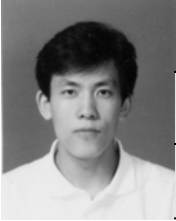


## 첨단소재 고상접합 기술 개발 현황



나 영 상

(KIMM 공정연구부)

'87 - '91 고려대학교 재료공학과(학사)  
'91 - '93 한국과학기술원 재료공학과(석사)  
'96 - '97 영국 캠브리지대학교 방문연구원  
'93 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

염 종 택

(KIMM 공정연구부)



'90 - '94 홍익대학교 금속공학과(학사)  
'94 - '96 홍익대학교 금속공학과(석사)  
'98 - '00 영국 롤스로이스 방문연구원  
'96 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



박 노 광

(KIMM 공정연구부)

'73 - '77 연세대학교 금속공학과(학사)  
'77 - '79 한국과학기술원 재료공학과(석사)  
'81 - '87 호주 Monash University(박사)  
'89 - '90 미국 Univ. of Michigan(연구원)  
'79 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

### 1. 서 론

고상접합 기술이란 기존의 용융용접과는 달리 모재를 고체상태로 유지하면서 단위 부품을 일체화하는 기술이라 할 수 있다. 고상접합 기술은 모재의 용융을 방지 또는 최대한 억제함으로써 모재가 가지고 있는 본래의 특성을 보존하고 접합부의 결합발생을 최소화하여 일체화된 부품의 특성을 극대화할 수 있는 기술이다. 복합재료 등 신 금속소재의 개발과 첨단산업의 발달로 고상접합 기술이 크게 각광을 받고 발전하게 되었으며 이로인해 기존의 용융용접 기술로는 접합이 불가능한 소재, 복잡한 형상의 소재, 고품질 및 고정밀성이 요구되는 소재 등의 접합이 가능하게 되었다.

고상접합 기술로는 마찰열을 이용하는 마찰접합, 삽입금속을 이용하는 브레이징, 원자의 확산현상을 응용한 확산접합 등이 있으며 이외에도 폭발용접, 초음파용접 등이 이에 속한다. 특히 고상접합 기술은 개별부품 등의 접합을 통한 부품 일체화라는 접합기술의 기본 역할 외에도 최근에는 나노 소재의 제조, 복합재료의 제조, 부품 일체화 등 부품소재의 제조 공정에 응용하기위한 적용연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 고상접합 기술은 부품소재 산업에의 파급효과가 큰 기반 기술(base technology)일 뿐 아니라 소재 특성을 극대화하기 위한 핵심기술(key technology), 성장잠재력이 큰 기술(growing technology), 전통산업과 미래 첨단산업과의 교량기술(link technology)이라 할 수 있으며 신소재 및 첨단산업의 발달과

더불어 발전되어야 할 필수 기술이다.

## 2. 고상접합 기술의 개요 및 특징

고상접합 기술에는 마찰접합, 확산접합, 브레이징, 폭발용접, 초음파용접 등이 포함된다. 마찰접합은 마찰열을 이용한 접합기술로서 작업환경이 양호하며 에너지 효율이 높은 특징이 있다. 확산접합은 원자의 고온 확산 현상을 이용하여 접합부에 화학적 결합을 발생시키는 접합기술로서 접합뿐 아니라 부품 일체화, 복합재료 제조, 초소성성형 등 다양한 첨단 분야에 활용되고 있다. 브레이징은 모재보다 용점이 낮은 삽입금속을 활용하여 접합하는 기술로서 치수 차이가 큰 부품간의 접합이 용이하다. 폭발용접과 초음파용접은 비교적 생소한

분야로서 현재까지 많은 분야에 적용되고 있지는 않으나 신소재의 개발에 따라 새로운 접합 기술의 발전이 요구되어 지속적인 관심이 필요한 기술 분야이다. 고상접합 기술의 일반적인 특징을 표 1에 기술하였다.

## 3. 마찰 접합 기술의 현황

마찰접합은 접합하고자 하는 두 소재간의 마찰열을 이용하여 금속 결정의 변형에 대한 저항성을 감소시키고 가압을 통해 두 모재간의 접촉면에 원자결합을 생성시킴으로써 결합을 이루는 고상접합법이다. 마찰열을 발생시키는 방법에 따라 선형마찰접합(linear friction welding), 회전마찰접합(rotary friction welding), 원형 마찰접합(radial

표 1. 고상접합 기술별 일반적 특징

기술 분류	기술별 특징
마찰(교반)접합	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 마찰열을 이용한 압접기술</li> <li>○ 아크용접에 비해 우수한 에너지 효율 (10-20% 정도)</li> <li>○ 접합부의 기계적 성질 우수 (구조조직 방지)</li> <li>○ 공정관리 및 자동화 용이 (용접변수 제어 용이)</li> <li>○ 높은 용접 치수 및 특성 정밀도</li> <li>○ 이종재료 및 세라믹의 용접</li> <li>○ 작업환경이 양호하여 환경 친화적</li> </ul>
확산접합	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 접합 공정전 표면처리 및 표면 거칠기가 중요</li> <li>○ 나노 복합재료 제조 등 신소재 개발에 활용</li> <li>○ 항온단조, 초소성성형과 접목하여 부품소재 제조 기술에 활용</li> </ul>
브레이징	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 이종재료간 혹은 치수차이가 큰 부품간 접합 용이</li> <li>○ 삽입금속에 따른 모재 재질 선택의 폭이 넓고 청정 접합 가능</li> <li>○ 자동화 및 대량생산 가능, 불량시 반복 보수 가능</li> </ul>
폭발용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 접합에 의한 열영향이 없음</li> <li>○ 고속의 용접속도로 생산성은 높으나 계면관리 어려움</li> <li>○ 용점차가 큰 이종금속의 고강도 접합</li> <li>○ 특별한 기계장치 불필요, 다품종 소량생산에 적합</li> <li>○ 나노 벌크 소재 제조 등에 활용 연구</li> </ul>
초음파용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고주파 진동을 이용한 접합기술</li> <li>○ 우수한 에너지 효율 (아크용접의 5-10% 수준)</li> <li>○ 동종 및 이종 금속의 접합 가능</li> <li>○ 자동차, 우주항공 산업의 구조체 용접으로도 채용시도</li> </ul>

friction welding) 및 마찰교반접합(friction stir welding) 등으로 나뉜다.

마찰접합은 1954년 구 소련에서 금속환봉의 마찰접합에 성공한 이래 1991년 영국의 TWI(The Welding Institute)에서 마찰교반접합에 대한 원천 기술이 개발되는 등 꾸준히 발전되고 있는 접합 기술이다. 특히 마찰교반접합 기술의 개발은 마찰 접합 기술의 적용분야를 산업전반으로 크게 넓힌 획기적인 기술로서 용접기술의 새로운 전환점이 될 만큼 기술적인 파급효과가 큰 기술이다.<sup>[1,2]</sup>

우수한 에너지 효율과 접합 환경, 접합부의 우수한 특성 등의 장점으로 인해 미국, 일본, 유럽 등 기술 선진국에서는 자동차, 선박, 항공우주 등 대형 구조물의 접합에 마찰접합기술을 광범위하게 적용하고 있으며 전기 접점재료, 변압기 부품 등 전기, 전자 부품에도 마찰접합을 적용하여 부품을 개발하고 있다. 일례로 보잉사에서는 우주선 Delta II 및 Delta IV 로켓에 마찰교반용접을 통해 각기 2.1 km, 1.2 km의 접합부를 접합함으로써 결함이 없고 잔류응력이 없는 접합을 이룰수 있었으며 아크 용접에 비해 60%의 원가절감, 75% 정도의 제조 시간 절감을 달성할 수 있었다.<sup>[3]</sup> 아울러 보잉사는 상용항공기의 비구조물체의 관련기술 적용을 2001년말 기획하여 추진하고 있다.

국내에서도 마찰접합의 중요성이 증대되어 1970년대부터 자동차부품, 일반산업기계부품, 전기기계 부품 등에서 일부 적용되거나 적용하기 위한 시도가 진행중이다. 자동차 산업의 경우 차량 경량화를 위해 AI 합금의 사용이 증가함에 따라 마찰접합기술의 필요성이 더욱 증대되고 있다. AI 합금은 산화 등의 문제로 인해 용융용접이 불가능하고 용접성이 떨어지기 때문에 AI 합금 자동차 부품의 접합을 위해서는 무엇보다도 마찰접합 기술의 적용이 고려되고 있으며 이러한 이유로 국내 자동차 업계에서도 AI 합금 부품의 마찰교반접합에 대한 연구를 진행하고 있다.

항공산업의 경우 항공기 차체 등 AI 합금 부품의 접합이 기존 리벳팅 접합에서 마찰교반접합으

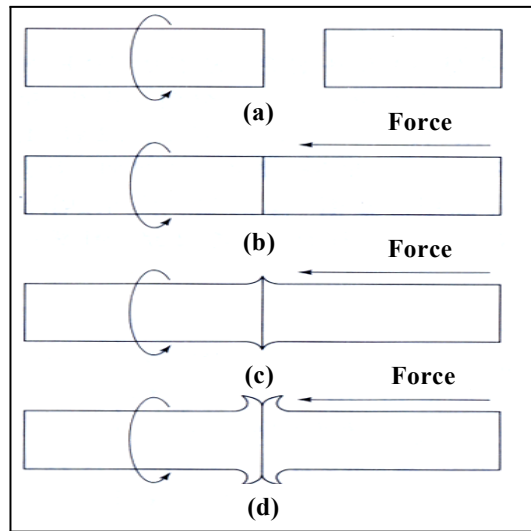


그림 1. 회전 마찰 접합 과정  
(a) 고정축 회전  
(b) and (c) 이동축 접근 및 가압  
(d) burr를 발생시키면서 접합

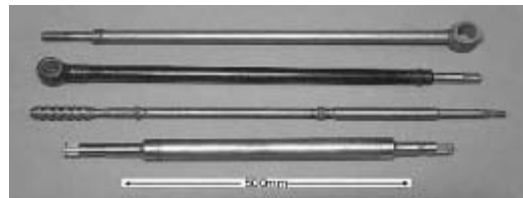


그림 2. 마찰접합 자동차 부품  
(Suspension rods, steering column, driveshaft)

로 대체될 가능성이 매우 크다. 이는 마찰교반접합 접합부의 특성이 우수하고 리벳의 사용이 불필요해짐에 따라 항공기의 경량화가 가능하기 때문이다. 마찰교반접합을 통한 부품의 접합이 국제 규격화 될 경우, 하청을 통해 부품을 생산 납품하고 있는 국내 항공산업체는 기술적인 한계로 인해 하청 생산마저 중단하거나 혹은 상당한 기술료를 지급하고 마찰교반접합 기술을 도입해 부품을 생산해야 할 것이다.

그림 1에 통상적인 회전마찰접합 과정이 보여지고 있다. 마찰접합기술은 그림 2에 보이는 원형의 자동차 부품뿐 아니라 최근에는 철도차량의 측면 부재 접합 등 수송기계산업, 알루미늄 선박의 패널 부품 접합, 로켓 및 우주선의 연료탱크 등 조선,

표 2. 고상접합기술을 적용한 부품 예

분야	마찰(교반)접합	확산 접합
자동차, 철도 등 수송기계 산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고속철도차량의 floor 패널 접합</li> <li>- 지하철 차량의 측면부재의 접합</li> <li>- 자동차의 space frame 및 수송탱크</li> <li>- 자동차 서스펜션 로드, steering column, drive shaft 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동차 경량 배기 대기관</li> <li>- 스포츠카 부품</li> </ul>
선박 등 해양산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 알루미늄 선박의 패널 부품 접합</li> <li>- 고속페리의 패널부재의 판이음</li> <li>- 선박용 광폭 형재</li> <li>- 선박용 대형 <math>\pi</math> 섹션</li> <li>- 각종 해양 편의 시설</li> </ul>	
항공우주 산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 듀랄루민의 용접</li> <li>- 로켓 및 우주선의 연료 탱크</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 로켓 엔진의 임펠라 및 터보펌프</li> <li>- Honeycomb 구조를 갖는 항공기 날개</li> <li>- 제트 엔진 블레이드</li> <li>- 전투기 조종사의 비상탈출용 좌석 및 머리 보호대</li> <li>- 랜딩기어 커버, 항공기 출입문, 항공기 안정익 등</li> <li>- 압축기, 터빈 등의 일체형 블리스크 부품 등</li> </ul>
기계류 부품 등 기타산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대형 열교환기</li> <li>- 파라볼라 안테나용 광폭판</li> <li>- 교량 상판</li> <li>- 고강도 시추용 rod, 재강용 볼러류</li> <li>- 컨테이너, 압력용기, 냉각계통 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저온장치, 원자력 산업 분야</li> <li>- 디젤 유압펌프 부품 (실린더 블록 등)</li> <li>- HIP Joint 등 의공학 제품</li> <li>- 발전설비 및 offshore 설비의 열교환기</li> </ul>

항공우주 산업과 대형 열교환기, 파라볼라 안테나용 광폭판 등 다양한 기계류 부품 산업에도 적용되고 있다(표 2 참조). 특히 최근에는 고용점 금속의 마찰교반접합을 위한 tool 개발과 더불어 나노기술의 대두로 벌크 나노 소재의 제조기술에 마찰교반접합 기술을 응용하여 결정립 미세화를 이루기 위한 연구가 시도되고 있다.<sup>[4]</sup>

#### 4. 확산접합기술의 응용

확산접합은 피접합물(모재)을 용융시키지 않을 정도의 고온에서 모재가 큰 소성변형을 일으키지 않는 정도의 정수압력을 가함으로써 고상상태에서 접합하는 방법이다. 확산접합의 접합과정은 그림 3과 같이 보통 3단계 과정으로 구분된다. 첫단계는 고온 크리프 변형 단계로서 가열과 가압을 통한 모재의 순수 표면 생성과 모재 상호간의 확산이 이루어지는 단계이고, 두 번째는 입계이동 및 기공

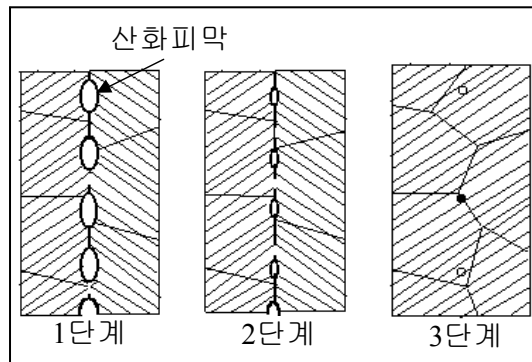


그림 3. 확산 접합 기구 모식도

소멸 단계로써 접촉부에 존재하던 기공의 구상화와 입계확산에 따른 기공 소멸 및 입계이동 단계이다. 마지막으로 최종단계는 체적확산에 의한 기공소멸 단계로서 이 과정에서는 체적확산에 의한 입계이동 및 기공소멸이 발생하고 동시에 접합부에서 결정립 성장이나 재결정이 발생하는 경우가 많다. 초기 표면에 존재하는 산화피막이나 표면피막은 모재에 고용하거나 미세화되어 분산된다.

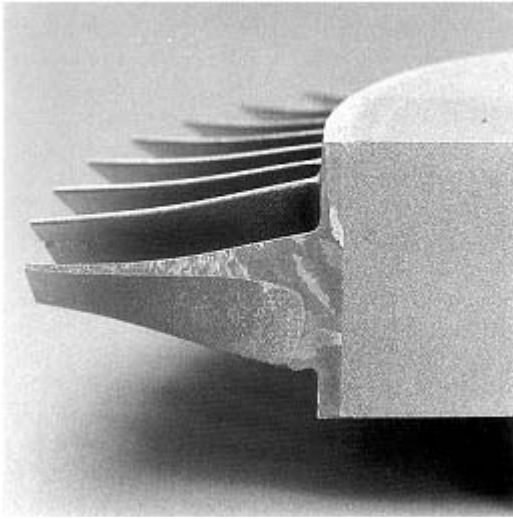


그림 4. 일체형 블리스크 확산접합부

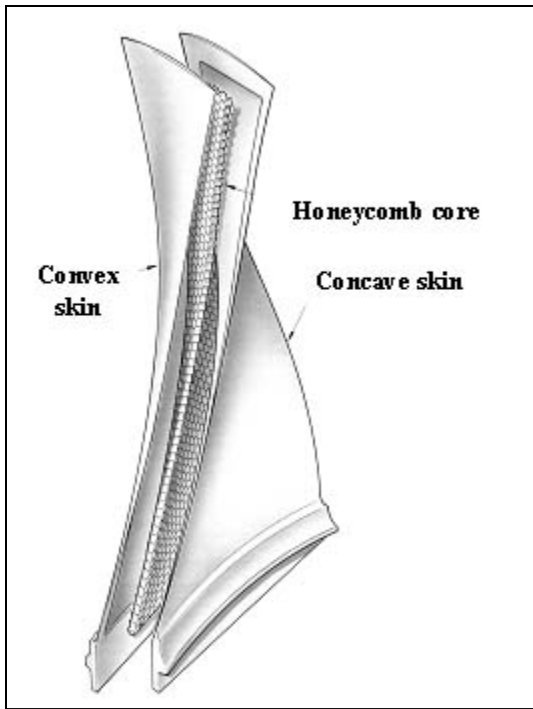


그림 5. Honeycomb 구조물 확산접합

확산접합부의 특성은 접합전 모재의 표면조건, 접합온도, 압력 및 유지시간 등에 영향을 받으며 이들 인자의 적절한 조절을 통해 최적의 접합부를 얻을 수 있다. 여러 가지 목적으로 접합모재 사이에 삽입금속을 넣는 경우도 있으며 삽입금속은 주

로 foil, 도금층 또는 증착층 형태이다. 삽입금속은 이종금속이나 고용점 재료의 접합, 산화성이 큰 금속 재료의 접합 등에 주로 사용된다.

확산접합 기구를 이용해 부품을 성형하는 가장 대표적인 기술은 열간 정수압 성형(HIP) 기술이다. HIP기술은 분말을 가압소결하여 형상을 구현하거나 복합재의 제조 등에 활용되는데 기본적으로 입자간 또는 복합재를 구성할 모재간의 확산접합에 의해 성형이 이루어진다.

확산접합기술을 적용한 부품 개발은 현재 많이 이루어지지 않았다. 선진국의 경우 용융용접이 불가능한 Ti합금/steel 의 접합에 확산접합을 시도하고 있고, Ni 등 삽입금속을 활용하여 확산접합 계면의 특성을 향상시키기 위한 연구를 진행한 바 있다. 또한 확산접합기술은 나노입자/foil/fiber-reinforced 복합재료를 제조하기 위해 적용되고 있기도 하며 동시에 복합재료 부품의 접합에 적용하기 위해 시도되고 있다. 특히 확산접합은 복합재료 제조법 중의 하나로서 세라믹 기지 복합재료, 알루미늄 기지 복합재료, 금속기지 복합재료 등 다양한 복합재료를 제조하는데 사용되고 있고 연구 중이다.<sup>[5]</sup>

한편 확산접합기술은 초소성성형, 항온성형, 열간 정수압 성형 기술 등과 함께 연계되어 복잡 형상의 부품을 일체형으로 제조하는데 활용되기도 한다. 이러한 기술은 그림 4, 5에서 보는바와 같이 블리스크 등 가스터빈 엔진의 다양한 구조부품 일체화,<sup>[6,7]</sup> honeycomb 구조물 제조<sup>[8]</sup> 등에 적용될 수 있으며 주요 적용 부품 예를 표 2에 나열하였다.

### 5. 브레이징 접합 기술 현황

접합하고자 하는 모재의 고상선(solidus) 보다는 낮고 450°C 보다 높은 온도에서 액상선(liquidus)을 갖는 삽입금속을 접합면에 사용하고, 적절한 온도로 가열하였을 때 그 삽입금속이 모세관 효과(capillary effect)에 의해 접합될 소재의 표면에 고

르게 퍼짐(wetting)으로써 소재를 접합시키는 용접 공정을 브레이징이라 정의한다. 브레이징에서는 모재의 용융이 없어야 하고 모세관 효과에 의해 삽입금속이 접합부의 표면에 wetting 된채 유지되어야 한다. 또한 우수한 접합부의 특성을 얻기 위해서는 용가재(flux) 및 분위기 조절을 통해 접합부의 표면을 깨끗이 유지해야 하며 가열시의 과도한 산화를 방지해야 한다.

브레이징 기술은 가열용 열원 및 가열 방법에 따라 torch brazing, furnace brazing, induction brazing, resistance brazing, dip brazing, infrared brazing 등이 활용되고 있다. 또한 최근에 브레이징 기술과 확산접합 기술을 동시에 활용하는 TLP 접합 (Transient Liquid Phase Bonding)은 접합과정 또는 접합후 열처리에서 삽입금속과 모재의 성분이 확산에 의해 접합부가 모재와 대등하게 되는 고기능 고상접합법으로서, 주로 고융점금속, 세라믹 등의 접합에 이용될 수 있다.

브레이징 접합 기술은 주로 금, 은과 같은 귀금속 접합에 주로 사용하였으나, 기술이 발전함에 따

라 구리, 철계 합금재에서부터 초내열합금, 내화금속, 티타늄, 세라믹, 복합재료, 알루미늄아이드까지 거의 모든 소재에 적용되고 있고 각 합금계에 대한 적절한 삽입금속 (insert metal)들이 개발되어져 왔다. 삽입금속의 경우 초기에는 주로 금속염과 유기 환원제의 혼합물이었으나 현재는 접합될 모재쌍에 적합한 삽입금속들이 개발되어 보급되고 있고 이와 더불어 접합부 표면 상태를 건전하게 유지하기 위한 다양한 용가재(flux)들이 보급되고 있다. 특히 삽입금속을 이용하여 브레이징 온도, 시간 및 접합부의 간격을 제어하여 금속간화합물을 생성시키지 않는 direct brazing방법 혹은 브레이징 후 연속적으로 가열하여 생성된 금속간화합물을 제거하는 천이액상확산접합법 (Transient Liquid Phase Diffusion Bonding or Activated Diffusion Bonding) 등이 주목을 끌고 있다.

브레이징 특성을 결정하는 중요한 공정변수는 모재별 적절한 삽입금속의 선택, 접합부의 청정한 표면상태, 접합부간 적절한 간격유지, 적절한 가열 사이클 선택 등이다. 삽입금속은 그림 6과 같이 분말, 박판, 전해도금층, 코팅층 등 다양한 형태로 제조되고 있으며 적절한 젖음성, 유동성, 낮은 용점, 적절한 용융폭, 접합온도에서의 낮은 휘발성, 접합 후 우수한 기계적 화학적 특성 등이 요구된다. 접합 모재쌍에 따른 적절한 삽입금속은 문헌<sup>[9]</sup>에 잘 정리되어 있으나 현재도 새로운 삽입금속 및 제조 방법 등이 꾸준히 연구개발되고 있다.

브레이징 기술이 가장 많이 적용되는 산업분야는 전기전자분야로, 일레로 에어컨 세계생산량 1위를 점유하고 있는 LG전자의 경우 냉장고 및 공조기 분야에서 브레이징하는 곳의 개수는 표 3와 같이 약 180곳으로 대부분 Al-Cu 브레이징을 수행하고 있다.

진공브레이징 기술은 F22 Raptor fighter, F18 Hornet기 등에 사용되는 Liquid Flow Through (LFT) cooling panels, Avionics Rack Assemblies, 엔진연소기 부품 등의 제작에 활용되고 있으며, 엔진부품에는 삽입금속으로 Ni, Au, Pd계 합금이 이



그림 6. 다양한 형태의 삽입금속

표 3. 냉동기기에서 브레이징하는 곳의 개수

분야		냉장고	공조기
냉매압축기		5	5
열교환기	응축기		49
	증발기	19	16
기타배관	SUB 조립	13	37
	MAIN 조립	19	14
계		24	70

용되고 있으나 대부분 정확한 조성은 알려져 있지 않다. 한편 Al-Be 구조물 등 우주선용 부품제작에도 진공브레이징 기술이 활용되고 있다.

### 6. 기타 고상접합 기술 현황

기타 고상접합 기술로는 폭발용접, 초음파용접 등을 들 수 있다. 폭발용접은 화약의 폭발에 의해 발생하는 충격에너지를 이용하여 고속으로 두 금속을 접합시키는 방법으로서(그림 7 참조) 1944년 처음으로 보고되었으며, 거대한 판재의 클래딩(cladding), 클래딩 노즐(cladding nozzle), 튜브와 튜브 플레이트의 접합 및 파이프간의 접합 등에 사용되고 있다. 폭발용접은 이종금속간 용접 및 용접 차이가 커서 접합이 곤란한 금속을 접합할 수 있으며 용접속도가 대단히 빠르다.<sup>[10]</sup>

초음파 용접은 두 개의 금속을 맞대어 그 한 쪽면에 접촉면과 평행한 고주파 진동을 가하여 접합하는 기술이다. 초음파 용접의 물리적 기구는 아직 불분명하지만 강한 진동에 의해 금속 표면의 산화물층이 제거되거나 진동마찰에 의한 표면가열 및 연화에 의해 접합되는 것으로 판단되고 있다.<sup>[11]</sup>

폭발용접을 이용한 클래딩의 잇점은 롤 클래드보다 더 큰 판재를 클래딩할 수 있으며 또한 롤 클래드로는 접합이 곤란한 재료의 클래딩도 쉽게 할 수 있는 장점이 있다. 또한 폭발을 일으키기 위해 사용되는 화약에 따라 클래드 재료의 두께를 조절할 수 있다. 그러나 폭발용접은 지금까지 대형 판재나 다른 방법으로는 접합이 곤란한 재료에 부분적으로 이용되고 있는 실정이다. 국내에서도 압력용기, 열교환기의 shield plate, 저장탱크, 반응관, 롤링밀 등의 플란트 및 기계류 등에 적용하고 있으며 그외에 전해전련의 부스바, 송배전 터미널, 귀금속 전기접점 및 부속용품 등에도 폭발용접을 적용하고 있다.

초음파용접은 통상의 방법으로는 용접이 어려운 동종 또는 이종 금속의 용접에 널리 사용되며 박

판(foil)과 같이 매우 얇은 층을 접합하는 분야에서 가장 효과적으로 이용되고 있다. 특히 이 용접법은 반도체, 미세회로, 전기 접점의 형성에 대한 생산 기술로서 소형모터, 알루미늄 박의 가공, 알루미늄 합금의 조립 등에도 이용되고 있다. 초음파용접에 대한 특허는 미국에서 70년대 초부터 등록이 되어 약 550여건이 소개되고 있다. 한편 최근에는 자동차, 항공우주 산업 분야의 구조체 용접용으로도 채용되고 있다. 국내에서는 태양열 집열판의 접합에 활용되고 있는데 태양열 집열면(동합금)과 열매체 도관(동합금관)을 초음파용접 함으로써 성능을 향상시킨 바 있다.

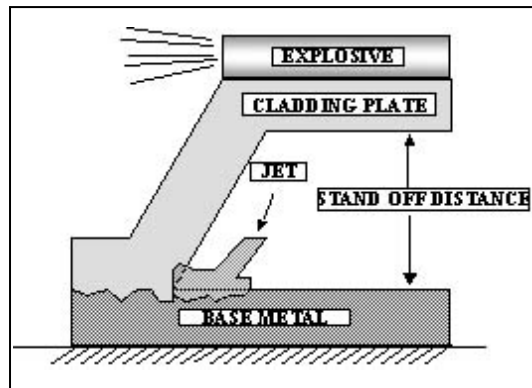


그림 7. 폭발용접 모식도

### 7. 고상접합 기술 응용 사례

앞에서도 언급한 바와 같이 고상접합기술은 신소재, 신기술의 발달과 더불어 거의 모든 산업분야에서 적용되는 필수 기술로서 다양한 적용 사례를 찾을 수 있다. 본 고에서는 마찰교반접합 적용 사례 일부와 확산접합 응용에 대한 간단한 소개로 대신하고자 한다. 표 4와 표 5에 각각 마찰접합 및 확산접합 응용 사례를 나타내었다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 마찰접합을 통해 부품 제조 비용과 제조 시간 등에서 큰 절감효과를 얻을 수 있었다. 표 5에서는 다양한 합금쌍에 대해 확산접합이 활용되고 있으며 모재쌍에 따라 적절한 접합조건을 찾아야 함을 알 수 있다.

표 4. 마찰 접합 기술 적용 사례<sup>12)</sup>

항목	종래(일체품)			마찰 접합품			절감효과
	재료비 (¥)	시간 (분)	비고	재료비 (¥)	시간 (분)	비고	
방직기용 Long color	1,260	71	구상흑연주철+고주파처리	423	41	탄소강+마찰접합	재료비 66% 가공시간 42%
자동차용 크랭크샤프트	288	14	다단계 형단조	218	13	형단조+마찰접합	재료비 24% 가공시간 7%
모터 샤프트 (직경 10mm)	140	16	SUS304 다단계 가공	38	16	SUS304+S35C	재료비 73%
직기용 back roller	9,824	146	FC20+STB13A 주조/가공/열처리	7,233	86	SS41+STKM13A	재료비 26% 가공시간 41%
방직기용 guide roller	102	30	S45C 강봉 가공	42	27	S45C 강봉 접합	재료비 59% 가공시간 10%

표 5. 확산 접합 기술 응용 사례

제품명	재료	조합 종류	접합조건				
			온도 (°C)	시간 (h)	압력 (MPa)	분위기	표면처리
항공기 부착 금구류	Ti-6Al-4V	동종 소재	900	2	2.9	진공( $10^{-3}$ Pa)	산세
로켓 연료펌프용 인펠러	Ti-5Al-2.5Sn		900-960	1	5-10	Ar	탈지
냉동기 터빈로터	Ti-6Al-4V		960	2	15	진공 ( $10^{-2}$ Pa)	탈지 (아세톤)
적층구조 연소기	Hayness 188		1200	4	120	진공	-
Tracked vehicle	NiCrMo steel		900-1100	0.5-2	9.8-29.4		< 6S
장식품	18K Gold		700	0.2	0.1		산세
전극	Cu/SUS 316L	이종 소재	800-1000	0.2-2	4.9-19.6	진공	< 6S
연속주조용볼드	내마모재/동합금/SUS 304		800-1000	0.5-2	4.9-19.6		< 6S
로켓 연소기	무산소동/SUS 316L		850	1	0.5		Ar

8. 맺음말

접합기술은 소재 부품 산업에서 단위부품 생산 공정 기술과 시스템 설계 및 구성 기술간의 교량 역할을 하는 기술이라 할 수 있다. 따라서 최종 시스템의 특성을 극대화하고 단위 소재 부품이 갖는 물성을 최대한 활용하기 위해서는 최적의 접합기술을 활용할 수 있어야 한다. 복합재료, 나노소재 개발, 스마트 소재 개발 등과 같은 난접합 첨단 신소재의 등장은 접합 분야에서도 신기술 개발을 요구하고 있으며 이러한 관점에서 고상접합 기술의 중요성은 더욱 증대되고 있다. 이

는 복합재료와 같은 난접합 소재로 제조된 단위 부품의 접합을 통해 시스템을 구성하기 위해서는 모재의 특성을 보존할 수 있는 고상접합 기술이 반드시 필요하기 때문이다. 최근에는 단위부품 일체화 공정 기술로서 뿐만 아니라 신소재 개발 기술로서도 고상접합 기술은 각광을 받고 있다. 확산접합을 이용한 첨단 복합재료 개발, 마찰교반접합 기술을 응용한 나노 결정립 미세화 기술 개발 등이 그 좋은 예라 할 수 있다. 이러한 관점에서 고상접합 기술은 신산업 발전을 위한 중요한 기술의 한 분야로서 국가적인 지원과 관심이 필요하다 하겠다.



참 고 문 헌

1. 장웅성, 김숙환, 권영각, 연운모 : 경량합금에 의 Friction Stir Welding 적용 기술, 재료마당, 제14권, 제2호 (2001) p. 42
2. Y. M. Yeon, S. B. Jung and W. S. Chang : Application of Friction Stir Welding to Aluminum Alloys, Journal of KWS, Vol. 19 (2001) p. 23
3. 2001 TWI news letter
4. Rajiv S. Mishra : Processing Commercial Aluminum Alloys for High Strain Rate Superplasticity, JOM, Vol. 53 (2001) p. 23
5. H. Ferkel and W. Riehemann : Bonding of Alumina Ceramics with Nanoscaled Alumina Powders, Nanostructured Materials, Vol. 7 (1996) p. 835
6. G. S. Hoppin and W. P. Danesi : Manufacturing Processes for Long-Life Gas Turbines, JOM, July 1986, p. 20
7. Gas Turbine Forecast, Forecast International 1997, AlliedSignal Model 331, Newton, CT, 1997, p. 2
8. John S. Vetrano : Superplasticity : Mechanisms and Applications, JOM, March 2001, p. 22
9. Source book on brazing and brazing technology, Melvin M. Schwartz ed., ASM, Metals Park, Ohio 44073
10. S. C. Seong, S. H. Shin and B. I. Lee : The Principle and Application of the Explosive Welding, Journal of KWS, Vol. 15 (1997) p. 13
11. H. S. Jeong : Fundamentals of Ultrasonic Welding, Journal of KWS, Vol. 15 (1997) p. 24
12. 일본 마찰접합 연구회 자료