



Cr 및 Nb 복합탄화물에 의한 철계 MAG 용접 오버레이의 내마모 특성

김 중 철* · 박 경 채**

*동명대학 기계재료학과

**경북대학교 공과대학 금속공학과

Wear Resistance Characteristics of Iron System MAG Weld Overlays with Chromium and Niobium Carbide Composite

Jong-Chul Kim* and Kyeung-Chae Park**

*Dept. of Mechanical Material, Tongmyong College, Pusan 608-740, Korea

**Dept. of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University, Taegu 700-702, Korea

Abstract

Overlays is a treatment of the surface and near-surface regions of a material to allow the surface to perform functions that are distinct from those functions demanded for the bulk of the material. Welding, thermal spray, quenching, carburizing and nitration have been used as the surface treatment. Especially, weld overlay is a relatively thick layer of filler metal applied to a carbon or low-alloy steel base metal for the purpose of providing a wear resistant surface.

In this study, weld overlay was performed by MAG welding on the base metal(SS400) with filler metal which contain composite powders($Cr_3C_2+Mn+Mo+NbC$) and solid wire(JIS-YGW11). Characteristics of hardness and wear resistance on overlays were analyzed by EDS, EPMA, XRD and microstructures.

Carbide formations were $M(Cr, Fe)_7C_3$ and NbC phases. And carbide volume fraction, hardness and specific wear resistance of overlays were increased with increasing powder feed rate and decreasing wire feed rate. Hardness and wear resistance were almost proportioned to carbide volume fraction of overlay.

(Received December 17, 2001)

Key Words : MAG weld , Overlay, Hardness, Wear resistance, Composite powder

1. 서 론

표면처리 기술로서는 용접, 용사, 도금, 켄칭, 침탄, 질화 등의 방법이 실용화되고 있다¹⁻³⁾. 그 중에서 내열성, 내마모성, 내식성 등의 향상을 목적으로 아크열을 열원으로 하여 모재 표면에 다른 조성의 합금을 용착시키는 오버레이 용접은 가장 두꺼운 피막을 얻을 수 있는 방법으로 비교적 간단한 설비와 장비를 이용하기 때문에 작업 능률과 경제성이 뛰어나다. 경계면의 용융, 응고로 인하여 모재와 피복층 사이의 결합력이 우수하여 두꺼운 피막의 형성이 가능하다^{2,4,5)}. 또

한, 크롬계 합금, 니켈계 합금, 구리계 합금 및 철계 합금 등의 다양한 합금에서 적용되어, 발전, 제철, 제지, 건설설비 등의 다양한 분야에 광범위하게 사용되고 있다.

고크롬 철계 합금은 우수한 마모 저항과 내충격성 등이 요구되는 산업 분야에서 사용되며 산업의 발달로 인해 그 수요가 증가하고 있다. 고크롬 철계 합금에 일반적으로 첨가되는 합금 원소로는 Mo, Ni, Mn 그리고 Cu 등이 있다. Mo은 냉각시 펄라이트 변태를 억제하며 이차 탄화물 석출을 효과적으로 억제함으로써 경화능을 향상시킨다. Ni, Mn 그리고 Cu 역시 경화능을 향상시키며 펄라이트 변태를 억제하는 역할을 한다⁶⁻⁷⁾. 또한 이들 외에 Nb, V을 첨가하여 더욱 경한 탄화물을

형성함으로써 고크롬 철계의 내마모성을 향상시킨다.

현재 고크롬 철계 합금은 극심한 마모가 발생하는 철광석, 석탄, 시멘트 원료의 파쇄, 소결광 파쇄 등 저응력 급힘 마모 조건인 각종 파쇄광석들의 이송공정에서의 내마모판으로 사용된다^{4,8)}.

본 연구에서는 일반적으로 MAG 용접에서 많이 사용되는 YGW11 와이어⁹⁾를 용접봉으로 하고, 불밀법으로 제작한 고크롬계 복합분말(Cr_3C_2 -Mo-Mn-NbC)을 외부 노즐을 통하여 아크안에 공급하여, 고크롬 철계 오버레이층을 제작하였다. 이 때, 와이어 송급 속도와 분말 공급량을 변화시킴으로써, 오버레이층의 합금원소량을 변화시켰다. 이렇게 제작된 오버레이층은 용접변수에 따른 경도, 비마모량, 미세조직, 생성상에 대하여 비교 분석하고 그 특성을 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 보호가스로서 Ar과 CO_2 혼합가스를 사용하는 MAG용접에 의해 오버레이층을 제작하였으며, 오버레이층의 성분으로 YGW11 와이어를 용접봉으로 하고 외부노즐을 통해 복합탄화물 분말을 공급하였다. 오버레이 용접후 미세조직 관찰, 상 및 성분 분석, 그리고 경도 및 마모시험을 행하였다.

2.1 모재 및 필러금속

본 연구에서 사용된 모재와 필러금속(용접 와이어와 복합 분말)의 화학조성은 Table 1에 나타내었다. 모재는 일반구조용 압연강재로 사용되는 SS400강을 20T×50W×150L(mm^3) 크기로 절단하여 사용하였다. 용접전 모재 표면을 연마하여 산화층을 제거한 후 1 패스 용접 오버레이층을 만들었다. 본 연구에서 복합분말과 함께 오버레이층 성분으로 사용된 용접 와이어는 직경 1.6mm의 JIS-YGW11을 사용하였으며, 복합 분말은 불밀법으로 제작하였다.

Table 1 Chemical compositions of base metal, solid wire and composite powders(wt.%)

SS 400	C	Mn	P	S	Fe
	0.30	1.60	0.05	0.05	Bal

JIS-YG	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Ti	Zr	Fe
W11	0.12	0.61	1.50	0.03	0.03	0.21	0.05	0.11	0.12	bal.

Composite powders	Cr_3C_2	Mn	Mo	NbC
	76	6	4	14

2.2 오버레이층의 제작

서론에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 오버레이층의 성분으로 YGW11와이어를 사용하였으며 외부 노즐을 통해 용접토치 앞쪽에 복합 분말을 공급하였다.

본 연구에서는 오버레이층 제작시 용접변수를 와이어 송급속도와 분말 공급량으로 하였다. 이를 Table 2에 나타내었다. 여기서, 시편번호는 와이어송급속도-복합 분말공급량으로 표시하였다. 용접시 전압 34V, 용접속도 10cm/min, 보호가스 혼합비 Ar: CO_2 =9:1, 그리고 평균 전류 290A로 일정하게 하여 입열량을 동일하게 하였으며, 와이어 송급속도를 100, 140 및 180 in/min으로 하였다. 또한 각각의 와이어 송급속도에서 복합분말 공급량을 50, 70 및 90g/min으로 변화시켜 오버레이층을 제작하였다.

Table 2 Conditions of overlay welding process

Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	CO_2 mixing rate(%)	Average current (A)	Wire feeding rate (in/min)	Powder feeding rate (g/min)	Specimen number
34	10	10	290	100	50	100-50
					70	100-70
					90	100-90
				140	50	140-50
					70	140-70
					90	140-90
				180	50	180-50
					70	180-70
					90	180-90

2.3 오버레이층의 미세조직 관찰

오버레이층의 미세조직은 오버레이층의 표면을 2mm 제거한 후 0.3 μ m의 알루미늄 분말로 연마하고, 그 면을 부식액(HCl, HNO_3 , 글리세린을 2:1:3으로 혼합)으로 40초 에칭한 후 광학현미경으로 관찰하였다.

2.4 오버레이층의 성분 분석 및 상 분석

오버레이층의 미세조직에서 관찰된 생성상의 성분 분석을 위해 EPMA 면 분석을 하고, 상 분석을 위해 X-선 회절시험을 행하였다. X-선 회절시험은 Cu target, 가속전압 30kV, scan speed 4°/min, 2 θ 20~80°의 조건으로 하였다.

2.5 경도 및 마모 시험

오버레이층의 경도는 미세조직을 관찰한 면을 로크웰 경도시험기를 이용하여 측정하였다. 이때, 측정하중은 150Kgf로 일정하게 하였다.

오버레이층의 마모값은 大越式 마모시험기를 이용하여 비마모량으로 하였다. 시험은 미세조직을 관찰한 면에서 행하였다. 상대재로는 직경 48.8mm, 두께 2mm의 회전원판(SUJ2, Hv 750)을 사용하였으며, 이때 하중은 30N, 마모거리는 1000m로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 오버레이층의 미세조직

와이어 송급속도 및 복합분말 공급량을 달리한 각각의 용접조건에서 제작된 오버레이층의 미세조직을 Fig. 1에 나타내었다.

각각의 와이어 송급속도 및 각각의 분말 공급량에서 제작한 오버레이층의 미세조직은 과공정 조직을 나타내고 있는데, 육각형 모양의 조직은 초정 탄화물인 M_7C_3 이고, 기지부는 γ 상과 M_7C_3 의 공정으로 되어 있다^{4,6,8,10-12)}. 여기서, M_7C_3 의 M은 Cr과 Fe를 나타내고 있다. 와이어 공급속도의 감소 및 분말공급량의 증가함에 따라서 초정 M_7C_3 의 양이 증가하는 것을 알 수 있다. 또, γ 상 안정화 원소인 Mn의 양이 많아 공정조

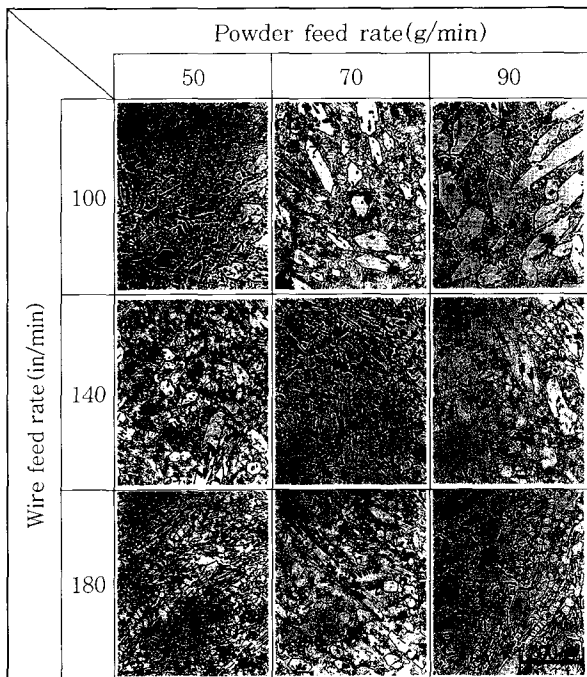


Fig. 1 Microstructures of overlays on wire feeding rate and powder feeding rate

직의 생성량도 많은 것으로 여겨진다.

그리고, 모든 용접조건에서 제작된 오버레이층의 미세조직은 사각형 모양의 NbC가 관찰되어 짐을 알 수 있다.

3.2 오버레이층의 성분 및 상 분석

미세조직에서 관찰된 초정탄화물과 첨가 Nb탄화물의 확인을 위해 성분 분석과 상 분석을 행하였다.

Fig. 2에는 오버레이층 수직 단면을 EPMA 면분석한 결과를 나타내었다. 시편은 100-90으로, 앞에서 설명한 것과 같이 Fe-Cr 및 Nb의 탄화물로 판단되었으며 이 결과는 모든 시편에서 동일했다. Fig에서 Nb 성분 면분석에서 흰부분의 상이 NbC이다. 다음 그림에서 상분석을 통해 탄화물을 확인하였다.

Fig. 3은 시편번호 100-50, 100-70 및 100-90의 XRD 분석 결과를 나타내 것이다. 오버레이층은 $M(Fe, Cr)_7C_3$ 와 NbC가 생성되어 있고, 복합분말 공급량이 증가함에 따라 $M(Fe, Cr)_7C_3$ 와 NbC 피크의 강도가 증가한 것을 알 수 있다.

3.3 오버레이층의 탄화물 체적 분율

오버레이층내의 초정 M_7C_3 탄화물 및 첨가 NbC탄

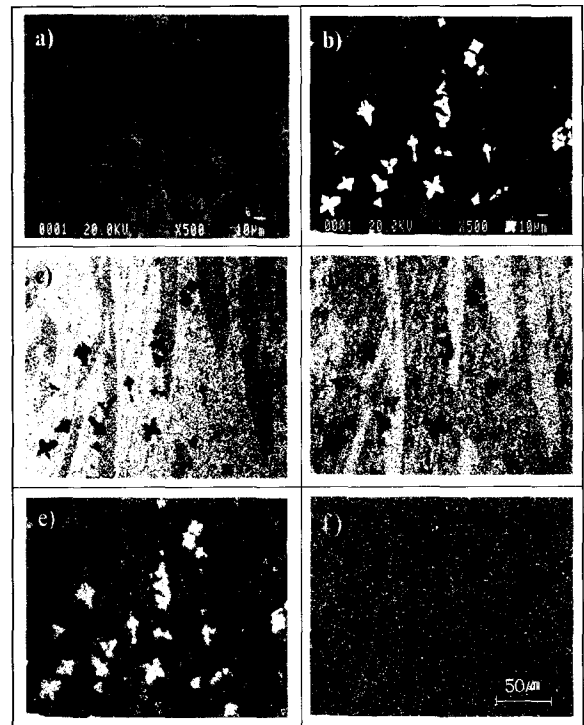


Fig. 2 EPMA(Electron Probe Micro. Analyser) analysis of overlay for specimen number,100-90 a) SEI(secondary electron image) b) BEI(back scattered electron image) c) Fe d) Cr e) Nb f) C

화물들이 오버레이층의 경도 및 내마모성에 영향을 끼칠 것으로 판단된다. 따라서, 각 와이어 송급속도 및 분말공급량에 따라 조성 M_7C_3 탄화물 및 첨가 NbC 탄화물들의 부피분율을 Fig. 4에 각각 나타내었다.

일정 와이어 송급속도에서 복합분말 공급량의 증가함에 따라, 일정 복합분말 공급량에서 와이어 송급속도의 감소에 따라 탄화물 체적 분율이 증가하고 있다. 여기서, 오버레이층의 탄화물 체적 분율은 시편번호 180-90, 140-70, 140-90, 100-50 및 100-70의 경우 25% 이상의 값을, 시편번호 100-90의 경우 무려 45%의 높은 값을 나타내고 있다.

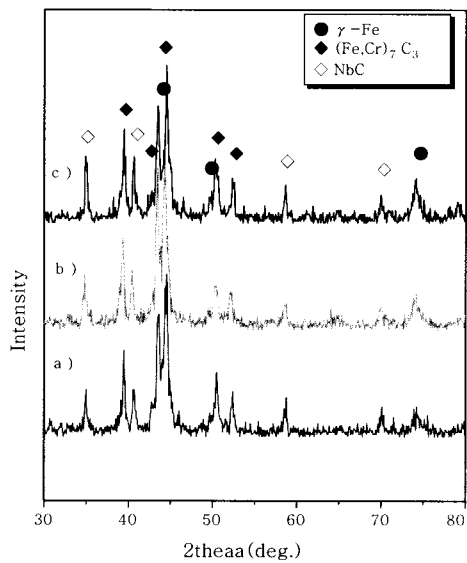


Fig. 3 XRD patterns of overlays for specimen number a) 100-50 b) 100-70 c) 100-90

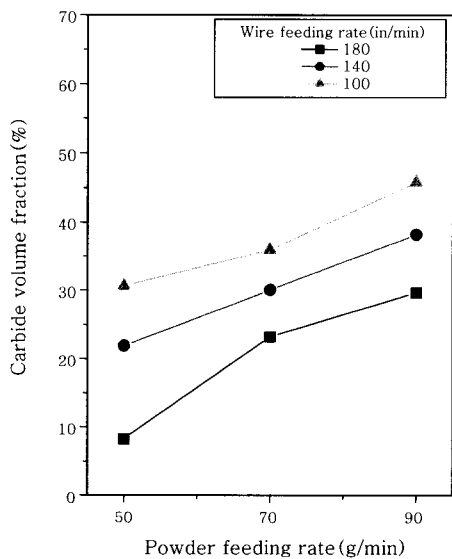


Fig. 4 Carbide(primary M_7C_3 and NbC) volume fraction of overlays according to powder feeding rate

3.4 오버레이층의 경도 및 비마모량 변화

Fig. 5 및 Fig. 6은 복합분말 공급량에 따른 경도 및 비마모량의 변화를 각각 도시했다. 각각의 와이어 공급속도에서 복합분말 공급량이 증가함에 따라 오버레이층의 경도는 증가하고, 비마모량은 감소하였다. 또한, 각각의 일정 복합분말공급량에서 와이어 공급속도 증가에 따라 경도는 감소하고, 비마모량은 증가하였다. 이 경향을 오버레이층내에 생성상과 비교 분석하면, 조성 $M(Cr, Fe)_7C_3$ 및 첨가 NbC 탄화물량이 주 원인인 것으로 판단된다.

용접 변수, 즉 복합분말 공급량과 와이어 송급속도의

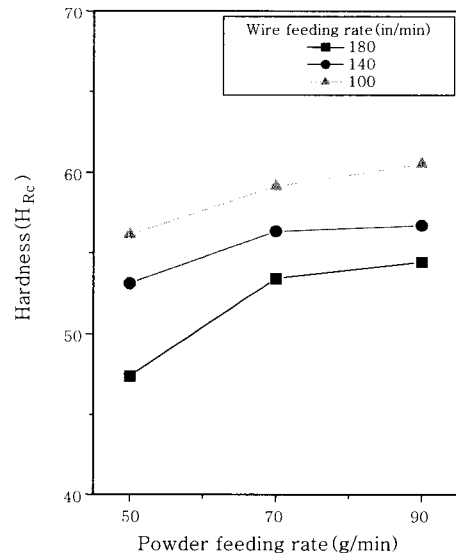


Fig. 5 Hardness of overlays according to powder feeding rate

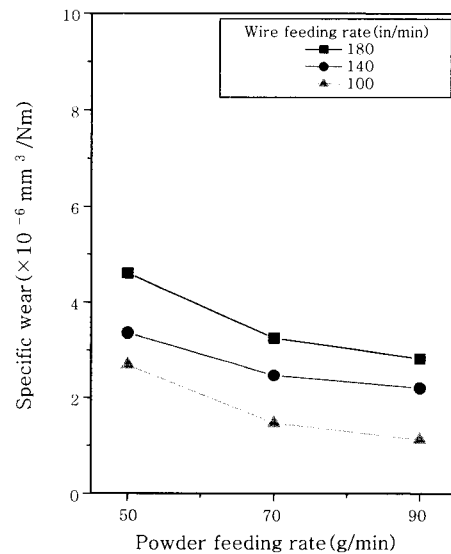


Fig. 6 Specific wear of overlays according to powder feeding rate

변화는 와이어와 복합분말량의 용융비가 다른 오버레이층이 형성된다. 따라서, 복합분말 공급량의 증가와 와이어 송급속도의 감소는 와이어 송급량에 대한 복합분말의 공급량이 상대적으로 증가하여, Fig. 1의 미세조직에서 관찰된 것과 같이 오버레이층에 NbC와 M₇C₃의 양이 증가하고있다. 결과적으로 이러한 탄화물의 증가로 인해 오버레이층의 경도는 증가하고 비마모량은 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 7는 오버레이층의 마모면 관찰한 결과를 나타내었다. a 및 b는 각각 시편번호 180-70 및 100-90이다.

오버레이층내에 경질 M(Cr, Fe)₇C₃초정, 연질 γ 상 + 경질 M(Cr, Fe)₇C₃의 공정, 그리고 경질 NbC로 되어 있는 a 및 b에서는 연질의 재료에서 나타나는 소성 유동층이 없이 미세한 cross hatching 균열 발생후, 초정탄화물이 적고 공정조직 비율이 큰 a에서는 마모면이 심하게 뜯겨졌고, 상대재에 의해 spalling된 후 마모면에 응착된 부분이 있으나, 상대적으로 초정탄화물이 많고 공정조직량이 적은 b에서는 상대재에 의해 spalling된 부분은 거의 없고, 상대재가 마모면에 응착된 부분이 관찰되고 있다. 이것은 마모 중 파괴되거나 탈락된 탄화물 부스러기의 일부가 마모 접촉면에 끼어 상대재와 시험재를 마모시키는 연삭마모 현상이 주된 마모기구로 보여진다.

Fig. 8는 오버레이층의 초정 M₇C₃+첨가된 NbC 탄화물들의 체적 분율에 따른 경도 및 비마모량 변화를 나타낸 것이다. 탄화물 체적 분율의 증가에 따라 직선적으로 경도는 증가하나, 비마모량은 감소하고 있다. 또한, 여기서 알 수 있는 것은 오버레이층의 경도 변화에 따른 비마모량 변화도 직선적임을 알 수 있다.

결론적으로, 일정 와이어 송급속도에 대한 상대적 분말 공급량의 증가 및 일정 복합분말 공급량에 대한 상대적 와이어 송급 속도의 감소가 오버레이층에 경질의 탄화물 량을 증가시킴으로서, 이들로 인해 경도는 증가하게 되고, 비마모량은 감소되었다고 판단된다.

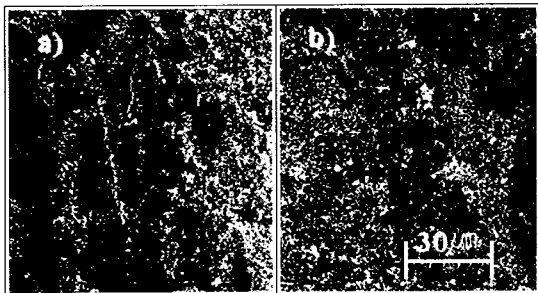


Fig. 7 Wear test surface of overlays for specimen number a)180-70 , b)100-90

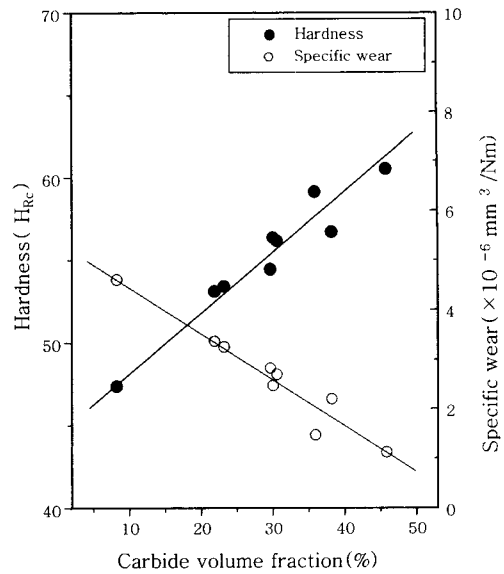


Fig. 8 Hardness and specific wear according to carbide(primary M₇C₃ and NbC) volume fraction of overlays for powder feeding rate 50~90g/min

4. 결 론

본 연구에서는 JIS-YGW11 용접 와이어를 용접봉으로 하여 MAG 용접법으로 오버레이층을 제작하였으며, 이때, 외부 노즐을 통해 아크 내에 탄화물 복합분말을 공급하였다. 이렇게 제작한 오버레이층의 미세조직 관찰, 성분분석, 상 분석, 경도시험 및 마모시험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 오버레이층의 미세조직, 상분석 및 성분분석 결과, 오버레이층에서는 초정 M(Cr, Fe)₇C₃, γ 상 + M(Cr, Fe)₇C₃의 공정과 첨가된 NbC를 관찰할 수 있었다.

둘째, 오버레이층의 경도 및 마모 시험한 결과, 와이어 공급속도의 감소와 분말 공급량의 증가에 따라 경도가 증가하고 비마모량은 감소하였다. 이는 초정 탄화물(M₇C₃) 및 NbC량의 증가가 주된 원인으로 판단된다.

셋째, 오버레이층의 마모는 미세한 cross hatching 균열 발생후, 상대적으로 초정탄화물이 적고 공정조직 비율이 크면, 마모면이 심하게 뜯겨지고, 상대재에 의해 spalling된 후 마모면에 응착된 부분이 있으나, 상대적으로 초정탄화물이 많고 공정조직량이 적으면 상대재에 의한 spalling된 부분은 거의 없고, 상대재가 마모면에 응착된 부분이 존재하고 있다. 이것은 마모 중 파괴되거나 탈락된 탄화물 부스러기의 일부가 마모 접촉면에 끼어 상대재와 시험재를 마모시키는 연삭마모 현상이 주된 마모기구로 보여진다.

참 고 문 헌

1. 대한용접학회 : 용접·접합 편람, 1998, 717 (in Korean)
2. Yoshizou Hashimoto : Recent Overlaying by Arc Welding, WELDING TECHNIQUE, Vol. 43, 9(1995), 79 (in Japanese)
3. Hirofumi Sonoda, Yasutoshi Nakata : Fundamental and Practical Clad Welding by Plasma Transferred Arc, WELDING TECHNIQUE, Vol. 43, 9(1995), 65 (in Japanese)
4. E. R. Baek : Effect of Volume Fraction of Cr Carbide Phase on the Abrasive Wear Behavior of the High Cr White Iron Hardfacing Weld Deposits, Journal of The Korean Welding Society, Vol. 16, 1 (1998), 125 (in Korean)
5. JIMMOONSA : METALLURGICAL ENGINEERING HANDBOOK, (1996), 1063 (in Korean)
6. C. P. Tabrett, I. R. Sare and M. R. Ghomashchi : International Materials Reviews, Vol. 41, 2(1966), 59
7. G. A. Roberts and R. A. Cary : Tool Steels, American Society for Metal, 4th (1980), 183
8. American Society for Metals : Metals Handbook, 6, Welding, Brazing and Soldering, Metals park, Ohio, ASM, 9th, (1983), 771
9. Masao Kamada, Toshio Aoki : WELDING TECHNIQUE, Vol. 46, 2(1998), 72 (in Japanese)
10. E. R. Baek : Effect of Matrix Phase on the Abrasive Wear Behavior of the High Cr White Iron Hardfacing Weld Deposits, Journal of The Korean Welding Society., Vol. 16, 1(1998), 114 (in Korean)
11. Tomoki Tomita, Yasuyuki Takatani, Yoshio Harada : Composite Alloying of Metal Surface by Plasma Transferred Arc Welding Process, BULLETIN OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS, Vol. 31, 12 (1992), 1056 (in Japanese)
12. H. Berns and W. Theisen : Surface Engineering, June 1987, 387