

## The effect of Cu and Sb on the microstructure and mechanical properties in Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal

Jin-Kon Kim, Dae-Sung Kang\*, Young-Jun Kwon\*, Ki-Sung Kim\*, Hie-Sun Sang\*\* and Hyun Cho<sup>†</sup>

Department of Nanosystem and Nanoprocess Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

\*Shina Metaltech Co. LTD., Ulsan 683-240, Korea

\*\*School of Fire-protecting Technology, Kyungil University, Gyeongsan 712-701, Korea

(Received January 3, 2008)

(Accepted February 4, 2008)

**Abstract** The effects of Cu and Sb on the microstructure and mechanical properties of Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal were investigated. Any compound phase was not observed in the whitemetal with 0.05 wt% Cu, while as the Cu content was increased, star- or needle-like  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  phases were found. The tensile strength gradually increased with Cu up to 5% and then remained almost constant with Cu content above 5%, while the hardness continuously increased with Cu content because of the increased hard  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  phases. As the Sb content increased, SbSn cuboids were present as well as  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . The tensile strength and hardness continuously increased and the elongation decreased with Sb content.

**Key words** Sn-base whitemetal,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  phase, SbSn cuboids, Sliding bearing, Mechanical properties

## Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal에서 Cu와 Sb가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향

김진곤, 강대성\*, 권영준\*, 김기성\*, 상희선\*\*, 조현<sup>†</sup>

부산대학교 나노시스템공정공학과, 밀양, 627-706

\*(주)신아정기, 울산, 683-240

\*\*경일대학교 소방방재학과, 경산, 712-701

(2008년 1월 3일 접수)

(2008년 2월 4일 심사완료)

**요 약** Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal에서 Cu와 Sb가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. Cu 함량이 0.05 wt%인 whitemetal에서는 화합물 상이 관찰되지 않았지만 Cu 함량이 증가함에 따라 별 모양 또는 침상  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  상이 관찰되었다. 인장강도는 Cu 함량이 5%까지는 증가하다가 그 이상에서는 거의 일정하게 유지되었다. 반면에 경도는 경질상이 증가하기 때문에 계속 증가하였다. 또한 Sb 함량이 증가함에 따라 입방형 SbSn 상이  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  상과 함께 관찰되었다. 인장강도와 경도는 Sb 함량이 많아질수록 증가하였고 연신율은 감소하였다.

### 1. 서 론

Bearing은 회전하는 기계의 축을 일정한 위치에 고정시키고 축의 회전을 돕는 기계요소로서 크게 rolling bearing과 sliding bearing으로 나누어진다. Rolling bearing은 축과 bearing의 ball 및 roller가 접촉하여 점접촉 또는 선접촉을 하므로 마찰저항이 작다. 반면 sliding bearing은 면과 면이 접촉하기 때문에 축이 회전할 때 발생하는

마찰저항이 rolling bearing에 비해 크지만 하중을 지지하는 능력이 우수하여 일반 산업용뿐만 아니라 선박 및 자동차 기관의 구동에 주로 사용되고 있다. 이러한 sliding bearing은 윤활성, 길들임성, 내피로성, 내마모성, 내소착성, 매몰성, 내부식성 등의 특성을 가지고 있으며 이를 만족시키는 bearing 합금으로 주로 Pb-base 또는 Sn-base whitemetal이 주로 사용되고 있다. Sn-base whitemetal이 Pb-base whitemetal에 비해 고가임에도 불구하고 내부식성이 우수하고 접합이 쉬우며 편석이 적기 때문에 더 널리 쓰인다[1-5].

Sn-base whitemetal은 1839년 Issac Babbitt이 백랍(Pewter)을 소재로 하여 bearing을 사용한 것이 시초로

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel: +82-55-350-5286

Fax: +82-55-350-5653

E-mail: hyuncho@pusan.ac.kr

알려져 있으며 연질의 기지에 단단한 금속간 화합물 ( $Cu_6Sn_5$ ,  $SbSn$ ) 입자가 분포된 합금으로 용점이 낮아 제조가 쉽고 축과의 순응성, 윤활유의 유지, 매몰성 등이 우수하다. Sn-base whitemental은 성분상으로 Zn, Al, As, Bi, Fe, Cd, Ni 등과 같은 원소가 미량 첨가된 Sn-Sb-Cu 합금이다. Sn-base whitemental의 미세조직은 조성 에 따라 변한다. Cu가 0.5~8%이고 Sb 함량이 8% 미만인 합금은 침상 Cu-rich 상과 미세한 SbSn 석출 입자가 기지 내에 분포된 미세조직을 보이지만 Sb 함량이 8% 이상이면 입방형 SbSn이 형성되는 것으로 알려져 있다[6]. Sb 조성이 ~8%, Cu 조성이 5~8%인 Sn-base whitemental에서도 급냉하게 되면 입방형 SbSn의 형성이 억제된다. 특히 Cu의 함량이 적은 합금에서는 일반적이다.

본 연구에서는 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemental을 주괴 주조를 통해 제조하고 Cu와 Sb의 함량이 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 살펴봄으로써 최적의 성분 및 공정을 도출하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemental은 Sn, Sb, Cd 순금속과 Sn-Cu, Sn-Ni 모합금을 용융, 주조하여 제작하였다. 우선 Sn-Cu 모합금은 회수율을 감안하여 650°C Sn 용탕에 Cu chip을 장입 1시간 용해하

여 Sn-5.6%Cu 조성으로 제조하였다. Sn-Ni 모합금은 800°C Sn 용탕에 Ni을 장입 1시간 용해하여 Sn-0.8Ni 모합금을 제조하였다. 제작된 Sn-5.6%Cu 모합금 및 Sn-0.8Ni 모합금과 whitemental 내 기타 첨가원소인 Sb, Cd을 용해하여 ingot을 제작하였다. 본 연구에서 사용된 합금의 조성을 Table 1에 나타내었다.

제조된 ingot에서 인장시험편을 채취하여 Instron 8516

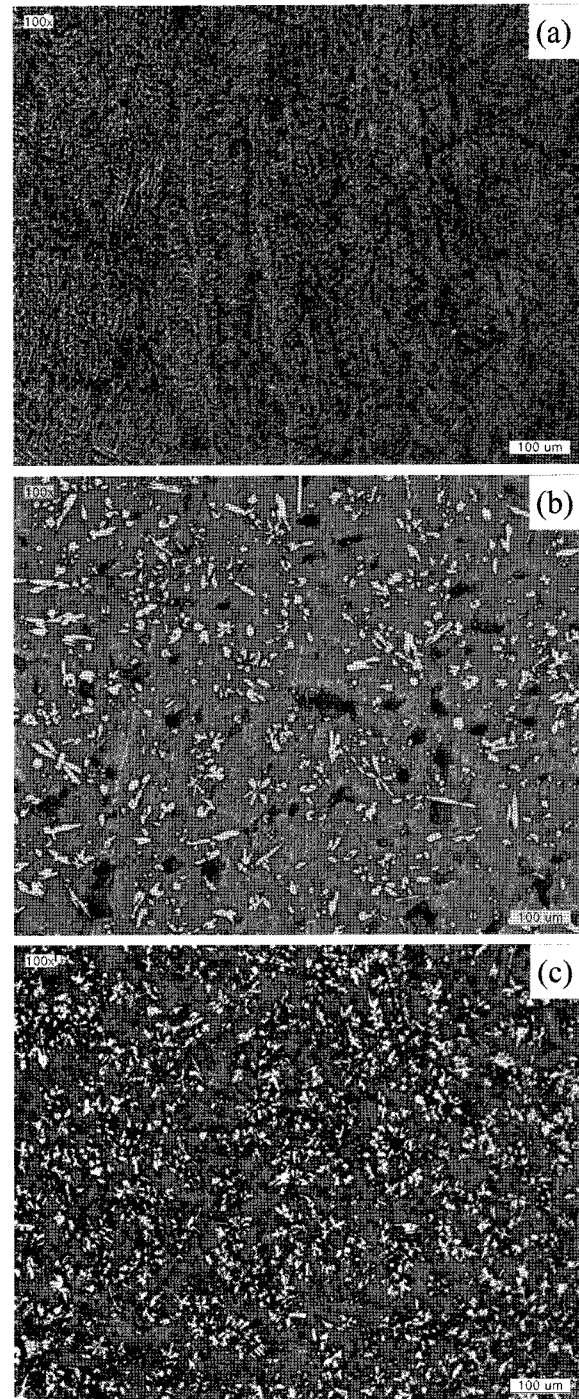


Fig. 1. Optical micrographs of Sn-base whitemental with various Cu contents; (a) A01 (0.05Cu), (b) A05 (3.94Cu), (c) A11 (9.82Cu).

Table 1  
The chemical composition of whitemental alloys used in this study

Alloy	Sb	Cu	Ni	Cd	Sn
A01	7.41	0.05	0.21	0.89	Bal.
A02	7.52	1.08	0.20	0.88	
A03	7.52	2.69	0.19	0.88	
A04	7.57	3.64	0.18	0.90	
A05	7.61	3.94	0.19	0.92	
A06	7.65	4.55	0.14	0.93	
A07	7.60	5.27	0.23	0.98	
A08	7.63	5.99	0.25	0.99	
A09	7.42	7.50	0.22	0.97	
A10	7.44	8.80	0.22	0.96	
A11	7.51	9.82	0.22	1.00	
B01	0.05	3.49	0.17	0.84	
B02	1.32	3.36	0.19	0.87	
B03	3.33	3.41	0.20	0.92	
B04	5.66	3.40	0.23	0.93	
B05	7.77	3.42	0.17	1.00	
B06	9.65	3.51	0.24	1.00	
B07	11.56	3.53	0.23	1.05	
B08	13.41	3.64	0.17	1.04	
B09	14.06	3.52	0.17	1.09	
B10	15.49	3.54	0.26	1.12	

에서 2 mm/min 변형속도로 인장시험하였다. 경도시험은 HB(500 kg, 30초) scale로 측정하였다. Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal의 미세조직은 자동연마기(Struers RotoPol 25/RotoForce 4)에서 연마한 후 연마면을 부식액(2 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 93 ml methanol)으로 부식시켜 광학현미경(Olympus PMG3)을 통해 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 광학현미경을 이용하여 관찰한 Cu 조성 변화에 따른 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal의 미세구조를 비교하였다. Fig. 1(a)는 Cu의 함량이 거의 영에 가까운 A01(0.05% Cu) whitemetal의 미세조직으로 전형적인 주조 수지상 조직을 보인다. Sn-rich 수지상 외에는 다른 상이 관찰되지 않았다. Sn-Sb 이원계 합금에서는 고온에서 Sb는 Sn에 고용도가 높지만 온도가 낮아짐에 따라 급격히 감소하기 때문에[7], 냉각속도가 느린 경우에는 Sn-rich 수지상 사이에 SbSn 금속간화합물 상이 석출된다. SbSn(b) 금속간화합물 상은 꽤 넓은 조성 범위(41~56Sb)에 걸쳐 있으며, 일반적으로 이러한 SbSn상은 미세조직에서 흰색 입자로 관찰된다[6]. 그러나 급냉된 합금에서는 Sb 함량이 8%까지도 SbSn 금속간화합물 상이 석출하지 않고 Sb가 Sn에 고용된 편심 고용체 조직이 나타난다. Sn-Sb-Cu 삼원계 합금에서는 8% Sb까지 함유된 Sn-Sb 합금에 Cu가 2% 이하로 첨가되는 경우 미세조직은 침상형 초정 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>가 내부에 분포된 Sn-rich 수지상과 수지상간 공정 조직(Sn-rich 고용체와 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>)으로 구성된다. Cu의 함량이 증가함에 따라 초정 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>의 양은 점차 증가한다. Cu의 함량이 4 또는 5%

를 초과하게 되면 2차원 단면에서 H 형상 또는 별 모양으로 분포된 길이가 좀 긴 침상 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>가 나타난다[6]. Fig. 1(b)와 (c)는 A05 합금(3.94Cu)과 A11 합금(9.82Cu)의 미세조직이다. 사진에서 밝게 보이는 입자들이 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간화합물 상으로 Cu의 함량이 증가함에 따라 크게 증가하고 있음을 알 수 있다.

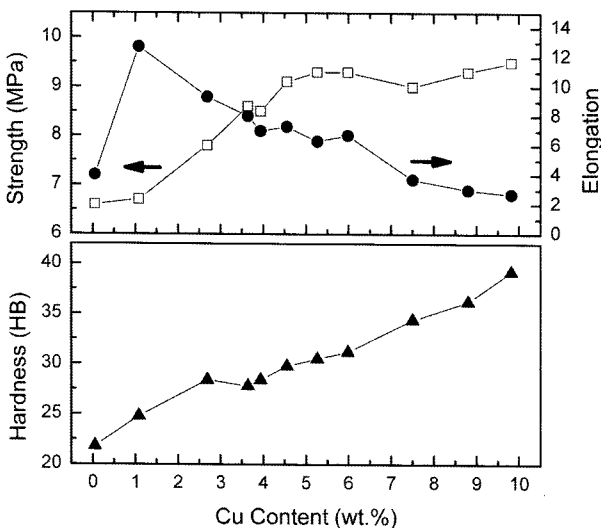


Fig. 2. Mechanical properties of Sn-base whitemetal with Cu content.

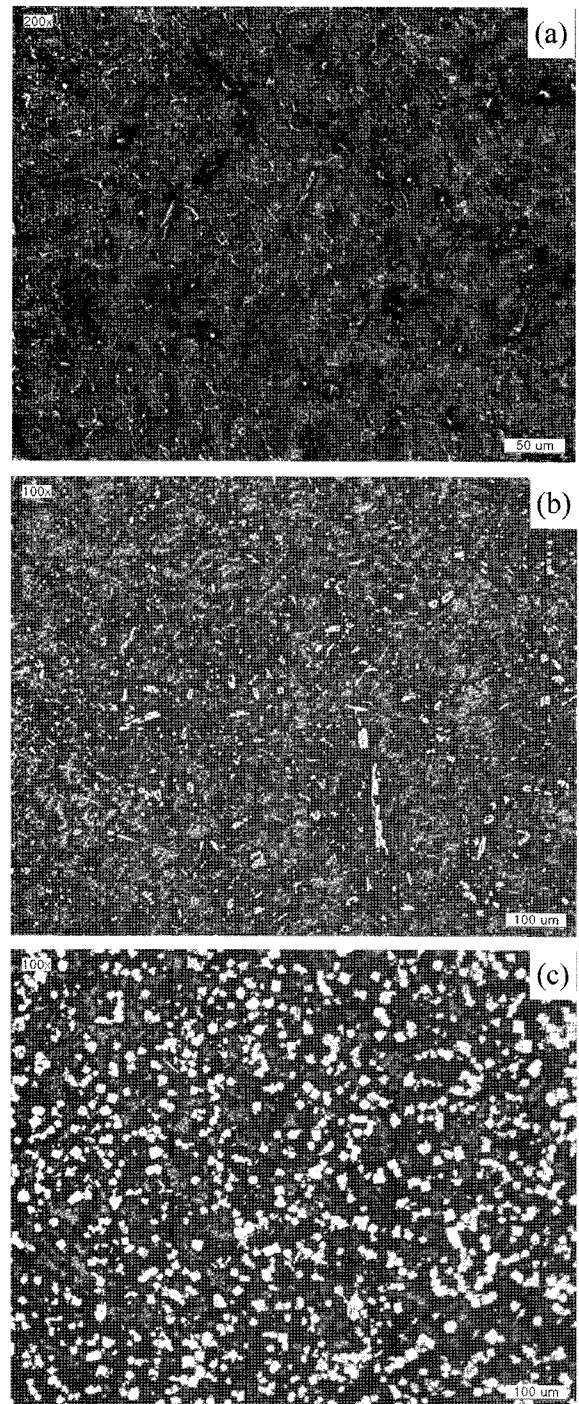


Fig. 3. Optical micrographs of Sn-base whitemetal with various Sb contents; (a) B01 (0.05Sb), (b) A05 (7.77Sb), (c) B10 (15.49Sb).

Fig. 2는 Cu 함량의 변화에 따른 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal의 기계적 특성의 변화를 나타내었다. Cu의 함량이 증가함에 따라  $Cu_6Sn_5$  강화상의 생성량 증가로 인하여 인장강도가 증가하며 연신율은 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나 Cu의 함량이 과다하게 증가할 경우 (5% Cu 이상) whitemetal 기지 내에서 Cu가 가진 강화능의 포화가 일어나므로 인장강도는 큰 변화 없이 거의 일정한 값을 보인다. 그러나 연신율은 Cu 함량이 증가함에 따라 지속적으로 감소한다. 또한 강화상의 지속적인 증가로 인하여 경도는 Cu 첨가량이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타낸다.

Fig. 3은 광학현미경을 이용하여 관찰한 Sb 조성 변화에 따른 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal의 미세구조를 비교하였다. Fig. 3(a)는 Sb를 거의 첨가하지 않은 B01 (0.05Sb) whitemetal의 미세조직으로 미량 첨가된 Sb는 거의 전량 기지인 Sn에 고용됨으로써 SbSn 금속간화합물 상의 생성이 이루어지지 않고 첨가한 Cu에 의해 연한 Sn 기지 내에 약간의  $Cu_6Sn_5$  상이 생성됨을 알 수 있다. Sn-Cu 이원계는 0.9%Cu 조성에서 거의 순수한 Sn 기지에 미세한 층상  $Cu_6Sn_5$ 이 분포한 공정 조직을 보이며, 이 공정 조성보다 Cu 함량이 높은 Sn-Cu 합금에서는 길쭉한 침상인 초정  $Cu_6Sn_5$  결정이 Sn- $Cu_6Sn_5$  공정 내에 존재한다[6]. Cu 함량이 2% 이상이고 Sb 함량이 9% 이상인 합금에서는 입방형 SbSn 금속간화합물 상이 생성되는 것으로 알려져 있다[6]. Fig. 3(c)에서 사각형으로 보이는 입자가 입방형 SbSn 상으로 Sb의 첨가량이 증가할수록 생성량이 증가함을 알 수 있었다. 입방형 SbSn 상은 주로 초정 침상  $Cu_6Sn_5$ 에 핵생성하기 때문에, 침상  $Cu_6Sn_5$ 이 SbSn 입방체 내에 파묻혀 있거나 관통된 모양으로 관찰된다.

Fig. 4는 Sb 함량의 변화에 따른 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal의 기계적 특성의 변화를 나타내었다. Sb의 함량이 증가함에 따라 인장강도는 증가하며 연신율은 감소하는 경향을 나타낸다. Fig. 2에서 나타난 Cu 함량의 변화에 따른 기계적 특성 변화와 유사한 경향으로, 이는 연질의 Sn-base 기지에 경질의 SbSn 상 생성량이 증가하기 때문이다. 또한 이러한 SbSn 경질상의 생성량이 증가하여 경도는 지속적으로 증가한다.

#### 4. 결 론

Sn, Sb, Cd 순금속과 본 연구에서 준비한 Sn-5.6Cu와 Sn-0.8Ni 모합금을 주조하여 제작한 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal에서 Cu와 Sb가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

Cu의 함량을 변화시킨 경우에, Cu가 거의 첨가되지 않은 합금(0.05Cu)에서는 금속간화합물 상이 관찰되지 않았으며, Cu의 함량이 증가할수록 침상 또는 별모양  $Cu_6Sn_5$ 가 Sn-rich 기지에서 관찰되었다. 인장강도는 5%Cu까지 Cu 함량에 따라 증가했지만 그 이상에서는 거의 증가하지 않았지만, 경도는  $Cu_6Sn_5$  경질상의 양이 계속해서 증가하기 때문이 지속적으로 증가하였다. 연신율은 경질상의 증가와 반비례하게 감소하였다.

Sb의 함량을 변화시킨 경우에, Sb의 함량이 증가함에 따라 입방형 SbSn 금속간화합물 상이  $Cu_6Sn_5$  상과 함께 생성하였다. 인장강도와 경도는 Sb의 함량이 증가함에 따라 지속적으로 증가하였고, 연신율은 감소하였다.

인장강도와 연신율을 동시에 고려해보면 Sn-Sb-Cu-Ni-Cd whitemetal의 최적 조성은 2.5~4Cu와 5.5~8Sb 범위인 것으로 판단된다.

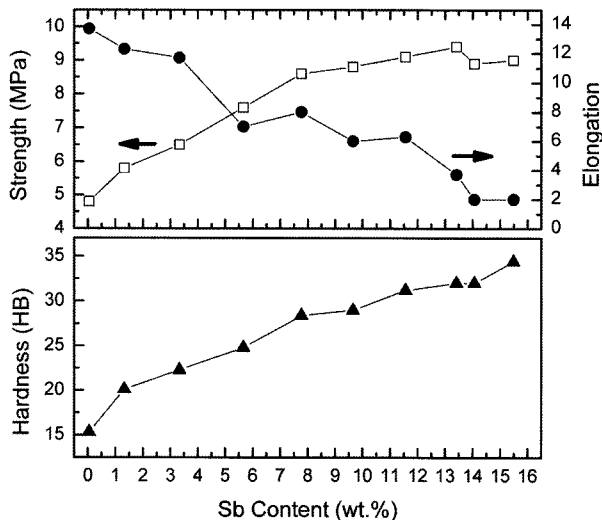


Fig. 4. Mechanical properties of Sn-base whitemetal with Sb content.

#### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. Lepper, M. James, J. Chashechkina and D.A. Rigney, "Sliding behavior of selected aluminum alloys", *Wear* 203-204 (1997) 46.
- [2] E. Booser and M. Khonsari, "Applied tribology bearing design and lubrication", NY, Wiley (2001).
- [3] H. Iliev, "Failure analysis of hydro-generator thrust bearing", *Wear* 225-229 (1999) 913.
- [4] K. Tamura, S. Ishihara, T. Goshima and Y. Tachi, "Effect of cyclic load and sliding speed on sliding wear

- characteristics of a bearing lined with WJ7 white metal", Proc. Inst. Mech. Eng. Part J, J. Eng. Tribol. 218 (2004) 23.
- [ 5 ] M.J. Neale, "Bearings: a tribology handbook", Scotland, Butterworth/Heinemann (1993).
- [ 6 ] C.J. Thwaites, M.E. Warwick and B. Scott, "Tin and Tin Alloys", Metallography and Microstructures, Vol. 9, ASM Handbook, ASM International (1985) 449.
- [ 7 ] T.B. Massalski, "Binary Alloy Phase Diagrams, 2/e", ASM International (1990).