論文 한국정밀공학회지 제6권 제3호 1989. 9
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 6, No 3 September 1989

주철의 표면로울링에서 이송량과 로울링 회수에 따른 변화 연구

육 굉수,* 이 용철,** 곽 수헌**

Effects of Rolling Numbers and Feeds on Surface Deformation in Surface Rolling of Cast Iron

Kweng-Soo Yuck,* Yong-Chul Lee,** Soo-Heon Kwak**

Abstract

The surface rolling for cylindrical surface of a grey cast iron was carried out using a lathe with a simple newly-designed tool system. A surface rolling tool used was steel ball whose diameter was 3/8 inch (9.525mm)

The effects of rolling feeds and number of rolling on surface rolling were investigated. The contact pressure between ball and workpiece which was considered as Hertz's contact problem was examined and the track of motion of a ball on the cylindrical surface of a workpiece was measured according to the rolling feed.

The results obtained were as follows;

1. The roughness of the machined surface which was originally 5.3~28 umRz decreased to 1.2~5 umRz according to rolling feeds and numbers of rolling.
2. The hardness increased from Hv 260 to Hv 290~310 through 2~4 rollings according to the roughness of machined surfaces.

* 인하대학교 기계과
** 인하대학교 대학원

3. The reduction of diameter was found to be proportional to the variations of roughnesses of previous machined surfaces. About 60% to 90% of reduction in diameter was made during the first rolling process.
4. An equation relating the reduction of diameter and the variation of surface roughness after surface rolling was presented using a geometric surface model.
5. An equation for the calculation of dynamic contact area between pressure ball and workpiece according to the rolling feed was presented.

1. 서 론

금속의 표면을 기계가공 하는 데에는 선삭, 밀링 가공, 연삭, 래핑(Lapping), 수퍼피니싱(Super finishing) 등의 소위 절삭가공이 일반적으로 행하여지며, 기대되는 형상과 가공정도에 따라 각각 적당한 가공방법이 채용되어지고 있다.

이것에 대하여 표면로울링(Surface Rolling)은 비절삭가공으로 보통 선삭한 면에 경화된 로울러를 압착시키므로서 금속표면에서 소성흐름(Plastic Flow)을 발생시켜 凸부(Peaks)를 압궤하여 凹부(Valleys)에 메워서 표면을 매끄럽게 하는 동시에 경도를 높이는 일종의 정밀가공법으로 소성가공법에 속한다.

표면로울링은 1928년 독일에서 철도 차량의 차축 저어널 면의 가공에 응용(1)되었고 레이디얼 드릴링 머시인의 칼럼가공, 피스톤 핀의 구멍가공, 박격포신의 내경가공(2)등에도 응용되어 왔다.

표면로울링의 주된 목적은 표면거칠기의 향상과 경도의 상승을 기하며 이로 인해서 내마모성, 베어링 부하능력, 그리고 피로강도 등을 증대 시키는데 있다.

본 연구에서는 가압체로서 볼 베어링용 강구(Steel Ball) (3)를 사용하였고 취급과 가공이 용이한 표면로울링 공구(4)를 사용하고 가압력(배분력) 조절과 이송분력, 주분력의 관계를 알기 위하여 공구동력계(Tool Dynamometer)를 사용하였다.

본 연구에서의 시편재료는 선반베드 재질인 회주철(KS D4301 GC30 : 대구중공업(주))을 사용하였고 표면로울링의 반복회수에 대한 경향과 이송량에 따른 변화를 고찰하였다.

지금까지는 가압체와 공작물 사이의 접촉압력을 Hertz의 탄성접촉이론을 기초로 하여 주로 정적인 접촉면적에서 고려(5)해 왔지만 본 연구에서는 동적인 상태 즉 가공하는 동안 공작물 표면에서 가압체의 운동궤적을 고려하여 동적 접촉면적을 계산해 보았다.

2. 표면로울링에서 표면변화특성 및 이론적 고찰

2-1. 표면로울링의 표면변화특성

표면 로울링을 할 때 표면의 미소 기하학적 형태(Microgeometry)를 모델링하여 표면로울링 전. 후의 표면거칠기 변형특성을 Fig. 1에 나타냈다.

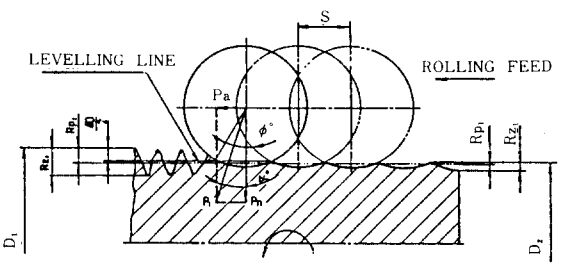

Fig. 1 Diagram Showing Deformation of Surface Irregularities during Surface Rolling

그림에서 凸부분(Peaks)들은 로울링에 의해 평평하게 퍼져 인접한 凹부분(Valleys)을 채우게 된

다. Fig. 1 의 기하학적인 모델링으로서 직경 감소량 ΔD에 관한 근사식을 유도해 보았다. 그림에서 2점쇄선의 수준선(Levelling Line)은 공작물 표면의 요철을 로울링하고 난 후 아주 평평하게 됐다고 가정했을 때의 가상선이고, Rp1과 Rp2는 각각 로울링 전후의 수준선 깊이이다.

$\triangle D = D1 - D2$

$= 2(Rp1 - Rp2)$

$Rp1 = K1 \times Rz1$, $Rp2 = K2 \times Rz2$

$\triangle D = K(Rz1 - Rz2)$

실제의 경우 $\triangle D$에는 $Rz1 - Rz2$ 이외에 많은 요인들이 관계하므로 다음과 같은 기본식으로 실험데이터에 적용하여 그 근사방정식을 구해 볼 수 있다.

$\triangle D = K(Rz1 - Rz2) + \gamma$

$= K(\triangle Rz) + \gamma$

여기서,

Rz1 : Surface Roughness before Surface Rolling

Rz2 : Surface Roughness after Surface Rolling

$\triangle D$: Reduction of Diameter in the Workpiece

$\triangle Rz$: Variation of Surface Roughness

D1 : Diameter before Surface Rolling

D2 : : Diameter after Surface Rolling

K, K1, K2 : Proportional Coefficient

γ : Correctional Coefficient

2-2. Hertz의 이론식에 의한 정적접촉면적

표면로울링시 원통인 공작물과 구인 가압체가 서로 접촉하고 있을 때 Fig. 2 와 같이 타원 접촉면을 이루게 되며 이때 Pn의 가압하중에 따른 공작물 표면에서의 타원 접촉면 압력은 Hertz의 탄성접촉이론(5)(6)에 따라 다음과 같이 된다.

R : 공작물의 반경

r : 가압체의 반경

a : 접촉타원의 장반경

b : 접촉타원의 단반경

E : 종탄성계수

As : 접촉면적

ν : 포와손 비(Poisson's Ratio)

Pn : 수직력(가압력)

$$a = m\left[\frac{3}{4}\theta Pn/\frac{1}{R}+\frac{2}{r}\right]^{1/3}$$

$$b = n\left[\frac{3}{4}\theta Pn/\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right]^{1/3}$$

$$\theta = 4\left[1-\nu^2\right]/E$$

$As = \pi ab$

로 되고 m, n는 상수이고 다음의 τ로 결정된다.

$$\cos\tau = \frac{1/R}{1/R+2/r}$$

m, n, τ의 관계는 Table 1과 Fig. 3에 표시하였다.

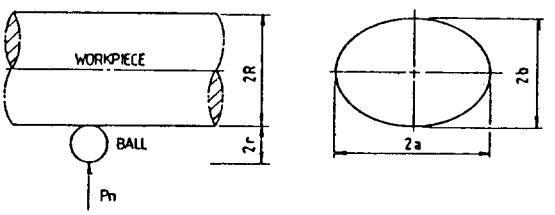

Fig. 2 Contact Configuration of the Workpiece and Ball

3. 실 험

3-1. 시편제작

본 실험에 사용한 시편의 재료는 대구중공업(주)의 선반베드용 재료인 회주철(GC30 : KS D4301)을 사용하였으며, 기계적 성질은 Table 2와 같다.

시편의 형상과 치수는 Fig. 4와 같으며 시편은 좌로부터 표면로울링을 하지 않은 선삭상태부분과 로울링을 1회 실시한 부분부터 12회 로울링한 부분까지 10구간(9, 11회 부분은 측정 생략), 가압력을 조절하기 위한 부분 그리고 다시 우측 끝 부분

Table 1. m, n Value according to τ

τ	m	n
90 도	1.000	1.000
80 도	1.1278	0.8927
70 도	1.2835	0.8017
60 도	1.4858	0.7171
50 도	1.7542	0.6407
40 도	2.1357	0.5673
30 도	2.7307	0.4930
20 도	3.7779	0.4079
10 도	6.6120	0.3186
0 도		0

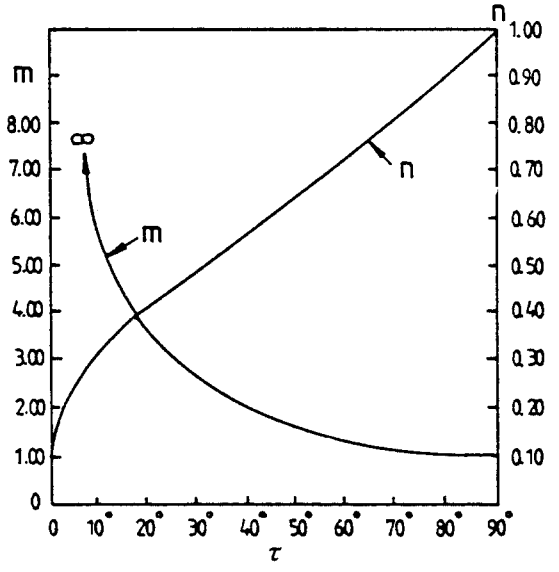

Fig. 3 m, n Value according to τ

에도 로울링을 하지 않은 부분을 두어 차후의 측정과 보조측정을 할 수 있도록 하였다.

시편제작에 있어서는 각 구간의 표면거칠기를 일정하게 하도록 직경27mm까지 황삭가공을 한 후 다듬질 가공을 하였으며 그 가공조건은 절삭속도 87.4m/min. 절삭깊이 0.5mm로 하고, 이송량은 0.05, 0.13, 0.21, 0.31mm/rev. 의 4그룹으로 변화시켜 각각 5개씩 총 20개의 시편을 제작하였다.

Table 2. Mechanical Properties of Specimen

Tensile Strength (kgf/mm²)	Young's Modulus (kgf/mm²)	Hardness			Poisson's Ratio	Elongation (%)
		Hv	HB	HRC		
32.5(318.5 Mpa	10322(101.2 Gpa)	252	223	21.6	0.27	18

3-2. 시편의 측정

동일한 조건하의 측정과 측정부위의 중복을 피하기 위하여 Fig. 4와 같이 시편 샹크부에 기준선을 그어 표면거칠기 측정은 기준선 연장선상에서 측정하였으며, 경도는 기준선에서 45도 회전시킨 부위에서 3곳을 측정하여 평균값을 취하였다. 또 직경은 기준선상인 H-H 방향과, H-H에 수직선상인 V-V방향에서 측정하여 평균값을 구하였다.

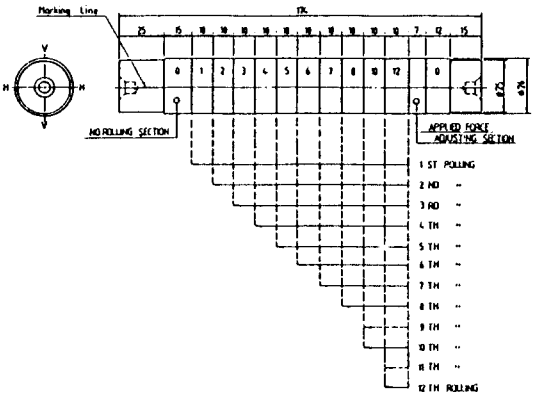

Fig. 4 Size of Specimen and Rolling Operation Schedule

3-3. 실험장치

본 실험에 사용된 표면로울링 공구는 Fig. 5 와 같으며 볼 베어링(KBC 6302)은 가압체와의 마찰을 최소로 하고 가압체를 원활하게 회전하도록 지지하는 베어링이다.

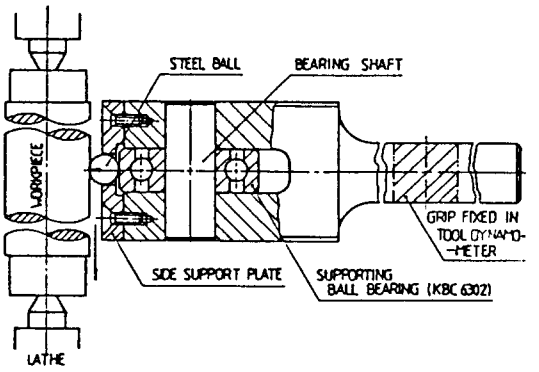

Fig. 5 Surface Rolling Tool

표면 로울링할 때의 가압력(배분력), 주분력, 이송분력을 측정하기 위하여 공구동력계, 동적변형증폭기(Dynamic Strain Amplifier), 오실로그래프(Electro-magnetic Oscillograph))를 사용했으며 이 때에 공구 동력계의 보정(Calibration)은 만능재료 시험기를 사용하였다. 또한 목적하는 가압력으로 일정하게 유지되는지를 확인, 조절하기 위해 X-Y 레코오더를 사용하였다.

3-4. 실험방법

사용한 가압체(강구)의 크기는 권장된 가압체의 직경10mm(3)에 근사한 9.525mm(3/8") (압쇄하중 4660 Kgf, HRC 60.5~64.0, 표면거칠기 0.01~0.02um Ra)의 강구를 사용하였다. 로울링 속도는 직경이 1.062~2.312" (26.975~58.725mm)인 공작물에 대해서 권장 로울링 속도 21.186 ~ 46.123m/min(7)를 참고하여 270rpm(약 22m/min)을 사용하였다. 주철에 있어서 9.525mm 강구를 사용할 때의 권장 가압력인 25kgf(8)로 일정하게 하였다.

본 실험에서는 시편 양쪽의 센터와 돌리개를 이용하여 공작물을 선반의 공작위치에 설치하고 로울링 공구가 고정되어 있는 공구동력계를 공구대에 장착, 공구대를 전진, 이송시켜 회전하는 공작물의 가압력 조정부분에 로울링 공구인 강구를 접촉시킴과 동시에 공구동력계와 동적변형증폭기를 연결하고 이 증폭기를 통해서 나오는 변형량을 X-Y 레코오더에 작성하면서, 전후 이송핸들로 세로 이송량을 서서히 증가시켜 25kgf가압력의 변형량에 이를 때 왕복대를 자동 이송시켜 로울링을 실시하였다.

또한, 동적변형증폭기와 오실로그래프을 연결해서 가압력(배분력)이 일정하게 적용하는지를 검출하였으며, 아울러 주분력과 이송분력을 동시에 검출하였으나 가압력에 비해 아주 미소하였으므로 무시하였다.

로울링 회수는 Fig. 4에 표시한 바와 같이 로울링 전 상태(선삭상태)에서 부터 12회까지 실시하였으며 로울링 이송량은 선삭과 동일한 0.05, 0.13, 0.21, 0.31 mm/rev. 외에 0.42mm/rev. 로 하였다.

각 시편에 대한 공작조건을 요약하면 Table3 과 같다.

Table 3. Working Conditions for Various Specimens

Specimens	Cutting Feed (mm/rev)	Rolling Feed (mm/rev)	Specimens	Cutting Feed (mm/rev)	Rolling Feed (mm/rev)
A - A	0.05	0.05	C - A	0.21	0.05
A - B		0.13	C - B		0.13
A - C		0.21	C - C		0.21
A - D		0.31	C - D		0.31
A - E		0.42	C - E		0.42
B - A	0.13	0.05	D - A	0.31	0.05
B - B		0.13	D - B		0.13
B - C		0.21	D - C		0.21
B - D		0.31	D - D		0.31
B - E		0.42	D - E		0.42

4. 연구결과 및 고찰

4-1. 표면거칠기의 변화

로울링 반복회수에 따른 로울링 이송량에서의 표면거칠기 변화는 4종의 전가공(선삭) 상태별로 Fig 6, 7, 8, 9에 나타내었다. 1회 로울링으로 대부분의 표면거칠기 향상이 이루어지며 대체로 2~4회 이후의 로울링에서는 거의 변화가 없다. 전가공 표

면거칠기가 좋을수록 그리고 로울링 이송량이 작을수록 대체로 표면거칠기는 비교적 크게 향상되었다. 2회에서 4회를 실용회수로 보아서 실용회수에서 8회까지 평균한 표면거칠기를 전가공 상태와 로울링 이송량에 따라 Table4에 나타내었으며 로울링 회수에 따른 표면거칠기 변화상태를 대표적으로 시편 B－B와 C－B에 대한 것을 Fig. 10에 나타내었다.

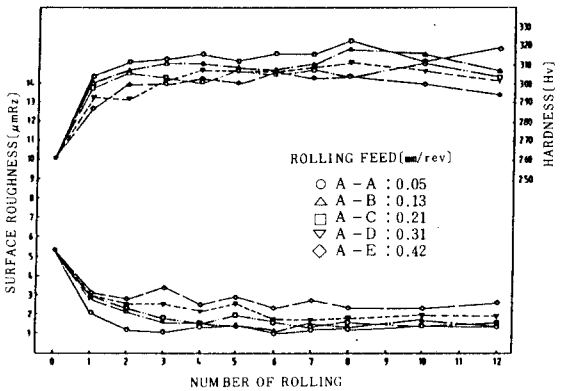

Fig. 6 Surface Roughness and Hardness Variation against Number of Rolling
〔CUTTING FEED : 0.05mm/rev〕

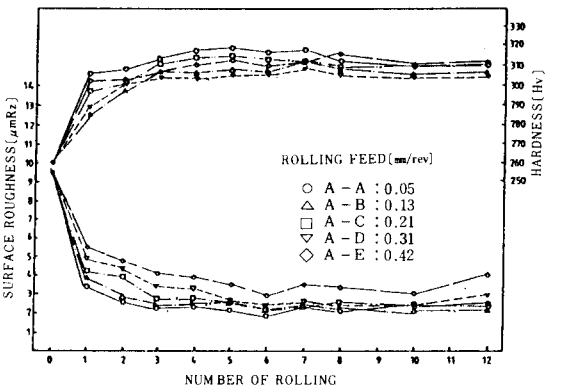

Fig. 7 Surface Roughness and Hardness Variation against Number of Rolling
〔CUTTING FEED : 0.13mm/rev〕

표면 로울링가공은 1회 가공에서 거의 이루어지므로 선삭시 이송량과 로울링시 이송량의 변화관계에 1회 로울링 했을 때의 표면거칠기 향상치와 12회의 로울링을 통해서 표면거칠기가 가장 양호한 로울링 회수와 그 값을 정리하면 Table5와 같다.

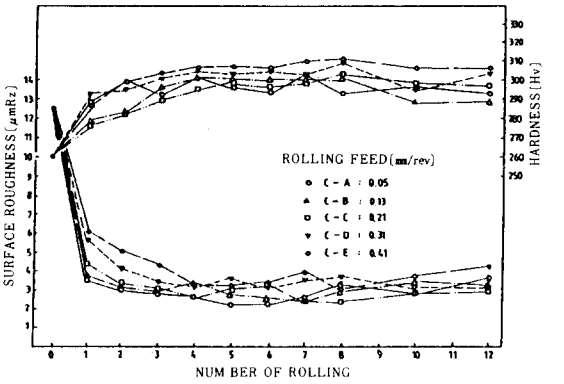

Fig. 8 Surface Roughness and Hardness Variation against Number of Rolling
〔CUTTING FEED : 0.21 mm/rev〕

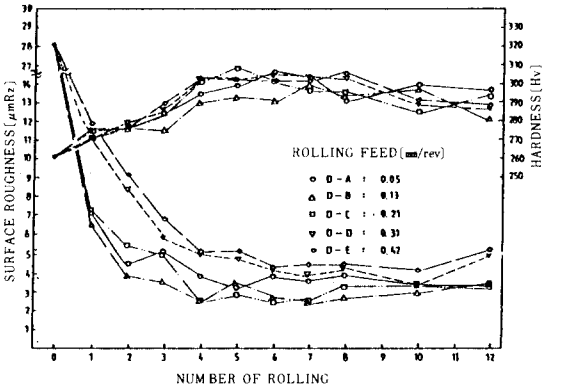

Fig. 9 Surface Roughness and Hardness Variation against Number of Rolling
〔CUTTING FEED : 0.31 mm/rev〕

4－2. 경도치의 변화

로울링 반복회수에 따른 로울링 이송량에서의 경도치변화는 4종의 전가공 상태별로 Fig. 6, 7, 8, 9에 표면거칠기와 같이 나타내었다.

1회 로울링으로 대부분의 증가가 이루어지며 대체로 2~4회 이후의 로울링에서는 거의 변화가 없다. 경도치 증가는 로울링 이송량에 거의 영향을 받지 않으며, 전가공 표면거칠기가 거칠수록 초기

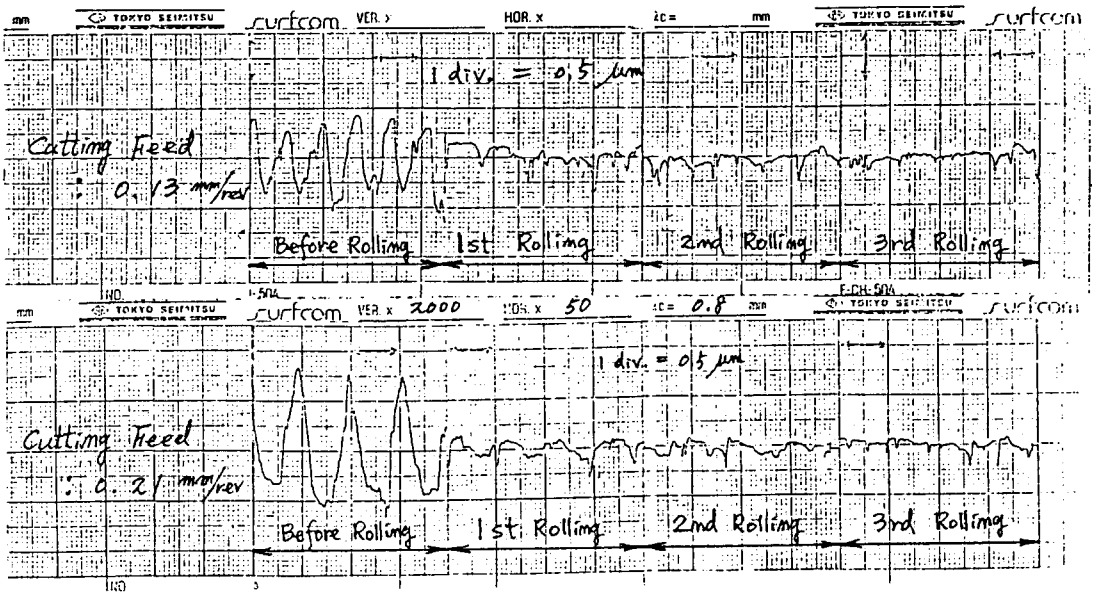

Fig. 10 Shape of Surface Roughness against No. of Rolling Processes and Cutting Feed (Rolling Feed : 0.05m m/rev)

Table 4. Obtained Practical Value After Rolling

Specimen	Feed Condition		Practical No. of Rolling (실용회수)	Mean Value (실용회수-8회)		Surface Roughness Variation (umRz)	Hardness Variation (Hv)
	Cutting Feed (mm/rev)	Rolling Feed (mm/rev)		umRz	Hv		
A - A	0.05	0.05	2	1.20	314.80	4.10	54.30
A - B		0.13	2	1.51	310.90	3.79	49.50
A - C		0.21	2	1.69	303.96	3.61	43.46
A - D		0.31	2	2.10	304.36	3.20	43.86
A - E		0.42	2	2.70	301.86	2.60	41.36
B - A	0.13	0.05	3	2.15	317.17	7.35	56.67
B - B		0.13	3	2.35	308.90	7.15	48.40
B - C		0.21	3	2.52	312.53	6.98	52.03
B - D		0.31	3	2.87	305.48	6.63	44.98
B - E		0.42	3	3.57	312.00	5.93	51.50
C - A	0.21	0.05	3	2.62	296.57	9.88	36.07
C - B		0.13	3	2.93	300.03	9.67	39.53
C - C		0.21	3	2.77	296.73	9.73	36.23
C - D		0.31	3	3.26	303.70	9.24	43.20
C - E		0.42	3	3.55	307.90	8.95	47.40
D - A	0.31	0.05	4	3.58	298.36	24.52	37.86
D - B		0.13	4	3.38	292.76	24.72	32.26
D - C		0.21	4	3.32	299.88	24.78	39.38
D - D		0.31	4	4.34	302.28	23.76	41.76
D - E		0.42	4	4.64	302.00	23.46	41.50

회수에서의 증가 경향이 완만하다.

2회에서 4회를 실용회수로 보아서 실용회수에서 8회까지 평균한 경도치를 전가공 상태와 로울링 이송량에 따라 Table4에 나타내었다.

Table 5. Change of Surface Roughness

Cutting Feed (mm/rev.)	Rolling Feed (mm/rev.)	Surface Roughness for 1st Rolling (um Rz)	The Best Surface Roughness (umRz)	
			No. of Rolling	Changed Value
0.05	0.05	-3.2(74.4%)	5th	-4.3(5.3 → 1.0)
	0.13	-2.5(59.5%)	6th	-4.2(5.3 → 1.1)
	0.21	-2.3(59.9%)	7th	-3.9(5.3 → 1.4)
	0.31	-2.3(62.2%)	7th	-3.7(5.3 → 1.6)
	0.42	-2.2(73.3%)	6th	-3.0(5.3 → 2.3)
0.13	0.05	-6.1(79.1%)	6th	-7.7(9.5 → 1.8)
	0.13	-5.5(75.7%)	6th	-7.4(9.5 → 2.1)
	0.21	-5.4(73.9%)	6th	-7.4(9.5 → 2.1)
	0.31	-4.7(68.1%)	5th	-6.9(9.5 → 2.6)
	0.42	-4.9(69.9%)	6th	-6.6(9.5 → 2.9)
0.21	0.05	-8.96(87.8%)	5th	-10.3(12.5→ 2.2)
	0.13	-8.7 (86.1%)	7th	-10.1(12.5→ 2.4)
	0.21	-8.1 (80.2%)	7th	-10.1(12.5→ 2.4)
	0.31	-6.9 (72.4%)	4th	-9.4(12.5→ 3.1)
	0.42	-6.4 (68.8%)	5th	-9.3(12.5→ 3.2)
0.31	0.05	-21.9(84.8%)	5th	-25.9(28.1→ 3.1)
	0.13	-21.6(86.3%)	4th	-24.9(28.1→ 3.2)
	0.21	-20.9(83.6%)	4th	-25.9(28.1→ 3.1)
	0.31	-17.1(78.1%)	7th	-24.4(28.1→ 3.7)
	0.42	-16.2(67.5%)	6th	-24.0(28.1→ 4.1)

4-3. 직경 감소량

로울링 회수에 따른 직경감소량은 1회의 로울링에서 대부분이 이루어지며 그 이후의 로울링에서는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 로울링 이송량이 작을수록 대체로 직경 감소량은 증가하나 그 증가량은 전체 직경 감소량 자체에 비해서는 작은 편이다. 전가공 표면거칠기가 거칠수록 직경 감소량의 크기는 증가되는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 직경 감소량과 Table 4에서 얻은 표면거칠기 변화량을 나타낸 것인데 경향이 아주 비슷하게 나타났다. 즉 이 두 값들은 서로 상관관계를 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

본 논문의 2장에서 모델링한 근사적인 관계식 $\Delta D = k(\Delta Rz) + \gamma$을 실험자료($\Delta D$와 ΔRz)와 최소 자승 근사법(Least-square approximation)을 이용하여 계산한 결과 $\Delta D = 1.957(\Delta Rz) + 2.345$um 로 되었다.

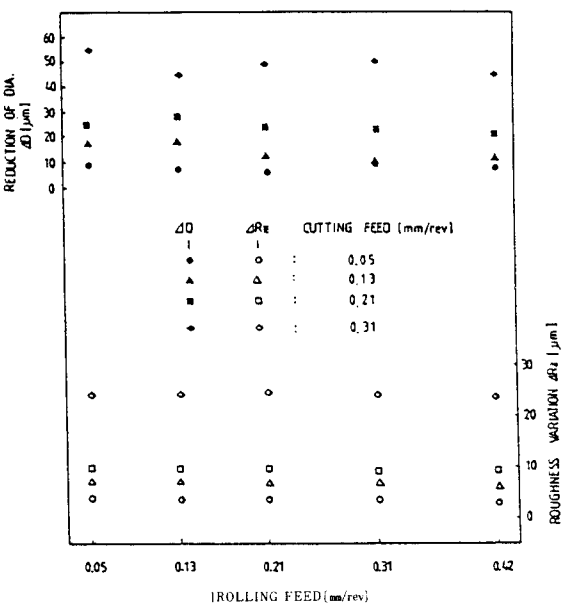

Fig. 11 Reduction of Diameter and Surface Roughness Variation against Rolling Feed

4-4. 이송량에 따른 동적 접촉압력 계산

Hertz의 탄성접촉에 의해 구하여진 정적인 타원 접촉면을 기하학적인 면에서 고려하여 로울링했을 때의 동적 접촉 면적식을 제안하였다. 공작물 표면에서의 임의의 타원 접촉면은 타원 접촉면의 장반경 a와 이송량 s에 따라서 $a > S/2$, $a \leq S/2$의 경우를 생각해 볼 수 있는데, 본 실험에서의 이송량의 범위은 모두 $a > S/2$에 해당하므로 이 경우에 대해서 고찰하였다. ($a \leq S/2$인 경우의 접촉면적은 $\pi ab/2$이다)

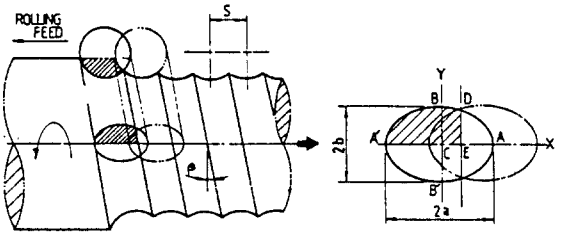

Fig. 12 Projected Contact Plane During Surface Rolling

Fig. 12에서는 로울링 시 공작물 표면에서의 가압체의 궤적을 나타냈고 빗금친 부분의 면적이 가압체와 공작물과의 동적인 접촉투영 면적을 나타낸다. 그리고 이송량 S에 따라서 가압체의 구름방향은 공작물의 반경방향에서 각 β만큼 기운다. 실용 이송량 범위에서는 각 β값은 매우 작은 값(0.0351 ~0.2946도)으로 가압체의 구름방향은 공작물의 축방향과 거의 수직을 이룬다고 볼 수 있으므로 접촉 투영 면적은 Fig. 12에서 빗금친 부분 A'BD - ECA'로 잡았다.

직교좌표계(Rectangular Coodinates)에서 타원 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$$

$$y = \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - x^2}$$

면적 BCED를 'A'라 하면

$$A = \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - x^2}\ dx$$

$$= \frac{b}{a}\left[\frac{S\sqrt{4a^2 - S^2}}{8} + \frac{a^2}{2}\sin^{-1}\left(\frac{S}{2a}\right) \right]$$

여기서, $E=\frac{S}{2}$ S : Rolling Feed

그러므로 접촉투영 면적 A'BDECA'를 A라 하면 다음과 같다.

$$A=\frac{\pi ab}{4}+\frac{b}{a}\left[\frac{S\sqrt{4a^2-S^2}}{8}+\frac{a}{2}\sin^{-1}\left(\frac{S}{2a}\right)\right]$$

본 실험에서 이송량의 변화에 따른 정적접촉면적(As)및 압력(Ps)을 계산하면 이송량의 변화에 관계없이 As=0.1803mm³, Ps=138.7kgf/mm² (1360.2MPa)로 일정하게 된다. 그러나 동적 접촉 면적 및 압력은 이송량과 따라 변화하므로 계산하면 Table 6과 같다.

Table 6. Dynamic Contact Area and Pressure Under Surface Rolling

Rolling Feed S (mm)	Contact Area Ad (mm²)	Contact Pressure Pd (Kgf/mm²)	Ratio	
			Ad/As (%)	Pd / Ps
0.05	0.0505	495.1	28.0	3.57
0.13	0.0598	423.7	32.7	3.06
0.21	0.0673	371.5	37.3	2.68
0.31	0.0766	326.4	42.5	2.35
0.42	0.0851	293.8	47.2	2.12

Pn=25kgf(245 N)
R =13.184mm(공작물 반경)
E =10332kgf/mm
r =4.763mm(가압체 볼의 반경)
ν =0.27

Fig. 13에서는 로울링 이송량 변화에 대한 접촉압력을 나타내었다. 경향을 보면 이송량이 증가함에 따라 접촉면적이 넓어져서 접촉압력은 반대로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 실험한 이송량 범위에서 동적 접촉면적은 정적 접촉 면적의 28~47.2%이며 동적접촉 압력은 정적접촉압력의 3.57~2.12배로 계산되었다.

5. 결 론

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

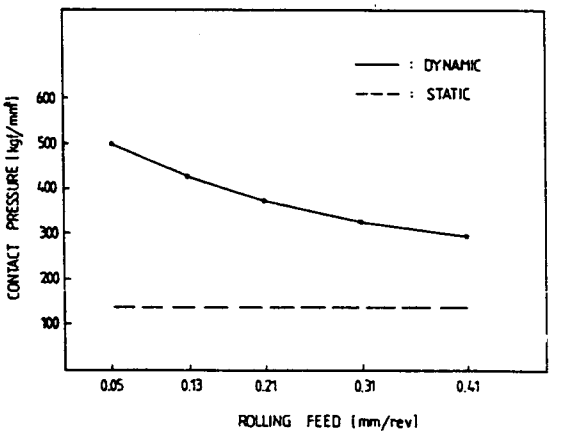

Fig. 13 Contact Pressure against Rolling Feed

1) 로울링회수에 따른 표면거칠기의 변화는 1회 로울링으로 대부분의 향상이 이루어지며 대체로 2~4회 이후의 로울링에서는 변화가 아주 작다.
2) 로울링의 이송량에 따른 표면거칠기의 향상은 전가공상태에 따라 다르며 이송량이 작을수록 우수하다.
3) 로울링회수에 따른 경도증가치는 1회 로울링으로 대부분의 증가가 이루어지며 대체로 2~4회 이후의 로울링에서는 거의 변화가 없다. 경도치 증가는 로울링이송량에 거의 영향을 받지 않으며 선삭가공 표면거칠기가 초기 로울링회수에서의 증가 경향이 완만하다.
4) 직경감소량은 1회 로울링에서 대부분이 이루어지며 그 이후의 로울링회수에서는 거의 변화가 없고 표면거칠기의 변화량과 비례적으로 변한다. $\triangle D=1.957(\triangle Rz)+2.345$um의 관계식에 따른다.
5) 로울링 이송량에 따른 가압체와 공작물의 동적 접촉면적은 a는 타원접촉면의 장반경, b는 타원접촉면의 단반경, S는 로울링 이송량이라 할 때 다음과 같이 계산된다.

i) $a \leq S/2$인 경우
$A=\pi ab/2$

ii) a>S/2인 경우

$$A=\frac{ab}{4}+\frac{b}{a}\left[\frac{S\sqrt{4a^2-S^2}}{8}+\frac{a}{2}\sin^{-1}\left(\frac{S}{2a}\right)\right]$$

參 考 文 獻

1) 田中義信, 津和秀夫, 精密工作法(上), 共立出版, 1982, P. 275.
2) Metals Hand Book, American Society for Metals, Vol. 3, 8th ed., 1974, P. 105.
3) 김영중, "Surface Rolling에서 Ball의 지름이 표면거칠기에 미치는 영향", 인하대학원, 석사학위 논문, 1983
4) 이동주, "Surface Rolling에 있어서의 표면변화에 관한 연구", 인하대학원, 박사학위 논문, 1986, P. 40.
5) 伊藤鎭, "ローラ仕上の特性と効果(1)", 機械の研究, Vol. 2, No. 2, P. 407, 1950
6) S. P. Timoshenko, J. N. Goodier, Theory of Elasticity, Mc GRAW-HILL, 1982, PP. 407~420
7) Data Handbook, Machining Data Center, 2nd, 1972, P435
8) 최재승, "주철의 Surface Rolling에서 가압력의 영향" 인하대학원, 석사학위논문, 1987.