



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

구리-알루미늄 이종재료의
브레이징 특성에 관한 연구



2013년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

재료공학과

엄 대 현

공 학 석 사 학 위 논 문

구리-알루미늄 이종재료의
브레이징 특성에 관한 연구

지도교수 정 호 신

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2013년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

재료공학과

엄 대 현

엄대현의 공학석사 학위논문을
인준함.

2013년 2월 22일



주 심 공학박사 박 찬 (인)

위 원 공학박사 최 희 락 (인)

위 원 공학박사 정 호 신 (인)

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	vii
제1장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 구리의 특징	3
1.3 알루미늄의 특징	5
1.4 브레이징의 개요	6
제2장 실험 방법	9
2.1 실험재료	9
2.1.1 시험편	9
2.1.2 삽입재(Filler metal)	11
2.1.3 브레이징 방법	13
2.2 Wetting 특성 조사	14
2.3 미시조직 관찰	15
2.4 인장시험	15
제3장 실험결과 및 고찰	16
3.1 Wetting 특성 결과	16
3.2 접합부 삽입재의 미시조직 관찰 결과	19
3.3 접합부 삽입재의 인장시험 결과	27
3.4 삽입재의 EPMA 측정 결과	34
제4장 결 론	42
참 고 문 헌	44

List of Tables

Table 1.1 Characteristic of copper and aluminum

Table 1.2 Effect of Zinc on properties of Copper Alloys

Table 1.3 Classification of copper alloys

Table 1.4 Designation for Alloy Groups

Table 2.1 Chemical composition of Copper and Aluminum

Table 2.2 Melting point and composition of filler metal



List of Figures

Fig. 1.1 Copper and Aluminum price fluctuations

(a) Copper (b) Aluminum (Unit : US\$/tonne)

Fig. 1.2 The difference between brazing and welding

Fig. 1.3 Sessile drops. (a) Contact angle greater than 90° ; liquid drop will not enter a capillary gap. (b) Contact angle less than 90° ; liquid drop will enter and fill a capillary gap.

Fig. 2.1 The schematic of the samples ; (a) aluminum (b) copper

Fig. 2.2 Phase diagram of Aluminum-Zinc

Fig. 2.3 Phase diagram of Aluminum-Silicon

Fig. 2.4 The schematic of the torch

Fig. 2.5 The schematic of the sample

Fig. 3.1 Phase diagram of Copper-Aluminum

Fig. 3.2 Wetting characteristics of sample

Fig. 3.3 Microstructure of A-633 ;
Copper and Unplated aluminum (x200)

Fig. 3.4 Microstructure of A-633 ;
Copper and Zincated aluminum (x200)

Fig. 3.5 Microstructure of A-633 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x200)

Fig. 3.6 Microstructure of A-665 ;
Copper and Unplated aluminum (x200)

Fig. 3.7 Microstructure of A-665 ;
Copper and Zincated aluminum (x200)

Fig. 3.8 Microstructure of A-665 ;
Copper and Nickel-plated aluminum (x200)

Fig. 3.9 Microstructure of A-665 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x200)

- Fig. 3.10** Microstructure of TC-150 ;
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.11** Microstructure of TC-150 ;
Copper and Zincated aluminum (x100)
- Fig. 3.12** Microstructure of TC-150 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.13** Microstructure of TB-200 ;
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.14** Microstructure of TB-200 ;
Copper and Zincated aluminum (x200)
- Fig. 3.15** Microstructure of TB-200 ;
Copper and Nickel-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.16** Microstructure of TB-200 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.17** Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.18** Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Zincated aluminum (x200)
- Fig. 3.19** Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Nickel-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.20** Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.21** Aluminum side ; A-633
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.22** Copper side ; A-633
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.25** Aluminum side ; TB-200
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.26** Copper side ; TB-200
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.25** Aluminum side ; TC-150
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.26** Copper side ; TC-150
Copper and Unplated aluminum (x200)

- Fig. 3.27** Aluminum side ; ZA-3
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.28** Copper side ; ZA-3
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.29** Porosity of A-633 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.30** Porosity of A-665 ;
Copper and Zincated aluminum (x100)
- Fig. 3.31** Porosity of TB-200 ;
Copper and Nickel-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.32** Porosity of TC-150 ;
Copper and Unplated aluminum (x200)
- Fig. 3.33** Porosity of ZA-3 ;
Copper and Nickel-plated aluminum (x200)
- Fig. 3.34** Porosity of TC-150 ;
Copper and Copper-plated aluminum (x100)
- Fig. 3.35** Crack of TB-200 ;
Copper and Zincated aluminum (x500)
- Fig. 3.36** Porosity of TC-150 ;
Copper and Zincated aluminum (x500)
- Fig. 3.37** Crearance of A-633 ;
Copper and Unplated aluminum (x50)
- Fig. 3.38** Crearance of TB-200 ;
Copper and Unplated aluminum (x50)
- Fig. 3.39** Universal Testing Machine
- Fig. 3.40** Tensile strength of sample(Filler metal, A-633)
- Fig. 3.41** Tensile strength of sample(Filler metal, A-665)
- Fig. 3.42** Tensile strength of sample(Filler metal, TB-200)
- Fig. 3.43** Tensile strength of sample(Filler metal, TC-150)
- Fig. 3.44** Tensile strength of sample(Filler metal, ZA-3)
- Fig. 3.45** Fracture of sample ; A-633
- Fig. 3.46** Fracture of sample ; A-665
- Fig. 3.47** Fracture of sample ; TB-200

Fig. 3.48 Fracture of sample ; TC-150

Fig. 3.49 Fracture of sample ; ZA-3

Fig. 3.50 Phase diagram of Copper - Aluminum

Fig. 3.51 The result of spot analysis method of unplated Al - Cu
(A-633, x200)

Fig. 3.52 The result of spot analysis method of unplated Al - Cu
(A-665, x200)

Fig. 3.53 The result of spot analysis method of unplated Al - Cu
(TB-200, x200)

Fig. 3.54 The result of spot analysis method of unplated Al - Cu
(TC-150, x200)

Fig. 3.55 The result of spot analysis method of unplated Al - Cu
(ZA-3, x200)

Fig. 3.56 Example of filler metal and Cu's
joint which is not connected (TB-200)

Fig. 3.57 Brazing erosion phenomenon
(a : Erosion, b : Not erosion)

Fig. 3.58 The relationship between Al_2Cu and Tensile strength

A Study on the Brazing Characteristics of Copper-Aluminum Dissimilar Brazing Joint

Dae Hyun Eom

Department of Materials Science and Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The application of nonferrous metals is increasing in terms of cost cutting and diversity of use of materials and developments of engineering technology. The need of conjugation between composite materials is regarded as important topic as components and machines get miniaturized. Especially sharp rise of copper's price, there were demands for other materials. Aluminum can substitute copper as it has comparatively good corrosiveness, easy to make, inexpensive and etc. However copper and aluminum is not suitable for conjugation as it has different material property. It easily produces vulnerable intermetallic compounds so it is hard to get desirable strength.

Therefore we researched about characteristic of brazing of copper and aluminum using five different filler metal.

Before proceed to brazing, we investigated surface treatment and wetting characteristic with respect to the surface treatment. we made conditions for conjugation considering the result.

We plated aluminum with zinc, nickel, copper and conjugated using five types of filler metals. After conjugation we did tensile test to find out material property and progressed componential analysis through EPMA test.

In result we found out copper has desirable strength as most of specimens broke at the base metal of copper. Also there was a decrease of strength due Al_2Cu intermetallic compound inside of filler metal according to the result of EPMA measurement.

제 1 장 서 론

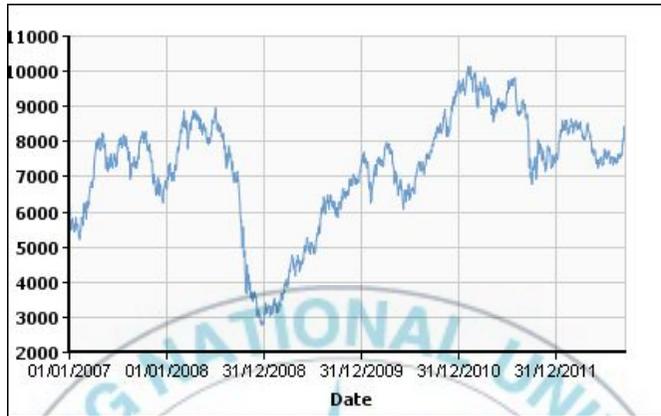
1.1 연구 배경 및 목적

공학기술의 발달과 재료 사용 환경의 다양화 및 원가 절감이라는 측면에서 비철재료의 적용분야가 점점 확대되고 있다. 또한 각종 장치 및 부품이 소형화, 정밀화됨에 따라 이종재료간의 접합 필요성이 더욱 중요한 문제가 되고 있다. 이러한 측면에서 공학적인 환경의 변화와 사회적인 요구 및 경제적 관점에서 종래에는 생각할 수 없던 이종재료의 접합이 필연적으로 요구되지만 이와 같은 목적과 용도에 적합한 접합 기술이 확립된 것은 아니어서, 각종 소재 및 완성품의 설계·제작에 많은 어려움을 주고 있다.

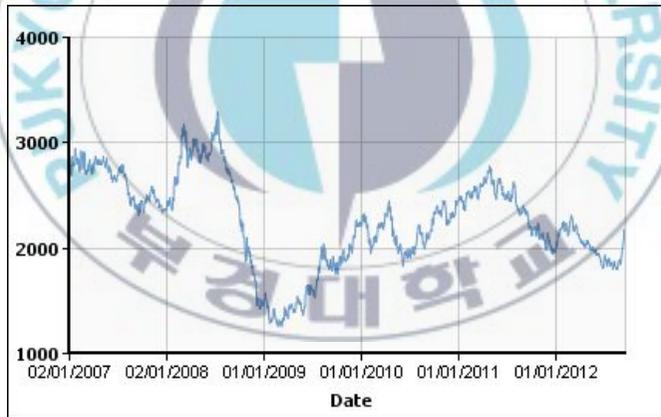
Fig. 1.1에서 나타난 것과 같이 최근 구리 원자재의 급격한 가격폭등으로 인해 다른 대체 재료를 사용할 필요가 있다. 알루미늄은 부식성이 비교적 우수하고 가공이 용이하며 저렴한 재료비 등의 장점을 지녀 구리의 역할을 일부 대체할 수 있다.

구리-알루미늄 이종재 접합의 경우에는 취약한 금속간 화합물 생성에 기인하여 건전한 접합부를 얻기가 어렵다. 최근의 원가 절감의 필요성에 따라 구리-알루미늄 이종재료를 접합함으로써 효율을 극대화 할 필요성이 늘어나고 있다. 그러나 구리-알루미늄 이종재료간의 접합에는 두 소재 각각의 물리적, 기계적 특성의 차이가 매우 크며, 이에 따라 용융용접 하기는 매우 어렵다. 또한 접합부에서는 취약한 금속간화합물이 생성되어 접합 자체가 어렵고 접합이 가능하다더라도 기계적 강도를 높이기 어렵다는 단점이 있다.

이러한 측면에서 공정이 간단하고 단시간에 접합이 가능한 경제적인 브레이징을 채택하여 구리와 알루미늄 이종재료의 접합을 연구 하였다.



(a)



(b)

Fig. 1.1 Copper and Aluminum price fluctuations

(a) Copper (b) Aluminum (Unit : US\$/tonne)

Table 1.1 Characteristic of copper and aluminum

Copper	Copper	Aluminum
Lattice structure	FCC	FCC
Density	$8.96\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$2.70\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Melting point	1083°C	660°C
Electrical resistivity (20°C)	$16.78\text{n}\Omega\cdot\text{m}$	$26.50\text{n}\Omega\cdot\text{m}$
Thermal Conductivity (300K)	$401\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$	$237\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$
Magnetism	Diamagnetic	Paramagnetic

1.2 구리의 특징

구리는 인류가 최초로 사용한 금속으로서 생산량과 소비량 측면에서 철, 알루미늄에 이어 세 번째로 많이 사용되고 있는 금속이다. 약 80%는 순수한 금속 상태로 사용되며 그 대부분은 전선과 전기 부품 소재로 사용된다. 다양한 동 합금이 있으나 Cu와 Zn의 합금인 황동 및 주석 청동, 알루미늄 청동, 인 청동 등 다양한 합금이 있으며 기계부품 건축·가구·장식·화폐 등 용도가 넓다.

구리는 적갈색의 광택이 나는 금속으로 융점은 약 1083°C 이고 밀도는 상온에서 $8.96\text{g}/\text{cm}^3$ 로 알루미늄($2.7\text{g}/\text{cm}^3$)보다 높다.

구리는 격자구조가 Face-Centered Cubic(FCC)로 전기·열전도도가 높으며 내식성, 가공성, 강도 등이 뛰어나다. 또한 비자성체로 색상이 좋으며 용접, 브레이징, 솔더링 등이 가능하다.

Table 1.3과 같이 구리는 아연, 주석, 알루미늄 등 다양한 합금원소를 첨가하여 합금을 만들 수가 있다. 황동은 필수적으로 구리와 아연이 들어가고, 거기에 주석이나 알루미늄이 소량 들어간다. 이러한 다양한 원소들의

조합으로 강도, 연성, 기계적 성질, 내식성 등을 설계할 수 있다.

Table 1.2 Effect of Zinc on properties of Copper Alloys

Zn (%)	Tensile Strength, (psi)	Elongation, (%)	BHN, (10mm 500Kg)
0	32,000	46	38
5	36,000	49	49
10	41,000	52	54
15	42,000	56	58
20	43,000	59	56
25	45,000	62	54
30	46,000	65	55
35	46,000	60	55
40	54,000	45	75

Table 1.3 Classification of copper alloys

I Brasses - alloy of copper and zinc	
A Alpha brasses - alloys containing up to 36 percent zinc	1 Yellow alpha brasses - 20 to 36 percent zinc 2 Red brasses - 5 to 20 percent zinc
B Alpha plus beta brasses - 54 to 62 percent copper	
II Bronzes - up to 12 percent of alloying element	
A Tin bronzes	
B Silicon bronzes	
C Aluminum bronzes	
D Beryllium bronzes	
III Cupronickels - alloys of copper and nickel	
IV Nickel silvers - alloys of copper, nickel, and zinc	

1.3 알루미늄의 특징

알루미늄의 가장 큰 특징은 비강도(단위 무게 당 강도)가 높은 것이다. 또한 가단성 및 가공성이 좋으며 내식성, 전기·열전도율이 높다. 순 알루미늄의 경우 광반사율이 높고 변질되지 않아 반사판에 사용이 된다. 독성, 자성이 없으며 불꽃이 일어나지 않는다. 상자성체의 특성을 이용하여 전기 차폐용으로도 사용이 된다.

순 알루미늄의 경우 인장강도는 약 13,000kgf/mm² 정도이다. 그러나 냉간 가공이나 합금화를 통해 강도를 증가시킬 수 있다. 합금화하여 열처리를 하면 인장강도가 약 100,000kgf/mm²에 이르기도 한다.

또 다른 알루미늄의 특징은 절삭성과 가공성이 좋다는 것이다. 이것은 주조, 압연, 인발 등 다양한 공정을 가능하게 한다.

일반적으로 사용이 되는 순 알루미늄은 1100 합금(99.9% Al)으로 여기에 다른 원소들을 첨가함으로써 Table 1.4와 같이 합금화시킬 수 있다. 2xxx, 4xxx, 6xxx, 7xxx 의 경우에는 열처리가 가능하여 강도를 더욱 향상시킬 수 있다.

Table 1.4 Designation for Alloy Groups

Element	Aluminum Association NO.
Aluminum, 99% and greater, major alloying element	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium and silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Other element	8xxx
Unused series	9xxx

1.4 브레이징의 개요

금속을 접합하는 방법에는 기계적인 방법과 야금학적인 방법이 있다. 야금학적인 방법에는 아크용접이나 가스용접 같이 이음부분을 국부적으로 용융시켜 접합하는 방법과 접합한 금속을 녹이지 않고 접합하는 방법이 있다.

용접방법을 분류해 보면, Fusion welding은 아크용접이나 가스용접에서 보는 바와 같이 결합시키려고 하는 모재금속을 반드시 용융시켜 접합하는 것이다. Pressure welding은 상온에서 가압하는 것과 고온에서 가압하는 것이 있으며, 전자의 경우에는 접합부에 변형과 응력이 잔류하고, 후자의 경우에는 잔류응력은 적게 남고 열적인 변형도 적다. Joining은 삽입재의 종류와 선정, 사양에서 접합부분의 가열온도를 자유롭게 선정할 수 있기 때문에 용접이 다른 재료의 접합도 쉽게 할 수 있다.

Fig. 1.2와 같이 Joining은 접합하고자 하는 금속 혹은 이종금속간의 금속을 용융시키지 않고 이들의 금속 사이에 용점이 낮은 제3의 금속을 이용하여 접합한다. 첨가되는 삽입재의 용점이 450℃ 이상인 것을 브레이징(경납 : brazing), 450℃ 미만인 것을 솔더링(연납 : soldering)이라 한다.

브레이징은 삽입재를 사용하며, 용융상태의 삽입재가 고체인 모재와 접합이 이루어지기 위해서 서로간에 상호작용이 생기게 된다. 이 때 중요한 것은 용융된 삽입재의 모재에 대한 젖음성(Wetting)이다. 이것은 액체가 고체와 접촉할 때 고체표면 위에 액체가 부착되거나 스며드는 상태를 말하며 브레이징의 핵심이다.

Fig. 1.3과 같이 고상(모재)의 표면장력을 γ_{SV} 액상(용융된 삽입재)의 표면장력을 γ_{LV} 고상-액상 계면의 표면장력을 γ_{SL} 이라고 한다면 다음과 같은 식이 성립되어야 온전한 접합이 이루어진다.

$$\gamma_{SV} > \gamma_{LV} + \gamma_{SL}$$

접촉각 θ (contact angle)에 따라 3가지 형태로 분류된다.

$\theta = 0^\circ$: 확장젖음(spreading wetting)

$\theta \leq 90^\circ$: 침지젖음(immersional wetting)

$\theta \geq 90^\circ$: 부착젖음(adhesional wetting)

일반적으로 이 접촉각이 45° 이하일 때 건전한 접합부를 얻을 수 있다.

브레이징의 중요점 중 또 다른 하나는 바로 Flux이다. 브레이징 중 온도가 높아지게 되면 공기와의 접촉으로 화학적 반응이 일어난다. 그로 인해 산화피막이 생성되는데 이것을 제거하는 것이 Flux이다. 그 때문에 Flux는 화학적으로 활성이고 청정화 능력이 우수하며 Flux 자체의 퍼짐성과 Wetting이 좋아야 한다. 또한 인체 및 기기류에 대해서 안전해야하며 가격이 싸고 수분을 포함하지 않아야 한다.

이들을 종합하여 브레이징은 다음과 같은 특징을 지닌다.

- ① 모재를 녹이지 않기 때문에 박판의 접합 및 정밀한 접합을 할 수 있다.
- ② 젖음에 따라 삼입재가 좁은 틈새를 채우기 때문에 복잡한 형상의 접합부가 다수 있는 경우에도 동시에 접합이 이루어진다.
- ③ 이종금속이나 비금속의 접합을 비교적 쉽게 할 수 있다.
- ④ 모재와 삼입재의 융점이 차이가 나기 때문에 재가열에 의해서 접합부를 분리할 수가 있다.
- ⑤ 이음형상을 고려하면 모재에 가까운 이음강도를 얻을 수 있다.

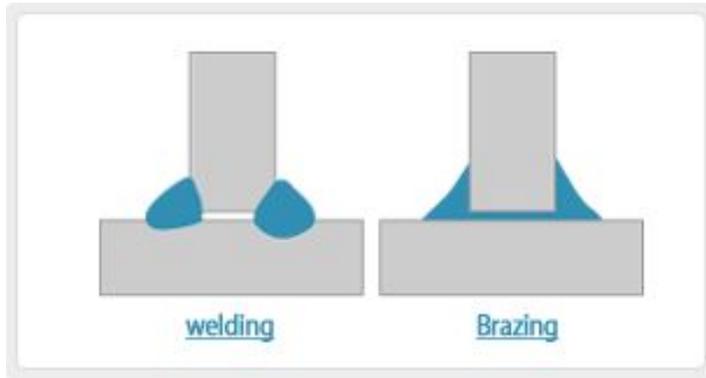


Fig. 1.2 The difference between brazing and welding

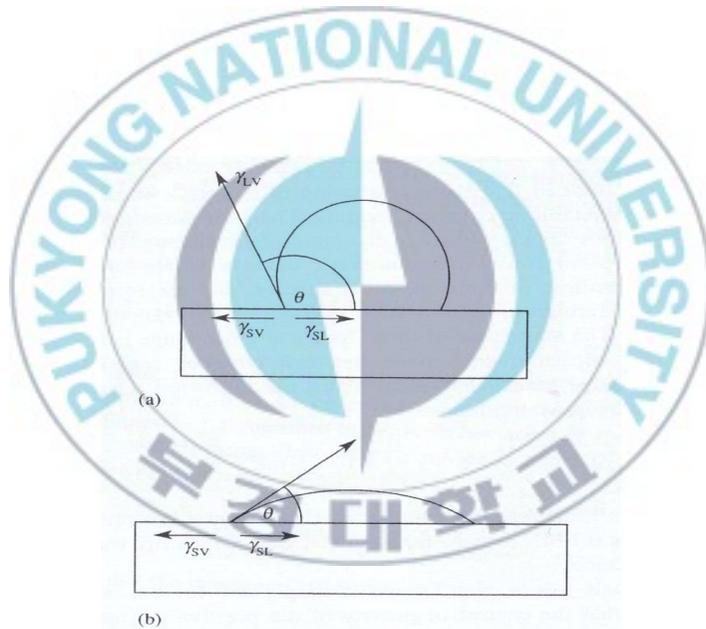


Fig. 1.3 Sessile drops. (a) Contact angle greater than 90° ; liquid drop will not enter a capillary gap. (b) Contact angle less than 90° ; liquid drop will enter and fill a capillary gap.

제 2 장 실험방법

2.1 실험재료

2.1.1 시험편

본 연구에 사용한 시험편은 구리와 알루미늄으로서 구리와 알루미늄은 ASTM규격으로 각각 c12200, a3003이다. Table 2.1은 구리(c12200)와 알루미늄(a3003)의 특징을 나타낸다. 구리는 99.9% 이상의 순 구리를 사용하였고 알루미늄은 망간이 첨가되어 있는 3000계열을 사용하였다. a3003의 경우, 용접성이 우수하고 내식성이 뛰어나다.

시험편은 Fig. 2.1과 같이 시판재인 속이 비어있는 원통형의 알루미늄에 그보다 직경이 작은 구리 원통을 끼워서 브레이징을 하였다. Clearance는 약 0.15mm로 본 실험에서는 Clearance의 크기에 대한 물성의 변화는 생략하였다.

실험 전처리로 시험편에 남아있는 가공유, 오염물 등을 제거하기 위하여 알콜을 써서 초음파 세척기로 약 5분간 세척을 하였다.

Table 2.1 Chemical composition of Copper and Aluminum

Base metal	composition (wt%)							Density (g/cm ³)	Melting point (°C)
	Al	Cu	Mn	Si	Fe	Zn	P		
c12200	-	Bal.	-	-	-	-	0.015~0.04	8.94	1083
a3003	Bal.	0.05~0.2	1~1.5	0.6max	0.7max	0.1max	-	2.74	643

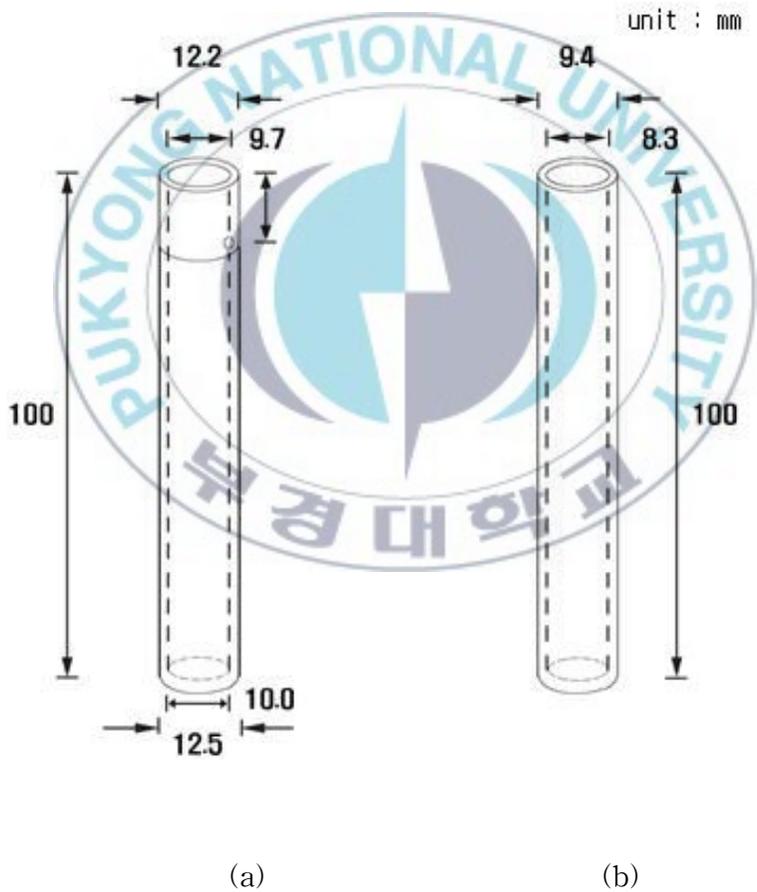


Fig. 2.1 The schematic of the samples ; (a) aluminum (b) copper

2.1.2 삽입재(Filler metal)

구리-알루미늄 이종재료 접합시에 나타나는 문제점을 해결하고, 접합부의 성능을 향상시키기 위해서는 특히 구리-알루미늄 이종재료 접합부에 취약한 금속간 화합물의 형성을 방지하는 것이 매우 중요하다. 접합에 필요한 삽입재를 선정하기 위하여 독일 수입품의 A-633, A-665, 국산 생산품인 TB-200, TC-150, 미국 수입소재인 ZA-3를 사용하였다. 이 5가지 삽입재는 알루미늄-알루미늄 및 구리-알루미늄 이종재료의 접합에 사용되는 삽입재로 주로 Zn와 Si 합금이다. Fig. 2.2와 Fig. 2.3에서 보듯이 알루미늄과 아연, 알루미늄과 실리콘 사이에는 취성적인 금속간 화합물이 생성이 되지 않는다. 이렇듯 금속간 화합물이 생성이 되지 않는 삽입재를 이용하여 금속간 화합물의 형성을 최대한 억제시키려 하였다.

Table 2.2은 각 삽입재의 성분, 용점을 나타낸다. ZA-3 삽입재의 경우 그 용점이 낮아 보다 쉽게 브레이징을 할 수 있을 것으로 보인다. 그와 반대로 TB-200의 경우에는 알루미늄(a3003)의 용점인 643℃와 근접해 있어 브레이징에 어려움이 있고, 보다 숙련된 기술이 요구될 것이다.

브레이징을 위해서는 삽입재와 더불어 산화피막을 제거해줄 플럭스(Flux)가 필요하다. TC-150, TB-200, ZA-3 삽입재의 경우에는 플럭스가 삽입재에 내장되어 있다. 반면에 A-633과 A-665의 경우에는 플럭스가 내장되어 있지 않다. 따라서 다른 3가지의 삽입재와는 달리 A-633과 A-665 삽입재의 경우 플럭스가 내장되어 있지 않아 액상의 플럭스를 직접 사용하여 접합하였다.

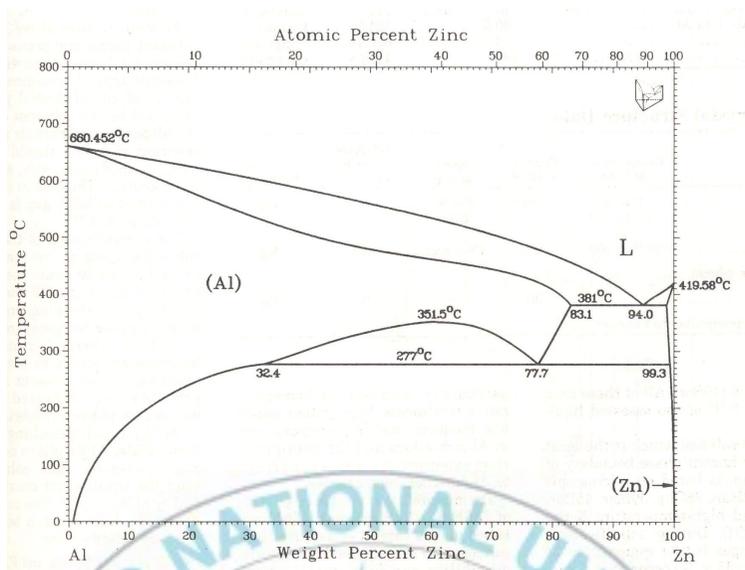


Fig. 2.2 Phase diagram of Aluminum-Zinc

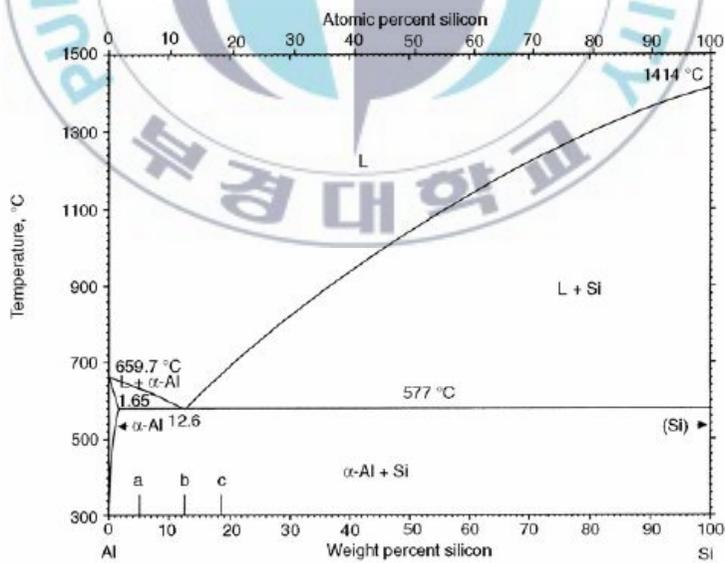


Fig. 2.3 Phase diagram of Aluminum-Silicon

Table 2.2 Melting point and composition of filler metal

Filler metal	Composition (wt%)					Melting point (℃)
	Al	Cu	Si	Mg	Zn	
A-633	3	-	-	-	97	450
A-665	25	-	-	-	75	480
TB-200	90	-	10	-	-	598
TC-150	20~24	-	-	-	Bal.	490
ZA-3	3.9~4.3	0.03max	-	0.04~0.06	Bal.	386

2.1.3 브레이징 방법

브레이징의 방법으로는 토치 브레이징(Torch brazing), 노 브레이징(Furnace brazing), 저항 브레이징(Resistance brazing), 진공 브레이징(Vacuum brazing) 등이 있다. 본 실험에서는 토치 브레이징을 사용하였다. 토치 브레이징은 Fig. 2.4와 같은 저압식의 가스 용접기를 사용하여 접합부를 토치로 가열하고 플럭스 및 삽입재를 첨가하면서 접합하는 방법이다. 본 실험에서의 열원으로는 산소-LPG를 사용하였다.

토치 브레이징(Torch brazing)은 삽입재의 흐름을 육안으로 확인할 수 있기 때문에 즉시 수정이 가능한 점과 국부가열 및 전체가열을 쉽게 할 수 있다. 또한 설비비나 기타 비용이 저렴하고 형상이 복잡한 부품의 접합에도 적용이 가능하다. 결점으로는 대부분의 경우 플럭스가 필요하고 균일가열과 온도관리에 작업자의 숙련이 요구된다. 또한 대기 중에서 작

업하기 때문에 산화 스케일이 생기며, 열변형이 발생할 수 있다.

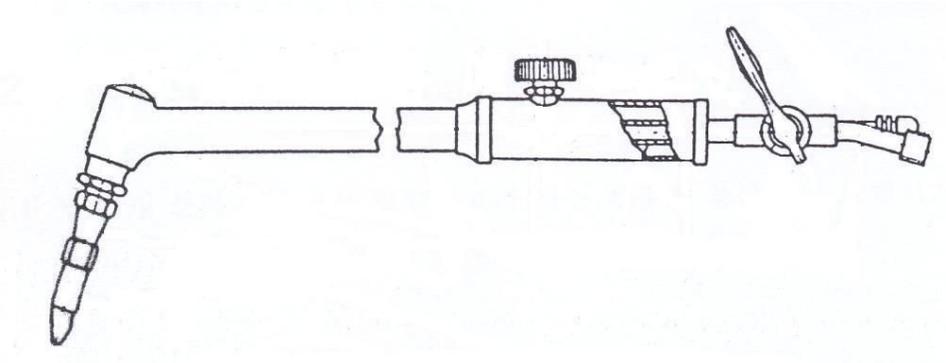


Fig. 2.4 The schematic of the torch

2.2 Wetting 특성 조사

본 실험을 진행하기 전 상기 5종의 삽입재에 대한 Wetting 특성을 조사하기 위하여 구리 및 알루미늄에 각각 표면처리를 하여 Wetting 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 표면처리는 알루미늄에 Cu도금, Zincate처리, Ni도금, Sn도금을 실시하여 접합특성에 미치는 표면처리의 영향을 조사하였다.

Fig. 2.5와 같이 강판 위에 표면처리를 한 시편들을 놓고 강판을 가열하여 간접적으로 알루미늄이 가열되게 하여 삽입재가 녹을 수 있도록 하였다.

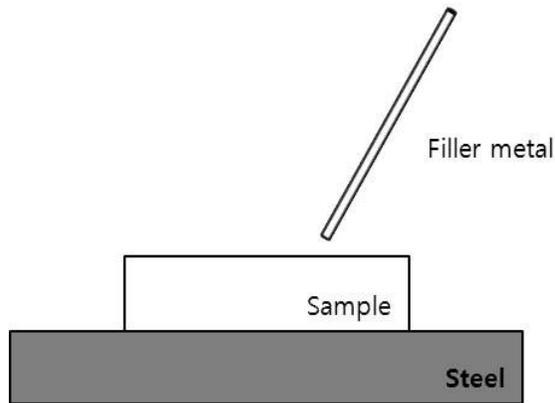


Fig. 2.5 The schematic of the sample

2.3 미세조직 관찰

구리와 알루미늄을 각각의 삽입재로 접합을 한 후 접합부의 조직을 관찰하였다. 접합된 시편을 절단하여 아크릴 수지로 열간 마운팅을 한 후 #400, #800, #1200, #1500, #2000 의 순서로 그라인딩 하였다. 그리고 폴리싱을 실시하였다. 그때의 연마제로 알루미나(Al_2O_3)를 사용하였다. 전처리가 끝난 시편은 HNO_3 와 H_2O 를 1:1로 섞은 용액으로 에칭하여 조직을 관찰하고 EPMA분석을 실시하였다.

2.4 인장시험

구리와 알루미늄 이종재료의 강도를 평가하기 위하여 인장시험을 하였다. 우선적으로 구리와 알루미늄 시편의 강도를 측정하고 파단시의 강도와 비교하였다. 원통의 시편의 위와 아랫부분을 압착하여 인장시험을 하고 파단 후 파단이 접합부에서 이루어 졌는지 아니면 모재에서 이루어 졌는지를 비교하여 실제로 사용이 가능한지 평가해 보았다.

제 3 장 실험결과 및 고찰

3.1 Wetting 특성 결과

Fig. 3.1은 구리와 알루미늄의 상태도를 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 구리와 알루미늄의 사이에는 취약한 금속간 화합물이 생성되기 쉽다. 이에 의해 접합부의 강도가 낮아지거나 미세한 균열이 발생하여 누설이나 파괴의 원인이 될 수 있다.

구리와 알루미늄을 접합 시 접합이 매우 어렵고, 특히 알루미늄 및 구리 모두에 대해 Wetting 특성이 양호한 접합용 삼입재가 없기 때문에 온전한 접합부를 형성하기가 매우 어렵다. 이에 따라 기존의 알루미늄 접합용의 삼입재를 사용할 경우 접합시간을 매우 짧게 하거나 접합후에 급랭(Quenching)을 하는 등의 처리가 필요하다. 하지만 알루미늄과 구리는 열전도도가 높아 가열에 시간이 걸리고 접합 후 냉각속도를 빠르게 하기 위해 냉각 라인을 설치하는 조치가 필요하게 된다. 이와 같은 측면에서 브레이징 할 경우 Wetting 특성을 향상시키고, 접합부에 금속간 화합물의 생성을 방지하기 위하여 구리와 알루미늄의 직접적인 접합보다는 알루미늄에 적절한 표면처리를 할 필요가 있다. 이와 같은 측면에서 구리와 알루미늄 이중재료의 접합부를 생성하기 위하여 알루미늄에 각종의 표면처리 기법을 적용하여 최적의 표면처리 방식 및 표면처리의 종류를 규명하고자 하였다.

이를 위하여 알루미늄 표면에 Zincate 처리, Sn 도금, Ni 도금, Cu 도금을 실시하여 Wetting 특성에 미치는 표면처리의 영향을 조사하였다.

Fig. 3.2는 표면처리 된 시편에 대한 각종 삼입재의 Wetting 상황을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 대부분의 삼입재에 대하여

Wetting 특성이 양호함을 알 수가 있었다. 참고로 예비 실험한 결과 Sn 도금을 한 경우 하지 않았던 것 보다 Wetting 특성이 불량하여 Sn 도금을 한 시편은 사용을 하지 않았다.

모든 조건에서 Wetting 특성이 양호하였지만 TB-200의 경우에는 Wetting 상황을 파악하기가 힘들었다. 이는 TB-200의 용점이 598°C로 알루미늄(a3003)의 용점(643°C) 만큼 가열이 되어 모재가 녹아버리는 현상이 나타났다. 이는 Wetting 특성을 조사하는 것 외에도 브레이징 시에 다른 문제점이 나타날 것으로 예상된다.

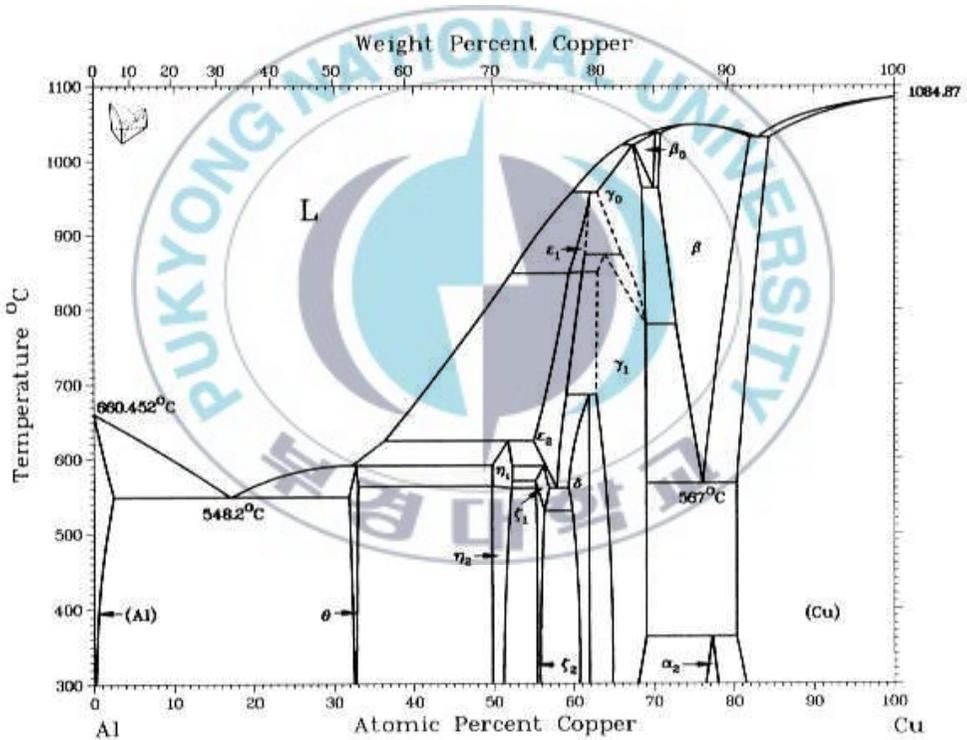


Fig. 3.1 Phase diagram of Copper-Aluminum



Fig. 3.2 Wetting characteristics of sample

3.2 접합부 삽입재의 미시조직 관찰 결과

알루미늄(a3003)과 구리(c12200)를 토치 브레이징(Torch brazing) 하여 접합을 한 후 접합부의 조직을 관찰하였다. Fig. 3.3에서 Fig. 3.20은 각 시편들의 삽입재 조직이다. 삽입재 중 A-633이나 A-665의 경우 Dendrite가 잘 형성이 되어 있는 것으로 보인다. 또한 다른 금속간 화합물이나 기타 결함들이 보이지 않았다. 그에 비해 TC-150이나 ZA-3의 경우에는 각진 화합물들이 발견되었다. 조직의 모양이 각이 저있다는 것은 외부에서 힘을 받았을 때 그곳에 응력이 집중되어 보다 쉽게 크랙이 발생하게 된다. 때문에 각진 조직이 강도에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Fig. 3.21에서 Fig. 3.28은 각 삽입재와 모재와의 접합계면을 보여준다. 접합계면은 상당히 양호한 편이다. 각각의 삽입재들은 구리와 알루미늄 사이에서 결함 없이 접합되어 있었다. 이는 상기 5종의 삽입재들의 Wetting 특성에 의해 용융된 삽입재가 Clearance 사이로 잘 스며들었다는 것을 나타낸다. 삽입재에 의한 접합계면은 비슷한 양상을 보이기 때문에 삽입재에 대한 강도의 차이는 삽입재 자체의 강도와 내부의 조직에 의해 결정될 것으로 사료된다.

Fig. 3.37과 Fig. 3.38은 각각 A-633과 TB-200 삽입재로 접합을 하였을 때의 Clearance를 보여준다. 시험 전의 구리와 알루미늄의 Clearance는 약 0.15mm로 동일하였다. 하지만 사진에서 보이듯이 TB-200의 경우 A-633에 비해 상대적으로 Clearance가 커진 것을 볼 수가 있다. 이것은 삽입재의 용점과 연관이 있을 것으로 보인다. TB-200의 용점(598℃)은 A-633의 용점(450℃)에 비해 높다. 모재인 알루미늄(a3003)의 용점(648℃)만큼 높은 온도이다. 이렇듯 용점이 높은 TB-200 삽입재의 경우 접합시에 가열 시간이 더 길어져야 한다. 이에 따라 열팽창계수가 더 큰 알루미

높이 더 많이 팽창하여 틈새가 더욱 벌어질 가능성이 큰 것으로 보인다. (구리의 열팽창계수 : 25°C에서 16.5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{k}$, 알루미늄의 열팽창계수 : 25°C에서 23.1 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{k}$) 따라서 용점이 높은 소재로 접합을 할 경우에는 가능한 가열시간을 짧게 하거나 Clearance를 더 줄일 필요가 있다. Clearance를 줄이는 것은 가공이 힘들기 때문에 가열시간을 짧게 하는 것이 바람직한 방법이라 생각된다.

Fig. 3.29에서 Fig. 3.34은 각 삽입재의 결함을 보여준다. 삽입재와 모재와의 접합계면은 대체로 양호한 편이다. 나타난 기공들은 원형으로 응력집중을 최소화 할 수 있는 형상이다. 따라서 기공의 존재가 강도에 큰 영향은 미치지 않을 것이라고 사료된다. 기공생성의 원인이 되는 기름기, 습기 등을 철저히 제거한 후 접합을 한다면 기공의 수를 줄일 수 있을 것이라 생각한다. 또한 ZA-3 삽입재 같은 경우에는 플렉스가 노출되어있는 형상이기 때문에 삽입재의 수분을 충분히 제거한 후 접합을 한다면 기공의 양은 줄어들 것이다.

Fig. 3.35와 Fig. 3.36은 접합부에 나타난 크랙을 나타낸다. 크랙은 기공보다 파괴에 대한 영향력이 더욱 크다. TB-200이나 TC-150 이외에도 사진으로는 나타나지 않지만 ZA-3에서도 다량의 크랙들이 발생을 하였다. 삽입재와 모재간의 접합계면은 상당히 양호하지만 크랙의 존재로 인해 접합부의 신뢰성 측면에서 바람직하지 않다. 크랙은 여러 가지 이유에서 발생이 될 수 있다. 용융된 삽입재의 냉각속도나 잔류응력에 의해 크랙이 생길 수도 있다.

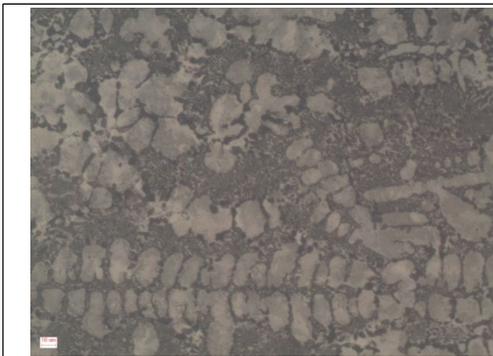


Fig. 3.3 Microstructure of A-633 ;
Copper and Unplated aluminum
(x200)

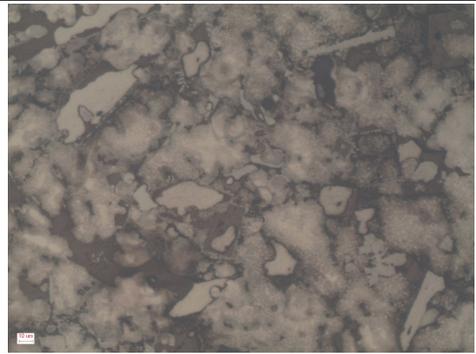


Fig. 3.4 Microstructure of A-633 ;
Copper and Zincated aluminum
(x200)



Fig. 3.5 Microstructure of A-633 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x200)



Fig. 3.6 Microstructure of A-665 ;
Copper and Unplated aluminum
(x200)

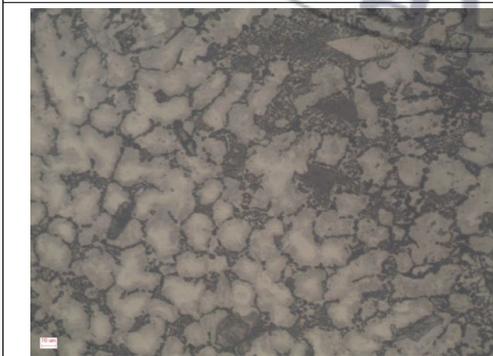


Fig. 3.7 Microstructure of A-665 ;
Copper and Zincated aluminum
(x200)

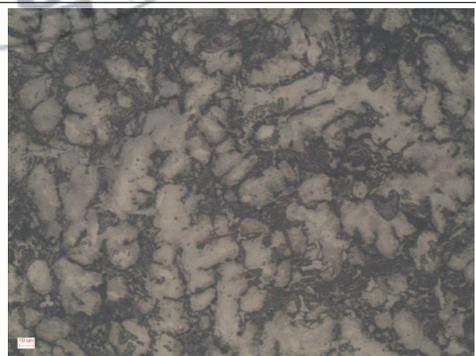


Fig. 3.8 Microstructure of A-665 ;
Copper and Nickel-plated aluminum
(x200)

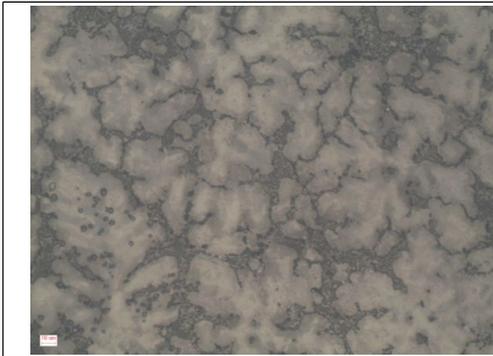


Fig. 3.9 Microstructure of A-665 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x200)

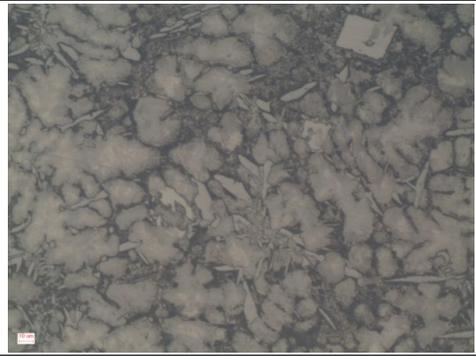


Fig. 3.10 Microstructure of TC-150 ;
Copper and Unplated aluminum
(x200)



Fig. 3.11 Microstructure of TC-150 ;
Copper and Zincated aluminum
(x100)

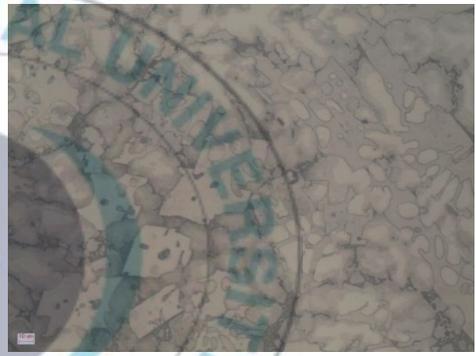


Fig. 3.12 Microstructure of TC-150 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x200)

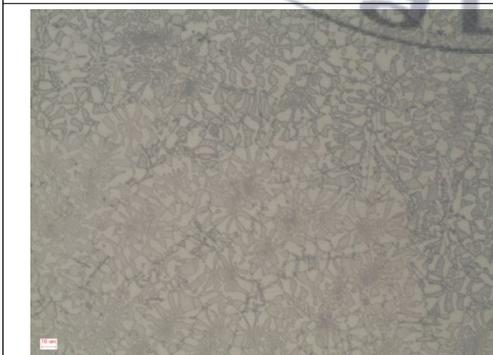


Fig. 3.13 Microstructure of TB-200 ;
Copper and Unplated aluminum
(x200)

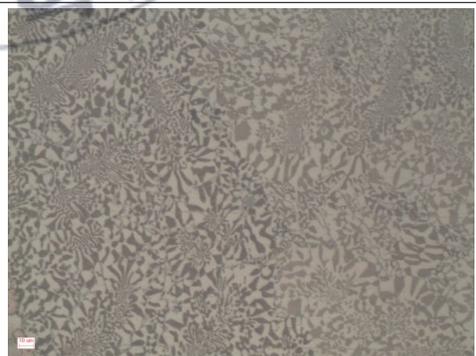


Fig. 3.14 Microstructure of TB-200 ;
Copper and Zincated aluminum
(x200)

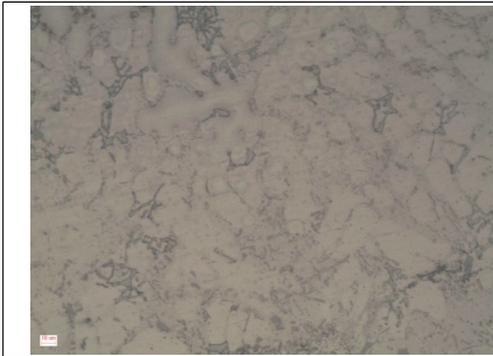


Fig. 3.15 Microstructure of TB-200 ;
Copper and Nickel-plated aluminum
(x200)

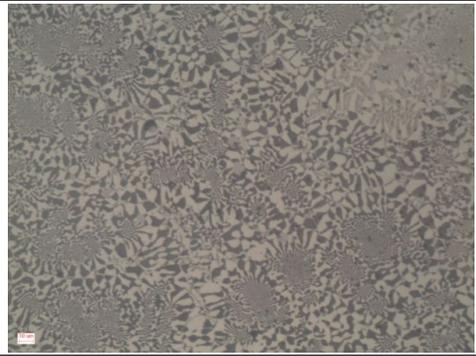


Fig. 3.16 Microstructure of TB-200 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x200)

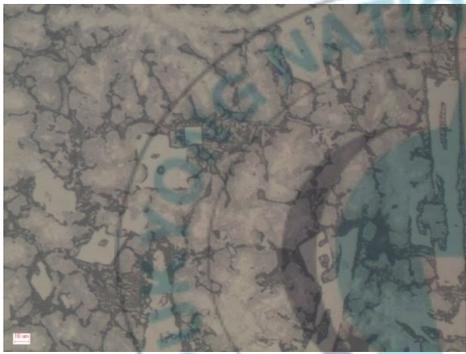


Fig. 3.17 Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Unplated aluminum
(x200)

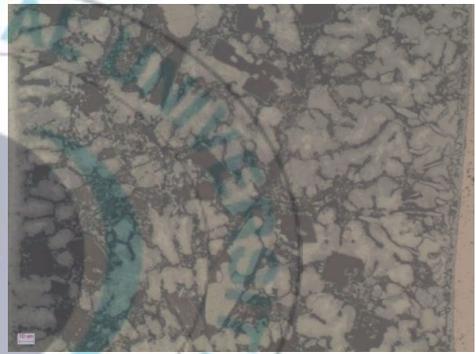


Fig. 3.18 Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Zincated aluminum
(x200)

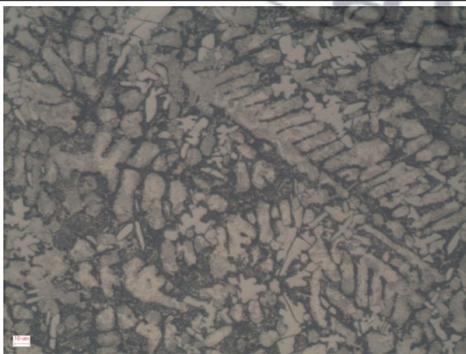
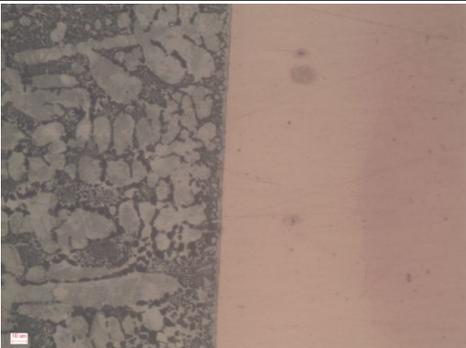
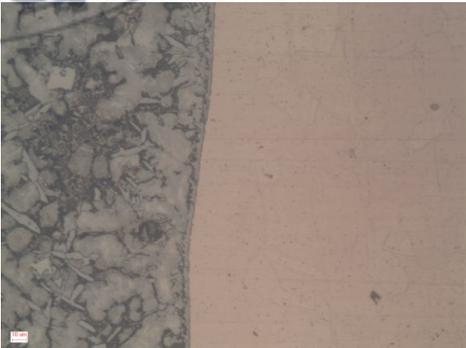


Fig. 3.19 Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Nickel-plated aluminum
(x200)



Fig. 3.20 Microstructure of ZA-3 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x200)

	
<p>Fig. 3.21 Aluminum side ; A-633 Copper and Unplated aluminum (x200)</p>	<p>Fig. 3.22 Copper side ; A-633 Copper and Unplated aluminum (x200)</p>
	
<p>Fig. 3.25 Aluminum side ; TB-200 Copper and Unplated aluminum (x200)</p>	<p>Fig. 3.26 Copper side ; TB-200 Copper and Unplated aluminum (x200)</p>
	
<p>Fig. 3.25 Aluminum side ; TC-150 Copper and Unplated aluminum (x200)</p>	<p>Fig. 3.26 Copper side ; TC-150 Copper and Unplated aluminum (x200)</p>

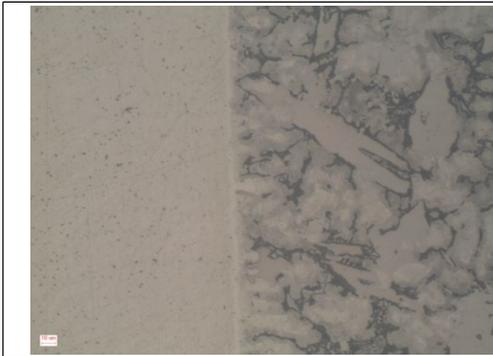


Fig. 3.27 Aluminum side ; ZA-3
Copper and Unplated aluminum
(x200)

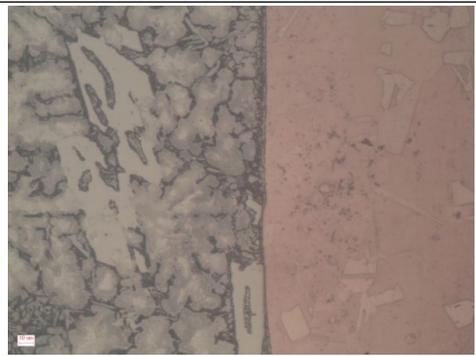


Fig. 3.28 Copper side ; ZA-3
Copper and Unplated aluminum
(x200)



Fig. 3.29 Porosity of A-633 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x200)

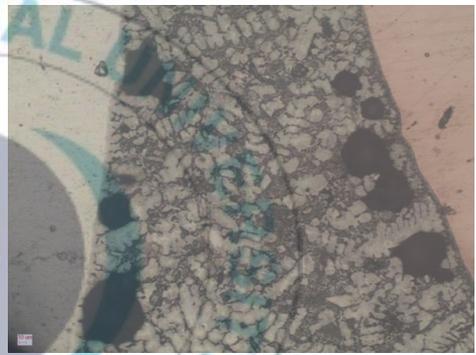


Fig. 3.30 Porosity of A-665 ;
Copper and Zincated aluminum
(x100)

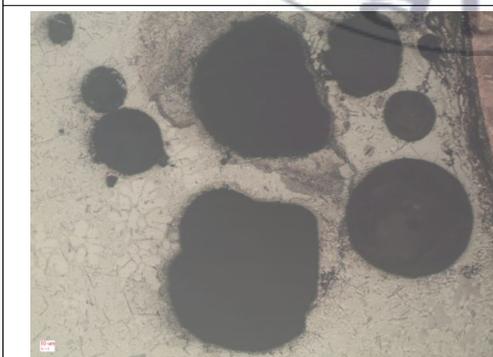


Fig. 3.31 Porosity of TB-200 ;
Copper and Nickel-plated aluminum
(x200)



Fig. 3.32 Porosity of TC-150 ;
Copper and Unplated aluminum
(x200)

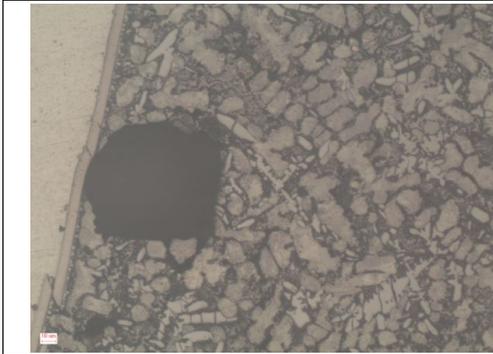


Fig. 3.33 Porosity of ZA-3 ;
Copper and Nickel-plated aluminum
(x200)

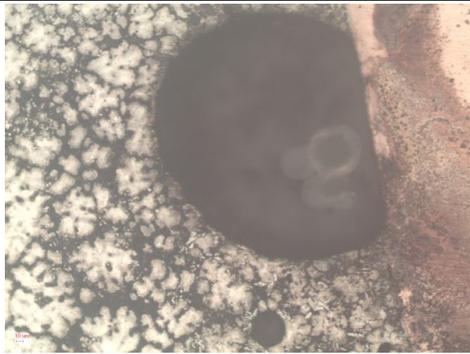


Fig. 3.34 Porosity of TC-150 ;
Copper and Copper-plated aluminum
(x100)



Fig. 3.35 Crack of TB-200 ;
Copper and Zincated aluminum
(x500)



Fig. 3.36 Porosity of TC-150 ;
Copper and Zincated aluminum
(x500)

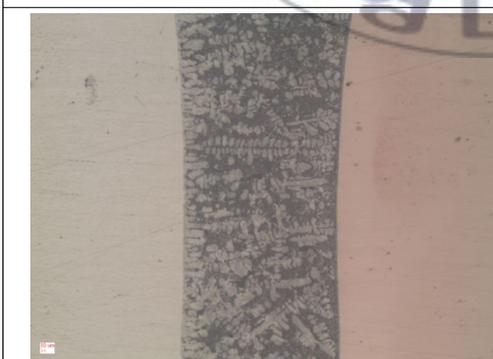


Fig. 3.37 Crearance of A-633 ;
Copper and Unplated aluminum
(x50)



Fig. 3.38 Crearance of TB-200 ;
Copper and Unplated aluminum
(x50)

3.3 접합부 삽입재의 인장시험 결과

구리와 알루미늄 이종재 접합부의 인장시험을 실시함으로 접합부의 신뢰성을 평가하였다. 인장시험은 Fig. 3.39와 같은 Testometric사의 Universal Testing Machine을 사용하였다. 조건은 하중 1ton에 5mm/s의 속도로 인장을 하였다. 각각의 도금된 시편에 5종의 삽입재를 이용하여 접합을 한 후 인장시험을 실시하였다. 각각의 시편 3개를 시험하여 그 평균값을 구해보았다. 인장시험을 할 시편의 단면적은 균일하지 않아 단위면적당 하중이 아닌 파단될 때까지의 최대 하중을 적용하였다.

Fig. 3.40에서 Fig. 3.44는 각 시편의 파단하중을 나타낸다. 접합하지 않은 구리와 알루미늄의 최대 파단하중은 각각 423Kgf, 489.9Kgf이었다. 모든 시편이 모재인 구리보다 낮은 하중에서 파단이 되었다. 이는 접합된 시편이 모재가 아닌 접합부에서 끊어진 것을 의미한다. 하지만 실제 파단의 양상의 이것과는 달랐다. Fig. 3.45에서 Fig. 3.49는 시편의 파단모습을 보여준다.

접합 후 파단의 모습을 보면 대부분의 경우 접합부 이외의 구리 부분에서 파단이 되는 매우 바람직한 결과가 얻어졌다. 이와 같이 접합부에서 파단되지 않는 주요한 이유 중 하나는 구리 파이프의 두께가 얇고 상대적으로 알루미늄의 두께가 두껍기 때문이다. 또 다른 이유는 가열 조건이다. 접합과정 중 가열에 의해 가공경화 되어 있는 구리가 연화가 되었고 이로 인해 강도의 차이가 생김을 알 수가 있다. 즉, 가열시간이 길어지면 길어질수록 연화되는 정도가 커지고 이에 따라 강도의 차이가 나타날 것이다. 이는 접합 시 가열시간이 짧아질수록 강도는 높아질 것이라 사료된다.

인장시험의 결과를 보면 표면처리에 따라 강도 달라짐을 알 수가 있다. A-633 삽입재의 경우 니켈을 도금하였을 때 강도가 가장 높았고, A-665

의 경우에는 오히려 도금을 한 것의 강도가 더 낮았다. 또한 A-633이나 A-665 삽입재의 경우 아연을 도금한 것의 강도가 가장 낮았으며 다른 3종의 삽입재는 도금 종류에 따른 강도에는 큰 차이가 없었다. 또한 Fig. 3.47처럼 표면처리를 하지 않는 시편에 TB-200 삽입재를 사용했을 때 접합부에서 파단이 되는 것을 알 수 있었다. 이 외에는 모든 시편이 모재에서 파단이 일어났기 때문에 바람직한 삽입재라고 사료된다.



Fig. 3.39 Universal Testing Machine

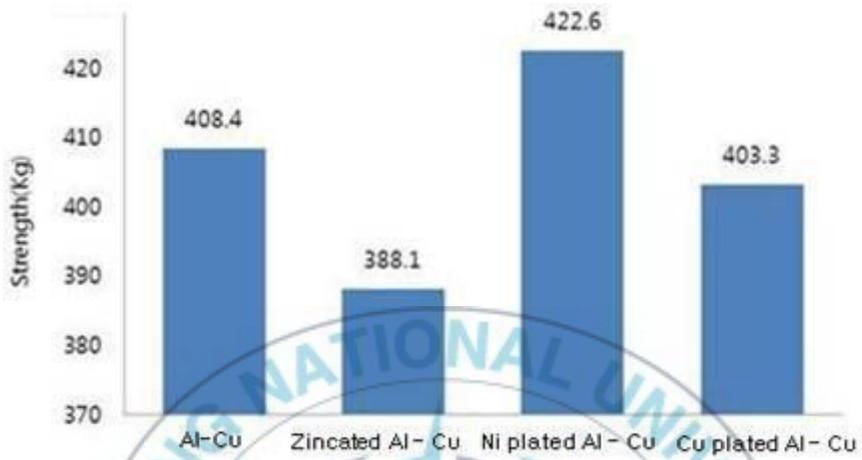


Fig. 3.40 Tensile strength of sample(Filler metal, A-633)

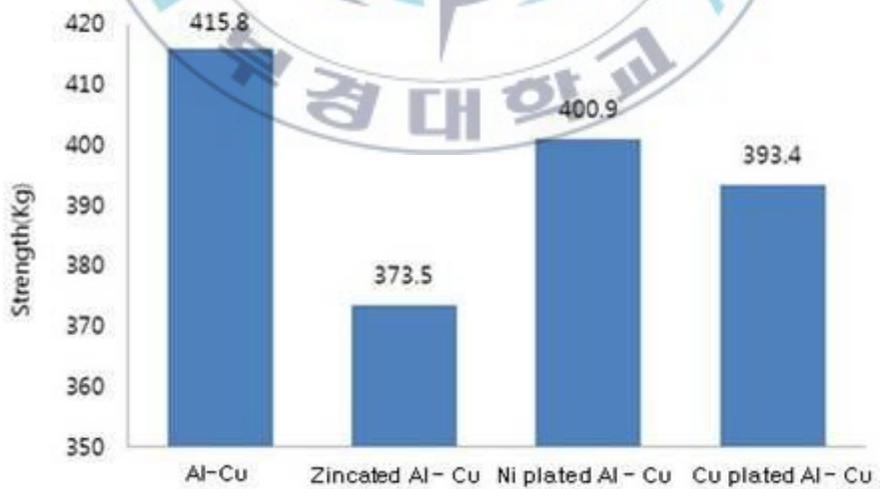


Fig. 3.41 Tensile strength of sample(Filler metal, A-665)

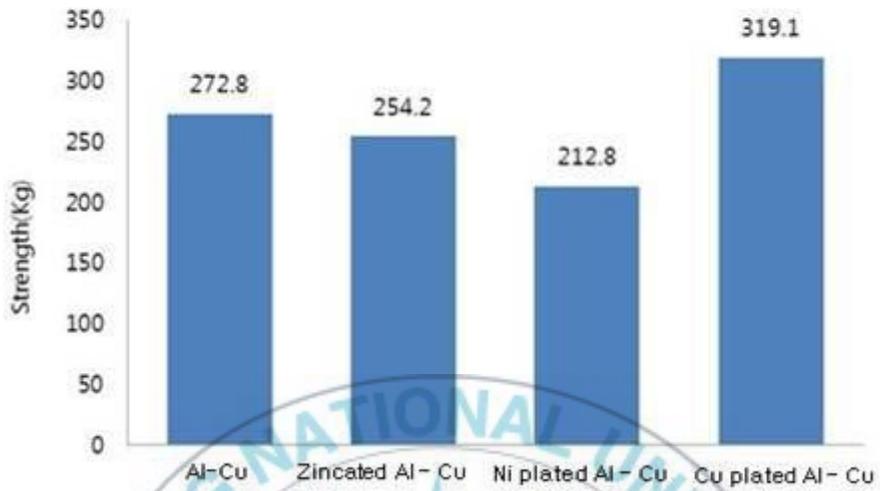


Fig. 3.42 Tensile strength of sample(Filler metal, TB-200)

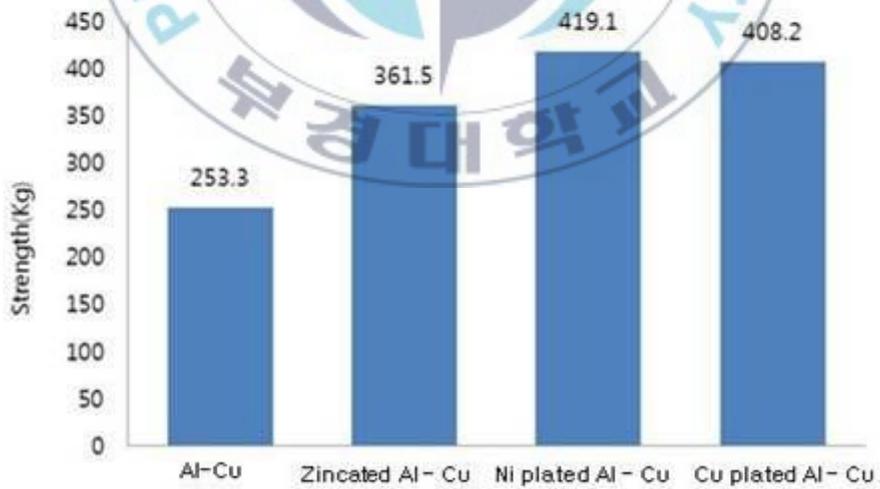


Fig. 3.43 Tensile strength of sample(Filler metal, TC-150)

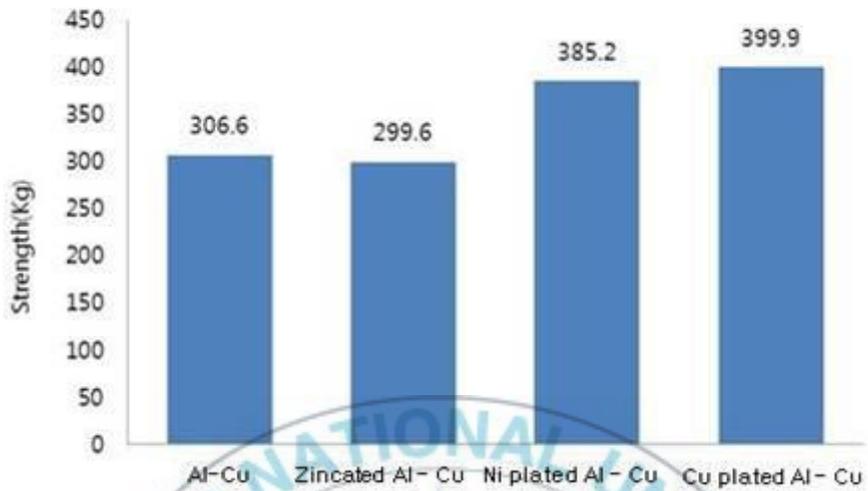


Fig. 3.44 Tensile strength of sample(Filler metal, ZA-3)

Sample	Fracture appearance	Fracture location
Al-Cu		Cu Cu Cu
Zincated Al-Cu		Cu
Ni plated Al-Cu		Al
Cu plated Al-Cu		Cu Cu Cu

Fig. 3.45 Fracture of sample ; A-633

Sample	Fracture appearance	Fracture location
Al-Cu		Cu Cu Cu
Zincated Al-Cu		Cu Cu
Ni plated Al-Cu		Cu Cu Cu
Cu plated Al-Cu		Cu

Fig. 3.46 Fracture of sample ; A-665

Sample	Fracture appearance	Fracture location
Al-Cu		Cu Cu Joints
Zincated Al-Cu		Cu Cu
Ni plated Al-Cu		Cu Cu Cu
Cu plated Al-Cu		Cu

Fig. 3.47 Fracture of sample ; TB-200

Sample	Fracture appearance	Fracture location
Al-Cu		Cu Cu Cu
Zincated Al-Cu		Cu
Ni plated Al-Cu		Cu Cu Cu
Cu plated Al-Cu		Cu

Fig. 3.48 Fracture of sample ; TC-150

Sample	Fracture appearance	Fracture location
Al-Cu		Cu Cu Cu
Zincated Al-Cu		Cu
Ni plated Al-Cu		Cu Cu Cu
Cu plated Al-Cu		Cu

Fig. 3.49 Fracture of sample ; ZA-3

3.4 삽입재의 EPMA 측정 결과

삽입재가 용융 후 응고를 하면서 접합부의 조성적인 특징이 강도에 미치는 영향을 조사하기 위해 EPMA(Electrone Probe X-ray Microanalyzer)를 분석하였다. 구리와 알루미늄은 Fig. 3.50과 같이 서로간에 다양한 금속간 화합물이 형성된다. 금속간 화합물은 경도가 높고 취성적이기 때문에 접합부에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이 중 특히 θ 상인 Al_2Cu 는 구리-알루미늄 접합부의 물성을 저해하는 중요한 요소가 된다. Fig. 3.51에서 Fig. 3.55는 표면처리를 하지 않는 구리와 알루미늄을 5종의 삽입재료 접합한 접합부의 EPMA 점분석 결과이다.

Fig. 3.51은 A-633 삽입재로 접합한 접합부의 점분석 결과이다. 응고조직인 Dendrite가 존재하며 흰색의 2상이 발견되었다. EPMA 측정결과 Dendrite 부분은 Al(93.3%), Cu(2.2%), Zn(4.4%)로 나타났고 흰색의 제2상은 Al(50.8%), Cu(39.83%), Zn(9.3%)가 나타났고, 특이점은 발견되지 않았다.

Fig. 3.52는 A-665 삽입재로 접합을 한 접합부의 점분석 결과이다. A-633과 같이 응고조직이 발견되었으며 간헐적으로 흰색의 제2상이 발견되었다. 응고조직의 경우 Al(85.0%), Cu(2.5%), Zn(12.4%)로 나타났고 흰색의 제2상은 Al(66.4%), Cu(31.8%), Zn(7.1%)로 나타났다. 이것의 조성으로 보아 Al_2Cu 로 보여지며 전체적으로 소량 존재함을 알 수 있었다.

Fig. 3.53은 TB-200 삽입재로 접합을 한 접합부의 점분석 결과이다. TB-200의 경우 3개의 상이 존재를 하였다. 첫 번째로 간헐적으로 보이는 회색의 상의 조성은 Al(80.3%), Cu(6.0%), Si(13.5%)로 나타났고 두 번째 흰색의 상은 Al(67.9%), Cu(31.3%), Si(0.6%)로 나타났다. 알루미늄과 구리의 조성은 Al_2Cu 에 가까우며 다량의 Al_2Cu 가 존재함을 알 수 있었다.

또한 검은색의 모재의 조성은 Al(97.1%), Cu(2.0%), Si(0.5%)로 나타났다. 또한 TB-200은 구리와 의 접합면이 깨끗하지 못함을 Fig. 3.56을 통해 알 수 있었다.

Fig. 3.54는 TC-150 삽입재로 접합을 한 접합부의 점분석 결과이다. 이 경우 각진 상들이 다수 발생하였다. 이 각진 흰색의 상들의 조성은 Al(66.7%), Cu(31.3%), Zn(1.8%)이었으며, 이에 따라 Al_2Cu 상이 생성된 것으로 사료된다. 또한 응고조직인 모재의 경우 Al(87.1%), Cu(2.8%), Zn(10.0%)로 나타났다.

Fig. 3.55의 경우는 ZA-3 삽입재의 접합부 모습이다. ZA-3의 경우 크고 작은 각진 상들이 다량 생성되었고 이들의 조성은 Al(67.2%), Cu(30.7%), Zn(1.9%)로 역시 Al_2Cu 상이 발견되었다. 모재의 경우 Al(87.6%), Cu(2.3%), Zn(10.0%)로 나타났다.

A-633을 제외한 4종의 삽입재에서 금속간 화합물인 Al_2Cu 상이 발견이 되었다. 제 2 장의 Table 2.2를 보면 삽입재에는 ZA-3를 제외한 4종의 삽입재에는 구리가 첨가되어 있지 않다. ZA-3의 경우에도 소량 첨가되어 있다. 그러나 EPMA의 결과 Al_2Cu 상이 발견됨을 알 수 있었다. 또한 TB-200을 제외한 4종의 삽입재의 알루미늄 첨가량은 높지 않다. 그러나 많은 양의 알루미늄이 검출 되었다. 이는 크게 2가지 관점에서 그 이유를 찾을 수 있다.

첫 번째로 Erosion 현상이다. 이는 접합 중 접합 온도가 높아 모재가 일부 녹아 들어가는 것을 말한다. Fig. 3.57은 브레이징을 한 후의 Erosion 현상을 잘 보여준다. 왼쪽이 알루미늄이고 오른쪽이 구리 그리고 가운데가 삽입재를 나타낸다. A-633의 경우 알루미늄 부분이 약간 녹아 있고, TB-200의 경우는 상당량의 알루미늄이 녹아 있다. 이는 가열 시간이 길었기 때문이라 사료된다. TB-200의 용점은 모재인 알루미늄(a3003)의 용

점(643℃)에 가까운 598℃이다. 따라서 그림과 같이 Erosion 현상이 쉽게 일어날 수 있다. 가열 시간이 증가하게 되면 Erosion 현상뿐만 아니라 모재가 연화되어 강도가 더 저하되는 현상이 발생할 수 있다.

두 번째로 확산(Diffusion) 현상이다. 확산은 원자운동에 의한 물질이동 현상이다. 확산의 정도는 Fick's Law를 통해 알 수 있다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (\text{Fick's Second Law})$$

D는 확산계수(Diffusion coefficient)로 단위면적을 통과하는 물질과 농도 기울기 사이의 비례상수이다. 이 식은 시간과 온도의 함수로써 많은 변수가 존재를 한다. 물질 A와 B사이의 확산계수는 $D=X_A D_B + X_B D_A$ 로 나타난다. 확산의 정도를 알기 위해서는 농도, 고유확산계수, 확산속도 등 많은 변수들이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 정량적인 계산은 생략하였다.

크게 이 두 가지의 이유에서 삽입재 내에 구리나 알루미늄 성분이 검출되어 나온 것으로 보인다. 또한 4가지 삽입재에서 검출된 Al_2Cu 상이 강도에 얼마만큼의 영향을 미치는지를 알아보았다. 우선적으로 검출된 Al_2Cu 의 양은 TB-200, TC-150, ZA-3에서 많이 나왔으며 A-665는 소량, 또한 A-633에서는 검출되지 않았다. Fig. 3.58은 표면처리를 하지 않은 시편의 강도를 비교한 것이다. Al_2Cu 상이 미량 존재하는 A-665는 Al_2Cu 상이 없는 A-633과 그 강도가 비슷하게 나왔다. 하지만 이 두 가지의 삽입재에 비해 Al_2Cu 상이 다량 존재하는 TB-200, TC-150, ZA-3의 경우에는 그 값이 낮게 나왔다. 이는 Al_2Cu 의 존재가 강도에 영향을 미친다는 것을 보여준다.

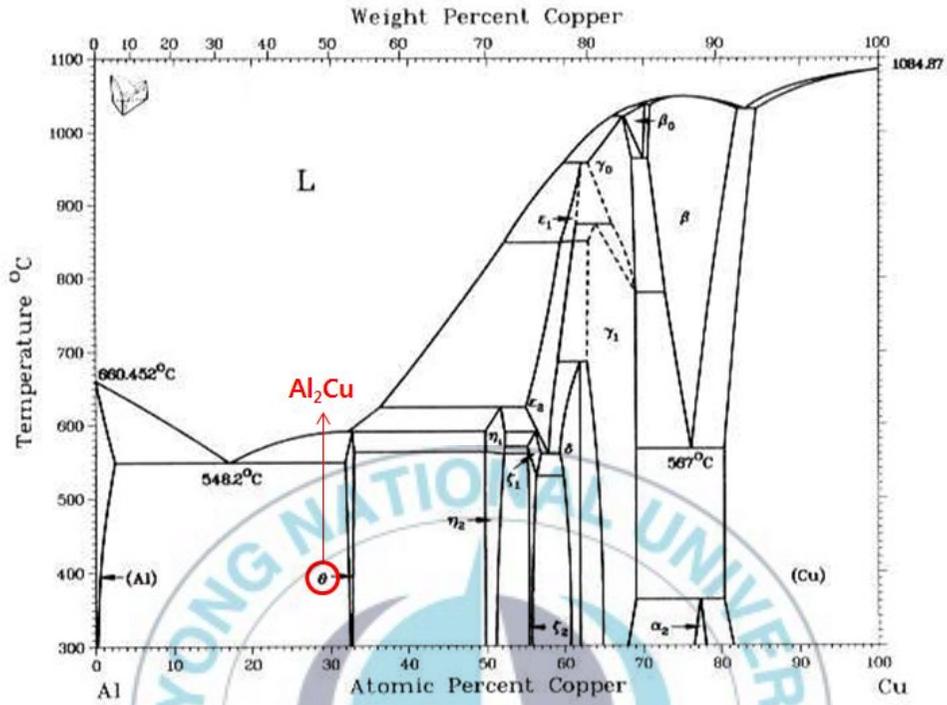


Fig. 3.50 Phase diagram of Copper - Aluminum

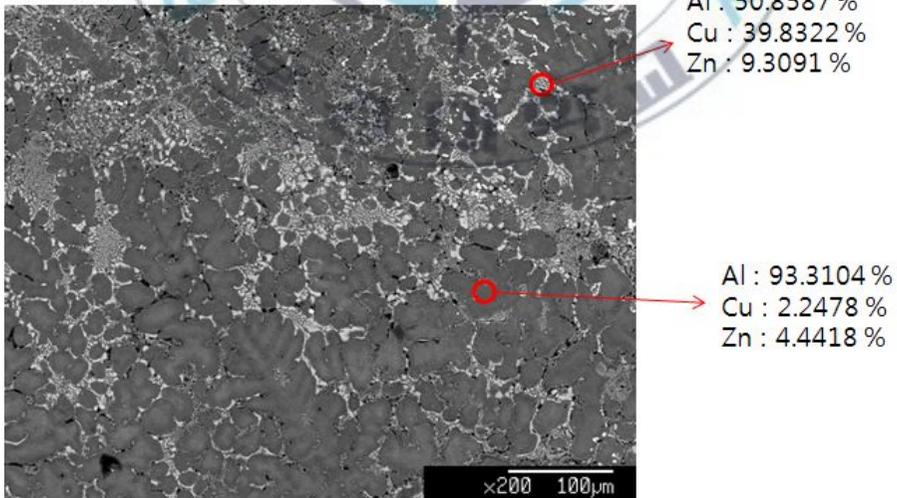


Fig. 3.51 The result of spot analysis method of unplate Al - Cu (A-633, x200)

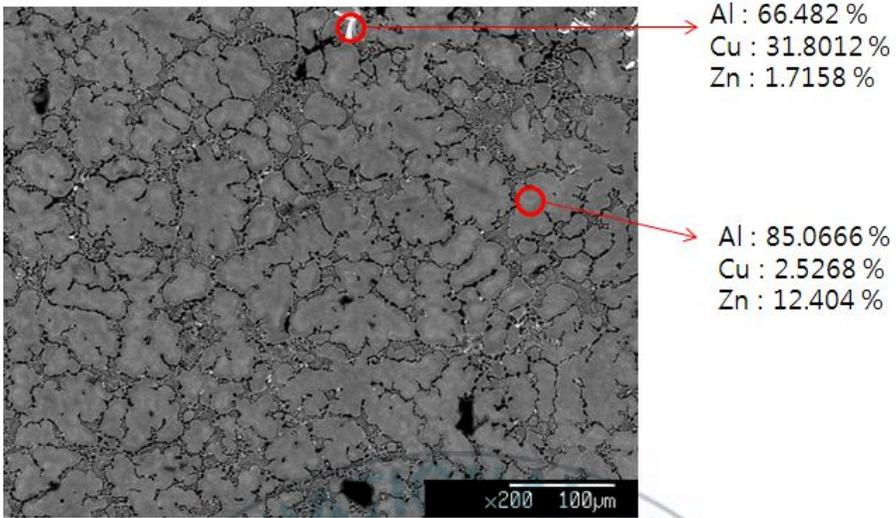


Fig. 3.52 The result of spot analysis method of unplate Al - Cu
(A-665, x200)

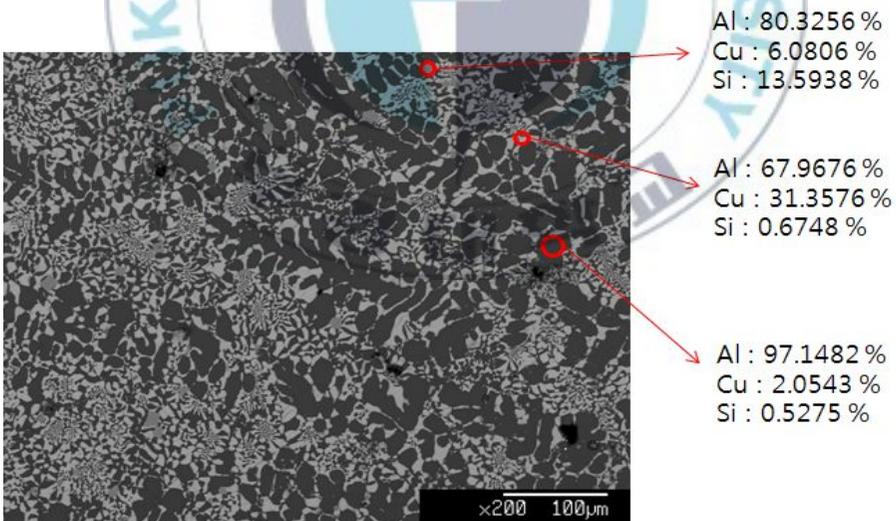


Fig. 3.53 The result of spot analysis method of unplate Al - Cu
(TB-200, x200)

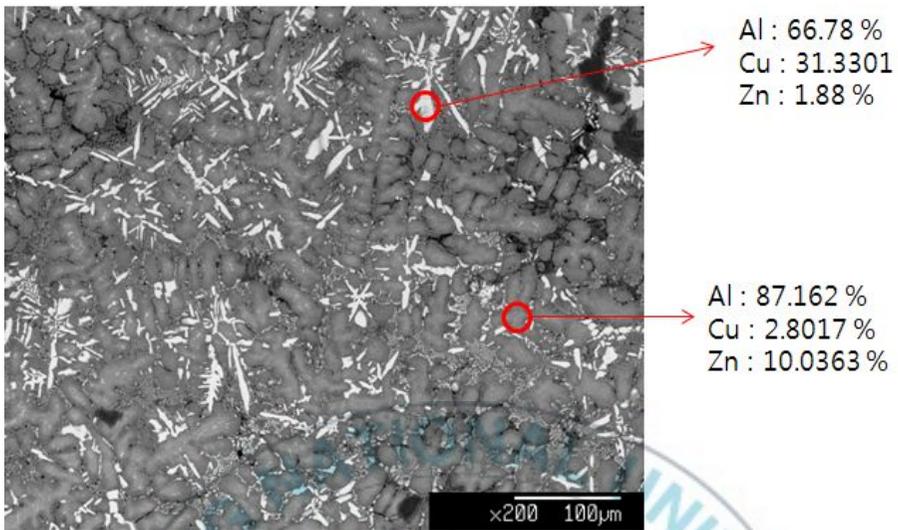


Fig. 3.54 The result of spot analysis method of uncoated Al - Cu
(TC-150, x200)



Fig. 3.55 The result of spot analysis method of uncoated Al - Cu
(ZA-3, x200)

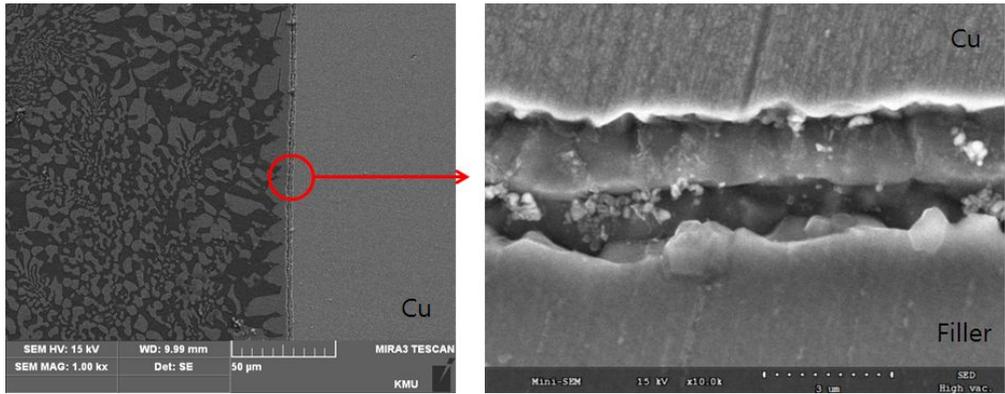


Fig. 3.56 Example of filler metal and Cu's joint which is not connected (TB-200)

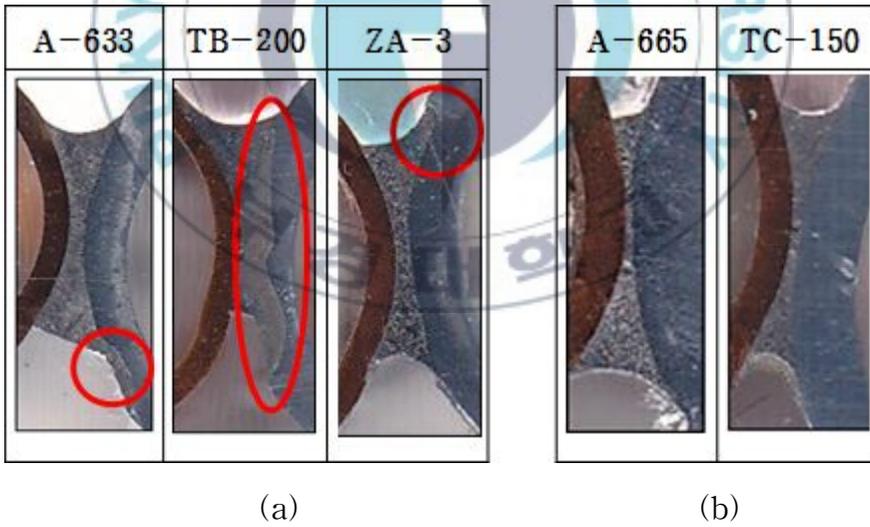


Fig. 3.57 Brazing erosion phenomenon (a : Erosion, b : Not erosion)

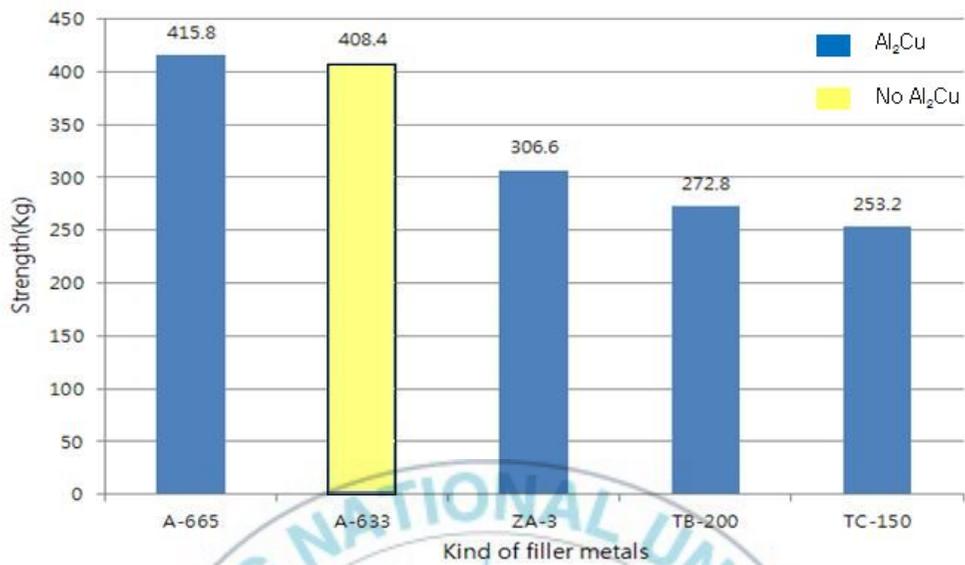
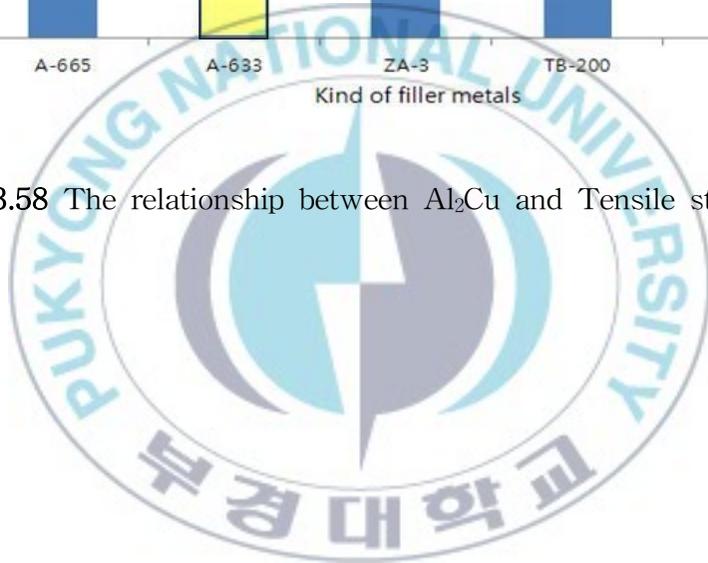


Fig. 3.58 The relationship between Al₂Cu and Tensile strength



제 4 장 결 론

구리와 알루미늄 이종재의 브레이징 특성을 알아보기 위해 알루미늄과 아연의 합금인 A-633, A-665, TC-150, ZA-3 와 알루미늄과 실리콘의 합금인 TB-200 이상 5종의 삽입재를 이용하였다. 또한 알루미늄에 Zincate 처리, Ni도금, Cu도금을 하여 브레이징을 한 후 Wetting특성, 미시조직, 인장시험, EPMA분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 알루미늄(a3003) 시편에 Zincate처리, Ni도금, Cu도금 등의 표면처리를 하여 각종 삽입재에 대한 Wetting 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 반대로 Sn을 도금하였을 때에는 오히려 Wetting 특성이 나빠짐을 알 수 있었다.

2. 구리와 알루미늄 이종재료 접합부를 형성하기 위하여 A-633, A-665, TB-200, TC-150, ZA-3 삽입재 모두 Wetting 특성은 양호하였지만, 접합성에는 상당한 차이가 있었다.

특히, 알루미늄과 실리콘의 합금(TB-200)과 알루미늄과 아연의 합금(ZA-3)의 경우에는 접합부에 균열이 존재하기 때문에 접합에 부적당한 소재인 것으로 사료된다. 특히 TB-200의 경우에는 다른 삽입재에 비해 상대적으로 용점이 높아 긴 접합시간이 필요하고 보다 숙련된 접합 기술이 필요로 하다. 높아진 접합시간으로 인해 접합부가 과열되어 Erosion 현상이 발생이 되고, 열응력에 의해 균열이 발생될 수도 있다.

또한 알루미늄과 아연의 합금(ZA-3)의 경우에는 고상의 플럭스가 채널 형태로 삽입되어 있지만 대기 중에서 보관할 경우 수분이 흡습될 가능성이 커서 접합 전에 건조를 해야 하는 번거로움이 있다. 이와 같은

처리가 불충분할 경우 접합부에 기공이 다수 발생될 가능성도 크고 접합부에 균열이 발생되기도 쉽다.

3. 표면처리를 하지 않은 시편의 접합부에는 Erosion과 확산 현상으로 인해 다수의 Al_2Cu 가 검출되었고 취약한 Al_2Cu 로 인해 강도가 저하됨을 알 수 있었다.
4. 전체적으로 보았을 때 알루미늄과 아연의 이원계 삼입재(A-633, A-665)가 가장 만족스러운 소재임을 알 수 있었다. 이들은 Wetting 특성도 양호하고 접합부의 현미경 조직도 바람직하였다. 또한 접합부의 강도가 표면처리를 하지 않아도 높은 값을 가져 연구에 사용된 5종의 삼입재 중 가장 만족스러운 결과를 보였다.



참고문헌

1. 김상주, 김철환(1988-1989) “金屬擴散論”, 서울 : 淸文閣
2. 김영득, 이성재, 조기천, 이주성(2011) “Al 소재 Filler Dryer 적용을 위한 Al-Cu 공융접합에 관한 실험적 연구”, 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp.927-930
3. 권혁천(2009) “동과 동합금의 이해”, 서울 : 한국철강신문
4. 박종욱(2003) “고체확산”, 대전 : Kaist press
5. 오병욱, 최만호(2003) “브레이징 및 저항용접”, 인천 : 원창출판사
6. 정호신, 엄동석(2006) “용접공학”, 서울 : 문운당
7. 최재열(1965) “金屬擴散”, 서울 : 國民出版社
8. 최종술, 권숙인, 김송희 공역(1990) “금속강도학”, 서울 : 회중당
9. Chunzhi Xia, Yajiang Li, U.A Puchkov, S.A. Gerasimov, Juan Wang(2008) “Microstructure and phase constitution near the interface of Cu/Al vacuum brazing using Al-Si filler metal”, Vacuum 82 799-804
10. Ji Feng, XUE song-bai, LOU Ji-yuan, LOU Yin-bin, WANG Shui-qing(2012) “Microstructure and properties of Cu/Al joints brazed with Zn-Al Filler metals”, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 22 281-287
11. KIM H J, LEE S Y, PAIK K W, KOH K W, WON J H, CHOE S, LEE J, MOON J T, PARK Y J(2003) “Effect of Cu/Al intermetallic compound(IMC) on copper wire and aluminum pad bondability”, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 26(2) 367-374

12. LEE W B, BANG K S, JUNG S B(2005) "Effects of intermetallic compound on the electrical and mechanical properties of friction Alloys and Compounds, 390(1-2) : 233-241
13. Sidney H.avner, "Introduction to physical metallurgy", New york, McGraw-hill book company
14. WU HY, LEE S Y, WANG J Y(1998) "Solid state bonding of iron-base alloy, steel-brass and aluminum alloy", Journal of Material Processing Technology, 75(1-3) 173-179
15. XIA C Z, LI Y J, PUCHKOV U A, GERASIMOV B S A, WANG J(2008) "Microstructure and phase constitution near the interface of Cu/Al vacuum brazing using Al-Si filler metal", Vacuum, 82(8) 799-804
16. XUE Song-bai, DONG Jian, LV XIAO-chun(2003) "Brazing technology of LY 12 Al-alloy at middle temperature", Transactions of the China Welding Institution, 21(3) : 21-23

감사의 글

인생의 터닝포인트에서 삶을 돌아보니 제게 있어 학위과정의 길은 학문의 길 보다는 어쩌면 인격수양의 과정에 더 가깝지 않았나 싶습니다. 이제 비로소 모든 과정을 마치고 논문의 마지막 마무리를 글로 남기려 하니 옛일이 스쳐 지나가면서 베풀지는 못하고 받기만 한 삶을 반성하게 됩니다. 저를 도와주신 분이 이렇게도 많았음에도 불구하고 일일이 찾아뵙고 감사드리지 못하는 점 용서를 구합니다.

참으로 부족한 저를 지도해주신 평생의 스승인 정호신 교수님의 은혜에 고개 숙여 깊이 감사드립니다. 바쁘신 가운데 초라한 논문을 맡아서 열과 성으로 심사해 주신 박찬 교수님, 최희락 교수님의 세심한 배려 덕분에 그나마 비로소 논문으로서의 틀을 갖추게 되어 대단히 감사하게 생각합니다.

옆에서 힘들고 귀찮은 일도 마다하지 않고 도와준 실험실 후배 황지백, 홍무영, 박광태, 김영주에게 고맙다는 말을 전합니다. 그리고 많은 조언과 힘이 되어준 김태균 선배님, 황석환 선배님, 박준영 선배님에게 감사의 마음을 전합니다.

힘들 때마다 힘이 되어준 소중한 벗 윤진우, 김현민, 이정섭, 이휘웅, 정성수, 정성우, 이정호 고맙네 친구들!! 또한 타 실험실에서 실험에 도움을 준 여정규, 강지현, 이정수, 김정민, 정해근, 박종원, 송현재, 김재훈, 김귀량, 조해인, 남규미, 황진량, 김영진, 정제기 내 사랑스런 동기 영민이, 다일이, 혁관이, 우철아 고맙다.

마지막으로 제가 하고자 하는 일에는 언제나 믿음을 주시고 사랑으로 격려 해 주신 아버지, 어머니와 저보다 더 멀리보고 조언해준 엄재은, 엄재희 두 누님에게 감사드립니다. 소중한 가족들 사랑합니다.

이 글에는 다 쓰지 못했지만 저에게 많은 도움을 주시고 격려해주신 분들에게 감사의 마음을 전합니다. 앞으로 학교라는 울타리를 벗어나 사회에 나가서도 고마운 분들의 감사한 마음을 항상 생각하면서 더더욱 발전하고 나아가는 엄대현이 되도록 노력하겠습니다. 감사합니다.

2012년 12월

엄 대 현

