다. 전위차계의 위치변위에 대한 변위전위를 1cm당 0.05 V로 설정하였으며, 이 값을 X-Y기록계의 X좌표축 상의 전위에 대한 변위값과 일치시키면 기록지의 눈금과 가압체의 이동 변위 눈금도 일치하게 된다. 따라서 가공체위의 가압체 위치와 X-Y기록계의 pen 위치는 항상 동일하게 된다. 시편의 가공가압력 조건은 가압체에 장치된 load cell에 인가되는 압력을 스트레인 증폭기로 증폭한 후 X-Y기록계의 Y축에 공급함으로써 그 응력값을 기록하였다. 따라서 시편의 위치에 대한 가압력조건의 상태는 X-Y기록계의 X좌표에 대한 Y좌표의 분포로 나타낼 수가 있다. 이 때 디지털 전압계는 스트레인 증폭기의 영점조정과 전위차계의 위치변위에 대한 전압변위량을 측정하기 위하여 사용하였다.

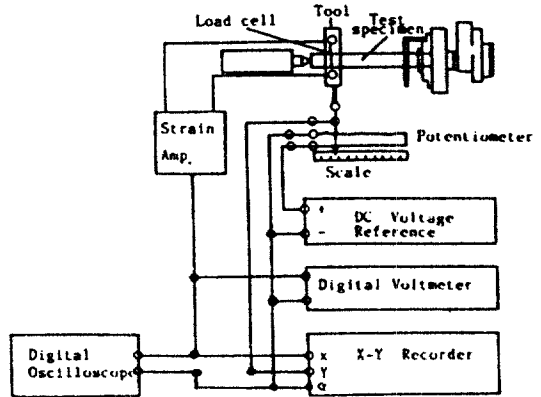


Fig. 3 Test Specimen Measurement System.

(2) 선 반

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



Fig. 4 Lay out of experimental apparatus

(3) 가압체

① 가압체의 형상과 치수

가압로울러는 시편의 직원도와 진직도를 유지하고 굽힘을 억제하기 위하여 3개의 NACHI 6000 ZZ Ball bearing을 이용하였으며 Fig.1과 같이 제작한 Surface rolling tool를 사용하였다.

② 로울러 형상과 치수

로울러는 NACHI 6000ZZ Ball bearing 을 만능 공구 연삭기를 써서 연삭한 것을 사용하였으며 그 형상은 Fig. 5와 같다.

(4) 시 편

① 재 질

본 실험에서 사용된 재료는 연강(SS40)이며 이들의 기계적 성질 및 화학적 성분은 Table. 1 과 같다.

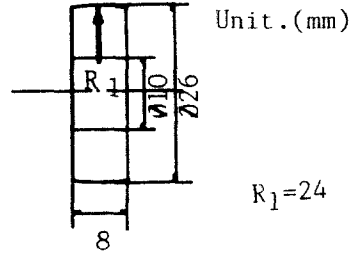


Fig. 5 Dimensions of rolling roller.

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 stress (Kgf/mm <sup>2</sup> )	29.1	Si	0.33
Modulus of elasticity(Kgf/mm <sup>2</sup> )	21.5 × 10 <sup>3</sup>	Mn	0.39
Possion's ratio (ν)	0.28	P	0.016
Hardness (Hv)	125	S	0.021
Elongation	31.8		

② 시편의 형상과 치수

전가공으로 연삭가공하여 중심선 평균조도가 0.04 μmRa~0.45 μmRa, 즉 중심선 평균조도가 평균 0.42 μmRa로 여러개의 시편에 각각 다른

압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 미량의 테이퍼를 갖는 시편을 8개로 대용하였다. 시편의 형상과 치수는 Fig. 2 및 Table 2와 같다.

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	"	"

연삭가공된 강재의 표면 Rolling 시 가압력이 표면조도에 미치는 영향

③ 연삭조건

시험재료를 연삭하기 위하여 사용된 정밀 원통 연삭기는 Kondo Machine Works Co, LTD 제 Model Closs-N 1200H이다.

a) 연삭깊이 : 선삭으로 황삭가공된 시편에 슛돌수정 후 연삭가공하였다. 연삭깊이는 0.05mm로 하였다.

b) 원주속도 및 회전수 : 주축의 회전수는 155 rpm으로 하였으며, 따라서 시편의 원주속도는 13m/min가 되었다.

c) 시편의 이송속도 : 1.5m/min으로 하였다.

d) 연삭숫돌 : 사용된 숫돌은 A60L7VA형이며 칫수는 405×38×203mm이며 숫돌의 회전수는 1470 rpm이다.

(5) 시편의 측정

① 측정위치

각 시편의 측정점에서 길이방향으로 10mm씩 10구간으로 나누어 매 Rolling마다 각 구간에서 5mm 위치의 표면조도, 경도 및 직경의 감소량을 측정하였다.

② 표면조도의 측정

측정기는 Surfcom 300B(Tokyo Semitsu사)를 사용하였으며, Cut-off R 0.8mm, Traversing Length 2.5, Range 2K로 하였으며, 또한 매 rolling 후 roughness의  $\mu\text{mRa}$ 값을 측정하였다.

3) 직경측정

Taper 가진 시편의 외경을 측정하기 위하여 Block Gauge를 이용하여 비교측정하였으며 Rolling 전후의 시편의 직경을 측정하였다.

(4) 경도측정

Micro-Vickers Hardness Tester(Matsuzawa Seiki Co.)를 사용하였으며 사용하중 10 kgf, 가압시간 30초로 하여 매 가압가공후에 각 구간의 경도변화를 측정하였다.

⑤ 가압력 측정

가압체에 설치된 100 kgf load cell 에 미치는 동적 변형률의 거동상태 측정용으로 Dynamic Strain Amplifier로서는 Kyowa Electronic Instruments Co., LTD제 Model-311 A와 Nicolet Instrument Co. 제 Model 2090 Digital Oscilloscope를 사용하여 가압력 변화를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 로울러 가압력에 따른 다듬질면의 조도

로울러 다듬질시 가압력에 따른 표면조도의 변화를 Fig. 6, 7, 8에 나타내었다. 이 때 로울러 다듬질 속도는 12m/min으로 하였고 이송속도는 0.36mm/rev로 하였다.

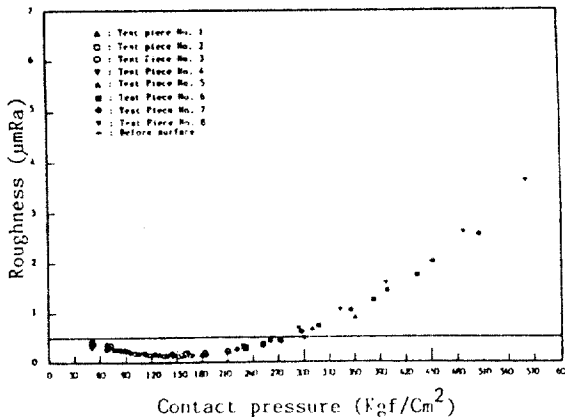


Fig 6. Surface roughness v.s. contact pressure. (irst rolling)

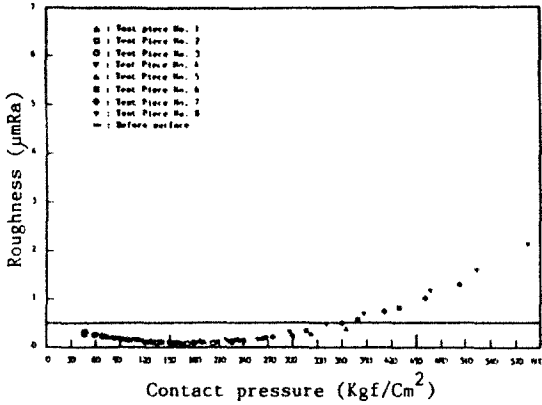


Fig 7. Surface roughness v.s. contact pressure(Second rolling)

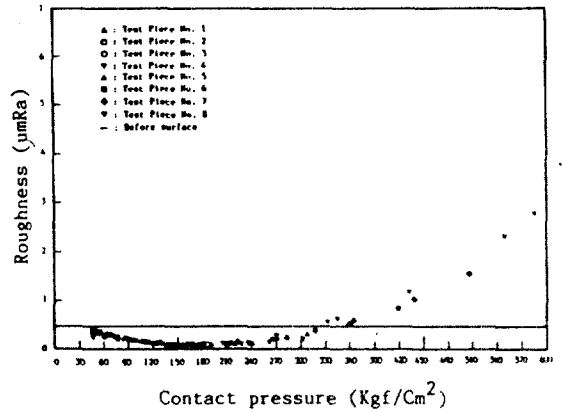


Fig 8. Surface roughness v.s. contact pressure(Third rolling)

Fig.6에서는 1차 금속표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면조도의 상태를 보여주고 있으며, 각 시편의 1차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이  $120\text{kgf/cm}^2 \sim 180\text{kgf/cm}^2$ 에서 표면조도가  $0.1\mu\text{mRa}$ 로 향상됨을 알 수 있었으며 로울러 접촉압력이  $300\text{kgf/cm}^2 \sim 570\text{kgf/cm}^2$ 에서는 표면조도는  $0.5\mu\text{mRa} - 3.75\mu\text{mRa}$ 까지 거칠어짐을 알 수 있었다.

Fig.7에서는 2차 금속표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면조도의 상태를 보여주고 있으며, 각 시편의 2차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이  $120\text{kgf/cm}^2 \sim 225\text{kgf/cm}^2$ 에서 표면조도가  $0.08\mu\text{mRa}$ 로 향상됨을 알 수 있었으며,  $300\text{kgf/cm}^2 \sim 585\text{kgf/cm}^2$ 에서는 표면조도는  $0.5\mu\text{mRa} \sim 2.2\mu\text{mRa}$ 까지 거칠어짐을 알 수 있었다. 또한 1차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이  $120\text{kgf/cm}^2 \sim 180\text{kgf/cm}^2$ 때 보다 표면조도는  $0.02\mu\text{mRa}$  정도 더 향상됨을 알 수 있었다.

Fig.8에서는 3차 금속표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면조도의 상태를 보여주고 있

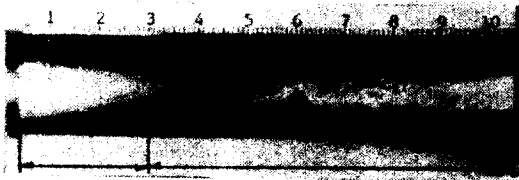
으며 각 시편의 3차 표면 rolling시 로울러의 접촉압력이  $112.5\text{kgf/cm}^2 \sim 240\text{kgf/cm}^2$ 에서 표면조도가  $0.09\mu\text{mRa}$ 로 2차 rolling시 보다  $0.01\mu\text{mRa}$  정도 표면조도는 약간 악화됨을 볼 수 있으나  $360\text{kgf/cm}^2 \sim 585\text{kgf/cm}^2$ 에서는  $0.5\mu\text{mRa} - 3.7\mu\text{mRa}$ 로 2차 rolling시 보다 표면조도는 거칠어짐을 알 수 있었다.

Fig. 6, 7, 8에서 알 수 있는 바와 같이 가압력의 변화는 가공면의 표면조도의 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 로울러 접촉압력이  $300\text{kgf/cm}^2$  이상에서는 소성변형의 정도가 과다해져 오히려 가공면의 표면에 플래킹(flaking)현상을 일으켜 오히려 가공면의 표면조도가 악화됨을 알 수 있었다.

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

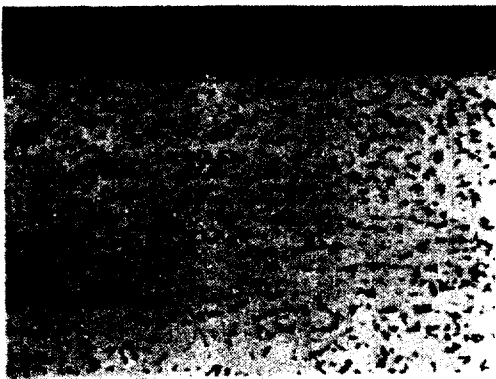
들 표면의 각 부분을 반경 방향으로 절단하여 금속현미경으로 100배 확대하여 본 것이 Fig.10 (a)(b)이다. Fig.10의 (a)는 가공면의 표면조도가 가장 향상된 금속표면인 부분의 단면을 보인 것이며 금속 내부의 조직은 표층이 약간 압축 상태만 보일 뿐 특별한 변형상태를 볼 수 없었다.

한편 Fig.10의 (b)는 가공면의 표면조도가 악화된 금속표면인 부분의 단면을 보인 것으로 금속표면에 심한 plastic deformation을 받아 금속표면에는 심한 플래킹(flaking)현상을 나타내고 있으며 금속 내부에는 심한 metal flow를 보여주고 있음을 알 수 있다.

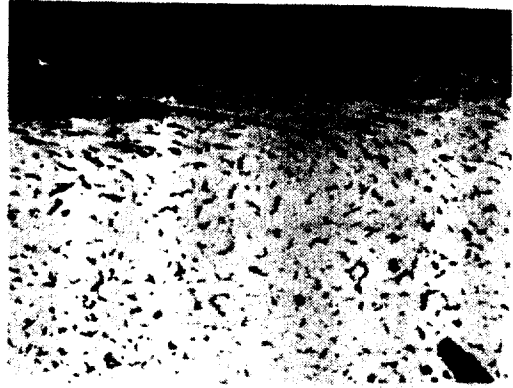


good condition      worse surface condition (Flaking)

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



(a) Good condition.



(b) Worse surface condition (Flaking)

Fig. 10 Micro-photograph of SS40 after surface rolling.(x100)

### 3-2. 로울러 가압력과 표면경도의 변화

Fig. 11,12,13은 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. 이 때 로울러 다듬질 속도는 12m/mm으로 하였고 이송속도는 0.36mm/rev로 하였다. 각 시편에 있어서 표면 rolling시 표면조도가 가장 양호하였던 부분의 경도를 보면,

Fig. 11에서 보듯이 1차 표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면조도의 상태는 각 시편의 로울러 접촉압력이 120kgf/cm<sup>2</sup>~180kgf/cm<sup>2</sup>에서 표면경도는 Hv 174~Hv 194로 증가됨을 알 수 있었다.

Fig. 12에서 2차 표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면경도의 상태를 나타낸 것으로서 각 시편의 로울러의 접촉압력이 120kgf/cm<sup>2</sup>~225kgf/cm<sup>2</sup>에서 표면경도는 Hv 187~Hv 228로 증가됨을 알 수 있었다.

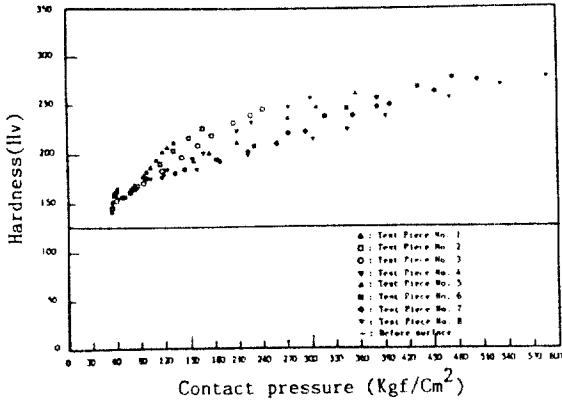


Fig. 11 Surface hardness v.s. contact pressure.(First rolling)

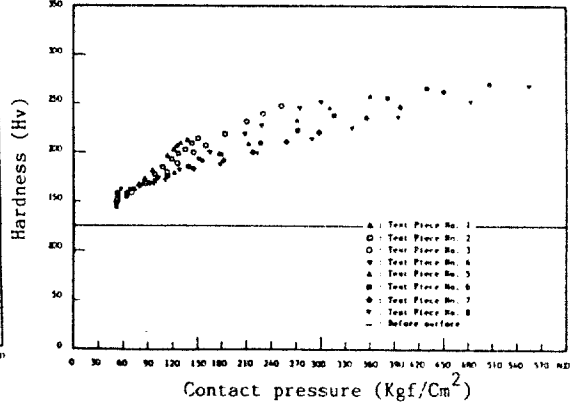


Fig. 12 Surface hardness v.s. contact pressure.(Second rolling)

Fig. 13에서는 3차 표면 rolling시 로울러 가압력에 따른 표면경도의 상태를 나타낸 것으로서 각 시편의 로울러 접촉압력이 112.5 kgf/cm<sup>2</sup> ~

240 kgf/cm<sup>2</sup>에서 표면경도는 Hv 200~ Hv250으로 증가됨을 알 수 있다.

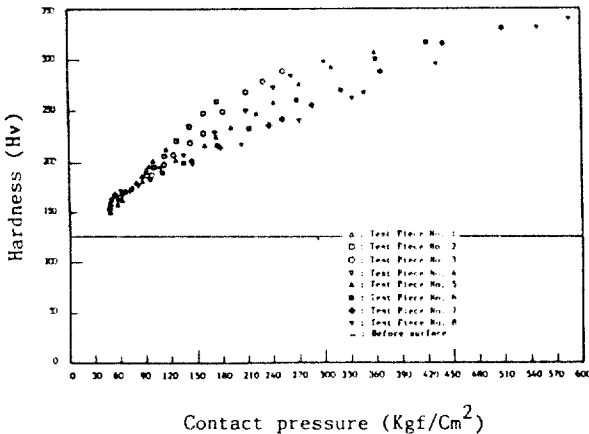


Fig. 13 Surface hardness v.s. contact pressure.(Third rolling)

전반적으로 분석하여 볼 때 로울러 가압력에 따른 표면경도의 상태는 표면조도가 가장 양호한 부분에서는 일반적으로 다소 경화됨을 나타내고 있다.

3-3. 로울러의 가압력에 따른 직경의 변화상태 각 시편의 가공면의 표면조도가 가장 양호한

부분의 표면 rolling시 전과 후의 직경과 직경의 감소량을 나타내면 Table. 3과 같다.

이상의 결과를 통하여 rolling 후의 표면조도가 가장 양호한 부분의 각 시편의 직경분포는 27.040~27.068 mm에 존재하며 이 때 직경 감소량은 13.1 $\mu$ m~13.3 $\mu$ m이고 감소율은 12.5%~



연삭가공된 강재의 표면 Rolling 시 가압력이 표면조도에 미치는 영향

13.0% 정도이다. 그리고 그 이상의 직경값이 될 때는 오히려 거칠어지므로 표면 rolling의 효과를 기대하기 어렵다.

Table 3. Reduction of diameter according to rolling.

Specimen No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Contact pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	130	160	200	220	220	220	200	200
Diameter (mm) Before rolling	27.040	27.060	27.050	27.065	27.048	27.059	27.062	27.068
Diameter (mm) After rolling	26.905	26.923	26.919	26.929	26.916	26.922	26.925	26.929
Reduction of diameter (μm)	13.5	13.7	13.1	13.6	13.2	13.7	13.7	13.9
Reduction ratio of diameter (%)	13.0	12.9	12.5	12.7	12.5	12.9	12.9	13.0
Rolling time	2nd	2nd	2nd	2nd	2nd	2nd	2nd	2nd

4. 결 론

이상의 실험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 前가공이 연삭인 경우에 있어서 로울러 다듬질시 표면조도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 가압력이다. 즉 SS40 강인 경우 접촉부의 가압력이 210kgf/cm<sup>2</sup>에서 가장 좋은 표면조도를 얻을 수 있었다. 그러나 접촉부의 접촉압력이 300kgf/cm<sup>2</sup> 이상이면 플래킹(flaking) 현상이 나타나므로 표면조도의 향상은 기대하기 어렵다.

2) 표면조도가 가장 향상되는 로울러의 접촉 가압력인 200kgf/cm<sup>2</sup>~210kgf/cm<sup>2</sup>에서 표면경도는 Hv200~Hv240으로서 연삭 후의 표면경도인 Hv125보다 약 2배의 향상을 보이고 있다.

3) 직경의 변화가 14 μm을 벗어나는 범위에서는 가공회수에 따라 경도는 증가되나 오히려 표면조도는 악화됨을 알 수 있다.

부 록 - A

로울러 압착력에 의한 접촉압력 계산

Fig. A-1에 공작물과 로울러의 접촉시에 있

어서의 모든 기호를 도시하였다.

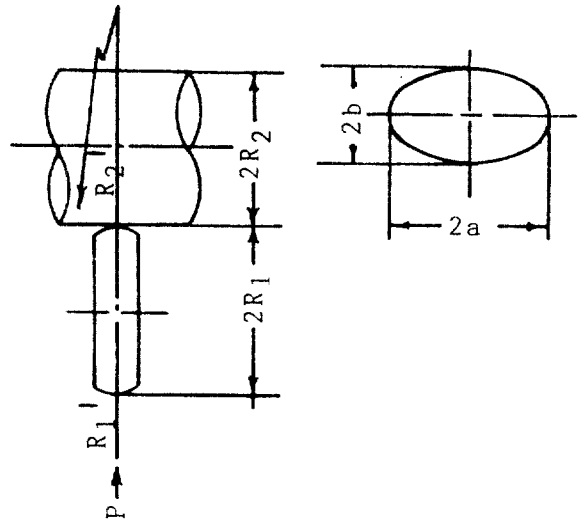


Fig. A-1 Configuration of rolling contact.

- $R_1$  = 로울러의 회전면의 반경
- $R_1'$  = 로울러의 배열형의 반경
- $R_2$  = 공작물(원통)의 반경
- $R_2'$  = 공작물이 원통인 경우
- $2a$  = 접촉타원의 장경
- $2b$  = 접촉타원의 단경
- $P$  = 로울러의 압착력

탄성접촉 범위내에서 Hertz의 이론에 의하면 양분체는 다음식에 표시한 타원접촉면으로 접촉한다.

접촉타원의 장단축의 반경 a, b는

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

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

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 = 전탄성 계수

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

m = 포아손비의 역수

$\mu, \nu$ 는 제 1종 및 제 2종의 타원적분을 포함하는 함수인데 다음식의  $\tau$ 로부터 Fig. A-2에서 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \cos \tau &= -\frac{\rho_{11} - \rho_{12} - \rho_{21} - \rho_{22}}{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}} \\ &= \frac{\rho_{12} + \rho_{21} - \rho_{11}}{\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21}} \end{aligned}$$

가정한 타원접촉면의 장단반경 a, b가 구하여졌으므로 다음식을 이용하여 접촉부의 가압력  $P_0$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{P}{\pi ab} \\ &= \frac{27.32}{\mu\nu} \sqrt[3]{(\rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21}) \cdot P} \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

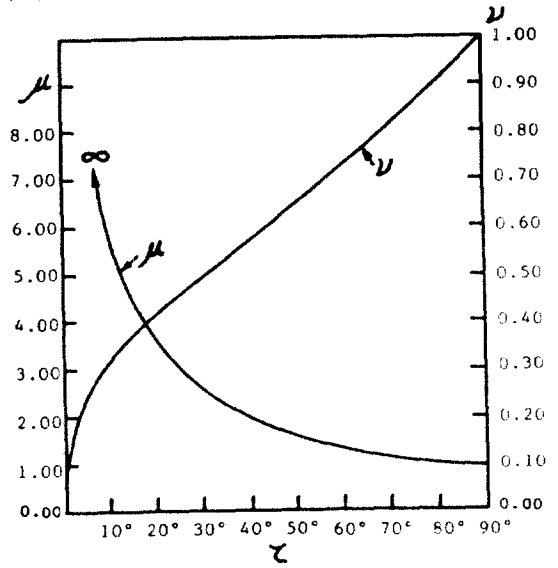


Fig. A-2  $\mu, \nu$  value according to  $\tau$

### REFERENCES

1. H.N.Kim, 表面 Rolling 時 作業條件이 表面粗度에 미치는 影響, 韓國自動車工學會, Vol. 9, (1986).
2. K.S.Yuck, Proceeding of the International Conference on Production Engineering, Japan Society of Precision Engineering, p.1035 (1980).
3. E.Pua, Materials and Processes in Manufacturing, p.401 ~ 403 (1979).
4. KBS General Catalogae, "Life of Bearing" Korea Bearing Ind.Co.,Ltd, p.18.
5. 津和秀夫, 田中義信, 精密工作法, 東京共立出版, p.125 (1973).
6. 大岩藤造, 高澤孝哉, 吉田直正, ローラー仕上の研究, 精密機械, p.189(1952).
7. 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, Vol. 3, p.137 (1951).

연삭가공된 강재의 표면 Rolling시 가압력이 표면조도에 미치는 영향

8. 伊藤鎮, ローラー仕上の 特性と效果(1), 機械の研究, Vol.2, p.406(1950).  
ローラー仕上に関する研究, 精密機械, Vol.16. p.309(1950).
9. 伊藤鎮, ローラー仕上の 特性と效果(2), 機械の研究, Vol.2, p.457(1950).
11. 管博, ローラー仕上について日本國有鐵道, Vol.2. p.126(1950).
10. 大岩藤造, 高澤孝戰, 吉田直正, 軸頸のロー