

고강도 알루미늄합금 접합기술 개발 동향

- Al6061 합금 중심으로 -

신 승 용 · 김 중 훈

Recent Trends in Development of Joining Technologies

- Al6061 Brazing Technology -

Seung-Yong Shin and Jong-Hoon Kim

1. 서 언

열처리계 가공용 알루미늄합금은 300MPa 이상의 고강도를 갖고 있고, 비열처리계합금에 비해 질삭 가공성이 뛰어나기 때문에 복잡한 가공이 요구되는 부품의 소재로서 사용되어지고 있다. 이러한 고강도 알루미늄의 접합기술의 적용분야는 고강도와 고강성이 요구되는 수송기기 차체용 하니컴 구조물, 항공기 엔진의 오일 쿨러, 자동차 라디에터의 플레이트 및 핀재 뿐만 아니라 Fig. 1에 나타낸바와 같이 고강성과 질삭특성 등에 적용되고 있다. 또한, 아노다이징 특성이 요구되는 스퍼터링 타겟용 back plate, 반도체용 sucepter, cooling plate등에 적용되고 있다^{1,2)}.

그런데 고강도 알루미늄은 대부분 석출경화용 합금으로서 고상선과 액상선의 응고구간이 길고, 그로 인해 고상온도가 매우 낮은 특징을 갖고 있다. 이러한 낮은

고상온도는 종래의 Al-Si계 알루미늄 접합용 filler의 용점보다도 낮기 때문에 접합에 어려움이 있다. Fig. 2는 알루미늄합금에서 강도와 고상온도와의 관계를 나타낸 것이다. Fig에서 나타낸 바와 같이 합금의 강도와 고상온도는 서로 역 비례하여 강도가 높을수록 고상온도는 낮아지는 것을 알수 있다. 따라서 강도가 높은 2xxx계, 7xxx계 합금 등은, Al-Si계 브레이징 filler 합금 중에 가장 용점이 낮은 4047합금의 용점인 577℃를 기준으로 그 이하의 고상선을 갖고 있으므로 현재 상용화된 Al-Si계 filler 합금을 가지고는 브레이징이 불가능하다고 할 수 있다. 그래서 최근 이러한 고강도 알루미늄합금의 접합을 위해서 접합온도의 저온화를 위한 저 용점을 갖는 새로운 filler 합금의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편 브레이징에 의한 열처리형 고강도 알루미늄합금의 접합에 있어서 고려해야할 점은 접합후에 고상온도 직하에서 이루어지는 용체화처리(Solution treat)과정이다. 접합체의 용체화 처리공정은 접합 후 느린 냉각 속도에 의해 저하된 강도 및 질삭성 등의 기계적특성을

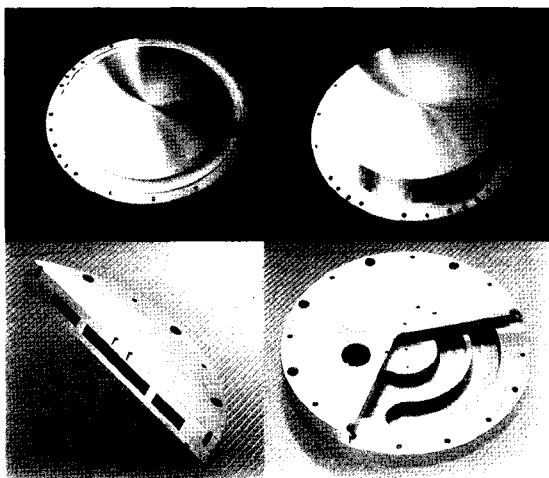


Fig. 1 Application of high strength Al alloys assemblies^{1,2)}

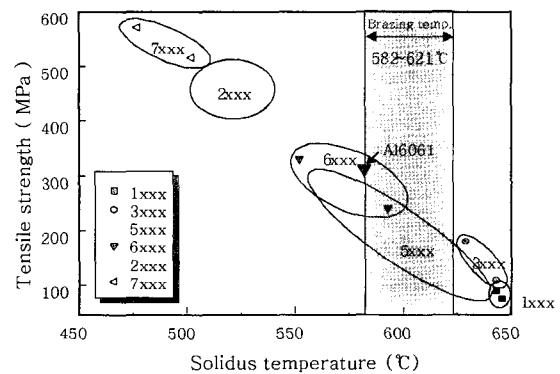


Fig. 2 Relation between strength and solidus temperatures of aluminum alloys

복원하고, 등온응고된 접합부를 더욱 균질화시킬 수 있는 수단으로 활용될 수 있지만, 이로 인해 접합온도의 범위가 매우 협소해질 수 있다. 즉, 이때 접합온도는 최소한 용체화 처리 온도보다 높거나 동등한 온도에서 실시되는 것이 바람직하다. 왜냐하면 접합 후 용체화 처리 시에 접합부의 재용융(remelting)현상이 발생할 수 있기 때문이다. 결국 접합온도는 모재의 고상온도보다 낮고 모재의 용체화 처리 온도보다 높아야한다. 그런데 Fig. 3에 나타낸바와 같이 고강도 알루미늄으로 갈수록 고상온도가 낮아지고 용체화 처리 온도와의 차이가 근소하다³⁾. 예를 들어 6061합금의 경우 고상온도가 582°C이고 용체화 처리 온도는 530°C이므로 접합온도의 범위를 530°C~582°C내의 넓은 온도범위에서 가능하지만 이보다 강도가 높은 2024합금의 경우 고상온도는 502°C이고 용체화 처리 온도는 495°C로서 그 온도 차이가 작아서 접합온도의 설정 범위가 좁기 때문에 접합이 매우 곤란하다고 할수 있다.

그러므로 열처리형 고강도 알루미늄의 접합을 위해서는 접합온도의 저온화 및 모재합금의 용체화 처리 시의 재 용융을 방지할 수 있는 방법이 모색되어야 한다. 이를 위한 방안으로서 저온접합이 가능한 용점강하 원소의 선정과 이들 원소의 확산에 의한 등온응고 거동 및 접합부와 모재간의 화학조성의 균질화조건등에 관한 검

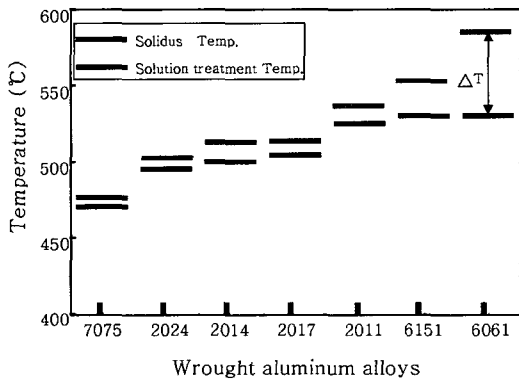


Fig. 3 Solidus temperature and solution treatment temperature of wrought aluminum alloys

토가 필요하다고 사료된다.

2. 저융점 Al 브레이징 filler개발을 통한 브레이징 기술 동향

고강도알루미늄인 2024계나 6061합금 등과 같이 낮은 고상온도를 갖는 열처리형 알루미늄의 경우 Al-Si계 브레이징 용 filler의 용점이 이들 합금의 고상선 이상이거나, 근접되기 때문에 브레이징이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 기존의 Al-Si계 브레이징 용 filler합금 계에서 탈피해서 새로운 저융점의 합금계의 개발 필요성이 요구되고 있다.

최근 새로운 저 융점 합금의 개발에 의한 알루미늄 저온 브레이징이 시도 되고 있으며 이를 요약한 것을 Table 1에 나타내었다. Table에서 보면 Humpston & Jacobson⁵⁾은 filler합금의 용점이 518~538°C로서, 3003합금의 접합강도가 75MPa를 갖는 Al-20Cu-2Ni-5Si의 새로운 합금을 개발하였다. Suzuki⁶⁾는 증기압이 높아서 진공 브레이징으로는 적합하지 않지만 535°C의 용점을 갖는 Al-4.2Si-40Zn 합금을 발표 하였다. 또한 Kayamoto²⁾는 Al-Ge-Si-Mg계 저융점 filler 합금을 개발하였고, 6061합금을 575°C, 60min 동안 브레이징하여 모재와 동등한 강도를 얻었다고 보고 하였다. 그러나 이들 저 융점 합금들은 대부분 3원계 이상의 공정조성을 형성하고 있기 때문에 매우 취약하여 압연에 의한 foil형상으로의 제조가 어렵다는 단점이 있다.

따라서 지금까지 연구된 결과에서 보면 Al의 용점을 강하시킬수 있는 원소들을 2~3개 첨가함으로써 다원 성분계의 filler합금들이 개발되고 있다. 이러한 새로운 filler의 개발에 있어서 고려해야 할 사항으로는 고강도 알루미늄과의 접합성, 모재의 고상온도보다도 낮은 filler의 용점, 접합후 용체화처리시에 재용융이 발생하지 않을 것 등이 있다. 그리고 이러한 합금들의 상업화를 위해서는 무엇보다도 filler의 제조 cost가 낮아야 하며, 특히 foil으로의 가공성이 전제된 filler의 개발이 필요하다.

Table 1 Studies on low temperature-aluminum filler metals

Filler Alloys	Melting point	Bonding Strength	Base metal (Bonding condition)	Ref.
Al-Ge-Si- Mg	15%Ge : 521°C	300MPa	Al6061 (575°C, 60min, T6)	T. Kayamoto et al.
Al-7Si-20Cu-2Sn-Mg	501 : 522°C	196MPa	Al6061 (600°C, 60min, T6)	T.H.Chuang et al.
Al-20Cu-2Ni-5Si	518 : 538°C	75	3003	G. Humpston et al.
Al-4.2Si-40Zn	535°C	-	-	K.Suzuki et al.

3. Cu 인서트재를 이용한 확산 브레이징 (diffusion brazing) 기술 동향

확산 브레이징(Diffusion brazing)은 Insert재를 이용하여 접합면에 액상을 형성하고 이것을 등온응고에 의한 액상소멸 과정을 통하여 모재부와 접합부 간에 균일한 화학조성을 갖게 하는 접합방법이다. 즉 확산 브레이징은 종래의 브레이징 방법과는 다른 액상확산접합(Liquid phase diffusion bonding, Transition liquid phase bonding)방법의 일종으로서 접합 메커니즘을 Fig. 4에 나타내었다⁶⁾. 액상확산접합 방법의 액상생성과정은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 2가지의 경우로 나타낼 수 있다. 즉 모재의 용점보다 낮은 용점을 갖는 조성으로 합금화된 Insert재를 직접 사용하는 경우와 접합 시 모재와의 저온공정반응(eutectic reaction)을 유도하여 모재와 Insert재의 계면에서 액상을 형성하는 경우로 나눌 수 있는데 후자의 경우 eutectic brazing이라고도 불리 운다.

지금까지 확산 브레이징의 연구는 주로 티타늄합금이나, 니켈계 초내열합금의 접합에 사용되어지고 있다. 알루미늄의 경우 확산 브레이징에 관한 연구사례는 많 이 없지만 1974년 보른 연속섬유 강화 알루미늄기지 복합재료의 접합에서 보른 섬유와 pure알루미늄기지간의 과도한 계면반응을 억제하기 위한 목적으로 처음 접합이 시도된 이래 고상온도가 낮아서 접합이 곤란한 주조용 알루미늄합금의 접합 등에도 적용되었다^{7,8)}. 여기서 Insert금속으로는 주로 Cu를 사용하였고 Al-Cu공정온도(548℃)를 이용하여 550℃에서 저온접합이 가능하였다. 또한 A356주조용 합금의 경우 Cu층의 두께에 따라서 액상의 양을 조절하고 양호한 fillet과 강도를 얻을 수 있는 적절한 Cu층의 두께와 접합온도를 조사하였다. 이들의 선행연구에서 Insert재로서 Cu를 선택한 배경은 Cu는 Al과 반응해서 취약한 CuAl₂(θ)상을

을 형성하지만 Al내로의 Cu의 확산속도가 매우 빨라서 적정의 접합온도, 유지시간 등의 균질화 처리조건을 통하여 가능한 단시간에 접합부내의 액상을 등온 응고시키는 것이 가능하다는 것에 있다. 따라서, Fig. 5에 나타낸바와 같이 단시간에 접합부의 액상을 소멸 할수 있고 그러므로 냉각 시 액상으로부터 공정 분해되어 생성되는 취약한 공정조직을 피할 수 있다. 이러한 방법에 사용되는 Insert재의 선정요건은 첫째 모재의 고상온도보다 낮은 온도에서 공정반응이 일어날 것, 둘째 모재내로의 확산속도가 크고 단시간에 등온응고가 완료될 것, 셋째 모재내의 첨가원소와 고 용점의 금속간화합물을 형성하지 않을 것 등이 있다.

한편 Cu Insert를 이용한 Al6061합금의 확산 브레이징 연구⁹⁾에 있어서는 DTA를 이용하여 Al6061모재와 Cu foil간의 최초의 반응시작 온도를 측정한 결과 Fig. 6에 나타낸바와 같이 상태도상의 Al-Cu공정온도(eutectic temperature) 보다 훨씬 낮은 510℃온도에서 발생하였다. 이것은 Al6061모재내의 Mg이 저 용

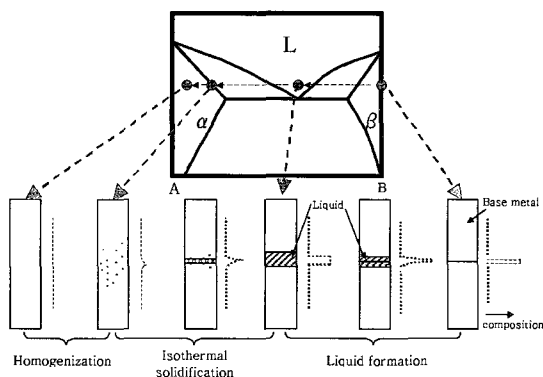


Fig. 4 Concept of diffusion brazing

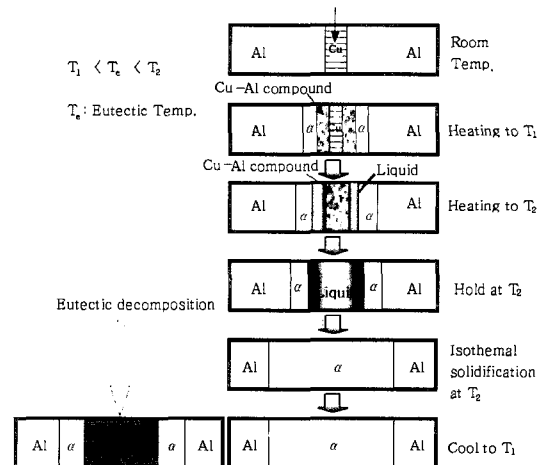


Fig. 5 Schematic illustrations of diffusion brazing mechanism of Al alloy using Cu insert

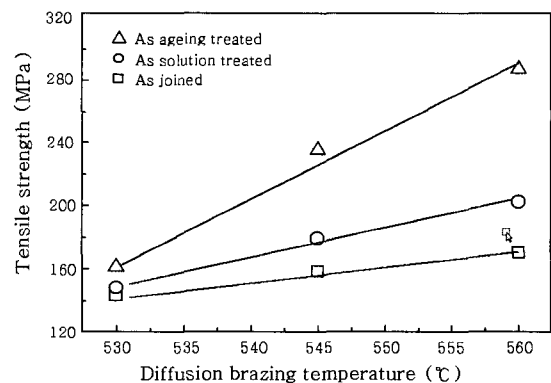


Fig. 6 DTA profile of Al6061/Cu/Al6061 couple

점 액상의 형성에 기여한 것으로 생각된다. 따라서 510°C의 낮은 온도에서 접합이 가능하였으며 560°C까지 접합온도별로 접합한 시편을 T6열처리(530°C×1hr, water quenching, 175°C×8hrs)한 후 접합부 미세조직과 접합강도를 비교한 결과, Fig. 7-8에서 보는 바와 같이 560°C의 접합 조건에서 모재강도(310 MPa)에 근접한 접합강도를 얻을수 있었다. 따라서 이러한 Cu Insert재를 이용한 확산 브레이징 방법은 저 용점의 filler합금의 제조가 필요하지 않고 간단히 도금이나 동박을 이용하여 저온에서 대면적의 접합 Asse'y의 제조가 가능하기 때문에 공업적인 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

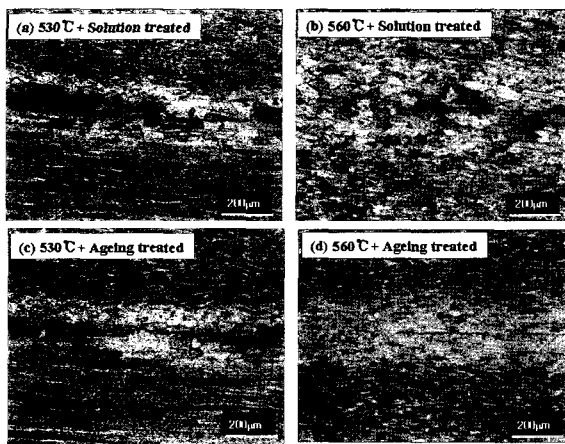


Fig. 7 Optical micrographs of Al 6061 solution treated joints with Cu interlayer

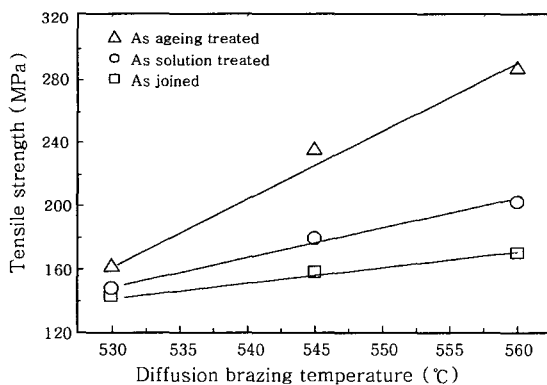


Fig. 8 Bonding strength of brazed joints with Cu interlayer for 10min

4. 결 언

일반적으로 알루미늄 브레이징에 사용되는 알루미늄 모재는 1xxx, 3xxx계등에 국한되어 왔으나 최근 브레이징 모재로서 고강도 열처리형 합금이나 주조용합금에 이르기 까지 그 적용범위가 확대 되고 있다. 이러한 고강도 열처리형 알루미늄합금 및 주조용 합금의 접합을 위해서는 필수적으로 접합온도의 저온화가 요구되며, 새로운 저용점 브레이징 filler개발이 관건이 된다. 이러한 새로운 filler의 개발에 있어서 고려해야 할 사항은 고강도 알루미늄과의 접합성, 모재의 고상온도 보다 낮은 filler의 용점, 용체화 처리시에 접합부에 재용융이 발생하지 않을 것 등이 있다. 그리고 이러한 합금들의 상업화를 위해서는 무엇보다도 filler의 제조 cost가 낮아야 하며, 특히 foil로서의 가공성이 전제된 filler의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

1. "반도체용 스퍼터링 타겟 제조기술 개발" 산업기반기술과제 연구보고서
2. T. KAYAMOTO, T. ONZAWA : Development of low melting temperature fillers for aluminum alloys, *Welding International*, (1996), 363~369
3. *Brazing of Aluminum Alloys : Metal Hand Book*, 675~684
4. T.H. CHUANG, M.S. YEH, L.C. TSAO, T.C. TSAI, and C.S. WU : Development of a Low-Melting-Point Filler Metal for Brazing Aluminum Alloys, *Metallurgical and Materials Transaction A*, Vol. 31A, (2000),
5. D.M. Jacobson, G. Humpston, S.P.S. Sangha : A new low-melting-point Aluminum braze. *Welding research supplement*, 1996, 243-250
6. 1. K. SUGANUMA, T. OKAMOTO, N. SUZUKI : Joining of alumina short-fibre reinforced AA6061 alloy to AA6061 alloy and to itself, *Journal of Material Science* 22, (1987), 1580~1584
7. J.T. NIEMANN and R.A. GARRETT : Eutectic Bonding of Boron-Aluminum Structural Components, *Welding Research Supplement*, (1974), 248~257
8. J.T. NIEMANN and G.W. WILLE : Fluxless Diffusion Brazing of Aluminum Castings, *Welding Research Supplement*, (1978), 258~264
9. S.Y. SHIN, M.W. KO, and C.H. LEE : Microstructure and mechanical properties of Al6061 joints diffusion brazing using Cu interlayer, *Journal of Material science letter*, (2002), 903~906



- 신승용
- 1967년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 확산접합, 브레이징
- e-mail: seung@kitech.re.kr



- 김중훈
- 1959년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 브레이징, 마이크로솔드링
- e-mail: kjhoon@kitech.re.kr