

논문

쌍롤법에 의한 Al-Sn 합금 Strip 의 제조 및 특성에 관한 연구

이정근 · 주대헌 · 김명호†

A Study on the Fabrication and Characteristics of Al-Sn Alloy Strips by Twin-Roll Process

Jeong-Keun Lee, Dae-Heon Joo and Myung-Ho Kim†

Abstract

Twin-roll process is a relatively new continuous casting process which can produce high-quality strip products directly, and solidification rate can reach 10^3 to 10^4 K/s, leading to fine and uniform microstructures with enhanced mechanical properties. The strip casting condition for producing fine Al-Sn alloy strip was obtained experimentally, and defects appearing on the strip was examined. Crack formation and surface quality of the strip was found to depend mainly on process parameters such as melt temperature, roller gap and rolling speed. Sn structure of network type was observed in Al-20Sn and Al-40Sn alloy strips, and cell spacing of Al-40Sn alloy was smaller than that of Al-20Sn. Bonding strength of the heat treated specimens increased with increasing of soaking time and temperature, and bonding strength of Al-20Sn alloy was more superior than that of Al-40Sn alloy. However wear resistance of Al-40Sn alloy contained large amount of soft Sn which possess good anti-friction characteristics was superior than that of Al-20Sn alloy. (Received June 18, 2002)

Key words : Al-Sn Alloy, Strip Casting, Bearing, Bonding Strength, Wear Resistance

1. 서 론

1940년대부터 본격적으로 개발된 Al합금 베어링 (bearing)은 내피로성, 내식성, 내마모성에 있어서 Sn 및 Pb계 화이트메탈(white metal)은 물론 동연합금 (Cu-Pb)계 베어링보다도 우수한 성능을 나타내기 때문에 최근 엔진이 대형화되면서 고온 고압의 분위기 하에서 우수한 내피로성을 갖는 베어링 소재로서 각광을 받고 있다[1-3].

Al합금 베어링은 표면에 매우 치밀하고 안정된 산화 피막(γ-Al2O3)이 형성되기 때문에 동연합금에 overlay 한 베어링보다 10배 이상 내식성이 우수한 것으로 알려져 있다[1]. 또한 Al합금은 열전도율이 일반 화이트 메탈보다 크기 때문에 엔진 작동중에 받는 열을 즉시 외부로 전달시킬 수 있으며, Si, Ni, Mg, Fe 등의 원소를 소량 첨가할 경우 기계적 성질을 더욱 우수하게

할 수 있다[3-8]. 이러한 장점으로 인하여 현재 Miba 사, BHW사 및 Daido사 등 외국의 제조업체에서는 이미 고성능 및 고출력화를 유도할 수 있는 Al-Sn합금 계의 각종 박판 베어링을 상업용으로 개발하여 판매하고 있다.

현재 사용되고 있는 Al-Sn합금 베어링의 재질은 SAE770, 780 및 외국의 각 제조업체에서 자체 발명하여 bimetal strip으로 제조한 6%~40%의 Sn함량이 주로 사용된다[1]. 그러나 이 합금은 고액공존범위가 매우 넓고 비중차가 매우 크기 때문에 용해/주조시 심한 편석현상이 발생된다[6-8]. 따라서 Al-Sn합금계와 같이 편석의 발생이 크고 조대한 미세조직을 갖는 합금을 개량할 수 있는 새로운 제조공법 중의 하나가 쌍롤법 (twin roll process)이다. 이 방법은 급속응고 효과에 의해 미세한 결정립 및 분산상을 얻을 수 있으며, 무편석의 고 Sn합금을 제조할 수 있다[6,9-10]. 또한 롤

인하대학교 재료공학부(School of Materials Science and Engineering, Inha University)

†E-mail : mhkim@inha.ac.kr

갭(roll gap)이 자유롭게 조절될 수 있기 때문에 얇은 판상의 형태로 near net shape의 박판 제조가 가능한 특징을 가지고 있다. 이에 따라 쌍롤법을 이용하여 박판 베어링을 제조할 경우 다단계 압연공정이 생략될 수 있기 때문에 설비비 및 제조원가가 절감될 수 있으며, 또한 급속응고 효과에 의해 재질 개선 효과도 매우 클 것으로 기대된다. 그러나 Al-Sn합금과 같이 고액공존범위가 큰 합금은 작은 합금에 비해 쌍롤 주조 시 가장자리 균열 및 표면균열을 쉽게 발생시키는 것으로 잘 알려져 있다[10].

따라서 본 연구에서는 롤갭, 용탕온도, 선속도 및 Sn의 함량변화에 따른 Al-Sn합금 strip의 제조특성을 조사하였으며, 제조한 strip의 미세조직을 관찰하였다. 또한 쌍롤법으로 제조한 strip의 기계적성질을 알아보기 위하여 제조한 strip을 이면금속(냉연강판, back metal)과 냉간압접(cladding) 및 열처리 후 접합강도 및 내마모성을 평가하였다.

## 2. 실험방법

2.1 쌍롤주조(twin-roll strip casting) 및 베어링 제조  
 흑연도가니에 Al(99.99%), Sn(99.99%) 및 Cu(99.96%)를 장입한 후 전기 저항로를 사용하여 750°C의 온도로 용해하였다. 직경 30 mm, 높이 200 mm크기의 봉상 금형에 용탕을 700°C의 온도로 주입하여 Al-20%Sn-1%Cu 및 Al-40%Sn-1%Cu모합금을 제조하였다. 제조한 모합금을 마그네시아(MgO) 도가니에 장입 후 중주파유도로를 사용하여 재 용해하여 쌍롤주조를 행하였다(그림 1). 이때 사용한 쌍롤주조기(twin-roll

Table 1. Strip casting condition of Al-Sn alloys.

Tundish nozzle		
① Tundish angle (°)	Nozzle tip (mm)	Contact angle (°)
30	W70×T2.5	10
Roll		
② Roll speed (m/min)	Roll gap (mm)	Roll temp. (°C)
9, 14, 18, 22, 27	1.5, 2, 2.5, 3, 3.5	R.T.
Melt		
③ Melt temp. (°C)	A20	627, 630, 640, 660
	A40	607, 610, 620, 640

strip caster)는 수평형(horizontal type)으로 롤의 직경이 300 mm이며, 선속도는 3~29 m/min의 범위에서 변화될 수 있다.

표 1은 쌍롤 주조 시 strip의 제조조건 변화를 요약하여 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 턴디쉬(tundish) angle, 노즐(nozzle) tip의 크기, 접촉각 및 롤의 온도는 일정하게 고정하였으며, 용탕온도, 선속도 및 롤갭은 여러 조건으로 변화하였다. 응고구간이 큰 Al-Sn합금을 쌍롤주조 할 때 접촉각(contact angle)이 45° 보다 큰 경우 턴디쉬 전방에서 합금이 응고되어 건전한 strip을 제조 할 수 없으며, 10° 보다 작은 경우 상·하부롤의 교점을 통과한 용탕은 충분히 응고하지 않아 반응고상태(고상 Al, 액상 Sn)로 가이드(guide)에 적층된다. 따라서 본 실험에서는 접촉각 및 용탕의 유출속도를 결정하는 턴디쉬 angle을 각각 10°와 30°로 고정하였다. 또한 노즐 tip의 폭 및 높이에 따라 용탕의 유출속도가 변화하기 때문에 이를 일정하게 하기 위하여 노즐 tip의 폭을 70 mm로 하였으며, 높이를 2.5 mm로 일정하게 하였다.

그림 2는 메탈 베어링의 제조공정도를 종래의 방법과 비교하여 나타낸 것이다[1,11]. 중력주조에 의한 종래의 베어링 제조공정에 비해 쌍롤법으로 제조한 strip의 경우 압연 pass가 적기 때문에 압연조직을 풀어주기 위한 열처리공정을 생략 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 냉간압연 및 냉간압접 후 열처리 조건을 변화하여 열처리를 행하였으며, 이때의 미세조직 및 접합강도 변화를 측정하였다.

## 2.2 성분분석, 열분석 및 조직관찰

제조한 A20(Al-20Sn) 및 A40(Al-40Sn)합금 strip의 성분은 ICP법(Sn : KSD 1872-93, Cu : KSD 1865-93)으로 분석하였다. 또한 각 합금의 융점은 DTA(TA

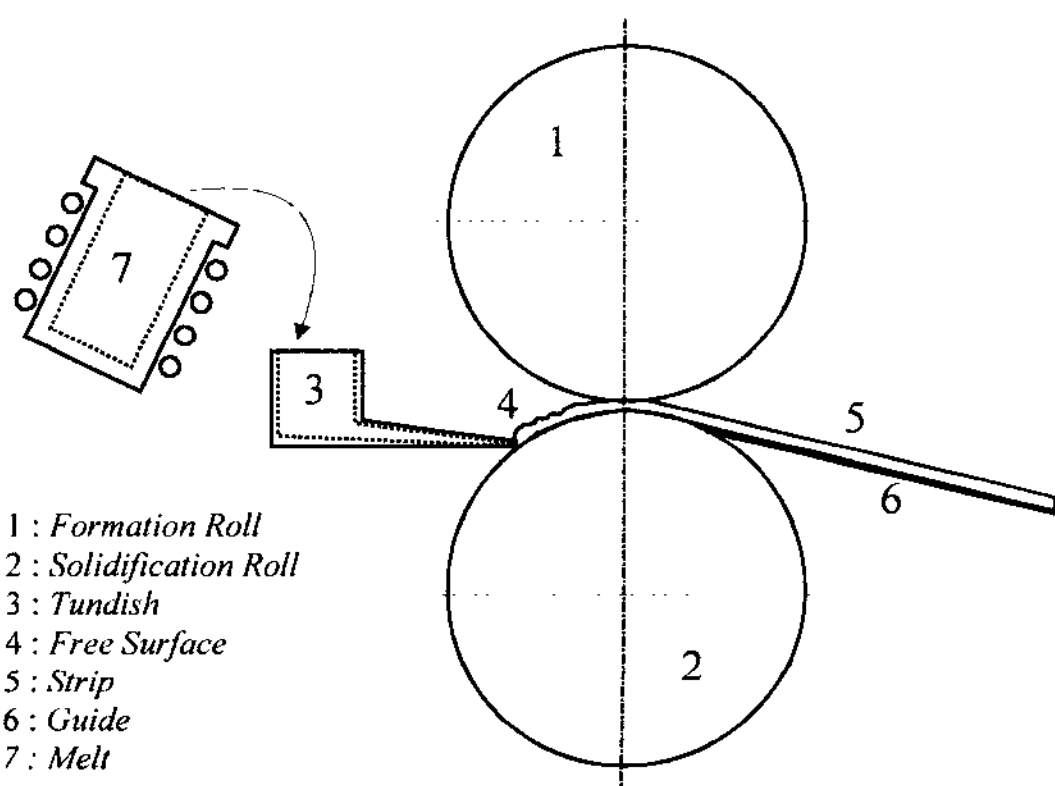


Fig. 1. Schematic illustration of twin-roll strip casting process.

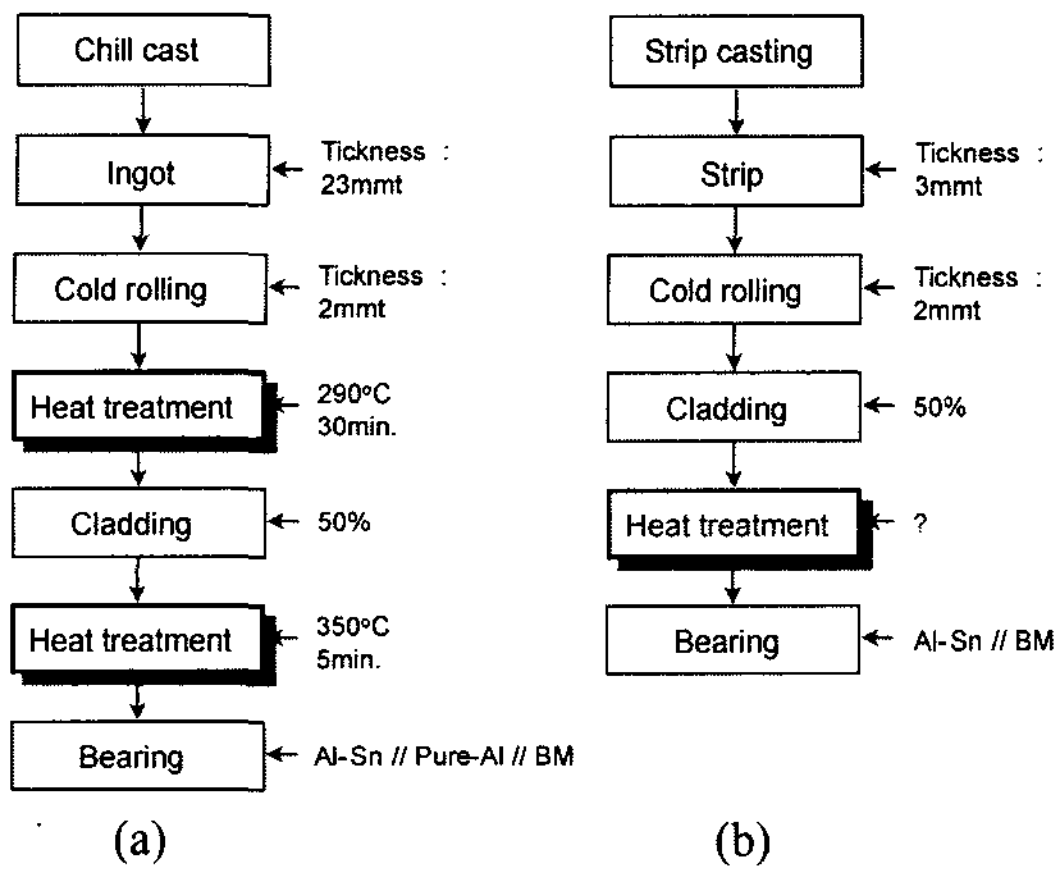


Fig. 2. Flow chart of manufacturing processes of metal bearing ; (a) conventional process and (b) strip casting process.

910 thermal analyzer, USA)를 이용하여 측정하였으며, 이때 승온속도는 5°C/min으로 하였다. 미세조직은 각 시편을 연마지(emery paper)와 diamond paste를 사용하여 1µm까지 연마(polishing)한 후 0.5%HF액에 약 5초 동안 부식(etching)시켜 광학현미경 및 SEM/EDX(Hitachi, X-650, Japan)을 사용하여 관찰하였다

2.3 접합강도측정 및 마모시험

열처리는 220°C~450°C의 온도범위에서 각각 10분, 30분, 60분간 행하였으며, 각 시편의 미세조직 및 접합강도 변화를 측정하였다. 접합강도 측정은 peel test (ASTM D3167)법으로 행하였으며, 이때 cross head speed는 200 mm/min으로 행하였다[12].

내마모시험은 Riken-ogoshi형 내마모시험기(OAT-U, Riken-ogoshi's Universal Wear Tester)를 사용하여 행하였다. 이때 마모시험은 상온의 전식조건에서 실시하였으며 접촉하중은 2.1 kg, 마모거리는 200 m, 활주속도는 0.62와 1.65 m/sec의 저속 및 고속조건으로 변화시켰다. 또한 상대재는 SCM4강을 850°C에서 45분유지 후 175°C로 유냉하여 경화 후 사용하였다. 이때 상대재료의 경도는 54.5HRC였다. 마모시험 후 비마모량 측정에 이용된 식은 다음과 같으며, 마모시험 후 시편의 표면을 SEM으로 관찰하였다.

$$W = \frac{B \cdot b^3}{8r \cdot P \cdot l} \quad (1)$$

여기서 W는 비마모량, B는 상대재의 폭, b는 마모깊

Table 2. Analyzed chemical composition of Al-Sn alloys (wt.%).

	Sn	Cu	Al
Al-20Sn(A20)	19.31	1.01	Bal.
Al-40Sn(A40)	39.13	1.00	Bal.

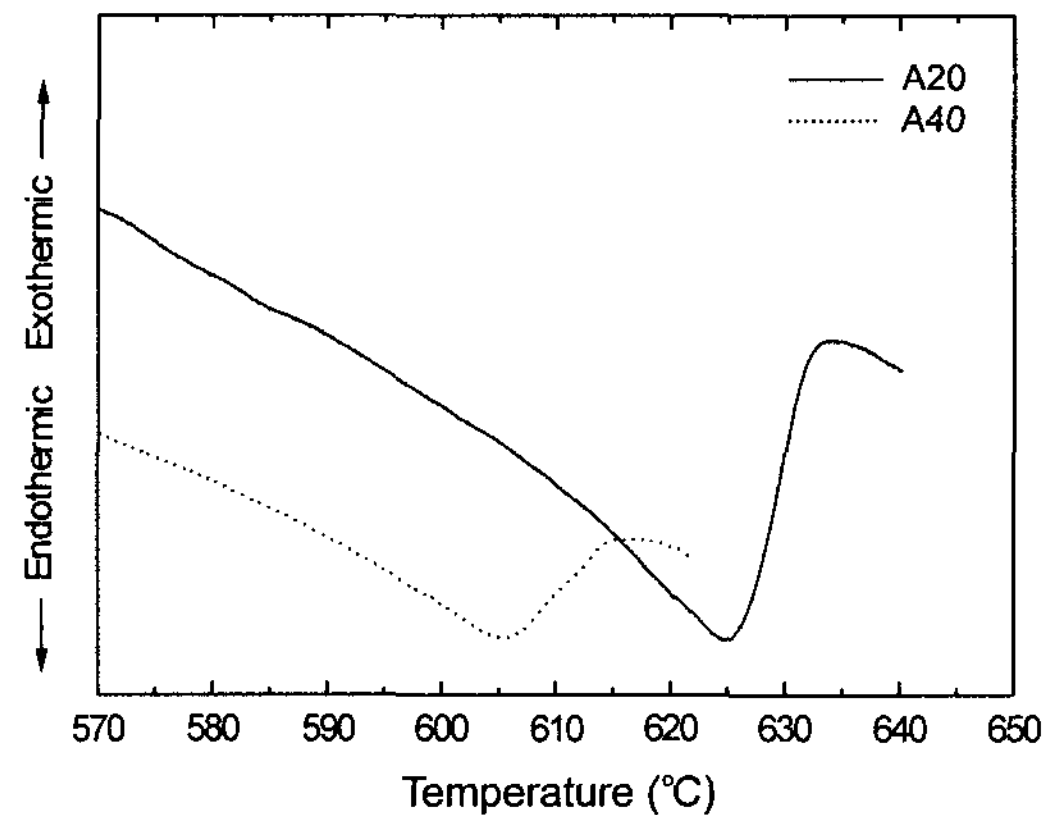


Fig. 3. Result of the DTA analysis to investigate the melting points of Al-20Sn and Al-40Sn alloys.

이, r은 상대재의 반경, P는 접촉하중, l은 활주거리이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 성분분석 및 열분석

표 2는 제조한 strip의 성분분석 결과를 나타낸 것이며, 그림 3은 A20 및 A40합금의 용점을 알아보기 위하여 DTA분석한 결과이다. 성분분석 결과 A20(Al-20Sn-1Cu), A40(Al-20Sn-1Cu) 두 합금 모두 목표치에 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 열분석 결과 A20합금 용점은 625°C로 나타났으며, A40합금의 용점은 605.1°C로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 표 1에 나타낸 바와 같이 쌍롤주조 시 용탕온도는 용점 직상의 온도조건부터 용점으로부터 35°C의 과열된 용탕온도 조건까지 변화하여 실험을 실시하였다.

3.2 Al-Sn합금 strip의 제조특성

그림 4는 쌍롤주조시 용탕온도 및 선속도 변화에 따른 strip형상의 변화를 나타낸 것이다. (a)는 전전한 strip을 보이고 있는 것이며, (b)는 상부롤에 strip이 닿지 않아 형성된 자유표면(free surface)을 보이고 있다. 또한 (c)는 용탕이 노즐의 tip에서 응고하여 strip을 제

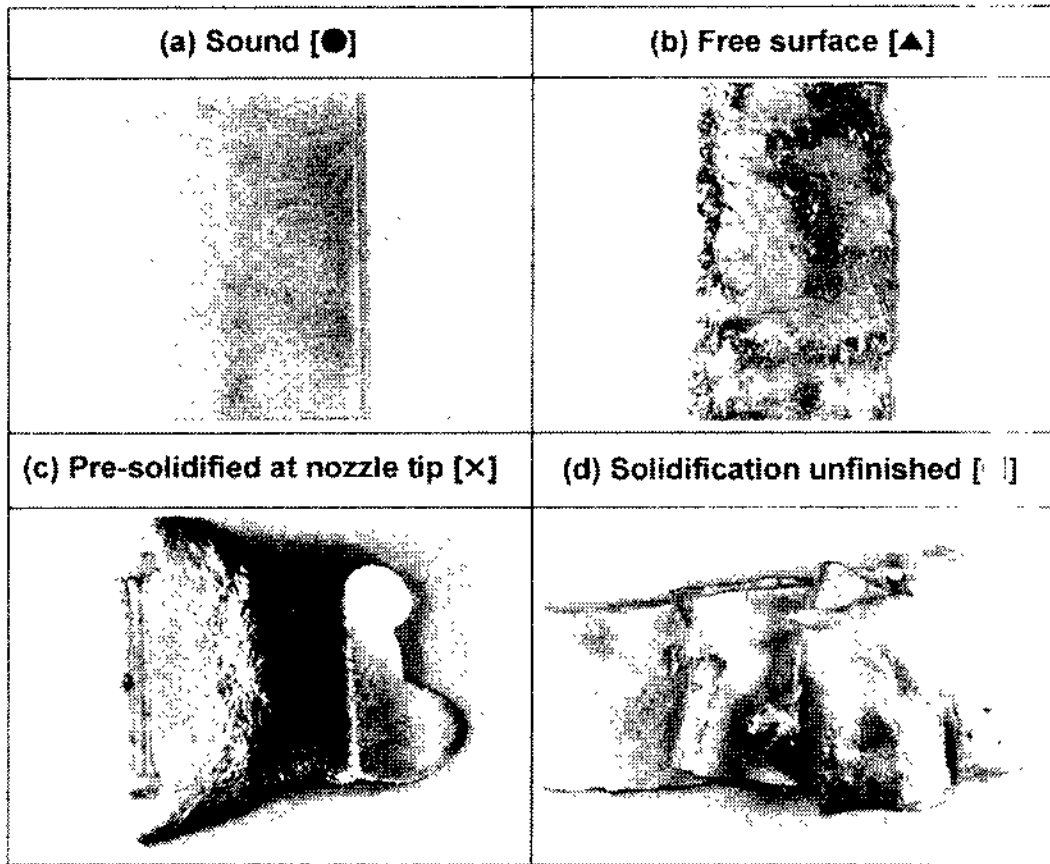


Fig. 4. Changes of the fabrication characteristics of the Al-Sn alloy strips with the melt temperature and the roll speed.

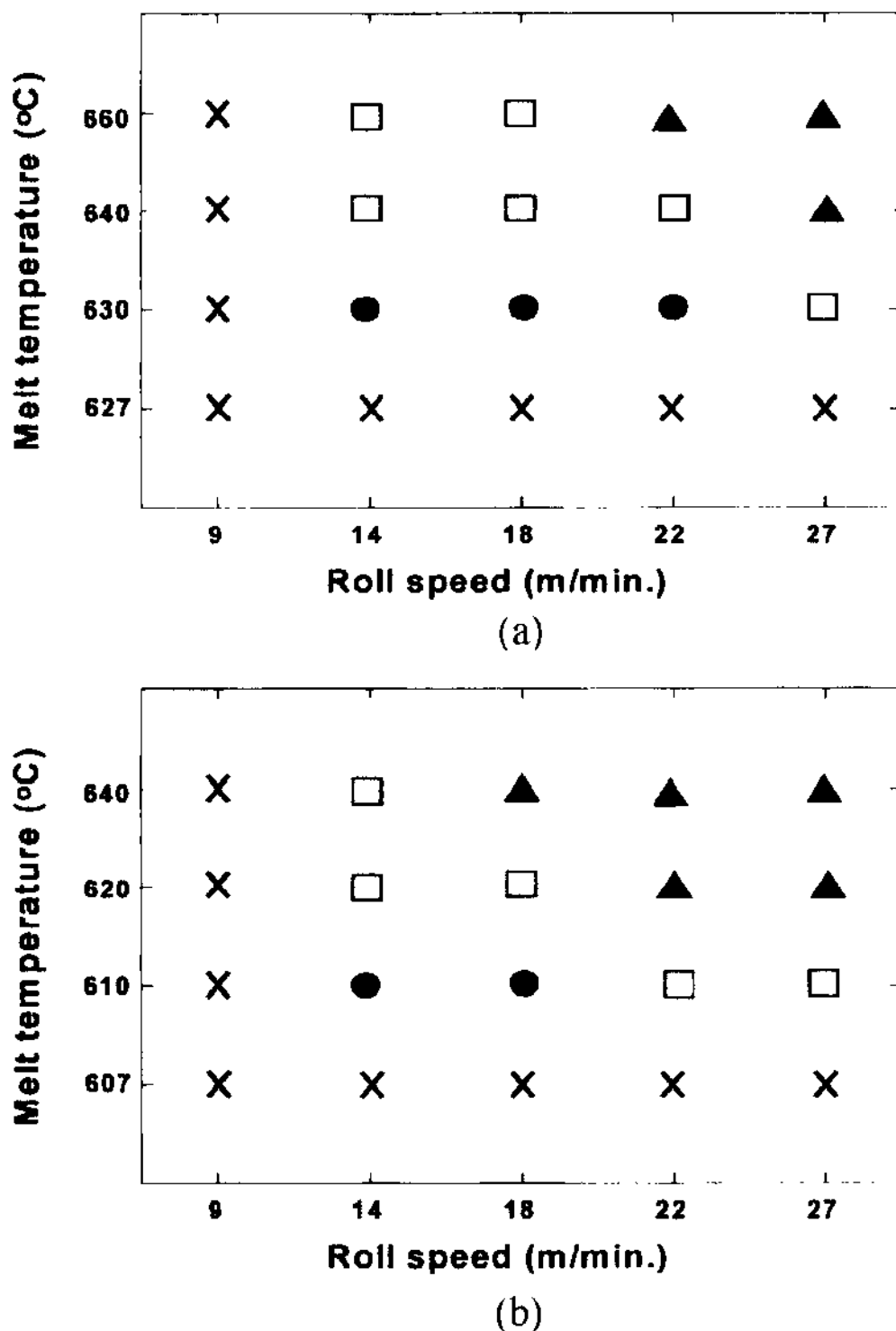


Fig. 5. Effect of process parameters on the fabrication characteristics ; (a) Al-20Sn alloy and (b) Al-40Sn alloy.

조할 수 없는 경우를 보이는 것이며, (d)는 strip이 완전히 응고하지 못하고 두 롤을 빠져 나옴으로써 가이드상에 적층된 것으로 건전한 strip을 제조할 수 없는 경우를 나타낸 것이다. 그림 5는 A20 및 A40합금의

용탕온도 및 선속도 변화에 따른 strip의 제조특성을 보이고 있는 것이다. 본 연구에서는 두께 3 mm의 건전한 strip을 제조하는 것을 목표로 하였기 때문에 롤 간격은 3 mm로 일정하게 고정하였다. A20합금의 경우 용탕온도는 630°C에서 선속도를 14~22 m/min로 하였을 때 건전한 strip을 제조할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 A40합금의 경우 용탕온도는 610°C에서 선속도를 14~18 m/min으로 하였을 때 건전한 strip을 제조할 수 있는 것으로 나타났다.

건전한 strip을 제조할 수 있는 조건보다 용탕온도가 감소하거나 선속도가 느려질 경우 노즐의 막힘(X)현상이 발생됨을 알 수 있다. 이는 용탕온도가 낮을 경우 턴디쉬 노즐의 tip을 빠져 나온 용탕은 롤의 상부에서 쉽게 응고할 수 있으며, 선속도가 느릴 경우 노즐의 tip을 빠져 나온 용탕은 하부롤에서 유지하는 시간(dwelling time)이 길어져서 상부롤과 하부롤이 맞닿는 지점을 통과하기 전에 완전히 응고하기 때문으로 판단된다. 그러나 용탕온도 및 선속도가 건전한 strip을 제조할 수 있는 조건보다 증가할 경우 strip은 충분히 응고하지 못하고 반응고 상태에서 가이드에 닿아 적층되거나, 또는 용탕의 공급량(약 80 cm<sup>3</sup>/sec)에 비해 롤의 회전에 의한 유출량이 더욱 커져서 용탕이 상부롤에 닿지 못하여 자유표면을 형성함을 알 수 있다[13].

A20합금과 A40합금의 용탕온도 변화에 따른 strip의 제조특성을 비교하여 보면 A20합금에 비해 Sn의 함량이 많은 A40합금이 건전한 strip을 제조할 수 있는 범위가 좁아짐을 알 수 있다. 또한 A40합금은 A20합금에 비해 가이드 상부에 적층 및 자유표면을 형성시키는 범위를 더욱 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 A40합금은 A20합금에 비해 Sn의 함량이 2배 많기 때문에 쌍롤주조시 응고롤에서 응고하는 고상 Al의 분율 감소에 기인한 것으로 판단된다.

롤갭 및 선속도 변화에 따른 strip의 표면특성 변화를 알아보기 위하여 전술한 결과를 바탕으로 A20 및 A40합금의 용탕온도를 각각 630°C와 610°C로 고정하고 롤갭 및 선속도 변화의 영향을 조사하였다. 그림 6은 롤갭 및 선속도 변화에 따른 strip의 표면특성을 나타낸 것이다. (a)는 건전한 strip제조시 보이는 fine surface를 보이는 것이며, (b)는 상부롤에 닿지 않아 형성된 자유표면을 보이고 있다. 또한 (c)와 (d)는 롤갭 및 선속도가 적절하지 않아 상·하부롤의 최근접점에서 strip에 많은 응력을 받아 나타나는 표면 미소균열

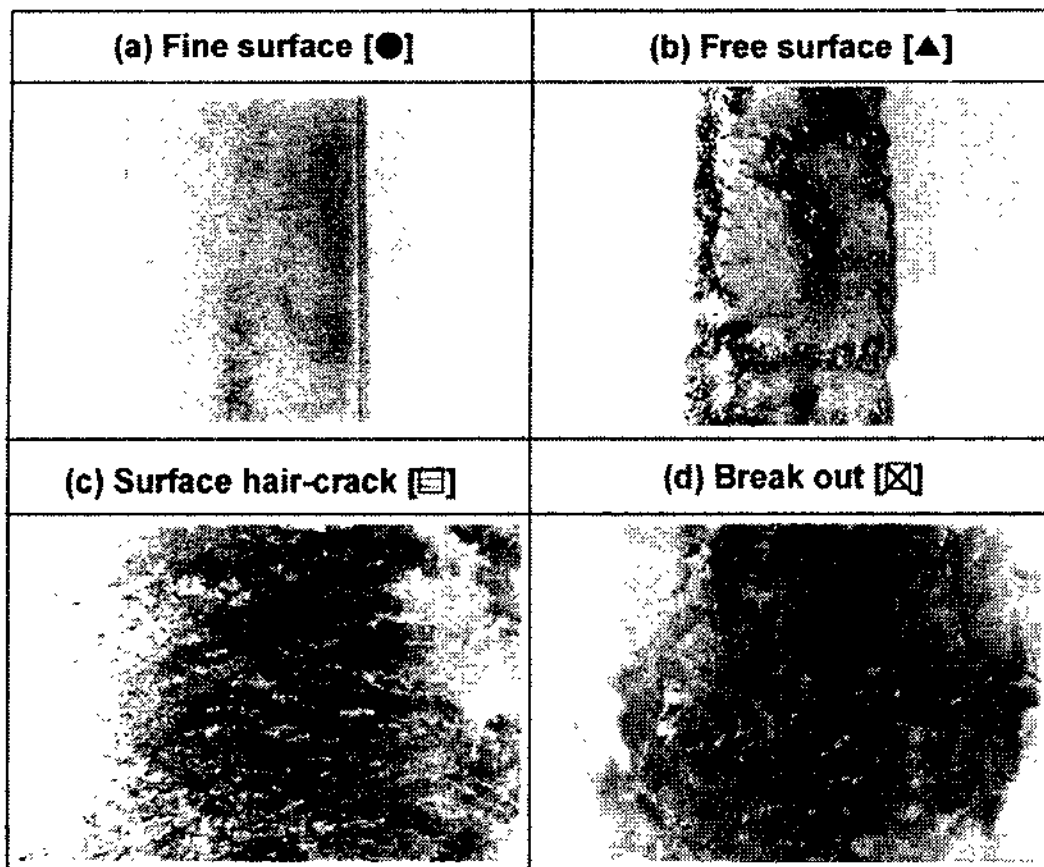
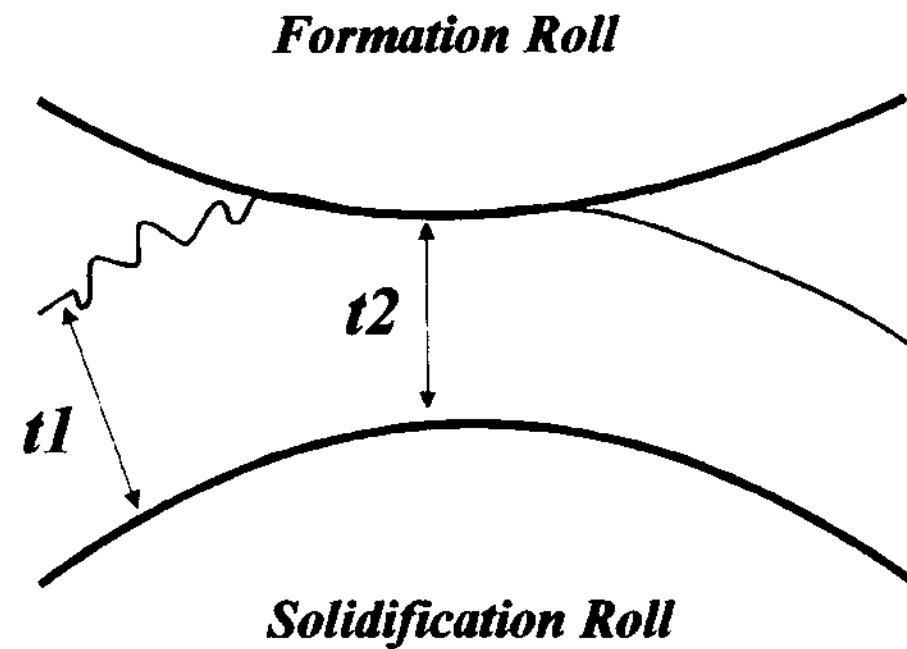


Fig. 6. Changes of the surface quality of the strips with roll gap and roll speed.



$t1 \gg t2$  : Cracking  
 $t1 = t2$  : Sound strip

Fig. 8. Schematic illustration of cracking during twin-roll strip casting process.

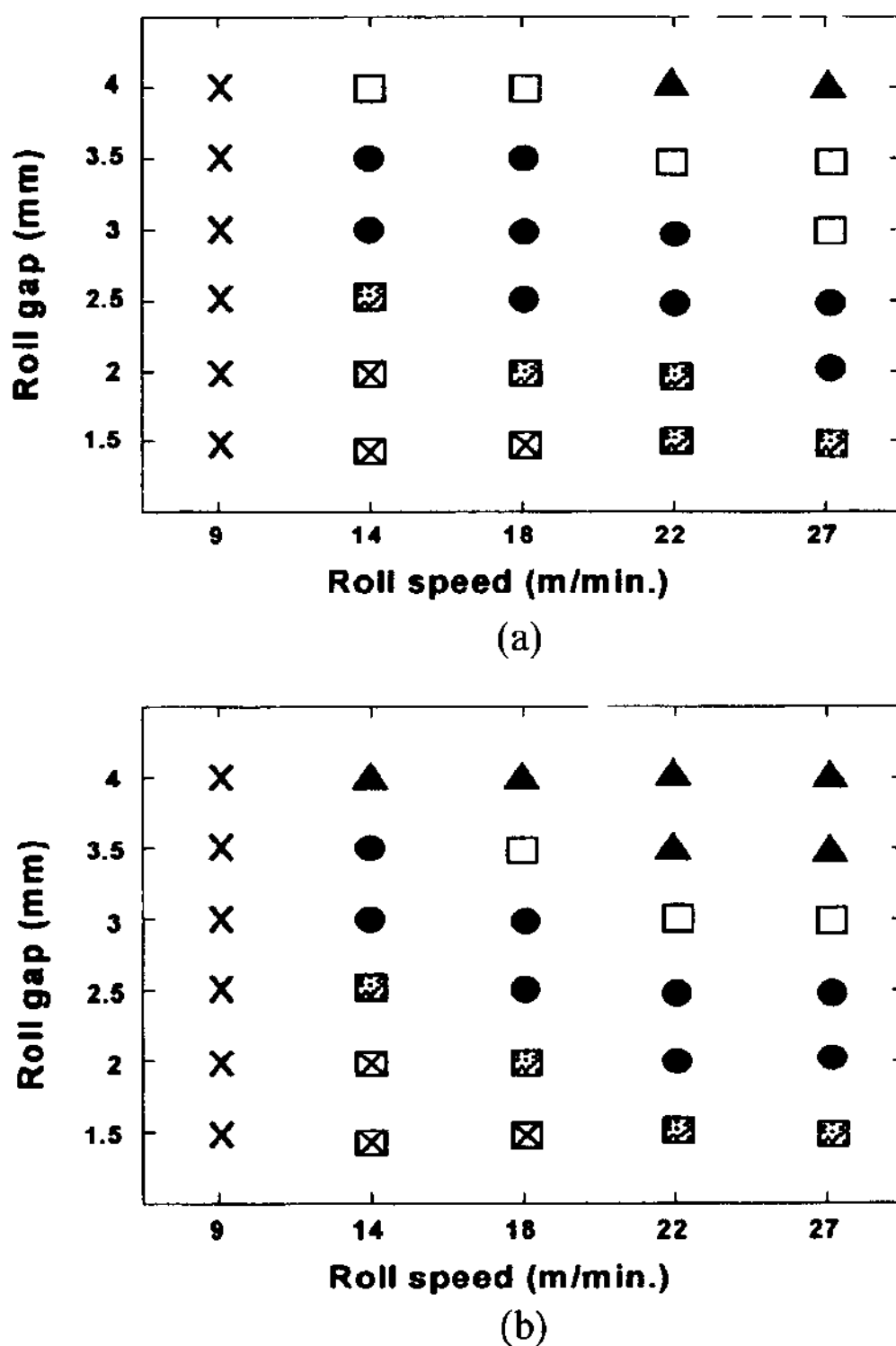


Fig. 7. Variation of surface characteristics of (a) Al-20%Sn and (b) Al-40%Sn alloys with the roll gap and the roll speed.

(surface hair-crack) 및 파단(break out)을 보이고 있는 것이다[10,13-14].

그림 7은 롤갭 및 선속도 변화에 따른 A20 및 A40합금의 표면특성을 나타낸 것이다. 두 합금 모두

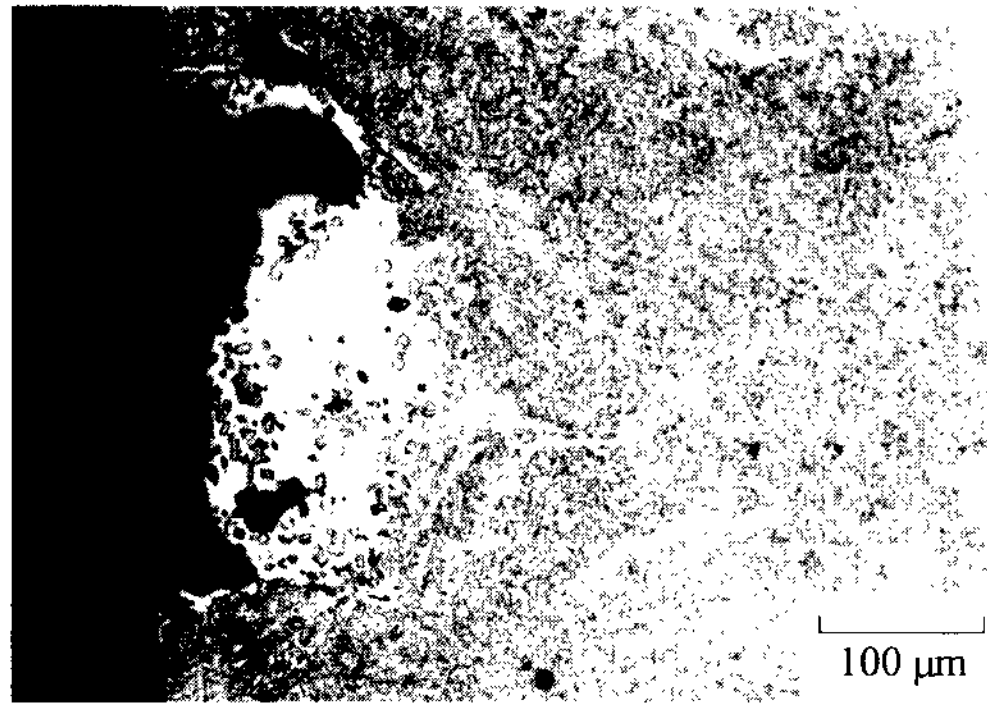
선속도 증가에 따라 건전한 strip을 제조할 수 있는 롤갭은 점차적으로 감소되는 경향을 보였다. 이는 턴드 쉬로부터 회전하는 롤에 공급되는 용탕의 양은 일정하지만 선속도가 증가될 경우 회전하는 롤에 의해 유출되는 용탕의 양은 점차적으로 증가되기 때문에 하부를 상부에 공급되는 용탕의 높이가 감소하여 strip의 두께는 점차적으로 감소되는 것으로 판단된다. 이에 따라 선속도가 증가될 경우 점차적으로 자유표면을 형성하는 영역이 증가되는 것으로 생각된다. 그러나 롤갭을 건전한 strip 제조조건 보다 더욱 감소시키면 공급된 용탕의 높이에 비해 롤갭이 작기 때문에 상·하부롤의 최근접점에서 고·액 공존상태의 Al-Sn합금 strip이 많은 변형 응력을 받아 표면 미소균열(surface hair-crack) 및 파단(break out)을 보임을 알 수 있었다(그림 8).

고액공존범위가 매우 넓은 Al-Sn합금은 용탕온도를 건전한 strip이 제조되는 범위 이상 또는 롤갭을 2 mm 이하로 하였을 때 많은 sticking이 발생되었다[10]. 그림 9는 롤 표면에서 sticking현상이 발생된 A40합금 strip의 단면 미세조직과 sticking된 입자의 XRD분석 결과를 나타낸 것이다. 미세조직 및 XRD 분석결과로부터 sticking의 주원인은 쌍롤주조시 액상으로 존재하는 Sn에 의한 것임을 알 수 있다. 특히 롤갭이 2 mm 이하일 때 Sn의 sticking이 나타나는 이유는 strip제조 시 상·하부롤의 최근접점을 strip이 지날 때 액상의 Sn이 strip의 표면으로 밀려나와 발생하는 것으로 여겨지며, 이러한 현상이 표면균열 및 파단의 원인으로 판단된다.

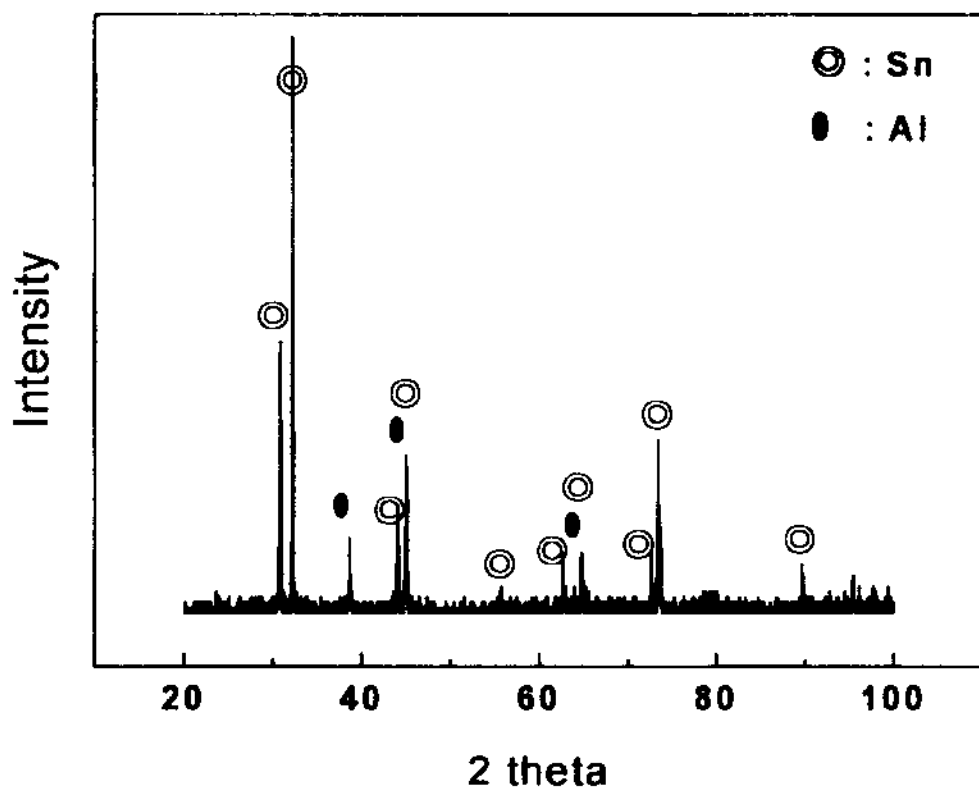


3.3 미세조직

그림 10은 쌍롤법으로 제조한 strip의 단면 미세조직을 관찰한 것이다. 두 합금의 하부 및 상부 미세조직



(a)



(b)

Fig. 9. (a) the cross sectional microstructure of the Al-40%Sn alloy strip in which a sticking phenomenon is generated on the roll surface and (b) the result of the XRD analysis of the stucked particles.

은 롤에 의한 빠른 냉각속도에 기인하여 미세한 망목상조직(network type structure)을 보였으나, 중심부는 상대적으로 조대한 망목상조직이 관찰되었다[3,10-11]. 그림 11은 strip 단면의 cell spacing변화를 나타낸 것이다. Cell spacing은 상·하부롤이 접한 부분에서 매우 미세하였으며, 중심부는 상·하부에 비해 약 20 μm 정도 조대하였다. 또한 A40합금의 cell spacing이 A20합금의 cell spacing에 비해 같은 위치에서 평균 20 μm 정도 미세함을 보였다. 이는 응고 시 용질원자가 많은 확산을 수반하기 때문에 용질원자의 확산거리를 줄이기 위해 세포상 조직의 간격이 작아진 것으로 여겨진다[15].

쌍롤법으로 제조한 편석이 없는 Al-Sn합금 strip은 이면금속과 냉간압접을 통해 메탈 베어링이 제조된다. 따라서 strip은 냉간압접 후 길게 연신된 상이 미세하

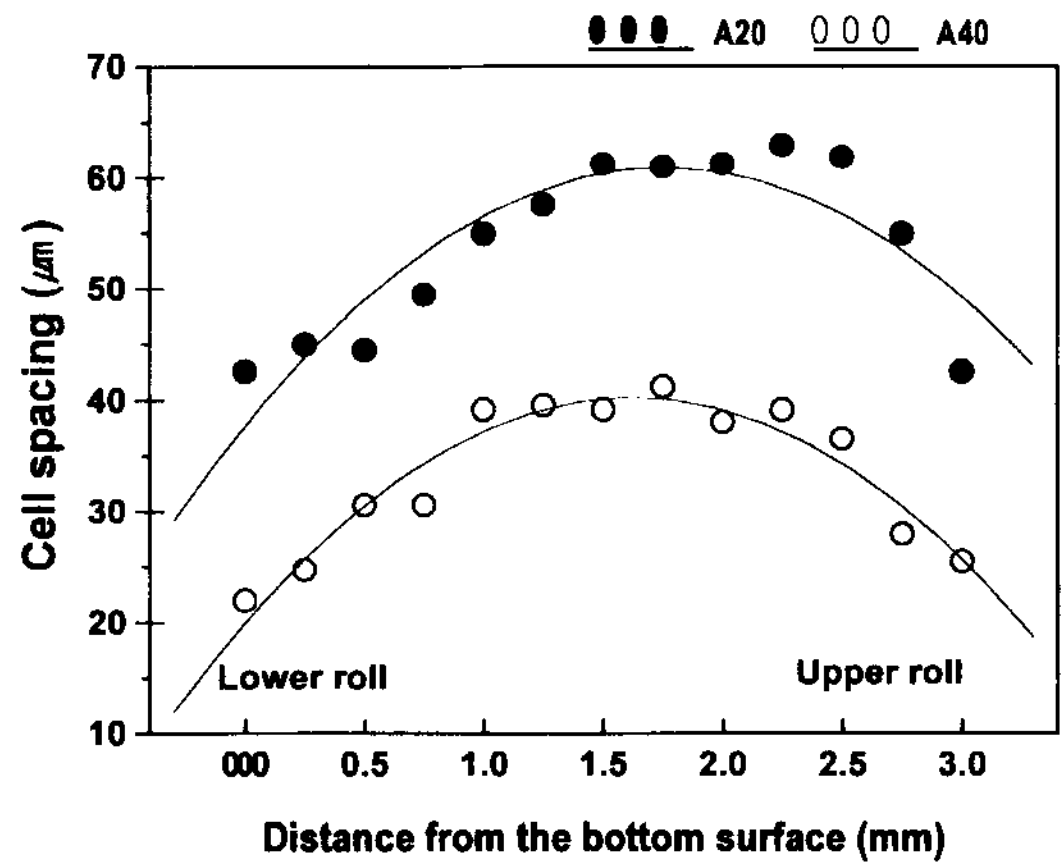


Fig. 11. Variation of the cell spacing with the position for the Al-20Sn and Al-40Sn alloy strips.

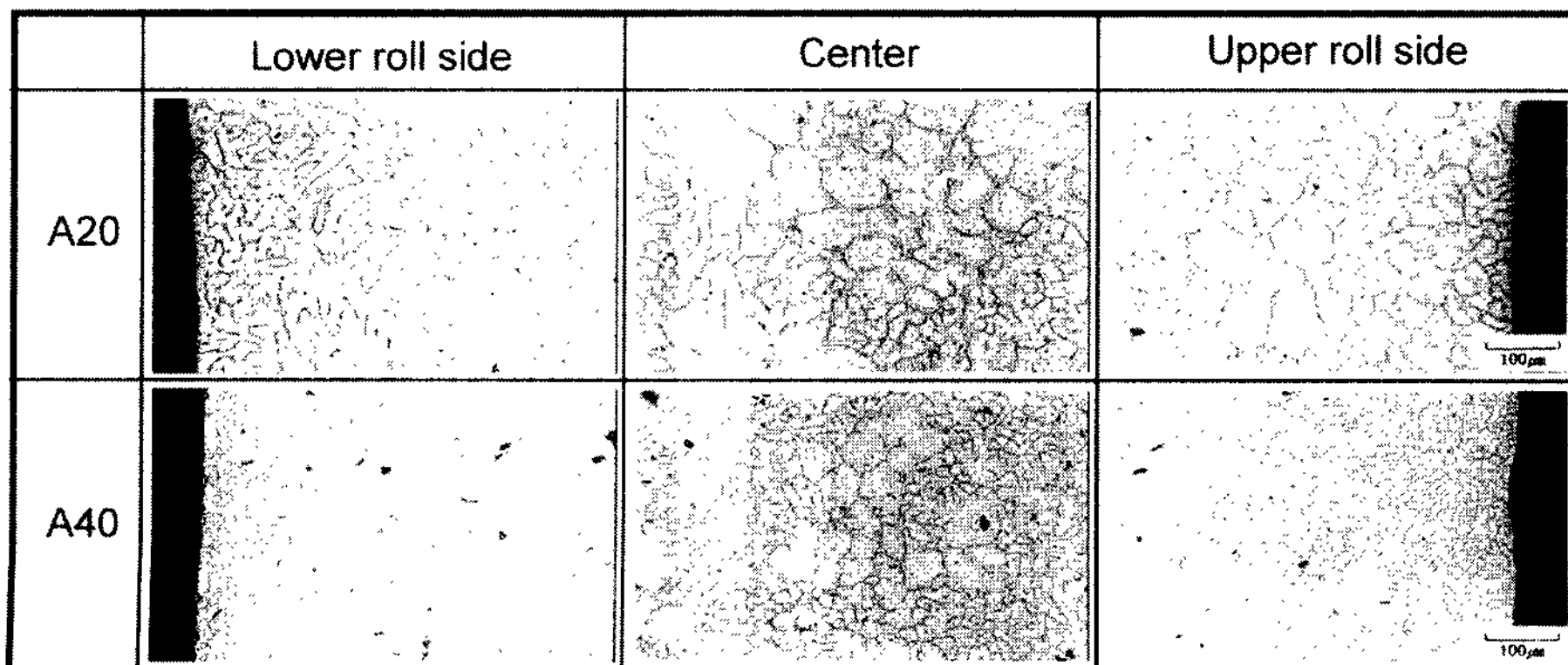


Fig. 10. Optical microstructures of cross section of the strips.

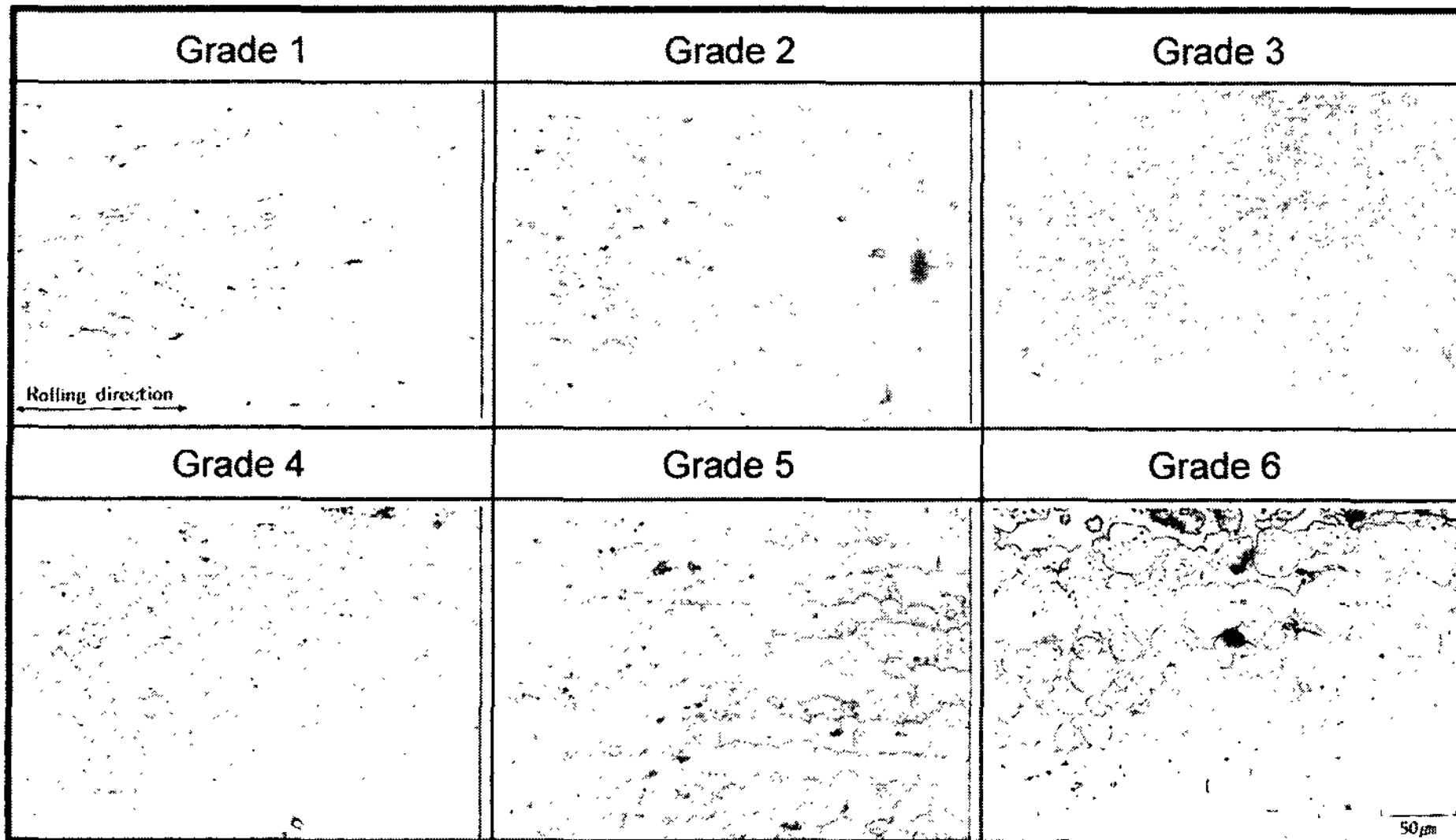


Fig. 12. Classification of microstructures according to heat treatment.

게 파괴되어야 하며, 이면금속과의 우수한 접합성을 나타내어야 하기 때문에 적절한 열처리 조건이 확립되어야 한다. 베어링이 우수한 특성을 나타내기 위해서는 냉간압접 후 다음의 사항을 만족해야 한다. 첫째, 합금의 미세조직 측면에서 가공공정(냉간압연 및 냉간압접)에 의해 길게 연신된 Sn상을 미세한 구형 또는 망목상으로 변화시켜야 한다[4-5,8,11]. 둘째, Al-Sn합금과 이면금속간의 접합강도가 우수해야 한다. 따라서 본 연구에서는 열처리 온도 및 시간 변화에 따른 베어링합금의 미세조직 변화를 관찰하였으며, 이를 그림 12에 나타내었다. 1등급은 Sn이 길게 연신된 압연조직, 2등급은 부분적으로 압연조직이 분해되었지만 다소 방향성이 잔존하고 있는 조직, 3등급 및 4등급은 압연조직이 모두 분해되어 균일하게 분산된 미세한 망목상 조직, 5등급 및 6등급은 조대한 망목상 조직으로 분류된다. 이러한 분류를 기준으로 열처리 온도 및 시간변화에 따른 미세조직 변화를 그림 13에 나타내었다. 열처리 온도 및 시간을 증가함에 따라 미세조직은 1등급의 길게 연신된 압연조직에서 6등급의 조대한 망목상 조직으로 점진적으로 변화됨을 알 수 있다. 또한 우수한 베어링 특성을 얻기 위해서는 압연조직을 없애고 미세하고 고르게 분산된 Sn상을 얻을 수 있는 3~4등급의 미세조직은 320~350°C에서 열처리한 조건에서 나타남을 알 수 있었다.

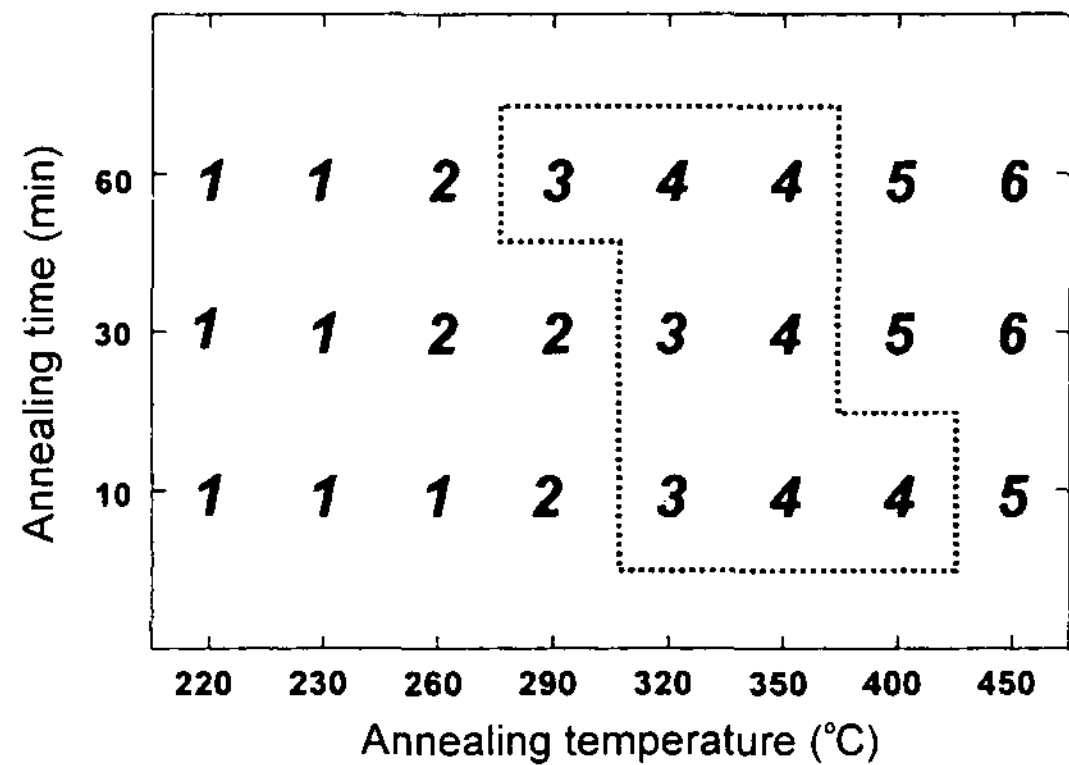


Fig. 13. Changes of the microstructures with the heat treatment conditions.

### 3.4 접합강도 및 내마모성

그림 14는 각 합금의 열처리 온도 및 시간 변화에 따른 접합강도(peel strength)를 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가함에 따라 접합강도는 증가하는 경향을 보였으며, A40합금에 비해 A20합금의 접합강도가 우수하게 나타났다. A20합금의 경우 열처리 온도가 높고, 장시간 열처리할수록 높은 접합강도 값을 나타내었으나, 그림 13에 보인 바와 같이 높은 온도 및 장시간 열처리조건은 조직을 조대화 시키기 때문에 320~350°C에서 60분 열처리 할 경우 가장 우수한 미세조직 및 접합강도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 A40

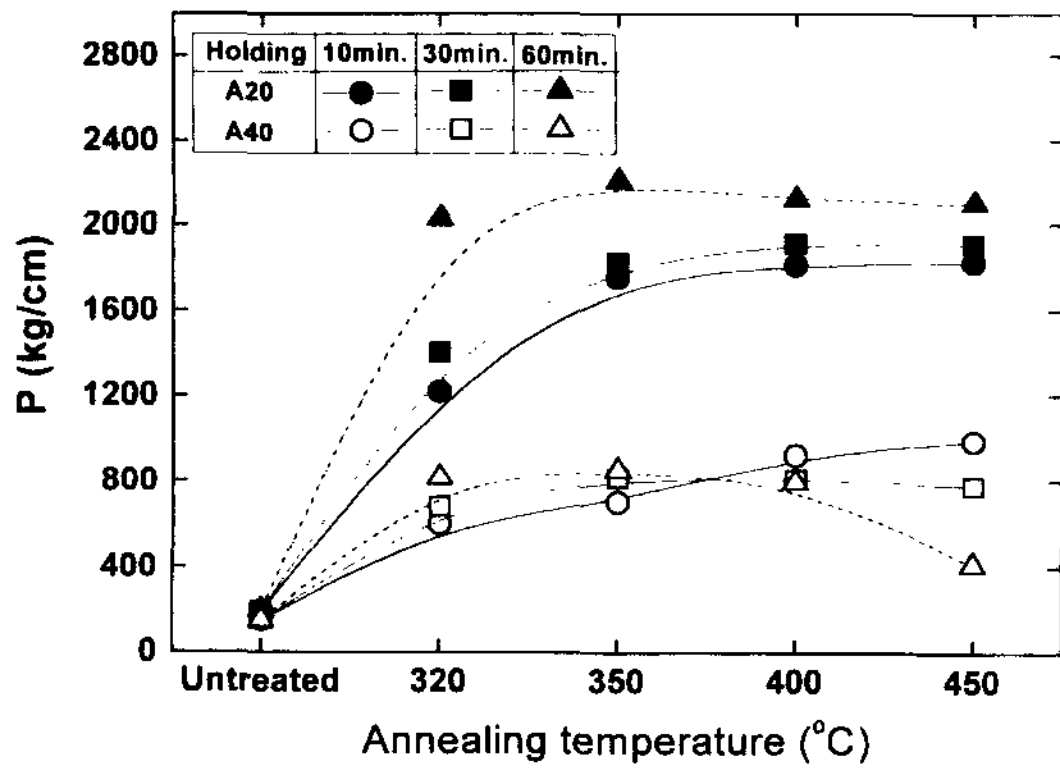


Fig. 14. Variation of bonding strength as a function of annealing temperature for various annealing time.

합금에서는 최대 800 kg/cm의 접합강도를 얻을 수 있으며, 미세조직을 고려하여 350°C에서 30분, 320°C에서 60분 열처리할 경우 가장 우수한 접합특성을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

그림 15는 A40합금의 접합강도가 A20합금의 접합강도에 비해 낮은 값을 나타내는 원인을 알아보기 위하여 장시간 열처리한 시편의 접합계면을 SEM/EDX를 이용하여 관찰한 결과이다. Fe와 Al이 접한 부위에서 약 20 μm 두께의 Fe-Al계 화합물이 형성되어 있음

을 확인할 수 있었으나, Sn과 접한 부분에서는 매우 작은 두께의 Fe-Sn계 화합물이 형성되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 A40합금의 접합강도가 A20합금의 접합강도에 비해 낮은 이유는 Sn이 Fe와 반응하는 속도가 Al이 Fe와 반응하는 속도보다 느리기 때문으로 여겨진다. 또한 접합계면에서 생성된 화합물 중 Fe-Al계 화합물의 접합특성 Fe-Sn계 화합물에 비해 우수하기 때문에 일반적으로 이면금속(Fe)과 Al-Sn 베어링 합금을 접합할 때 계면에 pure-Al판을 삽입하는 것으로 잘 알려져 있다[11].

그림 16은 제조한 베어링의 마모시험한 결과를 나타낸 것이다. A20합금에 비해 Sn의 함량이 많은 A40합금의 내마모성이 저속, 고속 모든 시험조건에서 우수한 내마모성을 보였다. 이는 Sn의 함량이 증가할수록 베어링의 상용성 및 윤활성이 개선되어 더욱 우수한 내마모성을 보인 것으로 판단된다. 특히 고속조건(1.65 m/sec)의 경우 상대재와 Al-Sn합금층과의 마찰열에 의해서 Sn이 마모면으로 용융되어 나와 윤활효과를 충분히 발휘하기 때문에 저속에 비하여 내마모성이 더욱 향상된 것으로 판단된다. 그림 17은 마모시험 후 마모면을 SEM으로 관찰한 것이다. 마모속도가 느린 조건의 경우 연삭마모(abrasive wear)현상이 지배적임을 관찰할 수 있으나, 마모속도가 증가(V = 1.65 m/sec)

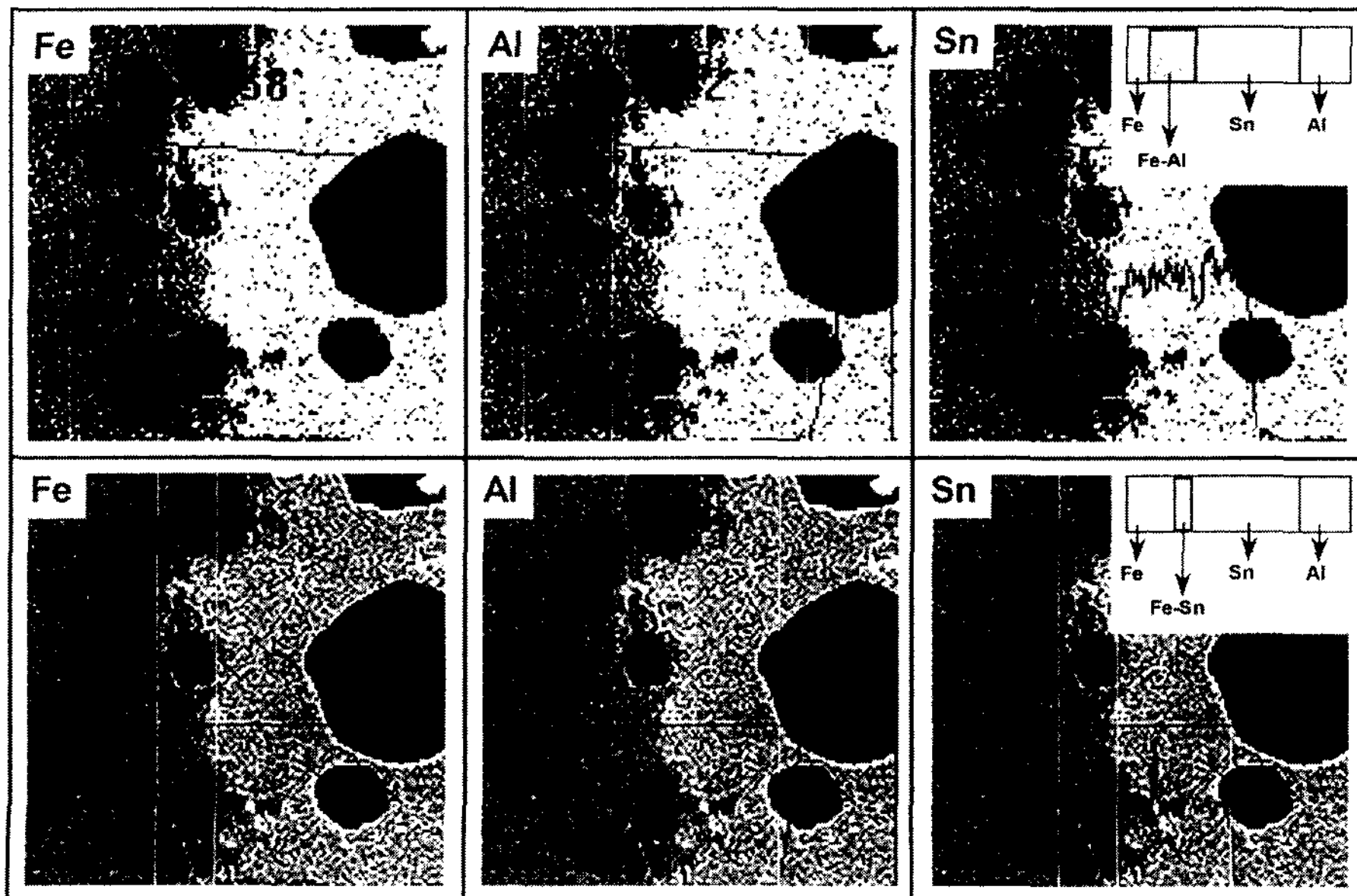


Fig. 15. Line profiles of interface between Al-40Sn alloy and back metal after heat treatment at 450 °C/60min.



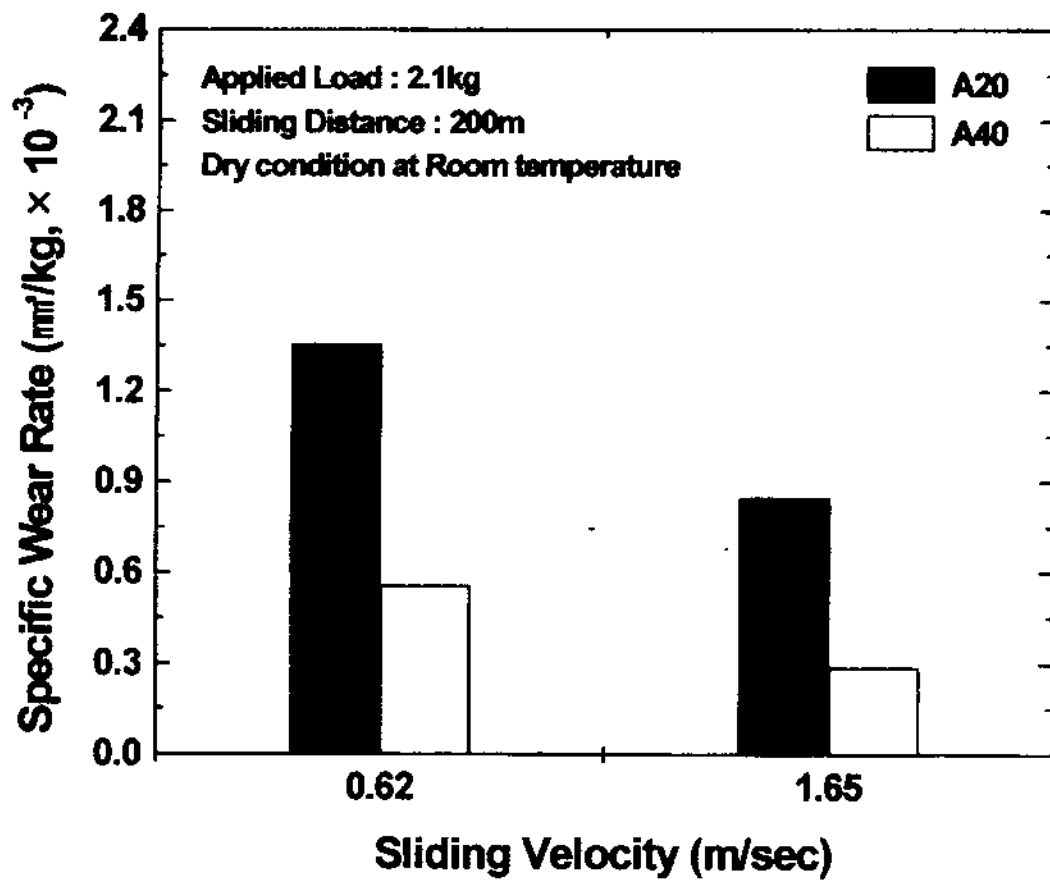


Fig. 16. Specific wear rate with Sn content and sliding velocity for the bearing alloys after heat treatment.

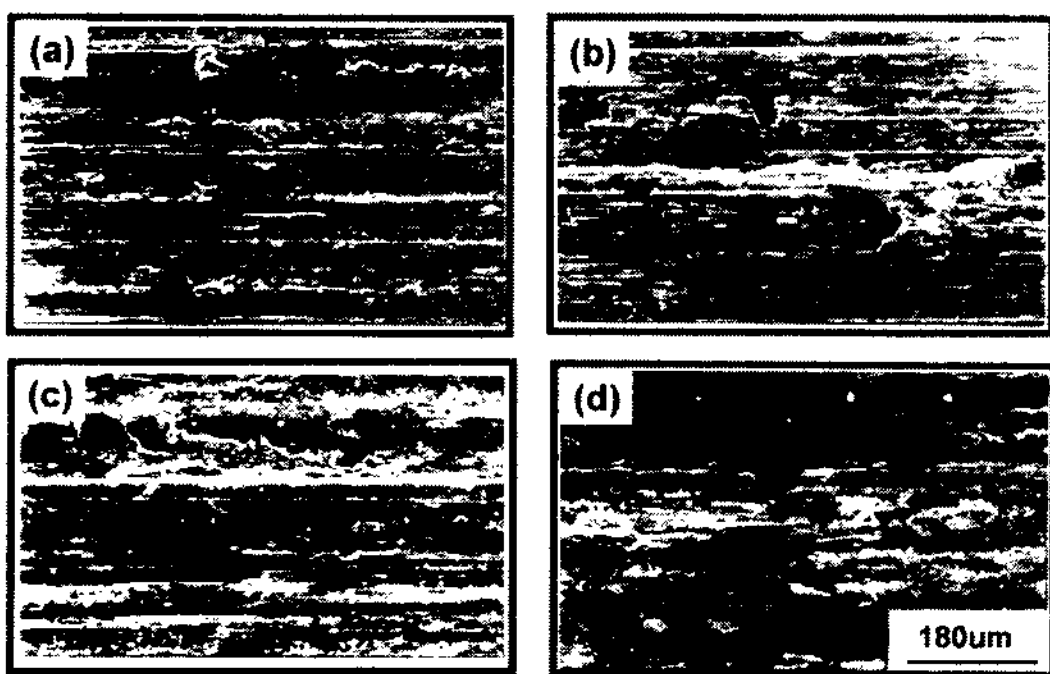


Fig. 17. SEM micrographs of wear tracks ; (a) Al-20Sn alloy (V = 0.62 m/sec.), (b) Al-20Sn alloy (V = 1.65 m/sec.), (c) Al-40Sn alloy (V = 0.62 m/sec.) and (d) Al-40Sn alloy (V = 1.65 m/sec.).

하고 Sn의 함량이 40%로 증가함에 따라 마찰열에 의해서 용융된 Sn 입자의 윤활작용에 의해 마모량은 적어지고 마모면에는 Sn입자가 용착되는 응착마모현상이 관찰되었다.

#### 4. 결 론

쌍롤법에 의한 Al-Sn합금 strip의 제조 및 그 특성을 연구한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용탕온도, 롤갭 및 선속도를 조절함에 의해 응고 구간이 매우 큰 Al-Sn합금의 건전한 strip을 제조하기 위한 공정조건을 확립할 수 있었다.

2. 미세조직 관찰 결과 Sn상은 주방상태에서 Al 수

지상의 경계에 망목상으로 형성되며, Al-20Sn 합금에 비해 Al-40Sn 합금의 cell spacing이 작게 나타남을 알 수 있었다. 또한 냉간 압접에 의해 길게 연신된 조직은 열처리온도 및 시간에 따라 미세한 망목상 조직에서 조대한 망목상 조직으로 변화함을 알 수 있었다.

3. Al-Sn합금과 이면금속(back metal)간의 접합강도는 열처리온도 및 시간증가에 따라 증가되는 경향을 보였으며, 접합특성은 Al-20Sn합금이 Al-40Sn합금에 비해 우수한 것으로 나타났다.

4. 마모시험 결과 Al-20Sn합금에 비해 Al-40Sn합금이 저속 및 고속의 모든 시험조건에서 우수한 내마모성을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Mori Sou Nae : Koushiyobou, "Sliding Bearing and Lubrication", (1975) 1-27.
- [2] Z. Liu, J. L. Sun, W. M. Steen, K. G. Watkins, C. Lee and W. P. Brown : J. Laser Applications, "Laser Cladding of Al-Sn Alloy on a Mild Steel", 9 (1997) 35-41.
- [3] S. J. Harris, D. G. McCartney, A. J. Horlock and C. Perrin : Materials Science Forum, "Production of Ultrafine Microstructures in Al-Sn, Al-Sn-Cu and Al-Sn-Cu-Si Alloys for Use in Tribological Applications", 331-337 (2000) 519-526.
- [4] S. Abis, G. Barucca and P. Mengucci : J. Alloys and Compounds, "Electron Microscopy Characterization of Al-Sn Metal-metal Matrix Composites", 215 (1994) 309-313.
- [5] H. K. Hardy, E. A. G. Liddiard, J. Y. Higgs and J. W. Cuthbertson : Metal Progress, "Improved Aluminum Bearings (Al-Sn and Al-Sn-Cu Alloys)", (1951) 97-103.
- [6] M. P. E. Desvaux : Tribology, "Development of a High-tin Aluminum Plain Bearing Material", (1972) 61-66.
- [7] Hoon Yung Yaung, Jin Il Choi and Ki Young Kim : J. Kor. Inst. Met. & Mater., "Structure and Wear Properties of Al-Sn Alloy Produced by Electroslag Remelting", 21 (1983) 469-481.
- [8] S. Nishi, T. Ikeda, T. Ohta and N. Udagawa : J. Jpn. Inst. Met. "On the Structure of Unidirectionally Solidified Al-Sn Alloys", 29 (1979) 519-527.
- [9] X. Yang, J. D. Hunt and D. V. Edmonds : The 3rd International Conf. on Aluminum alloys, "Grain Refinement for Twin-roll Cast Aluminum Alloys", (1992) 146-151.
- [10] S. S. Cho : J. Kor. Foundrymen's Soc., "The Occurrence of Structure Inhomogeneities and Defects in As Cast Strip During Twin Roll Casting of Aluminum", 10 (1990) 372-381.
- [11] S. Abis and W. Benetti : SAE Tech. Paper 932903, "A New Aluminum-Based Bearing Alloy for Slide Type Antifriction Bearings", (1993) 1-6.
- [12] I. S. Park and Jin Yu : Acta Mater., "An X-ray Study on the

- Mechanical Effects of the Peel Test in a Cu/Cr/Polyimide System" 46 (1998) 2947-2953.
- [13] Y. D. Kim, N. J. Baek and C. G. Kang : Advanced Technology of Plasticity, "Comparison of Molten metal and Mushy State Pouring in Direct Rolling Process" 2 (1990) 841-846.
- [14] D. J. Monaghan, M. B. Henderson, J. D. Hunt and D. V. Edmonds : Materials Science and Engineering, "Microstructural Defects in High Productivity Twin-roll Casting of Aluminium", A173 (1993) 251-254.
- [15] W. T. Kim : A Doctor's Thesis, "A Study on the Heat Flow and Microstructure in Rapid Solidification" (1987) 46-58.