

〈論 文〉

STS 304강의 분위기온도에 따른 부식마멸기구에 관한 연구

전태옥* · 박홍식* · 최영환** · 주창식**

(1989년 11월 20일 접수)

A Study on the Corrosive Wear Mechanism on Atmospherical Temperature of STS 304 Steel

Tae-Ok Jun, Heung-Sik Park, Young-Whan Choi and Chang-Sik Ju

Key Words: Corrosive Wear Loss(부식마멸량), Wear Curve(마멸곡선), Generation Rate(생성률), Elimination Rate(배제율), Critical Sliding Distance(임계미끄름거리)

Abstract

This paper is studied to know corrosive wear mechanism of STS304 steel on atmospherical temperature against mating material as the same. The corrosive test was carried out by rubbing the annular surface of two test pieces in distilled water and NaCl aqueous soution. The corrosive wear mechanism was investigated by S.E.M. The experimental results show that there is one Lcr transferring from severe wear to mild wear on change of NaCl concentration and atmospherical temperature, and which is the other still remaining in severe wear state. It was found that the critical sliding distance Lcr shorten with increasing NaCl concentration but it is longer with ascending atmospherical temperature and the mild wear state still continues under the condition of high generation rate and elimination rate of the corrosive product. Considering upon the result, the model of corrosive wear mechanism is proposed.

1. 序 論

기계구조물 및 기계부품등은 실제 海水등의 부식환경 중에서 사용되는 경우가 많고 이를 부식환경 중에 있어서의 마멸에 대한 경우는 대기중의 일반마멸에 비하여 특히 환경과의 상호작용이 크며 마멸현상이 부식현상에 영향을 주기도 하고 반대로 부식현상이 마멸현상에 영향을 주기도 하는 기계화학적인 반응으로 수많은 인자가 복잡하게 상호작용하여 부식마멸기구에 관계되고 있다. 각종 부식환경 중에서의 마멸에 관한 연구로서 Vasilév⁽¹⁾는

시험재로서 탄소강, 스테인리스강 및 비금속을 이용하여 수산화나트륨 및 황산용액 중에서 마멸실험을 하여 마멸에 따른 전위의 거동을 추적하였고, 遠藤⁽²⁾등은 탄소강과 스테인리스강을 이용하여 이온교환수, 식염수, 염산 중에서 마멸실험을 하여 부식생성물의 윤활작용을 지적하고 있다. Tao⁽³⁾는 부식마멸은 산소소비량과 관계하고 있다는 것을 나타내고 있다. 遠藤⁽⁴⁾는 자연부식상태의 마멸률은 마찰속도의 증대와 더불어 부식액과 접촉하는 시간이 적기 때문에 감소하며 부식전위에서 얹어진 부식률은 하중의 증가와 더불어 증대한다고 서술하고 있다. Czichos⁽⁵⁾, 桜井⁽⁶⁾ 등은 서로 상대하는 고체표면과 환경의 상호작용은 주기적인 단계적과정으로서 표면돌기부가 열적 및 기계적으로 활성화되면

*정회원, 동아대학교 공과대학 기계공학과

**정회원, 동아대학교 대학원

표면돌기부의 온도가 상승하여 반응성이 증대하고 표면층의 기계적 성질이 변화하므로 표면층은 일반적으로 취성파괴하기 쉽다고 설명하고 있다. 또한 Yahagi⁽⁷⁾는 탄소강과 스테인리스강과의 NaCl수용액 중에서 부식전류를 측정하여 부식전류의 증대는 강의 부식마멸률과 관계가 있다고 하였고, 康⁽⁸⁾등은 오스템퍼링한 구상흑연주철의 NaCl수용액 중에서 부식마멸률은 NaCl농도의 증가에 따라서 부식생성물의 윤활작용으로 임계미끄름거리는 짧아진다고 보고하고 있다. 그러나 지금까지 부식마멸에 관한 연구는 상온에서 한정된 실험조건에 대한 결과이고 실제로 복잡한 인자를 가지는 부식용액의 분위온도에 따른 부식과 마멸사이의 상호관계 및 기계구조물, 기계부품등의 마찰이 일어나는 접촉부의 부식마멸기구에 대하여는 명확하지 않고 시급히 조사되어야 할 필요성이 있다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 내식성재료인 STS304강의 증류수 및 NaCl수용액의 부식환경 중에서 분위기온도에 따른 부식마멸기구를 규명하는 것을 목적으로 하였다.

2. 實驗方法

2.1 實驗材料

본 실험에 사용한 실험재료는 市販의 STS304강이며 이의 화학성분은 Table 1에, 기계적 성질은 Table 2에 표시하였다.

그리고 마멸실험을 위하여 Fig. 1과 같이 실험재를 원통형으로 가공하였으며 상대재는 동일재료를 사용하였다.

2.2 磨減實驗

부식마멸실험을 위하여 마찰마멸시험기를 제작하

Table 1 Chemical composition of STS 304 (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
0.06	0.44	1.42	0.031	0.018	8.19	18.38	0.0573

Table 2 Mechanical properties of STS 304

Yield strength (MPa)	Tensile-strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Hardness (HB)
343	852.6	66	77	146

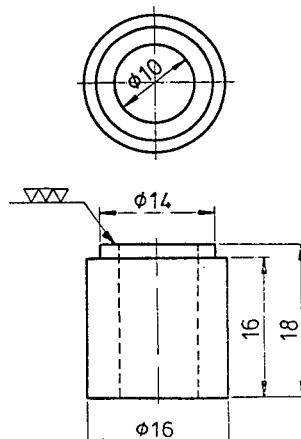


Fig. 1 Shape and dimension of wear testing specimen

였으며 Fig. 2에는 이의 개요도 및 선도를 나타내었다. Fig. 1과 같은 시험편을 에머리페이퍼 1200번까지 정밀 연마한 후 마찰면조도를 $R_{max}=0.1\mu m$ 로 하고 즉시 3분간 초음파세척후 건조시켜 시험기의 上下부에 시험편을 부착하여 각 실험조건에 따라 상부시험편을 회전시켜 그 단면이 순수미끄름

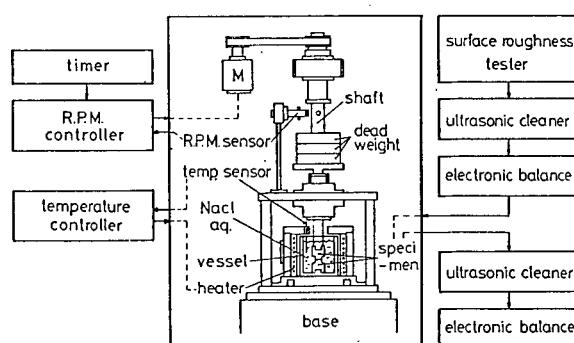


Fig. 2 Diagram of experimental apparatus

마찰이 되도록 하였다. 본 실험에서의 시험편의 형상은上下 원통형단면으로서 마찰중 마멸분제거는 행하지 못하였고 실험후에 마찰면에 부착된 마멸분 및 부식생성물을 제거하기 위하여 다시 3분간 초음파세척후 전조시켜 감도 0.1mg의 디지털천칭으로 그 중량감소량을 측정하였다. 그리고 부식용액인 종류수 및 NaCl수용액은 종류수에 각 중량비율로 식염을 용해시킨 0.1%, 1% 및 3% NaCl식염수를 사용하였고 NaCl수용액은 매회 교환하였다. 또한 시험용기는 250cc의 스테인리스 액조를 사용하였고 마찰열에 의한 부식용액의 온도상승을 억제하기 위하여 실험중 부식용액을 소량씩 첨가하여 분위기온도는 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다. 부식상태는 자연부식상태로 하였으며 부식용액의 분위기온도는 시험용기에 항온온로를 설치하여 온도제어기에 의하여 상온에서부터 40°C , 50°C , 70°C 및 90°C 로 변화시켰다. 그리고 부식용액중의 마멸실험에서는 대기중 전조미끄름 실험과는 달리 미끄름 속도의 증가는 부식액과의 접촉하는 시간이 적기 때문에 마멸률은 감소하므로⁽⁴⁾ 접촉 돌기부의 燃着이 일어나지 않는 비부착 영역으로 생각되는 미끄름 속도 0.3m/sec로, 또한, 접촉 하중은 24.01N으로 하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 磨減進行曲線의 溫度特性

Fig. 3에서 Fig. 6까지는 미끄름거리 L 을 단계적으로 증가시켰을 때의 각 부식용액중의 분위기온도

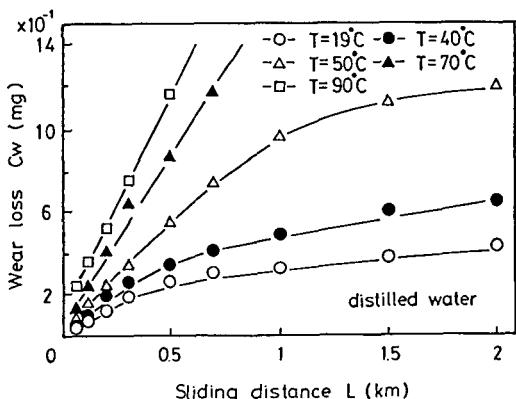


Fig. 3 Wear curves in corrosive wear loss with sliding distance for distilled water

에 따른 부식마멸량 C_w 의 마멸진행곡선을 나타내었다. Fig. 3의 종류수의 경우 상온에서 L 이 300m, 40°C 에서는 500m 그리고 액온이 50°C 에서는 1km까지 C_w 는 거의 직선적으로 상승하지만 그 이상의 미끄름거리에서는 천이를 일으키며 완만하게 상승하고 있다. 그러나 액온이 70°C 및 90°C 에서는 C_w 의 천이는 나타나지 않고 미끄름거리가 끝날 때까지 계속하여 직선적으로 증가하였다. Fig. 4의 0.1% NaCl수용액중에서는 종류수보다 짧은 L 에서 천이가 일어나며 C_w 도 적다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 5의 1% NaCl수용액의 경우는 0.1%NaCl수용액보다 짧은 L 에서 천이가 일어나지 만 종류수 및 0.1% NaCl수용액중에서 천이가 일어나지 않았던 액온 70°C 에서도 L 이 700m 부근에

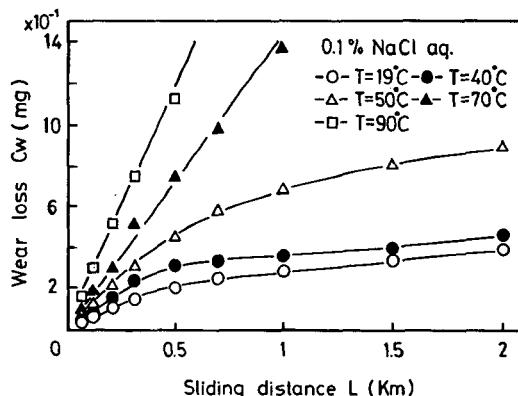


Fig. 4 Wear curves in corrosive wear loss with sliding distance for 0.1% NaCl aqueous solution

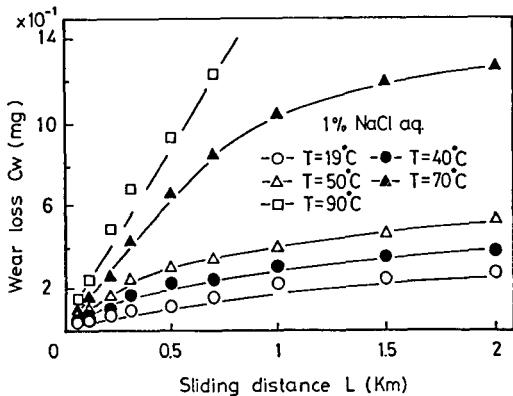


Fig. 5 Wear curves in corrosive wear loss with sliding distance for 1% NaCl aqueous solution

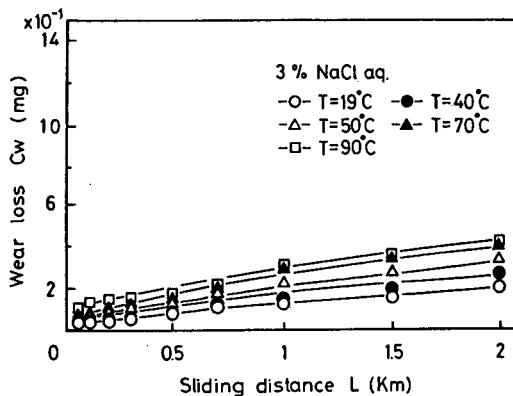
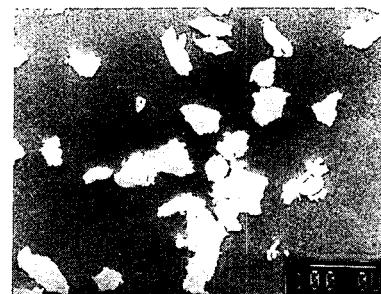


Fig. 6 Wear curves in corrosive wear loss with sliding distance for 3% NaCl aqueous solution

서 천이가 일어나고 있고, 90°C에서는 역시 천이가 나타나지 않았다. 그러나 Fig. 6의 3% NaCl 수용액에서는 각 온도에서 C_w 의 천이가 일어나는 L 을 상세하게 조사할 수는 없지만 액온이 90°C가 되어도 천이가 일어나지 않고 C_w 도 증류수 및 저농도의 NaCl 수용액보다 훨씬 적은 값을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 분위기온도를 변화시킨 각 부식용액에서 C_w 가 직선적으로 상승하는 임계미끄름거리 L_{cr} 까지는 실험 중 마찰음과 회전축방향의 진동도 크며 변동적이었고 마찰면에는 금속옹착마열의 양상을 나타내었지만 L_{cr} 이상의 L 에서는 마찰음도 적고 회전축방향의 진동도 안정되며 마찰면에는有色의 생성물이 미끄럼방향을 향하여 帶狀으로 분포하고 있었다. L 을 더욱 증가시키면 마찰면에는 생성물로 덮혀있는 외에 국부적으로 연마된 광택면이 존재하였고 이 상태에서의 수용액을 그대로 靜置시키면 황색의 부식생성물이 침전하였다. 각 부식용액 중에서 분위기온도 변화에 따른 C_w 가 직선적으로 상승하는 L_{cr} 까지는 양 금속의 미소돌기부의 연속적인 전단에 의하여 磨滅粉이 계면에 형성되어 이것이 계면에 移着 및 壓着하여 상대면을 연마해 나가는 重磨滅상태가 되며 L_{cr} 이상에서는 금속옹착으로 파단된 부동태막의 결손부에서 국부전지작용에 의한 부식반응이 활성화되어 계면에서 생성된 생성물이 윤활작용을 하는 輕磨滅상태가 계속되기 때문이라고 생각된다. 이와 같이 L_{cr} 을 경계로 중마열과 경마열상태의 마열분의 형상으로서 상온에서 1% NaCl 수용액의 것을 Fig. 7에 나타내었다. 중마열영역인 (a) L 이 100m에서 형성



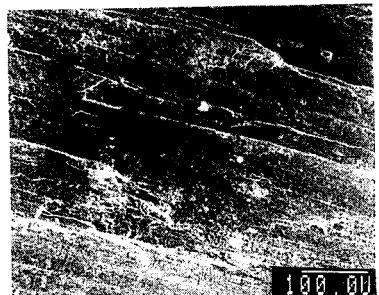
(a) $P=24.01\text{N}$
 $L=100\text{m}$



(b) $P=24.01\text{N}$
 $L=1\text{km}$

Fig. 7 S.E.M. of separated wear debris in 1% NaCl aqueous solution, $T=19^\circ\text{C}$

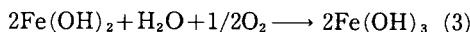
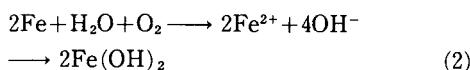
된 마열분은 경마열영역인 (b) L 이 1km의 것에 비하여 5~6배 정도로 크며 전단변형된 혼적을 볼 수 있다. 또한 Fig. 8에는 액온 50°C에서 1% NaCl 수용액에서의 중마열영역인 (a) L 이 200m와 경마열영역인 (b) L 이 1km일 때의 마찰면을 나타낸 것이다. (a)인 중마열영역에서의 마찰면은 금속옹착으로 粗大하며 약 100μm정도의 폭을 가진 미끄럼흔적을 볼 수 있지만 (b)인 경마열영역에서는 평탄하게 부식생성물이 마찰방향을 향하여 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 마열형태가 중마열에서 경마열상태로 천이하면 계면에 생성되는有色의 생성물이 직접적으로 영향을 미치게 된다고 생각된다. 본 실험에 사용한 실험재료는 STS304이고 이것은 靜的인 부식환경에서는 부동태로 되므로⁽⁹⁾ 내식성이 풍부하지만 마찰을 행하는 動的인 상태에서는 靜的인 상태에서 부동태를 만드는 보호막이 파단되어 표면이 활성화되어 국부전지에 의한 부식반응이 활발히 진행되며, 계면이나 용액중에 생성되는 생성물은 부식생성물이며 이 생성물의 성

(a) $P = 24.01\text{N}$
 $L = 200\text{m}$ (b) $P = 24.01\text{N}$
 $L = 1\text{km}$ Fig. 8 Views of the wear scar in 1% NaCl aqueous solution, $T = 50^\circ\text{C}$

분으로서 Fe산화물, Cr, Ni산화물, 수산화물 그리고 NaCl수용액중에서는 이외에도 염화물도 생성될 가능성도 있다고 생각되지만 이의 주성분으로 생각되는 Fe(OH)_3 에 대하여, 중류수중에서는 H_2O 가 水溫에 의하여 일정량의



가 되며 여기서 생성된 HOH양은 액온이 상승하면 감소하게 된다. 이 HOH와 Fe의 치환에 의하여 생성된 H_2 가 금속표면에 부착하면 반응이 저지된다. 따라서



물에 不溶의 Fe(OH)_3 가 되며⁽¹⁰⁾ NaCl수용액중에서는 NaCl의 전자작용에 의하여 국부적으로 반응이 가속화 된다⁽¹¹⁾. 즉 Cl^- 이온에 의하여 다음과 같이 되며

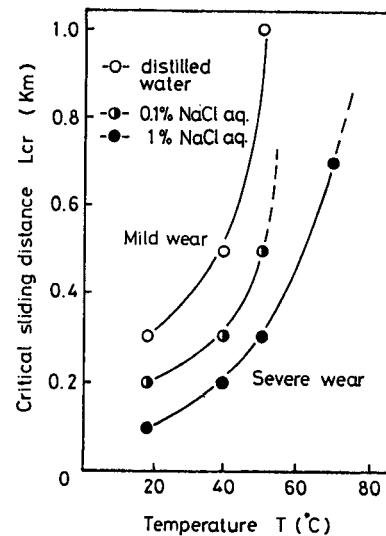
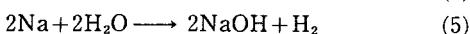
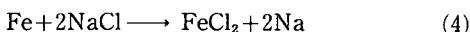
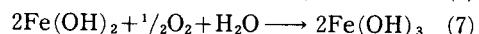
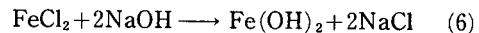


Fig. 9 Variation in critical sliding distance with temperature



NaCl에 의하여 수산화가 일어나기 쉽고 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 화학적 생성에 관하여서는 HOH양, 용존산소량 그리고 NaCl농도등의 조건이 관여된다고 생각된다. 이러한 부식생성물은 화학적 요인으로 환경에 존재하는 물질, 전기 및 열에 의하여 영향을 받는 생성물의 생성률과 기계적 요인으로 마찰력, 유체 압 및 전기적 요인에 의한 금속표면의 흡착력 및 용액중으로서의 배제율이 마멸형태에 직접적으로 영향을 미치게 된다고 생각된다. 이러한 부식생성물의 생성률과 용액중으로의 배제율이 Lcr 에 미치는 영향을 알기 위하여 Fig. 9 및 Fig. 10에는 각 부식용액에 있어서 분위기온도와 NaCl농도 변화에 따른 Lcr 를 나타내었다. 각 곡선의 하부는 중마멸 영역을, 상부는 경마멸영역을 표시한다. 각 온도에 있어서 농도가 증가할 수록 Lcr 은 짧아지며, Fig. 9에서처럼 곡선은 右下로 이동하고, 보다 높은 온도까지 중마멸에서 경마멸로 천이한다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 10과 같은 농도에서도 분위기온도가 상승할수록 Lcr 은 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 각 부식용액에서 액온이 상승하면 HOH 및 용존산소량이 감소하기 때문에 생성물의 생성률이 감소하여 또한 액체의 점도가 저하하여 생성물의 배제율이 조속히 진행되어 생성물이 계면

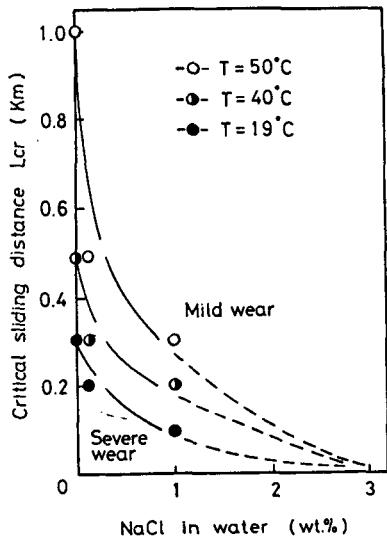


Fig. 10 Variation in critical sliding distance with wt percent of NaCl in water

에 잔류하기 어렵기 때문이라고 생각된다. 그리고 NaCl농도를 증가시킴에 따라 NaCl의 부식작용에 의하여 생성물의 생성률이 증가하여 생성물이 즉시로 생성하므로 초기의 중마멸영역이 짧게 된다는 것을 나타내고 있다.

3.2 磨滅에 미치는 溫度履歷 영향

Fig. 11에는 하나의 시험편에 대하여 0.1% 및 3% NaCl수용액에서 분위기온도를 변화시켜 이것이 마멸에 미치는 영향을 조사하였다. 즉 L 을 처음 500m는 상온에서, 다음 500m마다 액온을 단계적으로 상승시킨 후 다시 마지막 500m는 액온을 상온으로 용액을 교환하였을 때의 C_w 를 나타낸 것이다. 0.1% NaCl수용액의 경우 처음 상온에서는 초기의 중마멸을 한 후 약 250m를 지난 후부터는 정상적인 경마멸로 천이하고, 액온을 40°C 로 상승시키면 중마멸로 천이를 일으키고 액온이 70°C 및 90°C 에서도 그대로 중마멸상태가 계속되며, 다시 상온으로 용액을 교환하면 90°C 일 때의 중마멸의 영향이 일정기간 계속된 후 이윽고 다시 경마멸로 천이하였다. 그러나 3% NaCl수용액에서는 용액의 온도를 변화시켜도 마멸률은 거의 일정하며 계속하여 경마멸상태가 지속되었다. Fig. 12에는 0.1% NaCl수용액의 경우 상온 및 90°C 에

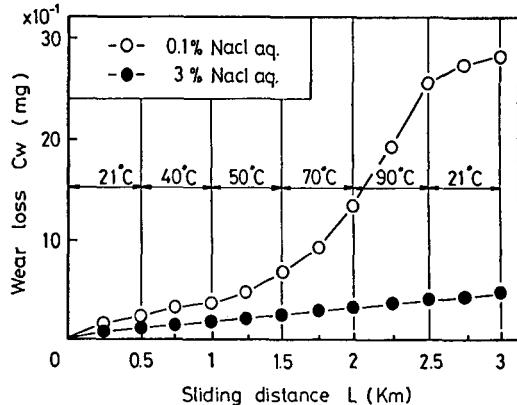


Fig. 11 Successive corrosive wear loss depending on the sliding distance in various temperature for 0.1% and 3% NaCl aqueous solution



(a) $P = 24.01\text{N}$
 $L = 200\text{m}$
 $T = 21^{\circ}\text{C}$



(b) $P = 24.01\text{N}$
 $L = 2.5\text{km}$
 $T = 90^{\circ}\text{C}$

Fig. 12 Successive corrosive wear loss depending on the sliding distance in various temperature for 0.1% NaCl aqueous solution

서의 마찰면과 종단면의 스테레오 사진을 나타낸 것이다. 상온 즉 (a) L 이 200m의 경우 마찰면에는 탈락된 마멸분이 移着되어 있고 종단면에는 크랙이 진전되면서 편상의 마멸분이 형성되어지는 것을 볼 수 있으며 90°C인 (b) L 이 2.5km의 경우 계속되는 중마멸로 마찰면에는 금속응착의 양상과 많은 크레이터가 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 0.1% NaCl수용액에서는 처음 상온에서 계면에 생성된 생성물은 40°C로 액온을 상승시켜도 표면에서의 흡착력이 크고 배제되기 어렵기 때문에 경마멸상태가 계속된다고 생각된다. 그러나 액온을 50°C로 상승시키면 표면의 생성물이 용액중으로 용해하기도 하고 배제율이 증가함과 더불어 용액중의 용존산소량이 감소하여 생성물의 생성율이 저하하기 때문에 마멸상태는 중마멸로 천이하게 된다. 일단 중마멸상태가 되면 생성물의 생성률이 계속 감소하여 C_w 가 증가하지만 액온을 70°C 및 90°C로 상승시키면 이 경향이 더욱 강하여 중마멸상태가 지속되지만 분위기온도를 상온으로 하면 다시 부식반응이 활성화되어 생성률이 증가함으로 경마멸상태로 천이하게 된다고 생각된다. 그러나 3% NaCl 수용액에서는 상온 및 40°C에서 생성된 생성물이 계속 증가하여 액온을 상승시켜도 생성물의 표면에의 흡착력으로 용액중에서 배제되기 어렵게 되므로 경마멸상태가 계속된다고 생각된다. 따라서 NaCl 농도가 증가할수록 용존 산소량이 적은 분위기온도에서도 생성물이 쉽게 생성되어 경마멸상태가 계속 유지될 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 腐蝕磨滅機構의 모델

본 연구에서 나타나는 마멸과정은 마찰초기의 중마멸상태에서 Lcr 을 지나면 경마멸상태로 천이하고 이 상태가 계속 지속되면서 정상적인 경마멸상태가 진행된다. 이때의 마찰면에는 부식생성물이 분포하게 되고 L 을 더욱 증가시키면 마찰면에는 국부적으로 연마된 광택면이 나타나게 된다. 따라서 STS304강의 부식마멸기구의 모델로서 대기중 건조미끄름 마멸기구의 모델⁽¹²⁾을 고려하여 Fig. 13과 같이 제안하였다. (a) 우선 마찰초기에는 부식생성물은 존재하지 않고, (b,c)에서처럼 계속 마찰이 진행되면 접촉은 양 금속면의 미소돌기부의 연속전단에 의한 소성변형으로 크랙이 생성, 진전되면서 큰 괴상의 마멸분이 형성되어 이것이 상대면에 移着 및 연삭되어 마찰면은 粗大하게 된다.

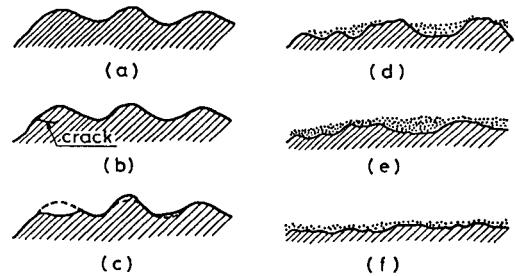


Fig. 13 Schematic representation showing details of the proposed model for corrosive wear process

(d) 이때 마찰면은 부동태피막의 파단부에서 부식이 일어나 부식생성물이 생성하기 시작하며 이 생성물의 일부는 용액중으로 배제되기도 하고 일부는 마찰면에 흡착되어 C_w 의 마멸진행곡선에서 Lcr 이 나타나게 된다. 마찰면에 생성되는 부식생성물은 저속의 미끄름 속도에서는 Lcr 의 증가에 영향을 미치며, 자연부식상태에서 미끄름속도의 增大는 마찰중 부식액과 접촉하는 시간이 적기 때문에⁽⁴⁾ 부식생성물의 생성이 저연되라고 생각된다. (e) 마찰이 진행됨에 따라서 마찰면에 흡착된 생성물은 증가하지만 계면에 부착된 일부분의 생성물은 연이은 마찰에 의하여 곧 제거된다. 이처럼 제거되는 과정에서 생성물은 금속의 凸부분을 연삭하면서 표면의 凹부분으로 접적하여 간다. 이 상태가 계속되면 정상적인 凹에도 진출하여 경마멸상태가 된다. 본 실험에 있어서 마찰면의 형상은 원통형단면이고 생성물은 마찰면에서 비교적 배제되기 어렵다고 생각되며 凸부분에 부착된 부식생성물은 원주방향으로 유출된다. (f) 계속되는 마찰에 의하여 이들도 조금씩 배제되지만 표면을 연마하면서 수용액중으로 배출되어 마찰면에는 국부적으로 연마면이 나타나게 된다. 이 상태가 더욱 진행되면 표면피로의 영향도 생각되지만 본 실험에서는 고려하지 않았다.

4. 結論

STS304강의 종류수 및 NaCl수용액 중에서의 분위기온도 변화에 따른 부식마멸기구에 대하여 마멸실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) NaCl농도 및 분위기온도에 따라서 중마멸에서 경마멸로 천이하는 Lcr 이 존재하는 경우와 중마멸상태만 계속되는 경우가 있다.

(2) NaCl농도가 증가할수록 생성물의 생성률의 증가로 Lcr 은 감소하며, 분위기 온도가 상승할수록 Lcr 은 증가한다.

(3) 부식생성물은 윤활작용을 하며 생성률이 높고 배제율이 낮은 조건에서는 경마열상태가 된다.

(4) 이 상의 결과를 고려하여 부식마열기구의 모델을 제안하였다.

참 고 문 헌

- (1) Vasić, I.V., 1962, "Wear-Test Methods for Materials under Friction and Wear in Machinery", p. 15.
- (2) 遠藤吉郎, 駒井謙治郎, 藤田大東, 1970, "腐飾環境中における金屬の磨耗", 日本機械學會論文集, Vol. 36, No. 298, pp.1961~1969.
- (3) Tao, F.F., 1968, "The Role of Diffusion in Corrosive Wear", ASLE. Trans, 11, pp.121~129.
- (4) 遠藤吉郎, 1987, "表面工學", 養賢堂, pp. 96~97.

- (5) Czichos, 1978, "Tribology Series I", Elsevier, pp. 123~124.
- (6) 桜井俊男, H.チコス, 1980, "トライボロジー", 講談社 サイエソティフィク pp.97~99.
- (7) Yoshiaki Yahagi and Yoshiyuki Mizutani, 1986, "Corrosive Wear of Carbon and Austenitic Stainless Steel in NaCl Solution", Wear, 110, pp.401~408.
- (8) 康明順, 全泰玉, 朴興植, 陳東圭, 1988, "오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 腐飾環境中의 磨減特性에 관한研究", 한국해양공학회, 제2권, 제2호, pp.287~295.
- (9) 趙鍾秀, 1979, "防飾技術 및 表面處理", 普成文化社, pp.60~61.
- (10) Mars G. Fontana, 1986, "Corrosion Engineering", McGraw-Hill, pp.16~17.
- (11) 遠藤吉郎, 1987, "表面工學", 養賢堂, pp.55~57.
- (12) 岩演明, 掘清, 工藤寛, 1986, "S45CとSUS304の磨耗に及ぼす溫度の影響", 潤滑, 第32卷, 第3號, pp 191~197.