

Al - Si계 필러메탈을 이용한 A1050알루미늄의 브레이징 접합조건에 관한 연구

김 정 일* · 김 영 식**

A Study on the Brazing Bonding Conditions of A1050 Using Al - Si Alloy Filler Metal

J. I. Kim · Y. S. Kim

Abstract

The brazing of Al to Al using Al-Si alloy filler metal was performed under different bonding conditions such as ratio of lap length to plate thickness, surface roughness and joint clearance of the lap joint. The adopted thickness of the base metal in this experiments were two kinds of 4mm and 7mm which were most commonly used in various field. Influence of several bonding conditions of Al/Al joint was quantitatively evaluated by bonding strength test, and microstructural analysis at the interlayer were performed by optical microscope.

From above experiments, the optimum bonding conditions of the brazing bonding of Al/Al using Al - Si alloy filler metal was determined.

The major results obtained are as follows.

- 1) The fracture occurs at brazed joint in the conditions of that the ratio of lap length to plate thickness is less than 2 in case of 7mm plate thickness
- 2) The ratio of lap length to plate thickness which the fracture occurs at base metal is decreased with the decreasing of the plate thickness.
- 3) The joint strength is not affected by the surface roughness and joint clearance of the brazed part.
- 4) The heat - treatment of the brazed joint contribute to eliminate the boundary between the base metal and filler metal. However, the joint strength is not affected by the heat - treatment.

1. 서 론

첨단산업의 발달과 신소재의 개발로 고상접합

이 크게 주목을 받게 되었다. 고상접합은 모재의 용융점이하에서 접합을 행하므로 용융접합시 용융접합부에서 발생하는 여러가지 결함을 억제시

* 정희원, 목포해양대학

** 정희원, 한국해양대학교

킬 수 있으며, 용융접합으로는 접합이 불가능한 소재, 형상이 복잡한 소재, 복합소재, 고정밀성이 요구되는 소재등의 접합이 가능하다.

이러한 접합기술로서는 확산접합, 브레이징접합, 마찰접합등이 있는데, 특히 브레이징접합은 여러개소에 대하여 동시에 접합이 가능하고 자동화가 용이하므로 많은 접합부를 갖는 복잡한 형상의 열교환기의 제조와 자동차의 부품과 같이 대량생산이 요구되는 곳에 적합하다¹⁾²⁾³⁾⁴⁾.

Al 브레이징접합 방법은 爐中 브레이징법, 진공 브레이징법, 대기중 화염토치 브레이징법이 있으나, 이 중에서 대기중 화염토치 브레이징법이 경제성 관점에서 가장 유리하여 이에 관한 관심이 집중되고 있다⁴⁾. 대기중 화염토치 브레이징에 있어 접합부 강도를 결정짓는 요소는 브레이징 필러메탈과 접합이음부의 설계조건으로 요약할 수 있다. 신뢰성 있는 접합부를 얻기위해서는 低融點, 충분한 젖음성, 효율적인 산화물 제거 특성 및 충분한 강도특성을 갖춘 브레이징 필러메탈이 개발되어야 하고 이러한 필러메탈을 이용한 최적의 이음부 설계조건이 확립되어야 한다. 이러한 관점에서 다수의 필러메탈이 개발되고 이에 따른 설계조건에 관한 연구가 이루어지고 있으나, 신뢰성과 경제성관점에서 충분히 만족할 만한 수준에 도달해 있지 못하다.

본 연구는 국내에서 처음으로 개발된 Al-Si계 합금을 주성분으로 한 브레이징 필러메탈을 이용한 A1050의 브레이징 접합시, 접합이음부의 형상설계조건 및 접합조건을 확립하고자 한다.

2. 실험방법

2-1 실험재료 및 시험편

실험에 사용된 재료는 순도 99.50% A1050 알루미늄으로, 브레이징 母材로서 가장 널리 사용되고 있는 4mm와 7mm의 두께를 갖는 판재를 이용하였다.

브레이징에 사용한 필러메탈로서는 국내에서 개발된 Al-Si계 합금을 주성분으로 한 Al 브레이징용 페이스트(株, 주한산업사製)를 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용된 A1050의 화학적 성분과 기계적 특성치를, Table 2는 브레이징 필러메탈의 화학성분을 나타낸 것이다.

Fig.1은 시험편의 형상, 치수 및 접합상태를 나타낸 것이다.

시험편 표면의 유지성분 및 오물을 제거하기 위한 전처리로서, 시험편을 10% NaOH용액(60℃) 중에서 60초 동안 침적후 수세하고 10% HNO₃용액(상온)에 중화시킨 후 수세건조한 다음 접합을 행하였다.

접합은 브레이징 페이스트를 양 모재 사이에 도포후 대기중에서 산소-프로판 토치를 이용한 가열공정을 통해 실시하였다. 또한, 시험편은 접합부의 겹침비(겹침길이/판두께)를 변화시키고, 접합

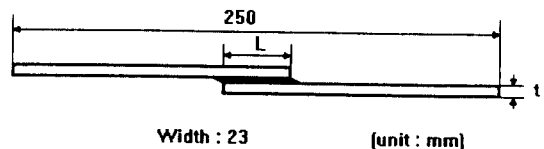


Fig. 1 Shape and size of brazed lap joint specimen

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of test materials

Chemical composition(wt %)								Mechanical properties		
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al	T.S kg/mm ²	E1. (%)	LE (×10 ⁻³ /℃)
0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	Bal	10	28	23.5

Table 2. Chemical composition of brazing filler metal

Chemical composition(wt %)								Liquidus temperature (℃)	Solidus temperature (℃)	Brazing temperature (℃)
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	585	521	507 - 605

부의 표면조도 및 접합부의 간격을 변화시켜 각종의 조건으로 접합 시험편을 제작하였다.

2-2 접합체의 성능 평가 및 분석

접합체의 인장전단시험은 만능재료시험기(Instron社製)에서 크로스헤드 변위속도를 0.085mm/sec로 하여 행하였고, 접합부의 조직관찰은 금속현미경을 사용하였다. 그리고 미소경도시험기(micro-vickers hardness tester)에 의해 접합부 및 모재의 경도를 측정하였다. 전단강도와 인장강도는 파단시까지 작용한 최대하중을 각각 접합부 면적과 모재의 단면적으로 나누어 구하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 겹침비(Lap ratio ; 겹침길이/판두께)에 따른 접합부의 강도특성^{(5) (6) (7) (8) (9)}

Fig.2는 7mm와 4mm시험편에 대해 겹침 이음부의 겹침비의 변화에 따른 이음부의 전단강도(파단하중/접합부 면적)와 인장강도(파단하중/모재의 단면적)변화를 나타낸 것이다.

여기서 7mm두께의 경우 겹침비가 2이하에서, 그리고 4mm두께의 경우 겹침비가 0.75이하에서 인장강도가 저하하고 있는 것은 이러한 영역에서는 겹침이음부, 즉 필러메탈부에서 전단형으로 파단이 일어나기 때문이며, 그 이상에서는 모재에서 인장형 파단이 일어나기 때문이다. 따라서 7mm 두께의 경우는 겹침비가 2 이상이어야 하며, 4mm 두께의 경우는 겹침비가 0.75 이상이어야 건설한

접합부를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Photo.1과 Photo.2는 각각 7mm두께의 시험편과 4mm두께의 시험편에 대해 겹침비의 변화에 따라 파단후 파단부위를 촬영한 것이다. 7mm두께의 경우에는 겹침비가 1.0에서는 겹침이음부에서 전단형으로 파단되고, 겹침비가 2.0에서는 겹침 이음부에서 떨어진 모재에서 인장형으로 파단되었음을 보이고 있다.

이에 대해 4mm두께의 시험편에서는 겹침비가 0.5인 경우는 겹침 이음부에서 전단형으로 파단되나, 1.0에서는 겹침 이음부에 바로 인접된 모재에서, 2.0에서는 겹침 이음부에서 떨어진 모재부에서 인장형으로 파단된 양상을 보이고 있다.

이와 같이 판두께가 4mm의 경우처럼 얇을 경

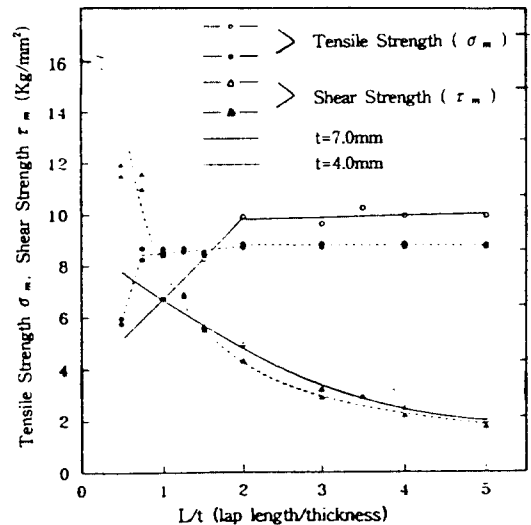
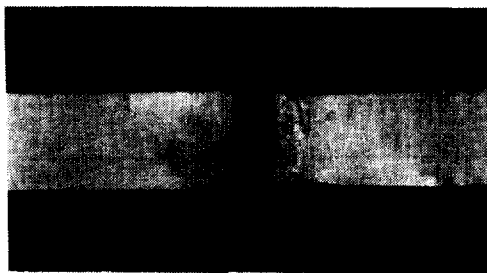
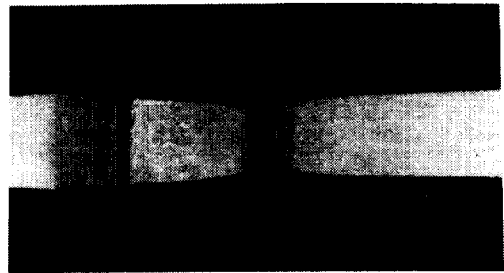


Fig. 2 The relationship between lap ratio and tensile, shear strength(σ_m, τ_m)



(a) lap ratio = 1.0



(b) lap ratio = 2.0

Photo.1 Shape of fracture mode according to lap ratio (thickness : 7mm)

킬 수 있으며, 용융접합으로는 접합이 불가능한 소재, 형상이 복잡한 소재, 복합소재, 고정밀성이 요구되는 소재등의 접합이 가능하다.

이러한 접합기술로서는 확산접합, 브레이징접합, 마찰접합등이 있는데, 특히 브레이징접합은 여러개소에 대하여 동시에 접합이 가능하고 자동화가 용이하므로 많은 접합부를 갖는 복잡한 형상의 열교환기의 제조와 자동차의 부품과 같이 대량생산이 요구되는 곳에 적합하다¹⁾²⁾³⁾⁴⁾.

Al 브레이징접합 방법은 盧中 브레이징법, 진공 브레이징법, 대기중 화염토치 브레이징법이 있으나, 이 중에서 대기중 화염토치 브레이징법이 경제성 관점에서 가장 유리하여 이에 관한 관심이 집중되고 있다⁴⁾. 대기중 화염토치 브레이징에 있어 접합부 강도를 결정짓는 요소는 브레이징 필러메탈과 접합이음부의 설계조건으로 요약할 수 있다. 신뢰성 있는 접합부를 얻기 위해서는 低融點, 충분한 젖음성, 효율적인 산화물 제거 특성 및 충분한 강도특성을 갖춘 브레이징 필러메탈이 개발되어야 하고 이러한 필러메탈을 이용한 최적의 이음부 설계조건이 확립되어야 한다. 이러한 관점에서 다수의 필러메탈이 개발되고 이에 따른 설계조건에 관한 연구가 이루어지고 있으나, 신뢰성과 경제성관점에서 충분히 만족할 만한 수준에 도달해 있지 못하다.

본 연구는 국내에서 처음으로 개발된 Al-Si계 합금을 주성분으로 한 브레이징 필러메탈을 이용한 A1050의 브레이징 접합시, 접합이음부의 형상설계조건 및 접합조건을 확립하고자 한다.

2. 실험방법

2-1 실험재료 및 시험편

실험에 사용된 재료는 순도 99.50% A1050 알루미늄으로, 브레이징 母材로서 가장 널리 사용되고 있는 4mm와 7mm의 두께를 갖는 판재를 이용하였다.

브레이징에 사용한 필러메탈로서는 국내에서 개발된 Al-Si계 합금을 주성분으로 한 Al 브레이징용 페이스트(株, 주한산업사製)를 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용된 A1050의 화학적 성분과 기계적 특성치를, Table 2는 브레이징 필러메탈의 화학성분을 나타낸 것이다.

Fig.1은 시험편의 형상, 치수 및 접합상태를 나타낸 것이다.

시험편 표면의 유지성분 및 오물을 제거하기 위한 전처리로서, 시험편을 10% NaOH용액(60℃) 중에서 60초 동안 침적후 수세하고 10% HNO₃용액(상온)에 중화시킨 후 수세건조한 다음 접합을 행하였다.

접합은 브레이징 페이스트를 양 모재 사이에 도포후 대기중에서 산소·프로판 토치를 이용한 가열공정을 통해 실시하였다. 또한, 시험편은 접합부의 겹침비(겹침길이/판두께)를 변화시키고, 접합

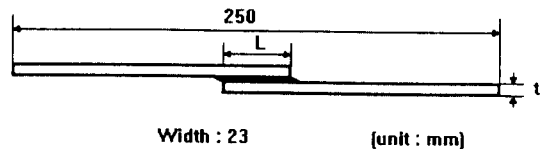


Fig. 1 Shape and size of brazed lap joint specimen

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of test materials

Chemical composition(wt %)								Mechanical properties		
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al	T.S kg/mm ²	E1. (%)	L.E (× 0.7℃)
0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	Bal	10	28	23.5

Table 2. Chemical composition of brazing filler metal

Chemical composition(wt %)								Liquidus temperature (℃)	Solidus temperature (℃)	Brazing temperature (℃)
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	585	521	507 - 605

부의 표면조도 및 접합부의 간격을 변화시켜 각종의 조건으로 접합 시험편을 제작하였다.

2-2 접합체의 성능 평가 및 분석

접합체의 인장전단시험은 만능재료시험기(Instron社製)에서 크로스헤드 변위속도를 0.085mm/sec로 하여 행하였고, 접합부의 조직관찰은 금속현미경을 사용하였다. 그리고 미소경도시험기(micro-vickers hardness tester)에 의해 접합부 및 모재의 경도를 측정하였다. 전단강도와 인장강도는 파단시까지 작용한 최대하중을 각각 접합부 면적과 모재의 단면적으로 나누어 구하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 겹침비(Lap ratio ; 겹침길이/판두께)에 따른 접합부의 강도특성^{5) 6) 7) 8) 9)}

Fig.2는 7mm와 4mm시험편에 대해 겹침 이음부의 겹침비의 변화에 따른 이음부의 전단강도(파단하중/접합부 면적)와 인장강도(파단하중/모재의 단면적)변화를 나타낸 것이다.

여기서 7mm두께의 경우 겹침비가 2이하에서, 그리고 4mm두께의 경우 겹침비가 0.75이하에서 인장강도가 저하하고 있는 것은 이러한 영역에서는 겹침이음부, 즉 필러메탈부에서 전단형으로 파단이 일어나기 때문이며, 그 이상에서는 모재에서 인장형 파단이 일어나기 때문이다. 따라서 7mm 두께의 경우는 겹침비가 2 이상이어야 하며, 4mm 두께의 경우는 겹침비가 0.75 이상이어야 진실한

접합부를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Photo.1과 Photo.2는 각각 7mm두께의 시험편과 4mm두께의 시험편에 대해 겹침비의 변화에 따라 파단후 파단부위를 촬영한 것이다. 7mm두께의 경우에는 겹침비가 1.0에서는 겹침이음부에서 전단형으로 파단되고, 겹침비가 2.0에서는 겹침 이음부에서 떨어진 모재에서 인장형으로 파단되었음을 보이고 있다.

이에 대해 4mm두께의 시험편에서는 겹침비가 0.5인 경우는 겹침 이음부에서 전단형으로 파단되나, 1.0에서는 겹침 이음부에 바로 인접된 모재에서, 2.0에서는 겹침 이음부에서 떨어진 모재부에서 인장형으로 파단된 양상을 보이고 있다.

이와 같이 판두께가 4mm의 경우처럼 얇을 경

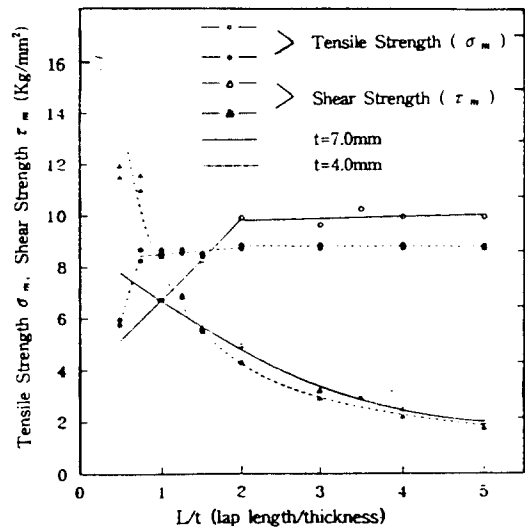
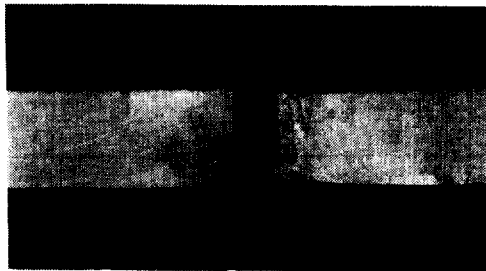
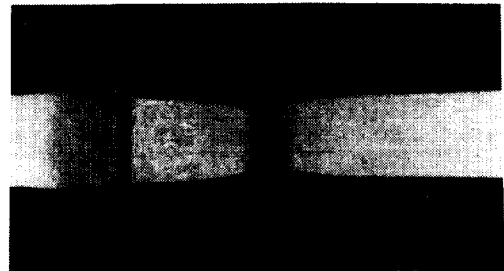


Fig. 2 The relationship between lap ratio and tensile, shear strength(σ_m, τ_m)



(a) lap ratio = 1.0



(b) lap ratio = 2.0

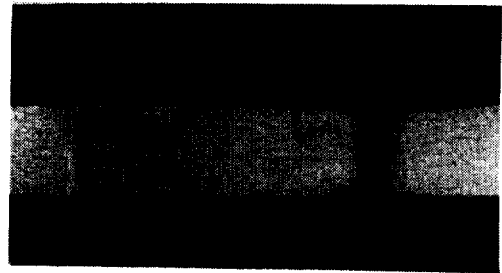
Photo.1 Shape of fracture mode according to lap ratio (thickness : 7mm)



(a) lap ratio = 0.5



(b) lap ratio = 1.0



(c) lap ratio = 2.0

Photo. 2 Shape of fracture mode according to lap ratio (thickness : 4mm)

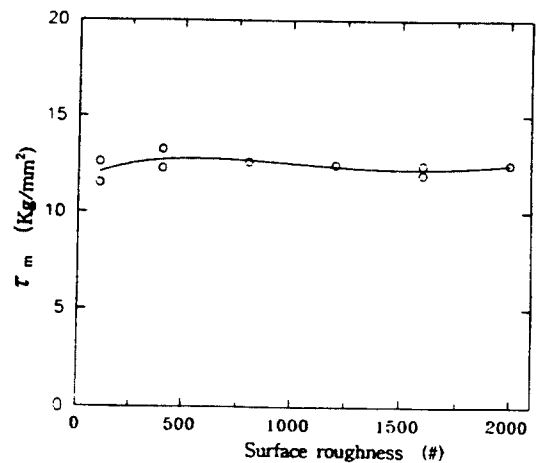
우, 파단되는 모재부위의 위치가 2가지 형태로 나타나는 것은 겹침부의 구속상태에 따른 변형을 집중위치가 달라지기 때문인 것으로 사료된다.

즉 겹침비가 1.0인 경우에는 겹침부가 작아서 구속력이 작기 때문에 형상불연속부인 겹침 이음부에 바로 인접된 부위에 변형을 집중이 일어나나, 겹침비가 커지면 겹침면적이 커져서 형상불연속부인 겹침 이음부에서는 구속효과에 의해 변형을 집중이 일어나지 못하고 충분히 떨어진 부위에서 변형을 집중이 일어나 파단되는 것으로 판단된다.

한편 판두께가 비교적 두꺼운 7mm경우에 있어서는 겹침이음부에서 전단형 파단이 일어나지 않는 겹침비가 되면 겹침면적과 판 두께의 효과가 중첩되어 구속효과가 증대하기 때문에 형상불연속부인 이음부로부터 충분히 떨어진 부위에서만 파단이 일어나는 것으로 판단된다.

3-2 표면조도에 따른 접합부의 강도특성

Fig. 3은 이음부의 강도특성을 관찰하기 위해 4mm 두께에 대해 겹침 이음부에서 전단형으로 파단되는 범위인 겹침비(L/t)가 0.5의 조건에서 모

**Fig. 3** The relationship between surface roughness and shear strength (lap ratio=0.5) ($\times 200$)

재의 표면조도에 따른 이음부의 전단강도를 측정 한 것이다. 표면조도의 변화는 사포의 입도번호 변화에 의해 변화 시켰다. #100이하에서는 다소 감소하나, 그 이상에서는 전반적으로 동일한 정도의 강도가 얻어짐을 알 수 있다. 이것은 필러의 용해 시 모재표면의 일부가 함께 용해되기 때문에 모재

표면의 조도가 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다.

3-3 이음간격에 따른 접합부의 강도특성

Fig. 4는 겹침이음부의 모재사이의 간격과 이음부 전단강도와와의 관계를 나타낸 것이다.

여기서 겹침비는 필러메탈부에서 파단이 일어나는 범위인 겹침비(L/t)가 0.5인 경우에 대해 실험한 경우이다. 이음부 간격이 20 μ m인 경우에 가장 강도가 높고, 간격이 넓을수록 다소 강도는 감소하고 있으나 전반적으로 동일한 정도의 강도가 얻어지고 있다. 이것은 모재의 강도보다 필러메탈의 강도가 더 크기 때문에 모재가 먼저 변형하여 모재/필러 계면의 모재측에서 파단이 일어나서, 이음부의 강도는 여전히 모재의 항복강도에 의존하기 때문으로 사료된다.

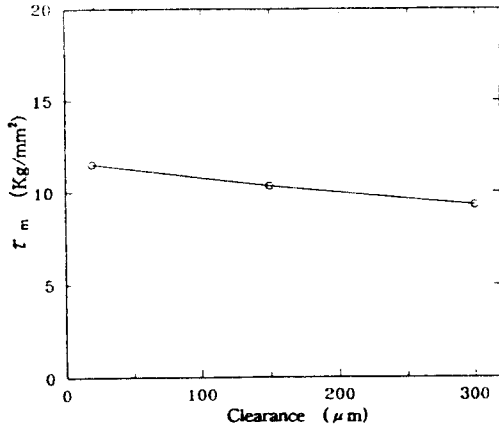


Fig. 4 The relationship between joint clearance and shear strength(lap ratio=0.5)

3-4 접합부의 미세적 조직 및 경도

Fig. 5는 이음부 단면의 미소경도 분포를 나타낸 것이다. 필러 및 경계부에서는 약 80 Hv 정도의 높은 경도값이 얻어지고, 필러메탈에서 20 μ m 떨어진 모재부에서는 44Hv, 모재부에서는 37Hv 정도의 경도값이 얻어졌다. 경계부 근방의 모재부의 경도가 증가하는 것은 접합시에 필러메탈중의 Si원소가 확산이용됨으로 해서 다소 경도가 증가

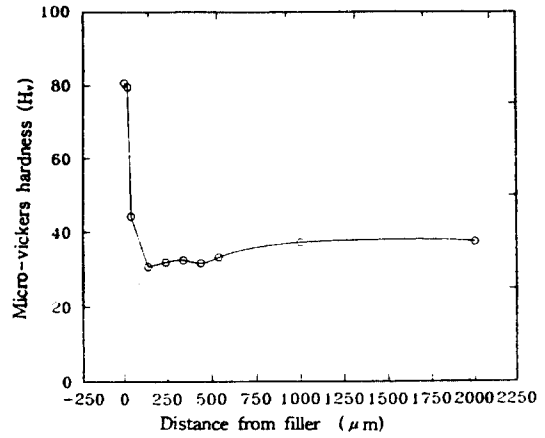


Fig. 5 Micro-vickers hardness distribution of lap joint cross section($\times 200$)

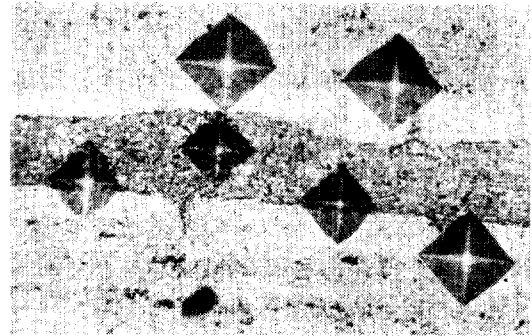
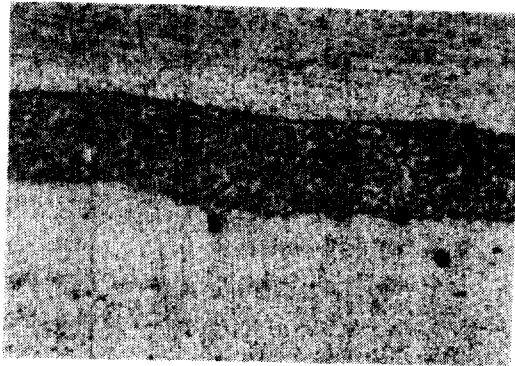


Photo. 3 Microstructure and micro-vickers indentation of lap joint cross section

하는 것으로 생각된다.

Photo.3은 이음단면의 미소조직 및 비커스(vickers) 압자 압흔을 보이고 있다. 접합전의 겹침이음부의 모재간격은 20 μ m로 하여 접합을 실시하였으나 미시조직상의 필러메탈 두께는 40 μ m 정도로 나타나 모재표면의 일부가 확산용해됨을 알 수 있다.

Photo.4는 접합부의 접합후 수냉 및 공냉조직을 비교하여 나타낸 것이다. 접합후 수냉조직은 필러메탈의 폭이 좁고 모재부와의 경계가 뚜렷이 나타나고 있으나, 공냉조직의 경우는 수냉조직에 비해 필러메탈부위의 폭이 대단히 넓고, 또한 조직이 조대화되어 있음을 나타내고 있다. 따라서 공냉의 경우는 응고과정에서 냉각속도가 완만하여지기 때문에 결정입계에 필러메탈중의 Si의 석출현상

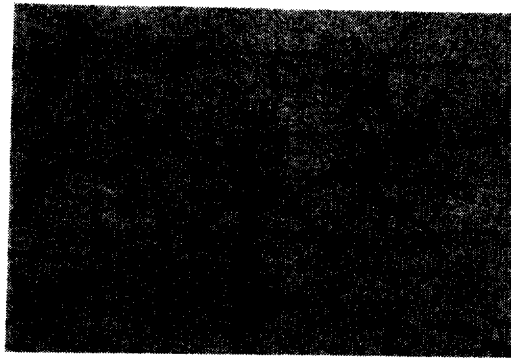


(a) water cooling

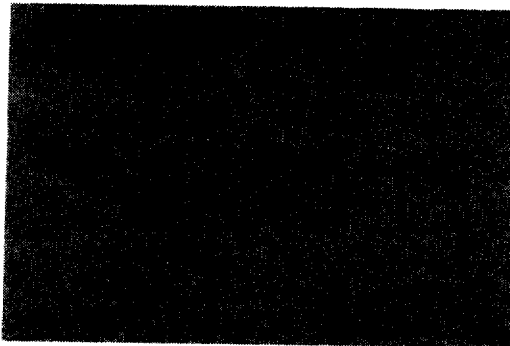


(b) air cooling

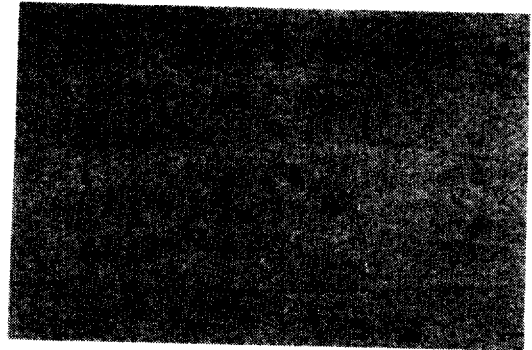
Photo. 4 Variation of microstructure with cooling condition



(a) 30 min



(b) 3 hour



(c) 5 hour

Photo. 5 Variation of interlayer microstructure with heat treatment time(T=550°C)

과 결정입자의 조대화 현상이 동반되고 있음을 알 수 있다.

Photo.5는 공냉조각을 550°C에서 각각 30분, 3시간, 5시간씩 풀림처리후의 조직이다.

이 결과에 의하면 열처리 시간이 길어짐에 따라 결정입계가 소멸되어 가고, 필러메탈과 모재부 사

이의 경계부도 소멸되어가고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 브레이징 공정후 수냉, 공냉, 및 공냉후 열처리된 시험편에 대해 접합부의 전단강도를 조사한 결과이다. 이 결과에 의하면, 브레이징 공정 후 냉각속도나 열처리 조건에 관계없이 접합후의 전단강도는 거의 일정한 값을 나타내고 있음을 알

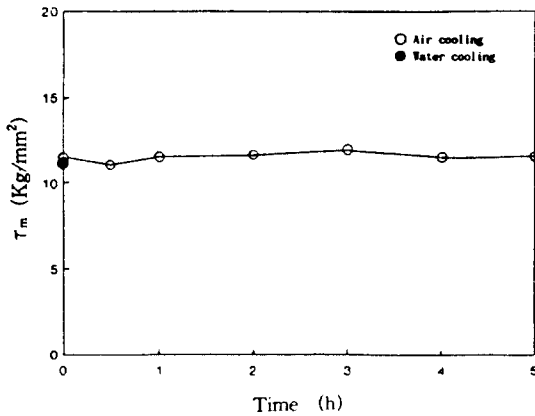


Fig. 6 The relationship between shear strength and heat treatment time (lap ratio=0.5)

수 있다. 이러한 결과는 겹침 접합부에서 하중을 받을 경우 필러메탈과 모재와의 경계부에서 파단되어, 이러한 경계부의 강도가 접합부의 강도를 결정하며, 또한 경계부의 강도는 접합후의 냉각속도나 열처리조건에 관계없이 일정하기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 개발된 Al-Si계 합금의 브레이징 필러메탈을 사용하여 Al 재료의 대기 중 화염도치 브레이징 접합시 접합조건을 확립할 목적으로 겹침비, 표면조도, 접합간격 및 접합후의 냉각조건을 변화시켜 이에 따른 접합강도 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 7mm 두께의 시험편의 경우는 겹침비(겹침

길이에 대한 판두께의 비)가 2이하인 경우에는 접합부에서 파단되나 2이상인 경우는 모재에서 파단된다.

(2) 판두께가 7mm보다 작아지게 되면 모재부에서 파단되는 겹침비가 2보다 더 작아지게 된다.

(3) 접합강도는 접합부의 표면조도나 이음부간격에 영향을 받지 않는다.

(4) 브레이징 접합후 수냉, 공냉, 및 공냉후의 열처리 조건에 따라 조직의 변화는 일어나나 접합강도는 거의 변화하지 않는다.

참고 문헌

- 1) 김영섭 外 2人, "철강재료의 고상접합기술", 대한용접학회지 제10권 제2호, pp. 1 - 10(1992. 6)
- 2) 강정윤 外 1人, "Brazeing기술의 기초와 실제(1)", 대한용접학회지 제10권 제2호, pp. 11 - 18(1992. 6)
- 3) 山田元田 外 1人, "Al의ろう付" 溶接技術, pp. 72-77 (1992. 7)
- 4) 溶接學會界面研究委員會編, "最近のろう接・擴散接合技術", 溶接學會技術資料, No. 12, pp. 54 - 62 (1989.12)
- 5) 省部 謙, "ろう付繼手・強度評價", 溶接技術, p. 71 (1991. 4)
- 6) JIS Z 3192 "ろう付繼手・引張及びせん斷試驗方法"
- 7) AWS編, "Brazeing Manual" AWS(1975)
- 8) AWS C3.2, "Standard Method for Evaluating the strength of Brazeed Joints"
- 9) 岡本郁男 外 1人, "固相溶接・ろう付" 溶接全書9, p. 191(1979)