

# 다기능 친환경 저융점 접합소재 설계 기술

이영선 · 이광석 · 박진우 · 홍순익 · 배동현

## Design Technology of Multi-functional and ECO-friendly Low-melting-temperature Insert Metals

Young Seon Lee, Kwang Seok Lee, Jin Woo Park, Sun Ig Hong and Dong Hyun Bae

### 1. 서 론

산업기술의 발전 및 고도화에 따라 설비, 부품 또는 소재의 임계성능 향상과 기능의 다양화가 요구되고 있어 기존 단일소재 또는 합금으로는 요구조건을 충족시키지 못하는 문제점을 극복하는 다양한 이종소재의 필요성이 증대되고 있다. 미세구조, 화학적 및 물리적 특성이 서로 다른 소재가 직접 접합된 소재는 계면결합, 특성 및 내구성 저하 등 많은 문제점을 지니고 있기 때문에 피접합 금속-금속간 중간 소재를 적용한 이종금속소재의 개발이 필요하다.

이종소재 또는 동종소재를 고상접합을 통해 신기능 창출 및 임계성능 향상을 추구할 때 소재간 접촉계면에서 발생될 수 있는 유해상의 발생을 억제하기 위한 중간 소재로서 저융점 중간결합재(Insert Metals)를 설계하는 기술을 개발하고, 개발된 저융점 중간결합재를 이용하여 이종소재간 고상접합 시 발생하는 다양한 유해상을 제어함으로써 요구특성을 발현할 수 있게 하고자 하는 것이 세부 목표기술이라 할 수 있다.

선진국에서는 이종금속소재 신기술개발 및 개량 연구를 통하여 다양한 용도의 다층복합 금속을 개발하여 각종 산업에 핵심부품으로 사용하고 있다. 고부가가치의 기능성 소재로 열교환기, 화학설비, 선박, 제지, 건설, 교량, 압력용기, 담수화설비, 발전설비, 수송기기, 전기·전자부품 등 각종 첨단산업 설비의 핵심부품에 이용되고 있다. 국내에서는 전반적으로 이종금속소재에 관한 연구와 기술개발이 미흡한 실정으로 주방용 소재를 위주로 직접 접합된 소재들이 일부 이용되고 있는 실정이다. 중간결합재를 사용하지 않고 접합한 이종금속소재의 종류는 제한적이며, 직접 접합한 경우에도 미세 크랙 등의 존재로 인해 결합력이 약하거나, 금속간 화합물로 대표되는 유해상의 형성 그리고 열팽창계수의 차이에 의해 열응력 또는 외부응력에 의하여 단기간에



Fig. 1 The concept of designing ECO-friendly insert metals as a core technology for low-carbon green growth

파손되는 경우가 발생하는 등의 문제점을 지니고 있다. 반면 이종금속 소재 제조시 중간결합재를 적용하는 경우 유해상 감소, 접합강도 증가, 열응력 구배 감소 등에 의하여 사용조건 하에서 수명 및 신뢰성 향상을 기대할 수 있다. 그림 1은 친환경 중간결합재의 기능, 특성 및 역할을 나타내고 있다.

### 2. 관련기술 현황

에너지·자원 문제에 대응하기 위한 기술개발은 다양한 분야에서 화두가 되고 급속히 진행되고 있으며, 소재분야에서도 동일한 목적을 위해 (1)기존소재의 활용도를 최적화하고자 하는 노력과 더불어 (2)신기능 및 임계성능을 구현할 수 있는 소재개발에 관심이 집중되고 있다. 이러한 측면에서 접합기술은 원소재 제조기술

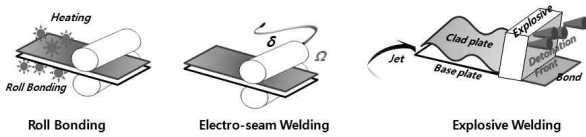


Fig. 2 The established representative solid state joining processes

과 함께 중요한 부분을 차지하고 있으며, 특히 다기능 소재를 친환경적으로 제조하고자 하는 고상접합기술은 더욱 더 각광을 받고 있다. 그림 2는 기존 고상접합법의 대표 공정을 나타내고 있다. 그러나 다양한 고상접합기술(마찰교반접합법, 폭발용접법, 저항심용접법, 압연접합법, 전자기성형법 등)을 이용한 접합체는 원소재의 특성을 뛰어난거나 신기능을 창출할 수 있는 장점이 있는 반면 접합계면에서 발생할 수 있는 유해상 발생으로 인한 특성저하와 신뢰성 확보에 문제를 나타낼 수 있다. 따라서 접촉계면상의 유해상 제어가 곤란한 경우는 많은 경제적, 환경적 장점에도 불구하고 제조와 활용이 극히 제한적으로 시도되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 노력으로 소재간에 유해상 발생을 억제할 수 있는 중간결합재를 활용하는 노력이 진행되고 있다.

### 3. 연구개발 기술개요

저융점 접합소재설계기술에 대한 연구는 접합공정시 친환경적 분위기를 사용함으로써 CO<sub>2</sub> 저감 및 에너지 절감 구현 이중금속소재 제조공정을 확립하고 양산성을 위해 대면적의 접합이 가능하도록 하는 신접합기술을 개발함으로써 저융점 중간결합재의 적용분야 확대 및 시장수요확대를 도모하고자 하는 것이 목적이다. 기존 이중금속소재의 단점인 접촉계면 특성저하와 생산속도 저하를 해결하기 위해 중간결합재를 개발하여 이용하며 표면개질, 중간층 재설계 및 합금설계를 이용하고 선안정화기술을 이용하여 특성향상과 생산성 향상을 통한 제조원가 절감을 꾀하고자 한다. 그림 3은 본 중간결합재를 이용함으로써 달성하고자 하는 주요 정량적 개발 목표인 이중금속의 접합력 향상과 접합 온도 조건 저감을 위한 기술 개발 개념도를 나타내고 있다.

이와 같은 저융점 중간결합재는, 접합도가 뛰어나야 함은 물론 적용 후 발생하는 잔류응력에 의한 휨현상 및 파괴를 방지하기 위하여 접합되는 재료의 물성차로 인해 발생하는 잔류응력을 해소시킬 수 있는 기계적 특성이 요구되기 때문에 중간결합재의 디자인은 모재의 물리적, 화학적 특성차에 따라 다르게 설계되어야 한다. 그림 4는 계면 결합력 강화기구를 나타내고 있는 것으

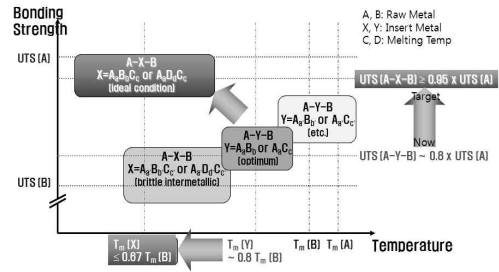


Fig. 3 The major strategies for developing insert metals and their joining processes

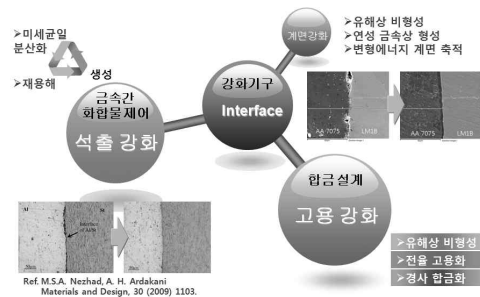


Fig. 4 Interface strengthening mechanism

로 계면 유해상 제어를 위해 유해상 비형성계의 합금설계와 재용해 및 미세분산 기술을 개발하고자 한다.

결국, 유해상 제어를 위함과 함께 잔류응력 문제를 위해서도 합금설계에 대한 원천기술 개발이 필요하며 이를 위해 전산모사를 이용, 잔류응력과 모재, 중간결합재 각각의 물성차와 공정 조건의 함수관계의 이론적 연구가 매우 중요한 부분을 차지한다. 공정 중, 그리고 공정 후에 잔류하게 되는 응력 계산을 위해 쓰이는 일반적인 계산법인 유한요소법(Finite Element Method, FEM)은 계면(Interface)에서의 이상결합(Perfect Bonding)이라는 가정 하에 계산을 수행하기 때문에, 계면에서 발생하는 화학반응 및 확산에 의한 계면 구조의 변화의 영향은 고려할 수 없다. 그러나 계면에서 발생하는 형상은 부피 대 계면의 비율이 매우 작은 구조이기 때문에 계면구조의 영향이 매우 중요하다, 따라서 중간결합재와 모재의 계면에서 발생하는 화학적, 물리적 현상을 원자, 분자 수준의 해석을 통해 데이터를 구축하고, 이를 연속체 수준의 해석과 연동 해석하여 응력 및 박리 발생에 대한 보다 정확한 계산이 필요하므로 다단위 해석(multiscale simulation) 기술개발이 필요하다. 그림 5는 중간결합재를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우의 계면에서의 잔류응력을 비교한 것으로 역시 중간결합재를 이용함으로써 계면 특성을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

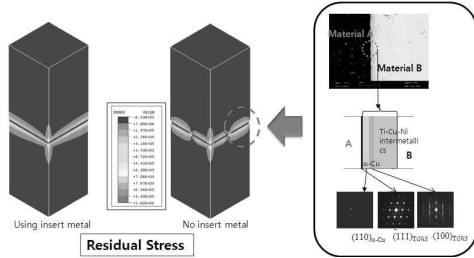


Fig. 5 The difference of residual stress distribution around interface boundary whether insert metal is used or not [ref.8]

전술한 바와 같은 중간결합재의 우수성을 확보하기 위해 필요한 세부 기술들을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 계면에너지 제어를 이용한 저융점 고강도 중간결합재 설계기술
- (2) 계면 유해상 제어 및 생성/거동 분석기술
- (3) 중간결합재 연속 계면 반응성 향상 기술
- (4) 중간결합재/모재간 반응분석을 위한 다단위 해석 기법 및 실험법

#### 4. 파급효과 및 활용방안

중간결합재로서 접합소재는 기존 단일소재 또는 합금으로는 요구조건을 충족시키지 못하는 이종금속소재 제조에 활용될 수 있다. 예를 들어 탈황설비나 중화확단지에서 사용하는 대형 산 탱크 등에는 현재 하스텔로이를 비롯한 초고가 내산소재(耐酸素材)가 그대로 다량 사용되나, 티타늄/이종금속 형태의 다층화 기술이 확립된다면 동 적용 분야에 대한 국내에서의 티타늄/이종금속 다기능 금속판재 수요는 기하급수적으로 증가할 것으로 예측된다. 해양구조물은 육상 보존 자원고갈 및 인구증가로 해양활용에 대한 전 세계적인 관심이 증대되고 있으며, 이에 따라 해양자원 취득 및 활용을 위한 해양플랜트(석유시추선, 원유/가스, 메탄하이드레이트 저장 및 수송시설 등)와 초대형 해양부체강 구조물(항만 시설, 인공섬, 해상공항, 해저터널, 해상교량, 해상폐기물 처리장 등)산업은 향후에도 지속적으로 확대 성장할 것으로 전망되고 있다. 또한 전기, 전자 정보통신, 자동차, 조선, 로봇산업용 다기능 소재로써 응용범위가 광범위하여 국내외적으로 큰 시장규모를 형성할 수 있고 환경, 에너지, 첨단기술의 세계적인 기술 환경 변화에도 적극적으로 대처할 수 있을 것이다. 그림 6은 대표적인 활용분야를 나타내고 있다. 학문적으로는 접합분야에서 다단위 해석의 framework (or platform tech.)의 일례로서라도 그 파급효과는 매우 크다고 할 수 있다. 현재 first principle에 의한 원자-원자 간

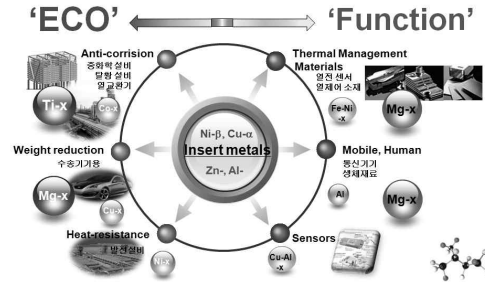


Fig. 6 Application fields of the insert metals

potential의 계산이 크게 발전하고 있는 바, database의 확보 보다는 해석 정확도를 확보한 계산 방법의 개발이 학문적으로 더 큰 관심을 얻고 있으며 용접, adhesion을 포함한 접합공정 전반에 걸쳐 그 응용범위는 매우 크다고 할 수 있다.

#### 5. 향후 계획

이종금속 접합을 위한 중간 결합재 합금설계, 접합 공정에서의 유해상 제어 및 다단위 연계해석 등 각 세부핵심기술별로 우수한 연구결과를 얻을 수 있도록 학문적 단계에서 심도 깊은 연구를 수행하고, 현실적 방법을 모색할 수 있는 실험실 규모의 적용단계를 거친 후 원천기술의 활용에 필요한 실 기술의 개발에 매진할 계획이며 적용 확대를 위해 필요한 표준화에 대한 절차를 추진할 계획이다.

국산개발소재의 시장진출에 있어서 신뢰성 확보부분의 가장 어려운 점은 기존의 선진소재 대비 부정적인 인식과 위험성을 극복하고 완제품에 채택 적용되어 고객의 평가를 받는 단계까지의 첫 순환에 있다. 따라서 개발 및 시제품 제조단계에서 기존의 선진 수입소재와의 상세한 객관적 특성을 비교·평가하며 동등이상의 품질확보와 재현성을 검증하는 과정이 필요하므로 제조된 중간소재 및 이를 이용한 다층 접합소재의 특성평가와 관련기술에 대한 연구 또한 수행하고 있다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 소재원천사업의 지원으로 수행되고 있는 “상변태/임계에너지 제어 접합금속소재 기술”의 일환으로 추진되고 있으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. T. Makiyama, M. Murata, 2005, “A technical note on

- the development of prototype CNC variable vertical section extrusion machine,” JMPT, Vol. 159, 139~144
2. M. Hoshino, 2000, “可?断面および變曲押出し加工技術,” JSTP, 41-472, 453~455
  3. S. Murakami, 2000, “新たな技術が用いられた押出し 加工製品,” JSTP, 41-472, 460~465
  4. H.J. Choi, S.J. Lim, H.T. Shin and S. Choi, “CNC Extruder for Varied Section Products” JSTP, Spring congress, 246-249, 2007
  5. Final Technical Report, “Physical and Numerical Analysis of Extrusion Process for Production of Bimetallic Tubes,” U.S. Dept of Energy, 2006
  6. D.C. Co et al., 2007, “Evaluation of copper coating ratio in steel/copper clad wire drawing,” JMPT, Vol. 186, 22~26
  7. Ahiyuan Shi, Furong Cao, Yanbo Chen and Jinglin Wen, 1999, “The analysis and study of the CASTEX force of AS wire,” JMPT, Vol. 86, 115~118
  8. J. W. Park, Ph.D. Thesis, 2002, MIT



·이영선  
·1968년생  
·한국기계연구원 부설 재료연구소  
·변형/용접, 이종금속소재 제조/성형  
·e-mail : lys1668@kims.re.kr



·이광석  
·1973년생  
·한국기계연구원 부설 재료연구소  
·금속고온변형, 비평형상합금 제조/성형  
·e-mail : ksl1784@kims.re.kr



·박진우  
·1972년생  
·연세대학교 신소재공학부  
·계면 공학  
·e-mail : jwpark09@yonsei.ac.kr



·홍순익  
·1957년생  
·충남대학교 나노소재공학과  
·비철재료, 원자력재료, 생체재료  
·e-mail : sihong@cnu.ac.kr



·배동현  
·1957년생  
·(주) 한국클래드텍  
·철강 및 클래드제조기술  
·e-mail : dhbae@koreaclad.com