

## &lt;論 文&gt;

# 摩擦加工된 金屬表面의 磨滅特性에 關한 研究

孫 明 煥\*

(1976年 6月 19日 接受)

## A Study on the Wear Characteristics of Frictional Worked Surface

Myung-Whan Sohn

### Abstract

It was reported in the Journal of KSME Vol. 15, No. 3 and No. 4, 1975 that could be finished the best smooth surface by applying frictional work to the metal surface. Even if we can finish the best smooth surface of metal, it is not available when it has not anti-wear. Present study tried to investigate the anti-wear and the characteristics of frictional worked surface by using the sliding contact between plain bearing of brass and frictional worked journal of mild steel. The results were compared with the case of ground journal.

### 1. 緒 論

從來의 精密加工法인 래핑, 호우닝, 수우퍼피니싱,超音波加工 또는 化學研磨法, 放電加工法, 電子비임加工法 등은 一種의 切削加工法이든가 金屬을 熔解하는 加工法들로서 微視的으로 觀察할 때는 빠어진 오목부나 擦傷들로 構成된 凹凸의 連續임은 周知의 事實이다.<sup>1)</sup> 이와 같은 加工法들과는 달리 摩擦作用을 金屬表面에 適用함으로써 表面거칠기를 高度의 鏡面으로 높일 수 있는 摩擦加工法에 對하여서는 이미 報告한 바 있다.<sup>2)</sup> 두 接觸部材의 表面精密도를 高度로 높인다는 것은 相互 接觸하여 關係運動이 일어날 때, 凸部만이 接觸하여 高壓에 의한 凝着과 摩擦熱에 의한 融着으로 因하여 剪斷作用이 連續的으로 反復되어 磨滅이 促進되는 것을 減少시키고, 圓滑한 運動을 시키고 同時에 壽命을 延長하는데 있다.

포리싱과 같은 極히 적은 힘으로 加壓하는 粒子加工에서 조차 瞬間的인 高温과 金屬流動에 의하여 加工表面에는 加工變質層이 생긴다.<sup>3)</sup> 이것에 比하면 摩擦加

工法은 더 큰 힘을 加하여 摩擦作用에 의한 高熱로 表面層을 軟化하고 金屬을 流動시키므로 더 甚한 加工變質層이 生成될 것으로 思料된다. 加工變質層의 生成構造에 關해서는 明確히 究明되어 있지 않으나, 無定形非結晶狀態든가 過度하게 結晶이 微細化하여 結晶을 分別할 수 없는 層으로 이루어져 있든가이다.<sup>4)</sup> 加工變質層의 機械的性質로서는 母材보다 脆弱하고 疲勞強度가 낮으며<sup>5)</sup>, 硬度는 母材보다 높고<sup>6)</sup> 表面에는 引張殘留應력이, 內部에 壓縮殘留應력이 殘留하고 있으며<sup>6)</sup>, 筆者가 摩擦加工한 變質層에 對하여 硬度和 殘留應력을 測定한 結果와 一致하고 있다.<sup>7)</sup>

摩擦加工에 의하여 아무리 精密도가 높은 表面으로 加工할 수 있다 하더라도 이 表面이 相互 接觸하여 關係미끄럼 運動을 했을 때, 加工變質層이 母材와 다른 機械的性質을 가지고 있으므로 因하여 耐磨滅性이 弱하다고 하면 實用化의 價値를 喪失하게 된다. 따라서 本研究에서는 摩擦加工한 軟鋼軸의 저어닐이 黃銅의 미끄럼베어링과 相互接觸하여 潤滑下에서 一定荷重을 加하여 미끄럼運動을 시켰을 때의 磨滅特性和 研削加工한 軸의 磨滅特性和을 比較研究하고 그 磨滅特

\* 正會員, 高麗大學校 理工大學

性を 究明하였다.

2. 試驗材料 및 試驗裝置

軸材料는 軟鋼을 使用하였으며 化學成分 및 機械의 性質은 Table 1과 같고, 미끄름베어링材料는 黃銅을 使用하였으며 化學成分 및 硬度는 Table 2와 같다.

軸은 外徑 50mm의 丸棒을 45 mm 되게 旋削하고 中央部分을  $\phi 40 \times 180$ 되게 빅 저어널로 成形하여 推力을받지 않도록 加工하고 研削하여 表面거칠기가 大略 비슷하게 研削軸으로 하였다. 이 軸들中에서 半數는 다시 저어널部分을 磨擦加工하여 磨擦加工軸으로 하였다. Fig. 1은 試驗裝置의 略圖를 圖示한 것이며, ①은 試驗軸, ②는 미끄름베어링, ③은 축, ④는 電動機, ⑤는 積算回轉計, ⑥은 潤滑油 注入컵, ⑦은 排出潤滑

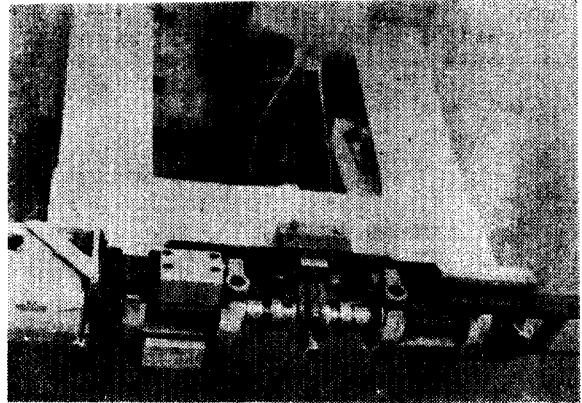


Fig. 2. Photograph of testing view.

油 回收用 비커, ⑧은 加重用 重錘이다. 電動機回轉數는 3,400 rpm 이며, 重錘의 重量은 總合 100 kg 이다. 저어널 兩쪽에는 #6305의 보울베어링을 設置하고 비임에 의하여 100 kg의 荷重을 兩쪽에서 均等하게 加重하도록 하였다. Fig. 2는 實際의 試驗裝置의 光景이다.

Table. 1. Chemical Compositions and Mechanical Properties of Journal

Chemical Composition					Tensile Strength	Elongation %	Hardness Hs
C	Si	Mn	P	S	kg/mm <sup>2</sup>	%	
0.31	0.12	0.52	0.028	0.021	48	33.14	21

Table. 2. Chemical Composition and Hardness of Sliding Bearing

Zn	Sn	Pb	Fe	Cu	Hardness Hs
30.3	1.12	1.85	0.13	Remainder	16

3. 試驗 및 그 結果

試驗裝置는 되도록 實際의 傳動軸과 같은 狀態가 되도록 設計하였다. 즉 베어링의 幅  $l$ 과 저어널의 直徑  $d$ 와의 比는 2가 되게  $l=80$  mm,  $d=40$  mm 로 하였으며 베어링壓力  $p=3.1$  kg/cm<sup>2</sup>, 저어널表面의 圓周速度  $v=7.1$  m/sec 로서  $pv=22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ 이다. 一般傳動軸에 있어서의 最大許容壓力速度係數  $20 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  보다는 약간 높으나, 베어링材料가 黃銅이고 軸材料가 鋼의 경우 許容受壓力이 50 kg/cm<sup>2</sup>을 감안하고 靜荷重이므로  $pv=22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ 를 그대로 試驗하였다. 試驗은 流體潤滑下에서 施行하였다. 潤滑油는 油公製品인 Gulfube H. D. 30 高負荷潤滑油를 使用하였으며, 注油法은 기름 컵으로부터 自然注油되도록 하였다.

試驗軸은 研削軸과 磨擦加工軸의 2群으로 나누어서 試驗하였다. Table 3은 研削軸과 미끄름베어링의 試驗前後에 있어서의 表面거칠기이고, Table 4는 磨擦加工軸과 미끄름베어링의 試驗前後에 있어서의 表面거칠기이다. 特히 베어링은 全表面이 되도록 均一하게 接觸할 수 있도록 스크레이핑으로 現物맞춤加工을 하였다. Table 3과 4에서 보는 바와 같이 試驗前의 研削軸의 平均表面거칠기는  $0.33 \mu\text{CLA}$  이고 磨擦加工軸은  $0.11 \mu\text{CLA}$  로서 前者는 後者에 比하여 約 3倍의 表面거칠기이다. 베어링은 各各  $0.725 \mu\text{CLA}$ ,  $0.556 \mu\text{CLA}$  로서 같

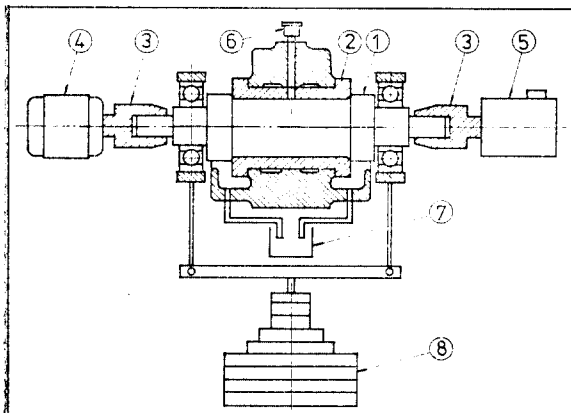


Fig 1. Schematic view of testing apparatus

**Table 3.** Surface Roughness before and after Testing of Ground Journal. unit:  $\mu$ CLA

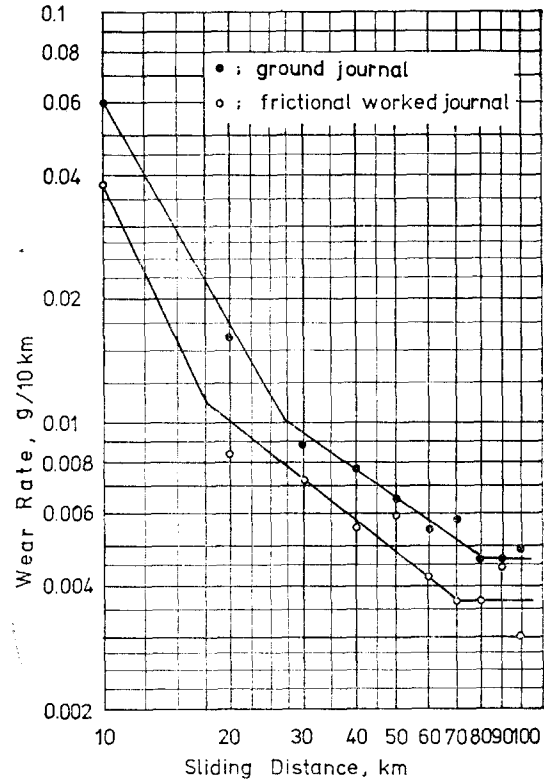
Test Order No.	Surface Roughness of Journal		Surface Roughness of Bearing	
	Before Testing	After Testing	Before Testing	After Testing
1	0.300	0.600	0.65	1.50
2	0.300	1.000	0.80	1.40
3	0.375	0.600	0.70	1.00
4	0.320	0.775	0.75	1.55
Mean	0.330	0.744	0.725	1.36

**Table 4.** Surface Roughness before and after Testing of Frictional Worked Journal unit:  $\mu$  CLA

Test Order No.	Surface Roughness of Bearing		Surface Roughness of Bearing	
	Before Testing	After Testing	Before Testing	After Testing
1	0.125	0.4	0.400	1.0
2	0.150	0.3	0.675	1.0
3	0.100	0.4	1.300	1.2
4	0.055	0.7	0.850	1.2
Mean	0.110	0.45	0.556	1.1

은 表面거칠기로 하는 것이 原則이나, 加工上 不得已 前者가 약간 거칠기는 하나 大差는 없다. 저어널과 베어링의 直徑의 差는 0.05~0.08mm 이며 試驗時의 室溫은 7°C~10°C에서 實施하였다.

磨減量은 미끄름距離 10 km 마다 測定하였다. 10 km



**Fig. 3.** Variation of mean wear rate versus sliding distance.

走行하는 동안에 注入된 潤滑油의 量은 경우에 따라 多少差가 있으며, 最下 40 cc에서 最高 90 cc까지 注入되었으나 自然給油法을 適用하였으므로 人爲的으로 調整할수 없었으며 60 cc 정도의 注入量이 가장 많았다. 미끄름距離 10 km는 積算回轉計로 約 8萬回轉을 量았으며, 100 kg의 全荷重이 加해져서부터의 回轉數로 하였다. 10 km의 走行距離에 대한 試驗이 끝날때 마다 저어널과 베어링 사이에 있는 潤滑油를 揮發油로 洗滌하여 試驗中에 流出된 潤滑油도 함께 揮發油로 溶解하고

**Table 5.** Wear Rate of Ground Journal and Bearing

Sliding Distance, km		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Wear Rate, g/10km	1	0.0825	0.014	0.0093	0.0062	0.0037	0.0042	0.0034	0.0036	0.0025	0.0030
	2	0.0658	0.0117	0.0168	0.0093	0.0084	0.0045	0.0071	0.0033	0.0071	0.0068
	3	0.0627	0.0067	0.0030	0.0060	0.0080	0.0049	0.0077	0.0052	0.0031	0.0034
	3	0.0304	0.0321	0.0063	0.0092	0.0058	0.0085	0.0050	0.0063	0.0057	0.0066
Mean		0.06035	0.0165	0.00885	0.0077	0.0065	0.00553	0.0058	0.0046	0.0046	0.0049

Table 6. Wear Rate of Frictional Worked Journal and Bearing

Sliding Distance, km		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Wear Rate, g/10km	1	0.0474	0.0096	0.0085	0.0071	0.0099	0.0030	0.0021	0.0012	0.0013	0.0010
	2	0.0355	0.0077	0.0053	0.0030	0.0047	0.0052	0.0040	0.0037	0.0040	0.0036
	3	0.0389	0.0111	0.0114	0.0056	0.0020	0.0032	0.0041	0.0023	0.0031	0.0039
	4	0.0318	0.0052	0.0036	0.0061	0.0070	0.0052	0.0053	0.0074	0.0097	0.0034
Mean		0.0384	0.0084	0.0072	0.00545	0.0059	0.00415	0.00365	0.00366	0.0045	0.0030

Table 7. Wear Percentage of Ground Journal versus Sliding Distance

Sliding Distance, Km		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Wear Percentage of Ground Journal, %	1	3.75	7.56	5.82	4.30	4.75	3.96	7.50	5.61	6.92	8.02
	2	29.13	49.60	48.40	48.70	29.70	95.50	15.70	49.50	53.00	41.00
	3	20.55	36.23	34.41	14.88	17.09	20.49	13.98	12.45	13.86	14.28
	4	42.20	31.30	13.60	18.80	13.10	13.50	49.50	4.12	10.67	6.81
Mean		23.92	31.20	25.56	21.67	16.16	33.36	21.67	17.92	21.11	17.53

Table 8. Wear Percentage of Frictional Worked Journal versus Sliding Distance

Sliding Distance, km		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Wear Percentage of Frictional Worked Journal, %	1	58.00	62.20	70.40	75.40	86.40	89.70	92.20	95.20	97.00	88.20
	2	88.00	31.40	25.30	15.70	52.60	64.50	85.70	89.40	95.70	92.40
	3	24.67	36.70	25.03	25.81	41.57	17.78	34.02	18.20	50.04	57.08
	4	28.43	41.31	35.80	34.30	21.40	18.60	8.12	7.24	21.04	28.39
Mean		49.80	42.90	39.14	37.80	50.54	47.90	55.00	52.51	65.95	66.52

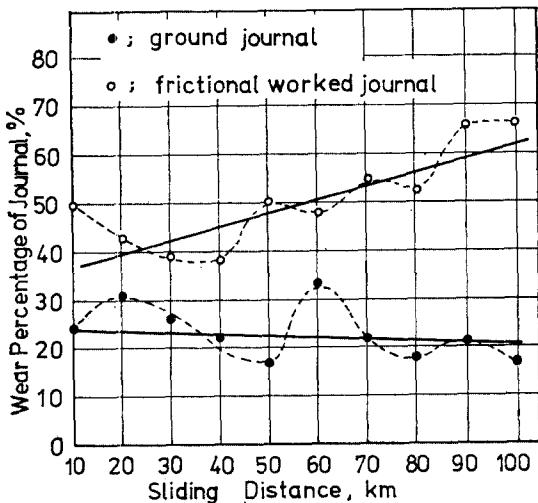


Fig. 4. Wear percentage of Ground Journal versus Sliding Distance.

磨滅粒子를 沈澱시킨 後 潤滑油를 溶解한 揮發油만을 버렸다. 이와 같은 操作을 3~4回 反復한 後 乾燥器 (40°C)에서 油分을 完全히 蒸發 乾燥시킨 後에 磨滅粒子만의 重量을 測定하였다. Table 5는 研削軸의 10 km 미끄럼距離 마다의 磨滅量 즉 磨滅率이며 Table 6은 磨擦加工軸에 대한 磨滅率이다. Table 5와 6에서 보는 바와 같이 各各을 4회씩 試驗하여 그 平均磨滅率을 求하였으며 이것을 線圖로 表示한 것이 Fig. 3이다.

Table 5와 6의 磨滅率은 저어널과 베어링 兩者를 合한 것이다. 10 km 當의 磨滅量에서 저어널의 磨滅量을 比色法에 의하여 分析하고 重量百分率로 求한 값이 研削저어널에 대해서는 Table 7, 磨擦加工저어널에 대해서는 Table 8과 같다. Table 7과 8의 平均百分率을 線圖로 表示하면 Fig. 4와 같다.

#### 4. 試驗結果에 對한 考察

##### 4.1 磨減率에 對한 考察

Fig. 3에서 보는 바와 같이 미끄름距離 70~80 km 를 境界로 하여 그 以後는 磨減率이 一定하다. 磨減率이 一定해지는 以前期間의 磨減을 初期磨減, 以後의 것을 正常磨減이라고 하며, 이와 같은 現象은 摩擦面에 있어서 金屬의 相互移着과 保護被服에 緣由하며 미끄름速度가 빠를수록 初期磨減의 期間이 길어진다는 것은 알려져 있는 事實이다.<sup>9)</sup> 그러나 Fig. 3에서는 初期磨減期間이 2期로 나누어지고 있음을 나타내고 있다. 즉 研削저어널에서는 27.5 km 까지의 第1期과 27.5~80 km 까지의 第2期, 摩擦加工저어널에서는 17.5 km 까지의 第1期과 17.5~70 km 까지의 第2期이다. 摩擦磨減過程에 있어서는 材料表面에서 摩擦에 의하여 생기는 激烈한 塑性流動과 摩擦熱에 의한 急激한 溫度上昇등으로 因하여 靜的過程과는 달리 轉位運動에 의한 溶質原子의 移動 및 結晶構造의 變化와 新化合物이 生成되는 것을 認定하고 있다.<sup>10, 11)</sup> Fig. 3의 初期磨減의 第1期에서의 初期의 轉位運動에 의한 溶質原子의 移動이나 結晶構造의 變化 및 新化合物의 生成이 이루어지지 않고 單純히 接觸面 相互間의 金屬移着에 의한 激烈磨減期間이라고 생각되고, 第2期에서는 溶質原子의 移動, 結晶構造의 變化 및 新化合物의 生成이 進行되는 生成期間이라고 思料되며, 正常磨減期에 이르러서 新化合物이나 移動原子에 의하여 表面에 保護被膜이 被服되어 磨減量이 減少되고 一定해지는 溫和磨減이 되는 것으로 分析된다. 實際 試驗에서도 저어널면에 베어링材料가 移着하여 被膜이 構成되어 있는 것을 肉眼으로도 觀察할 수 있으며 保護被膜作用을 하고 있는 것으로 생각된다. 다만 流體潤滑下이므로 進行速度가 極히 느리다.

##### 4.2 加工變質層이 磨減率에 미치는 영향에 대한 考察

Fig. 4에서 보는 바와 같이 研削加工된 저어널의 全磨減量에 對한 平均百分率은 24% 정도로서 미끄름距離의 增加에 따라 減少하는 傾向이 있으나, 摩擦加工저어널의 平均百分率은 40% 정도에서 미끄름距離의 增加에 따라 增加하는 傾向이 있으며 增加傾向은 研削저어널의 減少傾向보다 더 甚하다. 摩擦面은 摩擦速度가 增加하던 局部的으로 마르텐사이트組織이 나타나며<sup>10)</sup>, 摩擦加工面의 硬度는 높으므로<sup>9)</sup> Levy 등에 의하여<sup>11)</sup> 彈性係數 E와 硬度 H 일 때 磨減量은  $(E/H)^2$ 에 比例하여야 할

것이나, 저어널面은 加壓과 高熱 및 急冷에 의하여 表面層에는 引張殘留應力이 있으며<sup>12)</sup> 摩擦에 의한 塑性流動에서는 垂直應力뿐 아니라 剪斷應力이 큰 役割을 한다는 事實을<sup>12)</sup> 생각할 때 이미 殘留應力 때문에 剪斷抵抗力이 弱화되어 있고 또 加工變質層은 脆弱하고 疲勞強度가 낮으므로 研削저어널보다 抵抗力이 弱하고 磨減되기 쉬운 것으로 解析된다. 따라서 研削저어널과 베어링의 磨減比率이 1:3~1:4 정도인데 比하여 摩擦加工저어널에서는 2:3~3:2 정도로서 摩擦加工저어널이 더 많이 磨減되고 있다. 그러나 Fig. 3에서 보는 바와 같이 저어널과 베어링의 總磨減量은 摩擦加工저어널의 경우가 적다.

#### 5. 結 論

以上과 같은 試驗과 考察을 綜合하면 아래와 같다.

- (1) 같은 驅動條件에서는 摩擦加工저어널과 베어링과의 磨減量의 合이 研削저어널의 그것보다 적으며 精密度가 維持되고 더 壽命이 길다.
- (2) 初期磨減은 第1期과 第2期로 構成되며, 第1期에서 第2期로의 轉換 및 初期磨減에서 正常磨減로의 轉換이 摩擦加工저어널쪽이 빠르다. 즉 더 빨리 安定化한다.
- (3) 摩擦加工저어널은 甚한 加工變質層으로 因하여 베어링에 대한 磨減의 比率은 研削저어널의 그것보다 크며, 따라서 많이 磨減된다. 또한 摩擦加工저어널은 미끄름距離의 增加에 따라 磨減量이 增加하는 傾向이 있으나, 研削저어널은 反對이다.
- (4) 表面거칠기가 좋은 摩擦加工저어널과 베어링이 같은 距離를 運動한 後에도 表面거칠기가 더 좋다.

#### 後 記

本研究을 遂行함에 있어서 研究費를 支援해주신 産學協同財團에 對하여 깊이 感謝하는 바이다.

#### 參 考 文 獻

- 1) F. P. Bowden, D. Tabor, *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford Uni. Press, Oxford 1954, p. 10
- 2) 孫明煥, 大韓機械學會誌, 第15卷, 第3號, 1975. p. 75
- 3) F. P. Bowden, D. Tabor, *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford Uni. Press, 19

- 54, p.33-57
- 4) 松永, 機械の研究, 第22卷, 第1 및 2號, 1970
  - 5) 水谷, 中島, 機械の研究, 第24卷, 第7號, 1972. p. 929
  - 6) 藤原, 機械の研究, 第24卷, 第9號, 1972, p. 1161
  - 7) 孫明煥, 高大生技研 研究報告, 第3卷, 第1號, 1972. p. 1~p. 14
  - 8) 日本機械學會, 機械工學便覽, 改訂5版, p. 7-59, 1968
  - 9) 笹田, 大村, 潤滑, 第15卷, 1970, p. 758
  - 10) K. Nakajima, Y Mizutani, Wear, 13~4/5, 1969. p. 283
  - 11) G. Levy, R. G. Linford, L. A. Mitchell, Wear, Vol. 21, 1972, p. 167.
  - 12) R. D. Arnell, A. P. Herod, D. G. Teer, Wear, Vol. 31, 1975, p. 237.
-