大韓機械學會論文集 第12卷 第5號, pp. 1071~1082, 1988.

〈論 文〉

주철의 서어피스 로울링에 있어서 가압 볼의 직경이 표면정밀도에 미치는 영향

허 명 규* · 최 홍 식* · 육 굉 수**

(1988년 3월 29일 접수)

The Effect of Ball Diameter upon Surface Accuracy in Surface Rolling with Cast Iron

M. K. Heo, H. S. Choi and K. S. Yuck

Key Words : Surface Rolling(서어피스 로울링), Surface Roughness(表面거칠기), Micro Plastic Process(미세塑性加工), Cutting Feed(切削移送速度), Rolling Feed(로울링移送速度)

Abstract

Surface rolling is one of the micro plastic processes which yields local deformation of surface, and improves surface roughness, hardness and fatigue strength. With the use of gray cast iron (GC 30) as material for experiment, the changes in surface roughness and hardness, and the relation between the decrease in diameter and surface roughness were investigated. A number of previous theses were refered to the effects of surface rolling for this study. With the use of steel ball of excellent in surface roughness and hardness, and with the applied force 20Kgf, surface rolling was performed. The summary of the experiment is as follows:

(1) With the fixed applied force 20Kgf and the ball of 8.726mm in diameter, surface roughness was found to be the most excellent.

(2) Increase in hardness was most prominent in the first rolling, but less effective in the succeeding rolling.

(3) Reduction on diameter was affected by the previous process before rolling, and about 70 to 90% of reduction was made in the first rolling.

1. 序 論

旋盤에서 切削한 工作物의 加工表面은 工具날끝의 形狀과 移送운동에 의해 形成된 凹凸을 가지는 表面거칠기를 形成한다. 이러한 거칠은 面을 다듬질하는 方法으로 微細한 切削加工法과 다듬질面에 塑性變形을 주어 表面거칠기와 硬度을 向上시키는 塑性加工法이 있다. 一般的으로 塑性加工은 切削加工에 比해 加工精密度가 떨어지는 것으로 認識되어 있으나 塑性加工中 서어피스 로울링(surface rolling)[1], 버어니싱(burnishing), 압력버어니싱(pressure burnishing)과 같은 마이크로 塑性加工(micro plastic process)은 매우 良好한 表面粗度을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 이 中에서 서어피스 로울링은 表面이 매끄럽고 硬度가 높은 보올(ball)

*인하대학교 대학원
**정회원, 인하대학교 공과대학 기계공학과

또는 로울러(roller)를 使用하여 回轉하는 工作物의 表面을 押付시켜 移送을 줌으로써 高精密度의 加工面을 얻을 수 있다.

서어피스 로울링은 1928年 獨逸에서 발명[2]되어 鐵道차량의 車軸의 軸徑加工에 使用되었고, 1950年代에 König가 鋼에 대한 서어피스 로울링에 있어서의 表面거동을 重點的으로 硏究한 바 있다.

本 硏究에서는 試片의 材料를 灰鑄鐵(Grey Cast Iron: GC 30)을 선정하였으며 보올의 지름이 각각 다른 5種類의 강철 보올(steel ball)을 使用하였다.

2. 試片製作 및 實驗

2.1 試片製作

(1) 本 實驗에 使用한 試片의 材質은 大邱重工業(株)의 大形旋盤本體用 鑄造試片(檢査用으로 同時注入한 試片)이며 主要機械的 性質과 化學的 成分은 Table 1과 같다.

(2) 試片의 製作·形狀과 치수

試片의 形狀과 치수는 Fig. 1과 같으며 實驗에 使用한 試片은 加壓보올의 直徑에 따라 5種類로 하고 前加工의 表面거칠기에 따라 各各 2個씩 총 10個로 하였고 各 試片을 로울링 移送에 따라 左側을 A그룹(0.3mm/rev.), 右側을 B그룹(0.15mm/rev.)으로 區分하고 各 그룹은 5個의 部分으로 細分하여 1回부터 5回까지의 로울링을 實施토록 하였다. 이때 使用된 切削速度, 移送速度 및 切削깊이는 다음과 같다.

切削速度 ; 118.75m/min

切削깊이 ; 0.5mm

切削 R.P.M. ; 1400r.p.m.

移送速度 ; 0.15mm/rev.

試片製作時 使用한 선반과 절삭공구의 主要諸元은 다음과 같다.

선반 ; DST-20旋盤〔大宇重工業(株)〕, 스윙×센터거리=520×1300mm, 主軸回轉數 ; 12段變速(33~2000r.p.m)

Tool holder ; HERTEL, PSSN R2020K12

팁(tip) ; 초경바이트, SANDVIC, NOSE Radius: 0.4mm.

2.2 試片測定

各 試片의 자루部에 Fig. 1과 같이 마아킹(marking)하여 測定部를 N-方向과 T-方向으로 區分하고 同一한 條件에서의 測定을 하기 위해 表面거칠기는 마아킹線의 연장선 上에서 測定하고 硬度는 마아킹線에서 180° 회전시킨 部位에서 測定하였다. 各 부분의 길이는 로울링加工과 測定이 可能한 최소길이를 고려하여 12mm로 定하였고 Ra(中心線平均거칠기), Rz(十點平均거칠기)의 컷 오프(cut off) 값은 0.70mm로 하여 測定하였다.

試片測定에 使用한 裝置는 다음과 같다.

(1) 直徑 : Digmatic Micrometer, MITUTOYO, JAPAN.

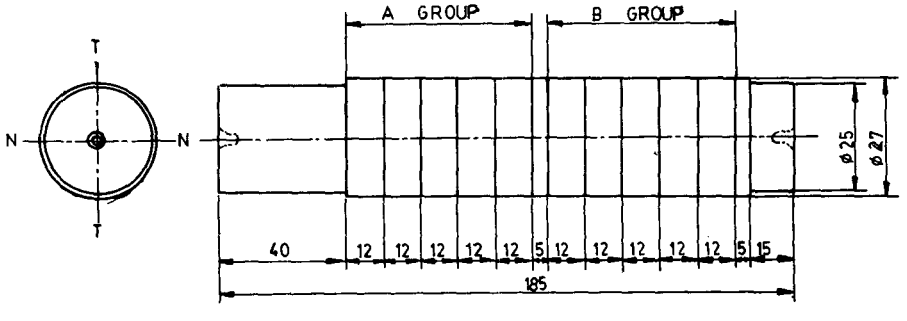

Fig. 1 Specimen

Table 1 Mechanical properties and chemical compositions of specimen

Chemical compositions(%)					Mechanical properties	
C	Mn	Si	P	S	Tensile strength (kgf/mm²)	Hardness
2.97	1.70	0.90	0.048	0.103	32.1	223(H_B)

(2) 表面거칠기 : Surface Roughness Tester TALYSURF6, Taylor-Hobson, ENGLAND

(3) 硬度 : Rockwell Hardness Tester, SILSON AMERICAN & CABLE CO. U. S. A(B-Scale 100kg 荷重 1/16″)

(4) 加壓力 : Dynamic strain Amplifier, X-Y Rocorder(HEWLETT-PACHARD Co. Model 135 U.S.A)

2.3 로울링 條件

(1) 로울링 速度

直徑 26.975~58.725mm(1.062″~2.313″)인 工作物에 대해 권장된 로울링速度 250r.p.m.(21.186~46.123m/min)을 參考하여 前切削加工時 使用한 선반에서 可能한 速度變換段數中 가장 近似한 220r.p.m.(18.661m/min)을 使用하였다.

(2) 로울링 移送速度

로울링 移送速度는 0.15mm/rev.과 0.3mm/rev. 두 가지를 택했으며, 作業條件은 Table 2에 表示하였다.

(3) 加壓力과 보울의 直徑

一定한 加壓力 20kgf[3,4]下에서 直徑이 7.934 mm, 8.726mm, 9.525mm, 10.319mm, 11.905 mm인 5種類의 강철보울을 使用하였다.

2.4 서어피스 로울링 공구의 製作

서어피스 로울링에 使用된 로울링工具는 加壓力의 微量 調整이 可能하고 로울링 作業에서 오는 振動을 吸收할 수 있도록 設計하였다. 軟鋼의 로울링에서 使用된 서어피스 로울링 工具[4]을 使用하였으

Table 2 Working condition

Spectmen	Section	Ball dia. (mm)	Cutting feed (mm/rev.)	Rolling feed (mm/rev.)
I-1	A	7.934	0.3	0.3
	B	7.934	0.3	0.15
I-2	A	7.934	0.15	0.3
	B	7.934	0.15	0.15
J-1	A	8.726	0.3	0.3
	B	8.726	0.3	0.15
J-2	A	8.726	0.15	0.3
	B	8.726	0.15	0.15
K-1	A	9.525	0.3	0.3
	B	9.925	0.3	0.15
K-2	A	9.525	0.15	0.3
	B	9.525	0.15	0.15
M-1	A	10.319	0.3	0.3
	B	10.319	0.3	0.15
M-2	A	10.319	0.15	0.3
	B	10.319	0.15	0.15
N-1	A	11.905	0.3	0.3
	B	11.905	0.3	0.15
N-2	A	11.905	0.15	0.3
	B	11.905	0.15	0.15

며, 그 도면은 Fig. 2와 같다.

本 實驗에 使用한 加壓體로는 접촉部의 精密度를 維持하기 위해 表面거칠기와 硬度가 우수하며 크기가 同一한 보올베어링용 강철보올을 사용하였다. 크기는 권장된 加壓體의 直徑 10mm 前後로 하여 입수可能한 5種(ϕ7.934mm~ϕ11.905mm)으로 하였으며, 實驗에 사용된 강철보올은 韓國綜合機械(昌原工場) 製品이다. 加壓스프링으로 코일스프링을 使用하여 공작機械의 振動, 案內部의 不規則 및 보올의 回轉에 따른 振動要因으로 인해 발생하는 충격으로부터 서어피스 로울링 공구 및 實驗機를 보호하도록 하였다. 보올 호울더(ball holder)를

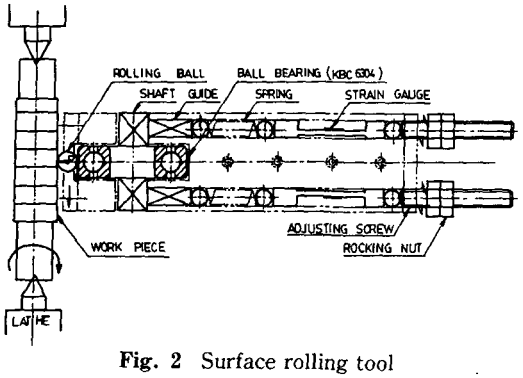

Fig. 2 Surface rolling tool

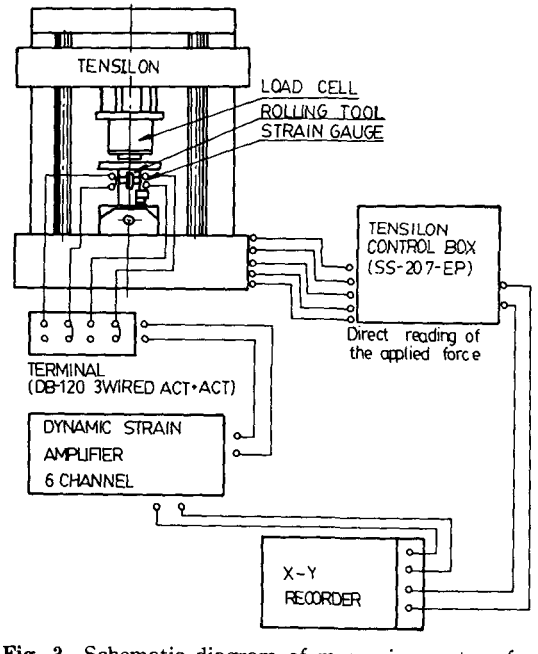

Fig. 3 Schematic diagram of measuring system for surface rolling tool

使用하여 보올의 離脫을 防止하고 보올 베어링을 設置하여 보올 베어링의 아우터 레이스(outer race)의 外面과 加壓보올과 접촉시킴으로써 마찰을 줄이고 加壓보올에 의해 傳達된 主分力에 相當하는 힘은 베어링의 回轉운동으로 相殺된다고 看做하고 背分力에 해당하는 加壓力만이 感應部에 전달되며 感應部의 側面에는 스트레인게이지를 付着하여 傳達되는 加壓力에 따라 變位를 받아 증폭기를 거쳐서 X-Y 기록기에 變化율이 記錄되도록 해서 스트레인과 힘과의 관계를 구하여 로울링時 간접적으로 加壓力를 구하도록 하였다.

2.5 서어피스 로울링 工具의 壓力較正 (Calibration)

양측의 感應部에 대하여 調整나사를 利用하여 스트레인量이 같도록 調整한 다음 서어피스 로울링 工具를 선반의 工具臺에 裝着한 후 테이블 바이스에 고정하여 引張試驗機(Tensilon Cap, 10 ㌧. UTM-10, BALDWIN, Japan)의 테이블 위에 裝置하고 압축로우드 셀(compression load cell)(CLB-500LF Cap. 500kg, Baldwin, Japan)이 裝着된 크로스 해드(cross head)를 一定한 速度(0.5mm/min)로 하강시켜 感應部에서 일어나는 변화율의 변화와 이에 對應하여 압축로우드 셀에서 感知되는 加壓力과의 관계를 X-Y 기록기(WATANABE, WX 4403, Japan)를 使用하여 加壓力에 따른 較正表를 作成하였다. Fig. 3는 서어피스 로울링 工具의 壓力測定系統圖를 表示한 것이다.

2.6 實 驗

旋盤의 센터를 使用하여 試片을 回轉시키고 較正表를 基準하여 X-Y 기록기에 20kgf의 加壓力에 상당하는 스트레인 變化量이 될 때까지 선반의 移送나사를 돌려 加壓한 후 가압체의 移送을 各 그룹別로 0.15mm/rev. 0.3mm/rev.로 주어 自動移送시켜서 로울링하였다. 移送이 完了되면 試片에 加壓영향이 미치지 않도록 보올을 除去하고 자동이송나사를 잠근채로 逆轉시켜 原位置로 復歸시켰다. Fig. 4는 로울링 順序를 나타낸 것이며 그룹의 첫번째 部分을 두었다.

매회 로울링마다 20kgf에 해당하는 스트레인量을 X-Y기록기에 기록하였고, 보올 베아링 直徑이 바뀔때마다 보올 호울더를 교체하였고, 선반에서 떼어내어 各 部分의 表面거칠기, 硬度 및 直徑

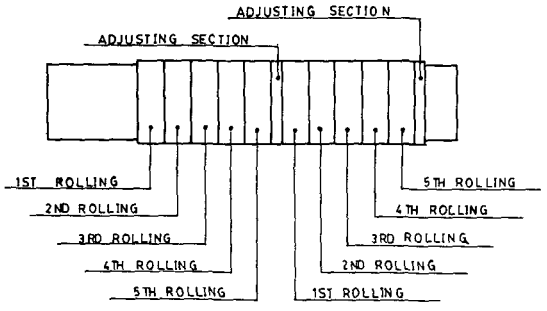

Fig. 4 Rolling operation

變化를 測定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 實驗結果

實驗結果를 整理하면 로울링 前의 表面거칠기, 硬度 및 直徑의 測定値는 Table 3-1(μm *Ra*), Table 4-1(μm *Rz*), Table 5-1(直徑)과 같고, 로울링 후의 表面거칠기, 硬度 및 直徑의 測定量은 Table 3-2, Table 4-2, Table 5-2, Table 6-1과

Table 3-1 Surface roughness before rolling(μm *Ra*)

M.S / S.N	A group						B group					
	1	2	3	4	5	AVE.	1	2	3	4	5	AVE.
I -1	6.94	6.61	7.04	7.0	7.15	6.96	6.77	6.77	7.23	6.29	8.2	7.05
I -2	2.5	2.29	2.61	2.22	2.29	2.38	2.42	2.23	2.68	2.12	2.14	2.32
J-1	7.83	7.73	8.3	7.7	7.7	7.85	7.7	8.0	7.0	8.2	7.0	7.84
J-2	2.68	2.4	2.29	2.45	2.67	2.50	2.82	2.73	2.65	2.96	3.10	2.85
K-1	8.1	8.2	8.1	7.5	7.6	7.9	8.0	7.9	8.5	8.4	8.5	8.26
K-2	2.44	2.65	2.49	2.78	2.44	2.56	2.37	2.77	2.88	2.76	2.61	2.68
M-1	7.9	8.2	6.8	7.0	8.4	7.66	7.9	7.5	7.7	9.0	7.1	7.84
M-2	2.23	1.91	2.05	1.71	1.95	1.97	2.42	1.60	2.30	2.03	1.71	2.01
N-1	7.55	9.3	7.9	7.8	7.1	7.93	8.9	9.4	8.8	8.5	7.6	8.64
N-2	2.22	2.1	2.1	2.4	2.22	2.21	2.67	2.65	2.75	2.32	2.75	2.63

AVE.: Average

Table 3-2 Surface roughness after rolling(μm *Ra*)

M.S / S.N	A group						B group					
	1	2	3	4	5	AVE.	1	2	3	4	5	AVE.
I-1	1.47	1.20	1.16	0.90	0.91	1.13	1.18	1.11	1.05	0.77	0.71	0.96
I-2	1.07	0.86	0.73	0.73	0.68	0.81	0.78	0.58	0.55	0.53	0.49	0.59
J-1	2.78	1.27	1.25	1.01	0.64	1.39	1.56	1.46	1.10	0.74	0.57	1.09
J-2	0.95	0.89	0.73	0.67	0.59	0.77	1.00	0.88	0.74	0.67	0.50	0.76
K-1	2.44	1.40	1.40	1.35	1.08	1.53	1.76	1.15	1.14	0.85	0.70	1.12
K-2	1.04	0.94	0.81	0.73	0.66	0.84	0.84	0.73	0.74	0.66	0.52	0.70
M-1	2.38	1.81	1.46	1.27	1.38	1.66	1.77	1.42	1.23	1.17	0.81	1.28
M-2	1.04	0.97	0.75	0.76	0.76	0.86	0.92	0.70	0.59	0.6	0.52	0.67
N-1	2.98	2.02	1.56	1.58	1.33	1.90	2.27	1.41	1.42	1.07	1.06	1.45
N-2	0.94	0.95	0.86	0.83	0.77	0.87	0.88	0.73	0.67	0.61	0.57	0.69

AVE.: Average

같다.

3.2 보올의 直徑에 따른 表面거칠기의 變化

(1) 切削移送速度 0.3mm/rev. 로울링 移送速度 0.3mm/rev.일 때,

보올의 直徑이 8.726mm일 때 表面거칠기는 가장 良好하여 보올의 直徑이 클수록 表面거칠기는 조금씩 나빠지는 것을 알 수 있다. 로울링 回數에 따른 各 보올直徑에 대한 表面거칠기의 變化는 Fig. 5와 같다.

(2) 切削移送速度 0.3mm/rev. 로울링移送速度 0.15mm/rev.일 때,

各 보올直徑에 대한 表面거칠기의 變化는 Fig. 6과 같다. 보올의 直徑이 8.726mm일 때 表面거칠기는 7.84μm *Ra*에서 0.57μm *Ra*로 最上의 表面거칠기가 되어 最適의 보올 直徑임을 알 수 있다.

(3) 切削移送速度 0.15mm/rev. 로울링移送速度 0.3mm/rev.일 때,

Table 4-1 Surface roughness before rolling(μm *Ra*)

M.S / S.N	A group						B group					
	1	2	3	4	5	AVE.	1	2	3	4	5	AVE.
I-1	21.6	17.1	11.8	20.1	21.3	18.36	16.9	20.4	16.9	20.0	23	19.44
I-2	10	9.1	10.3	9.7	9.3	9.68	9.2	9.5	11.1	9.0	9.6	9.68
J-1	19	14	25	15	26	19.8	26	23	17	10	12	17.6
J-2	11.0	9.6	9.7	10.1	10.8	10.24	11.2	12.3	11.6	12.1	11.9	11.82
K-1	21	29	21	23	18	22.4	23	26	25	17	26	23.4
K-2	10.8	12.1	10.3	10.6	9.7	10.7	10.3	11.6	10.8	12.1	10.2	11.0
M-1	24	21	24	23	24	23.2	13	24	24	21	22	20.8
M-2	9.5	8.1	8.4	8.1	7.2	8.26	8.9	6.7	9.0	8.5	7.3	8.08
N-1	24.3	27	21	23	24	23.86	30	29	25	25	21	26
N-2	9.3	9	10	10	8.8	9.42	10.5	10.9	12.7	9.9	11.2	11.04

AVE.: Average

Table 4-2 Surface roughness after rolling(μm *Rz*)

M.S / S.N	A group						B group					
	1	2	3	4	5	AVE.	1	2	3	4	5	AVE.
I-1	4.9	4.5	4.1	3.4	4.0	4.18	4.6	4.3	4.0	3.6	3.6	4.02
I-2	4.9	3.8	3.3	3.3	3.1	3.68	3.6	2.7	2.4	2.4	2.2	2.66
J-1	8.9	5.5	4.7	3.9	2.6	5.12	5.4	4.8	4.2	2.9	2.7	4.0
J-2	4.7	4.0	3.5	3.3	3.0	3.7	5.3	3.9	3.1	3.3	2.3	3.58
K-1	8.7	6.1	5.3	5.5	4.9	6.1	7.1	5.2	4.1	3.9	3.4	4.74
K-2	4.7	3.9	3.9	3.3	3.1	3.78	3.4	3.3	3.4	3.1	3.0	3.24
M-1	8.6	6.5	5.6	5.6	5.1	6.28	6.5	4.7	4.1	4.2	3.0	4.5
M-2	4.5	4.1	3.1	3.4	3.4	3.7	4.3	3.1	3.0	2.8	1.8	3.0
N-1	10.6	7.8	5.9	5.7	5.6	7.12	7.7	5.6	4.9	4.4	4.9	5.5
N-2	4.6	4.3	4.1	3.8	3.3	4.02	4.4	2.9	3.3	2.8	2.6	3.2

AVE.: Average

보올의 直徑이 8.726mm일 때 表面거칠기는 2.50μm *Ra*에서 0.59μm *Ra*로 가장 良好한 表面거칠기가 되며 보올의 直徑이 커짐에 따라 表面거칠기는 조금씩 나빠지기 시작했고, 로울링 회수가 2회 以後에서는 微小量씩 向上되었다. 로울링 회수에 따른 各 보올直徑에 대한 表面거칠기의 變化는 Fig. 7과 같다.

(4) 切削移送速度 0.15mm/rev. 로울링移送速度 0.15mm/rev.일 때,

보올의 直徑이 7.934mm일 때 5回 로울링에서 가장 良好한 表面거칠기 0.49μm *Ra*를 얻었으나, 이 때는 前加工의 表面거칠기가 2.32μm *Ra*로써 보올의 直徑이 8.726mm일 때의 0.50μm *Ra*가 더 良好한 것이 된다. 前加工狀態의 表面거칠기가 良好한 狀態에서 로울링 加工을 했을 때 最上의 表面거칠기를 얻을 수 있었다.

로울링 回數에 따른 各 보올의 直徑에 대한 表面거칠기의 變化는 Fig. 8과 같다. 表面거칠기는 1次 로울링에서 70~90% 向上되며, 2次 로울링 以後에서는 微小量 向上되었다. Table 8은 로울링 回數

Table 5-1 Diameter before rolling (mm)

M.S / S.N	A group					B group					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	AVE.
I-1	27.128	27.132	27.128	27.129	27.130	27.129	27.128	27.128	27.133	27.131	27.130
I-2	27.081	27.081	27.081	27.080	27.081	27.080	27.078	27.077	27.079	27.079	27.080
J-1	27.190	27.190	27.190	27.188	27.189	27.187	27.185	27.084	27.186	27.181	27.187
J-2	27.090	27.090	27.090	27.089	27.085	27.086	27.083	27.083	27.084	27.085	27.087
K-1	27.174	27.173	17.174	27.176	27.175	27.173	27.172	27.171	27.177	27.170	27.174
K-2	27.121	27.121	27.121	27.120	27.122	27.119	27.118	27.119	27.119	27.120	27.120
M-1	27.127	27.121	27.131	27.131	27.138	27.142	27.139	27.139	27.136	27.133	27.135
M-2	27.101	27.099	27.100	27.099	27.099	27.098	27.098	27.094	27.094	27.093	27.098
N-1	27.181	27.183	27.186	27.180	27.180	27.181	27.179	27.189	27.185	27.183	17.183
N-2	27.049	27.049	27.049	27.050	27.049	27.049	27.045	27.045	27.045	27.044	27.047

AVE.: Average

Table 5-2 Diameter before rolling (mm)

M.S / S.N	A group					B group				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
I-1	27.089	27.085	27.083	27.083	27.082	27.083	27.082	27.080	27.080	27.079
I-2	27.069	27.067	27.066	27.065	27.064	27.065	27.065	27.064	27.063	27.061
J-1	27.144	27.139	27.137	27.135	27.133	27.137	27.132	27.129	27.129	27.127
J-2	27.078	27.076	27.074	27.073	27.071	27.072	27.068	27.067	27.067	27.067
K-1	27.128	27.123	27.120	27.120	27.118	27.121	27.119	27.118	27.118	27.117
K-2	27.108	27.103	27.103	27.102	27.101	27.101	27.100	27.099	27.099	27.099
M-1	27.080	27.079	27.078	27.078	27.077	27.086	27.080	27.080	27.079	27.079
M-2	27.090	27.089	27.085	27.085	27.084	27.083	27.082	27.080	27.080	27.080
N-1	27.132	27.127	27.123	27.122	27.122	27.127	27.125	27.125	27.124	27.124
N-2	27.041	27.038	27.037	27.037	27.036	27.034	27.032	27.030	27.029	27.029

에 따른 表面거칠기 變化를 表示한 것이다.

3.3 보올의 直徑에 따른 硬度의 變化

Fig. 9~12는 로울링 回數에 따른 硬度의 變化를 表示한 것이다. 硬度는 1회 로울링時 全體硬度 增加値의 약 70~90%가 이루어지며, 2회 로울링 以後에는 微小量씩 增加하나 試片의 매트릭스(matrix)가 脆弱한 部分에서는 硬度値가 급격히 低下되는 傾向이 있다.

3.4 直徑變化와 表面거칠기에 관한 考察

直徑減少는 前加工의 切削移送과 로울링移送速度에 크게 依存하며, 切削移送速度가 0.3mm/rev.이고, 로울링移送速度가 0.15mm/rev.일 때 1회 로울

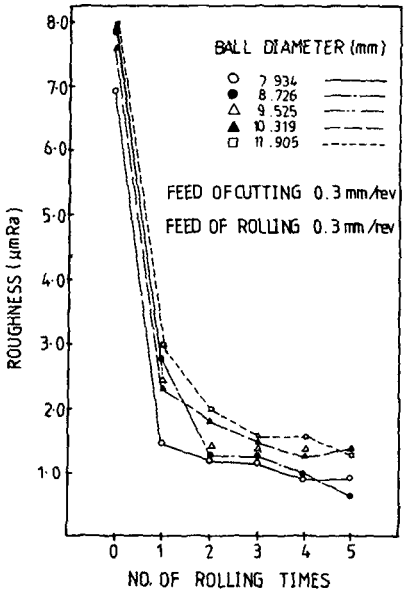

Fig. 5 Surface Roughness variation with ball diameter and rolling times

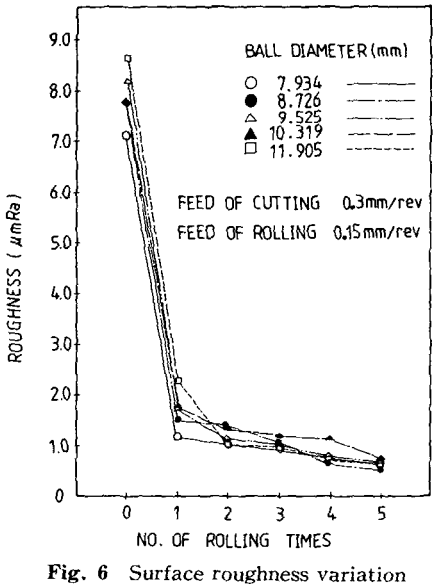

Fig. 6 Surface roughness variation

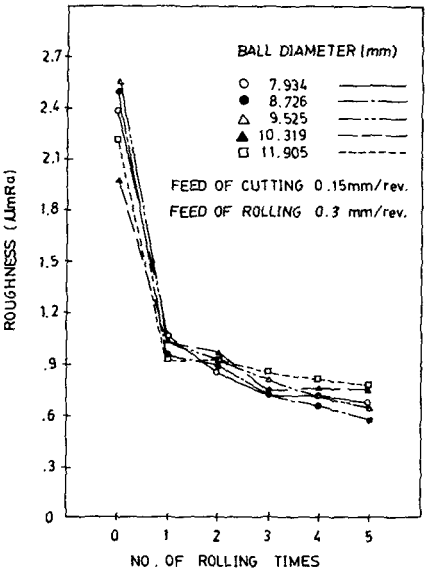

Fig. 7 Surface roughness variation with ball diameter and rolling times

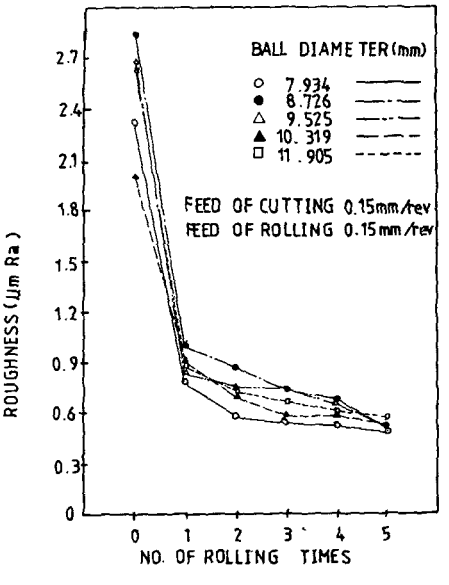

Fig. 8 Surface roughness variation with ball diameter and rolling times

링時 直徑減少量이 가장 크게 나타났으며, 2次 로울링 以後에서는 微小量 增加한다. 切削移送速度가 0.15mm/rev.이고 로울링移送速度가 0.3mm/rev.일 때 1회 로울링 加工時 6μm~11μm *Ra*가 減少하며 全體直徑 減少量의 50~70%가 이루어졌다.

切削移送速度, 로울링移送速度가 0.15mm/rev.일 때 1회 로울링 加工時 13μm~19μm이 減少하며 全體直徑 減少量의 70~90%가 이루어졌다.

Table 7-1, 7-2는 로울링 회수에 따른 直徑減少를 나타낸 것이고 Fig. 13과 Fig. 14는 切削移送速

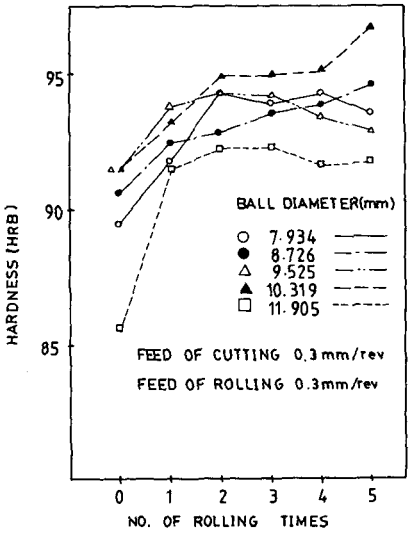

Fig. 9 Hardness variation with ball diameter and rolling times

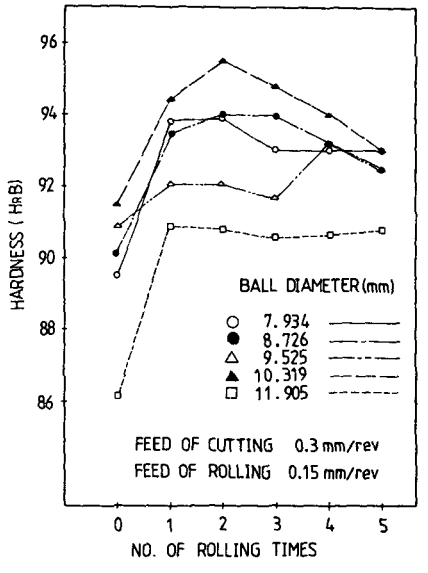

Fig. 10 Hardness variation with ball diameter and rolling times

Table 6-1 Hardness(HR B)

N.R / S.N	A group						B group					
	BR	A.R					BR	A.R				
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
I-1	89.5	91.8	94.3	93.9	94.3	93.6	89.5	93.8	93.9	93	93	93
I-1	92.0	96.6	97.5	98	98	98.4	92.4	98.1	97.8	98.4	95	95
J-1	90.6	92.5	92.9	93.6	93.9	96.6	90.1	93.6	94	94	93.2	92.5
J-2	91.9	94.6	95.6	95.8	95.9	96.6	91.6	95.3	95.4	95.6	95.2	94.3
K-1	91.5	93.8	94.3	94.2	93.5	93	90.9	92.1	92.1	91.7	93.2	92.5
K-2	90.4	92.1	91.4	92.4	93.5	93.6	90.5	93.8	94.6	94.8	91.2	91.8
M-1	91.5	93.5	95	95	95.2	96.8	91.5	94.5	95.5	94.8	94	93
M-2	91.1	93.3	94.8	95.5	95.6	91.5	95.8	95	95.3	94.5	94	
N-1	85.7	91.7	92.3	92.4	91.8	91.9	86.1	90.9	90.8	90.6	90.7	90.8
N-2	88.5	92.8	93.5	94.5	95.3	94.9	87.7	94.6	94.6	94.3	93.7	94.1

B.R : Before rolling
A.R : After rolling
N.R : No. of rolling

度가 0.15mm/rev.이고, 로울링移送速度가 0.3 mm/rev. 0.15mm/rev.일 때 直徑減少와 表面거칠기의 관계를 나타낸 것이다.

4. 結 論

本 實驗硏究에서 結論을 要約하면 다음과 같다.

(1) 表面거칠기는 20kgf의 一定한 加壓下에 實驗에 使用된 5種類의 보올 베아링用 강철보올中 直徑이 8.726mm일 때 가장 良好하였으며, 移送速度條件으로 볼 때

(가) 切削移送速度, 로울링移送速度가 0.3mm/rev.일 때 5회 로울링時 7.85μm *Ra*에서 0.64μm *Ra*로 向上되었으며

(나) 切削移送速度, 0.3mm/rev. 로울링 移送速度 0.15mm/rev.일 때 5회 로울링時 7.84μm *Ra*에서 0.57μm *Ra*로 向上

(다) 切削移送速度 0.15mm/rev. 로울링移送速度 0.3mm/rev.일 때 5회 로울링 時 2.50μm *Ra*에서 0.59μm *Ra*로 向上

Table 7-1 Reduction of diameter according to number of rolling(μm)

N.R / S.N(A)	1st rolling		2nd rolling		3rd rolling		4th rolling		5th rolling	
	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%
I-1	41	85.4	4	8.33	2	4.17	0	0	1	2.08
I-2	11	68.8	2	12.5	1	6.3	1	6.3	1	6.3
J-1	43	79.6	5	9.26	2	3.70	2	3.70	2	3.70
J-2	9	56.3	2	12.5	2	12.5	1	6.30	2	12.5
K-1	46	82.1	5	8.93	3	5.36	0	0	2	3.58
K-2	12	63.2	5	26.3	0	0	1	5.26	1	5.26
M-1	55	94.8	1	1.72	1	1.72	0	0	1	1.72
M-2	8	57.1	1	7.14	4	28.6	0	0	1	1.72
N-1	51	83.6	5	8.20	4	6.56	1	1.64	0	0
N-2	6	54.5	3	27.3	1	9.09	1	9.09	0	0

VAR.: Variation

Table 7-2 Reduction of diameter according to number of rolling(μm)

N.R / S.N(B)	1st rolling		2nd rolling		3rd rolling		4th rolling		5th rolling	
	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%
I-1	47	90.04	3	5.77	1	1.92	0	0	1	1.92
I-2	15	78.9	0	0	1	5.26	1	5.26	2	10.3
J-1	50	83.3	5	8.33	3	5	0	0	2	3.33
J-2	15	75	4	20	1	5	0	0	0	0
K-1	53	91.4	3	5.17	1	1.72	0	0	1	1.72
K-2	19	90.5	1	4.76	1	4.76	0	0	0	0
M-1	49	87.5	6	10.7	0	0	1	1.79	0	0
M-2	15	83.3	1	5.56	2	11.1	0	0	0	0
N-1	56	94.9	2	3.40	0	0	1	1.70	0	0
N-2	13	72.2	2	11.1	2	11.1	1	5.56	0	0

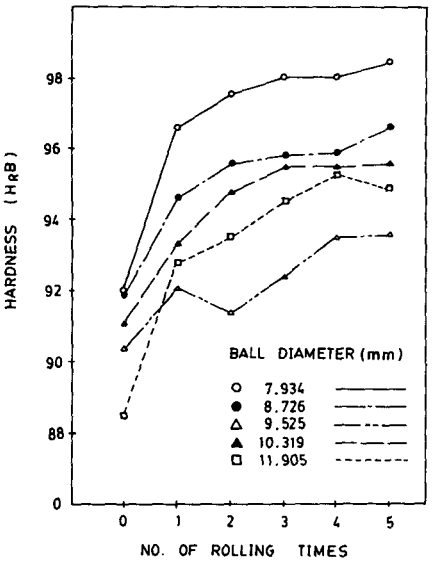

Fig. 11 Hardness variation with ball diameter and rolling times

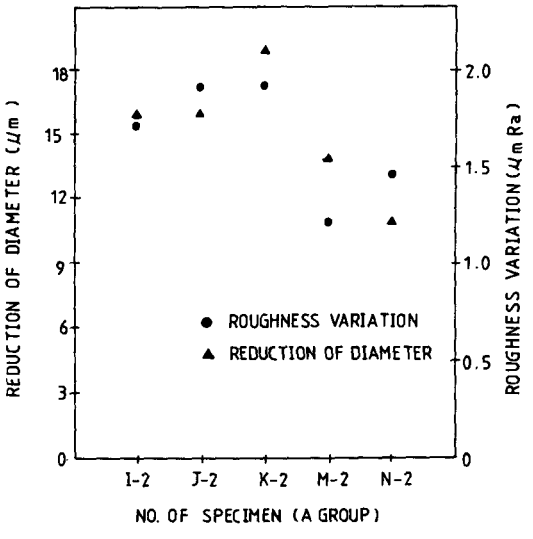

Fig. 13 Relation between reduction of diameter and roughness variation

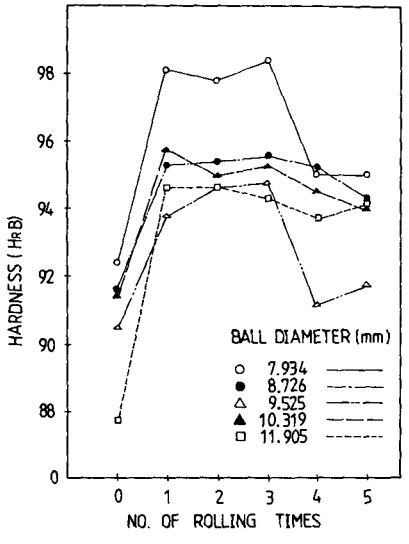

Fig. 12 Hardness variation with ball diameter and rolling times

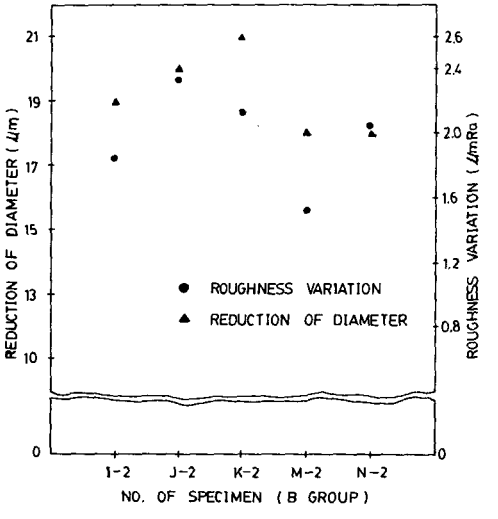

Fig. 14 Relation between reduction of diameter and roughness variation

㈏ 切削移送速度, 로울링移送速度 0.15mm/rev. 일 때 5회 로울링時 2.85μm *Ra*에서 0.50μm *Ra*로 가장 良好하였다.

한편 前加工의 表面거칠기가 좋을수록 그리고 同一한 前加工條件에서는 서어피스 로울링 移送速度가 작을수록 表面거칠기는 向上됨을 알 수 있다.

(2) 硬度의 增加는 보울직경變化와 로울링移送速度에 거의 영향을 받지 않으며 1회 로울링時 全體硬度 增加値의 70~90%가 이루어진다.

(3) 前加工의 表面거칠기가 거칠수록 로울링加工時 直徑減少量은 컸다. 또한 切削移送速度가 0.3 mm/rev. 로울링移送速度가 0.15mm/rev.일 때 直徑減少量은 가장 컸으며 1회 로울링加工時 47μm ~56μm *Ra*이 減少하였고, 全體直徑減少量의

Table 8 Surface roughness variation according to number of rolling

Specimen		1st rolling		2nd rolling		3rd rolling		4th rolling		5th rolling	
		VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%	VAR.	%
I-2	A	1.31	77.1	0.21	12.4	0.13	7.56	0	0	0.05	2.94
	B	1.54	84.2	0.20	10.9	0.03	1.64	0.02	1.09	0.04	2.19
J-2	A	1.55	81.2	0.06	3.14	0.16	8.38	0.06	3.14	0.08	4.19
	B	1.85	78.7	0.12	5.11	0.14	5.96	0.07	2.98	0.17	7.23
K-2	A	1.52	80	0.1	5.26	0.13	6.84	0.08	4.21	0.07	3.68
	B	1.84	85.2	0.11	5.09	−0.01	0	0.08	3.70	0.14	6.48
M-2	A	0.93	76.9	0.07	5.79	0.22	18.2	−0.01	0	0	0
	B	1.09	73.2	0.22	14.8	0.11	7.38	−0.01	0	0.08	5.37
N-2	A	1.27	88.2	−0.01	0	0.09	6.25	0.03	2.08	0.06	4.17
	B	1.75	85	0.15	7.28	0.06	2.91	0.06	2.91	0.04	1.94

Roughness: μm *Ra*
VAR.: Variation

80～95%가 이루어졌다.

참 고 문 헌

(1) Tanaka Yoshinobu, Tuwa Hideo, 1973, "精密工作法, Kyo Ritu Pub, Japan, p. 125.

(2) Tanaka Yoshinobu, Tuwa Hideo, Igawa Naoya, 1982. 精密工作法, Kyo Ritu Pub, Japan, p. 275.

(3) 민경화, 1982 "軟鋼에서의 서어피스 로울링의 加壓力과 표면정밀도와의 관계", 인하대학교 대학원석사학위논문.

(4) 김영중, 1983, "서어피스 로울링에서의 보올의 지름이 表面거칠기에 미치는 영향", 인하대학교 대학원석사학위논문, pp. 9～10.

(5) 陸宏修, 1974, "버어니싱에 의한 구멍內面의 정밀加工에 관한 硏究" 대한기계학회지, 제14권, 제 4 호, pp. 305～313.

(6) 李東周, 1986, "서어피스 로울링에 있어서 表面變化에 관한 硏究" 인하대학교 대학원 박사학위논문.

(7) Suga H. 1950, Machinery 13, 2, p. 126.

(8) ITO S. 1950 Kikai No Kenkyu 2, 9, p. 457.