

◎ 論 文

오스팀퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 腐蝕環境中的 磨滅特性에 관한 研究⁺

康明順* · 全泰玉** · 朴興植*** · 陳東圭****
(1988년 10월 8일 접수)

A Study on the Wear Characteristics of Austempered Ductile Cast Iron in Corrosive Environments

Myung-Soon Kang, Tae-Ok Jun, Heung-Sik Park and Dong-Kyu Jin

Key Words : Corrosive Wear Loss(부식마멸량), Corrosive Wear Resistance(부식마멸저항), Critical Sliding Distance(임계미끄럼거리), Volume Fraction(체적분율)

Abstract

This paper is studied to know corrosive wear characteristics of austempered ductile cast iron in corrosive environments against mating material SM45C hardened by heat treatment. The corrosive wear test were carried out by rubbing the annular surface of two test pieces in distilled water and NaCl aqueous solution. The corrosive wear mechanism was investigated by scanning electron microscopy and retained austenite volume fraction was investigated by X-ray diffractometer. The experimental result show that the corrosive wear characteristics depend largely on the Fe(OH)₃ which is influenced by the critical sliding distance L_{cr} and L_{cr} shorted with increasing NaCl concentration. It was found that the carbides in matrix have a significant effect on their corrosive wear resistance and the fine acicular bainite showed corrosive wear resistance stronger than that of the coarse acicular and platelet bainite. From above results the model of corrosive wear mechanism in corrosive environments is proposed.

I. 序 論

機械構造物 및 機械部品에 있어서 磨滅은 반드시 일어나는 현상이고 이 磨滅로 인하여 우리는 每年 莫大한 經濟的 損失을 입고 있다. 磨滅의 被害는 經濟的 損失에 그치지 않고 資源과 에너지의

직접적인 손실이며, 더욱이 이 磨滅을 豫測하고 制御할 수 없기 때문에 많은 機械의 信賴性이 不確實하게 되어 왔다. 그런데 이들 機械構造物 및 機械部品은 실제 海水등의 腐蝕環境中에서 사용되어지는 경우가 많고 이들 腐蝕環境中에 있어서의 磨滅의 경우는 大氣中의 一般磨滅에 비하여 특히 環境과의 상호작용이 크며, 磨滅現象이 腐蝕環境

+ 1988년도 한국해양공학회 추계학술대회 발표(1988년 12월)

* 한양대학교, 정밀기계공학과

** 정회원, 동아대학교 기계공학과

*** 정회원, 한양대학교 대학원

**** 정회원, 동아대학교 대학원

에 영향을 주기도 하고, 반대로 腐蝕現象이 磨滅現象에 영향을 준다고 하는 機械·化學的인 반응이며 수 많은 인자가 복잡하게 상호작용하여 磨滅機構에 관계되어 왔다.¹⁾ 잘 알려진 바와같이 腐蝕現象은 局部電池의 構成에 의한 電氣化學的反應이며, 各種 腐蝕溶液中에서의 磨滅에 관한 研究로서, Yoshiaki²⁾는 鋼의 腐蝕과 磨滅사이의 상호관계를 조사하기 위하여 NaCl水溶液中에서 腐蝕電流를 측정하였으며, Batchelor³⁾는 鋼 및 非鐵金屬을 黃酸液中에서 磨滅實驗을 하여 腐蝕現象과 abrasive磨滅사이의 관계를 규명하였다. 그리고 欠作⁴⁾들은 鑄鐵의 硫酸液中에서의 腐蝕磨滅現象에 대하여 電位의 舉動을 追跡하였다. 그러나 最近 美國, 핀란드, 중국 및 日本 等地에서 自動車後車軸의 링 기어 및 파니언 기어에 이르기 까지 실용되어⁵⁾ 自動車 工業部門에 注目을 모으고 있는 오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 大氣中 乾燥磨滅 및 abrasive磨滅特性^{6,7)}에 대하여서는 규명이 되어 있지만 實用的 見地에서 重要하다고 생각되는 腐蝕環境中에서의 磨滅에 관한 研究는 찾아 볼 수가 없다. 그래서 本 研究에서는 오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 오스템퍼링溫度와 維持時間을 變化시켜 熱處理하여 증류수 및 NaCl水溶液中에서의 腐蝕環境中에서 腐蝕磨滅特性和 腐蝕磨滅機構를 조사하는 것을 목적으로 하였다.

2. 實驗方法

2.1 實驗材料

本 實驗에 사용된 材料는 一般 球狀黑鉛鑄鐵湯에 Fe-99.9% Ni, Fe-60% Mo 및 99.9% Cu를 첨가하여 용해한 후 직경 22mm, 길이 230mm의 충분한 押湯이 있는 生砂型에 鑄入된 것이며 相對材料는 市販의 SM45C의 煨房을 사용하였다. 이들의 化學成分은 Table 1과 같다. 그리고 兩材料는 Fig. 1과 같이 실린더型으로 절삭가공하여 鹽浴爐에서 열처리 하였으며 열처리 사이클과 열처

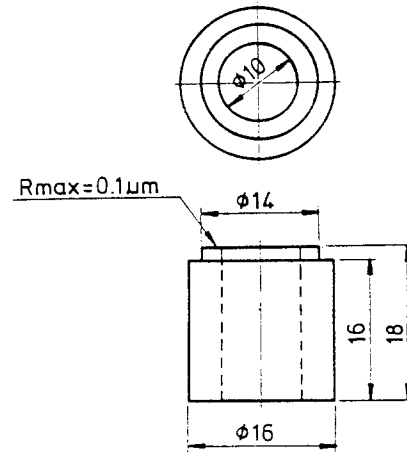


Fig. 1 Shape and dimension of specimen

리 후의 機械的性質은 Table 2와 같다. Fig. 2는 各 오스템퍼링溫度에서의 顯微鏡組織을 나타낸 것이다. 球狀黑鉛鑄鐵은 多量의 炭素가 大部分 球狀黑鉛의 형태로 존재하고 있으며 이것이 오스테나이트화 가열중에 炭素의 저장소로 하여 基地組織에 炭素를 확산시킨다, 따라서 오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 基地組織은 針狀 또는 板狀의 베이나이트와 오스테나이트의 微細한 혼합조직으로 되어 있어 페라이트相의 형태와 오스테나이트相과 페라이트相의 量的비율이 오스템퍼링溫度와 維持時間에 따라서 機械的性質이 變化한다.⁸⁾ 恒溫變態중 針狀페라이트가 오스테나이트에서 성장하고 동시에 炭素는 페라이트에서 周邊의 오스테나이트內로 들어간다. 따라서 變態가 進行됨에 의하여 오스테나이트는 多量의 炭素를 함유하게 되며 球狀黑鉛鑄鐵은 Si를 많이 함유하여 炭化物의 形成을 억제하므로 炭素量이 높은 오스테나이트가 잔류하게 된다.^{9,10)} 그러므로 Fig. 2에서 A의 基地組織은 微細한 針狀의 下部베이나이트를 가지며 소량의 殘留오스테나이트가 보이고 있음을 알 수 있으며, C는 微細한 針狀의 下部베이나이트와 粗大한 針狀의 베이나이트로 구성되어 있으며 殘留오스테나이트量이 증가하는 것을 볼 수 있다. E의 基地

Table 1 Chemical composition of the testing materials

Material	Composition (wt. %)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Ni	Mg
Ductile cast iron	3.52	2.74	0.25	0.03	0.02	0.32	0.23	1.38	0.05
SM 45 C	0.47	0.31	0.73	0.02	0.02	-	-	-	-

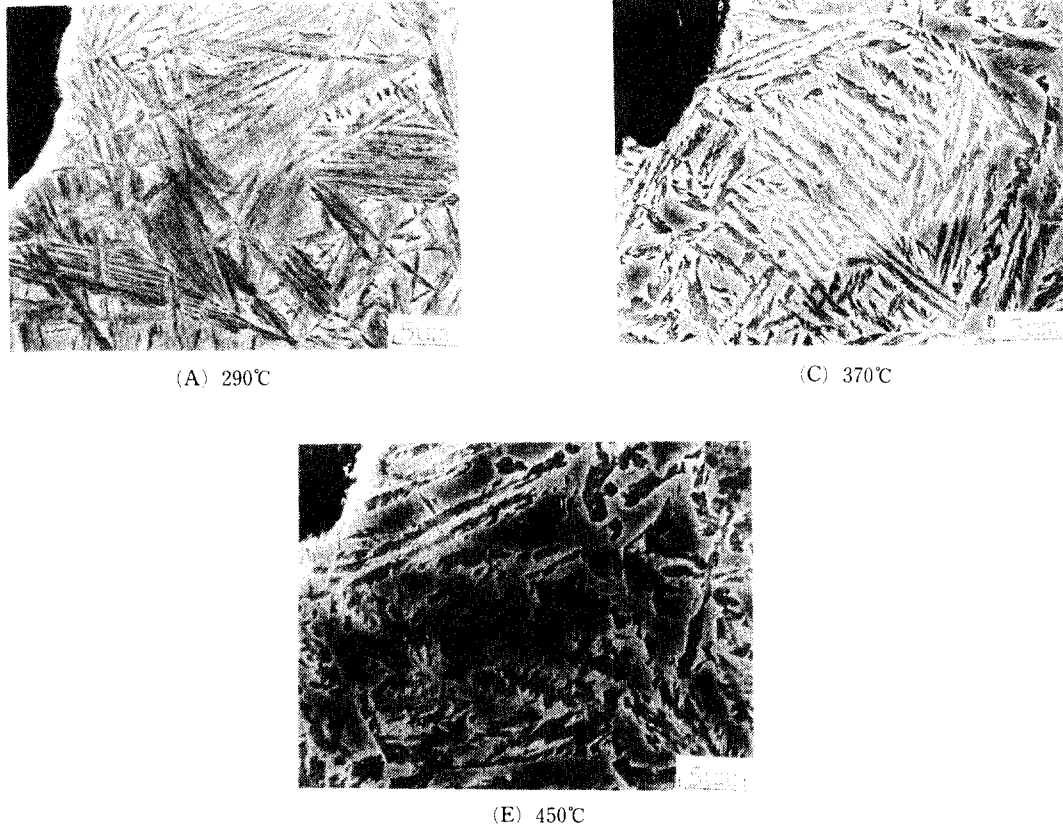


Fig. 2 Scanning electron micrographs of specimens at various temperature (X3000)

Table 2 Heat treatment and mechanical properties of the testing materials

Materials	Heat treatment	Mechanical properties		
		Tensile strength (kgf/mm^2)	Elongation (%)	Hardness Hv
Austempered ductile cast iron	A $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 290^\circ C \times 1hr$ W.Q.	145	1.7	498
	B $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 330^\circ C \times 1hr$ W.Q.	124	2.7	438
	C $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 370^\circ C \times 1hr$ W.Q.	125	4.9	384
	D $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 410^\circ C \times 1hr$ W.Q.	75	2.3	325
	E $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 450^\circ C \times 1hr$ W.Q.	69	2.0	310
	F $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 370^\circ C \times 2min$ W.Q.	51	0.3	596
	G $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 370^\circ C \times 10min$ W.Q.	85	1.0	501
	H $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 370^\circ C \times 40min$ W.Q.	126	5.1	402
	I $900^\circ C \times 1hr \rightarrow 370^\circ C \times 2hr$ W.Q.	120	4.4	408
SM 45C	$840^\circ C \times 0.5hr \rightarrow 200^\circ C \times 0.5hr$ W.Q	105	13	496

※ W.Q : water quenching

組織은 板狀의 上部베이나이트의 형태를 가지고 있음을 알 수 있다.

2.2 腐蝕摩擽實驗

實驗에 사용한 摩擽試驗機의 개요도를 Fig. 3에 圖示하였다. Fig. 1과 같은 兩試驗片을 에머리페이퍼 1200番까지 研磨한 후 摩擽面粗度를 $R_{max}=0.1\mu m$ 로 하고 즉시 超音波洗淨을 하여 건조시켜, 相對材인 SM45C를 下部에 고정하고 實驗材를 上部에 附着하여 廻轉시켜 그 端面이 순수 미끄럼摩擽이 되도록 하였고, 미끄럼速度는 0.4 m/s로 일정하게 유지하였다. 그리고 腐蝕溶液인 증류수 및 各 NaCl 水溶液은 每回 交換하였으며 NaCl水溶液은 증류수에 各 重量比率로 食鹽을 용해시킨 食鹽水이며 試驗液槽는 300cc의 스텐리스鋼製 容器를 사용하였고, 摩擽熱에 의한 腐蝕溶液의 溫度 상승을 억제하기 위하여 腐蝕液을 소량씩 첨가하여 腐蝕液의 溫度는 $25\pm 1^{\circ}C$ 로 保持하였다. 또한 各 試片의 兩側面은 防蝕被膜(市販의 타이프修整液)으로 被覆하여 腐蝕液이 접하지 않도록 하였으며 實驗後에는 摩擽面에 附着된 腐蝕生成物 및 移着物제거를 위하여 다시 超音波洗淨 후 건조시켜 感度 0.1mg의 디지털천칭으로 그 重量減少量을 측정하였다. 그리고 腐蝕摩擽機構를 조사하기 위하여 摩擽面관찰은 走査電子顯微鏡(SEM)을 사용하였으며 基地組織內的 殘留오스테

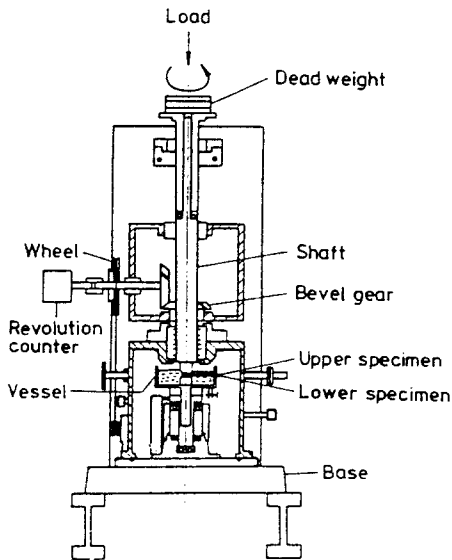


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

나이트 및 베이나이트의 體積分率의 측정은 X線 回析試驗機(X-ray diffractometer)와 포인트카운팅(point counting)¹¹⁾法으로 행하였고 마르텐사이트量은 全體에서 그 差別하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 磨滅의 NaCl濃度依存性

Fig. 4는 C材의 경우 미끄럼거리 L을 단계적으로 변화시켰을 때의 各 腐蝕溶液에 대한 腐蝕磨滅量 W_{corr} 을, Fig. 5에는 各 接觸荷重 P에 대하여 L을 2km까지는 증류수에서, 每 1km마다 0.1%, 1% 및 3% NaCl水溶液에서, 다시 1km는 증류수에서의 W_{corr} 을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 처럼 증류수에서는 대체로 3km, 0.1%와 1%

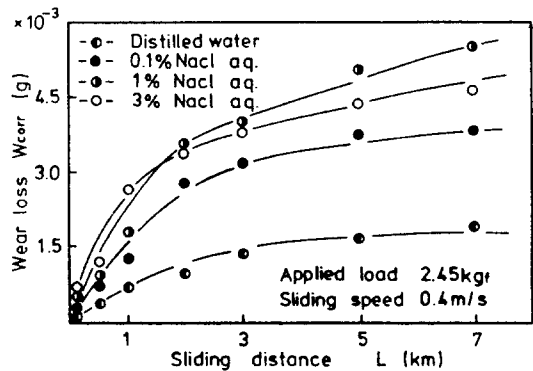


Fig. 4 Variation of corrosive wear loss and sliding distance

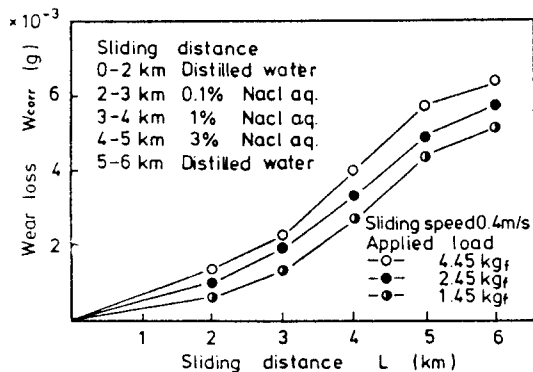
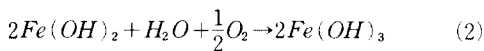
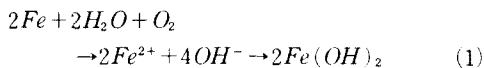
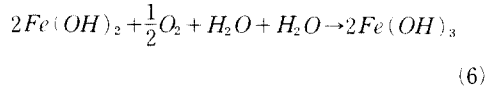
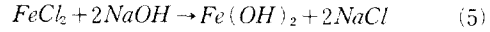
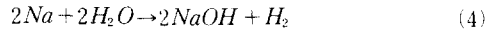
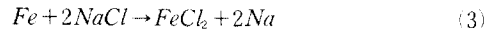


Fig. 5 Variation of corrosive wear loss and sliding distance

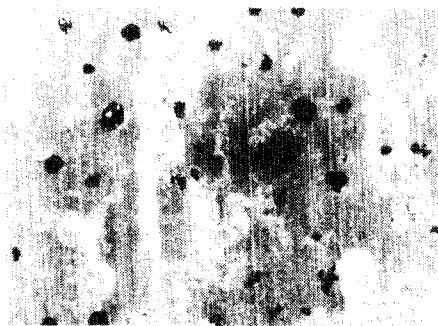
NaCl水溶液은 2km, 3% NaCl水溶液에서는 1km 까지 W_{corr} 이 거의 직선적으로 상승하는 重磨減狀態에서는 磨減粉의 性狀이 金屬質이며, 摩擦面은 金屬凝着磨減의 양상을 나타내었다. 특히 NaCl水溶液中에서의 摩擦面에는 微細한 生成物이 국부적으로 분포되어 있었다. 그리고 磨減進行曲線에서 重磨減狀態에서 輕磨減狀態로 遷移하는 臨界미끄럼거리 L_{cr} 이상의 W_{corr} 은 완만한 비율로 상승하며, 摩擦面에는 黃色, 赤色 및 黑色등의 生成物이 미끄럼방향을 향하여 帶狀으로 분포되어 있었다. L 을 더욱 증가시키면 摩擦面은 生成物로 덮힌 외에 국부적으로는 研磨된 光澤面이 나타났으며, 이 상태에서의 腐蝕溶液은 黃色을 띄었고 이 水溶液을 靜置시키면 역시 黃色의 生成物이 침전하였다. 그러나 증류수에서의 實驗에서는 溶液의 色은 거의 변화가 없었다. 따라서 W_{corr} 은 증류수중에서 보다 NaCl水溶液중이 훨씬 크며 腐蝕에 의한 表面性狀의 변화와 磨減이라는 機械的破壞의 상호작용에 의하여 진행된다는 것을 알 수 있다. 本實驗에 있어서 L_{cr} 이상에서는 摩擦面에 생성되는 有色의 生成物의 성분으로 증류수중에서의 실험은 Fe酸化物과 水酸化物이며 NaCl水溶液중에서는 이외에 鹽化物도 생성할 가능성이 있다고 생각된다. 따라서 界面에 생성되는 生成물은 腐蝕生成物이며 이의 主成分으로 생각되는 Fe(OH)₃에 대하여 보면, 증류수중에서는



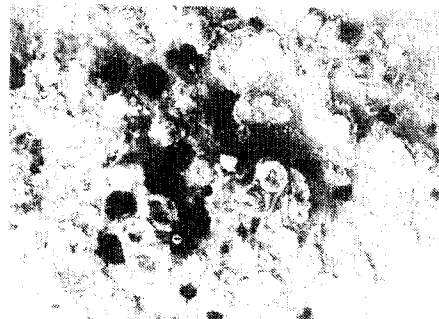
에 의하여 물에 不溶의 Fe(OH)₃가 되며,¹²⁾ NaCl水溶液중에서는 NaCl의 電池作用으로 국부적으로 반응이 가속화 된다. 즉 Cl⁻이온의 작용에 의하여



이 되며 NaCl에 의하여 水酸化가 일어나기 쉬우며 Fe(OH)₃의 化學的生成에 관하여서는 溶存酸素量, NaCl濃度등의 조건이 관여된다.¹³⁾ Fig. 6에는 P 가 2.45kg, 3% NaCl水溶液에서의 L 이 (a) 1km, (b) 5km의 摩擦面을, Fig. 7에는 이의 縱斷面을 나타낸 것이다. Fig. 6의 (a)는 全摩擦面に 金屬凝着磨減狀態와 移着物 및 흑연과 基地組織과의 境界面에서 국부적으로 腐蝕이 진행되고 있으며 Fig. 7의 (a)에서는 흑연이 유출되어 생성된 噴火口와 腐蝕에 의한 磨減로 谷의 부분이 나타나 있고, Fig. 6의 (b)는 移着物 및 腐蝕生成物이 摩擦面에 분포되어 있으며 Fig. 7의 (b)에서 처럼 흑연이 유출된 噴火口 및 腐蝕磨減로 형성된 谷의 부분에 충만되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 Fig. 4의 各 腐蝕溶液에서 L_{cr} 까지는 金屬間凝着磨減과 흑연과 基地組織의 境界面에서 電池作用¹⁴⁾에 의한 腐蝕으로 흑연주위가 浸蝕이 되어 부분적으로 흑연이 유출되며, 化學的要因으로 환경에 존재하는 物質, 電氣 및 熱에 의한 生成物の 生成率보다 摩擦力 및 流體壓등에 의한 機械的



(a) P=2.45kg
L=1km



(b) P=2.45kg
L=5km

Fig. 6 Photographs of the rubbed surfaces for specimen C in 3% NaCl solution (X200)

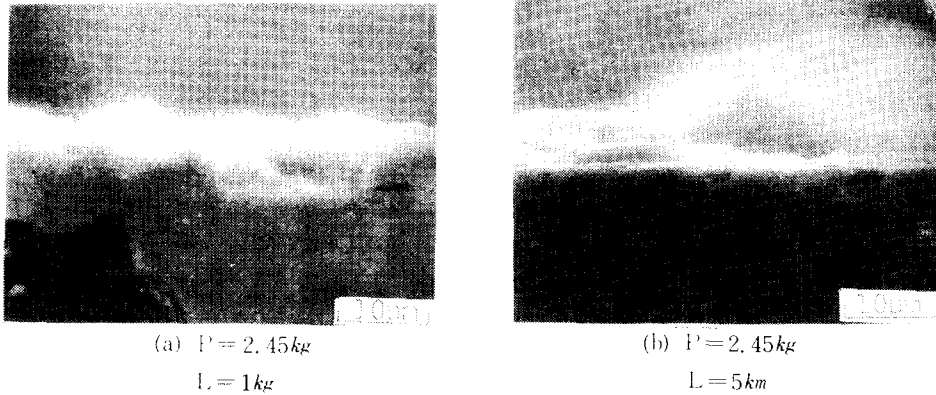


Fig. 7 photographs of the cross section for specimen C in 3% NaCl solution (X2000)

要因으로 生成物의 水溶液중으로의 排除率이 더 증가하는 重磨減狀態가 계속되기 때문이라 생각된다. 그리고 L_{cr} 이상에서는 重磨減狀態로 인한 金屬表面波膜의 파괴로 表面이 腐蝕溶液과의 계속적인 접촉으로 腐蝕反應이 活性化되어 진다. 따라서 生成物의 生成率이 排除率보다 증가되므로 生成物의 表面에서의 吸着力에 의하여 金屬間凝着을 방지하는 輕磨減狀態가 되기 때문이라 생각된다. 각 L 에 대하여 NaCl濃度を 변화시킨 Fig. 5에서는 NaCl水溶液의 濃度を 증가시키기에 따라 前述한 바와 같이 生成物의 排除率이 더 크게 되어 P 의 상승과 더불어 W_{corr} 은 증가하지만 다시 증류수로 용액을 교환하면 초기의 증류수의 W_{corr} 보다 다소 큰 값을 나타내는 것은 水溶液의 교환으로 즉시로 金屬凝着磨減狀態로 전환되는 것이 아니라 NaCl水溶液中에서의 加速에 의한 腐蝕磨減狀態가 일정기간 계속되기 때문이라 생각되며 이때의 摩擦面 및 縱斷面의 스테레오사진을 Fig. 8에 나타내었다. 摩擦面에는 격렬한 凝着磨減과 腐蝕피트(pit)가 국부적으로 형성되어 있고 腐蝕生成物이 黑鉛이 존재하고 있던 위치로 진전하고 있으며 縱斷面에는 腐蝕磨減로 생성된 谷의 部分을 볼 수 있다. 그러므로 소량의 NaCl濃度の 變化에도 W_{corr} 에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. Fig. 9에는 각 腐蝕溶液의 P 에 따른 L_{cr} 의 變化를 圖示한 것이다. 각 濃度曲線에서 下의 部分이 重磨減領域이며 上의 部分이 輕磨減領域을 나타낸다. 각 腐蝕溶液에서 P 가 증가함에 따라서 L_{cr} 은 거의 직선적으로 증가하며 高濃도가 될 수록 곡선은 右下로 이동하며 동일하중에 있어서도

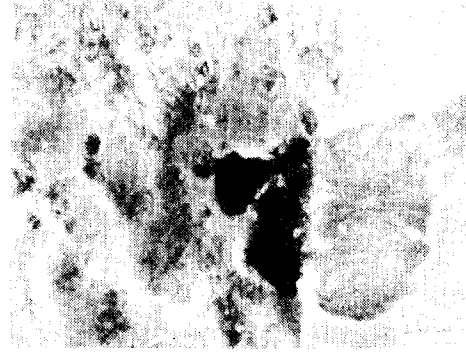


Fig. 8 Stereo photograph of the rubbed surface and cross section for specimen C in distilled water ($\times 1500$); $P=2.45\text{ kg}$, $L=6\text{ km}$

L_{cr} 은 濃도가 증가할수록 짧아진다는 것을 알 수 있다. 각 腐蝕溶液중에서의 L_{cr} 은 高濃度일 수록 生成物의 生成速度가 증가하므로 重磨減領域이 짧아지며, P 가 상승함에 따라 實接觸面積이 증가하여 接觸界面의 연이은 塑性變形으로 金屬凝着磨減이 지배적으로 작용하며 生成物의 排除率이 조속히 진행되기 때문이라 생각된다. 그리고 輕磨減領域인 P 가 2.45kgf, L 이 5km에서의 NaCl濃度を 단계적으로 變化시켰을 때의 比腐蝕磨減量 W_{scorr} 을 Fig. 10에 나타내었으며, W_{scorr} 은 次式으로 구하였다.

$$W_{scorr} = W_{corr}/P \cdot L \quad (8)$$

W_{scorr} 은 증류수중에서 最小值를, NaCl濃도가 1% 附近에서 極大值를 나타내며, 그 이상의 濃度에서는 거의 變化가 없다는 것을 알 수 있다.

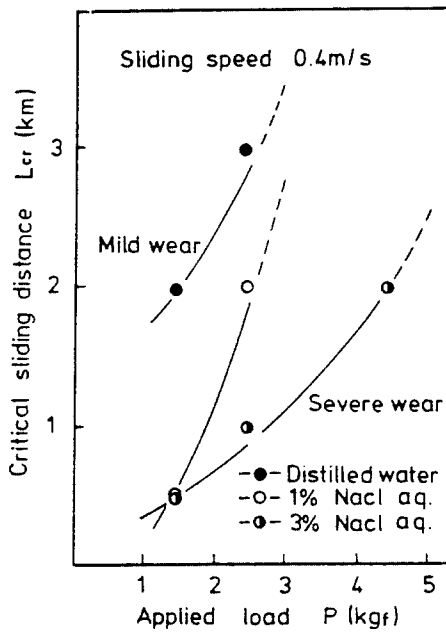


Fig. 9 Variation of critical sliding distance and applied load for specimen C

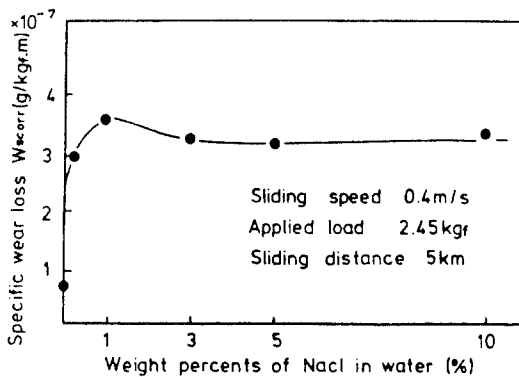


Fig. 10 Variation of specific corrosive wear loss and weight percents of NaCl in water for specimen C

生成物の 生成率은 NaCl濃도가 高濃度 일 수록 빠르게 정상적인 輕磨滅狀態가 되지만 이 상태로 된 후는 生成率의 NaCl濃도에 따른 排除率이 큰 영향을 준다고 생각되며, 여기에는 流體의 粘度, 미끄럼速度, 接觸荷重 및 摩擦力등이 관여되지만 本 實驗에서는 미끄럼速度 및 接觸荷重은 일정하게 하였으므로 실제로 영향을 주는 것은 生成物の 摩擦面의 吸着力으로 생각되지만 이것은 電氣의 現

象인 腐蝕電位 및 腐蝕電流¹⁾를 측정하면 명확하게 될 가능성도 있지만 本 研究에서는 행하지 못하였다.

3.2 磨滅의 基地組織特性

오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 基地組織은 多相 混合組織이지만 基地組織과 組織內의 各相의 體積分率의 變化에 따른 W_{corr} 을 알기 위하여 오스템퍼링溫도와 維持時間을 變化시켰다. Fig.11은 3% NaCl水溶液中에서 基地組織의 變化에 대한 W_{corr} 을 또한 維持時間變化에 따른 C材의 各相의 體積分率을 Table 3에 표시하였고, 이때의 W_{corr} 을, Fig.12에 나타내었다. Fig.11에서 처럼 基地組織을 變化시킴에 따라 低溫의 變態溫度에서 처리한 A材가 腐蝕磨滅抵抗에 강하며 高溫에서 처리한 E材가 가장 약하다는 것을 알 수 있으며, Fig.12에서는 維持時間이 가장 짧은 F材의 W_{corr} 은 적고 2時間인 I材가 대체로 크며 L 이 5km이상인 輕磨滅區域에서는 殘留오스테나이트量이 最大(24%)가 되는 H材가 腐蝕磨滅抵抗에 대체로 크다는 것을 알 수 있다. Fig.12에서 維持時間이 2분인 F材의 基地組織은 急冷에 의한 微細한 單

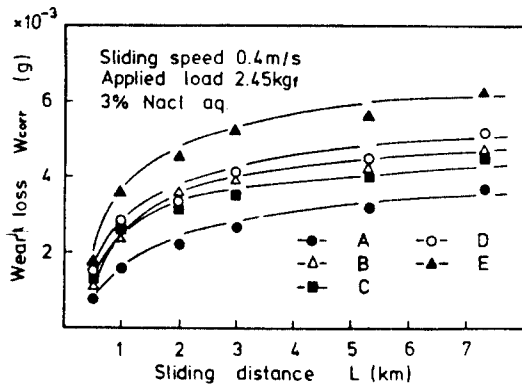


Fig. 11 Variation of corrosive wear loss and sliding distance for specimen A, B, C, D, E

Table 3 Volume fraction of matrix for specimen C (wt. %)

Structure (%)	Holding time (min)					
	2	10	20	40	60	120
Martensite	96.8	32.1	18.7	6.0	2.4	-
Bainite	2.1	52.4	60.3	70.0	80.1	84.8
Retained austenite	1.1	15.5	21.0	24.0	17.5	15.2

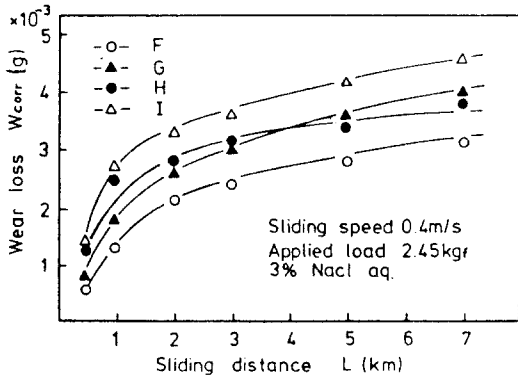


Fig. 12 Variation of corrosive wear loss and sliding for specimen F, G, H, I

相의 固溶體인 마르텐사이트로서 異相의 역할을 하는 炭化物이 거의 존재하지 않으므로 이로인한 局部電池作用이 진행되기 어려우므로 腐蝕磨減抵抗이 강하며, Fig. 11의 A材는 強度와 硬度가 큰 微細한 針狀의 페라이트로 구성된 下部베이나이트이므로 針狀페라이트와 잔류 오스테나이트의 結晶粒界에 형성되는 炭化物이 적으므로¹⁵⁾ 마르텐사이트와 유사한 특성을 가지기 때문이며, 基地組織이 粗大한 板狀의 上部베이나이트인 E材는 高溫에서 오스텝퍼링하였으므로 板狀페라이트의 結晶粒界에 炭化物의 析出이 증가¹⁵⁾하여, 퍼얼라이트를 구성하는 페라이트와 시멘타이트間에서 局部電池作用에 의한 陽極溶解가 活性化되어 腐蝕이 가속화되는¹⁴⁾ 것과 같이 炭化物의 溶解로 腐蝕량이 증가하므로 腐蝕磨減이 촉진된다고 생각된다. 또한 오스텝퍼링 변화과정에서 維持時間이 증가하여 1시간 이상이 되면 炭素가 풍부한 오스테나이트가 페라이트와 炭化物로 분해되어 Table 3과 같이 殘留 오스테나이트는 감소하며 炭化物이 증가되어 Fig. 12의 維持時間이 2시간인 I材는 前述한바와 같이 板狀의 페라이트 粒界에서 異相인 炭化物의 영향으로 腐蝕速度가 증가하기 때문이며, 殘留오스테나이트량이 최대인 H材는 殘留오스테나이트가 摩擦時 表層을 軟化시키므로⁶⁾ 重磨減領域에서는 負의 효과가 있지만 L이 5km 이상인 輕磨減領域에서는 耐蝕性이 있는 오스테나이트의 特性으로 正의 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 腐蝕磨減機構의 모델

本 研究에 있어서 腐蝕磨減機構의 모델을 Fig.

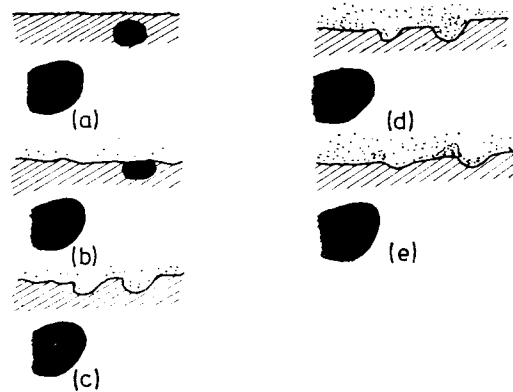


Fig. 13 Schematic representations showing details of the proposed model for corrosive wear .

13에 圖示하였다. 우선 摩擦初期(a)에는 腐蝕生成物은 존재하지 않고 접촉은 兩金屬面內의 實接觸部の 미소돌기에서 일어나는 金屬凝着으로 摩擦面은 移着 및 剪斷에 의한 塑性變形에 의하여 미세한 山과 谷이 형성되며 粗大하게 된다(b). 摩擦이 진행됨에 따라 基地組織內 不純物, 炭化物 및 活性에너지가 집적하여 熱力學的으로 불안정한 페라이트의 結晶粒界에서 腐蝕이 되어 큰 谷이 나타나며, 또한 黑鉛과 基地間의 局部電池構成에 의하여 黑鉛周邊部の 溶解로 일부의 黑鉛이 유출되어 噴火口가 생기며 表面에 부착한 移着物 및 腐蝕生成物은 摩擦力 및 流體壓으로 일부는 잔류하지만 나머지 대부분은 水溶液중으로 배제되어 重磨減狀態가 된다(c). 이 상태에 의하여 表面被膜이 파괴된 부분이 活性化되어 계속적인 腐蝕溶液의 접촉으로 腐蝕速度가 증가되어 生成物은 집적하며 界面의 吸着力으로 移着物과 더불어 表面에 잔류하게 된다. 이들 移着物 및 生成物은 金屬凝着으로 형성된 미세한 山과 谷의 부분, 腐蝕磨減로 생긴 谷과 일부의 흑연이 유출된 噴火口로 충만되어 포화하게 되어 潤滑作用을 하여 輕磨減狀態가 된다(d). 本 實驗에 있어서 摩擦面의 형상은 凹筒端面이고 移着物 및 生成物은 摩擦面에서 비교적 배제되기 어렵다고 생각되며, 山과 谷의 부분에 부착한 腐蝕生成物과 移着物은 凹周方向으로 진출된다. 摩擦이 진행됨에 따라 이들도 조금씩 배제되지만 이때 표면을 研磨하면서 水溶液중으로 배제되어 摩擦面에는 국부적으로 研磨面이 나타나게 된다(e). 이 상태가 더욱 계속되면 表面

疲勞의 영향도 생각되지만 本 實驗에서는 고려하지 않았다.

4. 結 論

오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 腐蝕磨減特性을 알기 위하여 相對材인 열처리한 SM45C를 사용하여 증류수 및 NaCl水溶液중에서 실험한 결과는 다음과 같다.

- 1) 各 腐蝕溶液에서 重磨減狀態가 되는 L_{cr} 까지의 W_{corr} 은 직선적으로 상승하지만 그 이상이면 輕磨減狀態가 되어 완만한 상승을 한다.
- 2) NaCl濃도가 高濃度 일 수록 腐蝕生成物의 生成率의 증가로 L_{cr} 은 감소하며 輕磨減領域에서 W_{scorr} 은 NaCl濃度 1%에서 極大值가 된다.
- 3) 基地組織의 변화에 따라 微細한 針狀組織이 粗大한 針狀 및 板狀組織보다 異相인 炭化物의 局部電池作用의 감소로 腐蝕磨減抵抗이 크다.
- 4) 이상의 것을 고려하여 腐蝕環境中的 磨減機構의 모델을 제안하였다.

參 考 文 獻

- 1) 肥田昭, “腐蝕磨耗について”, 潤滑, 第30卷, 第7號, pp. 467~471, 1985
- 2) Yoshiaki, Y. and Y. Mizutani, “Corrosive Wear of Carbon and Austenitic Stainless Steel in NaCl Solution,” Wear, 110, pp. 401~408, 1986
- 3) Batchelor, A.W. and G.W. Stachowiak, “Predicting Synergism between Corrosion and Abrasive Wear,” Wear, 123, pp. 281~291, 1988
- 4) 矢作壽章, 水谷嘉之, “鑄鐵의 腐蝕磨耗(1),”

- 潤滑, 第31卷, 第12號, pp. 883~888, 1988
- 5) 和出昇, 上田俊完, “球狀黑鉛鑄鐵의 強じん化のためのオーステンパー處理條件,” 鑄鐵의 磨耗と材料特性, 鐵物第24委員會鑄物分科會, pp. 192~193, 1984
- 6) 康明順, 全泰玉, 金享資, 朴興植, “오스템퍼링 處理된 球狀黑鉛鑄鐵의 乾燥磨減特性에 관한 研究”, 大韓機械學會論文集, 第12卷, 第3號, pp. 489~496, 1988
- 7) Shepperson S, and C.Allen, “The Abrasive Wear Behavior of Austempered Spheroidal Cast Iron.” Wear, 121, pp. 271~287, 1988
- 8) 鹽川忠, “鑄鍛造と熱處理,” 綜合鑄物 センタ, pp. 29~30, 1980
- 9) Janowak, J.F. and P.A. Morton, “A Guide to Mechanical Properties Possible by Austempering 1.5% Ni -0.3% Mo Ductile Iron.” AFS Trans., 120. pp. 489~498, 1984
- 10) Rouns, T.N. and K.B.Rundman, “On the Structure and Properties of Austempered Ductile Cast Iron,” AFS Trans., 121, pp. 815~827, 1984
- 11) Tomita, Y. and K. Okabayashi, “Met Trans,” A Vol, 14A, pp. 485, 1983
- 12) Fontana, M. G., “Corrosion Engineering,” 3th, McGraw-Hill Co. pp. 17, 1986
- 13) 北川英夫, “腐食と破壊,” 日本工業出版, 日本機械學會編, pp. 146, 1985
- 14) 原田昭治, 矢野滿, “球狀黑鉛鑄鐵의 強度評價に關する基礎的研究”, 日本機械學會論文集(A編), 第54卷501號, pp. 937~938, 1988
- 15) Dorazil, E. “High-Strength Bainitic Ductile Cast Iron,” AFS Trans., 6, pp. 52~61, 1982