

서브머지드 아크 클래딩에 의한 표면 피복층의 마모특성

김권흡*, 강용규(인하대 대학원), 권오양(인하대 기계공학과), 육선평(인하대 기술공동연구소)

Wear Characteristics of Submerged-Arc Cladding

Quan-Qia Jin, Yong-Kyu Kang (Graduate school, Inha Univ.),

Oh-Yang Kwon (Inha Univ.), San-Ping Lu (Reseach Institue, Inha Univ.)

ABSTRACT

This paper is to investigate the wear behavior of submerged-arc clad materials by the wear test with a ball-on-disk type wear testing machine in air. The specimens were clad with Stoody105 alloy wire on a carbon steel (SM45C) substrate by submerged-arc cladding process under different welding parameters. The wear behavior of the cladding through ball-on-disk test has been studied under the wear load from 5N to 16N and sliding speed from 8cm/s to 35cm/s. The weight of the specimen loss was measured. Scanning electron micrographs of the worn surface show a layer of oxide film formed on the worn surface. Oxidation wear mechanism controls the wear process. The spalling of the oxide is caused by the repeated rubbing fatigue mechanism.

Key Words: Submerged-arc cladding, Wear, Stoody alloy

1. 서론

클래딩은 기계구조용 소재의 내마모성, 내식성 등 표면특성의 향상을 위해 널리 사용되고 있다. 아크용접에 의한 클래딩 방법은 용융이 가능한 대부분 재료에 적용 할 수 있고, 모재의 크기와 형상에 비교적 제한이 없고, 형성속도가 빠르고, 후막화가 가능하다. 특히 서브머지드 아크 클래딩은 회석율이 큰 단점을 갖고 있지만 점착율이 높고 장치원가가 낮으며, 자동화가 가능하고, 부품의 대 면적 코팅층의 형성이 가능한 장점으로 실제로 석유화학, 압력용기 등 분야에 널리 사용되고 있다. 지난 수십년간 아크 클래딩층의 표면특성에 관한 연구가 많이 이루어졌으나 실험조건 및 실험환경이 다르므로 실험수치가 많이 분산되어 있으며, 많은 연구는 주로 표면 코팅층의 조성분석, 비드특성, 회석율 등에^{1,2,3,4)} 대하여 연구가 이루어져 있으며, 특정한 환경에서의 마모기구에 대한 연구는 아주 적다. 또한 코팅층의 마모는 동일한 코팅이라도 사용환경에 따라 서로 다른 형태로 나타나며, 실제 접촉면에서는 한가지 이상의 마모기구가 동시에 작용하므로 연구자들 사이에도 의견들이 매우 다양하다.

따라서 본 연구에서는 구조용 재료로 많이 사용되는 SM45C 중 탄소강을 모재로, Stoody105 서브머지드 아크 용접용 와이어를 사용하여 여러 공정변수에서 코팅층을 형성하여 mild condition 에서 클래딩변수가 클래딩층의 마모거동에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시험편 제작

본 실험에서 사용된 모재는 구조용 재료로 많이 사용되는 SM45C 중 탄소강을 사용하고, 클래딩재료는 Stoody105 서브머지드 아크 용접용 와이어를 (Φ3.2) 사용하였다.

Table 1 Chemical composition of substrate and cladding wire (wt%)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
Wire	0.2	1.3	2.0			2.8	0.4	0.15
SM45C	0.43	0.24	0.77	<0.024	<0.025			

Table 1 에서 모재와 클래딩 재료의 조성을 나타낸다. 클래딩층과 모재 계면접촉 및 클래딩층의 품질향상을 위하여 모재표면의 산화막을 폴리싱 방법

Table 2 Processing variables for submerged-arc cladding

Wire feed rate (m/min)	2.1
Voltage (V)	38
Current (A)	300, 360, 420, 500
Travel speed (mm/s)	3.5, 5.0, 5.88, 7.14, 9.54

으로 제거하고 클래딩 전류와 클래딩 속도를 (Table 2) 변수로 하여 여러 변수에서 클래딩층을 얻었다. 마모시편은 소정의 크기 ($\Phi 30 \times 10$)로 가공한 뒤 표면을 $0.2\mu\text{m}$ 조도로 연삭한 후 아세톤으로 초음파 세척기에 15 분 세척한 후 사용하였다.

2.2 실험장치 및 실험방법

본 실험에서 ball-on-disk 마모시험기(CSEM TRIBOMETER)를 사용하였다. Fig. 1 에서 마모시험기의 구성도를 나타낸다.

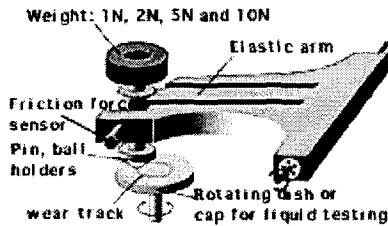


Fig. 1 A schematic diagram of wear tester

마모특성을 ball-on-disk 형의 상대재인 HRc62 의 경도를 갖는 베어링용 강구를 사용하여 마모조건은 상온하의 무 윤활상태에서 실험을 수행하였다. 본 실험은 두 단계로 나누어 수행하였다. 첫 단계에서는 일정한 공정변수에서 형성된 클래딩층에 대하여 마모하중을 5, 8, 12, 16N 으로, 마모속도를 8, 15, 25, 35cm/s 로, 마모거리를 500, 1000, 1500, 2000m 로 하여 마모실험을 수행하여 마모변수가 마모특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하고, 두 번째 단계에서는 마모거리 1500m 에서 하중을 12N 으로, 미끄럼속도를 15cm/s 하여 일정한 마모변수에서 여러 가지 클래딩 변수에 의해 형성된 클래딩층에 대하여 마모 실험을 수행하여 클래딩 변수가 마모특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 마모시험 후 0.1mg 정밀천칭으로 마모된 부피를 구하고, 주사전자현미경으로 마모면을 관찰하였다. 클래딩층의 기계적 특성으로는 경도측정을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마모변수에 의한 클래딩층의 마모특성

Fig. 2 에서 마모변수와 클래딩층의 마모관계를 나타낸다. 그림에서 일반적인 경향과 마찬가지로 마모하중, 마모속도, 마모거리의 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. 마모거리에 따른 마모량의 측정결과를 보면 첫 500m 에서 마모량이 급속히 증가하며 마모거리가 증가하면서 마모량이 다소 작아지며 어느 정도 마모되는 정도가 일정

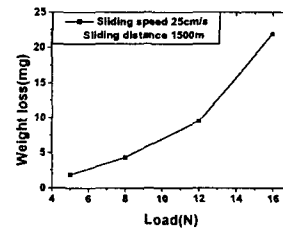
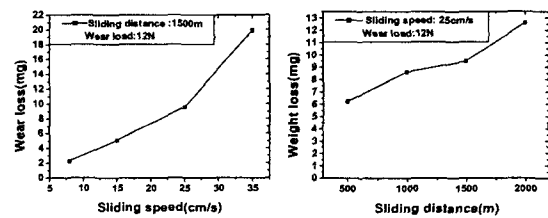


Fig. 2 Relationship between weight loss and wear parameters

하게 유지되는 것을 알 수 있다. 즉 초기마모 및 정상마모 구분이 명확한 것으로, 이것은 마찰초기에 상대 마찰면 사이에 친화력이 없는 상태에서 초기 마모량이 크고 마모가 진행되면서 마모분말의 자기 윤활작용 및 산화에 의한 것으로 사료된다.

3.2 클래딩 공정변수에 따른 마모특성

Fig. 3 에서 클래딩 변수와 클래딩층의 마모관계를 나타낸다. 그림에서 클래딩 전류가 증가함에 따라 클래딩층의 희석율이 커지며 경도는 낮아졌지만 마모량은 오히려 줄어드는 경향을 나타낸다. 이것은 마모면의 고찰에 의해 마모는 주로 산화에 의하여 진행되었으며 표면피로에 의한 박리와 응착마모도 발생하였다. 응착부가 탈락되고 전이되는 것으로 인해 생기는 응착마모시 마모량은 하중에 비례하고 경도에 반비례 한다고 이미 보고 된 바 있다. 클래딩 속도와 마모량의 관계를 보면 클래딩 속도 변화에 따라 마모량이 다소 변화가 나타났으나 전

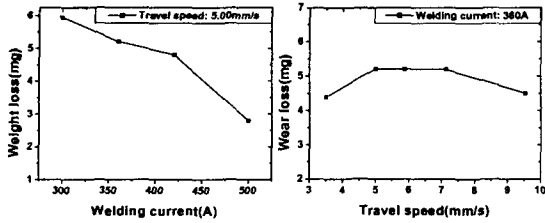


Fig. 3 Relationship between weight loss and cladding parameters

체적으로 비슷한 범위의 수치를 나타내고 있다. 즉 클래딩 속도에 비해 클래딩 전류가 마모량에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있다.

3.3 기계적 특성

클래딩층의 기계적 특성으로 경도측정을 하였다. 클래딩 표면에 5 점을 택하여 경도를 측정하여 평균치를 구하였다. Fig. 4에서 클래딩 표면의 경도와 클래딩 전류 및 클래딩 속도와의 관계를 나타낸다.

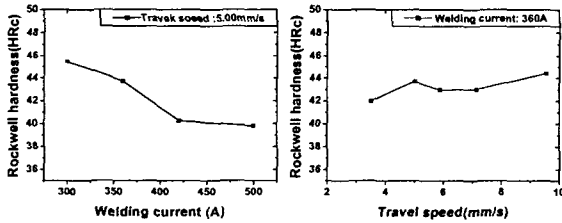


Fig. 4 Relationship between surface hardness and cladding parameters

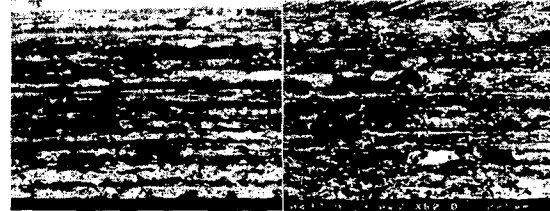
클래딩 표면의 경도는 클래딩 전류가 증가함에 따라 경도는 하강하는 양상을 나타내고, 클래딩 속도가 증가함에 따라 경도는 다소 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 클래딩 전류가 증가함에 따라 클래딩층의 두께가 다소 감소하고 모재로 인한 회석의 영향이 크게 되어 클래딩재의 합금원소가 모재에 용융된 것으로 사료된다.

3.4 마모기구 관찰

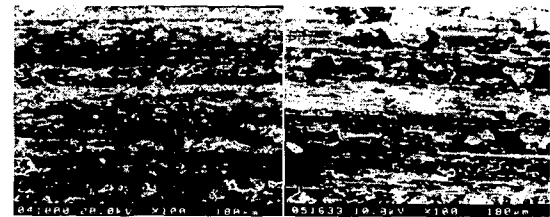
여러 가지 마모조건 및 클래딩 조건에서 수행한 마모면의 SEM 관찰 결과를 Fig. 5에서 나타낸다.

Fig. 5(a)에서 하중 5N에서 마모면에 흰 산화물로 싸여져 있는 것을 볼 수 있다. 마모하중 및 마모거리가 증가함에 따라 클래딩층이 떨어져 나간

검게 응착된 모습으로 나타내며, 클래딩 속도 9.54mm/s와 5mm/s에서 거의 일정한 모습을 나타낸다. SEM 조직에서 검게 응착된 부분들은 클래딩 표



(a) (b)



(c) (d)

- (a) Wear parameter: 5N, 25cm/s, 1500m
Cladding parameter: 5mm/s, 360A
- (b) Wear parameter: 12N, 25cm/s, 1500m
Cladding parameter: 5mm/s, 360A
- (c) Wear parameter: 12N, 25cm/s, 500m
Cladding parameter: 5mm/s, 360A
- (d) Wear parameter: 12N, 25cm/s, 1500m
Cladding parameter: 9.54mm/s, 360A

Fig. 5 SEM micrographs of worn surface

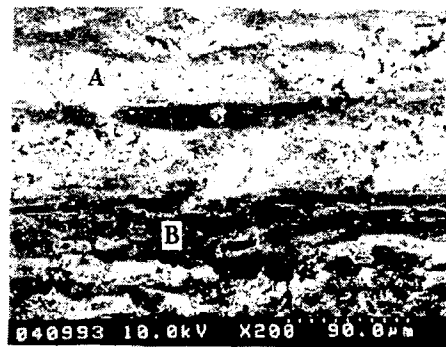


Fig. 6 SEM micrographs of worn surface

면에서 상대적으로 돌기 된 부분이며 마모도중 더

후 기

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(KRF99-005-E00006)

참고문헌

1. V. D. Mallya, H. S. Srinivas, "Bead Characteristics in Submerged Arc Strip Cladding", *Welding J.*, Vol. 68, No. 12, pp. 30~36, 1989.
2. Damian J. Kotecki, "Dilution Control in Single-Wire Stainless Steel Submerged Arc Cladding", *Welding J.*, Vol. 75, No. 2, pp. 35-s~45-s, 1996.
3. R. S. Chandel, H. P. Seow, F. L. Cheong, "Effect of Increasing Deposition Rate on the Bead Geometry of Submerged Arc Welds", *J. Mat. Processing Technology*, Vol. 72, pp. 124-128, 1997.
4. N. Murugan and R. S. Parmar, "Effect of Welding Conditions on Microstructure and Properties of Type 316L Stainless Steel Submerged Arc Cladding", *Welding J.*, Vol. 76, No. 5, pp. 210-s~220-s, 1997.
5. Y. S. Kim, Y. H. Kim, "Sliding Wear Behavior of Fe₃Al-based Alloys", *Mat. Science and Engineering*, A258, pp. 319-324, 1998.
6. 서성문, 이보영, 이상율, "기계적 합금화한 Ni-base 자용성 합금 분말의 용사 및 코팅층의 마모 특성에 관한 연구", *대한금속학회지*, Vol. 34, No. 7, 1996.

많은 하중을 받은 부분이라 할 수 있으며, 이들은 마찰열로 인해 산화가 다른 부분에 비해 더 많이 진행되었으며 반복하중에 의해 탈락된 것으로 사료된다. 또한 응착된 부분들은 수직방향의 균열을 포함하였으며 이것은 코팅층내의 균열, 기공이나 개재된 산화물등에서 시작한 코팅층 사이의 균열이 상대재인 볼의 연속적인 반복하중에 의한 표면피로

Table 3 Chemical compositions measured at worn surface

Location		O	Si	Cr	Mn	Fe
A	Wt(%)	8.13	1.09	2.05	1.49	86.44
	at(%)	25.24	1.75	1.79	1.22	70.00
B	Wt(%)	0.00	1.13	2.47	2.03	94.38
	at(%)	0.00	2.21	2.62	2.03	93.14

에 의해 박리되었다고 사료된다. Fig.6 에서 흰 산화막층과 회색층에 대한 EDS 분석결과를 Table 3 에 나타낸다.

4. 결론

서브머지드 아크 클래딩 방법을 통해 여러 가지 변수에서 SM45C 중 탄소강에 Stooddy 105 클래딩층을 형성하여 ball-on-disk 형 마모시험기에서 무 윤활 건조마찰상태에서 클래딩층에 마모시험을 수행하였다. 마모시험을 통하여 서브머지드 아크 클래딩층의 마모특성을 검토한 결과 다음과 같다.

1) 일정한 공정변수에서 형성한 클래딩층에 대한 마모시험결과 일반적인 경향과 마찬가지로 마모하중, 마모속도, 마모거리증가에 따라 마모량이 증가하며, 초기마모와 정상마모 구분이 명확하다.

2) 여러 가지 변수에서 형성한 클래딩층에 대한 마모시험결과 마모량이 클래딩 속도에 대하여 다소 변화가 나타났으나 전체적으로 비슷한 수치를 보이고, 클래딩 전류의 변화에 대하여 300A~500A 범위에서 전류가 증가함에 따라 마모량이 줄어드는 양상을 보여주고 있다.

3) 마모면에 대한 SEM 관찰결과 주로 산화에 의한 마모가 발생되었으며 상대재 볼의 반복하중에 의한 피로 박리와 응착마모도 발생되었다.

4) 경도측정결과 클래딩층의 표면경도는 클래딩 전류가 증가함에 따라 경도는 낮아지고 클래딩 속도가 증가함에 따라 경도는 다소 증가하는 경향을 보인다. 이는 전류가 증가하고, 클래딩 속도가 낮을수록 클래딩층의 회색율이 커지며 클래딩재의 합금원소가 모재에 회석되기 때문이라 사료된다.