

일방향응고법으로 제조된 Al-Si합금주괴의 극세선가공특성

조형호·김명한*

생산기술연구원

*충북대학교 재료공학과, 금속응고신소재연구소

Characteristics of Fine Wire Drawing in Cast Al-Si Alloy by Unidirectional Solidification Process

Hyung-Ho Jo and Myung-Han Kim*

Korea Academy of Industrial Technology, Incheon 404-254.

*Dept. of Materials Eng., Chungbuk National University, Cheongju 360-763 &

Rapidly Solidified Materials Research Center, Taejon 305-764

초 록 Al-1wt%Si합금을 대상으로하여 가열주형을 이용한 수평식연속주조법에 의해 경면이면서 일방향응고조직을 가진 주괴를 얻기위한 주조조건을 조사하였으며, 일방향응고된 주괴를 이용하여 신선가공하였을 경우의 다이스패열과 작업조건, 연속주조조건과 신선가공시의 단선율과의 관계를 검토하였다. 그 결과, 직경 8mm 및 4mm 주괴 모두 공정 Si상이 비교적 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었고, 이들 주괴를 중간소둔없이 20 μ m까지의 초극세선가공이 가능했다. 본 연구에서 실시한 극세선의 신선가공중에 발생한 단선은 신선가공중의 작업조건의 불충분에 기인하는 것으로 사료되었다. 따라서, 본 연구에서 얻어진 일방향응고주괴는 극세선제조에 매우 우수한 원소재임을 보여주었다.

Abstract The casting conditions to obtain unidirectionally solidified structure with mirror surface in cast Al-1wt%Si alloy fabricated by horizontal continuous casting process adopting the heated mold have been investigated. The relationships between the casting conditions and the wire drawing conditions, breaks out in fine wire drawing, and the pass schedule of dies for fine wire drawing have been studied. It has been shown that the eutectic Si phases were distributed uniformly in both 4 mm and 8 mm diameter rods. The rods with unidirectional solidification structures have been drawn into 20 μ m diameter ultrafine wire without intermediate annealing process. This means that the cast rods with unidirectional solidification structure are good for Al bonding wires. The breaks out in fine wire drawing have been due to the inadequate working conditions.

1. 서 론

반도체등의 집적회로용 본딩와이어, 고급 음향기기의 케이블, 소형 모터용 마그네틱 와이어등은 수십 μ m이하의 초극세선으로 소형화하는 경향이 있으나, 종래의 주조법과 신선가공으로 극세선을 제조하고자 할 경우, 주조과정에서는 기공, 비금속 개재물, 편석, 표면결함 등이 필연적으로 형성되며, 이 결함들로 인하여 신선가공중에 단선이 자주 발생하게 된다. 최근 개발된 가열주형식 연속주조법(일

명 Ohno's Continuous Casting(OCC))이라고 한다. [1-3]은 일방향응고 또는 단결정 조직을 가지고 있는 주괴제조에 적합할 뿐 아니라, 내부의 결함이나 표면 결함을 거의 허용하지 않기 때문에 초극세선은 물론 난가공소재의 가공, 스파터링 타겟제조 등 극한재료의 이용에 적합한 것으로 알려져 있다[4-6]. 초극세선재로 널리 이용되고 있는 Al, Cu, Au금속중 적층결함에너지는 Al의 경우가 가장 높으며, 따라서 Al 또는 Al합금에 대한 신선가공이 Cu, Au 또는 합금에 비해 훨씬 어렵다

는 것을 알 수 있다. 그러므로, IC, LCD등에 이용되고 있는 수십 μm 이하의 Al-Si합금 본딩 와이어를 연속적으로 제조하기 위해서는 건전한 주괴의 제조에 필요한 주조조건을 확립 뿐만 아니라 극세선가공에 따른 공정기술의 확립이 뒤따라야 할 것이다.

본 연구에서는 신선가공중의 단선발생을 최소화할 수 있는 일방향응고 조직을 얻는데 유리한 가열주형식 연속주조법을 이용하여 본딩 와이어용 Al-1wt%Si 합금주괴를 제조하였으며, 이 주괴를 이용하여 신선가공하였을 경우의 다이스배열과 작업조건, 연속주조조건과 신선가공시의 단선율과의 관계, 신선가공된 극세선의 특성을 검토하고자 하였다.

2. 실험 방법

일방향응고 주괴의 제작

Fig 1은 본 연구에 이용된 가열주형식 연속주조장치의 개략도를 나타낸 것이다. 이 장치는 10^{-4} torr까지 진공도를 유지할 수 있고, Al 기준으로 20kg까지 용해가능한 용탕유지 및 용탕위치조절장치부분, 흑연제 주형주위에 비접촉상태로 감겨져 있는 칸탈선에 의해 주형을 가열하도록 되어있는 가열주형장치부분, 그리고 주괴가 통과하는 동안에 냉각수를 분사할 수 있도록 제작된 냉각장치 및 DC모터에 의해 구동되는 2쌍의 핀치 로울러로 이루어진 주괴인출 장치부분으로 구성되어 있다. 이 장치에 의해 3×10^{-3} torr의 진공중에서

99.99%의 순 Al과 99.9999%의 Si를 이용하여 1기압이상의 아르곤 분위기하에서 Al-1wt%Si 합금(성분분석치 Si : 1.1wt%)을 용해하였다.

각각의 주형온도(670, 690, 700, 730 및 750 $^{\circ}\text{C}$) 및 냉각수량(0.2, 0.4 및 0.6 l/min)에 따라 주조속도가 변화하고 있음을 예비실험으로 확인할 수 있었으나, 냉각거리에 따른 주조속도의 변화에 비하여 매우 미미하였다. 따라서 본 실험에서는 주형온도를 730 $^{\circ}\text{C}$, 냉각수량을 0.4 l/min로 일정하게 하고, 주형끝단과 냉각수와의 거리(이하 냉각거리라고한다)만을 주조변수(15~35 mm)로 하여 100~350mm/min의 주조속도로 직경 4 및 8mm의 봉상주괴를 제조하였다. 주형온도는 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 오차범위에 유지할 수 있도록 주형의 끝단에서 2mm안쪽에 위치한 CA열전대와 PID(Proportional Integral Derivative)조절기에 의해 제어되었다.

응고 주괴의 특성 평가

용탕온도 730 $^{\circ}\text{C}$, 주형온도 730 $^{\circ}\text{C}$, 인출속도 100~500mm/min, 냉각거리 15~30mm, 냉각수량 0.2 및 0.4 l/min의 각 조건하에서 연속주조된 직경 4 및 8mm의 Al-1% Si 합금 주괴를 대상으로 거시조직과 미세조직을 관찰하였다.

각 주조조건하에서 제조된 주괴내의 방향성 응고조직을 포함한 거시조직은 왕수 부식액($\text{NH}_4\text{HCl}:\text{C}_2\text{H}_5(\text{OH})_3=1:3:2$)으로 부식한 시편에 대하여 접사렌즈용 카메라를 이용하여 관찰하였다. 주괴내의 Si의 크기 및 형태는 NaOH 용액(NaOH:2g, H_2O :100ml, HF:2ml)으로 1분간 부식한 시편에 대하여 광학현미경(모델: UNION VERIAMET-2)과 SEM(모델: Hitachi S-270)을 이용하여 관찰 하였다.

신선작업

제조된 주괴에 대한 극세선가공성을 조사하기 위해 태선기, 중선기, 세선기 및 초극세선기를 이용하여 직경 4mm 및 8mm의 순 Al 및 Al-1wt%Si 합금주괴를 직경 20 μm 의 초극세선으로 가공하였다. 단독형 태선기를 이용하여 직경 8mm의 Al-1%wtSi합금주괴의 경우 20.04%의 평균 단면감소율로 18단계의 다이스를, 직경 4mm의 주괴의 경우 19.74%의 평균단면감소율로 12단계의 다이스를 거쳐

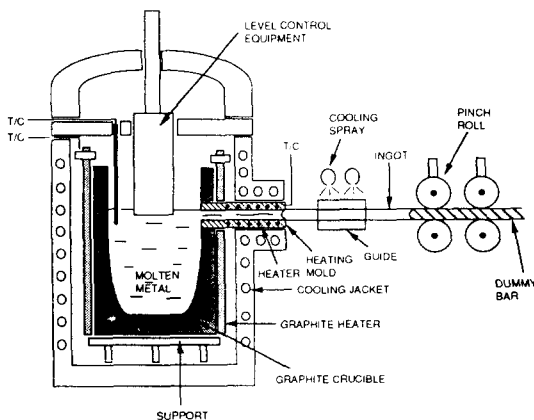


Fig. 1. Horizontal continuous casting apparatus with the heated mold

직경 1.07mm의 선재를 각각 제조하였다. 이때 직경 4mm와 8mm의 주괴 공히 신선속도는 30m/min로 하였다.

직경 1.07mm의 선재는 연속신선기(모델: SH-22D)를 이용하여 14.14%의 평균단면감소율로 22단계의 다이스를 거쳐 직경 0.20mm의 선재를 제조하였다. 이때, 신선속도는 100~200m/min였다. 직경 0.20mm의 선재로부터의 극세선 신선가공에는 연속신선기(모델: Saikawa WS-15)를 이용하여 8.82%의 평균 단면감소율로 15단계의 다이스를 거쳐 직경 0.10mm의 선재를 제조한 후, 동일한 세선기를 이용하여 8.82%의 평균 단면감소율로 15단계의 다이스를 거쳐 직경 50 μ m의 선재를 제조하였다. 이때, 직경 0.2mm로부터 0.10mm까지의 신선단계에서는 신선속도를 100~200m/min로, 그리고 직경 0.10mm에서 50 μ m까지의 신선단계에서는 신선속도를 110~200m/min로 하였다.

초극세선 신선공정인 직경 50 μ m의 선재로부터의 신선가공에는 연속초극세선기(모델: Saikawa WSS-15)를 이용하여 7.55%의 평균 단면감소율로 13단계의 다이스를 거쳐 직경 30 μ m의 선재를 제조한 후, 동일한 연속 초극세선기를 이용하여 7.10%의 평균 단면감소율로 11단계의 다이스를 거쳐 직경 20 μ m의 선재를 제조하였다. 이때, 직경 50 μ m로부터 30 μ m까지의 신선단계에서는 신선속도를 130~140 m/min로, 그리고 직경 30 μ m에서 20 μ m까지의 신선단계에서는 신선속도를 40~60 m/min로 하였다. 다이스는 태선의 경우 초경합금을, 그리고 세선 및 초극세선의 경우, 천연 다이아몬드를 사용하였다. 본 연구에 이용된 다이스는 다이스각 $2\alpha=17^\circ$, bearing 길이 $L=0.3d$ (d 는 선재의 직경)로 하여 제작되었다.

선재의 특성평가

신선된 극세선의 열처리 전후의 Si상의 크기, 형태 및 분포는 0.5% HF용액으로 부식한 후 광학현미경으로 관찰되었으며, 보다 정확한 Si의 분포를 관찰하기 위해 EDX mapping을 실시하였다. 한편, 신선 과정 중의 단선의 파면 상태는 SEM을 이용하여 관찰 조사하였다. 직경 30 μ m와 50 μ m의 크기로 신선된 초극세선은 250 $^\circ$ C로 가열된 실리콘 오일에서 2, 5, 10, 20분 각각 열처리를 행하였으며, 염화

메틸렌 세정액과 초음파 세척기를 이용하여 세척한 후, 파단하중 및 신율을 측정하였다. 극세선의 파단하중 및 신율측정에는 세선용 Instron 인장시험기를 사용하였고, 각각 3회 실시한 값을 평균하여 최종값으로 하였다. 인장시험편의 길이는 50mm로 하였으며, cross head 속도는 1mm/min로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 주괴의 제조조건

일방향응고조건

Fig 2는 주형온도 730 $^\circ$ C, 용탕온도 730 $^\circ$ C, 주형의 출구온도 695 $^\circ$ C, 냉각수량 0.4 l/min의 조건하에서 직경 8mm의 Al-1wt%Si 합금주괴를 제조할 경우의 냉각거리와 주조속도와와의 관계를 나타낸 것[7]으로 빗금친 부분에 해당하는 범위내에서 경면의 주괴가 얻어짐을 보여 주는 것이다. 냉각거리가 증가할 수록 경면주괴를 얻을 수 있는 주조속도는 감소하고 있는 경향을 나타내고 있다. 즉, 15mm의 냉각거리에서는 200~290mm/min, 20mm의 냉각거리에서는 170~250mm/min, 25mm의 냉각거리에서는 150~220mm/min, 30mm의 냉각거리에서는 130~180mm/min의 주조속도 범위에서 경면주괴가 얻어지고 있음을 알 수 있었다. 경면 주괴가 얻어지는 최적주조조건보다 낮은 주조속도 또는 냉각거리에서는 표면균열을 가진 주괴가 얻어졌으며, 높은 주조속도나 증가된 냉각거리하에서는 심한 굴곡

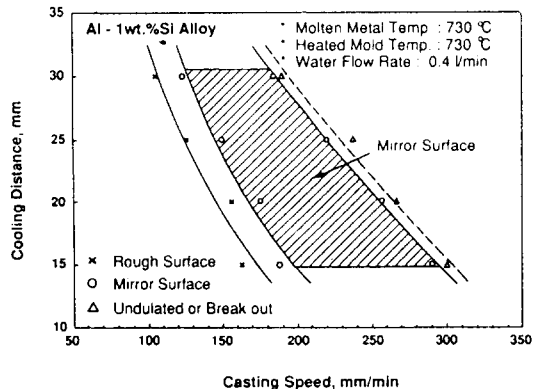


Fig. 2. The effect of cooling distance and casting speed on the surface finish of cast rod of Al-1wt%Si alloy

을 가진 주괴가 얻어지거나 인출중에 단락이 발생하였다. 이것은 고액계면이 주형출구선단으로부터 적정거리이상의 위치에 있게되어 중력의 영향을 받기 때문이라 알려져 있다[5-6]. 따라서, 본 연구에 이용된 대상주괴는 Fig 2의 경면주괴를 얻을 수 있는 범위내(빚금친 부분)의 주조조건하에서 제조되었다. 즉, 경면주괴가 얻어지는 주조조건내에 있는 30mm의 냉각거리 및 135mm/min의 주조속도하에서 제조되었으며, Photo 1(a)는 이와 같은 결과에 따라 얻어진 직경 8mm의 경면주괴를 보여주는 것이다.

한편, 직경4mm의 주괴의 경우에는 냉각수량 0.3 l/min, 냉각거리 15mm, 주조속도 330 mm/min의 조건에서 경면주괴(사진 1(b))가 얻어졌다. 이 결과는 직경 8mm의 주괴에 비하여 매우 빠른 속도로 주조하여도 경면주괴가 얻어질 수 있음을 보여주는 것이며, 650mm/min

의 주조속도에서도 경면주괴가 얻어질 수 있었다.

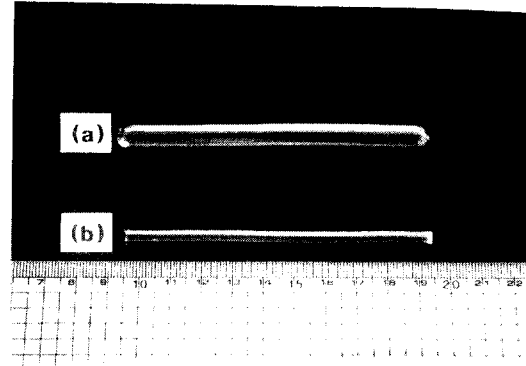


Photo 1. Cast rods with mirror surface. (a) 8mm diameter and (b) 4mm diameter

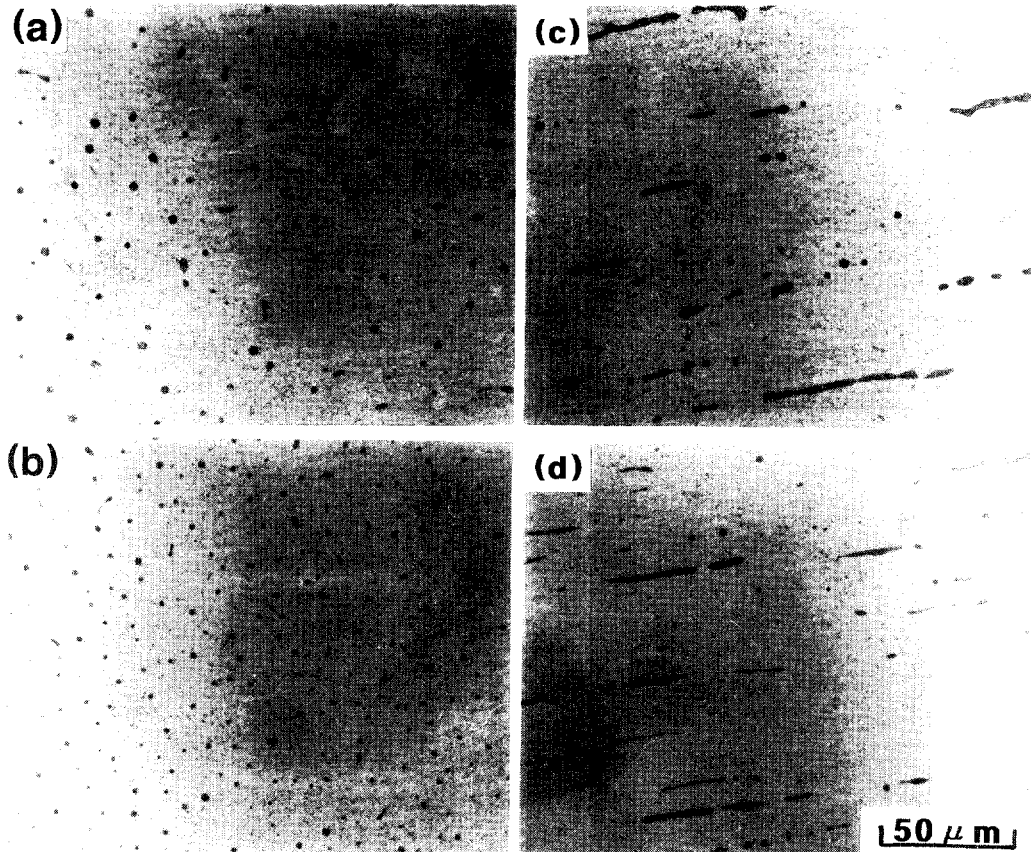


Photo 2. Optical micrographs of (a)(b) transverse and (c)(d) longitudinal sections of the (a)(c) 8mm diameter and (b)(d) 4mm diameter cast rods.

Si의 분포 상태

Photo 2는 Photo 1에 해당하는 직경 4 및 8mm의 Al-1%Si 합금의 경면주피내의 Si의 분포상태를 종단면과 횡단면과 따라 관찰한 결과이다.

이 Photo에서 보면 직경 8mm(Photo 2(c)) 및 4mm(Photo 2(d))의 경우 모두 주조방향으로 공정 Si상이 섬유상으로 배열되어 있음을 알 수 있다. 그러나 직경 4mm으로 제조된 주피내의 공정 Si상의 크기와 상간거리는 직경 8mm에 비하여 다소 짧고 미세하지만 커다란 차이는 보여주지 않고 있다. 주피직경이 다를 경우, 냉각속도는 큰 차이가 나서 공정 Si상의 크기와 상간거리는 크게 달라질 것으로 예상되었으나, 본 연구에서는 냉각수량, 냉각거리, 주조속도 등의 주조조건이 적정조건으로 조절되었기 때문에, 주피크기에 따른 냉각속도는 커다란 영향을 미치지 못했을 것으로 사료된다. 보다 균일한 Si의 분포를 얻기 위해서도 주피 직경이 작을수록 다소 유리하다고 사료되지만, 본 연구에서 관찰된 결과는 직경 8mm 및 4mm주피 모두 공정 Si상이 비교적 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 본 연구에서 적용한 가열주형수평식연속주조법으로 제조된 주피가 Al 본딩 와이어용 원소재로서 적합함을 시사하는 것이다.

극세선가공조건

다이스배열과 작업조건

Fig 3은 직경 0.10mm의 선재를 15개의 다이스 배열이 가능한 연속세선기(Ws-15)에서 평균 단면감소율 8.82%로 하여 직경 50 μ m의 극세선으로 신선할 경우, 다이스 배열설계에 따른 신선단계별 단면감소율과 다이스 직경과의 관계를 나타낸 것이며, Fig 4는 직경 30 μ m의 선재를 15개의 다이스를 배열할 수 있는 초극세선기(WSS-15)에서 평균단면감소율 7.10%로 하여 직경 20 μ m의 선재로 신선할 경우, 다이스 배열설계에 따른 신선단계별 단면감소율과 다이스 직경과의 관계를 나타낸 것이다.

각 단면감소단계에 있어서의 단면감소율과 평균 단면감소율사이에서 약간의 편차를 보여주고 있으나, 각 단계에서의 단면감소율은 기계내부의 속도감소율보다는 크기때문에 작업

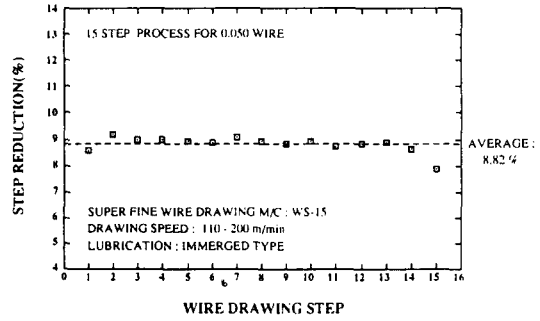


Fig. 3. Relationship between step reduction ratio and wire drawing step during drawing for 50 μ m diameter wire

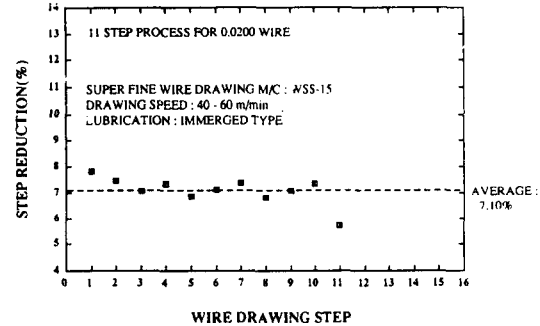


Fig. 4. Relationship between step reduction ratio and wire drawing step during drawing for 20 μ m diameter wire.

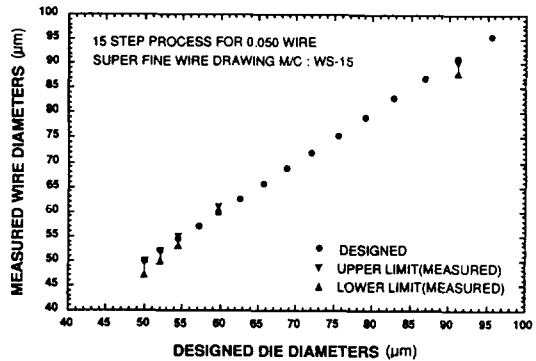


Fig. 5. Comparison of die orifice diameter and measured wire diameter for 50 μ m diameter wire

상에 단선등의 문제는 없을 것으로 사료된다. 이들 Fig에서 알 수 있듯이 선재가 극세선화

될수록 각 신선단계에서의 평균 단면감소율이 감소되도록 설정하였다. 이것은 기계내부의 속도감소율이상으로 단면감소를 하되 각 다이스에서 단면감소를 최소화하여 tension에 의한 단선을 억제해야 할 필요가 있기 때문이다.

Fig 5 및 6은 극세선기(WSS-15) 및 초극세선기(WSS-15)에서 제조된 선재의 직경을 실제 측정된 값과 다이스 배열에 의해 설계된 값을 비교하여 나타낸 것이다. Fig 5에서는 극세선기(WSS-15)에서 직경 50 μ m까지의 선재를 제조할 경우, 설계치와 측정치와의 오차가 거의 없음을 보여주고 있으나, Fig 6에서는 초극세선기(WSS-15)에서 직경 20 μ m까지의 초극세선재를 제조할 경우는 측정치는 설계치보다 약간 낮은 값을 보여 주고 있는데, 이것은 다이스 직경이 작을 수록 다이스의 구멍가공작업에서 보다 큰 오차를 나타내기 때문으로 사료된다.

신선가공상에서의 단선

단면감소율의 증가에 따라 가공경화하여 변형강도가 높아져 가공하중의 한도이상이 되거나, 공구의 탄성변형때문에 제품의 치수정확도와 형상제어가 불가능한 경우 또는 재료의 냉간가공성 한도에 가공도가 도달하게 되면 중간소둔 열처리를 하게 된다. 그러나, 본 연구에서는 20 μ m정도의 초극세선으로 신선가공할 경우, 중간소둔 열처리의 여부에 관계없이 여러가지 원인으로 단선이 발생하게 되었다.

Photo 3 및 4는 직경 4 및 8mm의 주괴를 중간소둔없이 극세선가공하는 도중에 발생한

단선형태를 각각 나타낸 것이다.

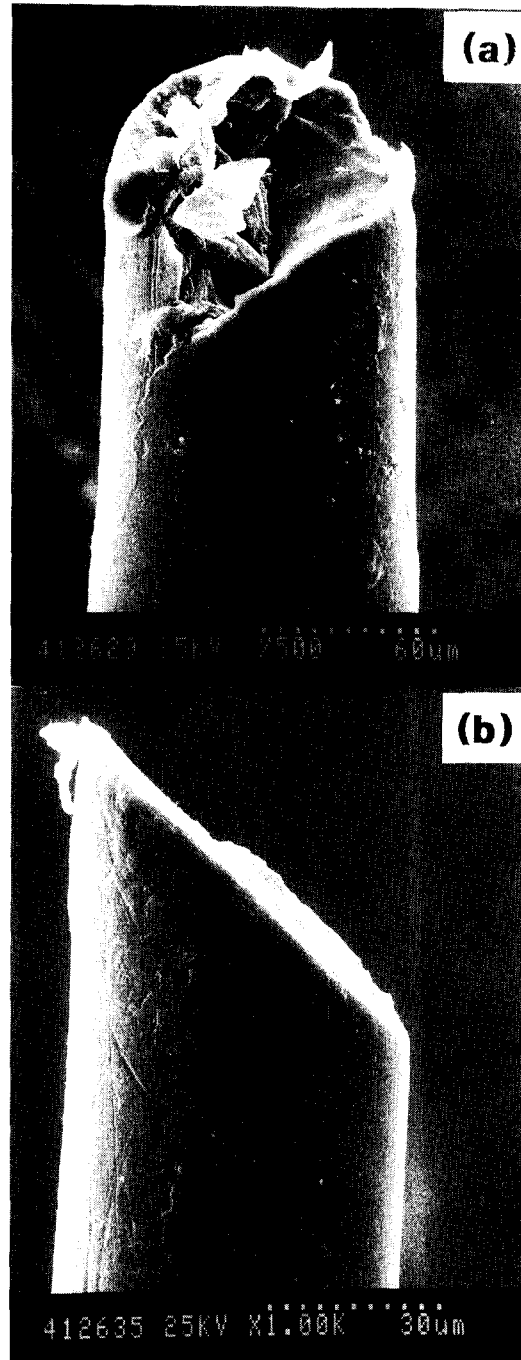


Photo. 3. SEM micrographs of pressed hollow type breaks. Breaks were occurred at (a) 100 μ m diameter and (b) 50 μ m diameter during drawing from cast rod of 4 mm diameter

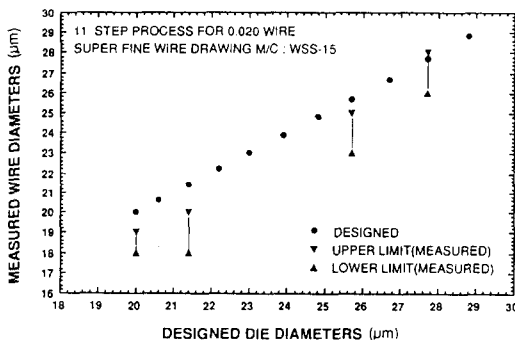


Fig. 6. Comparison of die orifice diameter and measured wire diameter for 20 μ m diameter wire

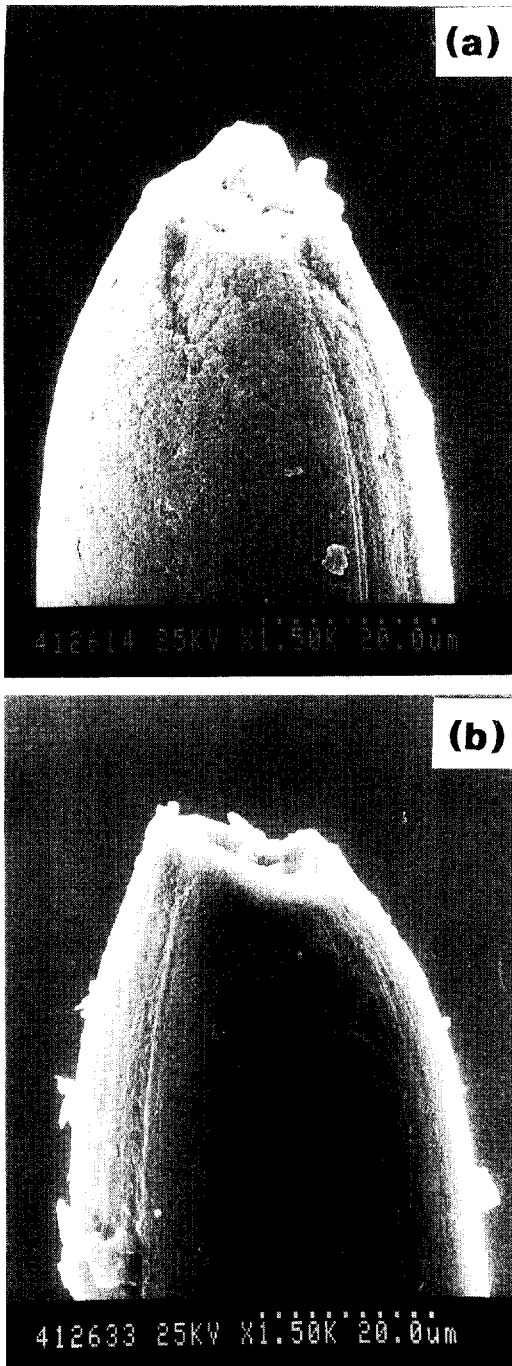


Photo. 4. SEM micrographs of cone type breaks. Breaks were occurred at 60 μ m diameter during drawing from cast rod of 8 mm diameter

Photo 3은 슬립선을 통하여 발생하는 pressed hollow에 의한 단선형태로, 이것은 선재가

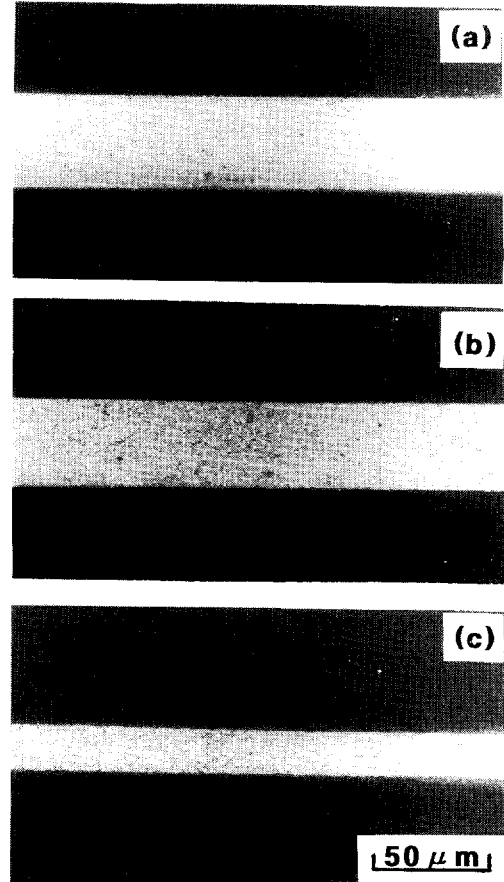


Photo. 5. Optical micrographs of Si distribution at the wires of (a) 50 μ m diameter (drawn from cast rod of 8mm diameter), (b) 50 μ m diameter (drawn from cast rod of 4mm diameter) and (c) 30 μ m diameter (drawn from cast rod of 8mm diameter).

다이스통과시 Al가루에 의해 원래의 다이스 직경보다 더한 전단변형을 받아 축적에너지가 증가함으로써 발생된 것으로 사료된다. Photo 4는 cone 형태의 단선을 보여주는 것으로, tension에 의한 것으로 추정되는데 이것은 작업 보빈에 의해 권선부주의, 다이스와 캡스탄 사이의 어긋난 배열, 캡스탄의 흠발생, tension 또는 신선속도의 조정불량등에 기인한 것으로 사료된다[8]. Photo 3 및 4의 결과로부터 주조중에 생성된 기공, 개재물 등에 의한 단선의 가능성은 매우 적으며, 대부분이 신선가공중에 발생하는 작업조건의 불충분에 의한 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서 적용된 가열주형방식의 연속주조법으로 얻어진 일방

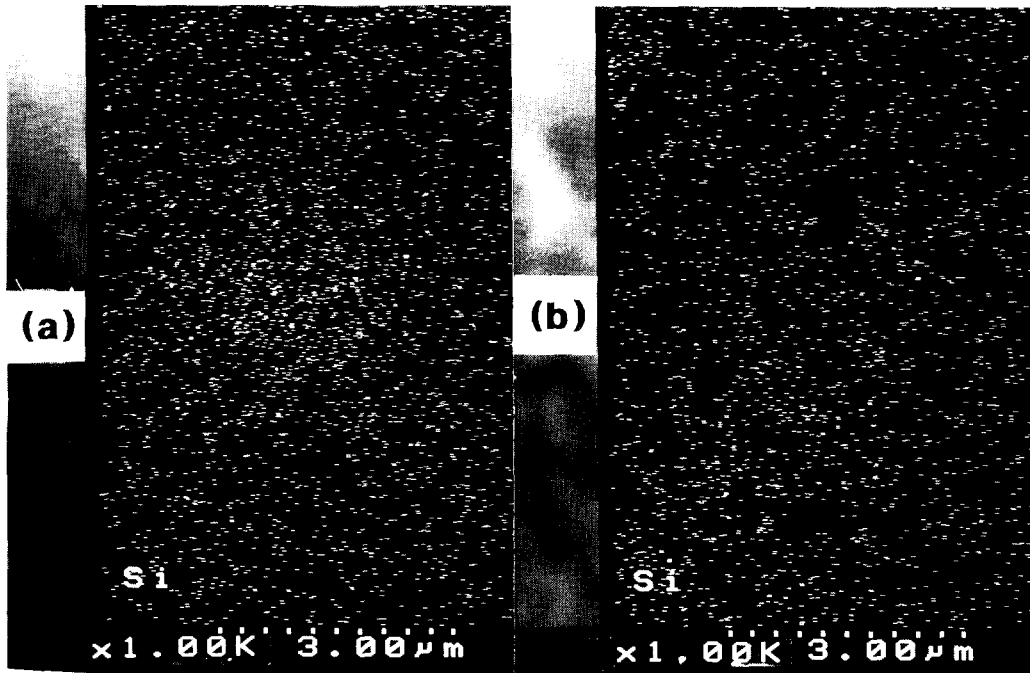


Photo. 6. EDX dot mapping of Si distribution in the wire of (a)50 μ m and (b)30 μ m diameter

향응고주괴는 초극세선제조에 매우 우수한 원소재인 것으로 사료된다.

극세선의 특성평가

Photo 5는 직경 4 및 8mm 주괴로부터 신선된 50 또는 30 μ m 극세선을 광학현미경에 의해 관찰한 것으로 주괴나 극세선의 크기에 관계없이 공정 Si상은 비교적 균일한 분포를 하고 있음을 알 수 있으며, 극세선 종단면상에 기공, 기타 불순물의 존재는 확인되지 않았다. Photo 6은 Photo 5의 대상시료에 대하여 보다 정확한 Si 분포를 조사하기 위하여 EDX mapping을 행하였으며, 그 결과 Si은 주괴나 극세선의 크기에 상관없이 비교적 고른 분포를 하고 있음을 알 수 있다.

Fig 7은 직경 4 및 8mm의 Al 1wt%Si 합금주괴를 각각 30 및 50 μ m의 극세선으로 신선 가공한 후 250 $^{\circ}$ C에서 열처리를 행하였을 경우, 열처리 시간에 따른 파단하중의 변화를 나타낸 것으로, 파단하중은 신선가공을 위한 주괴의 직경에 관계없이 1~2분내의 열처리 시간에서 급격히 감소하다가 그 이상에서는 매우 완만하게 감소하였다. 특히, 50 μ m 크기

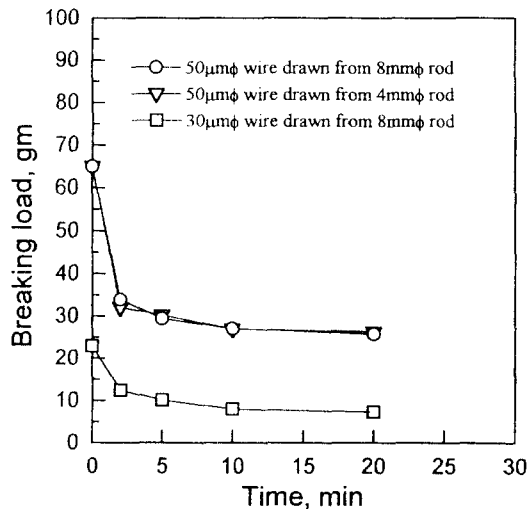


Fig. 7. Relationship between breaking load and heat treatment time for the wires of 30 and 50 μ m diameter.

의 극세선에 있어서는 극세선가공을 위한 주괴 직경의 크기에 관계없이 파단하중의 변화에 거의 차이가 없으나, 30 μ m 크기의 극세선에 있어서는 50 μ m 크기의 극세선에 비해 파

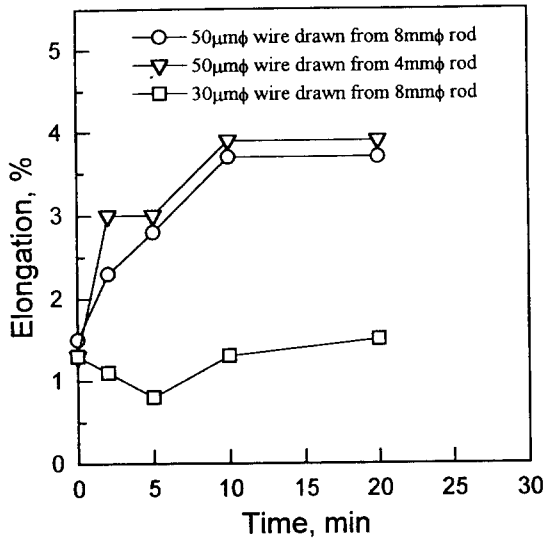


Fig. 8. Relationship between elongation and heat treatment time for the wires of 30 and 50 μ m diameter.

단하중이 항상 낮은 값을 취하고 있음을 알 수 있다. Fig 8은 열처리 시간에 따른 신율의 변화를 나타낸 것으로 50 μ m 극세선의 경우, 열처리 시간에 따라 신율은 증가하다가, 10분 이상이 되면 일정한 값을 나타내고 있다.

50 μ m 크기로 극세선화한 경우, 직경 4mm의 주괴로부터 신선가공된 경우가 8mm의 주괴로부터 신선가공된 경우에 비하여 신율이 약간 높은 값을 가지고 있지만, 그 차이는 매우 미미함을 알 수 있는데, 이것은 주괴의 크기 즉, 주조속도나 냉각속도에 따른 공정 Si의 크기와 분포의 차이가 극세선의 파단강도나 신율에 그다지 영향을 미치지 않는다는 것을 시사해주고 있다. 한편, 30 μ m 크기의 극세선은 50 μ m의 극세선에 비해 열처리 시간에 따른 신율의 증가폭이 매우 작음을 알 수 있다. 일반적으로 재결정온도이상에서 가공할 경우, 가공도 즉, 총단면감소율이 증가할수록 재결정되는 평균결정입径의 크기는 미세해지고, 이러한 경향이 신율의 증가를 억제하는 것으로 알려져 있으며, 본 연구의 결과도 가공도에 따른 재결정립의 크기와 관련이 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

Al-1wt%Si합금을 대상으로하여 가열주형

을 이용한 수평식연속주조법에 의해 경면이면서 일방향응고 조직을 가진 주괴를 제조할 경우, 주조조건과 방향성응고 조직과의 관계를 검토하고 일방향응고된 주괴를 이용하여 신선가공하였을 경우의 다이스배열과 작업조건, 연속주조조건과 신선가공시의 단선율과의 관계, 신선가공된 극세선의 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 가열주형식 연속주조법으로 제조된 경면의 Al-1wt%Si 합금주괴는 일방향응고조직을 하고 있으며, 직경 8mm 및 4mm 주괴 모두 공정 Si상이 비교적 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 본 연구에서 적용한 가열주형 수평식연속주조법으로 제조된 주괴가 Al 본딩와이어용 원소재로서 매우 적합함을 시사해주는 것이다.

2) 주괴의 직경이 작을 수록 공정 Si상의 크기는 약간 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 공정 Si상의 분포는 주괴의 직경에 관계없이 비교적 균일하였다.

3) 직경 4 및 8mm의 주괴를 중간소둔없이 20 μ m까지의 초극세선가공이 가능하였으며, 공정 Si의 분포는 극세선 전체에 걸쳐 고르게 분포되어 있었다.

4) 본 연구에서 실시한 극세선의 신선가공중에 발생한 단선은 주조중의 개재물이나 기공 등의 결함에 의한 것보다는 대부분이 신선가공중의 작업조건의 불충분으로 기인하는 것으로 사료되었다. 따라서, 본 연구에서 얻어진 일방향응고주괴는 극세선제조에 매우 우수한 원소재임을 보여주었다.

5) 일방향응고된 주괴에 대하여 50 μ m의 크기까지 신선가공한 후, 250 $^{\circ}$ C에서 열처리를 행한 경우 열처리 시간이 증가함에 따라 파단하중은 감소하고, 신율은 증가하게 되나, 30 μ m까지 신선가공했을 경우는 열처리시간에 따른 신율의 증가가 매우 미미하였다.

참 고 문 헌

1. 大野篤美：日本金屬學會會報, 23(1984) 773.
2. 大野 篤美：日本特許 1049146호
3. 大野 篤美：金屬, 3월호 (1988)36.
4. 本保 元次郎, 大野 篤美：輕金屬, 40(1990) 817.

5. H.Soda, F.Chabchoub, W.H.Lam, S.A.Argyropoulos and A.McLean : Cast Metals, 4 (1991)12.
6. M.H.Kim, H.H.Jo, C.S.Kang, C.R.Loper,Jr : AFS Transactions 116(1994)843
7. 조형호, 김기창, 김명환 : 대한금속학회지, 32(1994)1406
8. T.Saito, K.Nagano, J.Togashi, H.Koyama : Wire J. Inter., 9(1982)118