

## Ti-Al-Cu계 삽입금속을 사용한 TiAl 천이액상확산접합부의 미세조직

### Microstructure of TiAl Transient Liquid Phase Diffusion Bonded with Ti-Al-Cu Insert Metal

부산대학교 금속공학과 \* 백운섭 이병일 강정운 이상래

#### 1. 서론

TiAl 금속간화합물은 비강도, 내열성이 우수한 경량내열구조재료로서, 항공우주산업, 자동차산업분야의 구조재료에 적용될 가능성이 매우 높다. 실용화를 위해서는 2차가공기술 중에서도 접합기술의 확립이 필요불가결하다. 특히 TiAl 금속간화합물은 용융용접이 곤란하기 때문에 Brazing, 고상확산접합 및 액상확산접합 등이 비교적 유망하다고 생각된다. 그래서, 본 연구에서는 TiAl 금속간화합물의 액상확산접합기술을 확립할 목적으로 삽입금속으로서 Ti-Al-Cu합금을 사용하여 TiAl 금속간화합물의 천이액상확산접합을 통하여 적정삽입금속의 조성 및 적정접합조건의 선정과 아울러 접합부의 상동정과 조직변화에 대해서 검토하였다.

#### 2. 실험방법

사용한 모재 및 삽입금속의 화학조성을 Table 1에 표시한다. TiAl 금속간화합물은 전자beam에 의해 진공용해한 주조재로서, 1373K x 86.4ks(6.7mPa)의 조건에서 균질화열처리를 하여 사용하였으며, 삽입금속은 Ti-10wt%Al 및 Ti-20wt%Al을 기본조성으로 용점저하 및 기계적특성향상원소인 Cu를 첨가한 합금으로서, 진공 Arc용해법에 의해 제조하였다. 접합재료는 피접합면을 연마한 후, Aceton으로 초음파 세척한 후 사용하였다.

Table 1 Chemical composition of materials used (wt%)

Materials		Ti	Al	Cu	Cr	C	Fe	O	S	Co
B.M.	TiAl	63.96	32.8		3.19		0.025	0.021		
I.M.	TAC1030	60.58	10.12	29.04		0.038	0.14		0.001	0.08
	TAC2030	50.52	19.58	29.37		0.027	0.44		0.001	0.06

접합은  $10^{-5}$ torr(6.7mPa)의 진공분위기중에서 실시하였으며, 삽입금속의 양 및 초기액상량을 일정하게 유지하기 위하여,  $\phi 200\mu\text{m}$ 의 Mo Spacer를 사용하였다. 용점은 DSC을 사용하여 10K/min의 냉각속도로서 측정된 냉각곡선에서 구하였으며, 액상확산접합 후 합금원소를 균질화하기 위하여 균질화열처리를 실시하였다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

Fig.1은 Ti-10wt%Al 및 Ti-20wt%Al에 용점저하원소로서 Cu를 첨가한 삽입금속에 있어서, Cu의 첨가량에 따른 용점변화를 표시한다. Ti-10wt%Al-Cu합금계의 경우, Cu 첨가량이 증가함에 따라서, 액상선 온도는 서서히 낮아지고 Cu를 25-30wt% 첨가한 경우, 액상선 온도는 1273K이하로 된다. 또, Ti-20wt%Al-Cu합금계의 경우, Cu를 15wt% 이하로 첨가하면, 용점은 1350K 이상이 되지만, 20wt% 이상으로 첨가하면, 현저히 낮아져서 1273K에 이르게 된다. 이상의 결과로부터 적정삽입금속의 조성으로는 Ti-10wt%Al-30wt%Cu 및 Ti-20wt%Al-30wt%Cu로 정하였다.

Fig.2는 Ti-10wt%Al-30wt%Cu합금의 삽입금속을 사용하여 1323K에서 접합 및 20hr 균질화열처리한 경우 유지시간에 따른 접합부 조직의 변화이며, 특히 접합부에서는 편석 및 Void와 같은 결함은 확인되지 않았다. 유지시간 0ks에서, 접합부는 삽입금속과 동일한 조직이 확인되었으며 시간이 경과하여 0.3ks가 되면 Cu원소가 모재측으로 확산함으로써 등온응고가 진행되어 액상량이 감소한다. 그 후 유지시간이 2.1ks가 되면, 완전히 액상이 소멸되어 등온응고가 완료되고 접합부는 층상의 lamellar조직이 형성된다. 이러한 경향은 접합온도를 1293K 및 1353K로 변화시켜도 같은 경향의 결과가 얻어졌다. 접합 후 균질화열처리한 경우에 있어서는 전형적인 duplex 이상혼합조직이 접합부에 형성되는 것으로 보인다.

Fig.3은 Ti-20wt%Al-30wt%Cu합금의 삽입금속을 사용한 경우의 결과이다. 유지시간 0ks에서 접합부는 삽입금속과 동일한 조직이고, 유지시간 0.3ks에서 접합부는 초기의 공정조직이었던 액상이 감소하고 등온응고한 부분은 lamellar조직이 형성되고 있다. 그 후, 시간이 경과하여 2.1ks로 되면, 초기의 흑색상이었던 액상은 완전히 소멸되어 백색의 새로운 상으로 치환되었으며 또, 모재와 접합부 계면에서 형성되었던 lamellar상은 점차 성장하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 접합부의 조직은 균질화

열처리 후에도 큰 변화가 없으며, 단지 삽입금속과 모재와의 계면에서 형성되었던 lamellar조직만 성장하여 duplex 이상혼합조직으로 변화하는 것으로 확인되었다.

천이액상확산접합 및 균질화열처리 후의 상변화에 대해서 SEM-EDX,WDX와 XRD를 사용하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 여기서 Ti-10wt%Al-30wt%Cu의 삽입금속을 사용한 경우, 삽입금속의  $Ti_2Cu$ 와  $Ti_2Al$  및  $Ti(Cu,Al)_2$ 상이 액상확산접합중 모재 및 삽입금속중의 Al 및 Cu의 확산으로 인한 등온응고로  $TiAl-Ti_3Al$ 상으로 전이되어 균질화열처리 후에는  $Ti_3Al-TiAl$  층상에  $TiCu_2$ 상이 미세하게 분포된  $TiAl$  금속간화합물의 전형적인 이상혼합조직인 duplex상으로 변화된 것을 알 수 있다.

또, Ti-20wt%Al-30wt%Cu의 경우에는 Table 2에서와 같이 접합중 삽입금속과 모재계면에서 형성된 lamellar상만  $TiAl-Ti_3Al$ 상의 duplex상으로 변하였고, 접합부 중앙부는 삽입금속중의  $Ti(Cu,Al)_2$ 상이 접합 및 균질화열처리 후에는  $TiCu_2$ 상으로 전이되어 전체적으로는  $TiAl$ 과  $Ti_3Al$  및  $TiCu_2$ 상들이 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

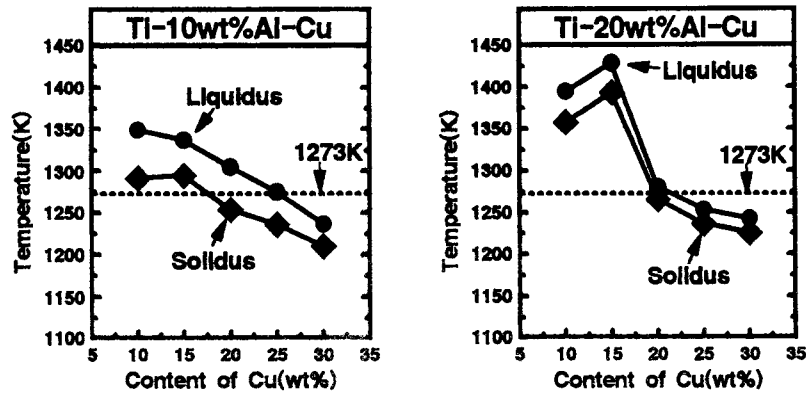


Fig. The effect of Cu content on melting point

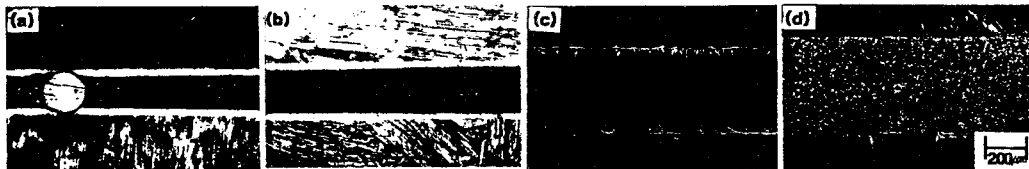


Fig.2 Optical microstructures of joints bonded with Ti-10%Al-30%Cu insert metal at 1323K. (a) 0ks, (b) 0.3ks, (c) 2.1ks (d) homogenization (20hr)

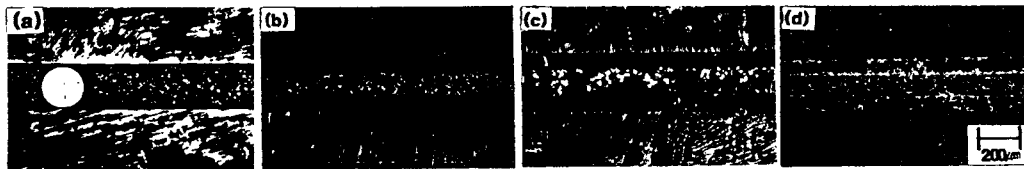


Fig.3 Optical microstructures of joints bonded with Ti-20%Al-30%Cu insert metal at 1323K. (a) 0ks, (b) 0.3ks, (c) 2.1ks (d) homogenization (20hr)

Table 2 Kinds of phase identified by EDX and XRD analysis

Materials	Insert Metal	1323K×0.3ks	1323K×2.1ks	1323K×2.1ks—20hr
TAC1030	$Ti_2Cu$ $Ti_2Al$ $Ti(Cu,Al)_2$	$Ti(Cu,Al)_2$ $TiCu_2$ $Ti_2Al$	$TiAl$ $TiCu_2$ $Ti_3Al$	$Ti_3Al$ $TiAl$ $TiCu_2$
TAC2030	$Ti(Cu,Al)_2$ $Ti_2Cu$ $Ti_3Al$	$Ti_2Al$ $Ti_3Al$ $TiCu_2$	$Ti_2Al$ $TiCu_2$ $Ti_3Al$	$TiAl$ $Ti_3Al$ $TiCu_2$