

## Ag 코팅한 W-Ag 전기접점/Cu 모재간의 브레이징 접합 특성

강현구 · 강윤성 · 이재성\*  
한양대학교 금속재료공학과

### Brazing Adhesion Properties of Ag Coated W-Ag Electric Contact on the Cu Substrate

Hyun-Goo Kang, Yun-Sung Kang and Jai-Sung Lee\*

Department of Metallurgy and Materials Science, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

(Received December 20, 2005; Accepted February 6, 2006)

**Abstract** The brazing adhesion properties of Ag coated W-Ag electric contact on the Cu substrate have been investigated in terms of microstructure, phase equilibrium and adhesion strength. Precoating of Ag layer (3  $\mu\text{m}$  in thickness) on the W-40%Ag contact material was done by electro-plating method. Subsequently the brazing treatment was conducted by inserting BCuP-5 filler metal (Ag-Cu-P alloy) layer between Ag coated W-Ag and Cu substrate and annealing at 710°C in  $\text{H}_2$  atmosphere. The optimum brazing temperature of 710°C was semi-empirically calculated on the basis of the Cu atomic diffusion profile in Ag layer of commercial electric contact produced by the same brazing process. As a mechanical test of the electric contact after brazing treatment the adhesion strength between the electric contact and Cu substrate was measured using Instron. The microstructure and phase equilibrium study revealed that the sound interlayer structure was formed by relatively low brazing treatment at 710°C. Thin Ag electro-plated layer precoated on the electric contact (3  $\mu\text{m}$  in thickness) is thought to be enough for high adhesion strength and sound microstructure in interface layer.

**Keywords :** W-Ag electric contact, BCuP-5, Filler-metal, Brazing, Adhesion test

#### 1. 서 론

각종 스위치나 릴레이, 전자개폐기, 차단기 및 고압 송배전설비 등의 모든 전기기기에 있어 전기회로의 개폐 및 접촉을 기계적으로 행하는 핵심부품 중의 하나인 전기접점재료는 기본적으로 전기적, 열적, 기계적, 화학적 성질을 충족시켜야 하고 낮은 접촉저항, 높은 전기전도도 및 높은 내아크성과 내마모성 등의 특성이 요구된다<sup>1)</sup>. 이러한 전기접점재료의 특성을 만족하는 재료 중에 텅스텐-은(W-Ag)계 복합재료가 우수한 전기전도도, 높은 경도, 내용착성 및 높은 접촉압력에서 강한 내아크성 및 내마모성 등으로 인해 중간부하용 전기접점재료로서<sup>2)</sup> 가장 널리 사용되어 주로 대전류 차단기 및 기중차단기 접점 등 많은

분야에 적용되고 있다. 이러한 복합재료형태의 접점재료는 일반적으로 실제 접촉부위로 노출되는 부분만을 해당재료로 하고 이를 모재금속과 접합하여 사용된다<sup>3)</sup>. 상용의 접점재료는 주로 전기저항용접이나 arc용접 등의 방법을 이용해 모재와 접합하여 사용하는데 이는 후가공이 요구되거나 모재와의 불균일한 접합면을 유발하여 접점재의 특성저하 및 사용수명을 단축하는 주원인이 되고 있다.

따라서 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 모재보다 용융점이 낮은 박판이나 분말형태의 filler-metal을 이용하여 접점재료와 모재의 접합을 용이하게 할뿐 아니라 균일한 접합계면을 유발하여 전기접점과 모재간의 접합강도를 향상시킬 수 있는 브레이징 접합공정이 이용되고 있다<sup>4,5)</sup>. 브레이징을 위한 전

\*Corresponding Author : [Tel : +82-31-400-5225; E-mail : jslee@hanyang.ac.kr]

기접점은 전기접점재료의 접합표면에 filler-metal이 적층되어있는 형태로 제조가 되는데 이러한 형태의 전기접점은 모재와의 접합을 위한 브레이징 공정이 단순하고, 후처리 공정이 불필요해 복잡하고 정밀한 기기의 접합에 적용할 수 있는 등 많은 장점과 제품 생산 공정단가를 낮추는 효과가 있다.

W-Ag 전기접점 또한 filler-metal이 적층된 형태로 제작되는데 filler-metal은 Ag와 BCuP-5(Cu-9Ag-10P, at%) 합금을 이용하여 복층 형태로 제조한다. Ag층은 상호 젖음성이 좋지 않은 W-Ag 전기접점과 BCuP-5 합금간의 용이한 접합과 내아크성 향상을 목적으로 사용되며, 용융점이 비교적 낮으며, 접점의 Ag층, 모재인 Cu와 젖음성이 우수하고, 브레이징시에 화학적으로 결합하여 접합강도가 우수한 것이 특징이다.

그러나 Ag filler-metal은 냉간압연가공법을 이용하여 접점재료에 적층하는 방법을 주로사용하는데<sup>7)</sup>, 균일한 Ag층을 얻기 위해서 필요 이상의 두께(200~300 μm)를 지나는 Ag층을 형성해야 하며, 압연 후 표면처리과정에서 고가인 Ag의 다량 손실이 발생하게 되므로 제품의 제조단가 상승을 초래하게 된다. 또한, BCuP-5층 적층을 위한 열처리 조건은 650~800°C 범위에서 생산현장의 경험적 노하우에 의존하고 있으며 그 기준이 알려져 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 전기접점재료의 제조공정단가 상승의 주원인이 되는 Ag filler-metal의 사용량을 전기도금공정을 통해 최소화하였고 균일한 적층으로 인한 접점재료의 특성향상을 평가하여 적용 가능성을 살펴보았다. 그리고 상용 접점재료의 미세구조를 분석하여 확산 profile과 확산수식을 통해 BCuP-5 열처리 조건에 대한 접근을 시도하였고 Ag-Cu-P 삼원상태도, Ag-Cu 상태도를 이용한 열역학적인 분석을 통하여 W-Ag 전기접점재료에서 filler-metal의 적층 공정에 대한 제조공정을 정립하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 상용접점 미세조직 및 Cu 원자의 확산 profile 분석

상용시편의 미세조직 분석과 Ag층에서의 Cu 조성의 profile을 통해 BCuP-5 열처리 조건을 유추함으로써 브레이징 품질 제어 및 신뢰성 확보에 기여할

수 있을 것이다. 이를 위해, 주사전자현미경(SEM)과 Energy-Dispersive X-ray Spectrometer(EDS)를 통해 상용접점의 미세조직 및 조성을 분석하였고, 이를 본 실험에서 얻어질 BCuP-5층의 미세조직과 비교 대상으로 하였다.

BCuP-5층 형성을 위한 열처리 중 BCuP-5의 Cu 원자는 Ag층으로 확산된다. 따라서, 710°C 이상의 온도에서 Ag층이 고상으로 존재한다는 가정하에 순수한 Ag 내에서 Cu 원자의 확산계수를 이용해 열처리 온도에 따른 시간 그래프를 예측할 수 있다. 상용 접점의 단면을 EDS 조성분석하여 Ag층 내에서 Cu 원자의 확산거리를 측정하였다.

### 2.2. Ag, BCuP-5 filler-metal의 적층

기중 차단기(ACB)용으로 널리 사용되고 있는 W-40 wt%Ag 전기접점을 본 실험의 초기접점으로 사용하였다. BCuP-5 합금분말은 브레이징용 페이스트(한국켄테크)를 아세톤(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)에 세척하여 유기물이 제거된 BCuP-5 합금분말을 얻었다. 얻어진 분말은 평균 58 μm 입도의 원형 입자로 구성되어 있었다.

전기도금을 위해 Ag(CN), KCN 전해질을 포함하고 있는 전기도금용 전해조를 사용하였으며, 양극으로 Ag plate(99.9%)를 음극으로는 초기접점을 사용하였다. 전원 공급기를 이용하여 5A의 전류를 20분간 가하여 전기접점에 Ag 전기도금을 실시하였다. 전기도금된 전기접점을 아세톤에 담가 5분간 초음파 세척하여 접점 표면부의 불순물을 제거하였다.

세척된 전기접점의 접합표면에 400 mesh로 체질한 BCuP-5 분말을 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)과 부피비 1:1로 혼합하여 슬러리 형태에서 도포하였다. 이 접점을 로에 장입하여 수소분위기(99.999%)에서 승온속도 30°C/min으로 350°C까지 승온 후 10°C/min으로 710°C까지 승온하여 잔류 유기물을 제거하였다. 710°C에서 30초간 열처리를 실시하여 전기접점의 Ag층 위에 filler-metal BCuP-5를 적층하였다.

### 2.3. 미세조직 관찰

Ag층과 BCuP-5층이 형성된 W-Ag 전기접점을 CCD 카메라를 이용하여 접점 접합면의 Ag층 위에서 BCuP-5의 젖음상태를 관찰하였고, 접점의 단면을 샌드페이퍼와 diamond suspension(BUEHLER)을 이용하여 연마하였다. 연마된 단면의 미세조직을 광학

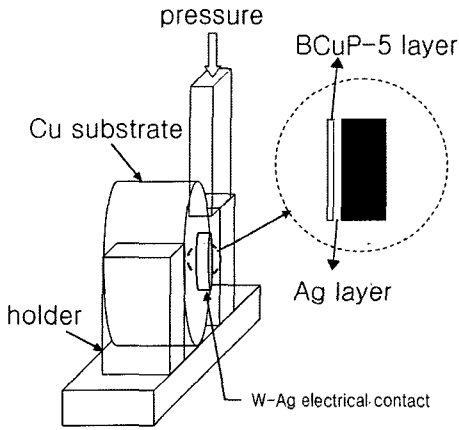


Fig. 1. Schematic illustration of the adhesion test equipment.

현미경(optical microscope) 및 주사전자현미경(SEM, JEOL Co., JSM-6330F)을 이용하여 단면의 구조와 filler-metal의 미세구조를 관찰하였다.

2.4. 접합강도 측정

전기접점을 봉 형태의 Cu 모재(314 mm<sup>2</sup>×20 mm)와 브레이징 접합하여 접합강도 측정용 시편으로 사용하였다. 이때, 브레이징 조건은 수소분위기(99.999%)에서 10°C/min의 승온속도로 710°C까지 승온 후 냉각하였다. 준비된 시편을 그림 1과같이 만능시험기((주)R&B, RB 301 UNITECH T)의 하부홀더에 Cu 모재와 전기접점이 가로로 놓이게 고정시키고 상부의 펀치(10×10 mm)를 이용하여 시편의 전기접점 부위에 하중을 가했다. 하중으로 인해 전기접점과 Cu 모재의 접합계면에 파괴가 일어나면 압력을 제거하도록 설정하였다. 접합계면 파괴시의 압력을 이용해 단위면적당 접합강도를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 상용접점 미세조직 및 BCuP-5 열처리 조건 설정

그림 2는 상용접점의 단면 모식도와 BCuP-5 filler-metal층의 단면을 주사전자현미경으로 관찰한 미세구조이다. BCuP-5층은 조정 Cu-rich, Ag-rich상과 Cu-rich, Ag-rich, Cu<sub>3</sub>P상이 lamella구조를 이루는 공정상으로 구성되어 있으며, EDS를 통해 분석된 각 상들의 조성을 표 1에 나타내었다.

그림 3(a)는 상용접점의 SEM 단면사진을 보여준다. s지점은 BCuP-5층이고 f지점은 Ag층을 나타낸다. 그림 3(b)는 그림 3(a)의 s지점부터 f지점까지의 3 μm 길이에 대한 EDS 조성분석 결과이다. 그림 3(b)에서 볼 수 있듯이 BCuP-5층의 Cu 원자는 Ag층으로 약 1 μm정도 확산되었다. 원자의 확산거리 d는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d = 2\sqrt{Dt} \rightarrow D = \frac{d^2}{4t} \tag{1}$$

여기서, t는 열처리 시간이고 D는 Cu의 확산계수이다. D는 다음과 같이 Arrhenius 식으로 표현할 수 있

Table 1. Analyzed composition of BCuP-5 layer on commercial W-Ag electric contact by EDS

	phase	composition (at%)		
		Cu	Ag	P
primary crystalline	①	97.41	2.59	-
	②	10.59	89.41	-
eutectoid phase	④	97.83	2.17	-
	⑤	14.77	85.23	-
	⑥	73.97	-	26.03

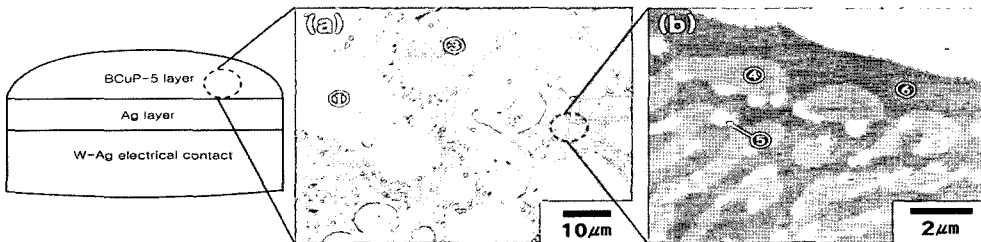


Fig. 2. Schematic illustration of electric contact having filler-metal layers and SEM micrographs of BCuP-5 layer on commercial W-Ag electric contact; (a) low-magnification and (b) high-magnification of eutectoid phases.

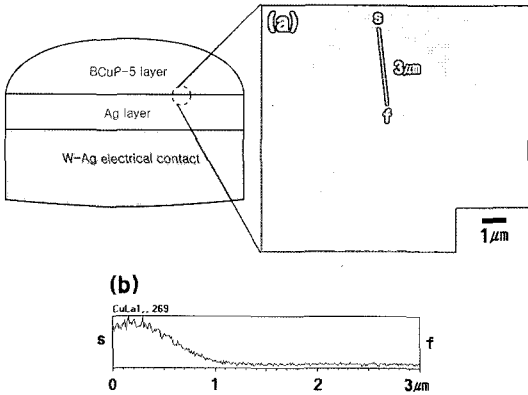


Fig. 3. Schematic illustration of electric contact having filler-metal layers and (a) SEM micrograph of interface between Ag and BCuP-5 layer on commercial W-Ag electric contact and (b) EDS line analysis from BCuP-5 layer into Ag layer as marked by s and f.

는데,

$$D = D_0 \exp(-Q/RT) \quad (2)$$

$D_0$ 는 순수한 Ag내에서의 Cu의 frequency factor로  $1.23 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $Q$ 는 확산의 활성화 에너지로  $193 \text{ KJ/mol}$ ,  $R$ 은 기체상수  $8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 이고  $T$ 는 열처리 온도이다<sup>8)</sup>.

식 (1)과 식 (2)를 정리하면 다음 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$T = \frac{Q}{R} \times \frac{1}{\ln\left(\frac{d^2}{4D_0t}\right)} \quad (3)$$

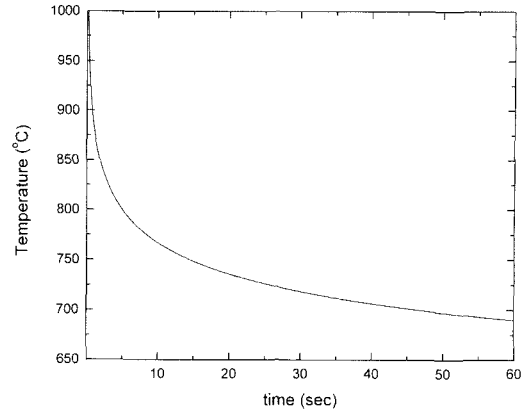


Fig 4. Brazing temperature as a function of brazing time with  $1 \mu\text{m}$  of Cu diffusion distance in Ag layer.

식 (3)으로부터 각 온도에 대한 열처리 시간을 예상하는 그래프를 그릴 수 있다. Cu 원자의 확산거리가  $1 \mu\text{m}$ 일때 시간에 따른 온도 그래프를 그림 4에 나타내었다. 일반적으로 BCuP-5의 용융범위(melting range)는  $650\sim 800^\circ\text{C}$ , 작업온도(working temperature)는  $710^\circ\text{C}$ 로 알려져 있다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는  $710^\circ\text{C}$ 를 filler-metal 적층 열처리 온도로 정하고, 그림 4의 열처리 시간에 따른 온도 그래프를 바탕으로 30초간 열처리를 실시하였다.

### 3.2. Filler-metal(Ag, BCuP-5)의 적층

그림 5(a)는 전기도금법을 이용해 Ag 도금층을 형성시킨 W-Ag 전기접점이며, 그림 5(b)는 Ag가 도금된 접점의 단면을 광학현미경으로 관찰한 결과이다.

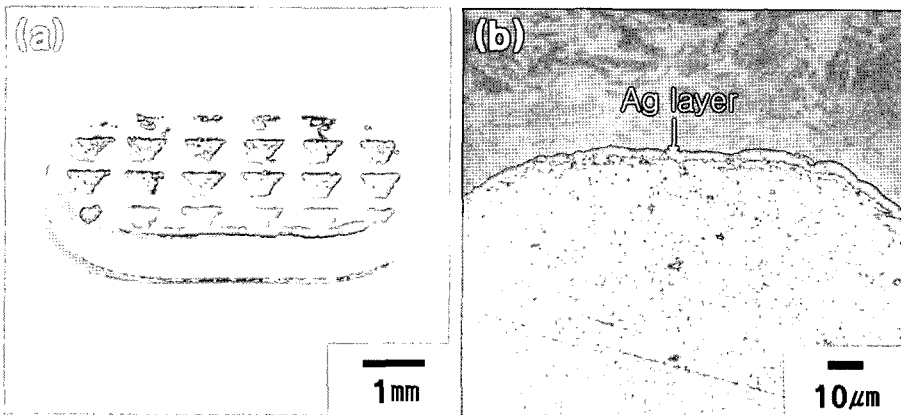


Fig. 5. Ag coated W-Ag electric contact; (a) an external appearance and (b) microstructure as determined by optical microscope.

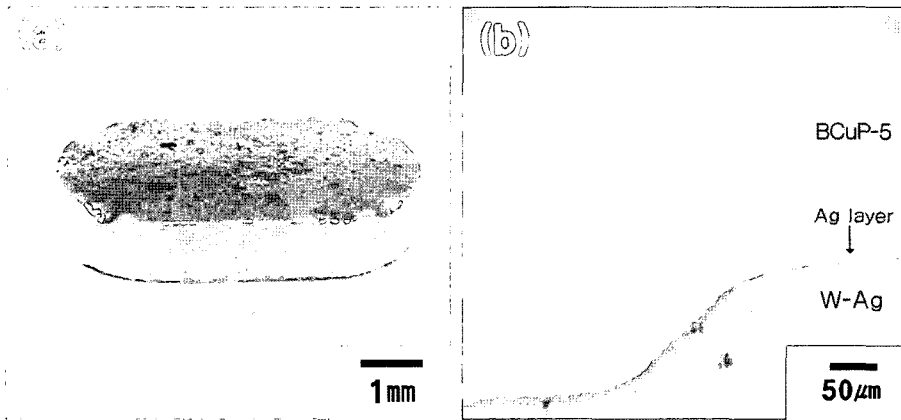


Fig. 6. W-Ag electric contact having filler-metal layers produced in this study; (a) an external appearance and (b) micrograph as determined by optical microscope.

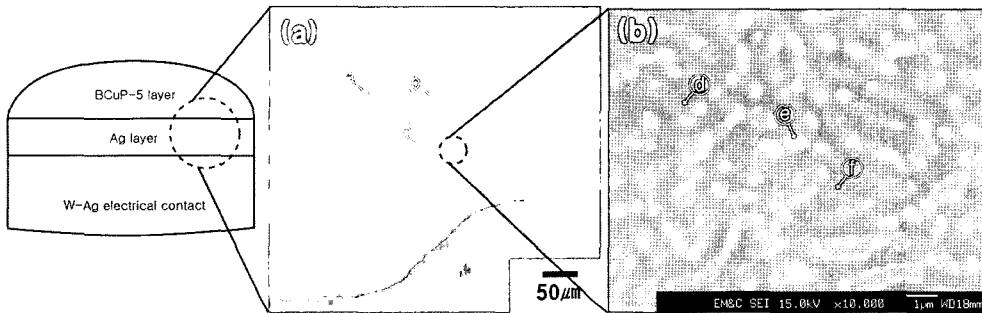


Fig. 7. Schematic illustration of electric contact having filler-metal layers and micrographs of BCuP-5 layer produced in this study as determined by OM and SEM; (a) low-magnification and (b) high-magnification of eutectoid phases.

그림 5(b)에서 볼 수 있듯이 약  $3\ \mu\text{m}$ 의 Ag층이 접점에 균일하게 젖어있음을 확인할 수 있었다. 기존에 압연가공법을 이용해 형성시킨 Ag층의 두께가  $200\sim 300\ \mu\text{m}$ 인 것에 비해 전기도금법을 이용해 형성시킨 Ag층은 기존의 1/100에 해당되는  $3\ \mu\text{m}$ 의 두께를 지닌다.

그림 6(a)는 Ag층위에 filler-metal BCuP-5층을 적층시킨 W-Ag 전기접점이며, 그림 6(b)는 그 단면을 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 그림 6(b)의 미세조직에서 관찰되듯이, Ag층과 BCuP-5층이 열처리 후에 용융되어 혼합상을 이루지 않고 각 층의 형태를 유지하고 있음을 확인할 수 있었고, BCuP-5층과 Ag층과의 접합계면도 균일하게 형성된 것으로 보아  $710^\circ\text{C}$ 의 작업온도일 경우, 30초의 열처리 조건이 각 filler-metal의 열처리를 위한 적절한 조건임을 확인할 수 있었다.

### 3.3. Filler-metal BCuP-5층의 미세조직 및 상분석

그림 7(a), (b)는 본 실험에서 제작된 BCuP-5층의 미세조직을 보여주고 있다. 상용접점과 동일한 미세구조로 두 종류의 초정상과 lamella 형태의 세 종류의 상으로 구성된 공정상으로 구성되어 있었다. Cu-Ag-P 삼원상태도, Ag-Cu 상태도를 이용하여 각 상의 최종 조성을 계산하였다. 이를 EDS로 분석된 상용접점의 BCuP-5층의 조성상과 비교하였다. 그 결과 두 초정상은 Cu-rich, Ag-rich상이었으며, 공정상은 lamella 형태의 Cu-rich, Ag-rich,  $\text{Cu}_3\text{P}$ 상으로 구성되어 있는 동일한 미세조직임을 확인하였다.

BCuP-5 합금은 Cu-9Ag-10P(at%)의 조성을 지닌다. 이 조성은 그림 8 Ag-Cu-P 삼원상태도에서 x의 조성을 나타낸다. 초기 x의 BCuP-5는 P의 첨가로 낮아진 용융점으로인해<sup>10)</sup> 약  $780^\circ\text{C}$  이상에서 완전 용융된 상태(liquid)로 존재하며 냉각됨에 따라  $780^\circ\text{C}$

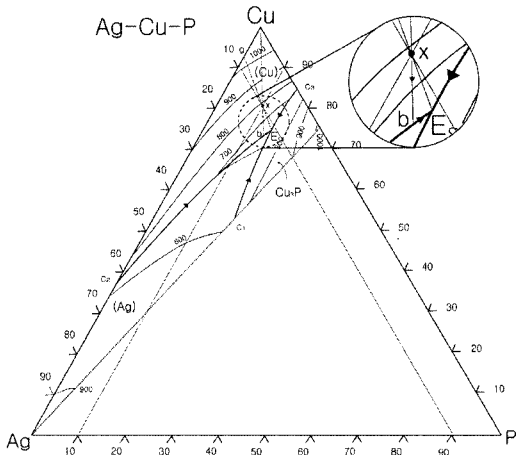


Fig. 8. The liquidus surface of Ag-Cu-P ternary alloy phase diagram in atomic percent.

부근에서 Cu 초정상이 석출하여 (Cu+liquid) 상태로 존재한다. 그 후, b에 도달하면 Ag 초정상이 석출하여 (Cu+Ag+liquid) 상태가 된다. 마지막으로 공정점인 E(646°C)를 지나며 Cu, Ag, Cu<sub>3</sub>P로 구성된 공정상이 생성되어(Cu+Ag+eutectoid)로 존재하게 된다. x점, b점 및 E점에서 석출되는 Cu, Ag 초정상과 Cu, Ag 공정상은 그림 9 Ag-Cu 상태도에서 볼 수 있듯이 상호간의 용해도가 존재하므로 초정상과 공정상의 Cu, Ag 상은 각각, Cu-rich, Ag-rich 상을 형성한다. 따라서 냉각후의 미세조직은 초정 Cu-rich, Ag-rich, 공정 Cu-rich, Ag-rich, Cu<sub>3</sub>P의 상으로 구성되어 그림 7과 같은 미세조직을 형성하게 된다. 상태도를 이용해 계산된 각 상들의 조성을 표 2에 나타내었다. 표 1과 표 2의 값들을 비교해보면, EDS를 통해 분석된 상용접점 BCuP-5층을 구성하는 각 상

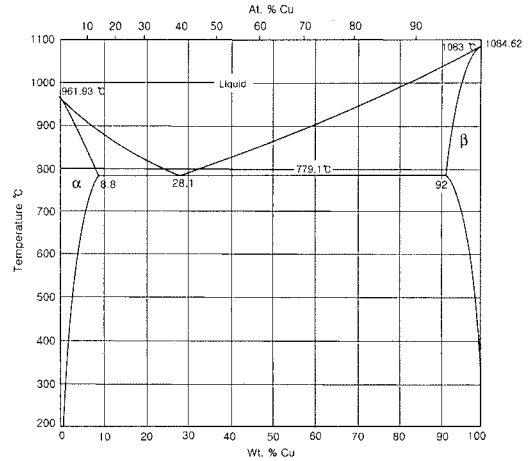


Fig. 9. Ag-Cu binary phase diagram.

Table 2. Calculated composition of BCuP-5 layer produced in this study using Ag-Cu-P ternary equilibrium phase diagram and Ag-Cu binary equilibrium phase diagram

phase	composition (at%)	composition (at%)		
		Cu	Ag	P
primary crystalline	Ⓐ	97.2	2.8	-
	Ⓑ	7.3	92.7	-
eutectoid phase	Ⓓ	97.2	2.8	-
	Ⓔ	7.3	92.7	-
	Ⓕ	67	-	33

들의 조성값과 상태도를 이용해 계산된 조성값들이 유사하였다.

### 3.4. 접합특성 평가

기존 상용접점 Ag층의 1/100 두께로 얇아진 Ag층

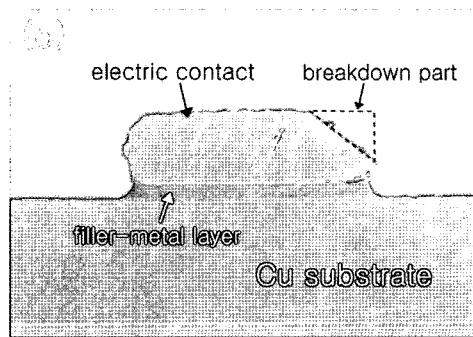
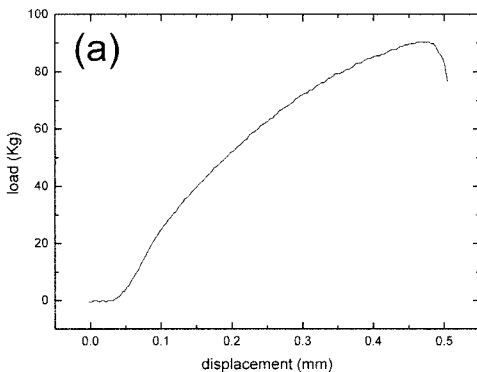


Fig. 10. Adhesion test graph between W-Ag electric contact and Cu substrate and an adhesion test specimen after test.

으로 인한 접합강도 저하 여부를 파악하고자 본 연구에서 제작된 전기접점을 Cu 모재와 브레이징 접합하여 접합특성을 평가하였다. 그림 10(a)는 본 연구에서 제작된 전기접점의 접합강도 그래프이며, 그림 10(b)는 접합강도 측정에 사용된 시편의 단면을 보여준다. 그림 10(a)의 그래프에서 보는바와 같이 97 kg의 하중에서 실험이 종료되었다. 전기접점의 접합면적이  $0.28 \text{ cm}^2$ 이므로 33.9 MPa의 하중에서 파괴가 발생했다. 그러나, 그림 10(b)처럼 전기접점과 Cu 모재와의 접합계면에서 파괴가 일어나지 않고, 만능시험기의 하중을 받았던 전기접점에서 파괴가 일어난 것을 확인할 수 있었다. 재차 실험된 접합강도 실험에서도 시편의 접점에서 파괴가 일어나 접합계면의 접합강도를 정확히 측정하기에는 어려움이 있었다. 따라서 본 연구를 통해 제작된 전기접점은 33.9 MPa 이상의 접합파괴강도를 지닐 것으로 예상된다. 또한, 상용접점의 일반적인 접합강도가 29.4 MPa인 것을 고려했을 때, 우수한 접합특성임을 알 수 있었으며, 본 연구에서 사용된 전기도금법과 BCuP-5 열처리 조건의 상용 접점 생산공정에 대한 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

전기도금법을 이용하여 W-Ag 전기접점에 브레이징용 filler-metal인 Ag층을  $3 \mu\text{m}$ 의 두께로 형성시켰다. Ag층 위에 또 다른 filler-metal로 사용되는 BCuP-5층을 적층시키기 위한 열처리 조건은 Ag내에서 Cu 원자의 확산거리와 확산수식을 이용해 결정하였다. 이를 통해 얻어진 열처리 조건은  $710^\circ\text{C}$ , 30초였다. 또한, Ag-Cu-P 삼원상태도와 Ag-Cu 상태도를 이용해 열역학적인 분석과정을 통해 최종 생성될 BCuP-5층의 미세조직과 조성을 분석하였다. 그 결과, BCuP-5층의 미세조직은 초정 Cu-rich, Ag-rich상과 lamella 구조의 Cu-rich, Ag-rich,  $\text{Cu}_3\text{P}$  상으로 형성된 공정상으로 구성되어 있음을 확인하였다.

Filler-metal(Ag, BCuP-5)층이 형성된 전기접점과

Cu모재간의 접합강도를 측정하기 위해, 전기접점과 Cu 모재를 브레이징하여 접합강도 측정용 시편을 준비하였으며, 테스트 결과, 상용접점의 29.4 MPa보다 높은 33.9 MPa 이상의 접합파괴강도가 나타났다. 따라서, 본 연구에서 얻어진 열처리 조건과 filler-metal 적층방법은 W-Ag 전기접점의 filler-metal 형성에 적합할 것으로 예상되며, W-Ag계의 전기접점뿐만 아니라 기중차단기, 배선용 차단기 등에 많이 쓰이는 W-Cu계 등의 전기접점에 널리 적용 가능할 것이라 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국산업기술재단 “산학협력 중심대학 육성사업 기술개발과제”의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. F. Findik and H. Uzum: Material and Design, **24** (2003) 489.
2. I. H. Moon: Journal of the Korean Institute of Metals, **19** (1981) 325 (Korean).
3. G. S. Kim, G. D. Lee and S. H. Hwang: International Journal of Korean Welding Society, **20** (2002) 47 (Korean).
4. W. H. Cubberly, R. L. Stedfeld, K. Mills, J. R. Davis and B. R. Sanders: Metals Handbook 9th Edition, E. F. Nippes (Ed.), vol. 6, American Society for Metals, Ohio (1988) 3.
5. H. W. Chuang, D. W. Liaw, Y. C. Du and R. K. Shiue: Mater. Sci. Eng., **A390** (2005) 350.
6. 문병기, 최철진, 박원욱: 기계와 재료, **10** (1998) 97.
7. 김화중, “씨래드접점의 접합강도 강화 방법”, KR Patent Application No. 1997-003547.
8. W. F. Gale, T. C. Totemeier: Smithells Metal Reference Book, vol. 1, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford (2004) 13-16.
9. M.B. Karamlı, A. Taşdemirci, F. Nair: Journal of Materials Processing Technology, **141** (2003) 302.
10. U. D. Kim, H. Shin and J. S. Lee: Research Institute of Industrial Science, **24** (1987) 137 (Korean).