

SiO₂-CaO-Al₂O₃계 유리 솔더에 의한 알루미나의 접합 현상에 관한 연구

안 병 국*

*전북대학교 공과대학 신소재공학부 / 신소재개발연구센터

A Study for Joining of Alumina Soldered by SiO₂-CaO-Al₂O₃ Glasses

Byung-Guk AHN*

*Faculty of New Materials Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

Abstract

Sintered alumina ceramics were joined by 2 kinds of SiO₂-CaO-Al₂O₃ glass solders having a similar expansivity as alumina. Wetting of glass/alumina was examined by sessile drop method. The observation of interface and bending strength related to alumina/glass/alumina systems were investigated by means of SEM/EDX and 4-point bending test. The result are summarized as follow:

- (1) Wetting of glass solders on alumina was good at temperatures higher than 1450°C.
- (2) When the joining temperature was high, diffusion and/or reactions between solder and alumina took place at the interface. These diffusions and reactions occurring at the interface greatly affected the bending strength of joining body.
- (3) Highest strength corresponding to 80% that of alumina was obtained by the solder of 35SiO₂-35CaO-30Al₂O₃ (wt%) glass.

(Received October 14, 2002)

Key Words : Joining, Alumina, Silicate glass, Glass solder, Interface, Diffusion, Chemical reaction, Bending strength

1. 서 론

최근 고출력 전자소자, 고출력 광전소자 및 고출력 하이브리드(hybride)기판의 패키징(packaging) 분야에서는 솔더링(soldering) 및 브레이징(brazing)에 의한 각종 재료의 접합공정에 의하여 디바이스(device)가 완성된다. 이러한 전자 및 광소자의 패키징시에 알루미나는 각종 기판으로서 또는 전기적 절연 등의 용도¹⁾로서 널리 이용되며, 이 경우, 알루미나의 접합공정은 소자의 특성과 신뢰성에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 알루미나는 성형 및 가공상 제약요인이 많아 단순한 형상의 부재로부터 복잡한 형상의 제품으로 조립하는 접합기술이 필요^{2,3)}하게 된다.

알루미나를 필두로한 세라믹스의 접합은 지금까지 고상가압법^{4,5)}, 핫프레스법^{6,7)}, 활성금속법^{8,9)}, 산화물계

유리 솔더법¹⁰⁻¹⁴⁾ 등이 적용되고 있다. 이 중에서 산화물계 솔더법은 압력을 가하지 않고 복잡한 형상에도 응용할 수 있으며, 선택하는 조성의 범위가 넓고 용점, 열팽창계수, 점도 등 접합특성의 제어가 용이하다.

산화물계 유리 솔더에 의한 알루미나의 접합에 관한 연구는 많이 수행되어 왔으나 대부분은 알루미나와 금속간의 접합¹⁵⁻¹⁷⁾과 알루미나간의 고상가압법⁵⁾, 핫프레스법⁶⁾으로서, 유리 솔더를 이용한 알루미나간의 접합에 관한 연구는 거의 없다. 더욱이 접합계면 조직과 접합강도와와의 관련성을 계통적으로 고찰한 사례는 전혀 찾아볼 수 없다.

따라서 본 연구에서는 내화물의 주요 구성성분을 포함한 SiO₂-CaO-Al₂O₃계가 비교적 낮은 용점을 가지며, 열팽창계수도 알루미나와 비슷한 조성이 있음에 착안¹⁸⁾하고 SiO₂-CaO-Al₂O₃계 솔더를 이용하여 알루미나간의 접합을 시도하였다. 이 때 접합계면에 있어서

성분원소의 확산·반응이 어떤 과정을 거쳐서 일어나는가를 상태를 참고하여 해석하였다. 그래서 계면에서의 확산 및 반응상황과 접합강도와의 상관관계를 분명히 하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 제조

본 연구에서 사용한 알루미늄은 순도가 99.5%인 상업소결품으로, 밀도는 3.9g/cm^3 이고, 상온에서 4점 굽힘강도의 평균값은 305MPa 였다. 솔더는 $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ 계 상태에서 용점이 $1350\sim 1450^\circ\text{C}$ 사이, 또한 열팽창계수가 알루미늄과 유사한 조성을 선택하였다. Table 1에 솔더의 조성을 나타내었다.

솔더의 원료는 특급시약 이산화규소(SiO_2), 탄산칼슘(CaCO_3), 산화알루미늄(Al_2O_3)의 분말을 Table 1과 같이 질량비로 충분히 혼합한 후, 백금도가니에 넣어 SiC 저항로를 사용하여 $1500\sim 1600^\circ\text{C}$ 에서 약 2시간, 공기중에서 용융시켰다. 솔더의 균질성을 확보하기 위하여 용융 및 냉각조작을 3회 반복하였다. 그 후 용체를 직경 10mm, 높이 40mm의 구리계 주형에 주입하여 공기중에서 냉각하였다.

솔더의 열팽창 특성을 평가하기 위하여 Takahashi의 열팽창인자¹⁹⁾를 이용하여 솔더의 열팽창계수를 계산하여 실제의 측정값과 비교하였다.

2.2 젖음성의 측정

젖음을 측정할 때, 표면의 평활도가 큰 영향을 미치므로 알루미늄의 표면은 경면연마하였으며, 솔더의 경우, 알루미늄과 접촉하는 면은 #1500까지 연마하였다. 측정은 적외선 복사기열로를 이용하여 정적법(sessile drop method)으로 수행하였다. 경면연마한 알루미늄위에 유리 원주(직경 3mm, 높이 2mm, 무게 약 0.04g)를 얹어 놓고, 시험온도까지 분당 100°C 로 승온하였다. 측정은 시험온도에서 시료의 형상을 카메라로 촬영하여, 현상된 필름을 20배 확대한 상으로부터 실시하였다.

Table 1 Chemical compositions (wt%) of solders used in the experiments.

Solder	SiO_2	CaO	Al_2O_3
Gehl	35	35	30
Ca-al	10	50	40

2.3 접합과정

접합에 사용한 알루미늄의 크기는 $11.5\times 7\times 20\text{mm}^3$ 이다. 경면연마한 접합면을 아세톤으로 세척하였다. 접합과정에 사용한 솔더는 2.1의 항의 방법으로 제조한 유리를 150mesh까지 분쇄하여 사용하였다. 접합면위에 솔더 분말을 얹어 놓고 알코올을 첨가하여 페이스트상으로 만든 후, 대기중에서 건조시켰다. 그 후 다른 쪽의 알루미늄을 얹어 놓고 흑연제 시료 가이드에 장착한 후, 아르곤 분위기, $1350\sim 1600^\circ\text{C}$ 의 온도에서 무가압조건으로 접합하였다. 또한 유지시간의 영향을 조사하기 위하여 1500°C 에서는 10~60분까지 접합하였다.

2.4 접합강도의 평가 및 계면조직의 관찰

접합체의 상온강도는 만능시험기를 이용하여 4점 굽힘법으로 측정하였다. 굽힘강도에 사용된 시험편은 $3\times 3\times 40\text{mm}^3$ 의 크기로 절단하였으며, 인장응력이 가해지는 면은 $0.1\mu\text{m}$ 의 다이아몬드 페이스트를 이용하여 연마하였다. 측정은 상부 스펠 12mm, 하부 스펠 28mm의 치구를 이용하였으며, 크로스헤드 속도는 분당 0.2mm로 설정하였다. 또한 접합체의 강도는 동일조건에서 5개 시료의 평균값을 사용하였다. 접합체의 계면조직 관찰, 조성 분석은 SEM/EDX를 이용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 솔더 및 알루미늄의 열팽창 특성

접합할 때 알루미늄과 솔더의 열팽창계수에 큰 차이가 있으면, 접합후 냉각시 접합계면에서 잔류응력이 발생하여 경우에 따라서는 파괴가 일어난다. 따라서 산화물계 유리 솔더에 의한 접합시, 솔더의 열팽창계수를 알루미늄의 열팽창계수에 일치시키는 것이 중요하여 알루미늄과 유사한 열팽창계수를 갖는 솔더의 조성을 결정하는 것이 중요하다. 따라서, Takahashi의 열팽창인자¹⁹⁾를 이용하여 알루미늄과 유사한 열팽창계수를 갖는 솔더를 Table 1과 같이 선정하였다.

Fig. 1에 알루미늄과 각 솔더의 열팽창 측정 결과를 나타낸다. 솔더의 열팽창율은 800°C 까지 거의 직선적으로 증가하였다. Gehl 솔더의 열팽창율은 알루미늄과 거의 유사하나, Ca-al 솔더는 알루미늄보다 약간 큰 값을 나타낸다. 또한, Table 2에 Takahashi의 열팽창인자를 이용하여 계산한 결과와 실제 측정에 의하여 얻어진 시료의 열팽창계수를 나타낸다. Takahashi의 인자는 유리의 양이온 분율을 기초로 나타낸 열팽창계

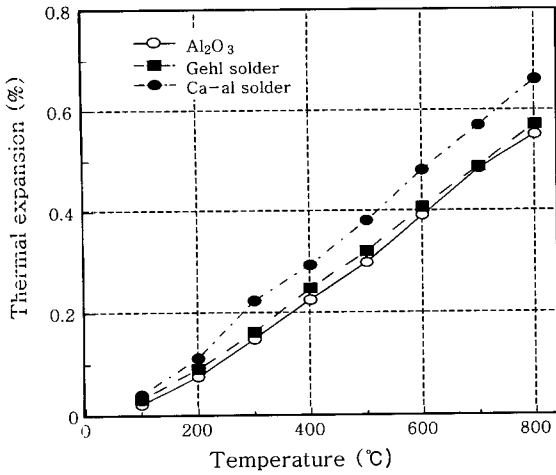


Fig. 1 Thermal expansion of glass solders and alumina.

Table 2 Coefficient of thermal expansion of solders and alumina.

Specimens	Coefficient of thermal expansion ($\alpha \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)		
	50~400	50~800	0~400*
Al ₂ O ₃	65.4	70.5	-
Gehl solder	66.3	71.4	62.2
Ca-al solder	79.2	86.1	85.5

*: Coefficient of thermal expansion calculated from Takahashi factor.

수와 유리 조성 사이의 경험적인 덧셈법칙 ($\alpha = \sum \alpha_n \times P_n$, α 유리의 열팽창계수, α_n 각성분의 열팽창상수, P_n 각성분의 백분율)으로, 본 연구에서 사용한 인자값은 CaO 14.5, Al₂O₃ 3.1, SiO₂ 0.60이다. Takahashi의 열팽창인자를 사용하여 계산한 열팽창계수는 Table 2에 나타난 바와 같이 실제 측정값과 7% 범위내에서 일치한다.

한편, 접합온도가 1350~1400°C일 때에는 솔더가 접합층내에서 결정화하므로 솔더를 결정화시켜 열팽창 특성을 조사하였다. 게헤레나이트(Gehlenite, 2CaO·Al₂O₃·SiO₂)를 결정상으로 하는 Gehl 솔더와 칼슘 알루미늄네이트(calcium aluminate)를 결정상으로 하는 Ca-al 솔더를 결정화시킨 시료의 열팽창계수는 결정화시키지 않았던 것에 비하여 약간 감소한 $69.3 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, $78.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 였다. 이러한 결과로부터 솔더의 결정화는 열팽창의 관점에서 유망하다고 생각된다.

3.2 젖음성의 평가

일반적으로 고상-액상계 접합에 있어서 고상과 액상 간에 확산이나 화학반응이 일어나 물성이 다른 계면의

정합성을 양호하게 하는 것이 중요하다. 이러한 확산이나 화학반응은 다른 상들 사이의 분자가 충분히 근접한 상태에서 발생한다. 즉 고상-고상계 접합에 있어서 가압에 의해서 계면을 가능한한 밀착시킬 필요가 있는 것에 대하여, 고상-액상계의 접합에서는 액상의 고상에 대한 젖음성이 중요하다.

Fig. 2에 온도에 따른 접촉각의 변화를 나타낸다. 여기에서 접촉각은 시료가 측정온도에 도달한 순간의 측정값을 취하였다. Gehl 솔더는 1450°C를 경계로 급격히 알루미늄 기판에 젖었으나, Ca-al 솔더는 상태도상의 융점이 1350°C 이상임에도 불구하고 1350°C에서부터 서서히 기판에 젖었다.

Fig. 3에 1350°C에서 시간에 따른 접촉각의 변화를 나타낸다. Gehl 솔더는 시간에 따라 접촉각은 10분이 지난 후, 6° 정도 감소하였으나, Ca-al 솔더는 10분이

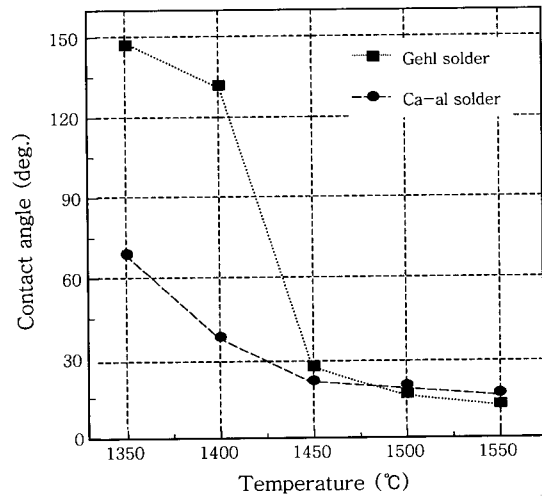


Fig. 2 Change of contact angle with temperature of glass solders on alumina.

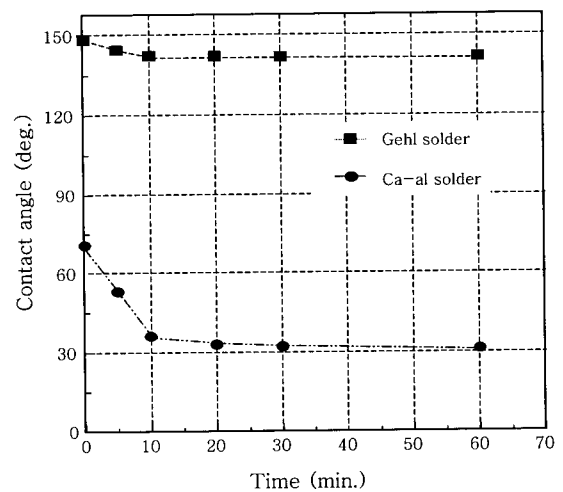


Fig. 3 Change of contact angle with time of glass solders on alumina at 1350°C.

지난 후, 접촉각이 현저히 낮아져, 40° 정도 감소하여 Ca-al 솔더의 경우가 알루미늄에 급격히 젖어감을 알 수 있다. 이들 솔더의 융점은 1400°C 전후로 융점이 유사하여도 솔더의 조성에 따라 젖음성에는 큰 차이가 있었다. 시간에 따른 접촉각의 변화가 적은 Gehl 솔더는 솔더와 알루미늄의 접합계면에서 확산이나 반응이 약간 일어났다는 것을 의미하며, 시간에 따른 접촉각의 변화가 큰 Ca-al 솔더는 접합계면에서 상당한 화학반응이 일어나, 솔더의 계면장력 γ_{SL} 을 감소시키기 때문²⁰⁾으로 생각된다.

일반적으로 접합에 적합한 젖음성의 조건으로는 접촉각이 90° 이하가 요구되고 있다. 이러한 관점에서 Gehl 솔더는 1450°C 이상의 온도, Ca-al 솔더는 1350°C 이상의 온도가 접합에 적합한 온도로 생각된다.

3.3 접합계면의 관찰

접합할 때, 솔더와 알루미늄 사이에 어떠한 과정을 거쳐서 확산 및 반응이 진행되는가를 이해하는 것은 접합기구를 파악하기 위해 중요하다. 여기에서는 접합온도 및 접합시간의 변화에 따른 접합계면에서 발생한 확산 및 반응을 중심으로 고찰하였다.

3.3.1 접합온도에 따른 접합계면 조직의 변화

Fig. 4에 Gehl 솔더를 이용하여 1500~1600°C에서 10분간 접합한 접합층의 조직을 나타낸다. 접합온도가 1400°C까지는 접합층내에서 솔더의 결정화가 일어나, 접합계면에서 확산 및 반응은 거의 일어나지 않았다. 그러나, Fig. 4에 나타난 Ca-k α 분석선으로 알 수 있는 바와 같이 1500°C 이상의 온도에서는 Gehl 솔더의 성분이 알루미늄의 입계를 따라 확산하고 있다. 접합온도가 더 올라가면 경면연마한 알루미늄의 표면은 Gehl 솔더에 침식되어 접합계면이 거칠어지고, 알루미

나의 입계를 통한 확산이 용이해진다. 온도가 더욱 높아져 1600°C가 되면 Fig. 4의 (C)에 나타난 바와 같이 솔더가 알루미늄 결정입계를 상당히 침식시켜, 원래의 접합층을 구분할 수 없을 정도가 되고, Gehl 솔더의 성분도 알루미늄의 내부로 상당히 확산되어 있다. 이와 같이 솔더 성분중 SiO₂와 같은 망목형성체(network former) 및 Al₂O₃와 같은 망목중간체(network intermediate)의 성분이 75% 함유된 Gehl 솔더는 본 연구의 조건에서 알루미늄과 반응층을 쉽게 형성하지 않으나, 접합계면의 알루미늄을 침식시키고, 솔더 성분이 알루미늄의 계면을 통하여 내부로 확산하는 확산하는 거동을 보인다. 또한, 이 때 접합계면 근방에 존재하는 알루미늄은 EDX 분석 결과로부터 CaO 성분이 7% 정도 첨가된 것으로 판명되었다.

Fig. 5에 Ca-al 솔더를 이용하여 1500~1600°C에서 10분간 접합한 접합층의 조직을 나타낸다. Fig. 3의 젖음성 측정결과에서도 예상할 수 있는 바와 같이, Ca-al 솔더와 알루미늄의 접합계면에서 상당량의 반응층이 생성되고 있다. 이들 반응층의 두께는 Fig. 5의 (A)에 나타난 바와 같이 1500°C에서 4 μ m 정도였으나, 온도가 높아져 1600°C에서는 20 μ m 이상으로 대단히 두껍다. 또한 반응생성물의 조성은 EDX로 측정한 결과, 1500°C일 때 Ca₁₂Al₁₄O₃₃, 1550°C일 때 CaAl₂O₄, 1600°C일 때 CaAl₁₂O₁₉으로 변화되었다. 이와 같은 반응층은 접합온도가 1500°C일 때 Ca-al 솔더 성분중 Ca의 확산이 접합계면 부근에 머물러 접합계면에 Ca₁₂Al₁₄O₃₃을 생성한다. 그러나 접합온도가 올라감에 따라 솔더의 점도가 낮아져²¹⁾ 원소가 확산하기 쉬운 상태가 되면, 접합층중의 Ca가 점유하는 비율이 작은 CaAl₂O₄이 생성된다. 온도가 더욱 높아져 Ca 성분이 멀리까지 확산하면, 접합층중 솔더의 양은 한정되어 있으므로 Ca의 평균농도는 감소하여 최종적으로는 CaAl₁₂O₁₉가 생성된다. 이와 같이 솔더 성분중 망목형

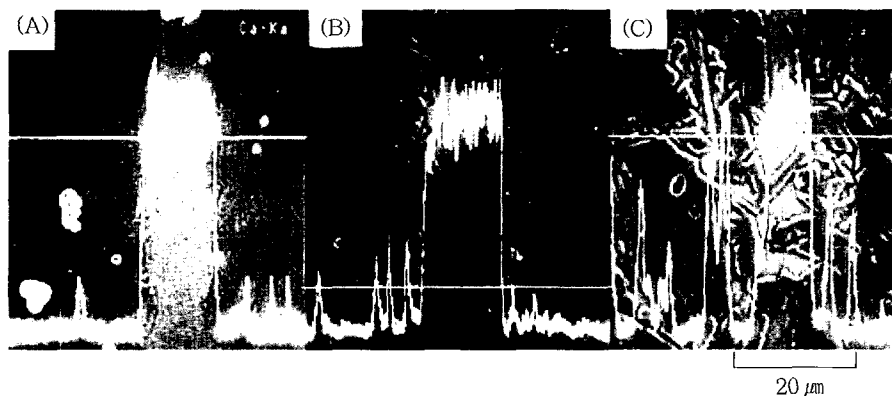


Fig. 4 SEM micrographs and microanalysis of Ca-k α distribution at joint region (Gehl solder, joining time : 10min., (A) 1500°C, (B) 1550°C, (C) 1600°C).

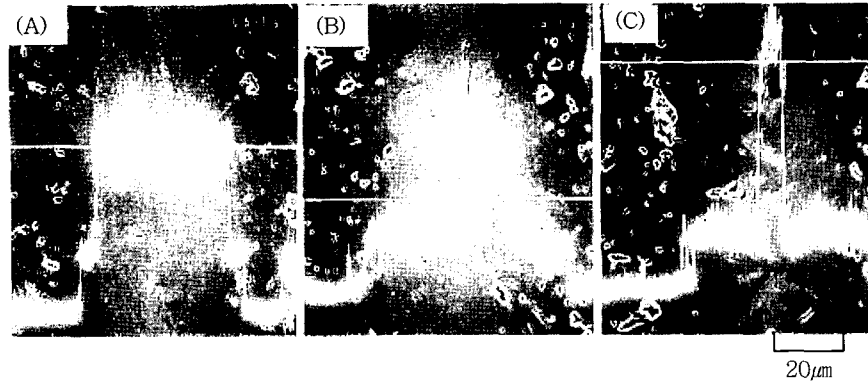


Fig. 5 SEM micrographs and microanalysis of Ca-k α distribution at joint region(Ca-al solder, joining time : 10min., (A) 1500°C, (B) 1550°C, (C) 1600°C)

성체와 망목중간체의 성분과 CaO와 같은 망목수직체(network modifier)의 성분이 50% 정도씩인 Ca-al 솔더의 경우, Gehl 솔더와는 달리 솔더가 알루미늄을 침식시키지 않고, 단지 솔더 성분의 확산에 의하여 반응층을 생성한다. 이렇게 생성된 반응층은 Ca-al 솔더에서 결합력이 32kcal/g-atom 정도²²⁾로 약한 망목수직체인 CaO와 알루미늄이 접합계면에서 반응하여 반응생성물을 생성시키는 것으로 생각된다.

이상에서 SiO₂-CaO-Al₂O₃계의 경우에도 솔더의 조성에 따라 알루미늄과 솔더 계면사이의 반응은 확산형과 반응형으로 구분될 수 있다. 솔더중 망목형성체와 망목중간체 성분이 많은 Gehl 솔더의 경우, Fig. 4에 나타난 바와 같이 반응층을 형성하지 않고 알루미늄의 입계를 침식시키고, 알루미늄의 계면을 통하여 내부로 솔더 성분이 확산하는 확산형 거동을 보이고, 솔더중 망목수직체의 성분이 많은 Ca-al 솔더의 경우, Fig. 5에 나타난 바와 같이 솔더에서 결합력이 약한 CaO와 알루미늄이 접합계면에서 반응하여 반응생성물을 만드는 반응형 거동을 보이는 것으로 생각된다.

3.3.2 접합시간에 따른 접합계면 조직의 변화

Fig. 6에 1500°C에서 접합시간에 따른 접합계면의 조직변화를 비교하였다. Gehl 솔더의 경우, 접합시간이 길어질수록 접합계면에서 솔더성분이 알루미늄 내부로 많이 확산되며, 접합시간이 60분일 경우, 솔더 성분의 확산과 더불어, Gehl 솔더는 알루미늄과 반응하여 CaAl₁₂C₁₉가 접합계면에서 알루미늄쪽으로 성장한다.

이에 반하여 Ca-al 솔더의 경우, 접합시간이 10분에서도 Fig. 5의 (A)에 나타난 바와 같이 반응층이 생성되었으며, 접합시간이 길어질수록 두꺼운 반응층은 솔더층쪽으로 성장한다. 접합계면의 반응생성물은 EDX 분석결과에 의해 접합시간이 30분, 60분에서 각각 CaAl₂O₄, CaAl₄O₇로 확인되었다. 따라서 접합계면에

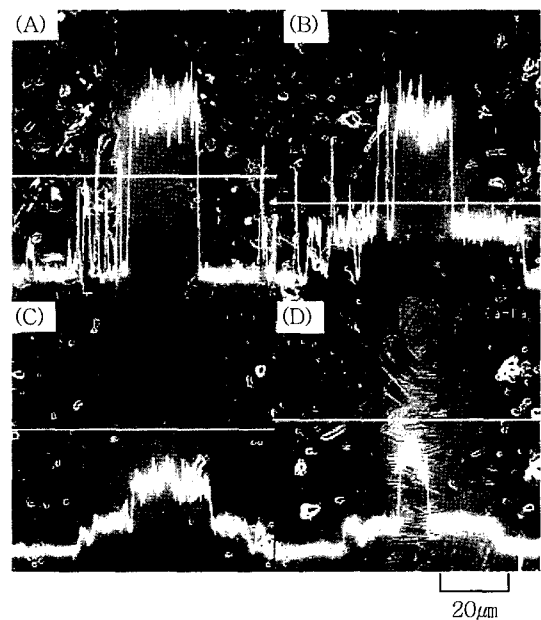


Fig. 6 SEM micrographs and microanalysis of Ca-k α distribution at joint region (joining temperature : 1500°C, (A) Gehl solder, joining time : 30min., (B) Gehl solder, joining time : 60min., (C) Ca-al solder, joining time : 30min., (D) Ca-al solder, joining time : 60min.).

서의 확산량과 생성되는 반응상 두께는 접합온도와 접합시간의 조절로 가능함을 알 수 있다.

3.4 접합강도의 평가

본 연구에서는 접합에 사용한 솔더량의 차이에 의해 접합층의 두께가 달라지는 것을 피하기 위해 솔더의 양을 일정하게 하였다. 그 결과 접합층의 두께는 접합온도가 높아짐에 따라 얇게 되었으며, 그 두께는 20~40 μm 범위였다.

본 연구의 접합방법으로 접합한 시료는 모두 양호한

접합상태를 유지하였으며, 접합체는 절단·연마의 가공 공정을 거치면서 파단된 시료는 없었다. 그러나 1600°C의 고온에서 접합한 시료는 솔더의 종류에 상관없이 유리 성분의 휘발 등 때문에 접합면에서 접합불량이 발생하여 접합강도의 편차가 커졌다.

일반적으로 접합체의 접합강도는 여러 요인에 의해 영향을 받으나, 그중에서도 접합온도와 접합시간에 의한 효과, 즉 확산 및 반응층의 생성 등에 의한 영향이 크다고 생각된다. 따라서 접합의 최적조건을 도출하기 위해서는 이들의 인자를 검토할 필요가 있다.

3.4.1 접합강도의 온도 의존성

Fig. 7에 접합강도의 온도 의존성을 나타낸다. 이들의 편차는 Gehl 솔더를 이용한 경우, 20~30MPa 정도였으나, Ca-al 솔더를 이용한 경우에는 30~40MPa였다. 이들의 접합시간은 10분간으로 일정하게 하였다. 가장 높은 접합강도를 나타내는 접합온도는 Gehl, Ca-al 솔더 모두 1500°C였다. 이들의 최적 접합온도보다 온도가 낮거나 높은 경우는 앞에서 설명한 접합계면의 결과와 대비하여 설명하면 다음과 같다.

먼저, 접합온도가 낮을 때에는 접합층내에서 솔더는 부분적으로 결정화되지만, 솔더와 알루미늄과의 계면 상태는 거의 미반응 상태이므로, 접합강도는 낮게 된다. 접합온도를 1450~1500°C로 상승시키면 솔더중 망목형성체와 망목중간체의 성분이 많은 Gehl 솔더의 경우, 솔더 성분이 알루미늄으로 확산된 양이 많아지며, 솔더중 망목수직체의 성분이 많은 Ca-al 솔더의 경우, 솔더와 알루미늄 사이 접합계면에 반응층이 생성되어 접합강도를 상승시킨다. 접합온도가 더 높아져 1550°C

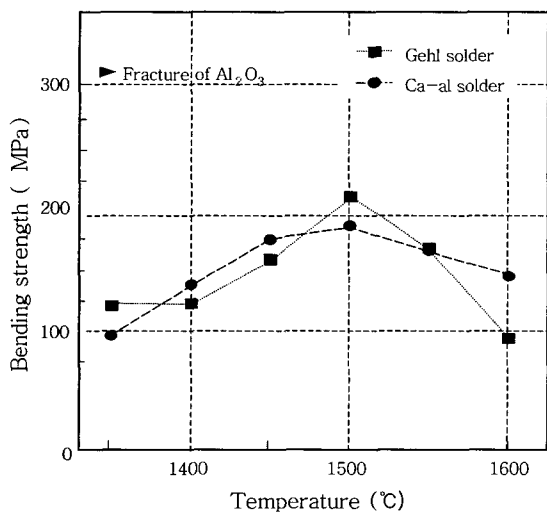


Fig. 7 Bending strength of the joined specimens at room temperature as a function of joining temperature (joining time : 10min.).

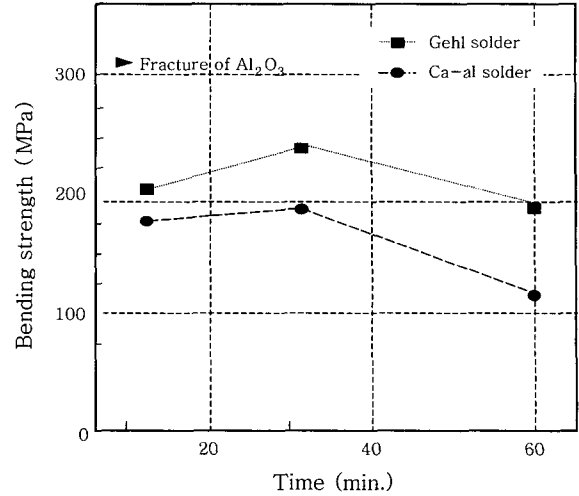


Fig. 8 Bending strength of the joined specimens at room temperature as a function of joining time (joining temperature : 1500°C).

이상이 되면 Gehl 솔더의 경우, 솔더와 알루미늄의 사이에 확산이 활발해져 CaO 성분이 높은 취성을 가지는²³⁾ 알루미늄이 접합계면에 형성되며, Ca-al 솔더의 경우, 반응에 의하여 솔더와 알루미늄 사이의 반응층이 상당히 두꺼워져 역으로 접합강도가 감소하는 결과를 초래한다고 생각된다.

3.4.2 접합강도의 시간 의존성

Fig. 8에 접합온도 1500°C에서 접합강도의 시간의 의존성을 나타낸다. Gehl, Ca-al 솔더를 사용한 경우에는 접합시간이 30분일 때 접합강도가 가장 높았다. 이것은 접합계면을 통한 확산량 및 반응층의 두께가 접합강도와 밀접한 관계가 있어, 일정 한도 이상의 확산이 일어나면 접합층이 취약²⁴⁾해지고, 반응층이 너무 두꺼우면, 반응층의 취성에 기인²³⁾하여 접합강도가 감소할 것으로 생각된다. 또한 얻어진 최고강도는 Gehl 솔더를 사용하여 1500°C에서 접합했을 때, 또한 얻어진 최고강도는 Gehl 솔더를 사용하여 1500°C에서 접합했을 때, 평균 240MPa 정도였다. 이것은 알루미늄의 4점 굽힘강도가 305MPa 이므로 모재의 80% 정도의 강도가 얻어졌다.

4. 결 론

알루미늄과 열팽창계수가 유사한 2종류의 SiO₂-CaO-Al₂O₃계 유리 솔더를 이용하여 알루미늄을 1350~1600°C 사이의 온도에서 무가압 접합을 수행하였다. 접합에 따른 여러 현상을 이해하기 위하여 정적법에 의해 솔더와 알루미늄의 젖음성을 측정하였고, 접합

계면을 SEM/EDX로 관찰하였으며, 접합강도를 상온의 4점굽힘강도를 구하여, 아래와 같은 결과를 얻었다.

1) 접합을 위한 필요조건인 솔더와 알루미늄 사이의 젖음성은 실험에 사용한 모든 솔더가 1450°C 이상의 온도에서 30° 이하의 접촉각을 가지며, CaO 성분이 높은 10SiO₂-50CaO-40Al₂O₃계 솔더는 1350°C에서도 시간이 증가함에 따라 접촉각이 급격히 감소하였다.

2) 본 연구에서 사용한 솔더는 낮은 온도에서 솔더와 알루미늄의 계면에서 확산 및 반응층의 생성은 적고, 솔더 자체의 결정화만 일어났으나, 1500°C 이상에서 35SiO₂-35CaO-30Al₂O₃계 솔더의 경우, 솔더 성분이 알루미늄과 상당량 확산하였으며, 10SiO₂-50CaO-40Al₂O₃계 솔더의 경우, 솔더 성분이 알루미늄과 반응하여 칼슘 알루미늄이트계 반응층을 생성하였다. 접합온도가 높을수록, 접합시간이 길수록 확산량은 많아지고, 반응층의 두께는 두꺼워졌다.

3) 접합체의 최고강도는 35SiO₂-35CaO-30Al₂O₃계 솔더를 사용하여 1500°C, 접합시간이 30분인 경우, 240MPa 정도로서 알루미늄의 80% 정도인 강도가 얻어졌다.

참 고 문 헌

1. N.Iwamoto and T.Suga : Proceedings of MRS international Meeting on Advanced Materials "Metal-Ceramic Joint", (1988) Materials Research Society
2. N.Iwamoto and T.Suga : Joining Engineering of Ceramics, 1990, Nihonkogyoshinbun.(in Japanese)
3. R.Hayami : Bonding & Joining Technology of Ceramics, 1985, CMC.(in Japanese)
4. T.Kaba, M.Shimada, M.Koizumi : J. Am. Ceram. Soc., **66**(1983), C-135
5. C.Scott and V.B.Tran : Am. Ceram. Soc. Bull., **64**(1986), 1129
6. P.F.Becher and S.A.Halen : Am. Ceram. Soc. Bull., 58(1979), 582
7. T.Iseki, K.Karakuwa and H.Suzuki : J. Mater. Sci., **15**(1980), 1049~1050
8. M.G.Nicholas : Proceedings of MRS international Meeting on Advanced Materials "Metal-Ceramic Joint", 49-59 (1988), Materials Research Society
9. A.J.Moorhead : Adv. Ceram. Mats., 2(1987)159
10. S.Kanzaki and H.Tavata : Yogyo-Kyokai-Shi, **91** (1983), 520~522.(in Japanese)
11. Y.Owada, K.Kobayashi : Yogyo-Kyokai-Shi, **92** (1984), 693~698.(in Japanese)
12. S.M.Johnson and D.J.Rowcliff : J. Am. Ceram. Soc., **68**(1985), 468
13. B.G.Ahn : Journal of KWS, 20(2002), 372.(in Korean)
14. B.G.Ahn : Journal of KWS, 16(1998), 165.(in Korean)
15. Y.Takashio : Yogyo-Kyokai-Shi, **80**(1972), 163.(in Japanese)
16. Y.Takashio : Yogyo-Kyokai-Shi, **84**(1976), 548.(in Japanese)
17. K.Sakata, I.Honma, I.Ogawa, N.Watqanabe, K.Niio : Japan Institute of Metals and Materials **49**(1985), 540.(in Japanese)
18. O.V.Mazurin, M.V.Streltsina and T.P.Shvaiko-Shvaikovskaya : Handbook of Glass Data Part C (1987), 131, Elsevier
19. K.Takahashi : Yogyo-Kyokai-Shi, **63**(1955), 8.(in Japanese)
20. B.G.Ahn and U.Shiraishi : Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku Univ., **45-1**(1988), 77(in Japanese)
21. Y.Kawai and Y.Shiraishi : Handbook of Physico-chemical Properties at High Temperatures.(1988) 131. The Iron and Steel of Institute of Japan
22. W.D.Kingery, H.K.Bowen and D.R.Uhlmann : Introduction to ceramics, (1975) John Wiley & Sons
23. M.Yamazaki and M.Kitagawa : Yogyo-Kyokai-Shi, **94**(1985), 112(in Japanese)
24. Y.Takashio : Yogyo-Kyokai-Shi, **80**(1972), 163.(in Japanese)