

Fe계 Hardfacing용 합금의 Sliding마모 특성 (Sliding Wear Characteristics of Fe-based Hardfacing Alloy)

한양대학교 재료금속공학부 최세중·최진호·김준기·김선진
전력연구원 신형원전개발센터 백하충·고영·문주현·김학수
한국전력공사 원자력기술실 박규완

1. 서론

고온·고압 환경인 원전 1차계통에서 사용되는 밸브들은 우수한 내마모성 재료인 Co계 Stellite 합금으로 disk/seat 접촉면을 hardfacing하여 사용되어 왔다. 그러나 Co가 방사선장 형성의 주요 원인으로 밝혀짐에 따라 Co를 함유하지 않으면서 Stellite 합금 이상의 내마모성을 갖는 대체합금의 연구개발이 진행되었다. 현재까지 개발된 합금중에서 30ksi 정도의 고하중에서 Stellite 합금을 대체할 수 있는 유력한 재료는 EPRI에서 연구개발된 Fe계 NOREM 02A이다. Nitrogen이 중요 합금원소로 첨가된 NOREM 02A는 austenite 기지상이 낮은 SFE(stacking fault energy)를 가져 strain-induced martensitic transformation이 용이하고 이에 따른 높은 가공경화와 취성으로 인해 우수한 내마모성을 갖는 것으로 알려져 있다. 그러나 NOREM 02A의 내마모성은 galling 시험에 의해서만 평가되었을 뿐 실제 밸브 접촉면의 조건인 sliding에 대한 평가는 아직 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 NOREM 02A 합금의 대기중, 수중 및 고온 분위기에 따른 sliding 마모거동에 대하여 조사하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 NOREM 02A와 비교대상인 Stellite-6 시편은 Anchor Darling Valve Co.로부터 구입한 용접봉을 304SS에 GTAW로 hardfacing하여 제작하였다. Sliding 마모시험은 고하중 sliding friction machine을 사용하여 plate 위에 $\varnothing 6\text{mm}$ 의 시편이 stroke 9mm, 평균이동속도 5mm/sec로 왕복 sliding하도록 하였다. 마모실험은 대기중·상온, 대기중·300°C 및 수중·상온의 분위기에서 15ksi와 30ksi로 1000cycles까지 수행하여 마찰계수, 마모손실량과 표면조도 변화를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Stellite-6와 NOREM 02A의 분위기와 하중에 따른 마모량과 마찰계수를 Table 1.에 나타내었다. NOREM 02A는 비교시편인 Stellite-6에 비해 수중에서는 적은 마모량과 낮은 마찰계수를 보였고 대기중·상온에서는 Stellite-6와 비슷한 특성을 보였다. 그러나 대기중·300°C에서는 매우 극심한 마모 형태인 galling이 발생하였다. SEM 관찰결과 내마모성이 우수한 조건인 NOREM 02A의 수중과 전 Stellite-6의 마모시편 표면에서는 oxide film이 형성되어 lubricant 역할을 함으로써 우수한 내마모성을 보인 것으로 생각된다. 또한 NOREM 02A의 대기중·300°C에서 발생한 debris의 XRD 분석 결과 γ 상으로 나타난 것으로 보아 300°C의 고온에서는 NOREM 02A의 주된 마모기구인 $\gamma \rightarrow \alpha$ 의 strain-induced martensitic transformation이 발생하지 않아 극심한 plastic deformation에 의한 galling이 발생한 것으로 생각된다.

Table 1. Weight loss and friction coefficient of NOREM 02A and Stellite 6 in sliding wear test.

Test condition		in-Air at Room Temp.			in-Water at Room Temp.			at 300°C in-Air		
Specimen	Load	ΔW	μ_i	μ_s	ΔW	μ_i	μ_s	ΔW	μ_i	μ_s
NOREM 02A	15ksi	10.4	0.55	0.48	0.2	0.23	0.70	*679.0	0.45	0.50
	30ksi	*50.0	0.45	0.50	1.0	0.45	0.60	Severe galling		
Stellite 6	15ksi	10.1	0.72	0.33	0.8	0.35	0.45	21.4	0.41	0.27
	30ksi	14.3	0.52	0.27	7.4	0.51	0.49	45.0	0.53	0.24

Δw : weight loss (mg) after 1000cycles test, Δw^a : weight loss after 100cycles (mg)

μ_i, μ_s : friction coefficient at the initial and at steady state of sliding test