

초고온용 Zn-Al-Cu계 Pb-free 솔더 합금의 특성 연구

A Characteristics of Zn-Al-Cu system Pb-free Solder alloys

for Ultra high temperature applications

김 성준 · 나혜성 · 한태교 · 이봉근 · 강정윤

부산대학교 공과대학 재료공학과

1. 서 론

자동차, 우주항공, 지하탐사 등 여러 산업분야에서 고온용 전자기기에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있으며, 이는 고온장치 부근에 장착이 가능해지면서 연결에 필요한 와이어(wire) 및 커넥터(connector) 및 냉각장치 등이 필요 없어져 경제적으로 큰 장점을 가지는 동시에, 기기의 오작동이나 보수 유지 측면에서도 이점이 있기 때문이다.

고온용 전자기기에 필요한 기판, 접합재료 등에 대해서 다양한 연구가 진행되고 있으나, 300°C 이상의 초고온용 전자기기에 사용되는 접합에는 현재 Au와 같은 고가의 금속을 사용한 접합만이 연구되고 있어 합금 공급의 용이성, 경제성, 환경에의 무해함 등을 고려하였을 때, 초고온용 무연솔더 합금에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 Zn-Al-Cu계 3원계 합금에 대해 초고온용 솔더로서의 적용 가능성 및 솔더 합금의 기본특성 파악을 위해 용점 측정, 퍼짐성 시험, 전기저항 측정 및 기계적 특성에 대한 실험을 수행하였으며, 이를 통해 가장 적합한 합금조성을 선정하는 것을 연구목적으로 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

합금의 용해는 Ar을 주입하면서 고주파로 용해한 후, 동금형에 주조하여 직경 12mm, 길이 100mm의 봉상으로 제조하였다.

용점측정은 시차주사열량계(DSC)를 사용하였다. 용점은 20mg의 시료를 Ar분위기에서 500°C까지 승온시킨 후, 1°C/min.냉각속도의 열분석곡선을 분석하였다.

퍼짐성은 납조(solder bath)를 사용하여 측정하였고, 퍼짐율(spread ratio)을 통해 평가하였다. 측정조건은 시편무게 300mg, 온도 430°C, 측정온도에서의 유지시간 30초, 플럭스는 Liquid flux-RMA type으로 하였다. 각 합금당 3회씩 측정하였고, 평균값으로 평가하였다.

전기저항률 시험편의 형상은 지름 3mm의 봉재형상으로 길이 150mm를 제작하여 표면을 연마하여 준비하였으며, 전위차계(potentiometer)를 이용해 측정하였다.

각 합금의 미세조직을 관찰하기 위해 봉상형태로 제조된 솔더를 길이 방향에 수직인 방향으로 절단한 후 연마하여, 에칠알콜(95ml)+HCl(5ml)의 용액에 부식시킨 후, 광학현미경과 주사식 전자현미경으로 관찰하고, EDX, EPMA를 통해 상을 분석하였다.

경도시험은 마이크로 비커스 경도계를 사용하였고, 하중 500g, 하중부과시간 10초의 조건으로 측정하였다. 인장시험은 동금형으로 주조하여 제조하고, ASTM E8-m에 의거해 유압식 만능시험기를 이용해 시험하였으며, 시험조건은 cross-head speed는 2mm/min.으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 초고온용 무연합금의 설계 방향

초고온용 솔더합금의 개발을 위해 용점이 800°C 이하인 순금속 및 합금을 대상으로 용융온도구간을 조사하였다. 초고온용 솔더합금에 필요한 온도구간은 최소 고상선 온도가 375°C 이상, 최대 액상선 온도가 400~425°C인 것이 적정수준이며, 유해성, 경제성 등을 감안할 때 가장 적합한 합

금은 Zn기 합금임을 알 수 있었다. Fig.1에 합금 설계상 목표로 하는 용융온도구간을 나타내었다.

Zn기 합금에 대해 여러 금속원소를 합금원소로서 검토한 결과, Zn-Al계가 가장 적합한 용융온도구간을 가짐을 확인하였으며, 여기에 기계적 성질 및 접합특성, 부식저항성 향상을 위한 합금 원소로 Cu를 첨가하여 3원계 솔더 합금으로서의 기본특성에 대한 연구를 수행하였다.

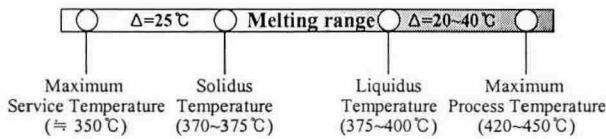


Fig.1 Relationship between the melting range of solder alloy and the service temperature

3.2 Zn-Al-Cu계 솔더의 특성

3.2.1 용융온도구간

각 합금조성에 대해 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 용점 및 응고온도범위를 측정된 결과를 fig.2에 나타내었다. 고상선 온도는 모든 합금 조성에 대해 370°C 부근에 형성되었으며, 액상선 온도는 380~420°C까지 합금 첨가량에 따라 변화하였다. Al의 첨가량이 4~6%로 증가할수록 모든 Cu조성에 대해 액상선 온도가 감소하였으며, Cu의 첨가량이 증가할수록 동일 Al조성에 대해 액상선 온도는 증가하였다.

초고온용 솔더 적용을 위한 목표온도로서 최대 사용온도인 350°C보다 20°C 높은 약 370°C의 고상선을 가지면서 알맞은 공정온도와 적용을 위해 400°C미만의 액상선 온도를 목표 온도로 설정하여 이에 만족하는 조성을 선정하였다. 총 9개 조성이 목표치를 만족하였으며, 해당 합금에 대한 조성구간과 용융온도구간을 table.1에 나타내었다.

3.2.2 퍼짐성 시험

400°C의 액상선을 감안하여 430, 450°C의 온도에서 퍼짐성 시험을 실시하였으며, 측정된 퍼짐율(spread ratio)을 fig.3에 나타내었다.

퍼짐율은 시험온도가 높아질수록 높아지며, 합금원소의 영향은 Al 첨가량의 증가는 퍼짐율이 높아지는 결과로 나타났으나, Cu의 경우는 뚜렷한 경향을 확인할 수 없었다.

Zn-Al-Cu계 합금의 퍼짐율은 중고온용 솔더 규격의 50%이상 규정은 만족하지만, 기존의 Sn기 무연솔더의 75~85%에 비해서 다소 낮은 결과치를 나타내었으며, 공정온도나 분위기, 플럭스 등의 공정상의 보완이 필요할 것으로 사료된다.

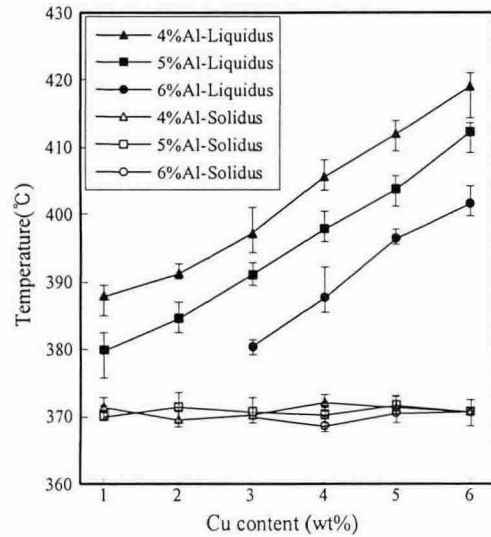


Fig.2 Effect of the content of Al, Cu on the melting range in Zn-Al-Cu solder alloys

Table.1 Melting range of selected Zn-Al-Cu solder alloys

Alloy	Chemical composition(wt%)			T _S	T _L	ΔT
	Zn	Al	Cu			
ZAC41	95	4	1	371.4	387.9	16.5
ZAC42	94	4	2	369.5	391.2	21.7
ZAC43	93	4	3	370.2	397.1	26.9
ZAC52	93	5	2	371.4	384.6	13.2
ZAC53	92	5	3	370.5	390.8	20.3
ZAC54	91	5	4	370.2	397.8	27.6
ZAC63	91	6	3	369.8	380.2	10.4
ZAC64	90	6	4	368.6	387.5	18.9
ZAC65	89	6	5	370.3	396.2	25.9

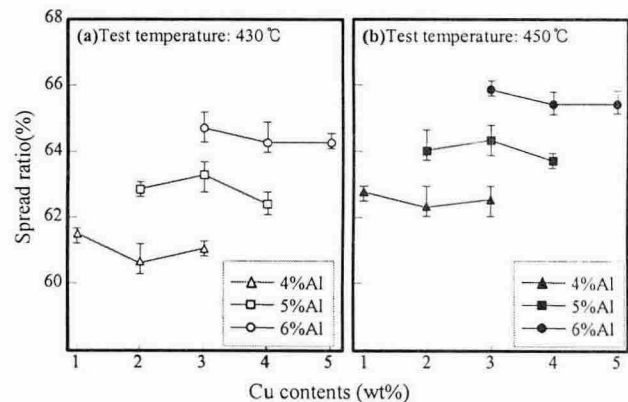


Fig.3 Spread ratio of Zn-Al-Cu solder alloys (a)430°C (b)450°C

3.2.3 전기저항

Fig.4는 Zn-Al-Cu계 합금의 전기적 특성을 평가하기 위해 전기저항을 측정된 결과를 나타낸 것으로서, 저항률 값은 Al의 첨가량이 증가할수록, Cu의 첨가량이 감소할수록 감소하였으며, 전

체적으로 약 $7\sim 8.5\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 나타내어 pure Zn보다는 다소 떨어지지만, Sn기 솔더에 비해 낮은 저항값을 가진다.

3.2.4 미세조직

Fig.6은 Al조성에 따른 광학현미경 조직사진을 나타낸 것으로, Al의 첨가에 따라서 검은 상의 양이 증가하였으며, 각 상의 분석은 EPMA, XRD를 통해 실시하였다.

Fig.7의 EPMA 면분석, fig.8의 정량분석 결과로부터 흰색 초정은 Cu가 다량 함유된 초정 ϵ 의 수지상이며, 기지조직은 Zn에 Al, Cu가 미량 함유된 η 상, 검은 부분은 Zn-Al의 α - β 공정 조직임을 확인하였다.

3.2.5 기계적 성질 평가

Fig.8은 비커스 경도계로 측정된 경도치를 나타낸 것으로 합금원소의 첨가량이 증가할수록 경도는 증가하였으며, Al과 Cu의 첨가는 모두 경도 향상 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 Zn-Al-Cu계 합금의 초고온용 솔더로서의 특성에 대한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 용융온도구간은 $380\sim 400^\circ\text{C}$ 으로 합금첨가량에 따라 고상선 온도는 거의 일정하였으나 액상선 온도가 변화하였다.
- (2) 퍼짐율은 약 $62\sim 66\%$ 의 값을 나타내었다.
- (3) 전기저항은 약 $7\sim 8.5\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 나타내었다..
- (4) 미세조직은 Cu가 다량 함유된 초정 ϵ 의 수지상, Zn에 Al, Cu가 미량 함유된 η 상의 기지조직, Zn-Al 공정조직으로 크게 3가지 상임을 확인하였다.
- (5) 경도는 합금첨가량에 비례하여 향상되는 것을 확인하였다.

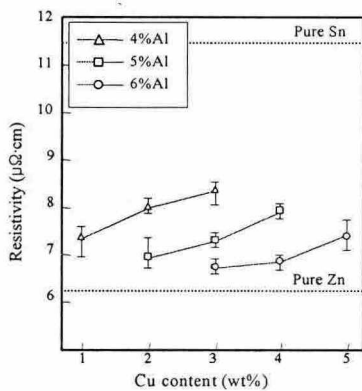


Fig.4 Resistivity of Zn-Al-Cu solder alloys

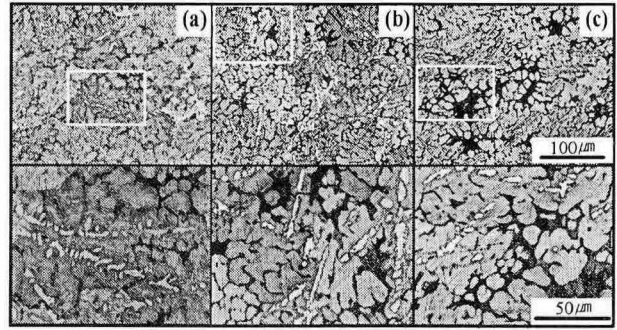


Fig. 5 Optical microstructures of Zn-x%Al-3%Cu solder alloys (a)4%Al, (b)5%Al, (c)6%Al

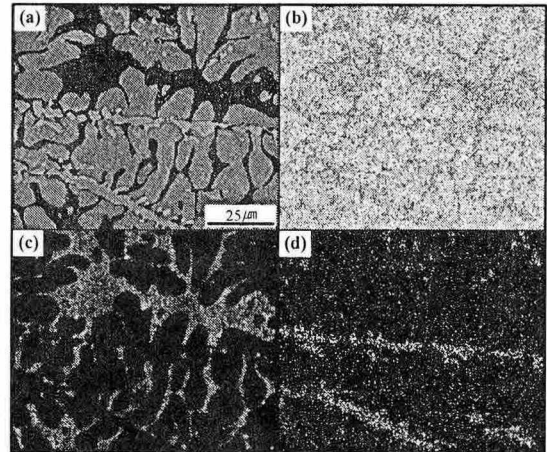


Fig.6 Results of EPMA analysis(Zn-5%Al-3%Cu) (a)BSE image, (b)Zn-Kα, (c)Al-Kα, (d)Cu-Kα

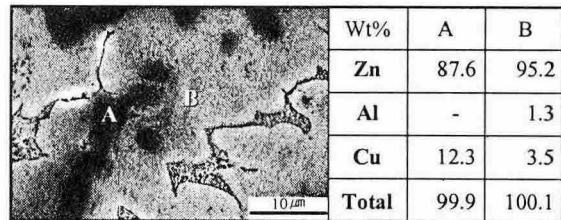


Fig.7 Results of EPMA analysis(Zn-5%Al-3%Cu)

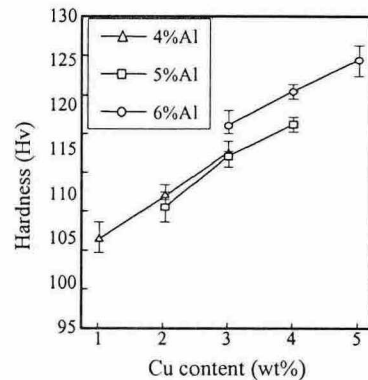


Fig.8 Results of Vickers hardness test