

표면로울링에서 전가공이 표면조도에 미치는 영향

육 쾡수*, 박 병성**, 최 병권***

The effect of Previous Cutting Process on Surface Roughness in Surface Rolling

Kweng-Soo Yuck*, Byung-Sung Park**, Byung-Kwon Choi***

ABSTRACT

Surface rolling which is one of the plastic deformation have advantages to improve surface roughness, hardness and fatigue strength with relatively simple processes.

In this study, the effect of previous cutting process before rolling on the surface roughness in surface rolling for mild steel was investigated.

The results obtained are as follows.

(1) Waviness of the previous process has the effect on the precision of the works and coarse waviness resulted in less improvement of the surface roughness.

(2) The reduction of diameter and increase of hardness can be obtained at the first rolling process.

1. 서 론

소성가공방법에 있어서 Micro 소성가공에 속하는 버어니싱¹⁾, 표면로울링 등은 다른 소성가공과는 달리 표면에 국부적인 변형을 일으켜 제품의 성형보다는 표면정밀도와 기계적강도^{2,3)}을

향상시키는데 이용되어 왔다.

Micro 소성가공은 작업이 용이하고 비교적 간단한 가공(1~4 회)으로 절삭가공에서 얻을 수 있는 표면조도보다 우수한 조도를 얻을 수 있고, 경도와 피로강도의 증가도 동시에 성취할 수 있는 소성가공법이다.

* 인하대학교 공과대학 기계공학과

** 울산공업전문대학 기계과

*** 인하대학교 대학원

본 논문의 연구대상인 표면로울링에 관한 국내에서의 연구는 10여년 전부터 행하여져 왔으며, 그 주요내용은 연강재에 있어서의 재질에 따른 변화⁴⁾, 로울링 후 표면조도, 직경 및 경도 변화^{5,6)}에 관한 것으로 가압력⁷⁾, 표면로울링기구 가압부의 직경⁸⁾과 로울링이송속도⁹⁾, 공작물 직경변화¹⁰⁾가 미치는 영향, 이송방향의 변화¹¹⁾가 미치는 영향, 로울링 회수에 따른 변화¹²⁾, 로울링시 표면변화¹³⁾에 관한 논문들이다.

본 실험에서는 전가공인 절삭가공시 공구의 Nose반경이 0.4mm와 1.6mm인 것을 사용하여 노오스 반경의 변화에 따른 전가공상태가 표면로울링 후 표면정밀도에 미치는 영향을 규명하는데 목적을 두었으며 아울러 전가공상태의 표면조도와 로울링 후 직경감소의 관계를 기하학적 형태변화로 검토하였다.

2. 실험

2-1. 실험조건

2-1-a. 시편의 조건

(1) 시편의 재질

본 실험에 사용한 시편의 재료는 기계구조용 탄소강(KS D 3752) 중에서 SM 40C를 선정하였으며, 재료의 화학적 성분과 기계적 성질을 각각 Table 1, 2와 같다.

Yielding Point (Kgf/mm ²)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Elongation (50 mm, %)	Hardness (H _K B)
40.78	73.61	25.9	31.8

Table 1. Mechanical Properties of Specimen

Chemical Composition (%)				
C	Mn	Si	P	S
0.4258	0.7582	0.2429	0.0207	0.0172

Table 2. Chemical Composition of Specimen

(2) 시편제작

시편의 모양과 치수는 Fig. 1과 같으며 사용한 시편은 Table 3과 같다.

시편가공은 직경 40mm까지는 황삭가공을 하고, 최종가공은 시편의 표면 거칠기를 동일하게 하는데 유의하여 동일규격의 Throw away Tip 을 매 시편마다 교환 사용하였다. 이때 사용된 절삭속도 및 절삭깊이는 각각 171.53m/min, 0.5mm이며 냉각제를 사용하였다.

Specimen	Feed(mm/rev)	Cutting Speed (m/min)	Nose Radius (mm)
J-1	0.05	171.53	0.4
J-2	0.06	171.53	0.4
J-3	0.07	171.53	0.4
J-4	0.08	171.53	0.4
K-1	0.10	171.53	1.6
K-2	0.12	171.53	1.6
K-3	0.14	171.53	1.6
K-4	0.16	171.53	1.6

Table 3. Specimens

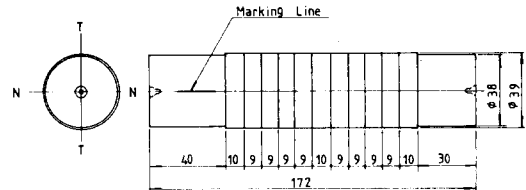


Fig. 1 Dimension of specimen

2-1-b. 표면로울링기구

표면로울링기구는 가압체로서 로울러대신 강구를 사용하고 본 실험에 사용된 강구의 크기는 $\phi 9.525\text{mm}$ 로서 “한국종합기계(주), 베어링볼(STB 2), 압쇄하중 4,660kgf, HRC 60.5~64.0, 표면조도 0.01~0.02 $\mu\text{m Ra}$ ”을 사용하였으며 가압력을 조절할 수 있도록 스프링을 삽입하여 조정나사로 가압력을 조정하고 원할성을 기하기 위하여 볼베어링의 레이스를 이용한 구조로 설계된 불형 표면로울링기구⁸⁾를 사용하였

다. 표면로울링기구는 Fig. 2와 같다.

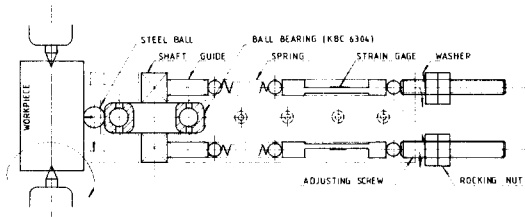


Fig. 2 Surface Rolling Tool

2-1-c. 표면로울링 가공

A. 표면로울링기구의 보정

보정의 목적은 로울링시 가압력을 알기 위해 기구의 호울더내부에 센서의 변형과 가압력과의 관계를 구하여 간접적으로 로울링시 가압력을 측정하고 그 일정한 가압력으로 로울링 하고자 하는데 있다.

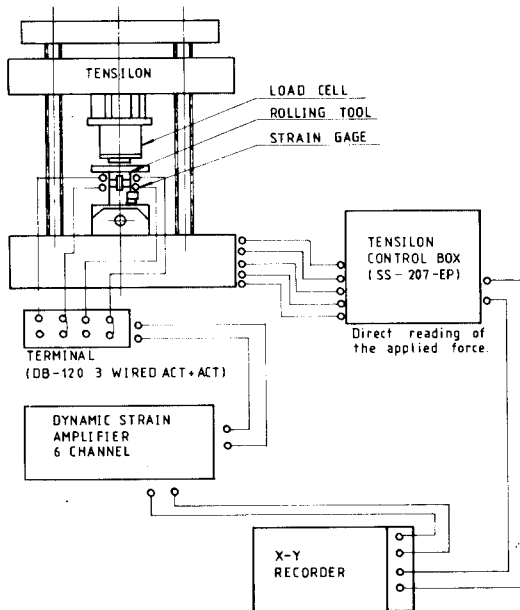


Fig. 3 Schematic Diagram of Measuring System for Surface Rolling Tool

양측의 감응부에서 먼저 왼쪽의 감응부를 조정나사로 조절하고 다음 오른쪽 감응부를 조절하여 거의 변형량이 같도록 조절하고 선반의 공구대에 장착한 테이블 바이스에 고정하여 인장시험기 (Tensilon, Cap 10Ton, UTM-10, Baldwin, Japan) 의 테이블 위에 장치하고 압축로우드셀 (Load Cell) 이 장착된 크로스 헤드 (Cross Head) 를 일정한 속도 (0.5m/min) 로 하강시켜 표면로울링기구의 호울더 내부에 센서의 변형과 압축로우드셀에서 감지되는 가압력과 관계를 X-Y 기록계를 사용하여 보정표를 작성하였다.

Fig. 3은 보정의 계통도이다.

2-2. 표면로울링 방법

(1) 로울링 속도

로울링속도는 직경 26.97~58.72mm인 공작물에 대하여 권장된 로울링속도 250r.p.m. (21.175~46.099m/min)^{14,15)}을 참고하여 가공시 실험에 사용한 선반의 사용가능회전수 220r.p.m을 택하였으며 이는 로울링속도 26.95m/min에 해당 하는 속도이다.

로울링시 이송은 Table 4와 같다.

Specimen	J-1		J-2		J-3		J-4	
Group	A	B	A	B	A	B	A	B
Rolling Feed (mm/rev)	0.05	0.10	0.06	0.10	0.07	0.10	0.08	0.10
Specimen	K-1		K-2		K-3		K-4	
Group	A	B	A	B	A	B	A	B
Rolling Feed (mm/rev)	0.10	0.10	0.12	0.10	0.14	0.10	0.16	0.10

Table 4. Rolling Feed

(2) 가압력

표면로울링기구의 가압체로 강구의 직경을 ϕ 9.525mm로 사용할 경우 권장된 가압력 20kgf¹⁷⁾를 택하였다.

(3) 표면로울링 방법

표면로울링 가공은 시편양쪽의 센터와 돌리개

를 이용하여 공작물을 선반의 공작위치에 설치하고 표면로울링기구 호울더를 고정시킨 공구대를 이송시켜 회전하는 공작물의 조정구간에 로울링기구의 강구가 접촉하도록 하여, 표면로울링기구 호울더 내부에 있는 센서가 작용하여 스트레인 증폭기를 통해 들어오는 스트레인량이 X-Y 기록계에서 20kgf에 해당하는 스트레인량이 될 때까지 선반의 가로이송핸들(Cross Feed Handle)을 돌린 다음 표면로울링기구를 자동으로 송시켜서 로울링을 실시하였다.

로울링 실시방법은 Fig. 4와 같다.

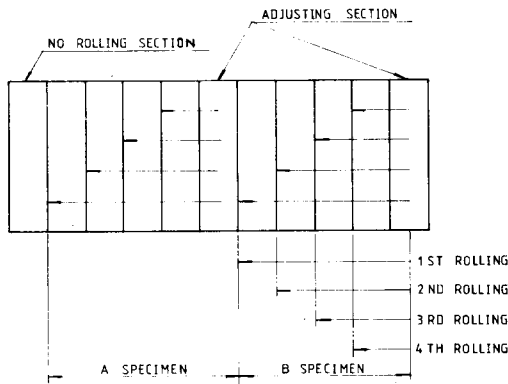


Fig. 4 Rolling Direction & Number of Rolling

2 - 2 - c. 시편의 측정

각 시편의 생크(Shank)부에 Fig. 1과 같이 N 방향으로 Marking하고 측정부위의 중복을 피하기 위해 표면조도는 마킹선 연장선상에서, 경도는 마킹선에서 반시계방향으로 90° 회전시킨 부위, 즉 Fig. 1에 표시한 T-T방향에서 각 부위의 중앙을 중심으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3 - 1. 전가공상태의 표면조도영향

본 실험에서 시도하였던 노오스 반경 변화에

다른 표면조도변화는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8과 같다.

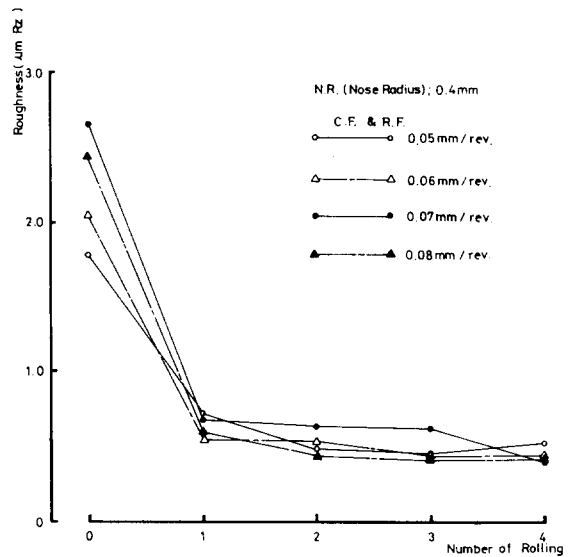


Fig. 5 Surface Roughness & Number of Rolling

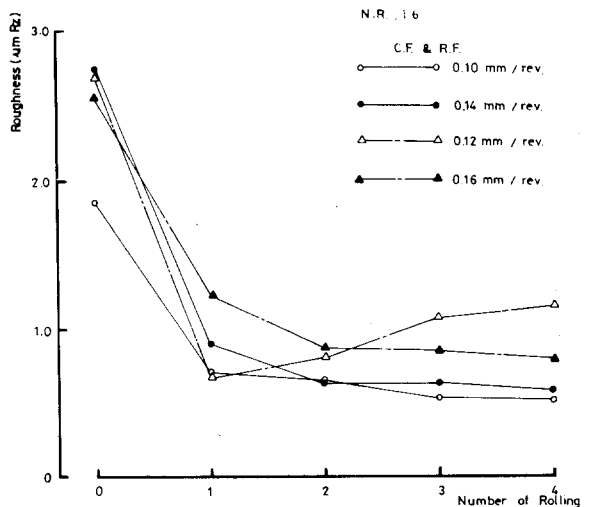


Fig. 6 Surface Roughness & Number of Rolling

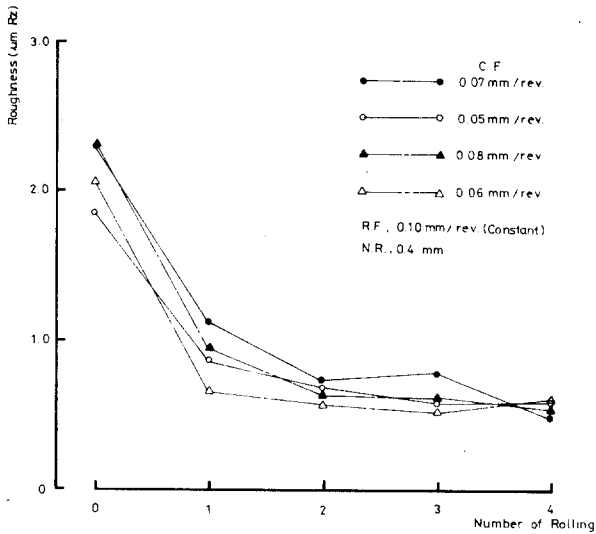


Fig. 7 Surface Roughness & Number of Rolling

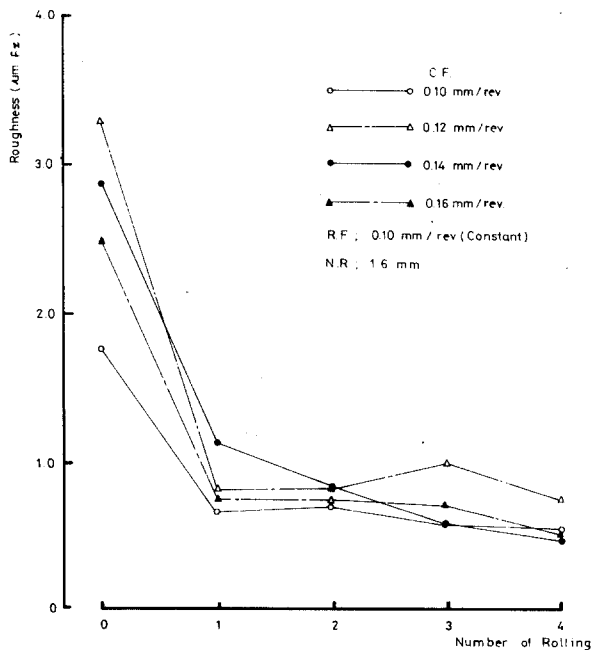


Fig. 8 Surface Roughness & Number of Rolling

가공시편중에 K-2, K-3, K-4시편 B 그룹 중에서 그리고 K-2시편 A 그룹에서 파상도가 존재 하였으며, 이 파상도의 영향은 Fig. 6에서 보듯이 K-2시편 A 그룹인 0.12mm/rev. 이송량의 로울링이 다른 이송량의 로울링보다 표면조도가 나쁘게 나왔다. 이때의 파상도의 길이는 0.15~0.25mm 정도이고 파상도의 폭은 0.8 μ m 정도이다. K-2시편 B 그룹도 A 그룹과 같은 파상도의 길이와 파상도의 폭은 0.8~2.5 μ m의 성향을 가진다. 이러한 경우 Fig. 8에서도 가장 나쁜 표면조도를 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 파상도 길이가 작은 시편에서는 파상도가 로울링 후 표면조도값에 흡수되기 때문이며, K-3, K-3, K-4시편은 파상도 폭이 0.85~3.0 μ m까지로 K-2시편에 비해 전반적으로 크지만 파상도 길이는 0.65~0.70mm로 K-2시편에 비해 커서 표면 로울링기구인 강구의 접촉가압이, 로울링이송량이 파상도 길이보다 충분히 작아 파상도 하층부까지 전달되어 표면조도값은 향상된다. 그러나 그러나 로울링 후에도 0.8~1.11 μ m의 파상도 폭과 길이는 그대로 남아서 가공성은 떨어진다고 보아야 할 것이다. 전체적으로 볼 때 파상도는 로울링 후 표면조도값에 좋지 못한 영향을 줄 수 있다.

또한 Fig. 5와 Fig. 7을 비교하여 보면 노오스 반경 0.4mm에 0.05~0.08mm/rev. 이송량을 변화시킨 절삭가공시편에서, 각각에 대해 절삭이송량과 같은 로울링이송량을 사용한 로울링가공이, 일정한 로울링이송량 0.10mm/rev.을 사용한 로울링가공보다 양호한 표면조도값을 갖는 것은 로울링이송량이 0.21mm/rev. 이하에서는 로울링이송량이 작을수록 가공후의 표면조도 값이 좋다는 기존의 결과와 동일함을 알 수 있었다.

3-2. 경도변화

Fig. 9은 로울링회수에 따른 경도변화이다.

일반적으로 분석하여 볼 때 로울링회수에 따라 경도는 증가하나 증가폭은 2회 로울링부터

는 작다. 이는 제 1차 로울링시 가공이 거의 이루어지기 때문이다.

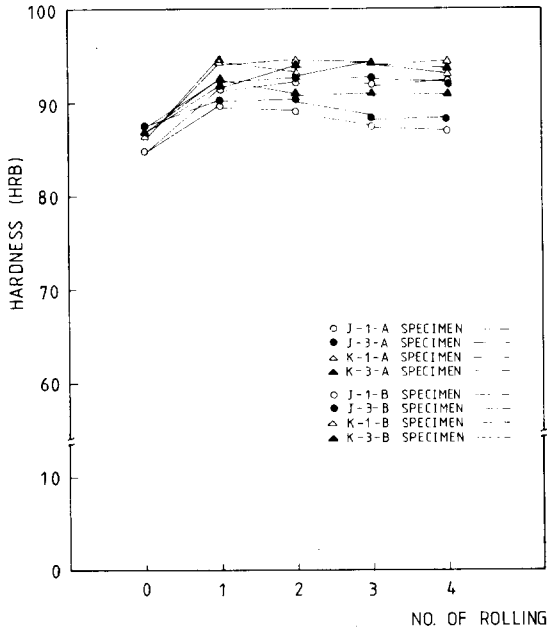


Fig. 9 Hardness variation against Number of Rolling Processes

3 - 3. 직경감소

Fig. 10, 11은 로울링회수에 따른 직경감소량이다.

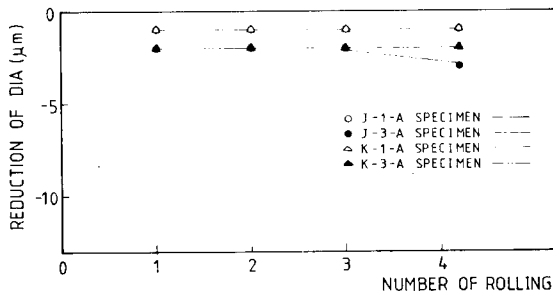


Fig. 10 Reduction of Diameter against Number of Rolling Processes

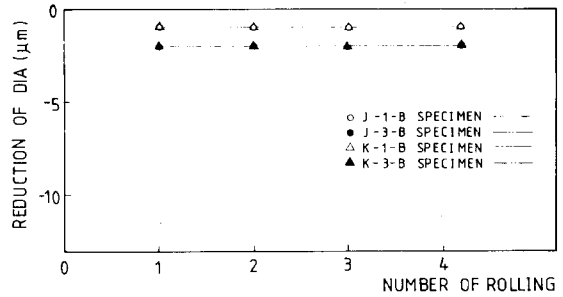


Fig. 11 Reduction of Diameter against Number of Rolling Processes

로울링회수에 따른 직경감소량도 경도와 마찬가지로 1회 로울링시 가공이 거의 이루어짐을 알 수 있으며 로울링이송량에 따른 직경감소의 변화는 극히 작다. 그리고 파상도가 있는 가공물의 직경감소는 파상도가 없는 가공물에 비해 크며 이러한 성질은 표면조도향상에 따른 직경감소에 파상도 폭의 감소로 인한 직경감소가 더하여지기 때문인 것으로 추정된다.

3 - 4. 전가공의 표면조도와 로울링후 직경 감소와의 관계

3 - 4 - a. 이론적인 전가공의 표면거칠기와 표면로울링 가공후의 이론적 표면조도에 의한 직경감소량

① 2次元의 접근

단인공구에 의한 이론적 표면조도형상에서 표면조도는 일정하고, 공작물의 직경이 충분히 크다고 하면 2次元화된 문제로 볼 수 있으며 로울링후 이상적인 표면조도($R_{max} = 0$)가 완성되었다고 가정하여 표면조도곡선중 중심선상부에 해당되는 면적(凸)이 하부에 비어있는 면적(凹)으로 이동되었다고 하면 직경감소와 전가공면의 표면조도와와의 비(ξ)를 구할 수 있다.

Fig. 12을 참조하여

$$\xi = \frac{\text{Dia. Reduction}}{\text{Roughness}} = \frac{2(R_{max} - (2R_{max} \cdot r \cdot \sin \theta_1 + r^2 - r^2 \theta_1))}{R_{max}}$$

$$2r \cdot \sin \theta_1)$$

Rmax : 표면 조도

r : 단인공구의 노오스반경

θ_1 : $\text{Cos}^{-1}(1 - \frac{R_z}{r})$ (radian)

직경감소비 (ξ)를 수치적으로 풀면 Table 5와 같다.

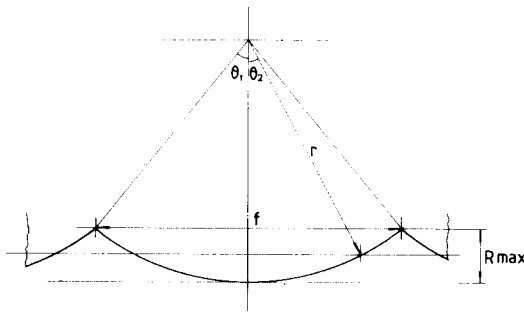


Fig. 12 Geometrical Surface Roughness(Ra)

Roughness Rz (μm)	Nose Radius (mm)	θ_1 (Radian)	Dia. Reduction /Roughness	Cutting Feed (mm/rev.)
200.	0.4	1.0472	1.4184	0.693
100.	0.4	0.7227	1.3706	0.529
50.	0.4	0.5054	1.3510	0.387
25.	0.4	0.3554	1.3418	0.284
12.5	0.4	0.2507	1.3376	0.198
6.25	0.4	0.1770	1.3354	0.141
3.125	0.4	0.1251	1.3344	0.100
200.	1.6	0.5054	1.3516	1.549
100.	1.6	0.3554	1.3418	1.114
50.	1.6	0.2507	1.3376	0.794
25.	1.6	0.1770	1.3354	0.563
12.5	1.6	0.1251	1.3344	0.419
6.25	1.6	0.0884	1.3337	0.283
3.125	1.6	0.0625	1.3335	0.200

Table 5. Ratio of Diameter Reduction

Table 5에 나타난 바와 같이 R_z/r 의 비가 같으면 직경감소비도 같으며, 표면조도가 $100\mu\text{m}$ 이하에서는 비의 기울기변화가 거의 없고 실제로 울링에서 사용되는 표면조도가 약 $50\mu\text{m}$ 이하

에서는 표면조도와 직경감소의 비변화가 없다고 보아, 직선적으로 일정하다고 볼 수 있다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 0.4mm와 1.6mm의 노오스반경의 차이가 $50\mu\text{m}$ 이하에서는 직경감소의 비(ξ)의 값이 일정함을 알 수 있다.

② 3次元的 접근

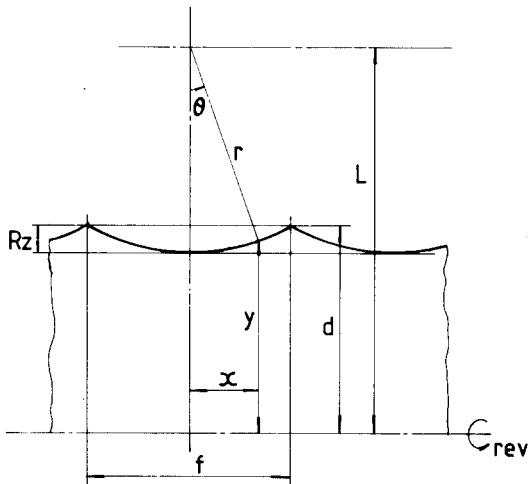


Fig. 13 Volume of Workpiece by Roughness Line

Fig. 13에서

$$X = r \sin \theta$$

$$L = r \cos \theta + y$$

$$L = d + r \cos(\sin^{-1}(f/2r)) \text{ 에서}$$

$$y = d + r \cos(\sin^{-1}(f/2r)) - r \cos(\sin^{-1}(x/r))$$

공작물 길이 ℓ 에 대해서 적분하면

$$V = \int_0^{\ell} \pi |y(x)|^2 dx$$

$$= \int_0^{\ell} \pi \{d + r \cos(\sin^{-1}(f/2r)) - r \cos(\sin^{-1}(x/r))\}^2 dx$$

여기서, $\ell_x : y(x)$ 는 x 에 대해 불연속적이기 때문에 x 에 따라 보정되는 적분길이.

노오스반경이 $r \neq 0$ 인 단인공구에 의한 석삭된 공작물 체적은

$$V_c = \int_0^{\ell_{x1}} \pi \{d_1 + r_1 \cos(\sin^{-1}(f_1/2r_1)) - r_1 \cos(\sin^{-1}(x/r_1))\}^2 dx$$

여기서, d_1 : 로울링전 공작물반경 또는 절삭가공후 공작물반경 (mm)

r_1 = 노오스반경 (mm)

f_1 = 절삭이송량 (mm/rev.)

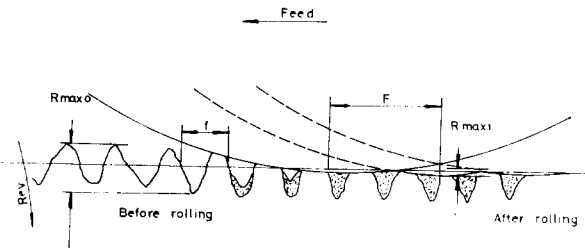


Fig. 14 Rolling Surface with Steel Ball

표면유동이 Fig. 14와 같이 이상 적으로 이루어졌다면 로울링후의 체적 V_R 은,

$$V_R = \int_0^{\ell_{x2}} \pi \{d_2 + R \cos(\sin^{-1}(f_2/2R)) - R \cos(\sin^{-1}(x/R))\}^2 dx$$

로 표시된다.

여기서, d_2 : 로울링후 공작 반경 (mm)

R : 강구의 반경

f_2 : 로울링 이송량 (mm/rev.)

체적변화는 없다고 보면 $\Delta V = 0$, $V_c = V_R$ 을 만족하여야 하므로 로울링후의 공작물 d_2 를 수치해석적으로 구할 수 있고, 이에 따른 전가공

의 이론적 표면조도와 로울링후의 이론적 표면 조도에 의한 직경감소량을 구할 수 있다.

이에 대한 수치해석 프로그램에 대한 Flow Chart는 Fig. 15와 같다.

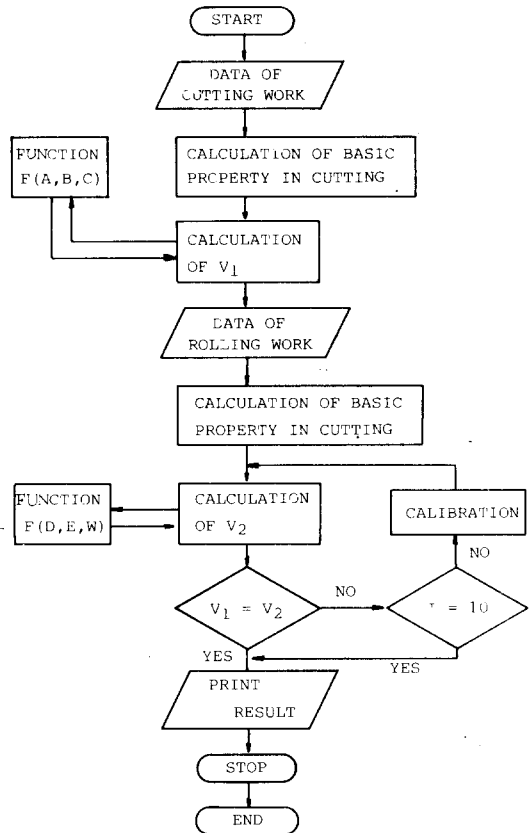


Fig. 15 Flow Chart

3 - 4 - b. 이론적 직경감소와 실제직경 감소의 비교

Fig. 16은 3차원접근에 의한 표면기하학적 형태변화에 따른 직경감소의 이론치와 실험치를 비교하였다.

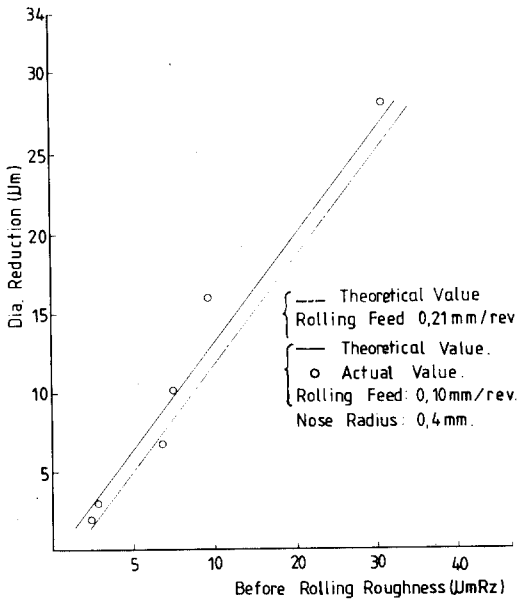


Fig. 16 Relation of Roughness & Dia. Reduction

그림에서 보는 바와 같이 이론치와 실험치는 거의 같은 성향을 가지며, 전가공상태의 표면조도값이 0~20.0 μ m일 때 직선기울기가 1.325로써 2차원 접근시 이에 해당하는 기울기 1.3345~1.3418과 거의 일치한다. 따라서 공작물직경이 충분히 큰 범위에서는 공작물직경에 따른 이론적인 직경변화는 거의 없다고 보아도 무방하다.

그리고 이론적인 로울링이송 변화에 따른 직경감소의 변화는 작으며 실제 실험에서도 로울링 이송변화가 가공후의 직경감소값에 주는 영향은 작다⁹⁾.

4. 결 론

이상과 같은 실험에서 고찰을 종합하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 전가공상태의 파상도는 표면로울링후 표면조도를 나쁘게 하는 요인임을 알 수 있었다.
- (2) 연강에 있어서 경도의 증가와 직경감소량은 1회 표면로울링 후 거의 완료됨을 알 수 있었다.

《참 고 문 헌》

1. 육평수, "버어니싱에 의한 구멍 내면가공에 관한 연구," 대한기계학회지, 제14권, 제4호, PP.305~313, 1974.
2. Vestnik Mashinostrochniya, "Increasing the Strength and Life of Machine Components by Surface Plastic Deformation," Russian Engineering Journal, Vol.57, Issue 3, PP.32~35, 1977.
3. D. L. Yudin, A. P. Petrakov, "Strength of Subway Train Traction Motor Pinion Shafts by Surface Plastic," Russian Engineering Journal, Vol.57, Issue 3, PP.57~59, 1977.
4. 이용철, "표면로울링에 있어서 재료의 변화가 표면조도에 미치는 영향" 인하대학원, 석사학위논문, 1984.
5. 이동주, "연강재에 대한 표면로울링에 있어서의 표면조도에 관하여." 인하대학원, 석사학위논문, 1987.
6. 최홍식, "연강에서의 표면로울링과 표면조도 변화에 관하여," 인하대학원, 석사학위논문, 1981.
7. 민경화, "연강에서의 표면로울링의 가압력과 표면정밀도와와의 관계" 인하대학원, 석사학위논문, 1983.
8. 김영중, "표면로울링에서 불의 지름이 표면조도에 미치는 영향" 인하대학원, 석사학위논문, 1983.
9. 이원식, "표면로울링에서 절삭 및 로울링의 이송속도가 표면조도에 미치는 영향" 인하대학원, 석사학위논문, 1983.
10. 조용부, "표면로울링에서 가공물의 지름변화가 표면정밀도에 미치는 영향" 인하대학원, 석사학위논문, 1984.
11. 신현국, "표면로울링에 있어서 이송의 방향이 표면조도에 미치는 영향" 인하대학원, 석사학위논문, 1984.
12. 연철성, "연강의 표면로울링회수에 따르는 표면정밀도의 변화," 인하대학원, 석사학위논문, 1986.

- force on control valve piston” Trans of ASME Vol. 74, PP. 1005~1012, 1952.
6. Lee S. Y. & Black surn J. F., “Contribution to Hydraulic control-2 -transient-flow and valve instability-,” Trans. of ASME, Vol. 74, PP. 1116~1170, 1952.
 7. MA C. Y., “The Analysis and design of Hydraulic Presssure Reducing Valve”, Trans of ASME, Vol. 39, PP. 301~303, 1967.
 8. IBM, “Scientific Subroutine package,” IBM data processing Division, PP. 343~350, 1970.
 9. 宋昌燮 “Study of an Electro-Hydraulic proportional compound Valve” Kaist ph.D Thesis PP. 34~37, 1980.