

국내 용사/오버레이 용접기술의 현황과 전망

황 순 영 · 백 응 룰

Trend of the Thermal Spraying /Overlay Welding Technology in Korea

Soon-Young Hwang and Eung-Ryul Baek

1. 용사코팅기술의 현황과 전망

21세기 산업기술의 발전은 사용온도, 압력, 속도의 증대에 의한 고성능의 기계 및 장치류의 정밀성 강화 및 효율적인 사용에 특징을 부여하고 있으며, 이러한 요구를 만족하기 위하여 독특한 성질을 가지는 신소재의 개발과 기존재료의 성능향상에 중점을 두고 있다. 이러한 산업환경에 부합하는 재료연구중의 하나로, 복합재료의 피복 기술인 용사코팅기술은 생산기반 기술인 표면처리 기술 중에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 용사코팅기술은 Fig. 1과 같이 분말 또는 선 재료를 높은 열원으로부터 용융 액상으로 만들어 고속으로 모재 표면에 부착시켜 피막을 형성하는 기술로, 소재나 공정의 제한성이 크나, 공정비용이 높고 환경오염을 야기하는 CVD(Chemical Vapor Deposition), PVD(Physical Vapor Deposition), Sputtering, 이온주입 및 도금 등의 표면처리 개질 방법과는 달리 용사코팅은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 금속, 세라믹스, 플라스틱, 혼합물 등 용사재료의 선택 폭이 넓다.
- 낮은 온도에서의 피막형성이 가능하므로 모재의 조직변화 및 열변형·분해가 적다.
- 피 용사재료의 종류, 형상 및 치수의 다양성으로 현장시공이 간단하다.
- 용사화염의 에너지와 기체 에너지의 조절이 용이

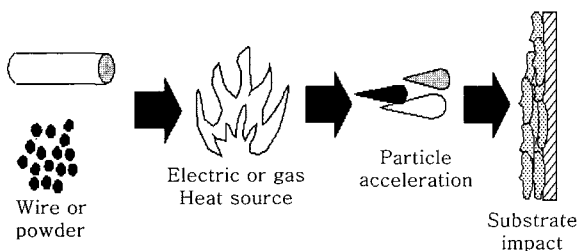


Fig. 1 Thermal spray coatings process

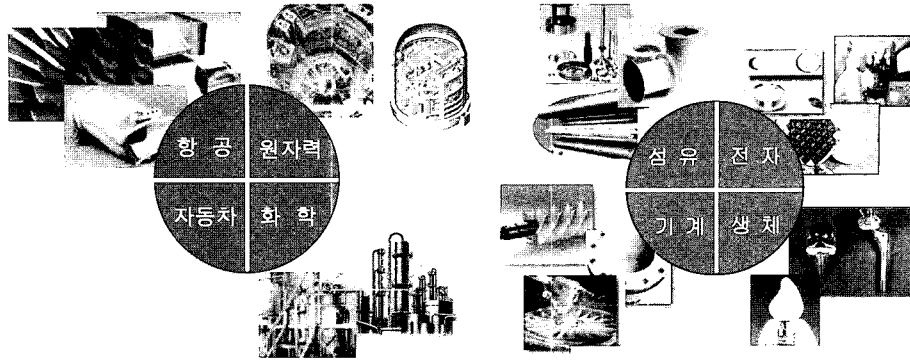
하여 작업환경이 간단하다.

- 피막의 형성속도가 빠르고, 잔류응력을 고려한 피막두께를 임의로 조절할 수 있다.
- 복합피막의 형성이 가능하므로 새로운 성질을 가지는 재료의 개발이 용이하다.
- 비 평형상태의 조직을 얻을 수 있다.
- 윤활재의 수용이 가능한 다공질 피막형성을 만들 수 있다.

용사코팅처리에 의한 재료는 기존의 소재가 가지고 있는 특성 (내마모성, 내열성, 단열성, 내식성, 전기절연성)을 살리면서 새로운 성질을 부여하여 재료기능의 다양화, 고도화 및 수명연장을 가능하게 하기 때문에 항공기, 자동차, 화학 플랜트, 우주항공재료, 원자력 기기, 교량, 전기, 전자, 섬유, 생체 등의 각종 고부가가치 제품 등에 도입되고 적용분야가 점차적으로 확대되어 가고 있다. Fig. 2는 이러한 용사코팅기술의 응용분야를 나타낸 그림이다.

1.1 용사코팅기술의 국외 개발동향

용사코팅기술개발의 국외 개발동향은 다음과 같다. 미국과 유럽(스위스, 독일, 프랑스 등)에서 주도적인 개발이 이루어지고 있으며 일본이 그 뒤를 따라가고 있다. 미국에서는 1987년 이래 ASM에서 주관하는 National Thermal Spray Conference가 매년 열려 800여 건의 논문이 발표되고 있고, Thermal Spray Society가 설립되어 용사코팅에 대한 활발한 토론이 이루어지고 있다. 최근 기계적 특성, 내마모성, 내식성이 타 소재에 비하여 탁월한 특성을 가지는 Nano-material 코팅기술, 경질크롬도금 대체 및 용사재료에 대한 개발, 질화물계 용사코팅의 연구개발이 이루어지고 있다. 특히 Nano-material 용사코팅은 기존의 코팅보다 고경도, 고내마모성을 얻을 수 있는 특징이 있지만, 소량의 고품위 생산에 국한되어 있는 것을 알 수



항공 : 터빈 Blade, Vane, Combustion Liner
 원자력 : 팬 블레이드, 보일러
 자동차 : 실린더, 커넥팅로드, 씽크로라이징링
 화학 : 열교환기, 반응탑, Pipe Line

섬유 : Roll, Spindle, 각종부품
 전자 : 전자과차페코팅, Wafer Supporter
 생체 : 인공치아, Hip Joint
 기계 제지 : 산업용공구, Anilox Roll

Fig. 2 Application field of thermal spray coating technology

있는데 이는 아직 나노 입자의 고품질 생산기술 및 용사코팅 프로세스 기술개발이 확립되어 있지 않기 때문이다.

대표적인 국가 연구기관으로는 NASA(National Aeronautics and Space Administration) Lewis Research 를 중심으로 초고속 항공기와 우주왕복선 엔진에 적용하는 단열코팅의 내구성 및 신뢰성 향상을 위한 연구가 집중적으로 이루어지고 있으며, 내마모 관련 연구는 미국 해군 연구소(Office of Naval Research)에서 최근에 연구를 착수한 HVOF 용사공정을 이용한 초미립의 분말(Nano powder)의 코팅기술을 개발하고 있다.

유럽에서는 프랑스의 Polytechnic Institute of Sevenans의 교수이며, LERMPS lab.의 책임자인 Coddet 교수가 주도적인 연구활동을 진행하고 있다. 일본에서는 용사협회지와 Thermal Spraying Technique 연구 학회지를 통하여 각종 산업용 용사코팅의 개요, 개발현황, 기타 용사코팅 공정의 문제점(핑음, 유해가스, 적외선, 분진, 분급 곤란, 혼합분체의 형상 등)을 해결하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 최근에 고부가가치 용사코팅의 고품질 및 대량생산이 가능한 기술로 발전하기 위해서 용사코팅 프로세스 공정과 코팅특성 평가에 대한 On-line control process 연구가 시작되었다. 이러한 On-line Process Control에 대한 모식도를 그리면 다음과 같다.

1.2 용사코팅기술의 국내 개발동향

용사코팅기술의 국내개발동향은 다음과 같다. 1990년 대에서부터 용사관련 개발연구가 활발히 진행되고 있다. KIMM에서는 섬유산업에 적용하기 위한 산화물

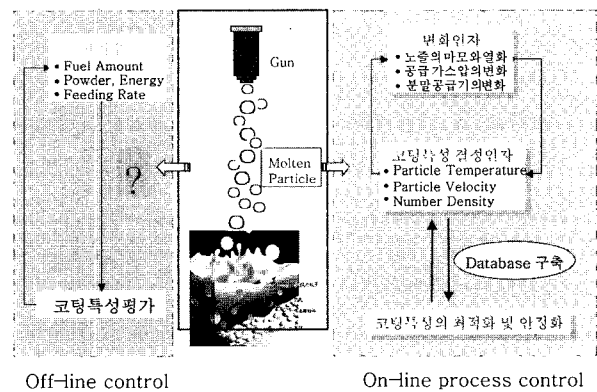


Fig. 3 A schematic diagram of on-line process control

계 코팅을 개발하여 적용되고 있으나 현재 국내의 섬유산업이 많이 위축되어 용사코팅시장이 위축되고 있는 실정이다. KIST에서는 1990년대 후반에 가스터빈 용사코팅 기술의 개발을 시도하였다. 한편, 한전기공은 미국 GE와의 기술지원으로 가스터빈 용사를 실시하고 있으며, 서머텍코리아는 미국 Sermatech의 기술지원으로 국내 항공기 부품의 용사를 실시하고 있다. 그 외에 대한항공, 아시아나 항공은 외국기술을 도입하여 자체 용사코팅을 실시하고 있다. 용사기 개발에 있어서는 서울대에서 설계기술을 확보하여 플라즈마 용사건의 국산화와 항공기용 열차단 코팅에 대한 기초연구를 수행하고 있다. 하지만 전반적으로 기술수준은 선진국과 비교하여 초보적인 단계에 머물러 있다. 특히, 재현성 및 고부가가치 면에서 많은 차이를 나타내고 있지만, 앞으로 고부가가치 용사코팅(Nano-material, 질화물계 재료)의 개발에 있어 코팅의 특성평가를 On-line으로 제어 할 수 있는 기술이 필요한 실정이다.

다음은 최근에 발표된 용사기술 관련 국내에서 발표된 연구개발 동향에 대해서 살펴보면 다음과 같다. 포

항산업과학연구원(RIST)에서는 1990년 이 후, 포항제철 관련 용사코팅기술 개발 및 일반 산업체의 용사코팅 기술개발에 관한 연구를 다음과 같이 수행하였다. Clad 분말을 이용한 냉연 Hearth Roll용 용사 코팅기술개발 및 기존 Cr 도금층을 대체 할 수 있으며 내마모성이 우수한 용사코팅기술을 개발하기 위하여 국내 최초로 초고속 화염용사기를 도입, 용융 아연도금라인에 쓰이는 용융 아연도금 욕조 내에 있는 Pot Roll용 용사코팅을 개발 등을 실시하였다^{1,2)}. 또한 최근에는 나노 분말을 이용한 용사코팅기술의 개발도 시도하고 있다. 또한 용사코팅 재의 Sealing 효과에 대해서 알루미늄 용사코팅의 전기절연성을 평가하기 위하여 전기절연계수와 전기절연 파손 전압을 평가하고, 전기절연성을 증대시키기 위해서 고분자 용사코팅 실링제를 실시한 후, 실링제의 침투깊이와 전기절연성 증대효과 및 기계적 특성을 평가하였다³⁾.

KIST에서는 가스터빈 블레이드 코팅 층 및 모재의 열화현상에 대해서 연구를 하였다. 이 연구결과는 국내에서는 터빈 블레이드의 열화현상에 대한 기본 데이터 베이스가 없는 상황에서 기초적인 자료를 쓸 수 있는 데이터로 향후 국내 산업용 가스터빈의 확대 보급에 따라 가스터빈 블레이드의 열화현상이 많이 발생할 것으로 예측된다. 특히 이 연구에서는 용융염부식에 대해서 ZrO_2 계 코팅의 다양한 안정한 원소(Ce, Se, In) 등의 영향도 고찰하였다⁴⁾. 또한 한양대학교에서는 열차단 코팅에 대한 연구가 수행되었다. Multi-layer 및 다양한 세라믹 재료의 열차단 코팅에 대한 기구의 연구가 수행되었고^{5,6)}, 최근에는 Nano 분말을 이용한 친환경성 코팅의 특성평가도 실시되고 있다⁷⁾. 연세대학교에서는 E. Fleury 등에 의해 Al-Cu-Fe의 Quasi-Crystal (준결정) 상의 Laser melting - solidifying에 대한 연구로서 첨가원소의 마찰계수 및 내마모관련 연구를 하였다⁸⁾. 준결정상은 일반결정보다 교경도 및 저마찰계수를 가지는 상으로 알려졌다. 이 연구그룹에서는 초고속 화염 용사 코팅기술과 플라즈마 용사코팅 기술을 응용하여 Cr 도금코팅과도 비교를 하였다⁹⁾. 한국가스공사에서는 Al-2%Zn 용사코팅 층의 방식성능평가에서 Open Rack Type의 LNG Vaporizer에 Al-2%Zn 용사를 실시하였을 때의 용사코팅 층의 손상평가 및 용사코팅 층의 수명예측 및 보수시기 결정에 대해서 연구를 하였다¹⁰⁾. 두산중공업에서는 선박용 엔진의 피스톤 링과 라이너에 적용할 수 있는 Cr_2O_3 -NiCr계 내마모 코팅에 물성평가를 실시함으로써 하여, 최적 용사코팅조건을 정립하고 내마모 코팅에 대한 마찰계수 및 상대마모 평가를 하여 최적의 코팅층 합금설계를 시도하였다¹¹⁾.

고려대학교에서는 Nano-Chromium Carbide의 Tribological Property에 대한 연구를 실시하였다¹²⁾. 이 연구에서는 나노 용사코팅을 Cr_2O_3 나노 분말을 이용하여 실시하였고, 이 코팅은 경도가 높고, 마찰계수가 작은 코팅으로 특성평가를 하였다. 이러한 국내에서도 용사코팅기술에 대한 다양한 연구가 진행되었다.

1.3 용사코팅기술의 향후 전망

향후 용사코팅기술은 연구소·대학 및 산업체를 중심으로 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 Nano-Bmaterial에 관한 관심이 높아져 활발한 연구가 시작 단계에 있으므로 앞으로 이 분야에 있어 상당한 진전이 있을 것으로 예측된다. 용사를 이용한 Spray forming 기술개발은 최근에 시작되고 있으며, 고 경도 크롬을 대체하는 용사코팅은 이미 국내에서도 상당히 진행되고 있고 그 속도는 점점 가속화될 것으로 전망되고 있다. 예를 들면, 재료의 수명과 품질에 직접적인 영향을 미치는 용사코팅 프로세스 기술개발과 특성평가의 정량적인 Database을 일원화한 용사코팅의 On-line process control system이 이루어지면 기존의 Cr 도금영역을 획기적으로 교체 할 수 있으며(수명이 30배 증가), 아연 및 용융 알루미늄도금의 품질개선이 가능하고, 용사코팅의 신뢰성 향상으로 비용절감과 환경오염 방지에 효과를 얻을 수 있다. 이러한 기술개발은 선진국과 충분히 경쟁할 수 있다고 사려 된다. 현재, 전반적으로 용사업체는 일반산업설비에 용사를 실시하는 저 부가가치 용사코팅을 실시하고 있지만 제철산업, 제지업계, 자동차업계, 전자업계, 발전업계를 중심으로 새로운 용사용분야를 개발하고자 하는 시도들이 진행되고 있으므로 5년 이후에는 기존의 용사코팅 프로세스를 이용하는 분야에서 많은 진전이 있을 것으로 전망된다.

2. 오버레이 용접 기술의 현황과 전망

오버레이 용접기술은 내마모성, 내식성 또는 내열성을 갖는 합금의 용접재료를 모재 표면에 균일하게 용착 시킴으로서 재료의 표면성질을 향상시키고자 하는 표면 처리의 한 방법이다. 용사코팅의 경우 코팅층의 두께가 수 십 $\mu m \sim 1mm$ 로 매우 얇은 것에 비해, 오버레이 용접의 경우는 $1mm \sim$ 수 십 mm 로 매우 두꺼운 표면개질층을 얻을 수 있다. 그 결과 가혹한 사용 조건하에서 장시간 사용해야하는 설비 부품의 경우와 극심한 표면 손상을 받아 재 보수해야하는 설비 부품의 경우에는 본 오버레이 용접에 의한 표면개질 및 보수 방안이 매우 효과적으로 적용되어 활용되고 있다. 1920년대 초 석

유 시추용 드릴 선단부의 내마모성을 개선시키기 위해 처음 적용된 오버레이 용접기술은 20세기에 들면서 선진국을 중심으로 급속한 산업화가 진행되면서 장시간 운전을 요하는 장치산업(석유화학설비, 광산설비, 발전설비, 제철설비, 시멘트설비, 제지설비 등) 및 중장비 기계 설비를 중심으로 적용되면서 발전하여 왔다.

Fig. 4¹³⁾에 오버레이 용접기술의 특징과 이를 사용함에 따른 잇점을 나타내었다. 오버레이 용접기술의 특징은 무엇보다도 필요한 부분에 원하는 물성을 지닌 오버레이 용접재료를 용착시킴으로서 복합화를 가능하게 한다. 즉 한 예로 인성을 지닌 저가의 모재 표면에 인성은 열악하나 내마모성이 우수한 오버레이 용접층을 형성시킬 경우 잘 부러지지도 않으면서 내마모성이 우수한 부품의 제조가 가능하다. 이때 우수한 인성을 지닌 모재 표면에 용접되는 오버레이 용접재는 사용 중 부품 파손의 위험성을 고려하지 않은 합금설계가 가능하므로, 기존의 상용 내마모재와 비교시 인성은 열악하나 내마모성은 보다 뛰어난 합금을 적용할 수 있어 오버레이 용접재료로서만 사용 가능한 새로운 합금의 개발 가능성이 매우 높다. 그리고 부품 사용으로 표면 오버레이층이 손상된 경우에는 부품의 폐기 대신에 손상된 부품의 표면부를 다시 오버레이 용접해서 사용할 수 있어 매우 경제적이다.

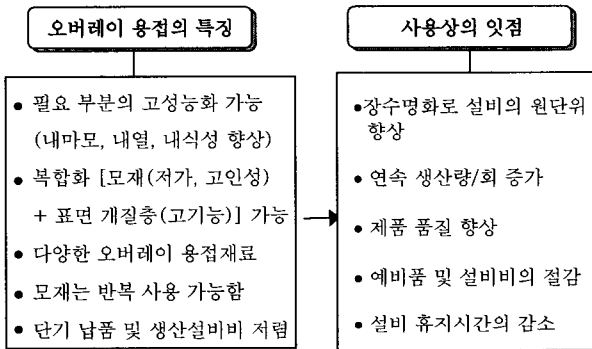


Fig. 4 Characteristics and using advantages of the over-layer welding technology¹³⁾

오버레이 용접한 설비 및 부품의 성능이 향상됨에 따라 설비 및 부품의 사용시간이 길어지고, 이에 따른 설비 교체를 위한 설비 휴지 시간의 감소는 정비비의 절감과 생산성의 향상을 가져다 준다. 그리고 무엇보다도 큰 잇점은 오버레이 용접부의 마모 손상 지연은 설비의 정밀 가동을 가능하게하고, 생산 제품의 첫수 정밀도를 높여주는 효과가 있어 고부가가치의 고품질 생산에 크게 기여할 수 있다는 점이다.

2.1. 오버레이 용접 부문의 국내 산업 현황

1970년부터 Stoodly 사(미국)의 오버레이 용접재료가 국내 대리점인 이성상사를 통해서 미 8군 등지로 중장비 보수 용으로 일부 판매되었다. 본격적인 전문 오버레이 용접은 1973년 포항제철소가 준공됨에 따라 한국단열(현재 케이아이씨 전신)이 제철소 소결공장의 Grizzle bar를 Stoodly사의 고크롬 내마모 육성용재인 100HC(Flux cored wire)를 사용하여 반자동 오버레이 용접을 실시함에 따라 시작되었으며, 이듬해인 1974년 포항에 오버레이 용접 전용 공장을 착공함으로써 본 계도에 진입하게 되었다. 그 후 70년대 국내 중화학 공업의 발전과 더불어 대형 제철설비의 건설과 화력발전설비, 그리고 시멘트 산업의 급속한 발전으로 국내 오버레이 용접분야는 제철설비, 시멘트설비, 화력발전설비를 주축으로 발전하게 되었다.

현재 국내의 오버레이 용접부문의 시장 규모는 용접 시공과 용접재료만을 고려했을 때 약 1,000억/년 정도이다. 제철설비 부문이 500억원/년으로 전체 시장 규모의 약 절반을 차지하고 있을 정도로 매우 적극적으로 오버레이 용접기술이 적용되고 있다. 그리고 시멘트설비 부문이 150억원/년, 발전 및 석유화학 설비 부문이 100억원/년, 자동차 및 일반 가공용 금형 보수 부문이 50억원/년, 선박용 밸브 및 부품 보수 부문이 50억원/년, 제지설비, 중장비, 등 기타설비 보수 부문이 100억원/년, 용접재료 부문이 50억원/년 정도이다. 설비 보수를 위한 용접 시공이 전체 시장의 95%인 대부분을 차지하고 있으며, 오버레이 용접을 위한 국내 제조 용접재료의 경우에는 전체 시장의 5% 내외를 차지하고 있다.

통상 설비 보수를 위한 용접 시공비 중에서 용접재료비가 차지하는 비용이 30% 내외를 점유한다고 할 때 국내 오버레이 용접부문의 시장 규모 측면에서 소모되는 용접재료비는 약 300억원/년으로 추정되며, 이중 거의 80% 이상이 수입 용접재료에 의존하고 있음을 알 수 있다. 오버레이 용접재료의 경우에는 내마모성, 내열성, 내식성 등과 같은 물성을 만족시키기 위한 다량의 특수 고합금이 첨가되었다는 이유로 가격이 5,000원/kg 이상인 것이 대부분이다. 이는 결국 오버레이 용접 시공품의 가격을 상승시키는 주요 요인으로 작용하여 기술 적용 확대에 큰 걸림돌이 되고 있어, 용접재료의 국산화 개발로 원가 절감 및 적용분야 확대를 위해 노력해야할 시점에 있다.

현재 국내로 수출하고 있는 외국 오버레이 용접재료 회사를 살펴보면 Stoodly사(미), McKay사(미), Triten사(미), Vautid사(독), Corodour사(독), NittesHard

사(일), Fujico사(일) 등으로 미국, 독일, 일본 등 오버레이 용접 분야에서는 세계적으로 최상위 기술을 보유하고 있는 회사들이다. 이들 회사들은 모두가 오버레이 용접 기술의 발전 역사와 함께 기술개발에 기여하면서 성장한 원천 기술들의 보유사들로서 강력한 기술 경쟁력을 가지고 있기에 그간 국내에서는 큰 어려움 없이 이들 선진업체들에서 개발된 용접재료와 시공기술을 전수 받아 세계 최고 수준의 오버레이 용접품의 품질을 확보하여 국내 산업발전에 기여할 수 있었다.

그러나 선진국으로 도약하기 위해서 노력하는 현재의 국내 상황과 이제는 국내 산업설비에 오버레이 용접 기술의 적용을 위한 양적 성장의 단계에서 질적 성장의 단계로의 전환하는 현 시점에서는 이들 외국 회사들의 품질을 능가하는 한 차원 높은 용접재료의 국산화 개발만이 필요하며 이를 위해서는 각고의 노력이 필요하다. 그리고 오버레이 용접 시공품의 수출을 위해서는 고가의 수입 용접재료를 사용해서는 해외 시장에서의 경쟁력은 있을 수가 없기에 더욱더 고품질의 용접재료 국산화 개발이 요청되는 시점이다. 그러나 오버레이 용접 재료의 국산화 개발을 위한 국내 현실은 매우 어려운 것이 사실이다. 대부분의 국내 오버레이 용접 시공 회사들이 앞에서 언급된 외국사들의 용접재료를 국내에 판매하는 수입상을 겸하고 있고, 그간 최고 품질만을 사용한 경험으로 요구 수준이 매우 높기 때문에 국산 개발품의 보급과 기술개발의 속도는 매우 더디게 진행

되고 있는 현실이다. 이는 국가적인 차원에서 이 분야의 기술 선진화를 위해서 지속적인 기술개발 지원이 필요한 요인이기도 하다.

2.2 오버레이 용접기술의 응용 분야

2.2.1 제철설비 부문

Table 1에 제철설비 중에서 오버레이 용접을 실시하여 사용하고 있는 설비명과 이들 설비에 요구되는 특성을 나타내었다. 오버레이 용접을 하는 제철설비의 경우는 크게 제철원료인 철광석, 소결광, 코크스 등을 처리하는 제선설비(고로공장, 원료공장, 소결공장), 고온의 용강을 연속 주조하는 연주공장의 연주 가이드롤, 그리고 주편을 열간 및 냉간압연하는 압연공장의 각종 롤(열연공장, 후판공장, 냉연공장)로 대별될 수 있다.

제선설비의 경우에는 고경도의 각종 광물류(철광석, 소결광, 코크스)와 지속적으로 부딪히는 소결 Screener, Chute Liner, Grizzle Bar, Window Box 설비 등에 오버레이 용접을 한다. 이들 부품들은 주로 굽힘마모 현상이 지배적으로 발생되면서 마모 손상되기 때문에 굽힘 내마모성이 우수한 크롬탄화물계 플럭스코어드(Flux cored) 용접재를 사용한다. 크롬탄화물계 용접재의 경우에는 용착금속 중에 고경도(Hv 1,200~1,800) $(Cr,Fe)_7C_3$ 형 크롬탄화물¹⁴⁾이 40 vol.%로 다량 존재함으로써 우수한 내마모성을 부여한다. 그리고 고온부에 사용될 경우에는 Nb, Mo, V 합금원소들

Table 1 Over-layer welded parts and its required properties in the iron & steel plant.

설 비 명		요 구 특 성
고 로, 원 료, 소 결	• (소결 Screener, Chute Liner • (Grizzle Bar • (Window Box	상온 Edge 굽힘 내마모성 고온 High Stress 굽힘 내마모성 광물 Erosion 내마모성
연 주	• (Guide Roll	고온 내열피로, 산화, 굽힘마모
열 연	• (Scale Braker, Edge Roll • (Table Roll, 정정 Roll • (Down Coiler	고온 내열피로, 내마모, 고온 강도 내소부성, 내마모 내소부성, 내마모, 내 Slip성
후 판	• (열간교정Roll, Feed Roll • (Turn Table Roll • (Hot Level Roll, Back Up Roll • (열처리노내 Roll	내열성, 내마모성, 고온 강도 내소부성, 내마모성 내마모성 내열성, 내마모성
산 세 공 장	• (Steering Roll, Pressure Roll • (Leveler Pinch Roll, Bridle Roll • (Process Roll	내마모성, 내식성 내마모성, 내소부성, 내식성 내마모성, 내소부성
냉 연 공 장	• (Steering Roll, Leveler Roll • (Under layer for Thermal Spray • (고경도 정정 Roll	내마모성 내 Dent성 내마모성, 내소부성

이 추가적으로 첨가되어 NbC, Mo₂C, VC 등을 추가적으로 석출시킨 크롬탄화물계 용접재를 사용한다.

연주 가이드롤은 단일 품목이면서도 제철소 오버레이 용접 전체 물량 중에서 절반을 차지하는 부품으로서, 연속 주조법에 의한 강의 제조시 용강으로부터 응고되어져 나오는 고온의 주편을 안내하고 지지하는 역할을 한다. 고온의 주편과의 반복적인 접촉에 의한 가열과 냉각으로 열피로에 의한 균열 발생, 주편의 이동에 따른 산화층의 박리, 불화물에 의한 부식 등이 롤 표면부에서 발생된다¹⁵⁾. 따라서 연주 가이롤용 오버레이 용접 재료는 고온 내마모성, 내열피로크랙성, 내산화성 및 내부식성을 동시에 만족시켜야 한다. 현재 세계적으로 널리 상용되고 있는 용접재료로서는 고온 강도 특성이 우수하고 내마모성과 내식성이 고루 우수한 STS423계 합금의 메탈코어드 용접와이어를 사용¹⁶⁾하고 있으며, 중성형 플럭스를 사용한 잠호용접으로 주로 시공되고 있다.

포항제철(주)과 같은 일관 제철소의 경우 연주공장 이후의 압연공장(열연 및 냉연공장)에서의 오버레이 용접 품은 Table 1에서 제시된 바와 같이 각종 형태 및 종류의 롤들이 거의 대부분을 차지한다. 이들 롤들은 고온 또는 냉간의 압연재와의 끊임없는 접촉을 통해서 굽힘 마모가 발생되므로 마르텐사이트상을 기지상으로 하는 고경도 오버레이 용접재(Modified 13%Cr계 STS)를 사용한다. 그리고 이들 롤 표면에는 압연재의 일부가 소착되면 압연재 표면에 자국 흠을 남기게 되는 문제를 야기하기 때문에 오버레이 용접한 롤 표면부는 압연재가 잘 소착되지 않는 내소부성이 우수해야 한다.

2.2.2 일반 산업설비 부문

Table 2에 제철설비를 제외한 일반 산업설비 중에서 오버레이 용접을 실시하여 사용하고 있는 대표적인 설비명과 이들 설비에 요구되는 특성을 나타내었다. 시멘트공장의 시멘트 원료인 크링커(Clinker)를 분쇄하는 타이어 롤(Tire roll), 화력발전소의 발전 원료인 석탄을 분쇄하는 분쇄롤, 그리고 세라믹 분말 제조를 위한 각종 분쇄롤들의 경우에는 극심한 하중이 걸리면서 피분쇄체의 경도값이 대체로 높기 때문에 롤 표면의 마모가 급속도로 진행된다. 이들 분쇄롤의 경우, 초기에는 내마모 주조품(고망간강, Ni-hard강, 고크롬 주철 등)이 사용되었으나 과공정 크롬탄화물계 또는 6~7%Ti 함유 내마모재를 사용한 오버레이 용접이 적용됨에 따라 사용수명이 3배 이상 획기적으로 개선되었다. 분쇄롤의 수명 증가는 롤 교체비용의 절감 뿐만 아니라 분쇄 효율의 향상으로 생산성이 증가됨에 따른 경제적 이익이 훨씬 크기 때문에 내마모성이 보다 우수한 제품의 사용이 요구되고 있다.

따라서 내마모성 개선을 위한 새로운 합금계의 개발은 오버레이 용접법의 적용으로 기존의 주단조법의 제조 한계를 벗어난 합금설계가 가능하므로 보다 용이하게 이루어질 수 있다. 현재 공업적으로 사용되고 있는 다수의 오버레이 용접재의 경우 재료의 특성에 대한 충분한 연구와 이해가 이루어지지 않은 상태에서 사용되고 있기 때문에 오버레이 용접 시공자에 따라 품질 편차가 매우 많이 나타나는 문제점이 있다.

급속 및 종이 등의 절단용 대형 칼, 자동차 엔진용 크랭크 샤프트 제조를 위한 열간 단조/프레스 금형, 형

Table 2 Over-layer welded parts and it's required properties in the heavy equipments and plants.

응용분야 및 설비명		요 구 특 성
시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • (Cement Mixer • (Clinker 분쇄용 Tire Roll • (Cement Pump Screw 	내마모성, 내부식성 내굽힘마모성, 6,000시간 사용요구 Erosion 내마모성
발전소 & 화학 Plant	<ul style="list-style-type: none"> • (Tool Joint & Valve Slides • (석탄 분쇄 Roll & Chute Liner • (원자로 압력용기 • (화학(유황, 요소)압력용기 	내마모성, 내산화성 내마모성 열피로 손상, 고온강도 강도, 내부식성, 내피로성
제지산업	<ul style="list-style-type: none"> • (Pulp Digester Valves • (Slitting Knife • (Decaniter Scrolls 	내마모성, 내산화성 내마모성, 강도 내마모성, 내산화성
금속가공	<ul style="list-style-type: none"> • (Hot Shear Blades • (형강, H Beam Roll • (각종 열간 금형 • (Hammer 	고온 강도, 고온 내마모성 고온 내마모성, 고온 강도, 가공성 고온 내마모성, 고온 강도, 가공성 내충격성, 내마모성, 고강도

강 압연을 위한 형상 롤 등과 같은 경우에는 고온에서 심한 하중을 받으면서 피가공재와 반복 접촉으로 열피로와 마모, 극심한 변형 등을 동반하고, 이들 부품들의 표면 손상은 피가공품의 형상변화를 가져오므로 제품 불량률의 원인이 되기 때문에 부품 수명 연장을 위한 오버레이 용접이 적극적으로 적용되고 있다. 특히 자동차용 크랭크 샤프트 단조/프레스 금형의 경우에는 기존의 SKD T4 소재 표면에 유레카(Eureka,미)의 ACW72 용접재를 사용한 오버레이 용접을 함으로서 금형 수명을 3배 이상 향상 시켰다. 크랭크 샤프트 열간 단조/프레스 금형의 수명연장은 무엇보다도 엔진 동력 부품인 개개 단조품 간의 치수 정밀도의 향상과 제품별 무게 편차가 적어 엔진의 진동 및 소음 발생을 줄여주는 효과가 있다.

대형 선박 엔진용 밸브시트 표면 마모부, 가열로 내스키드 버튼(Skid button) 표면 마모부 등 고온 마모 부품의 보수를 위한 Co 합금(Stellite No6) 용접재를 사용한 오버레이 용접은 고가의 용접재임에도 불구하고 오래전부터 적용되어 사용되고 있다. 밸브 시트부와외의 고온에서의 마찰로 인해 밸브 접촉면이 마모되면 엔진 폭발의 효율성이 저하되고 이는 에너지의 과다 손실과 엔진 출력의 저하를 가져오기 때문에 부식 분위기의 고온 내마모성이 우수한 Co합금이 널리 사용되고 있다

2.3 오버레이 용접분야의 향후 과제

국내의 경우 중화학 산업이 비교적 잘 발달되어 왔고, 이들 산업 설비들은 대부분 70년대 이후 설립되어 지금까지 대량생산 체제의 설비 가동이 이루어짐에 따라 잦은 설비 보수가 요구되어져 왔다. 그 결과 비교적 쉽게 오버레이 용접에 의한 선진 설비 보수기술의 도입과 정착이 이루어졌다고 할 수 있다. 다만 이 과정에서 국내 자체의 연구개발 능력의 보육없이 외국 기술의 도입이 이루어졌고, 지금은 더 이상의 국내 중화학 장치산업의 신설 및 증설에 따른 오버레이 용접의 국내 수요 증가는 크게 기대되지 않고 있다.

따라서 연구 개발을 통한 신기술의 개발로 새로운 수요 창출의 노력이 요구되는 시점이다. 그리고 다른 한편에서는 용접재료의 국산화 개발로 오버레이 용접 시공품 제조의 국제 가격 경쟁력을 확보하여 수출을 통한 매출액 증가를 도모해야한다. 신제품 개발과 용접재료 국산화 개발에 의한 원가 절감 노력은 수출을 위한 경쟁력 확보의 필수 조건이다. 그러나 현재의 국내 오버레이 용접 시공업체의 영세성과 기술개발 인력 육성에 대한 과감한 투자 부족은 향후 이 분야의 발전을 어렵게 하는 주요 요인으로 생각된다.

그간 1920~1980년대 기간 동안에 미국과 유럽을 중심으로 오버레이 용접기술이 선도되었고, 이어 1980~1990년대에는 일본을 중심으로 제철산업 분야 적용기술이 크게 발전 했다. 현재는 이들 미, 일 선진국에서는 이미 오버레이 용접기술은 기업체가 주도하는 자체 기술개발 방법으로 진행되고 있는 수준이다. 그러나 국내의 경우는 이제 일부에서 용접재료 국산화가 진행되고 있기는 하나 산업 전반에서 장치산업의 성장 정체를 맞고 있으며, 질적 성장이 절실한 시점이나 관련 업체 기술개발 인력 부족과 연구설비 빈약, 그리고 관련 연구집단(학계, 연구계)의 형성이 채 이루어지지 않은 상황이라서 우선적으로 조속한 연구집단의 형성이 필요하다. 이 분야의 급속한 팽창이 기대되지 않은 시장 상황에서 용접재료 및 육성 시공 업체의 관심은 점차 줄어들어가고 있기 때문에, 이제는 설비의 노후화가 급격히 나타나고 있는 장치산업 설비 운영 업체에서의 설비 장수명화와 정밀도 유지 측면에서 보다 관심과 노력이 증대될 것으로 예측된다.

제조업의 경쟁력 강화를 위한 설비의 고도화 유지의 필요성은 증대될 것이며, 이를 위한 한 방편으로 오버레이 용접기술의 적극적인 적용 및 개발은 우수한 품질의 저가 오버레이 용접재료 개발^{17,18)}, 생산성 향상을 가질 수 있는 용접시공기술의 개발, 오버레이 용접기술 적용을 위한 새로운 수요개발 측면에서 이루어져야 한다.

오버레이 용접재료의 경우에는 첫째 내마모성과 내열성, 내마모성과 내소부성, 내마모성과 내충격성, 내마모성과 내산화성 등과 같이 복합 물성을 가지는 합금개발, 둘째 용접 크랙을 발생하지 않는 고경도 내마모성 합금개발, 셋째 고기능 오버레이 용접재 제조를 위한 원료분말 제조기술, 용접봉 및 와이어 제조기술, 그리고 플럭스 제조기술^{19,20)} 개발이 요구된다.

그리고 오버레이 용접공정의 경우에는 첫째 저회석 및 박육(육성층 1~2mm) 오버레이 용접기술, 둘째 고합금화 및 복합 탄화물화 유도 공정기술, 셋째 고융착 용접기술, 넷째 열영향부 물성제어 공정기술²¹⁾, 신용접법(Electro Beam, Laser Beam, PTA 용접 등)의 오버레이 공정 적용 기술 개발이 요구된다.

끝으로 오버레이 용접기술 적용을 위한 새로운 수요를 창출하기 위해서는 산업체 적용을 위한 첨단 오버레이 용접재료, 공법, 그리고 적용 부품을 발굴할 수 있는 개발 능력을 지닌 기술개발 집단의 결성과 육성이 필요하다. 이는 오버레이 용접기술 개발을 위한 기획운영 조직 구성으로 정부와 장치 설비 운용업체로부터의 지속적 연구과제 도출과 설비 사용업체 담당기술자와의 주기적인 기술 교류를 통해서 독창적이면서 세계적 선도 수준의 기술 개발 노력이 절실히 필요한 때이다.

참 고 문 헌

1. B. G. Seon and S. Y. Hwang: A Study on Thermal Spray Coatings of Recuperators, Proceedings of National Thermal Spray Conference, Thermal Spray-Practical Solutions for Engineering Problem, AS International, (1996)
2. B.G. Seong, S.Y. Hwang, M.C. Kim and K.Y. Kim: Reaction of WC-Co coating with molten zinc in a zinc pot of a continuous galvanizing line, Surface and Coating Technology, 13 (2001), 101-110
3. 김형준, 권영각, S. Odoul: 세라믹 용사코팅층의 Sealing 효과, 제 14회 용사기술 Workshop Proceeding
4. 도정만 외 3인: 가스터빈 블레이드 및 모재의 열화현상, 제 12회 용사기술 Workshop Proceeding, (2000), 85-130
5. H. K. Kim, H. S. Choi, Chang-Hee Lee: Surf & Coat. Tech. 12 (2000), 1-12
6. H. S. Choi, Chang-Hee Le Proceedings of 2000 ITSC, 2001273-1279
7. 이창훈, 이창희: 나노구조 Ti 용사코팅의 미세조직 제어 공정 기술 개발과 광촉매 특성평가, 제14회 용사기술 Workshop, 131-141
8. E. Fleury, et al.: Laser melting-solidifying processes of Al-Cu-Fe plasma sprayed QC coating, 제 14회 용사기술 Workshop Proceeding, 9-20
9. Jae-Soo Kim et al.: Tribological Properties of HVOF and Plasma Sprayed Quasi-Crystalline Coatings, 제 12회 용사기술 Workshop, (2000), 27-38
10. 김용철 외 4인: Al-2%Zn 용사코팅층의 방식성능평가, 제 12회 용사기술 Workshop Proceeding, (2000), 47-74
11. 한명섭, 황종현, 김대영: C-NiCr계 플라즈마 용사코팅의 내마모 특성 연구, 제 12회 용사기술 Workshop, (2000), 77-83
12. 이정엽 외 3인: Tribological behavior of thermally sprayed nanocomposite chromium carbide, 제 13회 용사기술 Workshop Proceeding, (2001), 45-62
13. 甲斐 晋典, 指山 和之, 村上 嗣郎: 육성용접과 내마모성에 대하여, 용접기술, No.6(1993), 62-68
14. 백응률: 크롬탄화물 오버레이 용접층의 굽힘마모 거동에 미치는 크롬탄화물 양의 영향, 대한용접학회지, 16-1(1998), 125-133
15. T.B.Harabuchi: Nippon Steel Technical Report. No. 840338 (1984), 44
16. 백응률 외 4인: 연주 Guide Roll의 수명연장을 위한 Hardfacing 기술개발, 산업과학기술연구소 연구보고서, (1995), 1-116
17. H.Berns and A.Fischer: Microstructure of Fe-Cr-C hardfacing alloys with additions of Nb, Ti, and B, Metallography, 20(1987), 401-429
18. J.L.Henderson and J.H.Bulloch: Alloy classification of hardfacing materials, Int. J. Pres. Ves. & Piping 47(1991), 127-158
19. C.E.Jackson: Fluxes and slags in welding, WRC Bulletin, 19, 1-25
20. A.Polar, J.E.Indacochea and M.Blander: Fundamentals of the chemical behavior of select welding fluxes, Welding Research Supplement, (1991), 15s-19s
21. 유국중, 백응률: 오버레이 용접된 Wrapping Roll의 비드마크 제거를 위한 열영향부의 미세조직에 관한 연구, 대한용접학회지, 18-6 (2000), 739-743



- 황순영(黃淳榮)
- 1957년생
- 포항산업과학연구원 재료공정연구센터
- 용사·부식
- e-mail: syhwang@rist.re.kr



- 백응률(白應律)
- 1960년생
- 영남대학교 재료금속공학부
- 오버레이용접, 용접야금
- e-mail: erbaek@yu.ac.kr