

저항클래딩법을 응용하여 형성된 내마모성 WC-6.5Co 클래딩층의 미크로조직 특성

이진우* · 고준빈** · 이영호***

*충남대학교 공과대학 기계공학과

**한밭대학교 공과대학 기계설계공학과

***충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단

Characterization of Microstructure of WC-6.5%Co Cladding Layer by Electric Resistance Welding

Jinwoo Lee*, Junbin Ko** and YoungHo Lee***

*Mechanical Engineering at Chungnam National University, Deajeon 305-764, Korea

**Division of Mechanical Engineering Hanbat National University, Deajeon 305-719, Korea

***BK21 Mechatronics group at Chungnam National University, Deajeon 305-764, Korea

Abstract

This study deals with characterizations of microstructure and wear performance of a cladding layer, product on 1.9 mm-thick mild steel plate by the electric resistance welding, of composite metal powder of Coarse WC-6.5%Co and high carbon alloy (SHA). The cladding layer was examined and tested for microstructural features, chemical composition, hardness, and bondability.

The cladding layer have two different matrix were observed by an optical microscope and EPMA. The one was the coarse WC-6.5Co structure. The other was the melted SHA with surrounding the WC-6.5Co structure. The hardness of WC-6.5Co was 1210HV. The hardness of SHA was 640HV.

*Corresponding author : hani36@msn.com

(Received May 21, 2007)

Key Words : Cladding ; Electric resistance welding ; Wear performance

1. 서 론

마모는 기계부품의 수명과 작동상태를 결정하는 중요한 요인으로써, 전반적인 산업설비에 대해 발생하기 때문에 그 유지, 보수에 막대한 비용이 사용되고 있다¹⁻³⁾. 따라서 마모에 대하여 재료의 내마모성을 개선시키는 여러가지 내마모 표면개질 기술이 주목 받고 있다. 특히, 1mm 이상의 두꺼운 피막을 형성할 수 있는 클래딩 용접이 내마모 표면개질기술로써 권장되고 있다^{4,5)}. 그러나 주로 아크, 플라즈마 아크 및 레이저를 열원은 이용하는 클래딩 용접은 파워밀도가 높고, 제어성이 우수한 반면, 모재를 용융 및 희석시키기 쉽고 기공 등의

용접결함의 발생과 설비비가 고가라는 문제가 보고 되고 있다^{6,7)}. 또한 박판의 모재에 용접을 할 경우 모재의 열변형, 천공 등의 문제가 발생하여 재료의 경량화를 달성하기 어려운 문제점이 있다⁸⁻⁹⁾.

본 연구에서는 내마모성이라는 재료의 복합화와 함께 경량화라는 목표까지 달성하기 위하여, 클래딩 방법으로 경질 재료에 열적 영향을 거의 주지 않는 전기저항 심용접법을 채택하였다.

그리고 초경합금(WC-6.5Co)과 高炭素 鐵粉末(SHA)의 혼합분말을 내마모성재료로써 이용하여 저항 클래딩법으로 두께 2mm의 일반 냉간 압연강판(SPCC) 위에 약 1mm의 클래딩층을 형성하였다. 그리고 클래딩 층의 금속학적 특성, 경도, 및 내마모특성에 대하여 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험 방법

2.1 실험재료

본 연구에서는 모재로써 일반 냉간압연강판 (SPCC) 사용하였다. SPCC의 합금조성을 Table 1에 나타내었다.

경질재료로는 조립초경합금(WC-6.5Co)를 사용하였다. 조립초경합금은 약 10 μ m의 크기의 WC입자와 Co 입자를 혼합 소결 시킨 분말체이다. 조립초경합금은 입경 600~850 μ m 사이의 것을 선별하여 사용하였다. 초경합금의 화학조성과 입도분포를 Table 2, 3에 각각 나타내었다. 또한 조립초경합금분말의 SEM상을 Fig. 1에 나타내었다.

결합재 (Binder) 로는 높은 경도값(800HV) 과양호한 내산화성 및 내식성을 갖추어 본래 고온 내마모 용사재로 개발되어진 高炭素鐵粉末 (SHA)를 사용하였다. 또한 SHA는 양호한 내산화성 및 내식성도 갖추고 있다고 알려져 있다. SHA의 화학조성과 입도분포를 Table 4, 5에 각각 나타내었다. 또한 SHA의 SEM상을 Fig. 2에 나타내었다.

2.2 실험방법

경질재인 조립초경합금과 결합재인 고탄소철분말(SHA)를 7:3의 중량 비로 혼합하여 내마모성 혼합 분말을

Table 1 Chemical composition of SPCC used (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Fe
SPCC	0.025	Tr.	0.110	0.0018	0.011	Bal.

Table 2 Chemical composition of WC-6.5Co(mass%)

T.C.	F.C.	Co	W
5.75	0.01	6.5	Bal.

Table 3 Particle size distribution of coarse WC-6.5%Co

μ m	+850	+800	+750	+650	-650
%	1.0	22.3	28.9	45.8	2.0

Table 4 Chemical composition of SHA used (mass%)

C	Si	Cr	Mo	Ni	Fe
4.99	0.99	9.84	4.92	4.83	Bal.

Table 5 Particle size distribution of SHA

μ m	+180	+150	+106	+75	-75
%	1.3	5.0	24.5	41.7	27.5

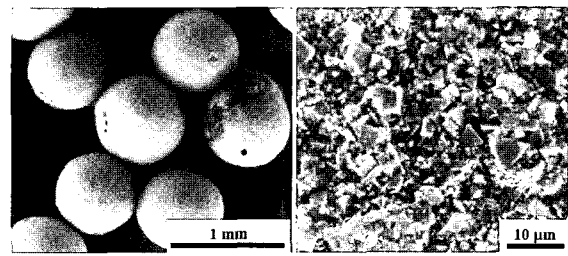


Fig. 1 SEM image of coarse WC-6.5%Co

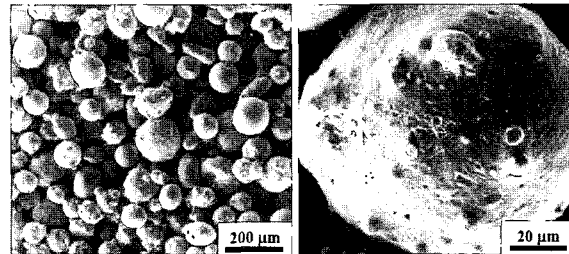


Fig. 2 SEM image of SHA

제작하였다. 혼합 분말을 Microbrazz-세멘트 용액과 에탄올을 1:10의 비율로 묽게 한 혼합액을 접착제로써 사용하여 Fig. 3과 같이 SPCC 위에 2×10×250mm의 형상으로 도포하였다. 이 시험편을 실온에서 4시간 이상 건조 후, Fig. 4와 같이 심 용접기를 이용하여 용접 전류 2.7 kA, 전극 가압력 196 N 및 용접속도 1.0 m/min의 용접조건으로 클래딩을 행하였다. 클래딩을 행하는 동안, 분말층을 충분히 가열하기 위하여, 또한 용접기의 전극을 보호하기 위하여 분말층의 윗부분에 두께 50mm 의 SUS304-foil배치하였다. 제작된 클래딩층에 대하여 광학현미경 및 SEM을 이용하여 클래딩

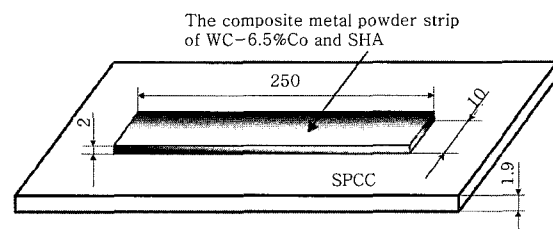


Fig. 3 Shape and dimension of specimen before cladding

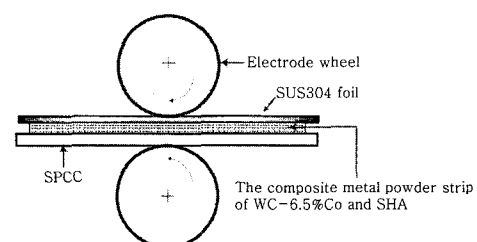


Fig. 4 Schematic diagram of electric resistance cladding

층의 마이크로 조직을 관찰하였다. 클래딩층의 서로다른 조직간의 면적률과 기공률은 MC-scope라는 그래픽 프로그램을 이용하여 산출하였다. 또한 클래딩층 내부의 원소분포를 EPMA를 이용하여 확인하였다. 클래딩층의 경도는 마이크로 비커스 경도시험을 통하여 측정하였다. 또한 클래딩층에 대하여 3점 굽힘시험을 하여 클래딩층과 모재와의 접합성 및 클래딩층 내부 조직간의 접합성을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 클래딩층의 마이크로 조직

Fig. 5에 조립초경합금을 내재하는 클래딩 층의 마이크로 조직을 나타내었다. Fig. 5-(a)로부터 클래딩층의 단면의 전체적인 형상을 확인할 수 있다. 클래딩층은 모재인 SPCC위에 약 1mm의 균일한 두께로 형성되어 있다. 클래딩층 안의 흰색의 구형조직들이 조립 초경합금이다. 또한 이러한 조립 초경합금 입자를 둘러싸고있는 조직은 SHA조직이다. 클래딩층과 SPCC의 경계부

에는 검은 벨트상의 계면조직의 존재가 확인 되어진다. 전체적인 클래딩 층의 단면 관찰결과, SHA조직은 초경합금 입자와 접합하여 복합체 클래딩 층을 형성하고, SPCC와도 접합하여 결합재로서의 역할을 하고 있는 것이 확인된다.

Fig. 5-(b)에 클래딩 층 내의 조립초경합금입자 및 SHA조직의 계면의 마이크로 조직을 나타내었다. 조립 초경합금입자와 SHA조직의 경계부에, 조립 초경합금 입자 외측에 두께 약 15 μ m의 확산 층이 형성되어 있는 것이 관찰된다.

Fig. 5-(c)에는 SPCC와 클래딩층의 계면의 마이크로 조직을 나타내었다. 계면조직은 클래딩층으로부터 원소 확산에 의해 SPCC측에 두께 약 20 μ m의 펄라이트 조직이 균일하게 형성되어 있는 것이 관찰되었다. 클래딩 층과 SPCC의 접합계면에는 기공 및 크랙 등의 결함은 관찰되지 않았다. 또한 클래딩층을 구성하고 있는 조직들의 면적률을 계산한 결과, 조립초경합금조직은 클래딩층의 단면적의 약 57%를 차지하고 있는 것과 SHA 조직은 클래딩층의 단면적의 약 43%를 차지하고 있는 것이 확인되었다.

Fig. 6에 클래딩 층의 SEM상과 EPMA 선분석 결

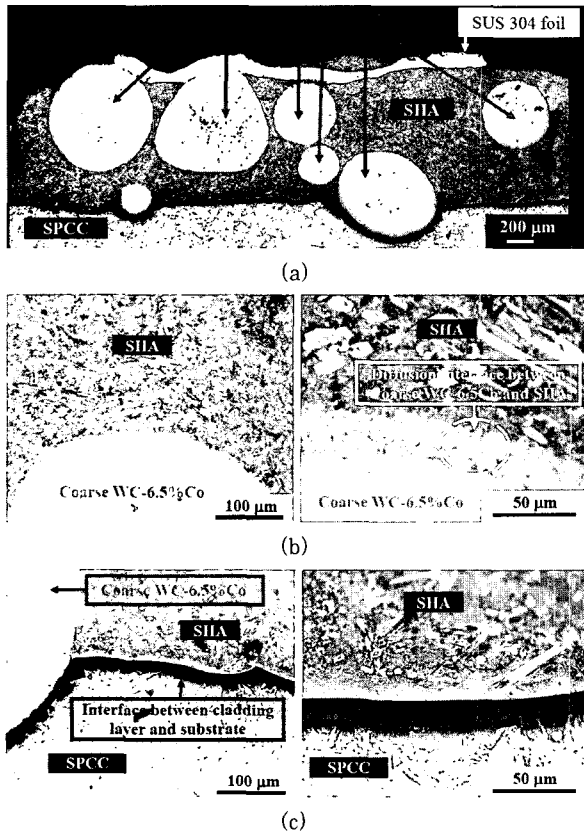


Fig. 5 Microstructure of the cladding layer (a) The whole shape of the cladding layer cross section (b) Interface between coarse WC-6.5Co and SHA (c) Interface between the cladding layer and the base metal

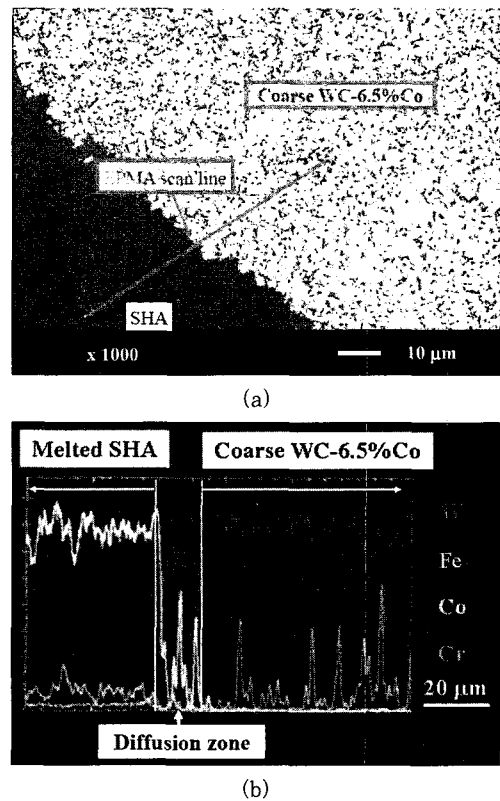
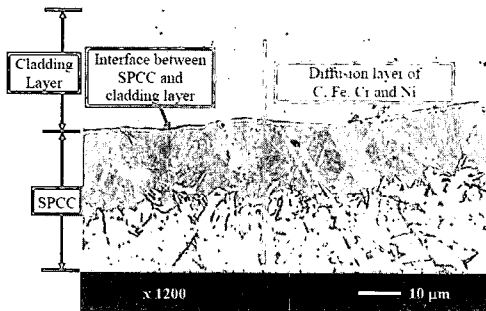


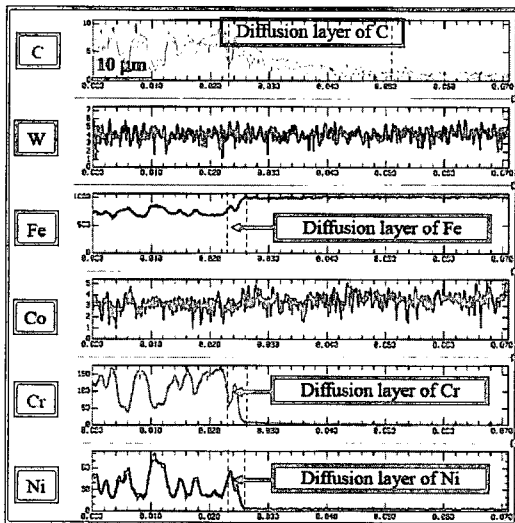
Fig. 6 Microstructure of the cladding layer (a) SEM image of interface between coarse WC-6.5Co and SHA (b) Results of line EPMA

과를 나타내었다. Fig. 5의 광학 현미경의 미세 조직 관찰에 의해 확인되었던 조립 초경합금 조직 및 SHA 조직의 계면조직의 접합상태 및 확산 현상을 명확히 하기 위해, SEM 像 관찰 및 초경합금의 성분인 W 및 Co 원소와 SHA의 성분인 Fe, Cr 원소에 대하여 EPMA 線분석을 실행, 그 결과를 Fig. 6-(b)에 나타내었다. SHA의 성분인 Fe 및 Cr성분이 초경합금 입자내부에 약 15 μ m 확산되어 있는 것이 확인된다. 또한 소량이지만, W 성분이 SHA 조직에서도 검출되었다. 이것은 클래딩 공정 중, 미량이지만 조립 초경합금의 WC 입자가 분해되어 W이 SHA 조직 내부에 확산되었다고 사료된다.

Fig. 7에 클래딩층과 SPCC계면의 SEM 상 및 EPMA 線분석 결과를 나타내었다. SEM 상의 윗부분부터 클래딩 층, 계면조직, SPCC조직이 순차적으로 배열되어 있는 것이 관찰된다. EPMA 결과로부터, C는 확산되기 쉬운 원소이기 때문에 클래딩 층과 SPCC 접합계면으로부터 SPCC 측에 약 20 μ m 까지 확산하여 펄라이트 조직을 형성하고 있는 것이 확인 된다. 그리고, SEM상의 계면조직의 폭이 약 20 μ m 인 것은 C의 확산



(a) SEM image



(b) line EPMA

Fig. 7 SEM image and line EPMA of interface between SPCC and the cladding layer

거리와 밀접한 관계가 있다고 사료된다. 또한 Fe, Cr 및 Ni 성분은 SPCC와 클래딩층의 접합계면에 폭 약 2 μ m의 확산층을 형성하고 있는 것이 확인된다.

3.2 클래딩 층의 형성 메커니즘

Fig. 8에 조립 초경합금의 70mass%, SHA 30mass%의 혼합 분말을 내마모재로서 사용하여 저항 클래딩 방법에 의해 형성된 초경합금을 내재하고 있는 클래딩 층의 형성 메커니즘을 나타내었다. 프로세스 1에는 클래딩을 행하기 전의 조립 초경합금 및 SHA 입자가 혼합 분말 내에 배열 고정되어 있는 형상을 나타내었다. 프로세스 2에는 배열 고정되어 있는 조립 초경합금 입자 및 SHA 입자의 사이에 전류가 흐르는 과정을 나타내었다. 프로세스 3에는 조립 초경합금 입자 및 SHA 입자 사이에 전류가 흐름에 따라 그 접촉부에 접촉저항에 의한 줄 열이 발생하는 과정을 나타내었다. 프로세스 4에는, 줄 열의 발생에 의해 SHA입자가 불완전 용융 및 용융하는 과정을 나타내었다. 또한 SHA입자와 조립 초경합금의 계면에서의 미량의 WC 와 Co성분이 용융하는 과정을 나타내었다. 프로세스 5에는 저항 클래딩의 전극 가압력의 영향에 의해 용융 SHA가 유동하여 용융된 SHA의 표면과 조립 초경합금이 합체하는 과정을 나타내었다. 프로세스 6은 용융된 SHA가 응고되어 조립 초경합금 입자와 접합하고 SHA조직 및 초경합금 조직의 복합조직을 형성하는 과정을 나타내었다. 프로세스 2 부터 5까지를 나누어 별도의 과정으로 분리하여 설명하였지만 이런 과정들은 실제의 클래딩

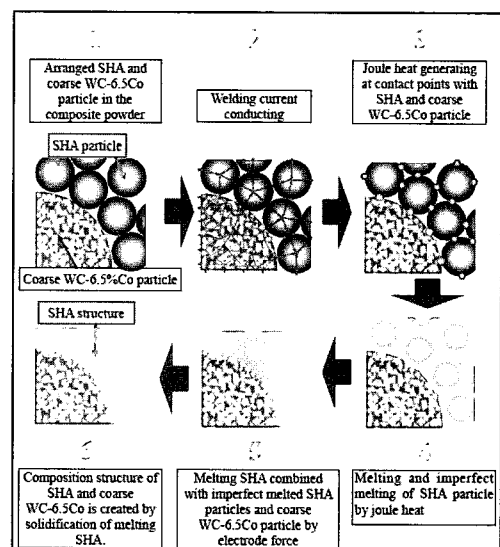


Fig. 8 Schematic diagram of mechanism that cladding layer is formed by electric resistance weld

공정 중에는 동시에 발생되어 클래딩층을 형성하는 때 카니즘이 된다.

3.3 클래딩층의 경도

Table 6에 저항클래딩법에 의해 형성된 클래딩층의 조립초경합금 및 SHA조직의 경도 및 이 조직들의 면적률을 나타내었다. 그리고, Fig. 9에 비커스 경도시험에 의한 압흔이 들어간 클래딩층의 조립초경합금조직 및 SHA조직의 마이크로 조직을 나타내었다.

클래딩층의 면적에 대한 조립초경합금 조직과 SHA 조직의 면적률은 각각 57%와 43%를 점하고 있는 것이 확인되었다. 또한 클래딩층의 내부의 기공률은 1% 이하 인것으로 확인되었다. 또한 조립초경합금조직은 1210HV 경도를 나타내고 있다. 또한, SHA조직은 610~640HV 경도를 나타내고 있다. 이러한 클래딩층을 구성하고 있는 조직들의 면적률 및 경도분포 결과로부터, 저항클래딩법에 의해 형성된 클래딩층은 전체적으로 내마모재로서 만족되는 경질조직으로 구성되어있다고 사료된다.

3.4 클래딩층의 접합성

Fig. 10에 클래딩층의 3점 굽힘시험 전후의 마크로 관찰 및 굽힘시험 후의 시험편을 용접선 방향으로 절단하여 그 단면의 마이크로조직을 나타내었다.

굽힘시험 전의 클래딩층의 표면은 연삭가공을 행하여 매끈하게 가공되어 있는 것이 확인된다(Fig. 10-(a)). 굽힘시험 후의 클래딩층의 표면은 용접선의 수직방향으로 다수의 크랙이 발생되어있는 것이 확인된다(Fig.

Table 6 Hardness and area fraction of two microstructures in cladding layer

	Coarse WC-6.5Co	SHA
Hardness	1210HV	610~640HV
Volume fraction	57%	43%

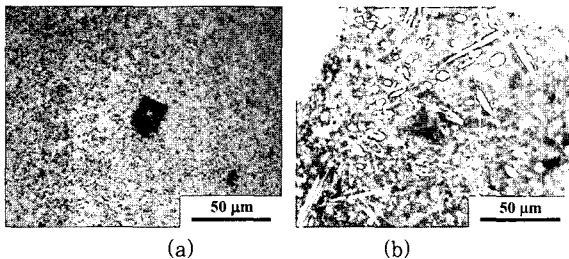
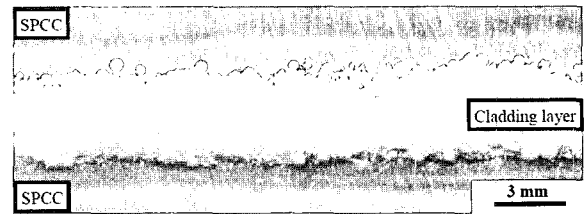
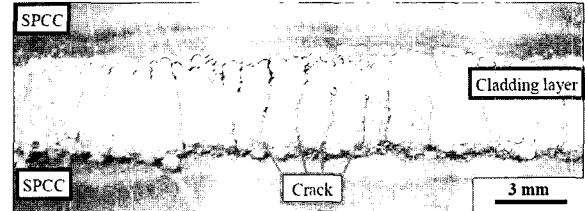


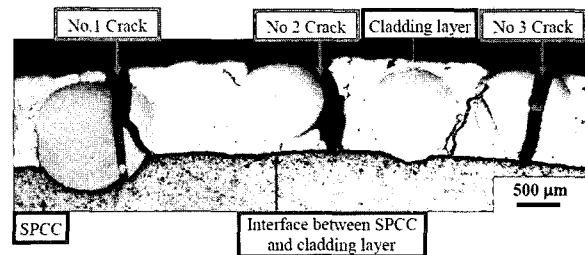
Fig. 9 Micro-Vickers hardness test of the cladding layer Indentation shape on coarse WC-6.5Co Indentation shape on SHA



(a) Macro image of cladding layer before bending test



(b) Macro image of cladding layer after bending test



(c) Microstructure of cladding layer after bending test

Fig. 10 Results of bending test for the cladding layer

10-(b)). 굽힘시험에 의해, SPCC와 클래딩층의 동시에 소성변형이 발생한다. SPCC의 소성변형역이 넓기 때문에 파괴되지 않지만 경질조직으로 구성된 클래딩층의 소성변형역을 초과하기 때문에, 다수의 크랙이 클래딩층에 생성되는 것으로 사료된다. 그러나 이런 다수의 크랙이 발생에도 불구하고, SPCC로부터 클래딩층의 박리는 관찰되지 않았다.

Fig. 10-(c)로부터 클래딩층에 대하여 수직방향으로 생성된 3개의 크랙이(1,2,3번)이 관찰된다.

1번 크랙은 클래딩층의 표면에서 발생하여 SHA조직을 통과하여 조립초경합금 내부에 전파되어 조립초경합금의 내부에서 2개로 분할되어 SPCC와의 계면까지 전파되어 있는 것이 관찰된다. 또한, 3번 크랙은 클래딩층의 표면의 초경합금조직에서 발생, 초경합금입자를 관통하여 SHA조직을 곧바로 관통하여 SPCC의 계면까지 전파된 것이 관찰되었다. SPCC와 클래딩층의 수직방향에 다수의 크랙이 발생함에도 불구하고 클래딩층과 SPCC의 계면방향에는 크랙 및 박리는 관찰되지 않았다. 이상의 결과로부터 클래딩층과 SPCC의 접합성은 양호한 것으로 사료된다. 또한 크랙이 클래딩층의

내부의 조직에 관계없이 전파되는것으로부터 클래딩층의 내부의 초경합금조직과 SHA조직의 접합성도 양호한것으로 사료된다.

4. 결 론

1) 저항 클래딩법에 의해 형성된 내마모성 WC-6.5Co 클래딩 층은 줄 열에 의해 결합재(SHA)의 용융응고가 진행되어 기공 및 결합이 적은 건전한 마이크로 조직을 지니고 있는 것이 확인 되었다.

2) 클래딩층을 구성하고 있는 조립초경합금조직과 SHA의 경도와 면적률 분포결과로부터 클래딩층은 전체적으로 내마모재로서 만족되는 경질조직으로 구성되어 있음이 확인되었다.

3) 저항클래딩법에 의해 형성된 클래딩층 굽힘시험결과, 클래딩층과 모재와의 접합성 및 클래딩층 내부조직들간의 접합성은 양호한 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

1. J.S. Selvan, K. Subramanian, A.K.Nath, J Mater. Process. Technol. **91** (1999), 29-36
2. Yang, U.H.C.Man, Surf.Coat.Technol.132, (2000) 130-136
3. Satou, Kenjin, Wear phenomenon of metals and Measures about its (in Japanese). 1965, 1-3
4. K.C. Atony, et al Hardfacing, vol.6, ASM, Handbook, 1983, 771-780
5. Ishimaru, Yasuhiko, Powder Metallurgy and application 1993. 131-146 (in Japanese)
6. S.W. Wang, Y.C. Lin, Y.Y. Tsai, The effect of various ceramic-metal on wear performance of clad layer, Materials process Technol **140** (2003), 682-687
7. ASTM : Standard test method for mearusring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus, ASTM standards:G65
8. S. Ingole, H. Liang, M. Usta, C. Bindal, A.H. Ucisik, Multi-scale wear of a boride coating on tungsten, Wear **259** (2005), 849-860
9. X. Ma, R. Liu D.Y.Li, Abrasive wear behaviour of Tool steel with respect to load and sliding speed under dry sand rubber wheel abrasion condition, Wear **241**(2000), 79-85