

Al합금과 스테인리스 강의 고상 확산접합성 연구

(Solid Diffusion Bonding Properties of Al Alloy/ STS Steel)

이 경식, 강 태영, 김 영식
 한국해양대학교 공과대학 기계소재공학과

1. 서론

모재의 용융없이 접합계면에서의 원자 확산을 이용하는 확산접합은, 브레이징 기술 등과 함께 정밀 접합에 널리 이용되는 접합법이다. 그리고, 특히 이종재의 접합에 적합한 방법으로 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는, 이종재로서 물리적·기계적 성질에서 큰 차이를 보이는 재료인 A6061 합금과 STS 316L을 고상 확산접합을 실시하여, 압력, 온도, 시간 조건, 그리고 일반적으로 확산접합 인자 중 하나로 알려져 있는 표면 조도의 영향이 접합부의 강도 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 실험적으로 조사 분석하였다. 그 결과로부터 최적의 접합조건을 규명하고, 물리적 인자(표면의 소성변형) 및 야금학적 인자(원자 확산에 의한 금속간 화합물 생성)와 접합강도와의 상관성에 대해 조사하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

실험에 이용한 재료는, 냉간 압출재인 A6061(T6) 및 STS 316L로, 그 화학조성 및 기계적·물리적 성질 등을 Table 1, 2에 나타내었다. 시험편 형상은 봉상재료를 선반 가공하여, 반응층의 두께 조사를 위한 시험편 및 인장 시험편으로 나누어 제작했다. 그리고 접합계면의 표면처리는 #600, 1500, 3~4 μ m로 연마하였고, 메탄올로 초음파 세척을 실시한 후 접합을 실시했다. 단, STS 316L은 일부를 투묘(Anchoring)효과의 영향을 조사하기 위해, 연마 후 표면凹凸(12~15 μ m)을 임의적으로 만들어 주었으며, 가압력을 가하는 방식은 상온에서 전체 가압력의 반에 해당하는 압력을 가한 후, 접합온도 부근에서 유지할 때 나머지 가압력을 가해 표면의 소성 변형을 유도했다. 그리고 위 결과와의 비교를 위해 접합면의凹凸를 제거하고, 가압력을 줄이는 대신 온도를 높여, 반응층의 생성만을 유도한 뒤 접합강도를 비교했다. 접합에 이용한 기기는 전체 진공 방식인 Vacuum Hot Press를 이용했으며, 시험편 고정을 위해 STS 봉상재를 홈 가공하여 지그로 사용했다. 접합 분위기는 10⁻⁵torr 이상의 고 진공 분위기, 가열방식 및 접합 온도는 graphite 판을 이용하여 748~883K, 유지시간 30min~2hr 30min, 가압력은 0.082~7.84MPa에서 변화시켰다.

반응층의 확인 및 두께 측정은 SEM촬영을 통해 실시했으며, 접합강도평가는 접합체를 직경 10mm로 선반 가공하여, Instron형 인장시험기에 의해 평가했다.

Table 1. Chemical compositions of materials used (wt %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
STS316L	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.04	≤0.03	12.00 ~15.00	16.00 ~18.00	2.00 ~3.00	bal.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A6061	0.40 ~0.80	≤0.70	0.15 ~0.40	≤0.15	0.80 ~1.20	0.04 ~0.35	≤0.25	≤0.15	bal.

Table 2. Physical and Mechanical properties of materials used

	용융점(°C)	열 팽창계수 (1/°C)×10 ⁻⁶	열전도율(100°C) (cal/cm ² ·sec)	탄성계수 (MPa)	인장강도 (MPa)	0.2%내력 (MPa)	신율(%)
A6061	580~650	24	0.37	68.6	310	275	12
STS316L	1370~1400	16	0.05	19.3×10 ⁴	558	290	50

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접합온도에 따른 접합부의 반응층 관찰 및 접합강도평가

유지시간 및 가압력을 각각 2hr, 1.96MPa로 일정하게 하고, 온도를 748K, 798K, 848K, 883K로 변화시켜 반응층의 두께 및 그에 따른 접합강도를 Fig. 1, 2에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 748K, 798K의 어느 정도 낮은 온도 범위에서는 반응층은 거의 관찰되지 않았으며, 가압력이 다소 높더라도 반응층의 두께에는 별다른 영향이 없었다. 또한, 798K(1.96MPa)에서 가장 높은 인장강도를 나타내었으며, 특히 이 온도에서는 접합면이 아닌 A6061쪽에서 연성 파괴가 발생했다. 그리고, 접합온도가 어느 정도 높은 범위인 823K, 883K에서는 반응층이 관찰되었지만, 반응층에 균열이 진전되어 있으며, 이 반응층은 온도 증가와 함께 두꺼워짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 접합온도는 748~798K가 적합하며, 그 이상 온도가 증가하면, 반응층은 두껍게 형성되지만, 취약한 Fe-Al의 금속간 화합물에서 균열 등의 진전에 의해 접합강도는 떨어지는 현상이 나타난다.

3.2 유지 시간에 따른 접합부의 접합강도평가

Fig.3은 가압력 및 접합온도를 각각 1.96MPa, 748K로 일정하게 유지하고, 유지시간을 30min, 1hr, 1hr 30min, 2hr, 2hr 30min으로 변환시켜 그에 따른 접합 강도를 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 유지시간이 짧아도, 너무 길어도 접합성이 떨어지며(반응층은 두꺼워지지만 취약한 금속간 화합물로 인해 오히려 접합강도 저하), 적절한 유지 시간은 1hr 30min~2hr 30min인 것을 알 수 있다.

3.3 가압력에 따른 접합부의 접합강도 평가

Fig.4는 유지시간 및 접합온도를 2hr, 748K로 일정하게 유지하고 가압력을 0.98MPa, 1.96MPa, 2.94MPa, 3.92MPa, 7.84MPa로 변화시켜 그에 따른 접합강도를 나타낸 것이다. 전절에서 설명한 것처럼, 가압방식을 상온에서 일부를 가하고, 나머지 가압력은 접합온도 근처에서 어느 정도 모재가 가열된 후에 가해주는 것이 처음부터 가압력을 모두 가해주는 것보다 접합강도가 우수하며, 이 실험에서 가압력에 따른 접합강도의 차이는 크지는 않았다. 여기서 주목할 것은 가압력이 어느 정도 클 때는 접합면의 산화막을 파괴하고, 취약한 금속간 화합물 생성을 억제하는 효과도 어느 정도 있다고 판단된다.

4. 결론

- 1) 접합온도 748~798K, 접합유지시간 1hr 30min~2hr 30min, 가압력 0.98~2.94MPa일 때가 모재의 변형없이 우수한 접합강도가 얻어진다.
- 2) 접합강도는 접합계면에서 형성된 금속간 화합물에 의해 크게 저하된다.
- 3) 가압력을 가하는 방식은 한 번에 가해주는 것보다 상온 및 접합온도 근처로 나누어 가해주는 것이 우수한 접합강도가 얻어진다.

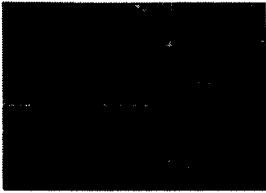

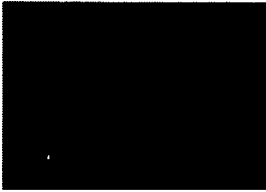
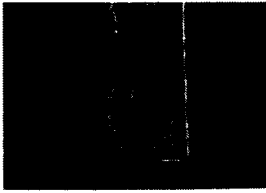
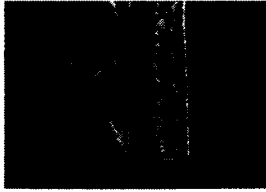

Pressure(MPa)	Temperature(K)	Vacuum degree : 10^{-5} torr Bonding time : 120~150min
1.47 ~ 1.96	748	
	798	
0.082 ~ 0.196	823	
	883	
		
* 7.84	748	

Fig.1 SEM microstructure of the A6061/STS 316L joints at various conditions

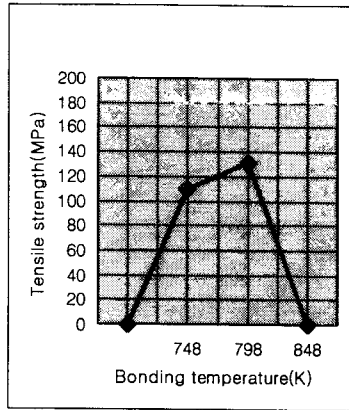


Fig. 2 Effect of bonding temperature on tensile strength.
(bonding time:2hr, pressure:1.96MPa)

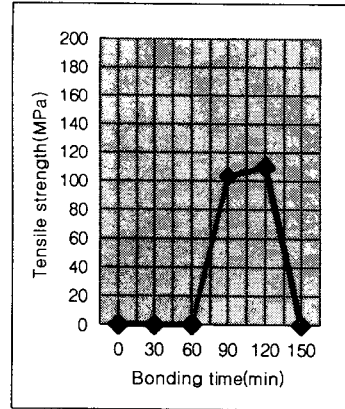


Fig.3 Effect of bonding time on tensile strength.
(bonding temperature:748K, pressure:1.96MPa)

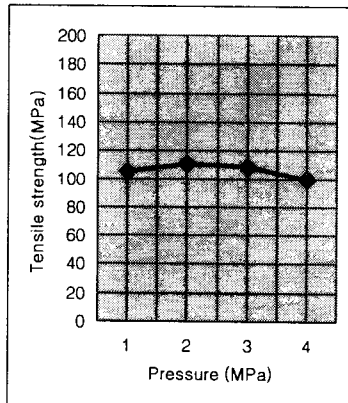


Fig. 4 Effect of pressure on tensile strength.
(bonding temperature:748K, bonding time:2hr)