

|||||||
論 文
|||||||

연속주조법에 의한 Sn-38%Pb 공정합금의 초소성특성

송태석 · 조형호* · 최재하 · 지태구** · 김명한

A Study on the Superplastic Characteristics of Sn-38%Pb Eutectic Alloy Produced by Continuous Casting Process

Tae-Seok Song, Hyung-Ho Jo*, Jae-Ha Choi, Tae-Gu Ji** and Myung-Han Kim

Abstract

The 8 mm dia. Sn-38%Pb eutectic alloy rods were produced by use of the horizontal continuous casting process with the heated mold and chill cast process. The cast rods were rolled into 2.0~0.5 mm thick plates and structural and mechanical properties were examined. The results revealed that the plates produced by the continuous casting process with the heated mold show much higher superplasticity at ambient temperature (1550% elongation at 0.5mm thick plate and 0.5 mm/min strain rate) than the plates produced by chill cast process (630% elongation). Such a high superplasticity of the continuous cast plates is due to the high-quality plates free from any inside and surface defects with fine and uniform distribution of eutectic phases.
(Received March 12, 1997)

1. 서 론

뿔납재료는 여러 종류의 저융점합금을 이용하고 있지만, 이들 합금중 Sn-Pb 합금은 융점(공정온도 183°C)이 낮고, 전자부품의 패키징시 전기전도도와 젖음성(wettability)이 우수하며 물리적, 기계적성질이 우수하여 현재까지 가장 널리 사용되고 있는 뿔납재료이다. 그러나, 현재에 사용되고 있는 Sn-Pb 합금의 뿔납재료는 주로 금형주조에 의하여 제조된 주괴를 압출 또는 압연 가공하여 사용되기 때문에 주괴상의 구조결함등이 뿔납성을 저하시키며, 소형 전자부품 등에 사용되는 극세선이나 극박막의 재료로 가공할 경우에는 주괴의 결함으로 인하여 잦은 단선이나 불균일한 박막이 형성되는 문제를 야기시켜 왔다[1]. 최근의 급속한 전자산업의 발전과 함께 IC용의 뿔납재료는 수백 μm 이하의 극세선이나 극박막형상의 것으로 이용되고 있다. 이와 같은 뿔납재료를 제조하기 위해서는 표면결함, 내부결함등이 극력 억제된 주괴가 우선적으로 얻어져야 하며, 또 이러한 주괴를 이용하면 극세선 또는 극박막가공이 용이하여야 한다.

본 연구에서는 표면이 평면이면서 내부결함이 없고 일방향응고조직으로 제어 가능한 가열주형식 연속주조법[1-3]을 적용하여 Sn-38%Pb 합금주괴를 연속적으로 제조하고, 소성가공을 행하였으며, 이때 이 소재가 갖는 조직적 특성과 소성가공적 특성을 조사함으로써 극세선 또는 극박막 가공에 필요한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 실험방법

10³ torr까지 진공도를 유지할 수 있고, Al 기준으로 3 kg까지 용해 가능한 용탕유지기와 용탕위치 조절장치 부분, 흑연제 주형 주위에 비접촉 상태로 감겨져 있는 칸탈선에 의해 주형을 가열하도록 되어있는 가열주형장치 부분, 그리고 냉각수로 채워진 용기 내로 주괴가 통과할 수 있도록 제작된 냉각장치 및 DC모터에 의해 구동되는 3쌍의 pinch roll로 이루어진 주괴인출장치 부분으로 구성된 수평식연속주조장치를 이용하여 실험을 행하였다. 이 장치에 의해 10² torr의 진공 중에서 99.9%의 순Sn 및 Pb를 이용하여 1기압이상

충북대학교 재료공학과, 급속응고신소재 연구소(Dept. of Materials Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

*생산기술연구원(Korea Institute of Industrial Technology)

**홍익대학교 금속과(Dept. of Metallurgy, Hongik Univ.)

의 아르곤 분위기 하에서 직경 8 mm의 Sn-38%Pb 합금주괴(이하 연주주괴라고 한다)를 제조하였다. 이 합금이 공정조성을 확인하기 위하여 DTA분석을 하였고 그 결과가 Fig. 1에 나타나 있다. 측정된 결과를 피크온도가 183°C 이었고, 이 온도는 Sn-38%Pb 공정합금의 용점과 일치하므로 이 합금조성이 공정조성을 확인하였다.

여러 가지 용탕온도, 주형온도 및 냉각거리에 따라 주조속도가 변화하고 있음을 예비실험으로 확인할 수 있었으며, 본 실험에서는 용탕온도를 250°C, 주형끝단과 냉각수와의 거리(이하 냉각거리라고 한다)를 15 mm하에서 주조속도를 50 mm/min로 하였을 때 내부와 표면결함이 없는 경면주괴를 얻을 수 있었다. 주형온도는 ±2°C의 오차범위에 유지할 수 있도록 주형의 끝단에서 2 mm안쪽에 위치한 CA열전대와 PID조절기에 의해 제어되었다.

연주주괴와 금형 주조한 주괴와의 주조 및 가공특성을 비교하기 위해 Sn 및 Pb를 흑연도가니에서 용해하여 250°C의 주입온도에서 주철제 금형(50×200×20 mm)에 주조한 주괴(이하 금형주괴라고 한다)를 직경 8 mm의 봉상으로 절삭 가공하였다. 연주주괴 및 금형주괴를 매회 약 10%의 압하율로 2.0, 1.5, 1.0 및 0.5 mm의 두께로 압연하였다. 또, 저용점 합금에서는 실온에서도 재결정의 미세화에 의한 초소성이 일어날 수 있는 가능성 때문에 소정의 두께로 압연 가공한

후, 100 mm로 절단하여 표점거리가 10 mm인 인장시편으로 가공하여 상온에서 변형률속도를 0.5, 5 및 25 mm/min으로 변화시켜 인장시험을 행하였다. 각 주괴 및 압연가공재의 미세조직관찰에는 광학현미경을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 주괴의 표면상태와 조직

Photo 1은 내부 및 표면상태가 양호한 연주주괴를 얻을 수 있는 주조조건하에서 얻어진 주괴를 나타낸 것으로, 주괴표면은 결함이 없는 경면임을 알 수 있다.

Photo 2는 Photo 1의 연주주괴를 인출방향의 단면을 따라 관찰한 거시조직을 나타낸 것으로, 경면주괴가 얻어지는 주조조건하에서는 일방향성 응고조직을 하고 있음을 알 수 있다.

Photo 3은 금형주괴의 미세조직을 나타낸 것으로 대부분은 α상(Sn rich phase, white)과 β상(Pb rich phase, black)의 층상공정조직(lamellar eutectic structure)으로 이루어져 있으며[4], 부분적으로 층상조직이 퇴화된 공정조직(degenerate eutectic structure)도 혼재되어 있음을 알 수 있다.

Photo 4는 Sn-38%Pb 공정합금 연주주괴를 인출방향 단면을 따라 관찰한 미세조직을 나타낸 것이다. β

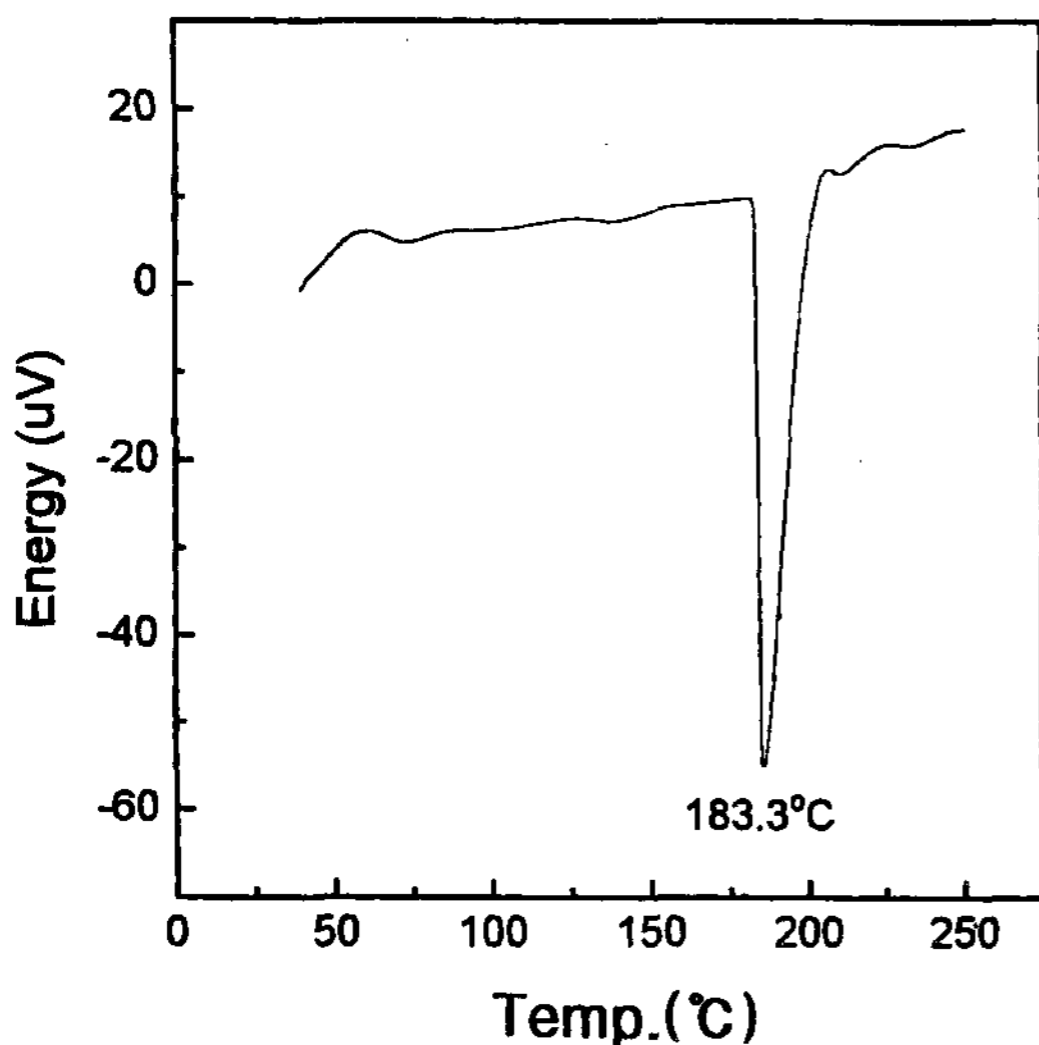


Fig. 1. DTA curve of Sn-38%Pb eutectic alloy (Heating rate: 5°C/min).

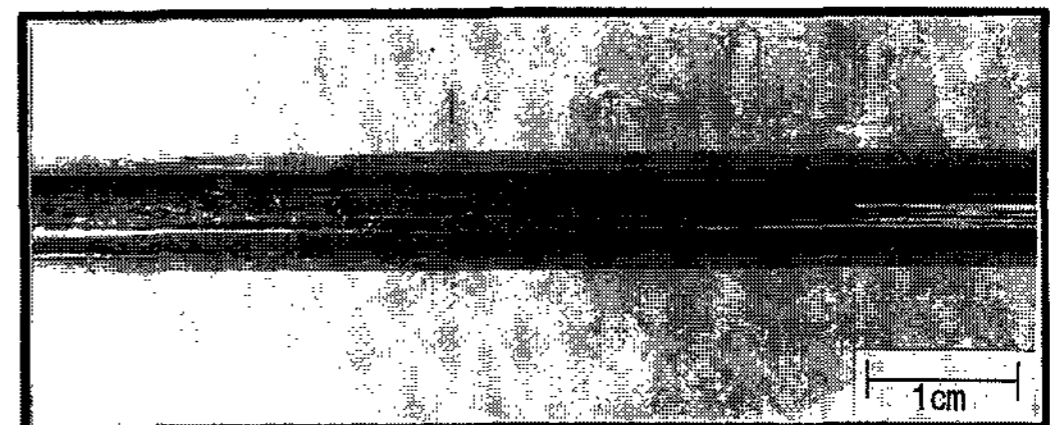


Photo 1. Sn-38%Pb alloy rod with mirror surface produced by the continuous casting process with the heated

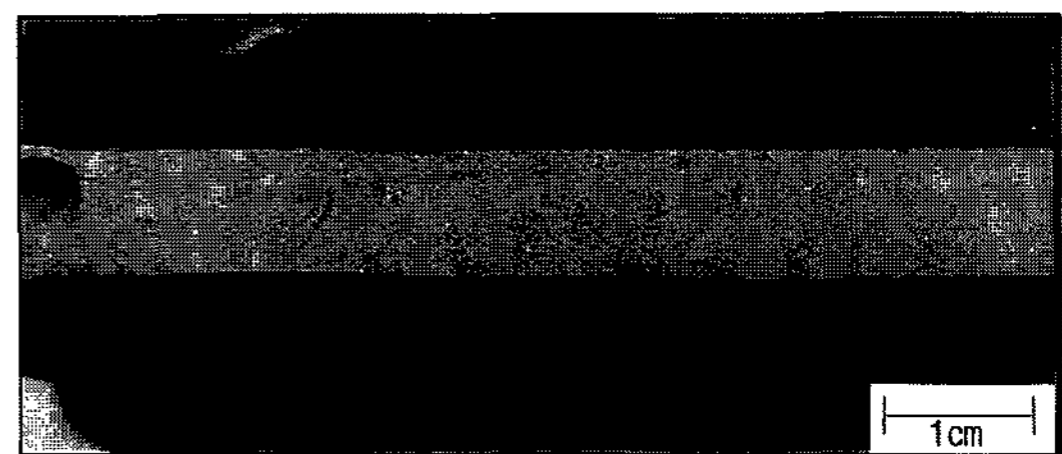


Photo 2. Macrostructure of the longitudinal cross-section of Sn-38%Pb alloy rod produced by the continuous casting process with the heated mold.

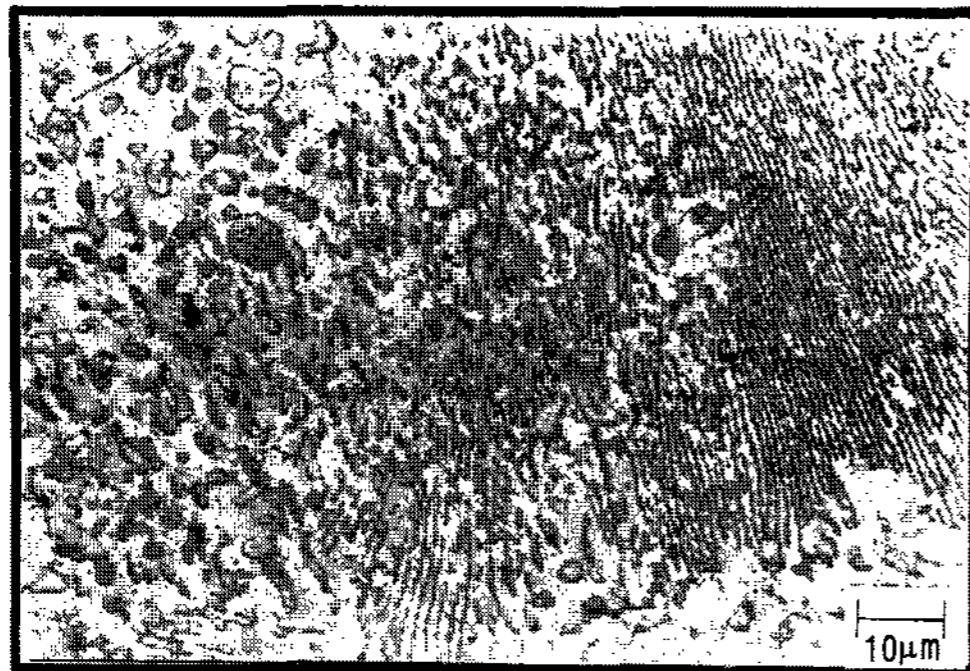
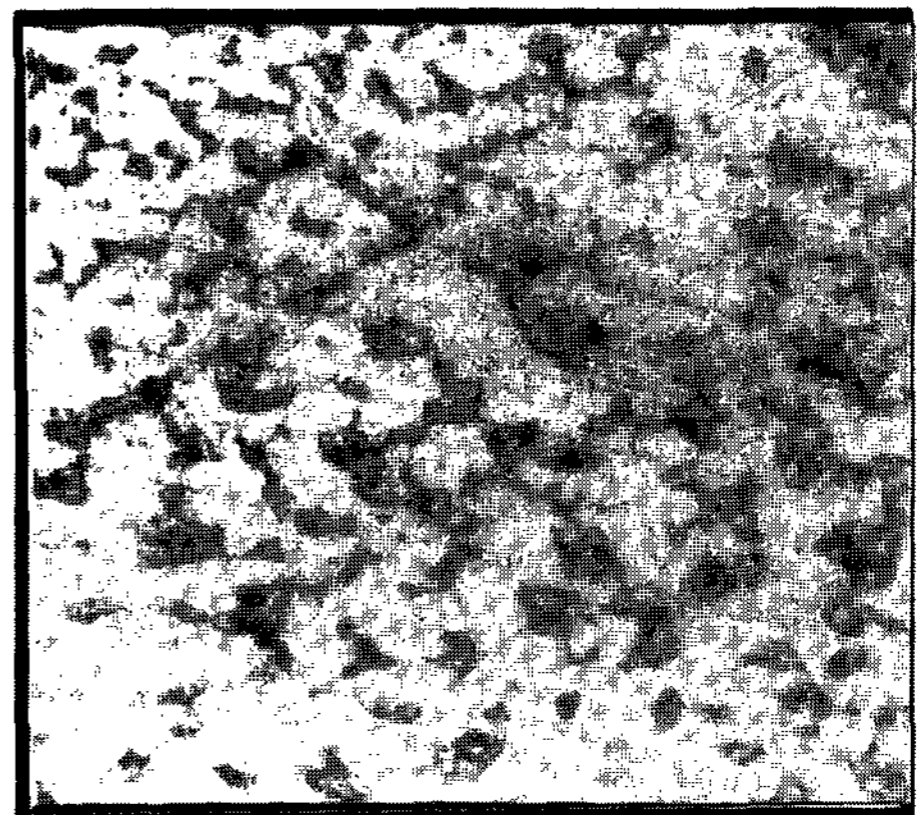


Photo 3. Microstructure of the ingot produced by the chill cast process.



(a)

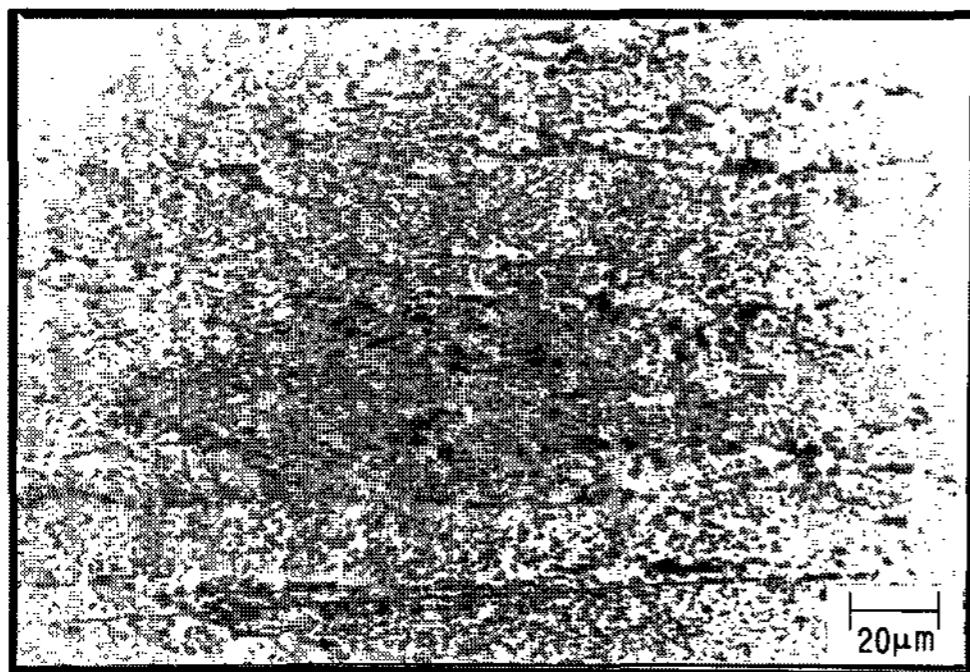
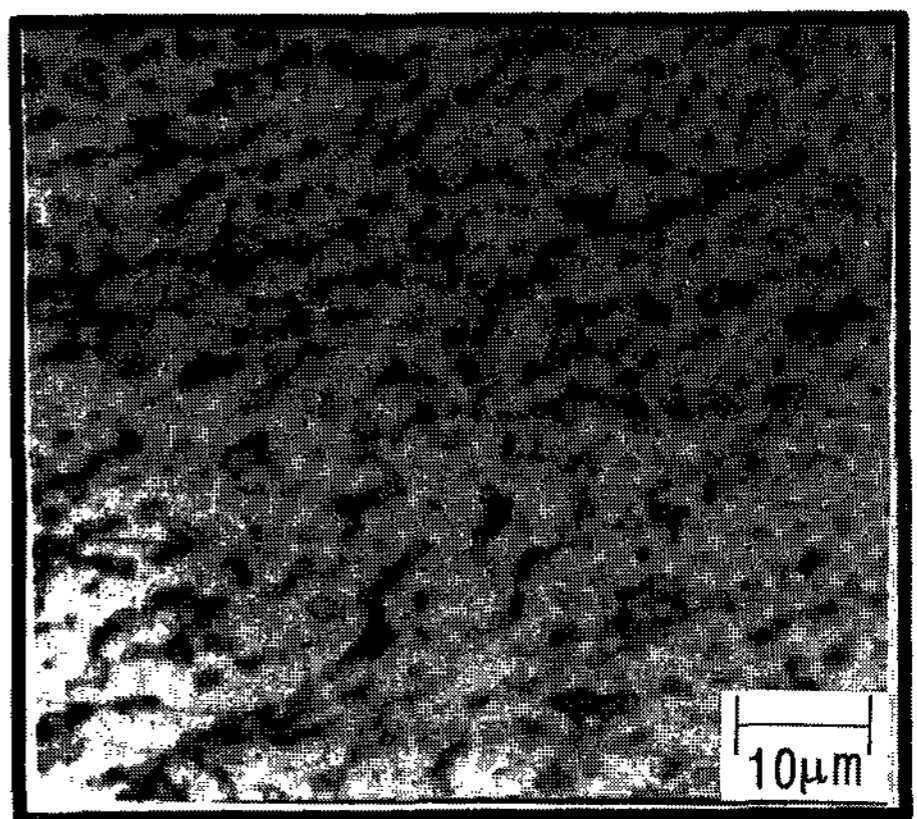


Photo 4. Microstructure of the longitudinal cross-section of 8 mm dia. rod produced by the continuous casting process with the heated mold.



(b)

Photo 5. Macrostructure of the longitudinal cross-section of the rolled plate with the thickness of (a) 2 mm (b) 0.5 mm, respectively. The plates were rolled by use of the rods produced by the chill cast method.

상과 미세한 α 상이 불규칙적으로 혼재하여 있고, 또 다른 양상의 조대한 α 상이 인출방향으로 성장하여 있다. 조대한 α 상이 일방향응고를 하고 있는 것을 제외 하고는 Sn-38%Pb 공정합금을 용융상태에서 직접 수냉한 합금의 미세조직[5]과 유사하다. 그러나, 금형주괴상 퇴화된 조직내의 α 상은 연주주괴상에서 나타난 α 상보다는 조대하였는데, 이것은 연주주괴를 제조할 경우보다 냉각속도가 느리기 때문이다.

Photo 5 및 6은 금형주괴 및 연주주괴를 각각 두께 2.0 mm(a)와 0.5 mm(b)로 압연한 후 압연방향면에서의 미세조직을 나타낸 것이다.

금형주괴를 압연한 경우가 연주주괴를 압연한 경우에 비해 조대한 결정입자를 나타내고 있으며, 연주주괴를 압연한 경우와 마찬가지로 압하율이 큰 시편일 수록 보다 미세한 결정을 나타내었다.

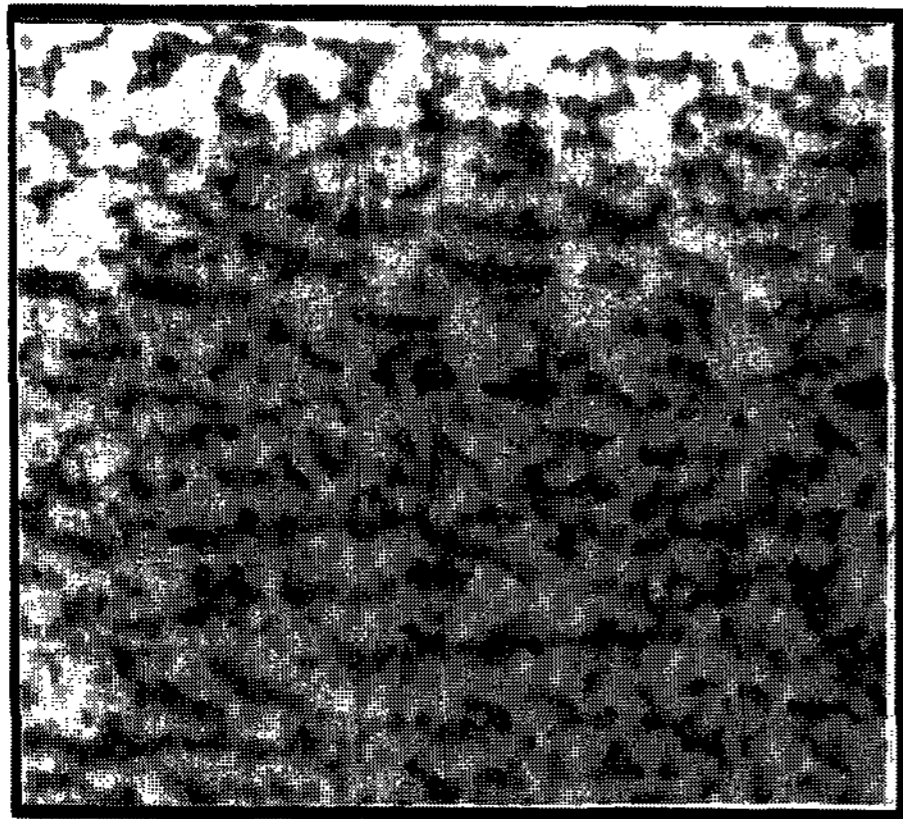
연주주괴를 압연한 경우(Photo 6) 균일하고 미세한 결정을 보여주고 있으나, 압하율에 따라 결정의 크기

가 다를 뿐이다. 이러한 결과는 연주주괴를 압연했을 경우는 압하율에 관계없이 재결정이 형성됨을 의미한다. 이처럼 상온에서 압연한 경우에도 압연조직이 미세해지는 것은 Sn-38%Pb 공정합금과 같은 저융점합금은 압연 후 상온에서 재결정이 일어나므로 조직이 미세하게 된다는 보고[6]에서도 확인되고 있다.

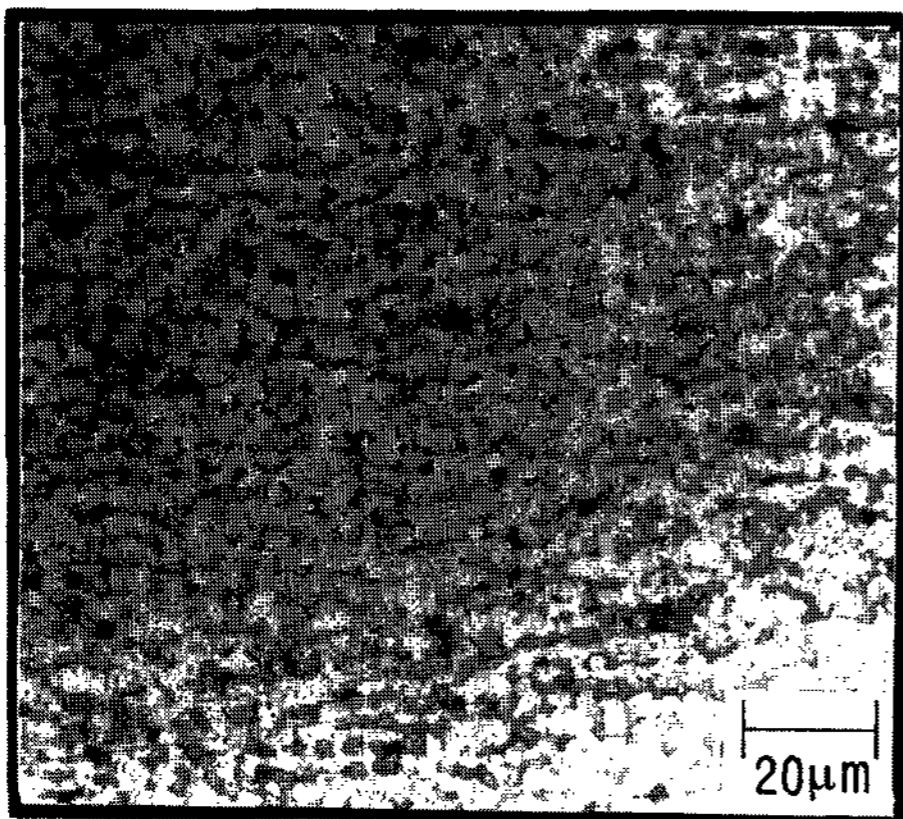
3.2. 초소성특성

Photo 7은 Sn-38%Pb 공정합금의 연주주괴를 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 mm의 두께로 압연한 각각의 인장시편을 0.5 mm/min의 변형률속도로 파단될 때까지 인장시험한 결과를 나타낸 것이다.

금속재료가 초소성을 나타내려면 결정립이 작고 균



(a)



(b)

Photo 6. Macrostructure of the longitudinal cross-section of the rolled plate with the thickness of (a) 2 mm (b) 0.5 mm, respectively. The plates were rolled by use of the rods produced by the continuous casting process with the heated mold.

일할 것과 높은 시험온도 그리고 적당한 변형률속도 ($10^{-1} \sim 10^{-5} s^{-1}$)가 필요한 것으로 알려져 있고, 이때의 초소성 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma = K\dot{\epsilon}^m$$

여기서 σ 는 유동응력, $\dot{\epsilon}$ 은 변형률속도, K는 상수 그리고 m은 변형률속도 감도지수이며, 초소성 재료의 경우 m값이 0.4~1의 값을 가져야 한다고 알려져 있다 [7]. Sn-38%Pb 공정합금이 초소성을 나타낼 때의 m값은 0.5라고 알려져 있으나[7], 본 연구에서 제조된 연주주괴를 압연한 시편의 경우는 m값이 0.57 나타내고 있어 통상의 구조에 의해 제조된 주괴의 경우보다 약

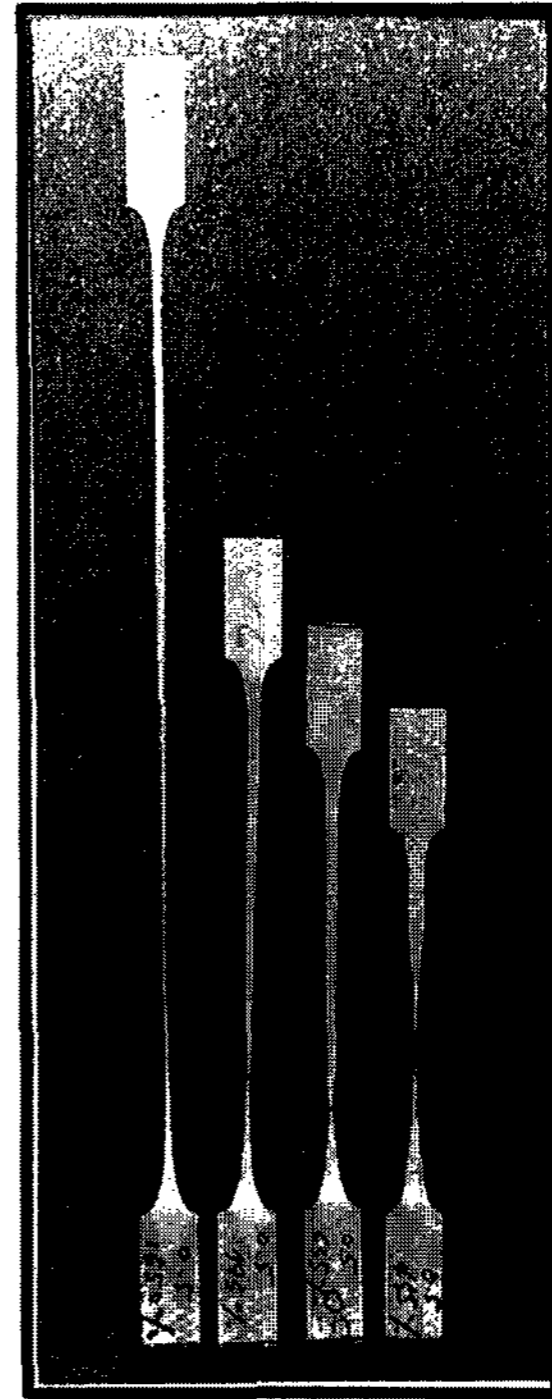


Photo 7. Sn-38%Pb eutectic alloys showing superplasticity at room temperature ($\dot{\epsilon} = 0.5$ mm/min).

Table 1. Mechanical properties of the Sn-38Pb eutectic alloy produced by the chill cast process

Strain rate (mm/min)	Reduction (%)	UTS (MPa)	Fracture elongation (%)
25 ($4.2 \times 10^{-3} s^{-1}$)	60	50.2	107.4
	68	50.8	151.3
	78	49.3	109.8
	90	40.6	142
5 ($8.3 \times 10^{-3} s^{-1}$)	60	34.4	264
	68	34	315
	78	33.3	320
	90	30	536
0.5 ($8.3 \times 10^{-4} s^{-1}$)	60	17.1	630
	68	15.6	577
	78	14.6	627
	90	13.2	630

간 큰 m값을 나타내었다.(본 연구의 m값은 초소성을 나타내는 변형률속도구간($10^{-1} \sim 10^{-5} s^{-1}$)에서 각 변형률속도에 따른 피크 응력을 구하고 변형률속도항과 응력항을 대수값으로 취해 그 기울기를 구함으로 얻

어질 수 있었다) 이러한 결과는 연속주괴가 금형주괴와 같은 통상의 주괴보다 우수한 초소성성질을 갖고 있음을 시사해 주고 있다.

Sn-38%Pb 공정합금에 있어서 파괴신율(fracture elongation)은 벌크상태의 30~150%을 나타내고 있으나[8] 압연가공이나 압출가공공정을 거친 Sn-38%Pb 공정합금에 있어서의 파괴신율은 100°C에서 최대 4900%까지 신장되고 있으며, 상온에서도 1000%내외로 신장하여 초소성을 나타내고 있는 것으로 알려져 있다[7].

Table 1 및 2는 금형주괴 및 연주주괴의 각각을 압연한 후, 인장시험한 결과 얻어진 최대인장강도 및 파괴신율을 압하율과 변형률속도의 변화에 따라 표시한 것이다. Fig. 2 및 3은 Table 1 및 2의 결과에 대하여 압하율과 파괴신율과의 관계를 변형률속도에 따라 나타낸 것이다. 금형주괴를 압연한 경우(Fig. 2)는 압하율에 따른 파괴신율의 변화는 거의 보여주지 않고 있으나, 변형률속도 0.5 mm/min에서 인장한 경우 압하율 90%에서 최대 630%의 파괴신율을 나타내고 있다. 이러한 결과는 Langdon[7]이 보고한 결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 연주주괴를 압연한 경우(Fig.

3), 변형률속도가 25 mm/min에서는 압하율의 증가함에도 불구하고 파괴신율은 큰 변화를 나타내지 않고 있으나, 변형률속도가 5 mm/min이하일 때는 압하율이 89%에서 1550%에 달하는 파괴신율을 나타내고 있으며, Table 1의 금형주괴의 경우에 비해 2배 이상 높은 초소성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

연주주괴를 압하율 90%에서 압연한 경우, 변형률속도 0.5 mm/min에서 1550%의 파괴신율을 보인 반면

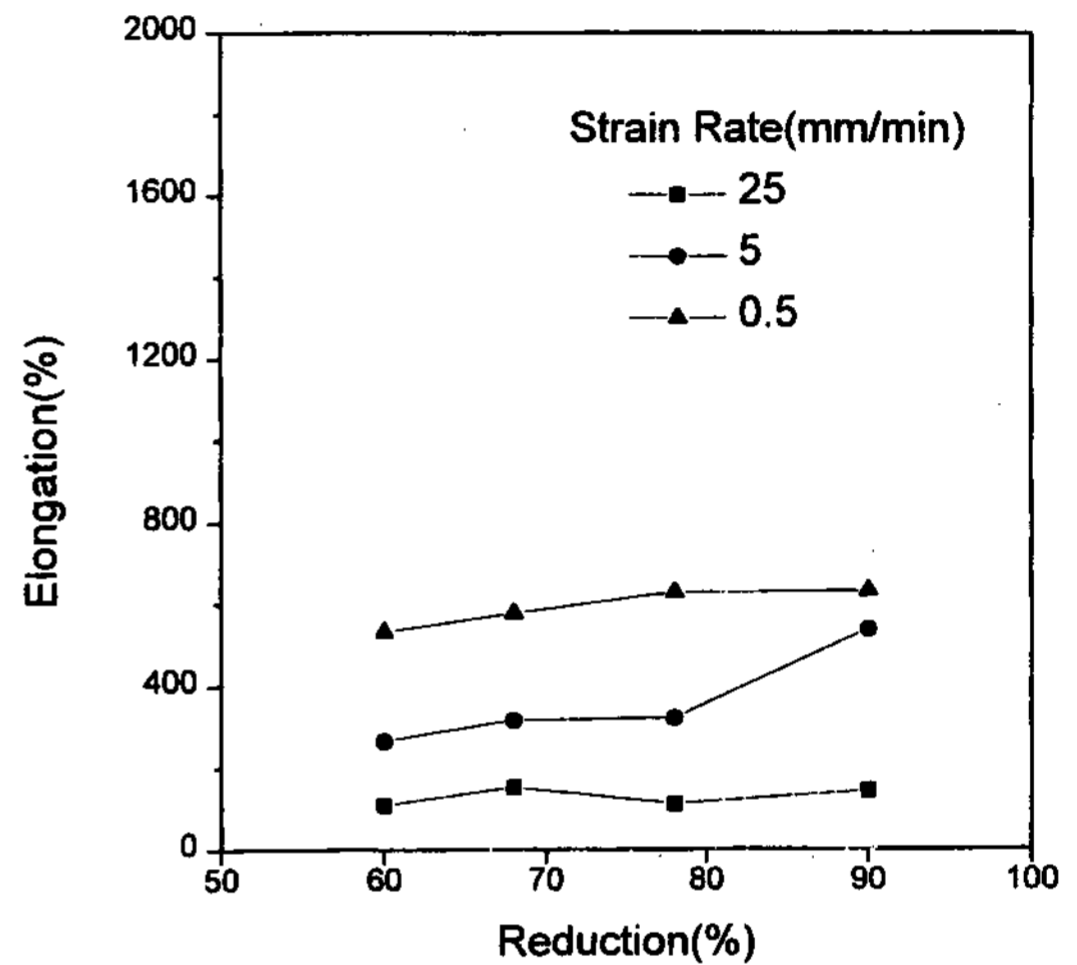


Fig. 2. Effect of rolling reduction and strain rate on the (a) elongation and (b) tensile strength of Sn-38%Pb eutectic alloy plates, respectively, produced by the chill cast process.

Table 2. Mechanical properties of the Sn-38%Pb eutectic alloy produced by the continuous casting process with the heated mold

Strain rate (mm/min)	Reduction (%)	UTS (MPa)	Fracture elongation (%)
25 ($4.2 \times 10^{-2} s^{-1}$)	0	60.4	55
	56	59.7	104
	67	58.4	131
	78	56.0	152
	89	51.5	226
5 ($8.3 \times 10^{-3} s^{-1}$)	0	58.2	57
	56	43.4	220
	67	40.4	411
	78	37.3	664
	89	35.8	843
0.5 ($8.3 \times 10^{-4} s^{-1}$)	0	44.5	60
	56	23.5	455
	67	21.1	638
	78	16.4	1040
	89	13.5	1550

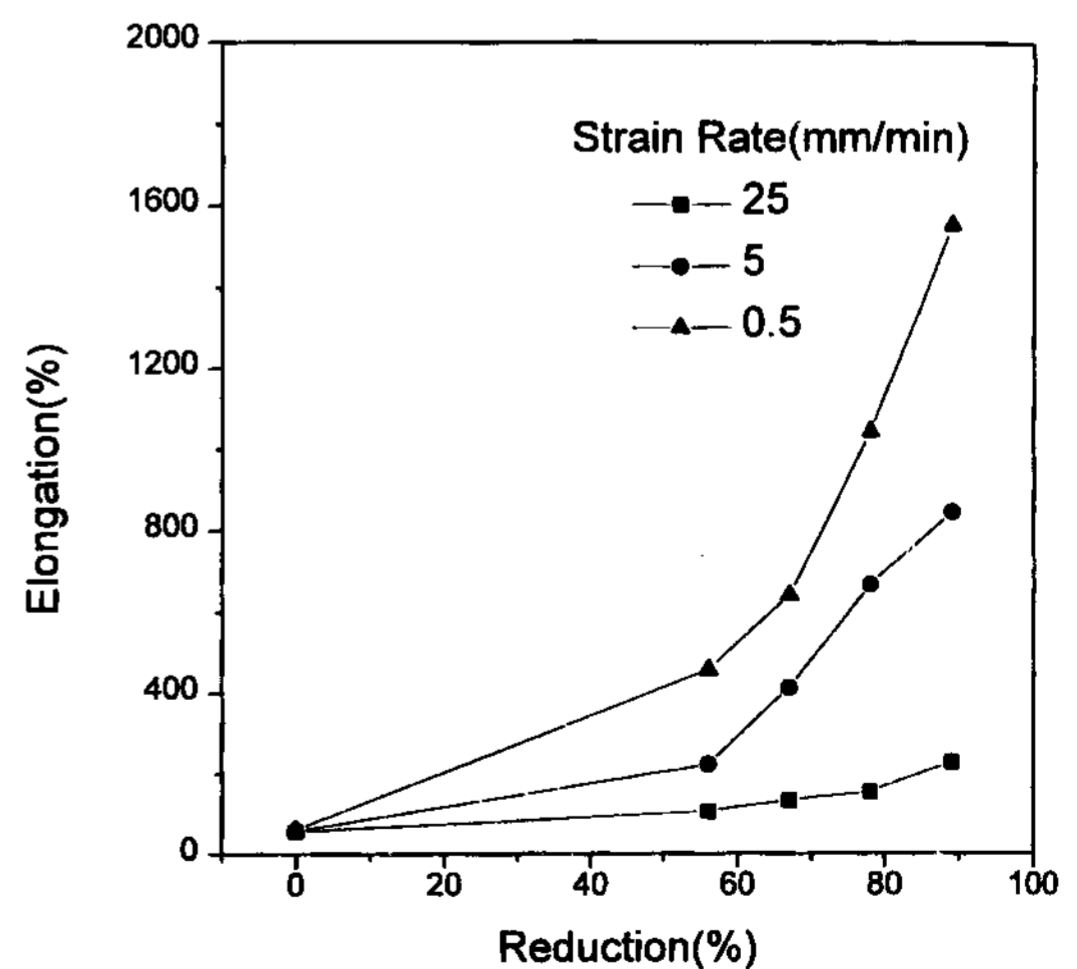


Fig. 3. Effect of rolling reduction and strain rate on the (a) elongation and (b) tensile strength of Sn-38%Pb eutectic alloy plates, respectively, produced by the continuous casting process with the heated mold.

금형주괴의 경우 630%의 파괴연신율을 나타내고 있는데, 이것은 주괴의 제조공정에 따라 초소성성질이 다르다는 것을 보여주는 것이다. 즉, 가열주형장치를 이용한 연속주조에서는 금형주조로는 얻을 수 없는 경면의 표면상태와 내부결합이 극력 억제되고, 방향성 응고조직을 가진 주괴가 얻어지며 이와 같은 연주주괴는 냉간 압연 등의 가공중에 발생하는 재결정에 의해 미세하고 균일한 조직이 쉽게 얻어지기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

Sn-38%Pb 공정합금주괴를 가열주형식 연속주조법과 금형주조법에 의해 제조하고 압연가공하였을 경우, 각 소재의 조직적 특성과 초소성적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 금형주조에 의한 주괴의 미세조직은 α 상(Sn rich phase)과 β 상(Pb rich phase)의 층상조직으로 이루어져 있으며, 부분적으로 층상조직이 퇴화된 조직이 혼재되어 있으나, 연속주조법에 의해 제조된 주괴의 미세조직은 α 상과 미세한 β 상이 불규칙적으로 혼재하여 있고, 또 다른 양상의 조대한 α 상이 인출방향으로 성장되어 있었다. 이러한 미세조직상의 차이는 가열주형식 연속주조법이 α 상을 일방향으로 응고시키기 때문이다.

(2) 연속주조법에 의한 주괴를 0.5 mm의 두께로 냉간압연한 경우의 m값은 0.57을 나타내고 있어 금형주조를 포함한 통상의 주조에 의해 제조된 주괴의 m값인 0.5보다 약간 높았는데, 이러한 결과는 연주주괴가

금형주괴와 같은 통상의 주괴보다 우수한 초소성성질을 갖고 있음을 시사해 주고 있다.

(3) 금형주조에 의한 주괴를 압연한 경우 변형률속도 0.5 mm/min에서 압하율 90%의 시편은 최대 630%의 파괴신율을 나타내고 있으나, 연속주조에 의한 주괴를 압연한 경우 변형률속도가 5 mm/min이하일 때는 압하율이 증가함에 따라 파괴신율이 증가하였고, 특히 변형률속도가 0.5 mm/min에서 압하율 89%인 시편은 1550%에 달하는 파괴신율을 나타내고 있어 금형주조에 의한 주괴의 경우에 비해 2배이상 높은 초소성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 1996년도 한국과학재단 핵심전문연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다(과제번호 961-0806-042-2).

참 고 문 헌

- [1] 本保元次郎, 大野篤美: 日本金屬學會誌, 54(1990) 321.
- [2] 大野篤美: 日本金屬學會會報, 23(1984) 773.
- [3] A. Ohno: J. of Metals, 38(1986) 14.
- [4] R. J. K. Wassink: Soldering in Electronics, Electrochemical Publications Ltd., Ayr, Scotland(1984) 229.
- [5] J. H. Lau: Solder Joint Reliability, Van Nostrand Reinhold (1991) 229.
- [6] 本保元次郎, 茂木徹一, 大野篤美: 日本金屬學會誌, 51(1987) 935.
- [7] T. G. Langdon: Mater. Sci. Eng., A137 (1991) 1.
- [8] S. K. Kang, A. K. Sarkhel: J. Electronic Mater., 23 (1994) 8.