特輯 : 재료의 표면개질 기술

오버레이용접(육성용접)의 기술개발 현황

백 응 률 · 정 재 영 · 안 상 호

Trend of the Weld Surfacing Technology

E. R. Baek, J. Y. Jung and S. H. Ahn

백응률/포항산업과학연구원 구조금속연구팀/1960년생/오버레이용 용접재료 개발 및 분말야금

정재영/포항산업과학연구원 구조금속연구팀/1963년생/표면개질 및 열응력해석

안상호/포항산업과학연구원 구조금속연구팀/1952년생/소재 개발 및 분말야금

1. 서 론

육성용접에 의한 표면개질기술(Hardfacing or Weld Surfacing Technology)은 내마모, 내식성 또는 내열성을 갖는 합금의 용접재료를 모재 표면에 균일하게 용착(오버레이:Overlayer)시킴으로써 재료의 표면성질을 향상시키고자 하는 표면처리의 한 방법이다. 육성용접에 의한 표면개질기술(이하 오버레이 용접기술*이라 기술함)의 최초 실용화는 1922년 Stoody가 Steel Tube에 Cr합금 분말을 충진한 용접봉을 제조하여 석유시추용 회전드릴의 선단을 오버레이 용접시킴으로써 이루어 졌다.

그후 본 기술은 발전설비, 제철설비, 시멘트설비, 그리고 제지설비 등 산업전반에 널리 이용되고 있으며, 설비의 고도화 및 장수명화가 요구되면서 본 기술의 중요성 또한 점차 부각되고 있다[1].

그림 1은 연강의 모재 위에 셀프쉴드플럭스코어드와이어(Self-Shield Flux Cored Wire:SS-FCW, 이하 SS-FCW라 기술함)를 사용하여 오버레이 용접을 하는 장면을 도식적으로 나타낸 것이다. 모재와 전극재인 용접봉(SS-FCW) 사이에서 아크가 발생되고, 아크열에 의해서 용접봉 및 모재 일부가 용융되면서 모재표면에 새로운 오버레이층이 형성된다. 통상 오버레이층의 한층 두께는 2-6mm 내외이며, 다층 오버레이를 실시한다.

사진 1은 연강(SS-41)의 모재위에 크롬탄화물이 다량 함유된 고크롬 탄화물형 내마모재가 오버레이된 내마모 복합강판 (wear plate)의 단면 미세조직 사진으로써 모재부와 오버레이층을 함께 보여주고 있다. 모재와 오버레이 층간의 경계면은 모재 일부가 용융된 후 응고하면서 형성됨으로 인해서 도금이나 용사층과는 달리 매우 견고하게 결합되어 있다. 따라서 계면부의 탈락이라는 문제점은 거의 없어 심한 응력을 받는 기계구조물 및 부품에도 본 기술은 널리 적용되고 있다. 그리고 사진 1에서 알 수 있는 바와 같이 모재와는 전혀 상이한 재료를 자유로이 선택하여 표면 유효층 일부만 오버레이시키며, 주조 및 단조가 불가능한 재료까지도 표면부에 오버레이 시킬수 있다.

중화학 장치산업이 발달한 우리나라 산업구조상 점차 설비가 노후화 되어가고 설비관리의 경쟁력이 더욱 중요시 되는 고임금 산업구조로 감에 따라 인건비 상승에 다른 정비비의 부담이 더욱 가중되

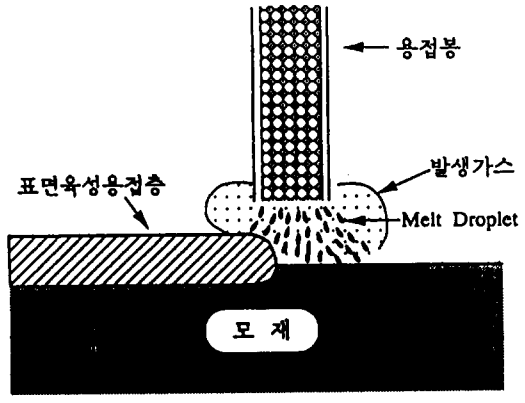

그림 1. 오버레이 용접(Overlayer Welding, 일명 Weld Surfacing, Hardfacing, 육성용접) 장면의 도식도.

사진 1. 오버레이 용접부의 미세조직

는 현실에서 본 기술이 가지는 중요성 및 의미가 매우 크다.

따라서 본문에서는 국내의 오버레이 용접기술의 적용현황 및 대표적인 적용사례, 오버레이 용접기술 및 용접재료의 개발현황 등을 중심으로 살펴봄으로서 아직 국내에서는 널리 알려지지 않은 본 기술에 대한 이해를 넓히고자 했다.

2. 국내,외 오버레이 용접기술의 개발단계 및 국내 수요현황

2.1 국내,외 오버레이 용접기술의 개발단계

오버레이 용접기술의 발달단계를 대략적으로 구분하면 다음과 같다. 우선 국외의 경우는 기술개발기(1930년대-1960년대), 수요개발기(1970년대-1980년대), 응용확대기(1990년대-현재)로 구분해 볼 수 있다. 기술개발기에서는 고크롬 내마모재 합금을 주로 수동 피복아크 용접봉을 사용하여 광산, 석유시추분야에 적용했다. 용접성 및 생산성이 열악했으나 내마모성 개선효과가 매우커서 새로운 오버레이합금의 상품화가 제철소, 석유화학, 농기계, 제지산업 등으로 급속히 진행되었다. 이후 수요개발기에는 플럭스코어드와이어(Flux Cored Wire : FCW) 제조기술이 개발됨에 따라 고합금을 필요로하는 오버레이 합금의 개발이 더욱 용이해졌으며, 동시에 자동에 의한 생산성이 향상됨에 따라 대형롤 및 판재에로의 적용이 확대될 수 있었다. 그리고 고크롬 내마모재에 Nb, Mo, V 등이 첨가된 고합금 내마모재 개발과 Co, Ni 과 같은 고가의 비철합금 또한 널리 오버레이 재료로 이용되었다. 그리고 응용확대기인 최근에는 항공 및 고정밀 가공설비에로의 오버레이 용접기술의 적용과 함께 생산성 향상을 위한 고에너지 열원인 Electron Beam 및 Laser이용기술, 고품질 청정합금의 오버레이를 위한 Electro Slag 용접기술의 개발 등이 연구되고 있다.

한편 국내는 1970년대 초부터 발전소, 제철소, 시멘트공장등을 중심으로 오버레이 용접기술이 적용되기 시작한 기술도입기(1970년대-1980년대)와 오버레이 용접재료를 국내에서 제조하기 시작한 기술자립기(1990년대-현재)로 구분해 볼 수 있다. 기술도입기에서는 오버레이용 용접재료를 전량 수입하여 국내에서는 전적으로 오버레이 용접만을 실시하여 산업설비에 적용했다. 이 시기는 이 분야의 기술개발에 대한 큰 투자 없이도 외국에서 이미 개발 및 적용효과에 대한 검증이 완료된 것을 국내에 소개하고 적용 확인 시험만을 거침으로서 국내 산업 설비에 본 기술을 효과적으로 적용할 수 있었다. 반면에 오버레이 용접재료의 전량 수입 의존에 따른 원가 상승 부담과 응용 기술력의 부족 등으로 국내에서는 일반화된 기술로써 널리 알려지지 못한 점이 아쉬운 현실이 였다. 그러나 90년대 중반부터 몇몇 업체에서 외국기술도입, 합작, 국내개

발 등으로 오버레이 용접재료의 국산화 제조가 시작됨으로써 이 분야에 있어서 새로운 전환점을 맞게 되었다. 아직은 시작단계에 불과한 오버레이 용접재료의 국내제조 기술력이지만 이들 제조업체들의 국제 경쟁력 확보야 말로 국내 오버레이 용접시공 업체들이 보다 활성화 됨과 더불어 국제 경쟁력을 갖출 수 있는 필수 불가결한 선행조건이라 생각하며, 동시에 본 기술을 최종적으로 활용하여 사용하는 국내 제조업체들의 국제 경쟁력 또한 향상될 수 있을 것이다.

2.2 국내 수요현황

국내 산업 생산 활동량을 감안할 때 오버레이 용접분야의 대략적인 시장규모는 외국의 적용상태를 근거로 880억원/년으로 추정하고 있다. 각 산업별 현 시장 및 잠재시장 규모를 합한 수요량을 추정해 보면 표 1와 같다. 주로 철광석과 고온금속을 가공 및 처리하는 제철설비, 시멘트 광석 및 원료를 파쇄 및 이송하는 시멘트 제조설비, 화력발전소 열원으로 사용되는 석탄을 파쇄 하는 발전설비, 그리고 농, 기계 및 준설설비 등을 중심으로 매우 활발히 본 기술들이 적용되고 있다. 그리고 오버레이 용접시공을 하는 국내 업체들이 그간 축적된 시공기술들을 바탕으로 하여 내마모재의 오버레이 뿐만아니라 내부식성 개선을 위한 석유화학설비들과 고온 변형 및 내마모성을 요구하는 자동차 및 기계부품 단조용 금형재들 등에도 본 기술이 적용되고 있다. 이 중에서 오버레이용 용접재료비는 대략 200억원/년 이며 거의 90%이상 수입에 의존해야 하는 현실이므로 용접재료의 국산화 개발이 시급함을 알 수 있다. 특히 제철설비, 시멘트설비, 발전설비등 Plant 산업의 해외수출이 점차 증가함에 따른 오버레이 용접수요의 증가와 값싸고 다양한 제품의 국산 원재료 사용에 따른 국내 수요증가 그리고 오버레이 용접재들의 해외수출 등 향후 이 분야의 수요는 점차 확대될 것으로 예상된다.

표 1. 국내 오버레이 용접기술의 수요현황

적용분야	오버레이 용접금액 (억원/년)	원재료비 (억원/년)
제철소	200	60
시멘트공장	350	105
발전소, 석유화학	100	30
금속가공산업	100	30
제지산업	30	9
기타	100	30
합 계	880	264

2.3 오버레이 용접기술들의 적용설비

2.3.1 분쇄롤 (Grinding Roll)

사진 2[2,3]는 시멘트 원료인 크링커(Clinker)를 분쇄하여 미세 시멘트 분말을 제조하는 분쇄밀용 롤로서 사용후 마모손상된 롤 〔사진 2(a)〕 과 손상된

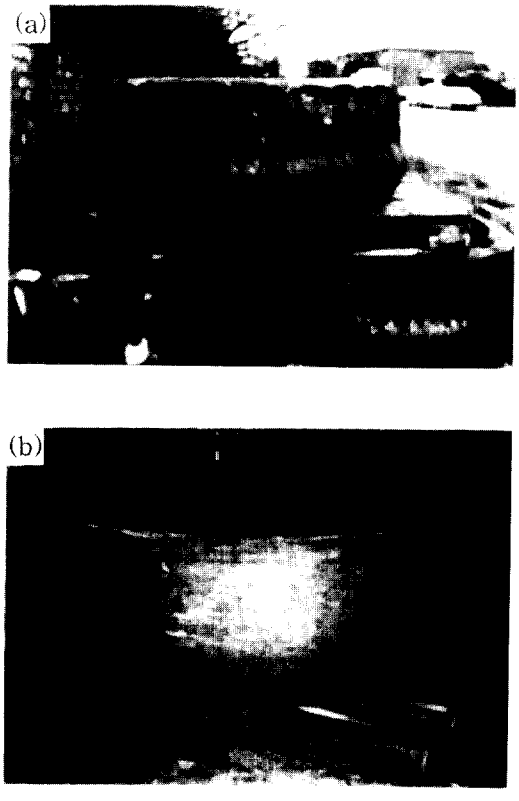

사진 2. 시멘트 원료인 크링커의 분쇄롤 (a) 마모롤 외형 (b) SS-FCAW법에 의해 오버레이 한 롤

롤을 재사용하기 위해서 오버레이한 롤 〔사진 2(b)〕의 외관형상이다. 시멘트 공장의 분쇄설비들의 정비수리는 통상 시멘트 수요가 적은 겨울철에 실시하므로 분쇄롤의 사용수명은 최소한 1년 주기를 가져야 한다.

통상 분쇄롤은 최초 설비 제작시는 고망간 강이나 Ni-Hard IV 합금으로된 주조롤을 사용하나 1회 사용 후 부터는 이들 주조롤 보다 수명이 우수하며 동시에 가격 경쟁력이 있는 오버레이 용접을 해서 수 회 반복해서 사용한다. 오버레이 용접재료로는 오스테나이트 혹은 마르텐사이트상을 기지상으로 하고 TiC 가 석출된 철계합금재료, 오스테나이트상을 기지상으로 하고 Cr_7C_3가 다량 존재하는 과공정 고크롬 내마모 합금재료, 그리고 과공정 고크롬 내마모 합금재료 중에서 NbC가 추가로 존재하는 복합탄화물계 과공정 고크롬내마모 합금재료 등이 사용되고 있다. 오버레이층 두께는 40-55mm정도 매우 두껍게 오버레이 시키며, 사용 중 오버레이층의 탈락을 막기 위해서는 용접재료의 선정과 용접조건, 냉각조건 및 후열처리 등에 세심한 주의를 요한다. 동시에 시멘트 원료뿐만 아니라 석탄, 철광석, 세라믹 등 대부분의 미세분말들이 향후 분쇄능이 우수한 사진 2와 같은 형상의 롤에 의해서 분쇄될 것이므로 분쇄롤의 수명향상을 위해서 오버레이 합금의 내마모성과 내크랙성이 우수한 합금개발 및 오버레이 용접시공기술의 향상을 위해서 부단한 노력이 요구된다.

2.3.2 연속주조용 가이드롤 (Guide Roll for Continuous Casting)

70년대 이후 주조기술의 발달로 인해서 대량생산이 가능한 연속주조기술의 발달과 더불어 고온(1,200℃이상)의 주편과 직접 접촉한 가이드롤의 수명이 연주기의 수명과 정비비용의 많은 부분을 차지함으로 인해서 내열피로크랙성, 내마모성, 내산화성이 우수한 롤이 요구되었다. 그 결과 현재 전세계적으로 롤 표면부의 3-5mm 정도 두께만을 연주롤에 요구되는 물성을 가지는 오버레이 용접재료를 용착시켜 사용하고 있다.

현재 세계적으로 연주롤용 오버레이 용접방법으로는 90% 이상이 잠호용접을 사용하고 있다. 이때 사용되는 전극재는 직경3.2mm 내외의 메탈코어드와이어(Metal Cored Wire)인 경우와 두께 0.5mm, 폭 25-60mm인 냉연스트립을 사용하는 경우가 있다. 연주롤 사용 중에 발생되는 열피로크랙은 주로 용접비드와 비드간의 경계면을 따라 제일 심하게 발생한다. 오버레이 용접시 가능한 비드 경계면을 줄이기 위해서 폭이 넓은 스트립을 전극재로 사용하는 방안과 용접시 와이어를 임의의 폭만큼 오실레이팅(Oscillating) 시키면서 용접을 하여 비드폭을 넓게 하는 방안이 사용되고 있다. 스트립은 제강과 열, 냉간압연을 거쳐야 만이 제조할 수 있으므로 값이 싸고 불순원소 성분이 적은 고품질의 전극제를 얻을 수 있는 장점이 있는 반면에 다양한 합금성분을 가진 스트립을 소량으로 제조하기가 어려운 단점이 있다.

고베제철(일본) 및 티센제철소(독일)의 경우는 구하기 쉬운 스테인레스 410계 합금을 전극재용 스트립으로 사용하고 연주롤에 적합한 최종 합금성분을 맞추기 위해서는 필요한 소량의 합금원소가 함유된 합금플럭스(Alloyed Flux)를 사용함으로써 용접 중에 일부 합금원소는 플럭스를 통해서 공급받아 롤 표면에 용착되게 한다. 반면에 신일본제철[4](일본)은 연주롤의 오버레이 용접을 위한 스트립의 자체 소모량이 많아 특별히 제강 및 압연을 자체 제철소에서 실시하여 사용하고 있다.

연주롤용 오버레이 합금재료는 현재 마르텐사이트상을 기본 조직으로한 스테인레스 420, 414, 그리고 422계통의 합금이 주로 사용되고 있으나 연주롤 수명 증가를 위한 부단한 합금개발이 요구되고 있다.

2.3.3 단조 및 성형용 금형

일반적으로 금형재료는 주로 공구강을 많이 사용하고 있다. 공구강은 경도 및 내마모성의 확보를 위해서 고가의 합금원소를 다량 함유하므로 고가의 재료이다. 금형재료의 사용특성상 접촉부 일부만이 마모 및 변형에 의해 손상될 때, 금형 전체를 교체하기 보다는 손상 부분만을 오버레이 용접해서 재사용하는 것이 훨씬 경제적이다. 그리고 대형 열간단조 금형의 경우에는 고온이면서 동시에 무거우므로 금형의 교체 작업이 어렵고, 설치 후의 위치정렬 및 정상 금형온도 도달까지의 생산제품 품질의 불안정성 등을 고려하면 금형재료의 접촉손상부만을 오버레이 용접에 의해 우수한 재질을 용착시켜 사용함으로서 수명연장에 의한 생

산제품의 생산성 및 품질안정화의 기여효과가 재료비 절감효과에 비할 수 없을 정도의 훨씬 큰 잇점 또한 가지고 있다.

그 결과 소형 펀치의 모서리부 오버레이에서 부터 대형 단조금형에 걸쳐 본 기술이 널리 적용되고 있다.

3. 오버레이 용접 공정

오버레이 용접 공정에 있어서의 주요 관심 사항은 생산성 (용착량/단위시간), 작업의 용이성, 그리고 고합금화에 의한 고품질의 확보 가능성 이다. 표2는 현재 오버레이 용접기술에 이용되는 각종 용접공정 및 용접재료 그리고 적용부품명을 나타낸 것이다. 실제 표2에 의하면 이제까지 연구개발되고 상용화된 모든 용접 공법 및 재료가 오버레이 용접에 이용되고 있음을 알 수 있다.

오버레이 용접을 실시한 제품이 타 제조 공정품에 비해서 경쟁력을 가지기 위해서는 품질의 우수성 이외에 자동 연속 오버레이 용접이 가능해야 하며 동시에 단위 시간당 용착량이 많아야 한다. 그림 2[6]는 오버레이 용접 공정별 단위 시간당 용착량을 비교한 것이다. 그림 2로 부터 피복아크용접법 및 TIG용접과 같은 수동용접의 경우는 용착량이 5Kg/hr이하이나 폭이 50mm 내외인 스트립을 사용한 잠호 용접 혹은 직경이 2.8-3.2mm인 2개

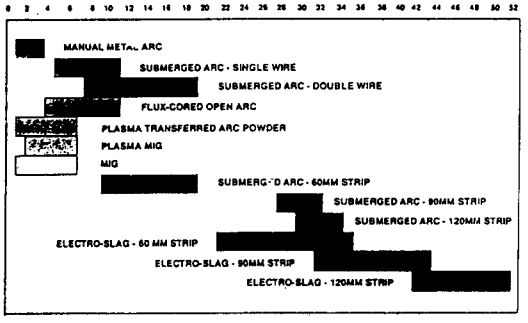

그림 2. 오버레이 용접 공정별 단위시간당 용착량 비교

의 플럭스코어드와이어를 동시에 사용한 경우는 10kg/hr 내외 이다. 이에 반해서 폭이 50mm 내외인 스트립을 사용 하면서 일렉트로슬라그(Electro slag) 용접을 하는 경우에는 용착량이 20kg/hr로서 기존의 오버레이 용접법에 비해서 2배 이상이므로 용접 시간을 대폭 단축 시킬 수 있다. 그리고 용접 공정상 용융 금속을 정련 하는 효과도 있어 새로운 오버레이 용접공정으로서 매우 기대되는 공정이다. 그리고 최근에는 전자법(Electron beam)을 이용하여 용착량을 250kg/hr로 획기적으로 높일 수 있다는 가능성이 확인됨으로서 고열원 에너지를 이용한 오버레이 용접 기술의 연구 개발이 급속히 진전될 것으로 예상 된다.

표 2. 오버레이 용접기술에 이용되는 각종 용접공정, 용접재료, 그리고 응용분야

오버레이 용접공정	오버레이 용접재료	응 용 분 야
-Shield Metal Arc Welding (SMAW)	-Bare Weld Rod	-Roll / Valve Surfaces
-Flux Cored Arc Welding (FCAW)	-Coated Electrode	-Forming/Forging Die
-Gas Metal Arc Welding (GMAW)	-Bare Wire	-Extruder Screws
-Submerged Arc Welding (SAW)	-Tube (Flux/Metal Cored) Wire	-Mixing Blades
-Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	-Metal Powder	-Knife Edges
-Plasma Arc Welding (PAW)	-Metal/Cermet Self-fluxing Powder	-Rebulding Work/Digging Tools
-Oxy/Fuel Gas Welding (OFW)	-Strip	-Pug/Hammer Mills
-Electroslag Welding	-Flux	-Crushing Equipment
-Electron/Laser Beam Welding		-Turbine Parts
		-Earth-moving Equipment

4. 오버레이 용접용 합금재료

오버레이 용접용 합금 재료들간의 사용량 분포를 살펴 보면 그림 3[1] 과 같다. 그림 3으로 부터 크롬탄화물형 고크롬내마모재로 잘 알려진 고코롬 철계(iron/chromium) 합금이 40% 이상으로 제일 많이 사용되고 있고, 니켈 합금, 코발트 합금, 복합 재료, 구리 합금, 고망간강, 공구강 순으로 사용되고 있음을 알 수 있다. 여기서는 많이 사용되고 있는 고코롬 철계합금, 니켈합금, 코발트합금, 그리고 구리합금들의 특성 및 개발 현황을 살펴보고자 한다.

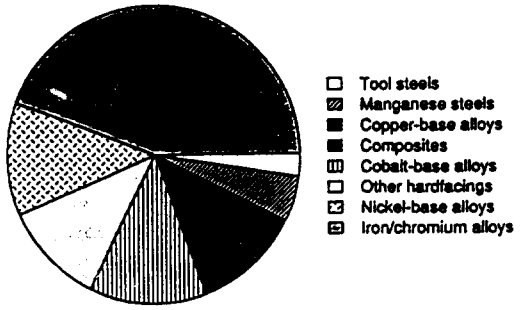

그림 3. 상용 오버레이 용접용 합금 재료들 간의 사용량 분포

4.1 고크롬 철계합금

고크롬 철계합금은 고경도 크롬탄화물[$(Cr,Fe)_7C_3$]을 다량 함유하고 있음으로 인해 내마모성이 우수하다는 점과 가격이 제일 저렴하다는 점으로 인해 오버레이 용접재 중에서 가장 많이 사용되고 있다. 이 합금은 고크롬 주조합금으로 먼저 개발된 후 오버레이 용접용 합금으로 이용되고 있으며 미국용접합회에서는 표 3과 같이 두 종류로 분류하고 있으나 실제로는 크롬탄화물 및 탄화물을 둘러 싸고 있는 기지상의 종류에 따라 표 4[7]와 같이 다양한 종류의 미세조직을 가지는 합금들이 개발되어 사용되고 있다. 표 4를 살펴보면 우선 고크롬 철계합금은 미세조직 중에 존재하는 탄화물들이 크롬탄화물만 존재하는 크롬탄화물형 고크롬철계합금과 크롬탄화물 이외에 여타 다른 탄화물(TiC, NbC, Mo_2C, VC)도 함께 공존하는 복합탄화물형 고크롬철계합금으로 크게 대분류한다. 그리고 크롬탄화물의 종류 측면에서 50μm 크기의 조대한 일차크롬탄화물(Primary Cr Carbide) 및 10μm크기의 미세한 공정크롬탄화물(Eutectic Cr Carbide)이 함께 존재하는 과공정합금(Hypereutectic Alloy)과 공정크롬탄화물만 존재하는 아공정합금(Hypoeutectic Alloy)으로 중분류한다. 그리고 다시 이들 탄화물을 둘러 싸고 있는 기지상에 따라 오스테나이트, 마르텐사이트, 퍼얼라이트로 소분류한다.

오버레이 용접 후 기지상은 경화능이 충분히 확보된 경우에는 오스테나이트상으로 존재하는데 이는 표 3에서 알수 있는 바와 같이 다량의 크롬성분을 함유하고 있기 때문에 오스테나이트상이 상온에서 불안정상으로 잔류한다. 그러나 Cr/C비가 낮거나, Si, Al, Ti성분을 많이 함유할 경우에는 냉각

표 4. 고크롬 철계 오버레이 합금의 분류

- Alloy composition:
  - -Fe-Cr-C alloy system
  - -Fe-Cr-C + Nb, Ti, V, Mo, W alloy system
- Type of chromium carbide:
  - -Primary Cr7C3 (Hyper-eutectic)
  - -Eutectic Cr7C3 (Hypo-eutectic)
- Matrix phase which is surrounding carbide phase
  - -Austenite
  - -Martensite (as welded or heat treated)
  - -Pearlite

표 3. 미국용접학회의 고크롬철계 오버레이합금의 분류표

	C	Mn	Cr	Mo	Si	Fe	Hardness (HRC)
REeCr-Al	3.7-5.0	2-6	27-35	-	1.1-2.5	Bal.	53
EFeCr-Al	3.0-5.0	4-8	26-32	2	1.0-2.5	Bal	53

도중에 오스테나이트상은 800℃ 근처의 공석온도에서 페라이트와 $(Fe,Cr)_3C$탄화물로 분해된 퍼얼라이트상으로 존재하게 된다. 경화능이 충분히 확보된 고크롬 철계합금의 경우 오버레이 용접 후 상온까지 냉각된 재료를 920-1060℃로 가열한 후 장시간 유지하는 후열처리(Destabilization Treatment)를 하게 되면 오스테나이트내에 고용된 Cr 과 C이 결합하여 이차크롬탄화물(Secondary Cr Carbide)이 석출하고 난 오스테나이트상의 Ms점은 상온 이상으로 상승되어 냉각 도중에 마르텐사이트상으로 변태를 일으킨다.

일반적으로 고크롬 철계합금의 경우는 후열처리를 하지 않으며, 오스테나이트를 기지상으로 하는 오버레이 용접한 그대로 사용되고 있으나, 오버레이 용접 후 후열처리를 하여 기지상을 마르텐사이트상으로 할 경우 저응력 긁힘마모 조건에서 내마모성이 20-30% 개선될 수 있다[7]. 이들 합금의 내마모성 개선 주요 인자는 미세조직 중의 크롬탄화물이므로 크롬탄화물의 양이 많을수록 저응력 긁힘 내마모성은 개선되므로 아공정합금 보다는 조대한 일차크롬탄화물을 다량 함유한 과공정합금이 오버레이 용접합금으로 주로 사용되고 있다.

한편 80년대 이후 현재까지 크롬탄화물을 함유하는 고크롬 철계합금을 기본으로 하고 크롬탄화물 보다 경도값이 높은 NbC, VC, TiC를 함께 석출시킴으로써 내마모성이 보다 개선된 복합탄화물형 고크롬철계합금의 개발이 지속되고 있다[7~9]. 그림4[7]는 크롬탄화물형 및 복합탄화물형 고크롬철계합금들의 저응력 긁힘내마모성을 나타낸 것이다. 그림 4로 부터 티타늄탄화물을 함유하는 복합탄화물형 고크롬철계합금(O1-2, O3-2)의 경우는 크롬탄화물형 고크롬철계합금(H14)의 내마모성에 비해서 2배 이상의 우수한 내마모성을 가지고 있음을 알 수 있다. 향후 보다 내마모성이 우수한 내마모재의 필요성이 산업적으로 크게 요구되고 있는 점을 감안하면 고크롬 철계 오버레이합금재의 경우는 크롬탄화물형에서 복합탄화물형 재료가 개발되고 보다 널리 사용되어질 전망이다.

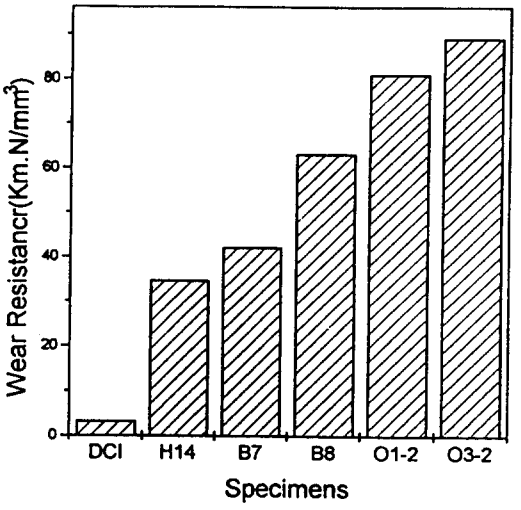

그림 4. 고크롬 철계 오버레이 합금의 저응력 긁힘 내마모성〔DCI: Ductile Cast Iron(Hv 291), H14: 5.1C+29.2Cr+Fe(Hv600), B7: 3.25C+26.7Cr+4Nb+Fe(Hv600), B8: 4.88C+24Cr+7NB+6.93Mo+1.2V+Fe(Hv745), O1-2: 4.37C+9Cr+4Ti+5.4W+Fe(Hv551), O3-2: 5.4C+12Cr+5Ti+1.1W+Fe(Hv741)〕

4.2 니켈합금

주, 단조 니켈합금의 경우는 주로 우수한 내식성과 고온에서의 높은 강도를 가짐으로 인한 내식재료 및 항공재료로 사용됨에 반해서 오버레이 용접용 니켈합금은 주로 내마모성 개선 측면에서 개발되어져 왔다. 보라이드(Boride)형인 Ni-Cr-Si-B계 합금의 경우는 오버레이 용접용으로 오래전부터 사용되어온 대표적인 니켈합금이며 미국용접학회에서도 니켈계 오버레이합금으로서 본 합금계만 분류 정의되어 있다. 그러나 고온에서의 경도 유지 및 가공경화성, 우수한 내식성을 가지는 오버레이 용접용 니켈합금은 그간 다양한 합금계가 개발되어 있으며 표 5[10]와 같다. 표 5로 부터 오버레이 용접용 니켈합금은 크게 1-4%B을 함유하는 보라이드(Boride)형, 1-3%C을 함유하는 탄화물(Carbide)형, 5-7%Si을 함유하는 실리사이드(Silicide)형, C+B<0.1%인 금속간화합물(Intermetallic)형, C+B<0.4%인 고용체(Solid Solution)형 등으로 분류될 수 있다.

보라이드(Boride)형은 Cr, B 및 C 함량을 조절하여 Cr Boride, Ni Boride 등의 고경도상의 양을 조절함으로써 넓은 범위의 경도값을 가지는 합금의 제조가 용이하므로 쉽게 사용이 가능하다. 특히 540℃ 까지 용접직후의 경도값을 유지하여 응

표 5. 오버레이 용접용 니켈합금의 성분 및 경도값

구 분	성 분	경도값(HRC)
Boride Type	0.3-0.6C+1.5Co+8-14Cr+1.25-3.25Si+2-3B+Ni	24-35
	0.4-0.8C+1.25Co+10-16Cr+3-5Fe+3-5Si+2-4B+Ni	30-45
	0.5-1.0C+1Co+12-18Cr+3-5Fe+3-5Si+2.5-4.5B+Ni	35-56
Carbide Type	1.1C+29Cr+5.5Mo+2W+Ni	33
	1.1C+26Cr+29Fe+11Co+3Mo+3.5W+Ni	33
	2.0C+26Cr+8.7W+2Fe+Ni	40
	2.4C+30Cr+9Mo+2.5Fe+Ni	44
Silicide Type	0.3C+15Cr+5Si+0.6B+2W+Ni	36
	0.9C+10Cr+5Si+0.5B+2W+Ni	43
	0.3C+21Cr+6Si+01.0B+2W+Ni	45
Intermetallic Type	0.1C+15Cr+32Mo+1Co+3.3Si+Ni	45
Solid Solution Type	0.05C+16Cr+17Mo+4.5W+Ni	25
	0.4C+17Cr+17Mo+4.5W+Ni	27
	50Cr+50Ni, 20Cr+80Ni	-

착마모 및 긁힘마모에 대한 저항성이 우수하고, 내식성이 뛰어나나 충격인성이 열악한 단점이 있다. 주로 유리공장의 금형 및 링, 스크류 등에 사용된다. 탄화물(Carbide)형은 다량의 Cr 및 C을 함유하여 크롬탄화물을 석출시켜 내마모성을 개선하고 Mo 첨가량이 높을수록 고온에서의 고경도를 유지함으로써 고온 내마모용 오버레이 합금재로 사용되고 있다. 실리사이드(Silicide)형은 보라이드(Boride)형에 비해서 Si/B비가 높으며 경도 및 충격인성간의 적절한 조절로 보다 높은 충격인성을 가지고 있다.

그림 5[10]는 오버레이 용접용 니켈합금의 경도값에 따른 충격인성 거동을 나타낸 것이다. 그림 5로부터 충격을 적게 받으면서 높은 내마모성이 요구되는 곳에는 보라이드(Boride)형 니켈합금, 높은 충격에너지가 수반되는 곳에는 실리사이드(Silicide)형 니켈합금, 그리고 충격과 내마모성이 동시에 요구되는 곳에는 탄화물(Carbide)형 니켈합금이 적절할 것으로 판단된다.

니켈계 합금의 경우 철계합금에 비해서 고가이나 코발트계합금 보다는 저렴하므로 본 합금의 보급을 위해서는 고온에서의 내마모성 및 내식성이 우수하므로 향후 타재료와 비교한 물성 비교값에 대한 보다 많은 연구가 필요하며 특히 고온에서의

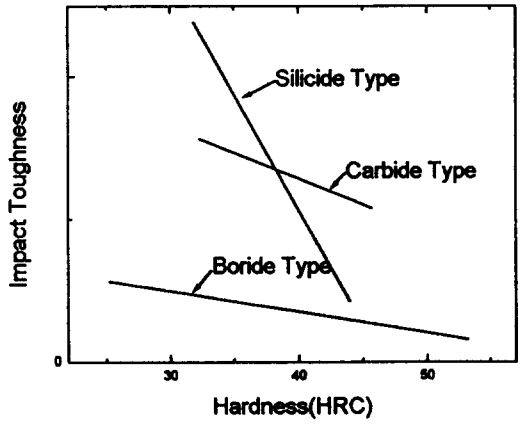

그림 5. 오버레이 용접용 니켈합금의 경도값에 따른 충격인성거동

내마모성에 관한 실제적인 시험결과가 절실히 필요하다.

4.3 코발트합금

오버레이 용접용 코발트합금은 내열성, 내부식성, 그리고 내마모성이 동시에 요구되는 곳에 주로 많이 사용되고 있다. 특히 고온에서의 내부식

성 및 내산화성이 타 오버레이 용접합금에 비해서 뛰어나기 때문에 고가 임에도 불구하고 대형 선박 엔진의 밸브표면, 화학공장 및 발전소의 고온 내마모성이 부가적으로 요구되는 곳에 오래전 부터 사용되고 있다.

본 합금은 크게 C>0.8%인 탄화물(Carbide)형, C<0.1%인 금속간화합물(Intermetallic)형, 그리고 C<0.4%인 고용체(Solid Solution)형으로 분류된다. 이들 합금들의 성분 및 용착금속의 경도값은 표 6[10]과같다. 표 6으로 부터 탄화물형 합금은 대개 29% Cr을 함유하면서 C 및 W 함량에 따라 세분된다. C함유량이 증가할수록 용착금속의 경도값이 증가하며 동시에 내마모성 또한 증가한다. Stellite 1번 합금재로 더욱더 잘 알려진 CoCr-C합금의 경우에는 조대한 M_7C_3형 탄화물을 다량함유하며 경도값이 HRC49내외로 높아 내마모성이 우수하나 용접시 크랙이 발생하기 쉬우므로 주의해야한다. 그리고 Stellite 6번으로 알려진 CoCr-A합금의 경우는 미세한 $M_{23}C_6$형 공정탄화물이 존재하며 주로 화학공장에서의 스테인레스 300계열합금위에 오버레이 용접을 하여 내마모성 및 내부식성을 개선시키는 재료로 사용된다. 금속간화합물형 합금재는 미세조직 중에 탄화물상 대신에 Laves상인 $(Co, Mo)_2Si$가 석출하여 내마모성을 개선시키며 주로 컴퓨터의 하드드라이브에 많이 사용된다. 그리고 고용체형 합금재료는 미세조직상에 탄화물 및 Laves상은 거의 존재하지 않으며 상대적으로 타 합금계에 비해서 경도값이 낮고 내마모성이 다소 떨어지나 가공경화 효과를 이용한 높은 충격인성이 요구되는 곳에 주로 사용된다.

오버레이 용접용 코발트합금의 응용확대를 위해서는 니켈합금재와 마찬가지로 보다 각종 산업 설비들의 다양한 요구조건에 부응할 수 있는 광범위한 시험결과가 많이 요구되고 있다.

4.4 구리합금

내마모성을 위한 오버레이 용접용 구리합금의 경우는 대부분 경도값이 낮기 때문에 모든 마모조건에서 사용될 수 있을 정도의 다양한 합금계가 없으며, 주로 금속과 금속간의 마모, 액체마식(Liquid Erosion)에 대한 부식마모에 뛰어난 합금이 개발되어 사용되고 있다. 이들 합금의 종류는 Cu-Zn합금인 황동(Brass), Cu-Al-Fe합금인 Al청동(Bronze), Cu-Sn-P합금인 인청동, 그리고 Cu-Sn-Si합금인 Si청동이 대표적이다. 황동은 아연(Zn)이 구리에 고용된 단상조직의 합금으로써 열처리에 의해 경화되지 않는다. Al청동은 열처리에 의해 마르텐사이트상을 가질 수 있으면서 경도값이 HRC36 정도로서 주로 롤러체인가이드(Roller Chaon Guider)에 많이 사용된다. 인청동은 열처리에 의해 경화되지 않으며, 경도값 또한 황동과 비슷하나, 3%이상의 주석을 첨가시켜 기지상 보다 경도값이 높은 Sn-rich상을 미세조직 중에 형성시켜 주로 연한 철계금속과 접촉하는 구리계 오버레이 용접재료로 사용된다. 그리고 Si청동합금은 단상으로써 열처리에 의해 경화되지 않으나 바닷물에 대한 내부식성이 우수하여 선박의 프로펠라 등에 오버레이용 용접재로 이용되고 있다.

표 6. 오버레이 용접용 코발트합금의 성분 및 경도값

구 분	성 분	경도값(HRC)
Carbide Type	0.7-1.4C+2Mn+3-6W+3Ni+25-32Cr+1Mo+5Fe+2Si+Co	23-47
	1-17C+2Mn+7-9.5W+3Ni+25-32Cr+1Mo+5Fe+2Si+Co	34-47
	1.7-3C+2Mn+11-14W+3Ni+25-32Cr+1Mo+5Fe+2Si+Co	43-58
Intermetallic Type	0.04C+9Cr+28Mo+2.6Si+Co	53
	0.04C+17Cr+28Mo+3.4Si+Co	58
	0.04C+9Cr+23Mo+2.7Si+16Ni+Co	54
Solid Solution Type	0.25C+28Cr+5Mo+Co	28
	0.05C+25Cr+9Ni+5Mo+2W+Co	27

5. 맺은말

앞에서 국내의 오버레이 용접기술의 적용현황 및 대표적인 적용사례, 오버레이 용접기술 및 용접재료의 개발현황 등을 간략히 살펴 본 바와같이 오버레이 용접기술이 도입된 후 지금까지 근 30년 가까이 고가의 외국 수입 용접재료에 의존하여 왔다. 그러나 최근에 국내에서 오버레이 용접재료의 국산화 개발이 추진되고 있는 것은 이 분야 관련산업의 국제 경쟁력 확보를 위해서는 필수적으로 거쳐야하는 매우 바람직한 현실이다. 오버레이 용접시공 업체 및 시공품 사용업체들이 장기적인 안목으로 아직 시작단계인 이들 오버레이 용접재료의 국산화 개발업체들의 성장을 위해 보호하고 이끌어 줄 때 이 분야의 장기적이고 균형적인 발전이 이루어질 것이다. 다른 한편으로는 생산성 향상을 위한 오버레이 용접 시공상의 공법개선 및 고에너지 열원을 이용한 첨단 기술과 새로운 합금 개발의 가능성이 풍부한 오버레이 용접재료의 연구개발이 절실히 필요한 때이다.

참 고 문 헌

1. K. G. Budinski, Surface engineering for wear resistance, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988, pp. 269
2. Copy from VAUTID Co.' catalogue
3. Copy from CORODUR Co.' catalogue
4. Nippon Steel Hardfacing Co., "Hardfaced roll for continuous caster", 일본철강협회공동연구회 제32회선강설비분과회, 선강설32-강-1(1985)
5. Copy from ADAM Co.' catalogue
6. H. Heuser: "Electroslag strip cladding", Thyssen Schweisstechnik GMBH, Technische Information
7. 백 응률: "고크롬철계 육성합금의 긁힘마모 및 파괴현상", PhD Thesis, 포항공대 (1997) pp54
8. H. Berns and A. Fischer: "Microstructure of Fe-Cr-C hardfacing alloys with additions of Nb, Ti and B", Metallography, Vol. 20(1987) pp401-429
9. E. Lugscheider, H. Drzeniek and J. Nacken: "Effect of VC- and NbC hardphases on microstructure and wear brhavior of iron base hard surfacing alloys", 2nd Int. Conf. on Surface Engeering, Paper 14 (1988) pp 245-255
10. J. Wu: "Nickel- and Cobalt-base system & alloys", First Bi-annual AWS Cleveland Section Regional Conf. on Hardfacing, Oct. 18-19, 1995. Cleveland