

표면 Rolling시 작업조건이 표면조도에 미치는 영향

Study on the Effect of the Surface Rolling Condition to the Surface Roughness

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

ABSTRACT

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

In this study, three NACHI 6000 ZZ bearing were used for surface rolling tool on the mild steel and high carbon steel.

The purpose of this study is to investigate the effects of rolling speed, feed rate and contact pressure on the surface roughness.

The following results have been obtained with the mild steel and high carbon steel.

1. The roller finishing method has increased surface roughness from $2.4 \mu\text{mRa}$ at initial ground surface to $0.17 \mu\text{mRa} \sim 0.4 \mu\text{mRa}$.
2. The contact pressure has influenced greatly on the surface roughness. There is an optimal contact pressure.
3. As the rolling speed and the feed rate decrease, the surface roughness improves.
4. The optimal contact pressure for the good surface roughness of SS40 and STC 3 has been at 213 Kgf/Cm^2 and 220 Kgf/Cm^2 respectively.

1. 서 론

기계를 구성하고 있는 요소들이 고도의 정밀도를 요구하기 때문에 기계가공의 정밀도가 고정밀화 되어가고 있다. 일반적으로 이용되는 정밀가공법으로는 연삭, 래핑, 호우닝, 슈우퍼니싱 등과 같이 미세한 절삭을 하는 가공

법과 다듬질면에 소성변형을 주어 표면의 조도와 경도를 향상시키는 방법이 있다.^{(1), (2), (4)~(10)}

로울러 다듬질은 신삭한 공작물 표면에 로울러를 사용하여 가압에 의한 소성변형을 줌으로써 표면의 조도와 표면의 경도증가를 주는 소성가공법으로써 1928년 독일에서 처음으로 이용되어 철도차轮的 다듬질에 사용되어

* 한양대학교 기계공학과

** 명지대학교 기계공학과

좋은 효과를 보았으며, 난래에 와서는 버니싱 및 볼 브로우칭과 더불어 정밀끼워 맞춤을 요하는 부분에 널리 사용되고 있다.

로울러 다듬질에 대한 연구로는 伊藤鐵^{(6),(9)}의 로울러 다듬질의 특성과 효과에 대한 연구, 管博⁽¹¹⁾의 로울러 다듬질에 대한 연구, 大岩藤造, 高澤考哉, 吉田直正⁽¹⁰⁾ 등의 로울러 다듬질의 연구, 佐藤健兒⁽⁷⁾의 로울러 다듬면의 미끄럼 접촉에 대한 연구 등이 있으나 연삭후의 로울러 다듬질에 대한 경우이며 아직도 충분한 정량적인 검토가 이루어졌다고 볼 수 없고 연삭후의 로울러 다듬질에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 표면정밀 가공법을 연구 대상으로 하여 연삭가공된 시편에 NACHI 6000 ZZ 볼 베어링을 로울러로 사용하여 로울러 다듬질을 할 때 로울러 다듬질 속도가 표면조도에 미치는 영향, 로울러 다듬질시 이송속도가 표면조도에 미치는 영향 및 로울러 가압력이 표면조도에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 구명하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법 및 장치

2-1 실험방법

전 가공이 연삭일 경우에 로울러 다듬질이 표면조도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 정밀원통 연삭기로 연삭한 연강 및 탄소강 시편을 선반의 양센타 사이에 물리고 Fig. 1과 같은 가압체를 이용하여 로울러 다듬질을 하였다. 이때에 로울러 다듬질 속도, 이송속도 및 가압력 등의 작업조건을 변화시켜 이에 따른 가공면의 표면조도를 측정하였다. 가압력 조건은 동일한 여러 개의 시편에 각각 다른 압력으로 가압하는 것과 동일한 효과를 얻기 위하여 Fig. 2와 같은 미량의 기울기를 갖는 시편을 선반의 양센타 사이에 고정하고 길이 방향으로 이송을 주면서 가압체에 미치는 하중을 측정하였다. Fig. 2와 같이 10등분 한 각 구간의 표면조도를 측정한 후 가장 좋았던 부분을 설정하여 그때의 가압력을 중심으로 몇

가지 가압력을 하중조건으로 설정하였다.

로울러 다듬질속도는 일반적으로 선반에서 사용되는 5, 10, 12, 14, 21, 24, 28, 35, 42, 59, 119 m/min의 모든 경우를 선택하였고, 이송속도는 0.261, 0.3, 0.36, 0.52, 0.6, 0.72 mm/rev의 각 경우를 선택하였다. 또한 하중은 130, 140, 150, 160 Kgf으로 채택하였으며 이들 하중이 시편에 가했을 때의 접촉압력은 Hertz의 접촉이론⁽¹¹⁾을 이용하여 구한 결과 각각 205, 213, 220, 227 Kgf/cm²이다. 이들 접촉부의 가압력 계산과정은 부록-A에 나타내었다.

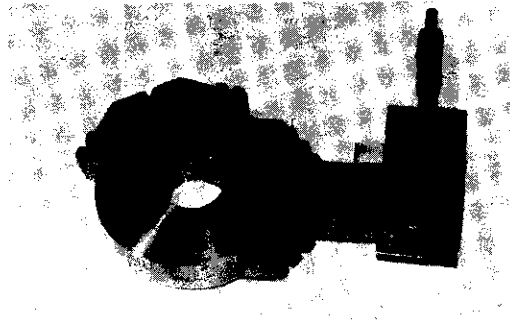


Fig.1 The surface rolling tool.

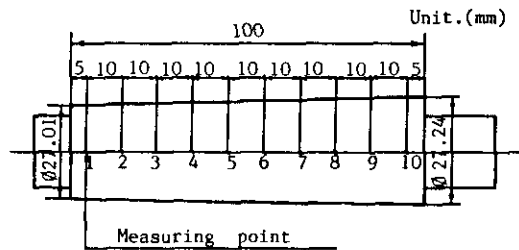


Fig.2 The taper specimen.

2-2 실험장치

1) 선 반

로울러 다듬질시 사용된 선반은 화천기계주식회사 제품으로 Model WHPL-380을 사용하였다. Fig. 3은 로울러 다듬질시 사용된 실험장치를 나타낸 것이다.

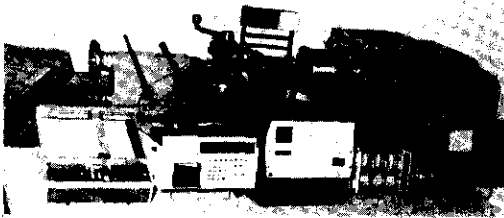


Fig.3 Lay out of experimental apparatus.

Table 1. Working conditions (Materials: SS40, STC 3)

Rolling speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Contact pressure (Kgf/Cm ²)
5 10 12 14 21 24 28 35 42 59 69 119	0.36 for each rolling speed and contact pressure. 0.72	213
12 24 59 119	0.261 0.3 0.36 for each rolling speed and contact pressure. 0.52 0.6 0.72	213
12 21 28 42 69 119	0.36 for each rolling speed and contact pressure. 0.72	205 213 220 227

2) 가압체

가압롤러로서는 시험편의 진원 진직을 유지하기 위하여 3개의 NACHI 6000 ZZ Ball

Table 2. Mechanical properties and Chemical compositions of the specimens.

Mechanical properties	Materials		Chemical compositions (%)	Materials	
	SS 40	STC 3		SS 40	STC 3
Tensile strength (Kgf/mm ²)	46.7	71.2	C	0.171	1.07
Yield strength (Kgf/mm ²)	29.1	38.3	Si	0.33	0.35
Modulus of elasticity (Kgf/mm ²)	21.5 × 10 ³	18.7 × 10 ³	Mn	0.39	0.25
Possion's ratio (ν)	0.28	0.28	P	0.016	0.019
Elongation (%)	31.8	25.4	S	0.021	0.017
Hardness (Hv)	125	185			

Bearing 을 이용하였으며 Fig. 1과 같이 제작하여 Surface rolling tool로 사용하였다.

3) 시 편

ㄱ) 재 질

본 실험에 사용된 재료는 연강(SS 40), 탄소강(STC 3)이며 이들의 기계적 성질 및 화학적 성분은 Table 2와 같다.

ㄴ) 시편의 형상과 치수

전 가공으로 연삭가공을 하여 중심선 평균 거칠기 2.3~2.5 μmRa로, 즉 평균 2.4 μmRa로 표면조도를 가진 여러 개의 시편에 각각 다른 작업조건을 부가하기 위하여 Fig.4와같이 하나의 시편을 6개의 구간으로 40mm의 동일 간격으로 나누었다. Fig. 5는 본 실험에 사용된 시편이다.

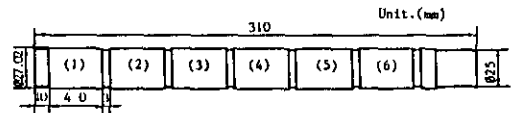


Fig.4 Configuration of test specimen.

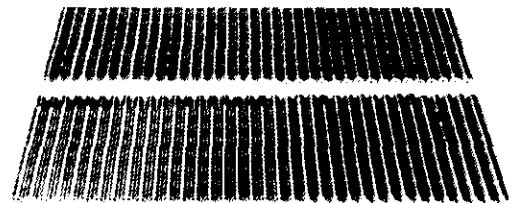


Fig.5 Test specimens.

ㄷ) 연삭조건

실험재료를 연삭하기 위하여 사용된 정밀 원통 연삭기는 Kondo Machine Works Co., LTD제 Model Gloss -N 1200 H이다.

(a) 연삭깊이 : 선반에서 황삭가공된 시편에 슛돌수정후 연삭가공하였다. 연삭깊이는 0.05 mm로 연삭가공하였다.

- (b) 원주속도 및 회전수 : 주축의 회전수 155rpm 을 선택하여 시편의 원주속도는 13 m/min 가 되었다.
- (c) 시편의 이송속도 : 1.5 m/min 으로 하였다.
- (d) 연삭숫돌 : 사용된 숫돌은 A60L7 VA 형이며 칫수는 405×38×203 mm이며 숫돌의 회전수는 1,470rpm이다.

4) 측정기기

ㄱ) 표면조도 측정기

연삭 및 로울러 다듬질 후에 표면조도를 측정하기 위하여 사용된 표면조도계는 Tokyo Semitsu Co. LTD제 Model Surfcom 300B 를 사용하였다.

ㄴ) 경도측정기

시편의 경도는 Matsuzawa Seiki Co. Model VR-2인 비커스 경도측정기를 사용하여 측정하중 10 kgf, 가압시간 30초로 하여 비커스 경도(Hv)를 측정하였다.

ㄷ) Strain Amplifier

하중 측정을 목적으로 Dynamic strain amplifier로서는 Kyowa Electronic Instruments Co. LTD제 Model -311 A 를 사용하였다.

ㄹ) Digital Oscilloscope

가압체에 설치된 Load cell에 미치는 동적 변형율의 거동상태 측정용으로 Nicolet Instrument Co. 제로 Model 2090 Digital Oscilloscope를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 로울러 다듬질속도와 다듬질면의 조도

Fig. 6은 로울러 다듬질 속도의 변화에 따르는 표면조도의 변화를 알아보기 위하여 로울러 다듬질 속도를 5, 10, 12, 14, 21, 24, 28, 35, 42, 59, 69, 119 m/min로 변화시킨 경우 이에 따르는 표면조도의 영향을 나타낸 그림이다. 이때의 이송속도는 각각 0.36 mm/rev 와 0.72 mm/rev으로 하였고 하중은 140 Kgf로 하여 접촉부의 접촉압력이 213 Kgf/cm²가 되도록 하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연강(SS

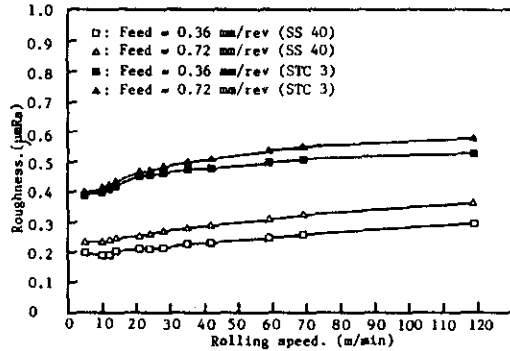


Fig.6 Surface roughness vs rolling speed.

40), 탄소강(STC 3)의 경우 로울러 다듬질 속도가 증가함에 따라서 환형의 표면조도는 거칠어지고 있었으며 로울러 다듬질 속도가 감소할수록 표면조도는 향상됨을 알 수 있었다. 특히 로울러 다듬질 속도가 연강인 경우 12m/min 근방에서, 탄소강인 경우는 5 m/min 근방에서 다듬질면 조도가 좋았으며 그 이상의 속도에서는 다듬질면 조도가 다소 감소되는 경향을 알 수 있었다. 그러나 로울러 다듬질 속도 증가에 따르는 표면조도의 영향이 별로 없기 때문에 다듬질 속도를 증가시켜 작업능률을 올리는 쪽이 좋다고 생각된다. 또한 표면조도는 전반적으로 0.17~0.6 µmRa 범위에 있다. 이는 Nadai⁽⁶⁾가 전가공을 선삭으로 한 경우에 로울러 다듬질을 하여 얻은 표면조도 값이 2~6 µmRa 값인 것에 비하여 약 1/10 정도이다. 그러므로 정밀한 표면조도를 얻기 위하여는 전가공으로서 연삭이 필요함을 알 수 있다. 로울러 다듬질 속도의 변화에 따라서 표면조도가 크게 변하지 않는 이유는 금속은 선삭작업시 절삭속도를 증가시키면 변형저항이 많아지지만, 로울러 다듬질의 경우는 미소한 돌기의 적은 변형때문에 그 영향력은 적은 것이라 생각된다.

Fig. 7은 로울러 다듬질을 하기 전과 후인 경우 표면조도 변화를 나타낸 그림으로써 로울러 다듬질 하기 전에, 즉 연삭가공만 한 경우에는 표면조도가 대략 2.4 µmRa 정도인데 비하여 로울러 다듬질을 함으로써 표면조도는 0.17~0.4 µmRa 정도로 대단히 향상되는 것

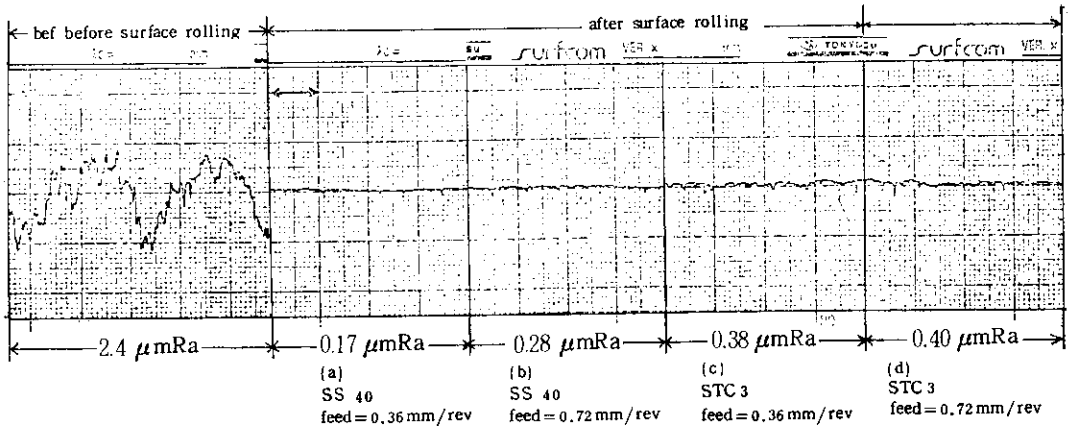


Fig.7 Surface roughness before and after surface rolling.

을 보여주고 있다. 이러한 경향은 연강과 탄소강 모두 비슷하나 연강인 경우가 0.17~0.3 μmRa 정도로, 탄소강의 경우 0.38~0.6 μmRa 보다 약간 더 좋은 표면조도를 보이고 있다.

3-2 로울러 이송속도와 다듬질면의 조도

로울러 이송속도의 변화에 따르는 표면조도의 변화를 알아보기 위하여 이송속도는 0.261, 0.3, 0.36, 0.52, 0.6, 0.72 mm/rev로 변화시켜주었으며 이들의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 로울러 다듬질 속도는 12, 24, 59, 119 m/min의 4가지로 하였으며 연강(SS 40)인 경우는 Fig. 8-(a)에 나타내었고 탄소강(STC 3)인 경우를 Fig. 8-(b)에 나타내었다. Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 연강 및 탄소강의 경우 이송속도가 증가함에 따라서 표면조도는 다소 거칠어지고 있으며 이송속도가 감소할수록 표면조도는 향상됨을 알 수 있다.

Fig. 8-(a), (b)에서 이송속도가 0.36 mm/rev인 곳까지는 표면조도의 증가율이 다소 작으나 이 값보다 증가하면 크게 증가하는 경향이 보인다. 이송속도가 0.26 mm/rev 일때는 연강은 0.17~0.28 μmRa 이고, 탄소강은 0.32~0.51 μmRa 로 나타나고 이송속도가 0.72 mm/rev의 경우에는 연강은 0.24~0.49 μmRa 이고 탄소강은 0.45~0.61 μmRa 범위이다.

본 실험의 결과로 보아 이송속도가 0.36

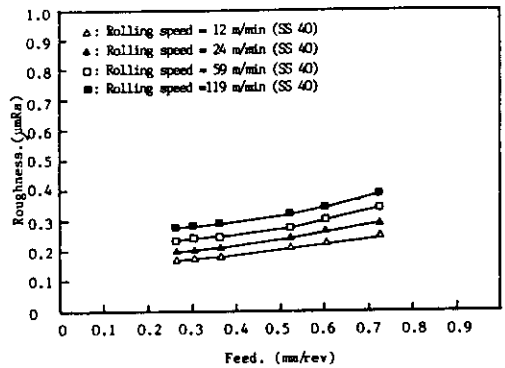


Fig.8-(a) Surface roughness vs feed.

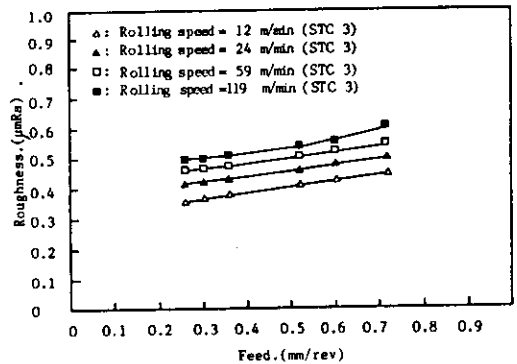


Fig.8-(b) Surface roughness vs feed.

mm/rev 이하일 때 양호한 표면조도를 얻을 수 있다.

3-3 로울러의 접촉압력과 다듬질면의 조도
로울러 가하중의 변화에 따르는 표면조도의

변화를 알아보기 위하여 여러가지 접촉압력을 설정하였다. 우선 적절한 접촉압력이 어느 범위인가를 알아보기 위하여 Fig.2와 같은 Taper 전 시편을 만들어 선반의 양센타 사이에 고정하고 로울러를 길이 방향으로 이송을 주면서 시편에 미치는 여러 범위의 접촉압력에 대하여 시험하여 본 결과 Fig.10 같이 시험편 길이 방향 전체를 10구간으로 등분하

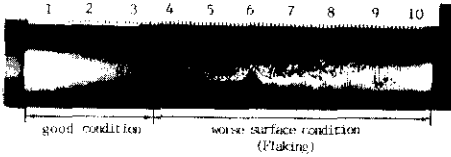
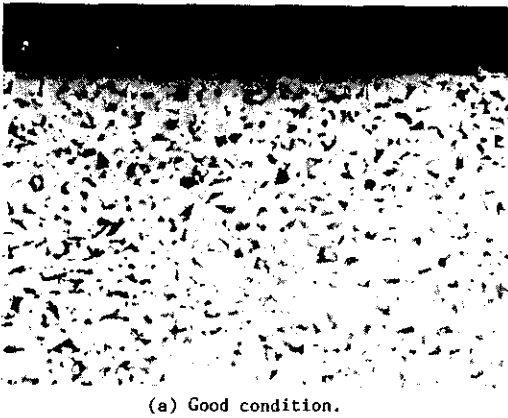


Fig.10 The effect of contact pressure on surface roughness by surface rolling.



(a) Good condition.



(b) Worse surface condition (Flaking)

Fig.11 Micro-photograph of SS 40 after surface rolling.(x100)

여 살펴보면 2~3구간에서는 표면조도의 값이 양호한 것을 볼 수 있으나 4~10구간에서는 표층이 차압력의 증가에 의해서 플레이킹(flaking) 현상이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이들 표면의 각 부분을 반경방향으로 절단하여 금속현미경으로 100배 확대하여 본 것을 Fig.11에 나타내었다. Fig.11(a)에서 보면凹凸이 로울러에 의해서 다듬질 될 때 접촉압력이 적당하여야 가장 양호한 금속의 표면을 얻을 수 있으며 어느 크기 이상이 되면 Fig.11(b)에서와 같이 심한 플레이킹 현상이 나타나고 금속 내부에 심한 금속유동 현상이 나타나게 된다는 것을 알 수 있다.

Taper 전 시편을 대상으로 플레이킹이 일어나지 않는 1~4구간에서 작용된 하중인 130.

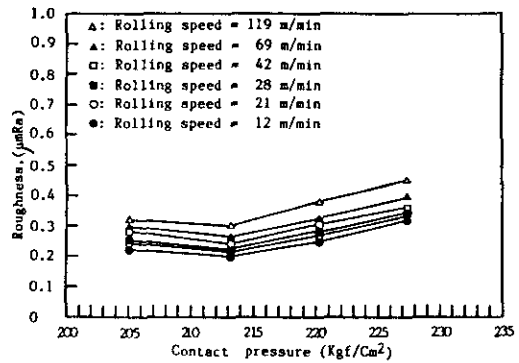


Fig.12- (a) Surface roughness vs contact pressure.(SS 40, Feed=0.36 mm/rev)

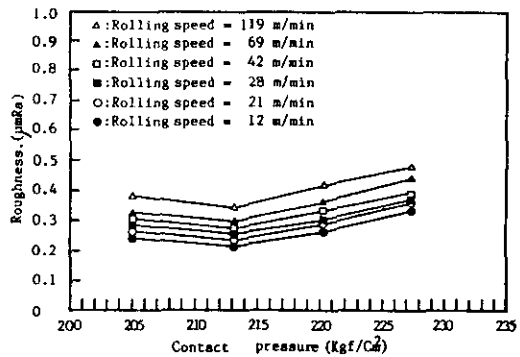


Fig.12- (b) Surface roughness vs contact pressure.(SS 40, Feed=0.72mm/rev)

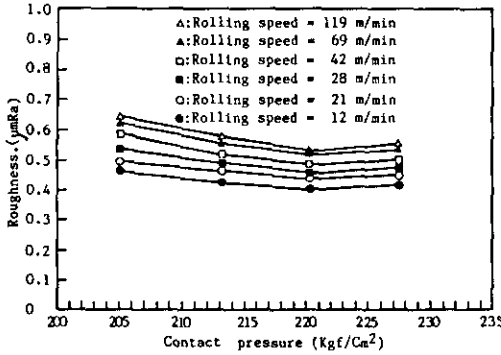


Fig.13-(a) Surface roughness vs contact pressure. (STC 3, Feed=0.36 mm/rev)

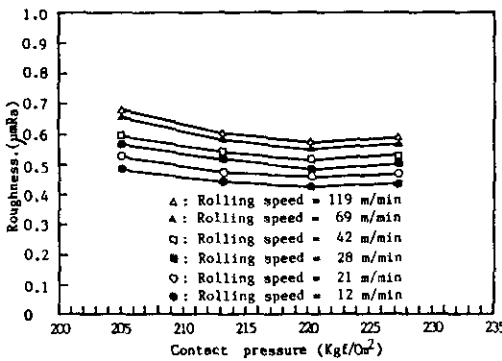


Fig.13-(b) Surface roughness vs contact pressure. (STC 3, Feed=0.72 mm/rev)

140, 150, 160 kgf의 4가지에 대하여 로울러 다듬질 속도와 이송속도를 여러 가지로 바꾸어 측정하였다. 여기서 작용시킨 하중을 탄성 접촉만으로 가정하여 Hertz의 접촉이론⁽¹¹⁾을 이용하면 접촉부의 접촉압력이 각각 205, 213, 220, 227 Kgf/cm²로 되는데 이들 가압력에 대하여 이송속도를 0.36 mm/rev과 0.72 mm/rev로 변화시킬 경우 여러가지 로울러 다듬질 속도에 따른 표면조도의 영향을 Fig. 12, 13에 나타내었다. 연강의 경우는 Fig. 12 (a), (b)에 나타내었고, 탄소강의 경우는 Fig. 13 (a), (b)에 나타내었다. 여기서 접촉부의 접촉압력이 연강인 경우 213 Kgf/cm² 정도에서, 탄소강의 경우 220 Kgf/cm² 정도에서 다듬질 속도에 부관하게 가장 양호한 표면조도 값을 갖는 것을

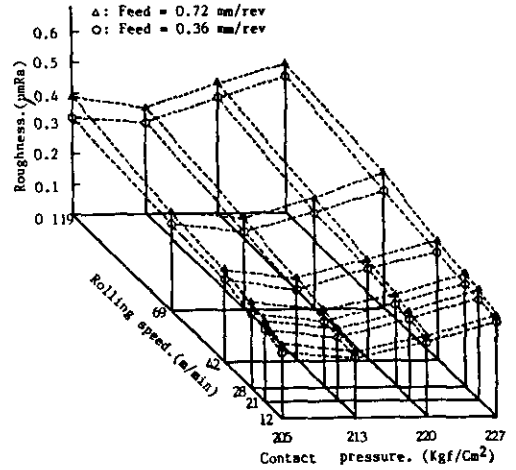


Fig.14-(a) Surface roughness according to working conditions. (SS 40)

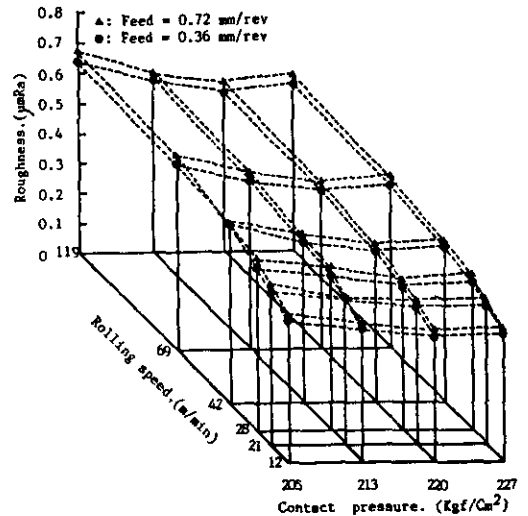


Fig.14-(b) Surface roughness according to working conditions. (STC 3)

알 수 있다.

Fig. 14(a), (b)에는 연강과 탄소강에 대하여 여러가지 접촉부의 접촉압력과 로울러 다듬질 속도 및 이송속도에 대한 표면조도 값을 총괄하여 함께 3차원 그래프로 나타내었다.

본 실험에서 여러가지 사항을 종합검토하여 보면 로울러 다듬질 속도와 이송속도가 작을수록 표면조도는 향상되었으며 또한 접촉부의 접촉압력은 연강인 경우 213 Kgf/cm² 정도

에서 탄소강인 경우 220Kgf/cm² 부근에서 주어졌을 때 표면조도가 향상됨을 알 수 있는데 이는 전가공이 연삭인 경우 이들 인자들이 표면조도에 중요한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서 전가공이 연삭인 경우는 로울러 다듬질 속도와 가압력의 적정치를 잘 선정하는 것이 가장 중요한 문제라 생각된다.

4. 결 론

이상과 같은 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 전가공이 연삭인 시편에 로울러 다듬질을 하여 더욱 향상된 표면조도를 얻을 수 있었다. 즉, 연삭만으로 2.4 μmRa 정도인 표면조도를 로울러 다듬질을 함으로써 0.17~0.4 μmRa 정도의 표면조도를 얻을 수 있다.

2) 전가공이 연삭인 경우에 있어서 로울러 다듬질시 표면조도에 가장 큰 영향을 끼치는 것은 가압력이다. 즉 가압력이 일정치 이상이면 플레이킹(flaking) 현상이 나타나므로 표면조도의 향상은 기대하기 어렵다.

3) 전가공이 연삭인 경우 로울러 다듬질 속도와 이송속도가 작을수록 표면조도가 양호하다.

4) 본 실험에서 사용한 연강(SS 40)과 탄소강(STC 3)에 대하여는 접촉부의 접촉압력이 연강인 경우 213 Kgf/cm² 정도에서 탄소강인 경우 220 Kgf/cm² 정도에서 가장 좋은 표면조도를 얻을 수 있었다.

부 록-A

로울러 압착에 의한 접촉압력 계산

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

R₁ = 로울러의 회전면의 반경

R₁¹ = 로울러의 배럴형의 반경

R₂ = 공작물(원통)의 반경

R₂¹ = 공작물이 원통인 경우

2a = 접촉타원의 장경

2b = 접촉타원의 단경

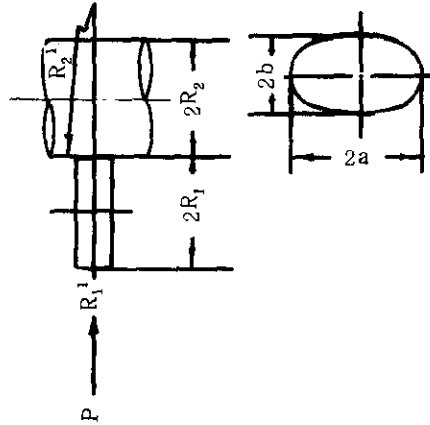


Fig.A-1 Configuration of roller contact.

P = 로울러의 압착력

탄성접촉 범위내에서 Hertz의 이론에 의하면 양볼체는 다듬식에 표시한 타원접촉면으로 접촉한다.

접촉타원의 장단축의 반경 a, b는,

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

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

$$\text{단, } \rho_{11} = \frac{1}{R_1'}, \rho_{12} = \frac{1}{R_1}, \rho_{21} = \frac{1}{R_2}, \rho_{22} = \frac{1}{\infty} = 0$$

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

h = 전탄성 계수

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

m = 포아슨비의 역수

μ, ν는 제1종 및 제2종의 타원적분을 포함하는 함수인데 다음 식의 τ로부터 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 구

하여졌으므로 다음 식을 이용하여 접촉부의 가압력 P_0 를 구할 수 있다.

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

Kgf/cm²

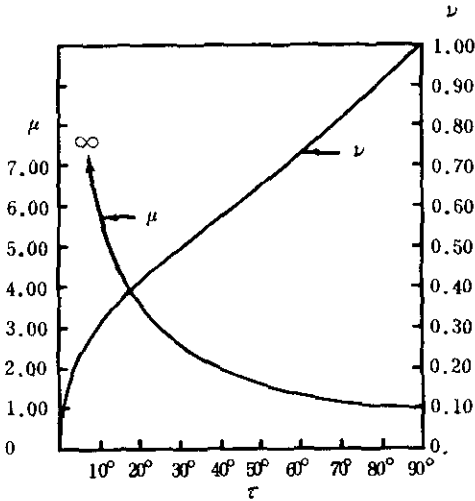


Fig.A-2 μ, ν value according to τ .

참고문헌

1. 岡田裕二, 高强度クラクシャフトの製造方法, 日本國特許廳(JP)7047-4K, 1984. p.

133.
 2. K.S.Yuck, Proceeding of the International Conference on Production Engineering, Japan Society of Precision Engineering, 1980. p.1035.
 3. E. Pua, Materials and Processes in Manufacturing, 1979. pp.401~403.
 4. KBS General Catalogue, "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, 1973. p.125.
 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, 1952. p.189.
 7. 佐藤健兒, ローラー仕上面の滑り接觸における耐摩耗性, 機械の研究, Vol. 3, 1951. p.137.
 8. 伊藤鎮, ローラー仕上の特性と効果(1), 機械の研究, Vol. 2, 1950. p.406.
 9. 伊藤鎮, ローラー仕上の特性と効果(2), 機械の研究, Vol. 2, 1950. p.457.
 10. 大岩藤造, 高澤孝哉, 吉田直正, 軸頭のローラー仕上に関する研究, 精密機械, Vol. 16, 1950. p.309.
 11. 管博, ローラー仕上について日本國有鐵道, Vol. 2, 1950. p.126.