

알루미나(Al_2O_3)세라믹과 알루미늄(A1050)과의 대기중 브레이징 接合에 關한 研究

박 성 현¹⁾, 김 영 식²⁾

A Study on the Braze Bonding of Alumina Ceramic to Aluminum in the Air Atmosphere

Sung-Hyun Park, Young-Sik Kim



The shear strength of alumina/ceramic-aluminum joint is affected by various bonding factors, such as copper metallizing, nickel plating, brazing, etc. The purpose of this study is to investigate the good joint condition of alumina ceramic to aluminum through shear strength test. We used load cell to test shear strength of this joint.

1. 서 론

각종 기계의 효율향상과 내구성 및 신뢰성 향상을 도모하고, 생산원가를 절감하기 위해서 기계구조용 재료는 날로 가혹한 환경하에서 견딜수 있도록 요구되고 있다. 따라서 우수한 고온강도, 내마모성, 단열성, 내식성, 절연성 또는 도전성을

1) 한국해양대학교 선박기계공학과 석사과정 설계가공 전공

2) 한국해양대학교 재료공학과 교수

지닌 신소재로서 세라믹에 대한 기대가 증대하고 있다.

그러나 이러한 세라믹은 충격강도가 낮아 취약하며, 열악한 가공성과 같은 치명적인 결점을 갖고 있다. 따라서 세라믹을 각종 열기관 부품, 일반 산업용기기의 부품 및 전기, 전자용 부품으로 활용하기 위해서는 충격강도가 높고 인성이 풍부한 각종 금속재료와의 용접에 의한 일체화 또는 복합화 기술이 선결과제로 해결되어야 한다.¹⁾⁻²⁾ 이러한 관점에서 세라믹과 금속과의 접합연구는 다방면으로 전개되고 있다. 지금까지 개발된 세라믹/금속 접합 방법은 세라믹이나 금속보다 용접이 낮은 활성금속기 Brazing Insert材를 삽입하여 진공 Brazing 공정에 의해 접합하는 방법이 주종을 이루고 있다.³⁾⁻⁵⁾ 그러나 이들 방법은 진공爐 중이나 분위기爐 중에서 브레이징을 실시하여야 하기 때문에 공정이 복잡하고, 대량생산의 경우 생산성이 저하되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 기존의 진공로나 분위기로를 이용하지 않고 대기중에서 세라믹/금속 접합체를 얻을 수 있는 세로운 접합방법을 확립하고자 한다. 시험재료로서는 산화물계 세라믹인 알루미나(Al_2O_3) 세라믹과 금속재로서 Al금속을 선정하였다. 대기중 브레이징을 가능케 하기 위해서는 세라믹表面을 銅메탈라이징 처리에 의해 금속화 하고 그 위에 다시 Ni도금을 실시하였으며 이와 같이 처리된 세라믹과 Al금속 사이에 보통의 Al브레이징用 Al-Si系 필러메탈을 삽입하여 브레이징을 실시하였다. 접합후 접합부의 강도특성과 메탈라이징 조건, Ni도금 공정, 브레이징 공정 등 여러가지 공정변수와의 상관성을 밝혀 최적의 공정, 접합조건을 제시하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

실험에 사용된 재료는 96% Al_2O_3 인 알루미나 세라믹과 공업용 순 알루미늄인 A1050재를 이용하였다.

또한 브레이징 접합에 사용된 필러메탈은 Al-Si계 합금(BA4145)을 주성분으로 한 Al 브레이징 페이스트를 사용하였다. Table 1과, Table 2는 이들 실험재와 브레이징 필러메탈의 화학성분을 각각 나타낸 것이다. 브레이징 前공정으로서 알루미나(Al_2O_3) 세라믹表面의 銅메탈라이징 처리를 실시하였는데, 동메탈라이징 공정은 다음과 같다. 먼저 Al_2O_3 表面에 Cu_2O 와 카오린 분말을 8.5 : 1.5(Wt %)의 비율

로 섞어 유기바인더에 의해 페이스트상으로 만들고 이것을 0.1mm 두께의 스크린 인쇄판(300 mesh) 위에 일정량을 옮겨 놓은 뒤 스크린 인쇄법으로 4회 인쇄를 실시하였다. 그 후 건조기로 충분히 건조시켜 大氣분위기중의 전기로 안에서 1080 °C, 10분간 가열한다.

그리면 세라믹 表面에 산화동(Cu_2O)층이 생기는데 이것을 알콜증기 중에서 약 5분간 처리하면 산화동층 表面이 환원되어 전기의 도체인 순銅층이 세라믹表面에 형성된다. 이와 같이 형성된 순銅층은 불안정하여 쉽게 산화되기 때문에 이 위에 다시 Table 3.의 조건으로 Ni도금을 실시하여 세라믹 表面에 Ni금속층을 형성시켰다.

Table 1. Properties of Al_2O_3 ceramic

	비중 (g/cm^3)	굽힘강도 (Kg/cm^2)	압축강도 (Kg/cm^2)	경도 (R45M, Rockwell)	열팽창 계수 ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	최고 사용 온도 ($^\circ\text{C}$)
96.0%	3.60	3,200	20,000	80	7.8	1,600

Chemical composition and mechanical properties of Al(Al1050)

Chemical composition(wt%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	Bal

Mechanical properties							
T.S (Mpa)	El. (%)	L.E ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)					
100	28	23.5					

Table 2. Chemical composition of brazing filler metal

Chemical composition(wt%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Al
9.3-10.7	0.8	3.3-4.7	0.15	0.15	0.20	0.15	Bal
Liquidus temperature (°C)		Solidus temperature (°C)		Brazing temperature (°C)			
585		521		570-605			

Table 3. Electro plating condition of Ni on Cu

Plating bath	Anode	Current density (A/dm ²)	Time (min)	Thickness (μm)
NiSO ₄ · 7H ₂ O (240g/l)	Ni	12 1945 한국해양대	60	75
NiCl · 6H ₂ O (45g/l)			120	150
H ₃ BO ₃ (30g/l)			180	225

이와 같이 처리된 세라믹과 Al사이에 Al-Si系 필러메탈을 삽입하여 전기로에서 여러가지 온도하에 브레이징처리를 실시하여 Al₂O₃/Al 접합체를 제작하였다. 이상과 같은 공정에 있어서 동메탈라이징 후의 Ni도금 조건, 브레이징 조건을 변화시켜가며 얻어진 Al₂O₃/Al 접합체에 대해 전단강도 시험을 실시하여 최적의 Ni도금 조건, 브레이징 조건을 구하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 각각 접합 시험편의 형상, 치수, 접합체의 전단시험용 지그(Jig)의 형상을 보인 것이다.

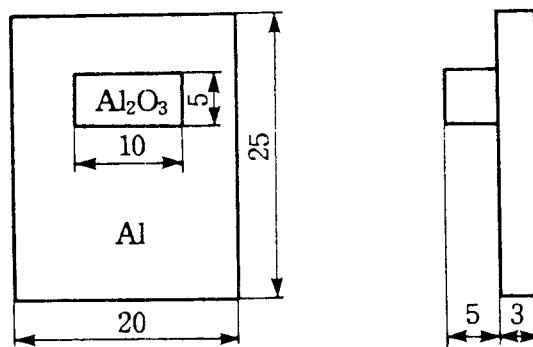


Fig. 1 Specimen configuration of brazed joint

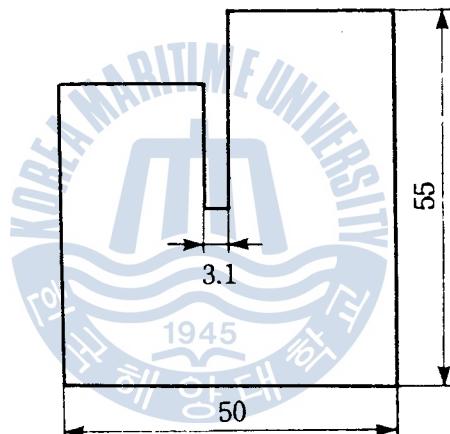


Fig. 2 Shear test jig

3. 실험결과 및 고찰

3.1 동표면의 Ni도금조건에 따른 전단강도특성

Fig. 3은 동표면에 Ni도금을 할 때 전류밀도의 차이에 따른 Ni도금면의 외관이다. 그림에서 (A)는 전류밀도를 $6\text{A}/\text{dm}^2$ (일반적인 도금의 전류밀도)로 한 $225\mu\text{m}$ 두께의 니켈도금면을 나타낸 것이고 그림(B)는 전류밀도를 $12\text{A}/\text{dm}^2$ (일반적인 도금과 비교하여 과전류)로 하여 $225\mu\text{m}$ 두께의 Ni도금면에 Pitting이 생긴 것을 나타내

고 있다.



(A) Current density($6\text{A}/\text{dm}^2$) (B) Current density($12\text{A}/\text{dm}^2$)

Fig. 3 Shape of Ni plating surface

이때 (A)와 같은 조건으로 도금후 접합을 하면 Ni과 세라믹의 열응력차이에 의하여 가열도중 Ni도금면이 박리하는 현상을 나타내어 접합이 이루어 지지 않았고, (B)와 같이 과전류밀도로 도금한 시험편은 세라믹과 Al접합부에서 40Mpa 정도의 접합강도를 나타내었는데, 이것은 세라믹과 Ni의 열응력을 Pitting부분에서 완화시켜 주기 때문이라 사료된다. 이하 모든 Ni도금은 (B)의 방법으로 하였다.

3.2 브레이징 온도에 따른 접합부의 전단강도 특성

Fig. 4는 알루미나 세라믹(Al_2O_3)과 알루미늄의 브레이징 접합시 접합온도에 따른 접합부의 강도변화를 나타낸 것이다. 여기서 세라믹 표면의 두께는 $25\mu\text{m}$, Ni 도금 두께는 $225\mu\text{m}$, 브레이징 시간은 10분으로 하였다. 이 결과에 의하면 브레이징 온도의 상승과 더불어 전단강도가 증가하고 있다(660°C부터는 모재가 녹아 변형함). 시험후 파단면을 관찰한 결과 650°C보다 낮은 온도에서는 필러메탈이 잘 녹지않아서 파단부가 銅과 Ni도금층 또는 Ni도금층과 Al사이였다. 따라서 브레이징 필러메탈은 650°C정도에서 젖음성이 가장 양호하다고 사료된다.

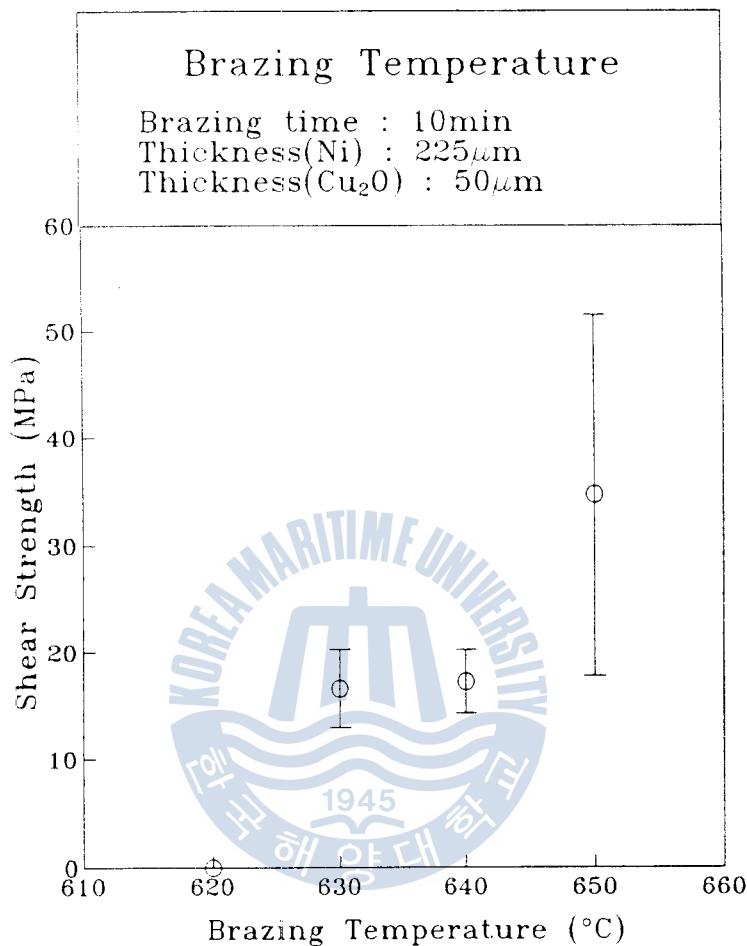


Fig. 4 Variation of joint shear strength with brazing temperature
($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ joint)

3.3 브레이징 시간에 따른 접합부의 전단강도 특성

Fig. 5는 Al_2O_3 세라믹과 알루미늄과의 브레이징 접합시 접합시간에 따른 접합부의 강도변화를 나타낸 것이다. 여기서 세라믹 표면의 동두께는 25 μm , 브레이징 온도는 650°C, Ni도금 두께는 225 μm 로 하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 10분 정도 까지는 브레이징 시간에 따라 전단강도가 증가하나 20분에서는 낮은 강도값을 보이고 있다. 이것은 10분 정도까지는 브레이징 필러메탈이 녹아 들어가 완전한 접합을 이루지만 그 이후 부터는 과다

한 열량으로 내부열용력이 증가되었기 때문에 강도값이 저하한 것으로 사료된다. 20분에서는 열에 의해 모재도 약간 변형한 것을 관찰을 통해 알 수 있었다.

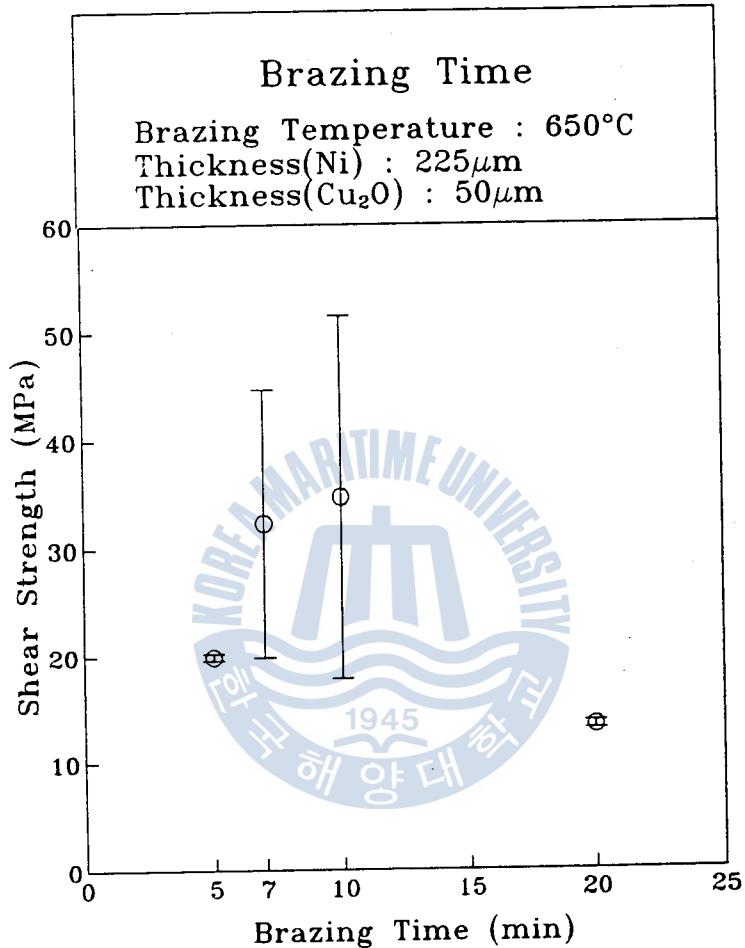


Fig. 5 Variation of joint shear strength with brazing time($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ joint)

3.4 Ni도금층 두께에 따른 접합부의 전단강도 특성

Fig. 6은 Al_2O_3 세라믹과 Al과의 브레이징 접합시 도금층 두께의 변화에 따른 접합부의 강도변화를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 Ni도금층 두께의 증가와 더불어 접합강도가 증가하고 있다. 이것은 동메탈라이징된 부분에 Ni도금을 함으로 해서 브레이징시 발생하는 銅의 산화를 방지하여, 銅과 Al간에 양호한 접합이 이루어졌다고 생각되고, Ni도금층이 두꺼울수록 용력완화층이 두꺼워져 접합시 발생

하는 내부응력이 작아지기 때문이라 사료된다.

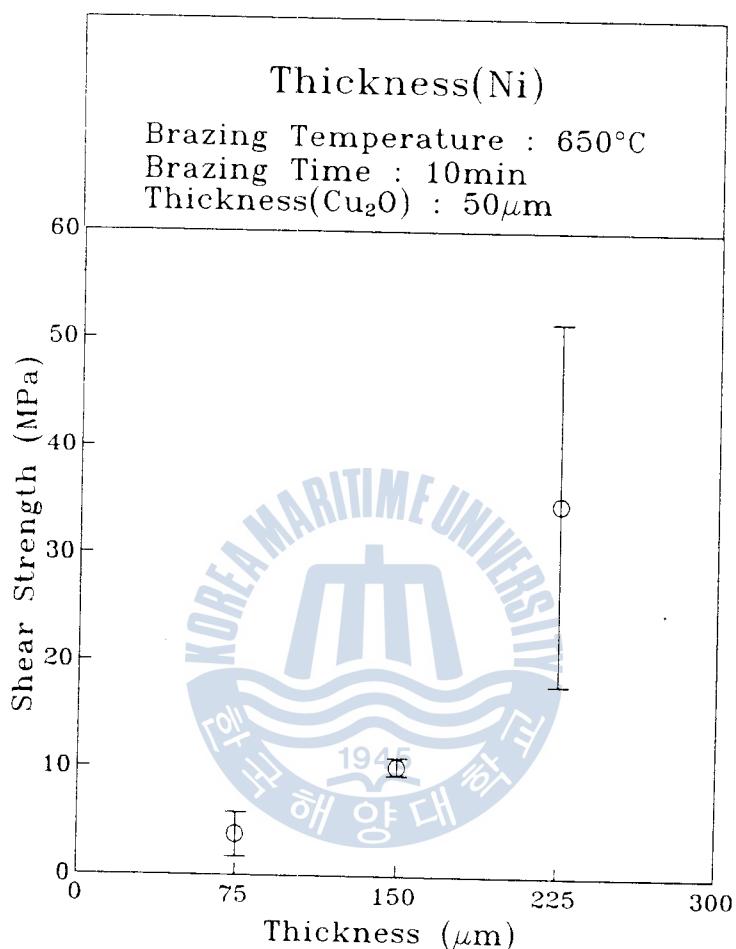


Fig. 6 Variation of joint shear strength with Ni plating thickness ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ joint)

3.5 열사이클에 의한 접합부의 전단강도 특성

Fig. 7은 반복열사이클이 접합부의 강도저하에 미치는 영향을 정량적으로 파악하기 위하여 Al-Si계 필러메탈을 이용하여 접합한 시험편에 대해 열충격 특성을 시험한 결과를 나타내고 있다. 실험방법은 최적의 접합조건인 650°C 10분, Ni도금은 $225\mu\text{m}$ 로 하여 접합한 시험편을 각각 $200, 400^\circ\text{C}$ 로 가열하여 공냉시키는 열충격을 4회씩 5분간 가한 후 상온에서 전단시험을 행하거나 $200, 400^\circ\text{C}$ 로 가열한 후

수냉시키는 것에 의해 행하였다. 이 결과에 의하면 공냉의 열충격을 받은 브레이징 접합시험편의 전단강도는 20Mpa이하로 나타나 접합한 그대로(As-bonded)시험편의 강도 35Mpa에 비해 훨씬 낮게 나타나고 있으며 수냉의 경우에는 현저히 저하고 있다.

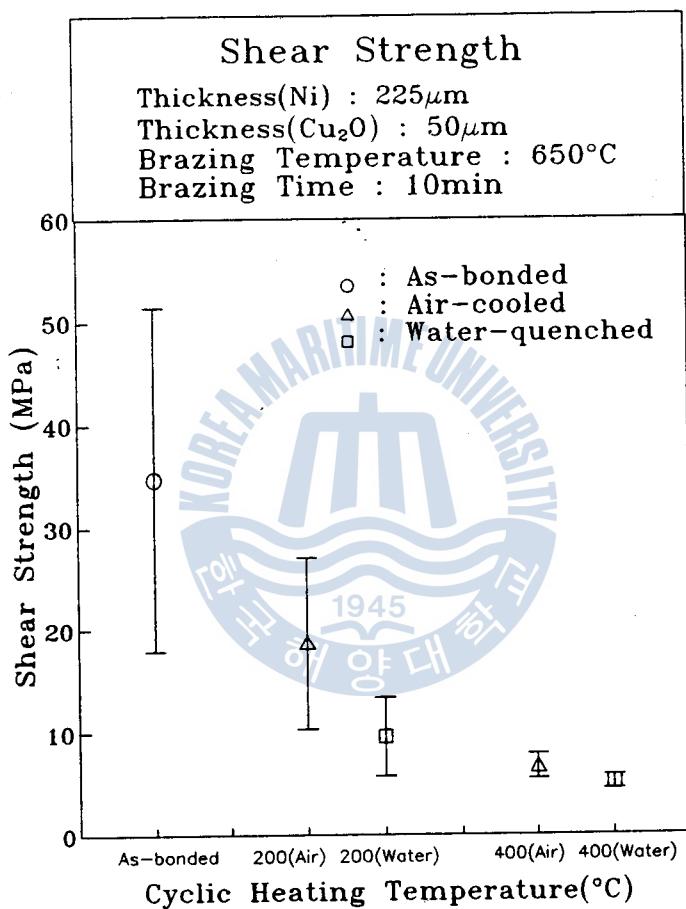


Fig. 7 Variation of joint shear strength with cooling condition($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ joint)

4. 결 론

1. Ni도금시 전류밀도를 높여 Pitting을 생기게 함으로써 양호한 접합이 이루어졌다.

2. 양호한 접합이 이루어지는 브레이징 온도와 시간 그리고 Ni도금층 두께는 각각 650°C, 10분, 225μm 이었다.
3. Ni도금을 하지 않은 경우에는 銅의 산화로 인하여 접합이 이루어 지지 않았다.
4. Ni도금층 두께가 증가할 수록 본 실험의 범위내에서 접합강도는 증가한다.

참 고 문 헌

- [1] 김영식, 박훈종, 김정일, Al₂O₃세라믹과 Ni-Cr-Mo강과의 인서트 합금을 이용한 확산접합에 관한 연구, 대한용접학회, 10-3, pp. 63-72, 1992
- [2] 鈴村, 恩澤, セラミックスと金屬の複合化と接合技術, 日本機械學會誌 第8券, 811號, pp. 590-591, 1986
- [3] 김영식, 김정일, Al-Si계 필러메탈을 이용한 Al1050 알루미늄의 브레이징 접합 조건에 관한 연구, 한국박용기관학회, 17-1, pp. 66-72, 1993
- [4] 管沼 外 2人, セラミックスの固相擴散接合, セラミックス, Vol. 18, No. 2, pp. 112-113, 1983
- [5] 山田, 金屬とセラミックスの接合, 金屬, Vol. 57, No. 11, pp. 13-14, 1987

