

## Ag-Cu-Ti 삽입금속을 이용한 TiAl과 AISI4140 강의 브레이징 Brazing of TiAl and AISI4140 steel using an Ag-Cu-Ti insert metal

구자명\*, 이원배\*\*, 김명균\*\*, 김대업\*\*\*, 김영직\*, 정승부\*

\* 성균관대학교 신소재공학과

\*\* RIST 부품·신소재연구센터 신금속팀

\*\*\* 현대모비스, 연구소

**ABSTRACT** We have investigated the microstructures and the mechanical properties of TiAl/Cerametil721 (Ag-Cu-Ti insert metal)/AISI4140 joints at 800°C for 60 to 300s using induction brazing method. Two continuous reaction layers of AlCuTi and AlCu<sub>2</sub>Ti were formed at the interface between the braze and TiAl, whose thickness increased with the brazing time. The braze consisted of Ag-rich, Ti-rich, CuTi and CuTi<sub>2</sub> phases. The maximum tensile strength achieved 296MPa, which was 71% of that of TiAl base metal, for the specimen bonded at 800°C. Further increase of the brazing temperature and time resulted in constant deterioration of its bonding strength due to large amount of brittle IMC.

### 1. 서 론

TiAl은 높은 비강도, 고온 강도 및 내산화 특성 등으로 인하여 자동차·항공용 고온재료로 각광받고 있는 금속간 화합물 중 하나이다. 하지만, TiAl은 가공성이 떨어지고, 낮은 연성과 인성으로 인하여 그 응용이 제한받고 있다. 그리하여, 현재 합금 디자인을 비롯하여 공정, 가공, 표면처리 및 접합에 대한 연구가 한창 진행되고 있다. 특히 TiAl과 강의 접합은 우수한 내마모 특성과 인성을 부여함과 동시에 더 크고, 더 복잡한 구조물을 제작하기 위하여 필수적인 공정이다.

따라서, TiAl의 용융 용접, 확산 접합, 브레이징, 마찰 압접에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 용융 용접의 경우, 용접 균열의 발생이 심고, 현재까지 적당한 용가재의 개발이 이루어지지 않고 있다. 마찰 압접의 경우, 접합 강도 및 열충격 특성을 향상시킬 수 있는 “plug-type”의 접합법을 사용할 수 없는 단점이 있다. 또한, 확산 접합의 경우, 비교적 우수한 접합 특성을 보이지만, 접합 공정 시간이 긴 단점이 있다. 이에 반해, 브레이징 접합은 형상과 크기의 제한이 거의 없고, 정밀한 접합이 가능하며, 상대적으로 낮

은 접합 온도에서, 한 공정으로 여러 접합부를 동시에 접합이 가능한 장점이 있다.

한편, Ag은 Ti 및 그 합금 재료의 브레이징 접합에 사용되는 대표적인 삽입금속 재료이다. 이에 Ag-Cu 공정 삽입금속의 경우, 비교적 낮은 접합 온도, 우수한 젖음성과 접합 강도를 나타내는 장점이 있다. 또한, Ag-Cu-Ti계 합금의 경우, Ti의 활성으로 인하여 접합 온도의 감소가 기대되는 삽입금속 재료이다.

따라서, 본 연구에서는 Ag-Cu-Ti 삽입금속을 사용하여, 접합 시간에 따른 TiAl과 AISI4140 강을 접합 특성을 관찰한 후, 최적 접합 조건을 연구하였다.

### 2. 시 험 방 법

본 연구에 사용된 TiAl은 investment casting에 의해 제조된 Ti-47at%Al이었다. TiAl과 AISI4140은  $\phi 20 \times 35$ mm 크기의 실린더 형상으로 가공하였다. 사용된 삽입금속은 Lucas-Milhaupt사의 두께가 100 $\mu$ m인 Cerametil721이었다. 이는 젖음성을 향상시키기 위해 한쪽 면에 40vol% Ti

이 코팅된 공정 조성의 Ag-Cu 디스크 형태이었다. 두 모재는 1,200grit SiC 연마지로 폴리싱한 후, 초음파 세척으로 표면을 세정한 후 브레이징 되었다. 이 때, 시편의 고정 방법은 Fig. 1에 나타내었다. 젖음성 향상을 위한 검은색의 Ti 코팅 층은 위쪽 (TiAl)을 향하도록 하였다. Fig. 2와 같이 접합 온도는 800°C로 고정하였고, 접합 시간은 60, 180, 300초로 하였다. 브레이징 온도로 승온하기 전에, 접합부에 온도를 균일화하기 위해서 750°C에서 2분간 유지하였으며, 접합 후 접합부의 내부 응력을 최소화하기 위해서 20분에 걸쳐서 상온으로 서냉하였다. 모재와 삽입금속의 산화를 방지하기 위해서,  $3.7 \times 10^{-2}$ Pa까지 진공한 후,  $2.7 \times 10^4$ Pa까지 Ar 가스를 주입하였다.

접합 후, 접합부 단면의 미세조직은 주사전자현미경의 후방산란전자 사진(BEI: Back-scattered Electron Image)을 통해서 관찰하였다. 접합부에 생성된 반응물의 화학 조성은 EPMA (Electron Probe Micro-Analyzer)와 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)를 통해 분석하였다. 인장 시험은 상온에서 0.5mm/min의 인장 속도로 수행되었다. 인장 시험 후, 파단된 시편의 파단면은 SEM과 EDS를 통해서, 접합 시간에 따른 변화를 관찰하였다.

### 3. 실험 결과 및 결론

#### 3.1 미세조직

3.1.1. Fig. 3은 800°C의 접합온도에서 60s 부터 300s의 접합시간으로 브레이징 접합 후, 접합 계면을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 사진이다. AISI4140은 삽입금속의 원소와 반응하여 어떠한 연속적인 금속간 화합물 층을 생성하지 않았다. 삽입금속의 원소 중 Ag는 모재의 원소와 반응하지 않고 미량의 Cu와 Ti이 고용된 Ag-rich 상으로 관찰되었고, Cu의 경우 TiAl과 반응하여, 접합 계면에 AlCuTi 및 AlCu<sub>2</sub>Ti라는 연속적인 금속간 화합물 층을 생성하였다. 이 금속간 화합물 층은 접합 시간이 증가함에 따라 그 층의 두께가 증가함을 관찰하였다. 일반적으로 금속간 화합물 층이 취약한 특성을 나타내는 것을 미루어볼 때, 이러한 변화는 접합 강도를 저해시키는 요인으로 작용했을 것으로 예상된다.

3.1.2. AlCuTi 및 AlCu<sub>2</sub>Ti의 금속간화합물의 성장은 삽입 금속 내의 Cu를 소비하는 반응인데,

이에 따라 접합시간에 따른 삽입금속의 미세조직이 변화하는 것을 관찰하였다. 삽입 금속 내에 Cu의 감소는 Ag-rich의 양을 증가시켰다.

3.1.3. EPMA로 관찰한 결과, 삽입금속은 Ag-rich, Ti-rich, CuTi와 CuTi<sub>2</sub>로 이루어졌음을 관찰하였다. CuTi<sub>2</sub>의 경우, Ti-rich와 CuTi 상의 사이에 생성되었다. 이는 Ag-Cu-Ti 삼원계 상태 상에 Ti와 CuTi가 직접적으로 경계면을 이루지 않고 그 사이에 CuTi<sub>2</sub>가 있는 것으로 볼 때, 상호확산에 의해 생성된 상으로 판단된다.

#### 3.2 기계적 특성

3.2.1. Fig. 4는 60s부터 300s의 접합 시간에 따른 TiAl/Cerametil721/AISI4140 접합체의 최대인장 강도를 나타낸 결과이다. 그림에서 보이는 것과 같이, 접합시간 60s일 때, 296MPa의 최대인장 강도 (모재 강도의 약 70%)를 나타내었으며, 접합시간이 증가함에 따라 그 값은 감소함을 관찰하였다. 이는 접합시간이 증가함에 따라 TiAl과 삽입 금속 사이에 생성되는 연속적인 취약간 금속간 화합물 층과 Ag-rich 상의 증가에 의한 것으로 사료된다.

### 후 기

본 연구는 성균관대학교, 정보통신융 신기능성 소재 및 공정연구센터(과제번호: R12-2002-057-03001-0)의 지원 하에 이루어진 것으로 관계자 여러분께 심심한 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. R.K. Shiue, S.K. Wu, S.Y. Chen : Infrared brazing of TiAl intermetallic using BAg-8 braze alloy, Acta Materialia, (2003)
2. T. Noda, T. Shimizu, M. Okabe and T. Iikubo : Joining of TiAl and steels by induction brazing, Materials Science and Engineering A239-40 (1997), 613-618
3. W.B. Lee, M.G. Kim, J.M. Koo, K.K. Kim, D. J. Quesnel, Y.J. Kim, S.B. Jung : Friction welding of TiAl and AISI4140, Journal of Materials Science 39 (2004), 1125-1128.

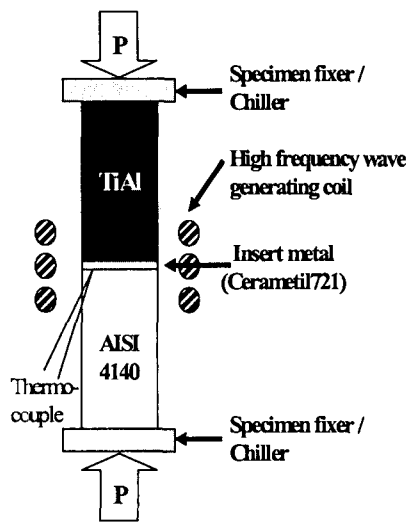


Fig. 1 Schematic diagram of brazing system: The Ti black coating of Cerametil721 can be placed on the part facing upwards (TiAl)

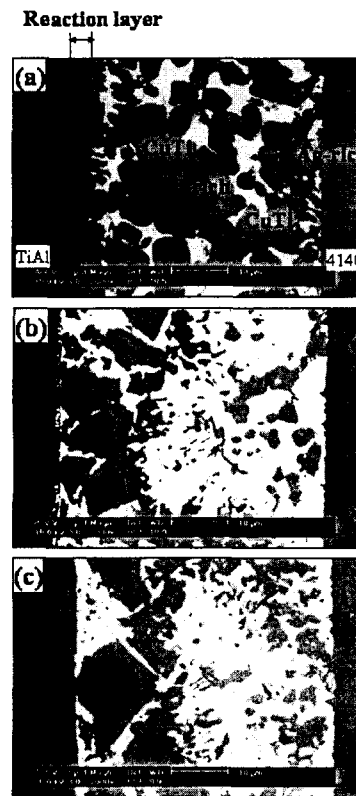


Fig. 3 SEM BEIs of the TiAl/Cerametil721 /AISI4140 specimens brazed at 800°C for (a) 1min, (b) 3min and (c) 5min.

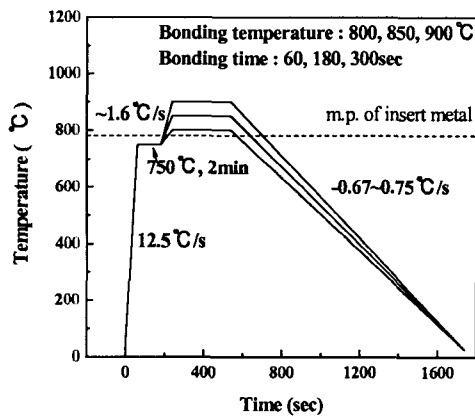


Fig. 2 Temperature profile used for induction-brazing of TiAl/Cerametil721/AISI4140

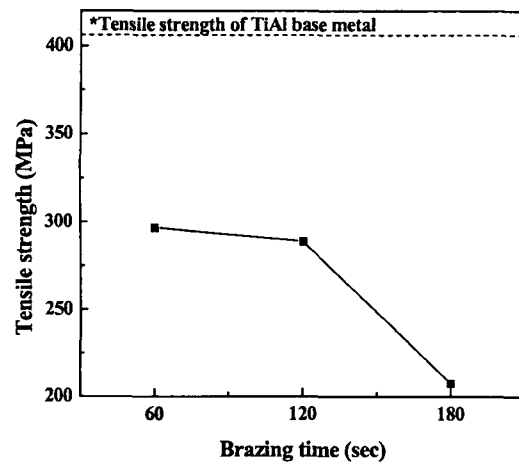


Fig. 4 Tensile strength of TiAl/Cerametil721/AISI4140 joints induction-brazed at 800°C for 60 to 300s.