알루미나이징鋼의 磨耗特性에 關한 硏究〔Ⅰ〕

—rolling-sliding 摩擦의 初期磨耗領域을 中心으로—

李 圭 用*

A Study on the Wear Characteristics of Aluminizing Steel〔Ⅰ〕

—Wear in run-in Period on Rolling-sliding Contact—

Kyu Yong LEE*

Abstract

It is well known that the aluminizing steel is excellent in corrosion resistance and heat resistance. Therefore it has been used as boiler parts, heat exchanger parts and guide rails which are used under comparatively simple conditions. Recently, it has been noticed that aluminizing steel has high resistance to various atmosphere, high temperature oxidation and seawater resistance. So its usage has been extended widely to the production of parts such as intake and exhaust valve of internal combustion engine, turbine blade and pipelines on ships which required such properties.

It is considered that aluminium coated steel is excellent in wear resistance because of high hardness on main ingredient Fe_2Al_5 of Fe-Al alloy layer existed in diffusion coating layer. And it will be-used as a new material taking wear resitance with seawater resistance in marine field.

However it is difficult to findout any report concering the wear behaviors or properties of alumin izing steel.

In this study the experiment was carried out under the condition of rolling-sliding contact using an Amsler-type wear testing machine at 0.80, 0.91, 1.10, 1.25% of slip ratio and 55.43, 78.38, 110.85 kg/mm² of Hertz's contact stress in run-in period for the purpose of service-ability test of aluminizing steel as a wear resisting material and obtaining the available design data.

The followings are the obtained results from the experimental study;

1) The 2nd diffusion material has most excellent wear resistance. This material has brought out about 18% decrease of wear weight in a lower friction load level and 40% decrease in a higher level comparing to the raw material.

2) Satisfactory effect of wear resistivity cannot be much expected in 2nd diffusion specimens.

This is considered due to the formation of fine void in the alloy layer near the boundary to the aluminium layer.

3) Fracture on friction surface of aluminizing steel by the rolling-sliding contact is spalling, and spalling crack occurres initially beneath the specimen surface near the boundary in diffusion coating layer.

*釜山水産大學, National Fisheries University of Busan.

緒 論

鋼의 表面에 알루미늄을 擴散被覆시킨 알루미나이징鋼은 1946年 美國의 Armco Steel社에 依하여 耐熱用과 耐蝕用의 目的으로 實用化된 以來 最近 各方面에서의 높은 關心으로 生産量이 크게 增加하고 있어 利用分野가 새롭게 開拓되고 있다.

알루미나이징鋼은 耐酸化性, 耐蝕性 및 耐黃化性等의 卓越한 特性이 있어 스테인레스鋼에 代替使用되고 있으며 耐海水性, 耐工業用水性 및 耐高溫酸化性을 活用하여 船舶用의 配管, 熱交換器의 部品 및 內燃機關用 吸排氣弁에 이르기까지 使用範圍가 擴大되고 있어 海水에 對한 耐蝕性이 必須條件인 漁業機器等의 水産方面에도 強度와 耐蝕性을 同時에 갖춘 새로운 材料로서 利用分野가 開拓될 것이다.

一般的으로 알루미나이징鋼은 알루미늄 被覆을 위한 浸積時 擴散被覆層에 生成되는 Fe-Al合金層의 主成分인 Fe_2Al_5(Al濃度 約 55%, 溶融點 約 1170 °C)의 高硬度化(H_V=1000~1200)로 耐磨耗性이 優秀한 것으로 알려져 있으나 磨耗特性에 關한 文獻은 아직 發見하지 못하였다.

筆者는 前報에서 알루미나이징 表面處理한 構造用鋼에 對하여 平面굽힘疲勞試驗을 하고 疲勞強度와 疲勞破壞擧動을 報告하였다.

本報에서는 알루미나이징鋼의 磨耗特性에 關한 第1報로서 rolling-sliding磨耗試驗을 하여 初期磨耗領域을 中心으로 한 Fe-Al合金層의 耐磨耗性을 素材鋼과 比較考察하고 高價의 合金鋼에 代替할 수 있는 耐磨耗鋼으로서의 實用化 可能性을 檢討하여 設計資料에 寄與코자 한다.

實驗方法

1. 試驗條件의 選定

磨耗試驗을 實行함에 있어서 機械要素의 實摩擦現象을 試驗片의 接觸條件에 再現시켜 實際의 磨耗를 測定할 수 있는 實用的인 試驗方法이 重要한 일이다.

本實驗에 있어서 海水 gear pump의 齒車, cam 및 bearing等과 같은 機械要素가 slip을 同伴하는 rolling contact인 點을 考慮하여 強制 rolling-sliding 磨耗試驗을 하였다.

알루미나이징鋼과 2次擴散材의 耐磨耗性을 素材鋼과 比較하기 위하여 豫備實驗에서 素材鋼에 初期磨耗領域이 나타나고 있음을 確認하고 가장 낮은 荷重과 slip ratio에 대한 이 領域內에서의 累積反覆回轉數 5×10^5 rev.까지를 選定하고 이를 全實驗에 適用하였다.

磨耗量의 摩擦速度 및 荷重依存性을 觀察하기 위하여 高速側 試驗片의 回轉數를 1690*rpm*으로 固定시키고 change gear의 交換에 依해 低速側試驗片과의 사이에는 $e=\frac{n_d-n_f}{n_d}\times100\%$($n_d$와 n_f는 各各 高速側과 低速側에 대한 回轉數)의 式으로 算出되는 1.25, 1.10, 0.91 및 0.80%의 slip ratio를 주었으며 摩擦力의 變化는 荷重裝置를 調節하여 50*kg*, 100 *kg*, 200*kg*의 垂直荷重을 作用시켰다.

알루미나이징鋼과 2次擴散材 試驗片의 表面에 被覆된 알루미늄은 合金層의 磨耗에 比하여 無意味하므로 機械加工으로 除去하였으나 表面의 損傷때문에 完全히 除去하지 않았다.

2. 試 驗 片

本實驗에 使用한 磨耗試驗片의 素材는 SB41 熱間壓延 構造用鋼으로 化學的成分과 機械的 性質은 各各 Table 1 및 Table 2와 같고 Fig. 1의 形狀과 치수로 機械加工 및 硏削하여 精密加工 하였다.

Table. 1 Chemical composition(%) of SB41

C	Si	Mn	P	S
0.13	0.15	0.39	0.05	0.05

Table. 2. Mechanical properties

properties / specimens	tensile strength (kg/mm^2)	yield point strength (kg/mm^2)	elongation (%)	Vickers hardness (load 50*g*)
raw material	40.75	29.07	40.50	221
heat treat ed	44.55	31.25	39.60	232
aluminizing	39.15	28.05	41.10	1100
2nd diffusion	41.30	31.07	39.10	1214

raw material specimen(處女材)은 熱處理等을 加하지 않은 素材試驗片을 뜻하며 heat treated specimen(熱處理材)은 素材를 알루미나이징의 熱的條件으로 加熱하고 空冷하였다. aluminizing specimen(알루미나이징鋼材)은 素材鋼에 알루미늄을 擴散被覆한 것이며, 2nd diffusion specimen(2次擴散材)은 알루미나이징鋼材를 比較的 低溫度에서 長時間 加熱하여도 Fe-Al 合金層 中에 空孔(void)이 生成되지 않는 範圍인 680°C에서 2時間 維持시켜 2次擴散시키고 空冷하였다.

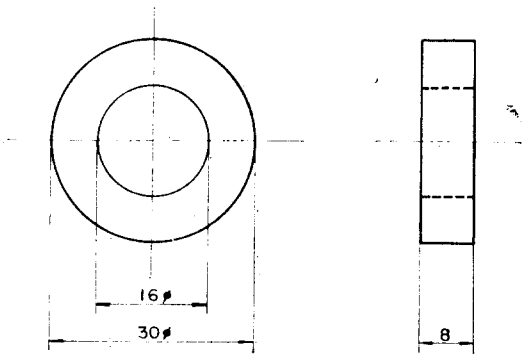


Fig. 1. Shape and dimension of wear test specimen.

3. 알루미나이징

本實驗의 알루미나이징鋼材와 2次擴散材의 알루미나이징 表面處理는 다음과 같다.

前處理로서 機械加工이 完了된 處女材試驗片을 20%의 NaOH 溶液槽에서 脫脂한 다음 水洗하고 이를 묽은 鹽酸으로 酸洗 및 水洗하여 試料面의 酸化物等 不純物을 除去한 直後 알루미늄溶液에 浸積시킬때 試料面의 高溫酸化防止를 위하여 組成이 簡單하고 効果가 優秀한 鹽化亞鉛 암모니움($ZnCl_2$:NH_4Cl=87:13 wt%)의 80°C 飽和水溶液 flux로 被覆하였다.

前處理한 試驗片을 680° C의 純알루미늄浴槽 속에서 6分間 浸積시켜 擴散被覆 하였으며 出浴直後 振動法으로 試料面에 過剩付着된 알루미늄을 除去하고 空冷 및 水洗하였다.

4. 磨耗試驗方法

前述의 試驗條件으로 Shimadzu 社製의 Amsler type, rolling-sliding 磨耗試驗機(最大荷重300kg)를 使用하여 高速側 試驗片의 回轉數와 周速度는 各各 1690rpm, 26.53m/sec로 固定하고 1.25, 1.10, 0.91 및 0.80%의 slip ratio를 주어 試驗하였으며 이때 低速側의 高速側에 대한 相對速度는 各各 0.33, 0.29, 0.24 및 0.21m/sec이었다.

垂直荷重 P의 接觸荷重을 받아 微小矩形 接觸面을 갖는 한쌍의 圓筒試驗片에 대한 最大接觸應力(以下 最高 Hertz 應力이라 한다)은 接觸點을 中心으로 하여 長徑 $2b$의 半楕圓型으로 分布한다. 이의 應力解析은 鋼球의 接觸에 對한 Hertz의 彈性理論을 擴張한 H. Porisky에 依하여 다음과 같이 誘導된다.

$$p_{max}=\frac{2P}{\pi bl} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$b=\sqrt{\frac{4P(k_1+k_2)R_1R_2}{(R_1+R_2)l}} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$k_1=\frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1},\quad k_2=\frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2}$$

단 p_{max} : 最高 Hertz 應力
P : 垂直荷重
$2b$: 接觸幅
R_1, R_2 : 試驗片의 半徑
ν_1, ν_2 : Poisson's ratio.
E_1, E_2 : Young's modulas.

Bidwell等은 (1)式의 最高 Hertz 應力으로 因한 最大剪斷應力이 試驗片 表面에서 0.78b인 곳에 0.34 p_{max}의 크기로 發生함을 報告하였다.

磨耗試驗中 一定한 累積回轉數마다의 磨耗量은 10^5 rev.의 間隔으로 化學天秤을 使用하여 測定하였고 合金層의 두께, 硬度測定 및 組織判別等에는 micro Vickers 硬度計를 使用하였다.

實驗結果

1. 磨耗試驗結果

處女材, 熱處理材, 알루미나이징鋼材 및 2次擴散材에 對하여 (1)式으로 算出된 最高 Hertz 應力을 55.43, 78.38 및 110.85kg/mm^2로 作用시키고 1.25, 1.10, 0.91 및 0.80%의 4段階 slip ratio를 주어 強制 rolling-sliding 磨耗試驗을 하였다. 各試驗片別로 摩擦負荷와 累積回轉數에 대한 磨耗量을 測定한 結果는 Table 3, 4, 5 및 6과 같다.

Table. 3. Wear test data on raw material specimens.

Hertz's stress $p_{max}(kg/mm^2)$	slip ratio $e(\%)$	No. of total revolution($\times 10^5$ rev.)				
		1	2	3	4	5
		weight of wear(g)				
55.43	1.25	0.0028	0.0054	0.0082	0.0109	0.0136
	1.10	0.0025	0.0050	0.0075	0.0100	0.0125
	0.91	0.0022	0.0044	0.0066	0.0088	0.0110
	0.80	0.0020	0.0040	0.0059	0.0080	0.0100
78.38	1.25	0.0033	0.0064	0.0093	0.0125	0.0156
	1.10	0.0028	0.0055	0.0086	0.0113	0.0142
	0.91	0.0024	0.0048	0.0072	0.0097	0.0119
	0.80	0.0020	0.0041	0.0063	0.0085	0.0106
110.85	1.25	0.0050	0.0095	0.0142	0.0187	0.0231
	1.10	0.0044	0.0086	0.0131	0.0175	0.0217
	0.91	0.0039	0.0078	0.0117	0.0155	0.0194
	0.80	0.0033	0.0070	0.0107	0.0143	0.0182

Table. 4. Wear test data on heat treated meterial specimens.

Hertz's stress $p_{max}(kg/mm^2)$	slip ratio $e(\%)$	No. of total revolusion($\times 10^5$ rev.)				
		1	2	3	4	5
		weight of wear(g)				
55.43	1.25	0.0025	0.0048	0.0073	0.0097	0.0122
	1.10	0.0023	0.0046	0.0068	0.0091	0.0113
	0.91	0.0021	0.0041	0.0062	0.0082	0.0103
	0.80	0.0019	0.0038	0.0057	0.0076	0.0095
78.38	1.25	0.0030	0.0056	0.0083	0.0109	0.0137
	1.10	0.0027	0.0050	0.0074	0.0099	0.0123
	0.91	0.0022	0.0043	0.0064	0.0085	0.0107
	0.80	0.0018	0.0037	0.0056	0.0076	0.0096
110.85	1.25	0.0043	0.0085	0.0125	0.0165	0.0203
	1.10	0.0038	0.0075	0.0113	0.0149	0.0187
	0.91	0.0032	0.0064	0.0097	0.0130	0.0152
	0.80	0.0027	0.0053	0.0086	0.0116	0.0148

Table. 5. Wear test data on aluminizing material specimens.

Hertz's stress $p_{max}(kg/mm^2)$	slip ratio $e(\%)$	No. of total revolution($\times 10^5$ rev.) 1	2	3	4	5
		weight of wear(g)				
55.43	1.25	0.0021	0.0044	0.0066	0.0088	0.0115
	1.10	0.0020	0.0041	0.0060	0.0081	0.0105
	0.91	0.0018	0.0026	0.0054	0.0072	0.0093
	0.80	0.0016	0.0023	0.0049	0.0066	0.0084
78.38	1.25	0.0026	0.0051	0.0080	0.0100	0.0139
	1.10	0.0023	0.0045	0.0072	0.0090	0.0126
	0.91	0.0019	0.0039	0.0062	0.0079	0.0110
	0.80	0.0016	0.0034	0.0056	0.0071	0.0097
110.85	1.25	0.0035	0.0069	0.0100	0.0131	0.0177
	1.10	0.0030	0.0059	0.0091	0.0121	0.0160
	0.91	0.0025	0.0051	0.0077	0.0104	0.0139
	0.80	0.0020	0.0045	0.0070	0.0094	0.0125

Table. 6. Wear test data on 2nd diffusion material specimens.

Hert's stress $p_{max}(kg/mm^2)$	slip ratio $e(\%)$	No. of total revolution($\times 10^5$ rev.) 1	2	3	4	5
		weight of wear(g)				
55.43	1.25	0.0021	0.0041	0.0062	0.0081	0.0103
	1.10	0.0018	0.0037	0.0055	0.0074	0.0095
	0.91	0.0015	0.0026	0.0047	0.0064	0.0080
	0.80	0.0014	0.0022	0.0051	0.0058	0.0073
78.38	1.25	0.0025	0.0049	0.0074	0.0099	0.0124
	1.10	0.0021	0.0044	0.0065	0.0088	0.0110
	0.91	0.0017	0.0035	0.0054	0.0072	0.0093
	0.80	0.0013	0.0029	0.0046	0.0062	0.0079
110.85	1.25	0.0031	0.0063	0.0093	0.0119	0.0148
	1.10	0.0027	0.0054	0.0081	0.0107	0.0134
	0.91	0.0022	0.0045	0.0068	0.0090	0.0114
	0.80	0.0019	0.0040	0.0061	0.0081	0.0102

2. 擴散被覆層의 組織과 硬度分布

알루미나이징鋼에 대한 擴散被覆層의 斷面組織을 Fig. 2에 表示하였다.

炭素鋼의 Fe 固溶体內 溶媒原子에 對하여 알루미늄溶質原子의 自己擴散으로 生成된 알루미나이징鋼의 擴散被覆層은 外側의 純알루미늄層(*A*部)과 이로부터 舌狀組織 境界(*C*部)까지의 Fe-Al 合金層 및 素地鋼(*F* 部)으로 形成되며 合金層의 두께는 擴散溫度와 時間에 比例한다.

알루미나이징鋼이 높은 耐磨耗性을 지니는 主原因이 되는 合金層은 알루미늄固溶体層과의 境界面에 隣接한 微細結晶의 $FeAl_3$(θ相, *D*部)와 母材에 接하여 두껍게 發達한 合金層의 主成分인 針狀結晶의 Fe_2Al_5(η相, *B*部)外에 η相과 素地鋼의 Fe 와의 相互擴散 反應에 依한 $FeAl_2$(ζ相)의 3相으로 組成된다. 素材와 針狀結晶의 境界에는 硬度測定으로 識別하기 어려운 1~2μ의 α-Fe 固溶体(*C*部)가 存在한다.

이들 結晶들은 試驗片 表面에 對하여 垂直한 길이方向으로 成長하여 素材와 被覆層 사이에 舌狀을 形成하며 알루미늄의 濃度가 높을수록 硬度가 높아지는 傾向이 있다.

再加熱한 2次擴散材의 合金層은 Fig. 10과 같이 試驗片 表面의 알루미늄이 素地鋼의 內部로 再擴散하여 不規則한 舌狀組織의 굴곡길이가 均一化되었고 두께도 더욱 發達하여 1次擴散材인 알루미나이징鋼의 約 55μ에 比하여 約 10μ 增加한 平均 65μ으로 되었다.

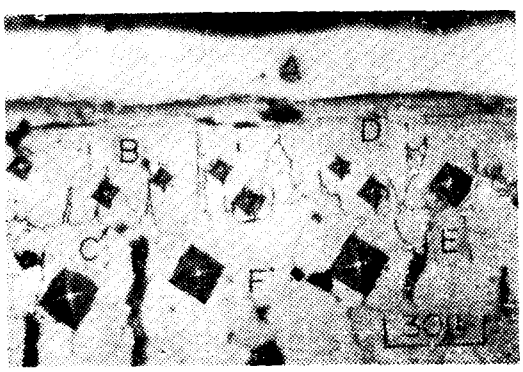


Fig. 2. Microstructure and micro Vickers hardness on diffusion layer.

顯微鏡組織에 대한 硬度測定 結果는 알루미나이징鋼의 경우 *D* 部가 H_V=1100, *E* 部가 H_V=345, *F* 部가 H_V=229 이었고 2次擴散材는 *D* 部가 H_V=1214, *F* 部가 H_V=267 로 上昇하여 2次擴散으로 硬度가 約 10% 增加 하였음을 알 수 있다.

考 察

1. 接觸應力과 slip ratio 및 磨耗量의 曲線

處女材, 熱處理材, 알루미나이징鋼材 및 2次擴散材를 同種金屬間 磨耗試驗한 結果로 부터 x 軸에 slip ratio, y 軸에 最高 Hertz 應力, z 軸에 比磨耗量을 取하여 圖示한 立体圖는 各各 Fig. 3, 4, 5 및 6과 같다.

全般的으로 slip ratio의 增加와 함께 比磨耗量이 增加하고 接觸應力의 上昇에 따라 比磨耗量이 높아지는 傾向이 있으며 處女材와 熱處理材의 경우 曲線이 急傾斜를 이루는 反面에 알루미나이징鋼材와 2次擴散材에서는 緩慢하여 摩擦負荷의 增加에 따른 耐磨耗性은 2次擴散材가 가장 優秀하고 그 다음은 알루미나이징鋼材 임을 쉽게 알 수 있다.

各應力레벨에 대해 平均 slip ratio 를 取하여 5×10^5rev. 까지의 全磨耗量을 比較하면 低接觸應力레벨에서는 處女材에 比하여 熱處理材, 알루미나이징鋼材 및 2次擴散材가 各各 8%, 19% 및 27%로 減少하고 있으며 高應力레벨에서는 各各 16%, 30%및 40%의 磨耗減少를 나타내고 있다.

磨耗現象은 材料, 接觸條件, 摩擦速度, 接觸荷重, 表面粗度, 潤滑狀態 및 溫度等에 依하여 影響을 받는다.

處女材와 熱處理材가 알루미나이징鋼材 및 2次擴散材에 比하여 磨耗量이 顯著한 것은 磨耗를 支配하는 要素中 알루미나이징鋼의 擴散被覆層 硬度가 높은 것이 主原因이라고 생각된다. 이는 摩擦面 사이에서 接觸하는 微小突起部가 摩擦過程에서 表面接線方向의 相對運動으로 突起先端이 局部的 塑性變形을 일으켜 剪斷分離되어 磨耗粒으로 生成되므로 磨耗量은 接觸荷重과 摩擦距離에 比例하고 硬度에 反比例 한다는 Holm의 磨耗式

$$W=Z\frac{Pl}{P_m} \quad \cdots\cdots(3)$$

但, W : 磨 耗 量
P : 接觸荷重
l : 摩擦距離
P_m : 硬 度

으로 부터도 알 수 있다.

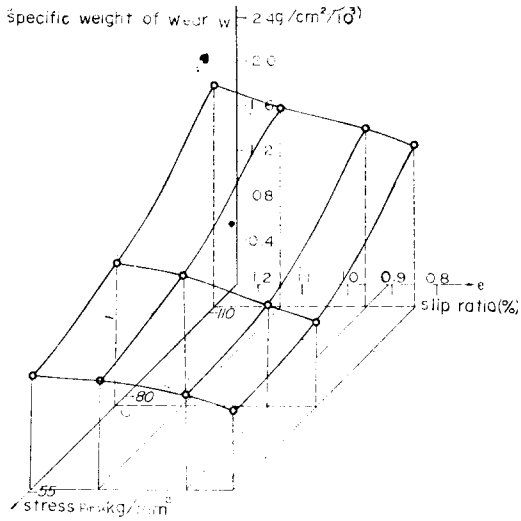


Fig. 3. Projected diagram of $W-e-p_{max}$ relation on raw material specimens.

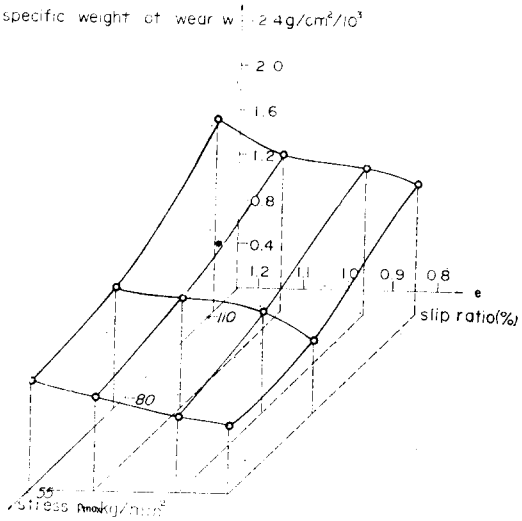


Fig. 4. Projected diagram of $W-e-p_{max}$ relation on heat treated specimens.

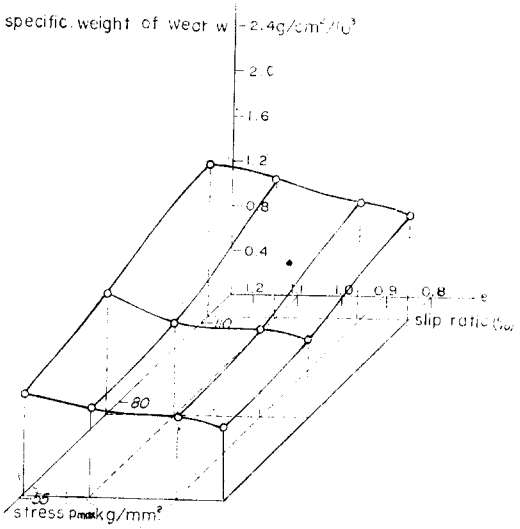


Fig. 5. Projected diagram of $W-e-p_{max}$ relation on aluminizing specimens.

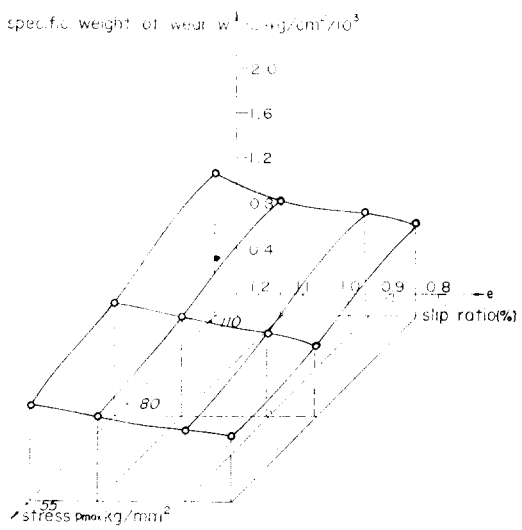


Fig. 6. Projected diagram of $W-e-p_{max}$ relation on 2nd diffusion specimens.

2. 磨耗量과 累積回轉數의 曲線

磨耗現象은 摩擦의 過去履歷에 依하여 크게 影響을 받으므로 荷重을 一定하게 하면 摩擦距離의 增加에 따라 磨耗量도 增大된다.

本實驗中 磨耗現象이 제일 뚜렷한 $p_{max}=110.85$ kg/mm², $e=1.25\%$와 磨耗의 影響이 가장 적은 $p_{max}=55.43$kg/mm², $e=0.80\%$에 대하여 累積回轉數의 增加에 따른 磨耗量을 Fig. 7에 圖示하였다. 알루미나이징鋼材와 2次擴散材가 處女材보다 高負荷의 上部曲線에서 더욱 높은 耐磨耗性을 보여 下部曲線에서의 20%, 28%에 比하여 28%, 36%의 磨耗率減少를 보이고 있다.

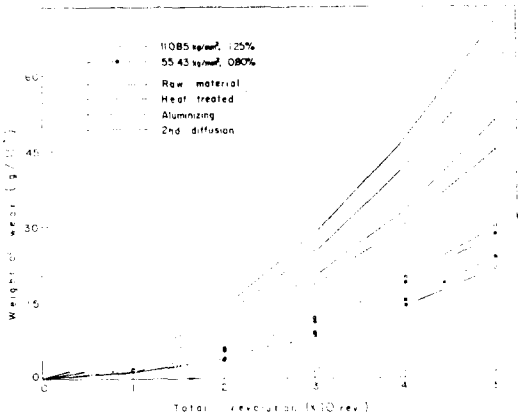


Fig. 7. No. of revolution vs. wear weight.

金屬을 長時間 反覆摩擦 시키면 磨耗現象의 經時變化인 大型의 磨耗粒子가 生成되는 高磨耗率의 初期磨耗領域과 磨耗率의 低下하는 定常期가 나타난다. 本實驗의 경우 磨耗率이 急變하는 臨界点이 나타나지 않고 Fig. 9와 같이 磨耗粒이 大型인 것으로 보아 實驗範圍가 初期磨耗領域임을 알 수 있다.

3. 磨耗量에 미치는 slip ratio의 影響

接觸荷重과 摩擦距離를 一定하게 하여 磨耗量을 測定하면 磨耗의 速度特性 때문에 摩擦速度의 變化에 따라 全磨耗量도 變化한다.

最高 Hertz 應力을 78.38kg/mm²으로 固定하고 1.25%, 1.10%, 0.91% 및 0.80%의 slip ratio로 變化시켜 磨耗量을 測定하여 plot한 處女材와 2次擴散材의 速度特性曲線은 Fig. 8과 같다.

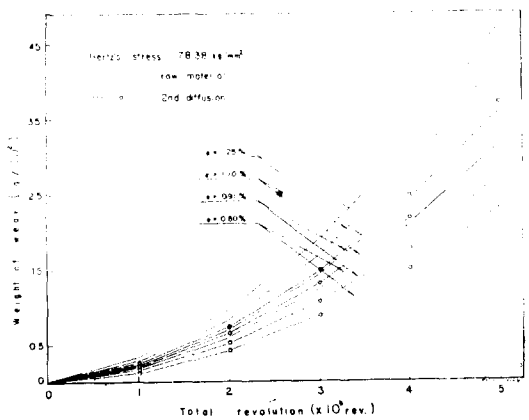


Fig. 8. Effect of slip ratio on the wear weight of raw material and 2nd diffusion specimens.

處女材에 있어서 $e=0.80\%$의 slip ratio에 대한 slip ratio의 增加比 13.75%, 37.5% 및 56.25%에 대하여 磨耗量이 14.29%, 34.6% 및 49.52%로 增加하고 있으나 2次擴散材는 同一한 slip ratio의 增加比에 있어서 $e=0.80\%$의 磨耗量에 比하여 18.34%, 43.23% 및 62%로 增加하고 있어 2次擴散材가 處女材보다 slip ratio의 影響을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

2次擴散材의 이러한 事實은 磨耗機構에서도 論하는것과 같이 2次擴散時의 熱的影響에 依한 被覆層과 合金屬 境界付近의 空孔生成으로 취약부가 생겨 耐磨耗性이 低下된 것으로 생각된다.

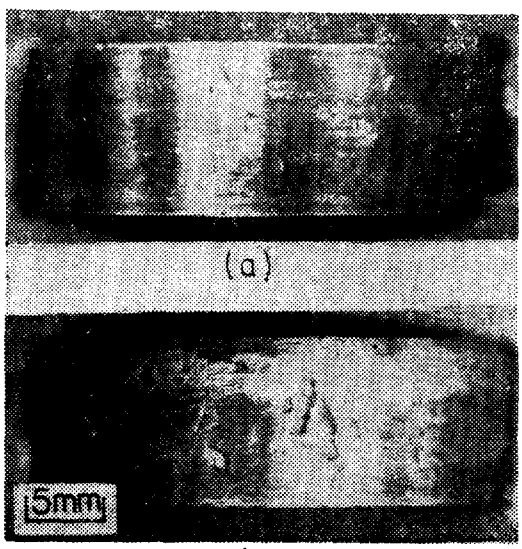
4. 合金層의 磨耗機構

4—1. 알루미나이징鋼材의 磨耗破壞機構

알루미나이징鋼材와 이를 再擴散한 2次擴散材의 磨耗面에 對한 表面損傷은 spalling에 依한 表面破壞로서 代表的인 例를 Fig. 9와 Fig. 10에 表示한다.

Fig. 9의 (a)와 (b)는 spallig이 生成된 磨耗面의 外觀이다. (a)와 같이 처음 磨耗面에 生成된 spalling에 있어서 spalling crack은 spall底 中央部에서 最初로 發生하여 進展한 것으로 생각된다.

(a)



(b)

Fig. 9. Spalling on wear surface of aluminizing steel.

이러한 現象은 Fig. 10으로 부터도 알 수 있으며 主 crack이 試驗片 表面下에서 表面에 거의 平行하게 形成되고 있어 spalling crack의 起点은 擴散被覆의 合金層에 位置하고 主 crack의 깊이內에 있다고 할 수 있다.

이와 같이 spalling의 主 crack이 試驗片 表面下의 位置를 起点으로 하여 生成되는 것은 接觸荷重으로 因한 剪斷應力의 最大値가 表面下에 位置하여 이 点이 crack 發生原으로 되었기 때문이라고 할 수 있으며 이는 (1)式의 最高 Hertz 應力에 依한 最大剪斷應力이 表面으로 부터 0.78b인 곳에 位置하는 것으로 부터도 알 수 있다.

試驗片 表面에서의 crack도 觀察되었다. 이것은 表面下의 主 crack이 成長하는 동안 摩擦荷重의 反覆에 依한 이 部分의 局部的인 彎曲作用으로 生成된 2次 crack으로 생각된다.

主 crack이 2次微小crack을 同伴하고 더욱 成長하여 表面에 到達하면 磨耗粒을 生成케 하고 累積回轉數의 增加와 함께 表面의 微小 crack도 磨耗粒으로 成長하고 脫落하여 Fig. 9의 (b)와 같은 表面破壞를 이룬다.

4—2. 2次擴散材의 磨耗破壞機構

2次擴散材의 摩擦에 依한 spalling 現象은 알루미나이징鋼材와 類似하다. 그러나 Fig. 10의 破壞層斷面觀察에서 剝離現象이 硬度測定結果 合金層과 알루미늄層으로 認定되는 곳에 함께 發生하였다. 이는 比較的 低溫度에서 長時間 加熱하여 2次擴散 함으로써 알루미늄層과 合金層과의 境界附近에 微小空孔이 生成되어 이들 層의 密着力을 低下시켰기 때문이라고 생각된다.

이러한 微小空孔의 生成現象은 알루미늄層과 合金層의 膨脹係數의 差로 인하여 생긴 殘留應力이 두 層사이에 存在하는 가운데 2次擴散이 일어났기 때문이라고 생각된다.

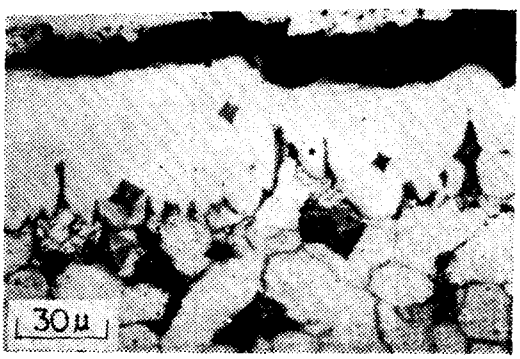


Fig. 10. Brake away of diffusion coating layer on the 2nd diffusion specimens.

2次擴散材의 耐磨耗性이 알루미나이징鋼과 比較하여 豫想보다 優秀하지 못하였던 것은 이러한 結果가 主原因이 되었다고 보며 空孔의 生成을 最小限으로 防止할 수 있는 改善策을 마련한다면 2次擴散材의 耐磨耗性은 더욱 向上되리라 믿어지므로 이 方面의 硏究가 必要하다.

要 約

알루미나이징鋼에 對하여 初期磨耗領域에서 rolling-sliding 磨耗試驗을 한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 2次擴散材의 耐磨耗性이 가장 優秀하고 處女材에 比하여 低應力레벨에서 約 18%, 高應力에서 約 40%의 磨耗減少를 나타낸다.

2) 2次擴散材는 被覆層과 合金層 境界附近의 空孔生成으로 因하여 豫想보다 耐磨耗性이 낮다.

3) 알루미나이징鋼의 rolling-sliding 接觸에 依한 磨耗破壞의 形態는 spalling이며 spalling crack은 合金屬의 境界附近에서 發生한다.

參 考 文 獻

多賀谷・伊佐, (1960): 金屬表面技術, Vol. 11, p. 506

嵯峨卓郎, (1974), "アルミナイズド鋼の特性と最近の硏究," 金屬, Vol. 6, p. 20.

廉熙澤・呂運寬, (1977) : 最新金屬表面處理, 東明社, p. 265.

伊 佐・上原, (1974): "アルミナイズド鋼の應用例," 金屬, Vol. 6, p. 25.

張志元, (1976): 漁業機器學, 太和出版社, p. 2.

金屬表面技術協會編, (1964): 金屬表面技術便覽, 日刊工業新聞社 p. 542.

李圭用外 5人, (1978): "알루미나이징 表面處理한 構造用鋼의 疲勞強度 및 破壞擧動에 關한 硏究," 東亞大學校 韓國工場管理硏究所報告, Vol. 2, No. 1, p. 3.

K. Endo, (1969): "Wear Testing Methohods and Some Related Problems," Lubrication, Vol. 14, No. 12, p. 668.

笹田直, (1972): "摩耗(12)—耐摩耗設計と摩耗對策," 機械の硏究, Vol. 24, No5, p. 714.

多賀谷・伊佐・尾上,(1961)： 金屬表面技術, Vol. 12, p. 443.

多賀谷・伊佐,(1955): 金屬表面技術, Vol. 6 p. 216.

S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, (1970): Theory of Elasticity, McGraw-Hill book Co., New York, p. 403～420.

J. B. Bidwell, (1962) : "Rolling Contact Phenomena," Elsevier Publishing Co., Amsterdam, p. 406.

S. Ueda and S. Mistuda, (1972): "A Study on Aluminium Diffusion Coating Phenomenon", Report of Castings Research Laboratory, Weseda Univ., No. 23, p. 9.

V. R. Ryabov and V. D. Cuplyak, (1969-6): "Structure and Phase Composition of Aluminium Coatings", Meallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Methallov, No, 1, p. 39～42.

竹内榮一,(1970-4) : "金屬の摩耗(Ⅰ)ー金屬の摩耗機構", 熱處理, Vol. 10, No. a, p. 144.

Holm, (1967) : "Electric Contact Handbook, Springer, Berlin, p. 232.

笹田直,(1972): "摩耗(9)ー耐摩耗設計と摩耗對策," 機械の研究, Vol. 24, No. 2, p. 317.

八木明,(1961) : "高マンガン轉てつ器の摩耗試驗," 日機論隻 (1部), Vol. 27, No. 173, p. 66

藤田・吉田,(1977): "鋼ローラの面壓強さに關する研究," 日機論隻(第3部), Vol. 43, No. 372, p. 3152.