

인장시험을 통한 Sn-xAg-0.5Cu 무연 솔더의 기계적 물성평가

정 종 설* · 신 기 훈**·† · 김 종 형***

*서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원

**서울과학기술대학교 기계공학과

***서울과학기술대학교 기계설계자동화공학부

Estimation of Mechanical Properties of Sn-xAg-0.5Cu Lead-free Solder by Tensile Test

Jong-Seol Jeong*, Ki-Hoon Shin**·† and Jong-Hyeong Kim***

*Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

**Dept. of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

***School of Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

†Corresponding author : shinkh@seoultech.ac.kr

(Received October 28, 2010 ; Revised November 17, 2010 ; Accepted December 13, 2010)

Abstract

SnAgCu lead-free solder alloy is considered as the best alternative to eutectic tin-lead solder. However, the detailed material properties of SnAgCu solder are not available in public. Hence, this paper presents an estimation of mechanical properties of SnAgCu lead-free solder. In particular, the weight percent of Ag was varied as 1.0wt%, 2.5wt%, 3.0wt%, and 4.5wt% in order to estimate the effect of Ag in the Sn-xAg-0.5Cu ternary alloy system. For this purpose, four types of SnAgCu bars were first molded by casting and then standard specimens were cut out of molded bars. Micro-Vickers hardness, tensile tests were finally performed to estimate the variations in mechanical properties according to the weight percent of Ag.

Test results reveal that the higher the weight percent of Ag is, the higher the hardness, yield strength, and ultimate tensile strength become. More material properties will be further investigated in the future work.

Key Words : SnAgCu lead-free solder, Micro-Vickers hardness test, Tensile test

1. 서 론

전 세계적인 환경 규제에 따라 Pb 솔더의 사용이 금지되면서, 다양한 합금 재료 (Ag, Cu, Bi, In, Zn 등)를 솔더에 적용하려는 연구가 진행 되고 있다. 기존의 Pb-Sn 솔더를 대체할 수 있는 무연 (Pb-free) 솔더 중 SnAgCu 3원계 합금이 현재 가장 널리 사용되고 있지만, 각 성분 금속의 함량에 따른 물성치는 잘 알려져 있지 않다. 일반적으로 SnAgCu 솔더 재료는 Ag의 함량에 따라 기계적 특성에서 많은 차이를

보이는 것으로 알려져 있다¹⁾. 구체적으로 열충격시험 (thermal shock test)과 4점 굽힘시험 (4-point bending test)에서는 Ag의 함량이 높을수록 내구성 우수하며, 낙하시험 (drop test)이나 고속전단시험 (high-speed shear test)과 같은 충격시험에서는 Ag의 함량이 낮을수록 우수한 특성을 보이는 것으로 알려져 있다^{2,3)}. Ag의 함량에 따라 기계적 특성이 다르게 나타나는 현상에 대하여 그 원인을 정확히 분석해야 할 필요성이 있다. 선행연구로 Che⁴⁾ 등은 Ag 함량이 1.0wt%, 2.0wt%, 3.0wt%인 SnAgCu 3원계 솔더 인장시험편을 제작하고, 변형율속도(strain rate)에 따

른 기계적 물성치를 평가하였으나, 온도변화, 시편크기 및 다양한 Ag 함량에 대한 실험 데이터는 아직까지 국내외적으로 미미한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 선행연구에서 다루지 않은 Ag 함량에 따른 SnAgCu 3원계 솔더의 물성치를 평가하기 위하여, Ag 함량을 1.0wt%, 2.5wt%, 3.0wt%, 그리고 4.5wt% 로 정밀하게 조절한 주조바를 제작하였다. 주형속에서 주조바가 상온에 도달 할 때까지 충분히 서냉시킨 후 탈형을 하였고, 별도의 열처리 공정은 실시하지 않았으며, 주조바를 와이어 가공하고 표면 미세연마를 실시하여 표준 시험편들을 제작하였다. 제작된 표준 시험편들에 대해, 마이크로 비커스 경도시험, 인장시험 등을 실시하여 마이크로 비커스 경도값, 탄성계수(Young's modulus), 0.2% 오프셋 항복강도 (0.2% offset yield strength), 최대인장강도 등의 기본적인 기계적 물성치 데이터베이스를 구축하였다. 본 연구에서 획득한 물성치 데이터는 향후 솔더볼의 피로파괴 수명 예측을 위한 유한요소해석 등의 관련 연구^{5,6,7)}에 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 시편제작

Ag 함량 변화에 따른 SnAgCu 3원계 솔더의 기계적 물성치 평가를 위하여 Ag 조성별 4종의 주조바를 제작한 후, EDXRF (Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer)를 이용하여 각 시편의 성분을 분석하였다. 분석결과 미량의 불순물들이 포함되어 있는 것으로 확인되었으나, Sn, Ag, Cu 등의 함량은 주어진 조건들을 만족하는 것으로 나타났다. 한편 0.2% 오프셋항복강도와 최대인장강도값을 측정하기 위하여, 각 성분 별 주조바를 와이어가공 및 미세 연마하여 ASTM⁸⁾ 규격을 만족하는 Fig. 1과 같은 인장시험편을 제작하였으며, 치수효과 (size effect)에 의한 물성치의 변화를 확인하기 위하여 Fig. 2와 같은 마이크로 인장 시험편을 제작하였다. 또한 미소 마이크로 비커스 경도를 측정하기 위하여 가공된 시편을 에폭시로 마운팅하

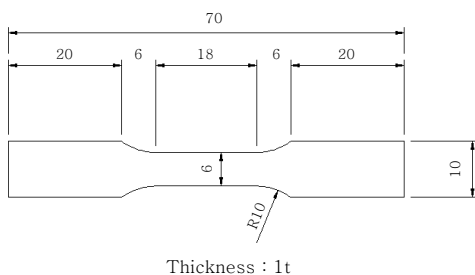


Fig. 1 Shape and detailed dimensions of a tensile specimen

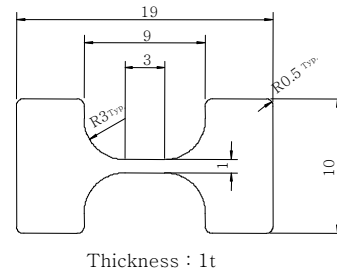


Fig. 2 Shape and detailed dimensions of a micro tensile specimen

고 미세 연마하여 경도 시험편을 제작하였다.

3. 실험 방법

3.1 미소경도시험

미소경도시험을 위해 Fig. 3과 같이 FUTURE-TECH Corp. 의 JP/FM7 장비를 사용하였으며 시험하중은 245.2 mN (25gf), 시험력 유지시간은 10초로 하여 시험하였다. 경도측정은 미세연마를 실시한 표면 중에서 흠 (defect)이 없고 조도가 가장 좋은 곳을 선택하여 각각 10회씩 측정하여 평균값과 표준편차, 표준오차를 계산하였다.

3.2 인장시험

표준인장시험(파단부 단면적 6mm²)은 Fig. 4와 같이 INSTRON 4467 장비를 사용하였으며, 치수효과를 확인하기 위한 마이크로 인장시험(파단부 단면적 1mm²)은 Fig. 5와 같이 SPACE SOLUTION사 장비를 사용하였다. 시험조건으로 INSTRON 4467에서는 하중 부가속도를 분당 2mm로 하였고, 로드셀은 3000 kg.f

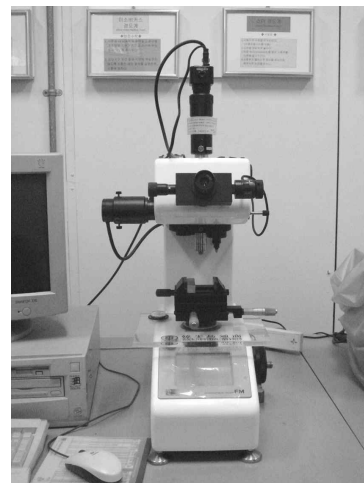


Fig. 3 Micro vickers hardness tester



Fig. 4 Multi tensile tester(INSTRON 4467)

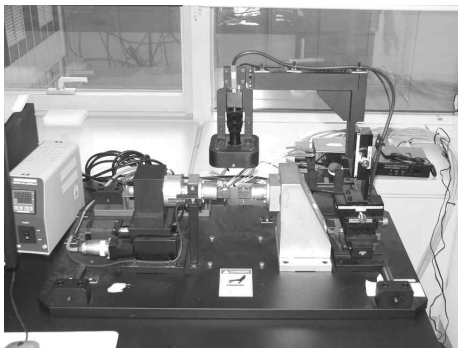


Fig. 5 Micro tensile tester

를 사용하였다. 마이크로 인장시험기에서는 하중 부가 속도를 분당 2 mm로 하였고, 로드셀은 50 kg.f를 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 미소경도시험

Table 1은 Ag 함량별로 측정된 마이크로 비커스 경도값을 나타내고 있다. Table 1에서 볼 수 있듯이, Ag 1.0wt%의 경도값을 기준으로 2.5wt%에서는 18.4% 증가 하였고, 3.0wt%에서는 30.7% 증가 하였으며, 4.5wt%에서는 36.9% 증가한 것으로 나타났다. 또한 3.0wt%와 4.5wt%는 오차범위 내에서 근사적으로 비슷한 값을 가지는 것으로 측정되었다. Fig. 6은 Ag 함량별 미소경도값을 그래프로 나타낸 것이다.

Table 1 Micro vickers hardness values

| Ag(wt%) | 1.0 | 2.5 | 3.0 | 4.5 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Hv | 42.67 | 50.52 | 55.78 | 58.42 |
| Standard Error | 1.42 | 1.38 | 2.39 | 0.80 |

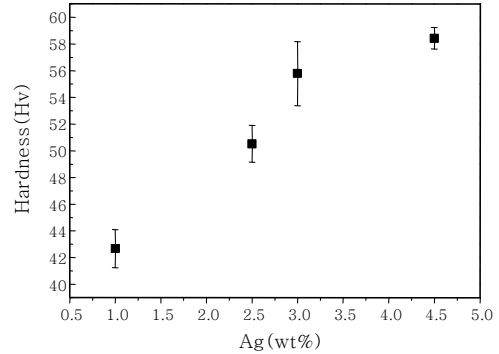


Fig. 6 Micro vickers hardness

4.2 탄성계수(Young's modulus)

Fig. 7은 SnAgCu 솔더의 표준인장시험에서 전형적으로 얻어지는 응력-변형률곡선을 보여주고 있다. 본 연구에서는 변형률속도 0.01로 실험하였으며, 탄성한도 내에서 탄성계수값은 1.0wt%일 때 47.07GPa, 2.5wt%는 53.94GPa, 3.0wt%는 54.52GPa, 4.5wt%는 60.90GPa로 나타났다. Fig. 8은 Ag 함량별 변형률-탄성계수값을 그래프로 나타낸 것이다.

Table 2는 본 연구에서 측정된 탄성계수값과 Che 등의 연구⁴⁾에서 발표된 탄성계수값을 비교하고 있다. Che의 연구에서는 2.5wt%, 4.5wt% 시편에 대한 실험은 수행하지 않았기 때문에, Table 2에는 단순한 1차 보간을 통해서 계산된 값을 제시하였다. Che의 연구와 비교결과 유사한 경향을 보이나 다소의 차이를 보이고 있다.

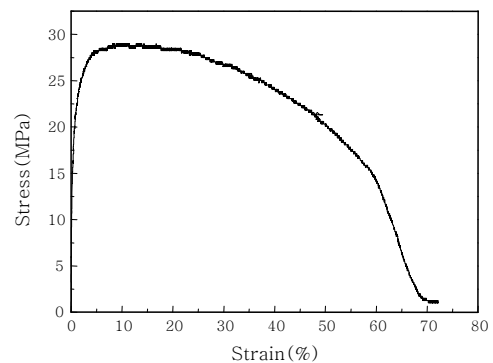


Fig. 7 Stress-Strain curve

Table 2 Young's modulus

Units : GPa

| Ag (wt%) | 1.0 | 2.5 | 3.0 | 4.5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| E | 47.07 | 53.94 | 54.52 | 60.90 |
| E(Che's) | 50.01 | 57.86 | 60.51 | 68.45 |

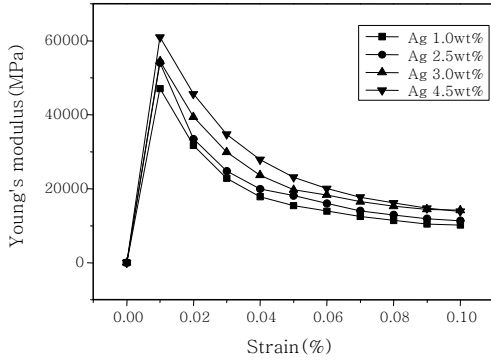


Fig. 8 Young's modulus vs. strain

4.3 0.2% 오프셋 항복강도

Table 3은 Ag 함량별 0.2%오프셋 항복강도값(σ_y)을 나타낸다. Table 3에서 볼 수 있듯이, Ag 1.0wt%의 0.2%오프셋 항복강도값을 기준으로 2.5wt%는 16.1% 증가하였고, 3.0wt%는 40.5% 증가하였으며, 4.5wt%에서는 52.7% 증가한 것으로 나타났다. Fig. 9는 Ag의 함량별 0.2%오프셋항복강도값을 그래프로 나타낸 것이다.

4.4 최대인장강도

Table 4는 Ag 함량별 최대인장강도값을 나타낸다. Table 3에서 볼 수 있듯이, Ag 1.0wt%의 최대인장강도값을 기준으로, 2.5wt%는 17.5% 증가하였고, 3.0wt%

Table 3 0.2% offset yield strength

Units : MPa

| Ag(wt%) | 1.0 | 2.5 | 3.0 | 4.5 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| σ_y | 12.562 | 14.584 | 17.651 | 19.180 |
| Standard Error | 0.313 | 0.322 | 0.274 | 0.784 |

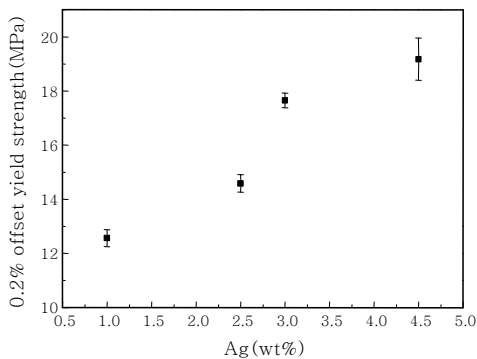


Fig. 9 0.2% offset yield strength

Table 4 Ultimate tensile strength

Units : MPa

| Ag (wt%) | 1.0 | 2.5 | 3.0 | 4.5 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| σ_u | 20.819 | 24.462 | 30.627 | 31.848 |
| Standard Error | 0.732 | 1.457 | 0.794 | 1.73 |

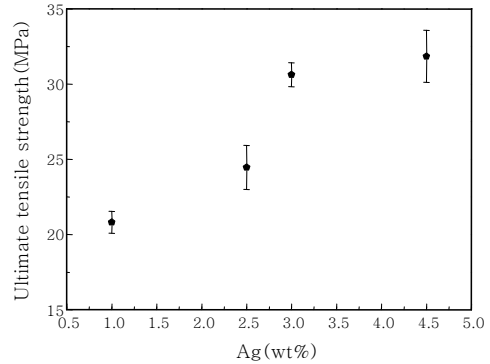


Fig. 10 Ultimate tensile strength

는 47.1% 증가하였으며, 4.5wt%에서는 53.2% 증가한 것으로 나타났다. 또한 3.0wt%와 4.5wt%는 오차 범위 내에서 근사적으로 비슷한 값을 가지는 것으로 측정되었다. Fig. 10은 Ag 함량별 최대인장강도값을 그래프로 나타낸 것이다.

4.5 치수효과(size effect)

Fig. 11은 선행연구에서 다루지 않은 시편크기에 따른 치수효과를 확인하기 위하여, Ag 함량별 파단부 단면적이 6 mm², 1 mm² 일 때 측정된 0.2%오프셋 항복강도값을 그래프로 나타내고 있다. 측정결과 0.2%오프셋 항복강도값은 파단부 단면적의 크기와 관계없이 표준오차범위 내에서 근사한 값을 가지는 것으로 측정되었다.

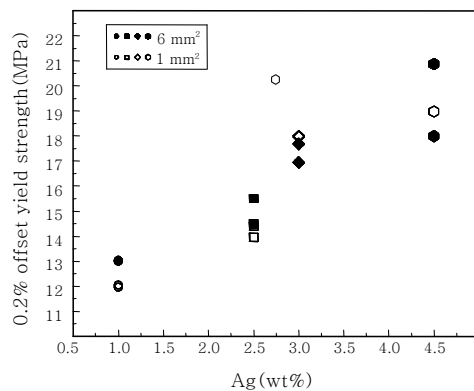


Fig. 11 0.2% offset yield strength

5. 결 론

본 논문에서는 Sn-xAg-0.5Cu 무연 솔더의 Ag 함량별 기계적 물성치를 평가하였으며 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 미소경도시험에서는 Ag의 함량이 많을수록 경도값이 증가하였다.

(2) 인장시험에서는 파단부 단면적의 크기와 관계없이 0.2% 오프셋 항복강도값과 최대인장강도값이 표준 오차 범위 안에서 미세한 차이가 나타났다.

(3) 0.2% 오프셋 항복강도값과 최대인장강도값은 Ag의 함량이 증가함에 따라 그 값도 증가하였다.

(4) Ag 함량 증가에 따른 경도값, 0.2% 오프셋 항복강도값, 최대인장강도값의 증가 기울기는 Ag 함량이 증가할수록 점차 감소하여 완만해 지는 것으로 나타났다.

향후 추가적인 실험(고온 인장시험 및 변형율속도별 물성평가)을 통하여, SnAgCu 3원계 솔더의 Ag 함량 변화에 따른 추가 물성치 데이터베이스를 구축하고, 선행연구⁴⁾와의 직접적인 데이터 비교를 통하여 오차발생 원인을 규명할 계획이다.

후 기

본 논문은 서울특별시 산학연 협력사업(3D Micro-system Packaging을 위한 접합공정 및 장비개발, 과제번호 10890)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. A. Shed : Accumulated creep strain and energy density based thermal fatigue life prediction models for SnAgCu solder joint, Proceedings of 54th ECTC (2004), Las Vegas, Nevada, USA, 737-746
2. J. S. Jeong, Y. S. Lee, K. H. Shin, S. K. Cheong, J. H. Kim and D. Y. Jang : An Experimental Study on the Failure Characteristics of Sn-xAg-Cu Lead Free Solder, Journal of the KSMTE (2009), 18-5, 449-454 (in Korean)
3. Y. S. Lee, J. S. Jeong, H. S. Kim and K. H. Shin, : An Experimental Study on the Failure Characteristics of Flip Chips in Cyclic Bending Test, Journal of the KSMTE (2009), 18-4, 362-368 (in Korean)
4. F. X. Che, E. C. Poh, W.H. Zhu, B. S. Xiong : Ag Content Effect on Mechanical Properties of Sn-xAg-0.5Cu Solders, Proceedings of 9th ECTC (2007), 713-718
5. K. H. Shin, H. T. Kim, and D. Y. Jang : An Analysis on the Thermal Shock Characteristics of Pb-free Solder Joints and UBM in Flip Chip Packages, Journal of the KSMTE (2007), 16-5, 134-139 (in Korean)
6. J. W. Nah, J. H. Kim, H. M. Lee and K. W. Paik : Electromigration in flip chip solder bump of 97PB-3Sn/37Pb-63Sn combination structure, Acta Materialia (2004), 52, 129-136
7. X. Li and Z. Wang : Thermo-fatigue life evaluation of SnAgCu solder joints in flip chip assemblies, Journal of Materials Processing Technology (2007), 183-1, 6-12
8. ASTM E 8M-04, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric] (2004)