

■■■■■■■■■■
論 文
 ■■■■■■■■■■

공정 Al-Si 합금의 개량처리와 주단조에 의한 조직변화에 관한 연구

윤지현 · 설은철 · 박승민* · 이광학†

Study on the Microstructural Changes with Modification and Cast-forging in Eutectic Al-Si Alloys

Ji-Hyun Yoon, Eun-Cheol Seol, Seung-Min Park* and Kwang-Hak Lee†

Abstract

Recently, many studies have been carried out to process on the purpose of lightness in a transport parts because of the saving energy, the environmental problem. The cast-forging process can be expected to lower costs without decreasing the mechanical properties. So, the finest microstructure is needed to get for applying the cast-forging process with Al-Si alloy because the microstructure affects to the cast-forging process. For refinement treatment of eutectic Si and Al solid-solution phase, Sr and TiB were added in Al-Si alloys. The finest microstructure could be observed when 0.075 wt.%Sr and 0.1 wt.%TiB were added respectively. In this case, tensile strength and elongation much more increased than as casting. After high temperature deformation simulation test with grain refinement specimens was carried out, about 70N per unit area(mm²) of specimen was confirmed. After hot forging, tensile strength and elongation were increased. It was considered because casting defect was removed by compressive working.
 (Received December 24, 2001)

Keywords : Cast-forging process, Grain refinement treatment, Deformation simulation test, Compressive working

1. 서 론

최근 에너지 절약 및 환경문제에 대한 관심이 고조되면서 특히, 각종 수송기기의 경량화를 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

자동차 부품의 경량화로 인해 기대되는 효과는 연비 향상을 통한 엔진효율의 증가와 배기가스의 발생 감소로 인한 환경문제 개선을 들 수 있다[1].

이런 추세에 따라, 최근에는 경량소재이면서 비강도와 내식성 그리고 열전도성이 우수하며, 특히 재활용 측면에서 철강재료나 기타 재료에 비해 우수한 특성을 지닌 Al 합금에 대한 관심이 높아지고 있다[2-4].

자동차용 알루미늄 부품의 경우, 보통 압연, 압출, 단조 및 주조품으로 생산되는데, 주물은 자동차 중량의 15%를 점유하고 있으며, 특히 주행성능에 직접 관계되는 엔진, 미션 등의 유니트는 그 중량의 80%가

주물로 제조되고 있는 것을 볼 때[5,6] 주조는 가장 중요한 기술 중의 하나이다.

특히, 알루미늄 다이캐스트법은 고정밀도, 고강도 그리고 고생산성으로 주조할 수 있어 그 사용량이 급증하고 있다. 그러나 다이캐스트법은 용탕이 고속 고압으로 금형 cavity 내에 충전되므로 가스의 혼입으로 인한 기공이나, 충전 응고 중 cavity부보다 탕도부가 먼저 응고함으로써 최종 응고부의 수축분에 대한 용탕 보충이 어렵기 때문에 이로 인하여 발생하는 수축공 등 내부결함이 존재하기 쉬우므로 내압기밀성이 요구되는 부품에는 다소 제한을 받고 있다[7,8].

한편, 주조와 함께 금속가공기술 중 가장 오랜 역사를 지닌 단조법은 소재의 압축가공으로 인해 기계적 성질과 기밀성 및 신뢰성 등은 향상되나, 복잡형상의 제조가 어렵고 다단 단조에 따른 금형제작비와 제품제조 비용이 높은 단점을 가지고 있다[9].

울산대학교 첨단소재공학부(The school of materials science and engineering, University of Ulsan)

*동남정밀(주) (Dong-Nam precision Co., Ltd.)

†E-mail : kwanghak@uou.ulsan.ac.kr

따라서, 본 연구에서는 복잡 형상의 제품생산이 용이한 주조법과 소재의 압축가공으로 인해 기계적 성질이 우수한 단조법의 장점만을 선택한 주단조법을 적용하고자 하였다.

주단조법은 주조로 최종제품형상에 가까운 예비성형체(preform)을 만들고 이를 여러 번의 단조공정을 거치지 않고, 단 한번의 마무리 단조를 행함으로써 제품을 제조하는 기술이다. 그러나, 주단조법으로 제조한 제품을 기존 단조법으로 제조한 제품과 비교시 기계적 성질은 떨어지지만, 특수 주조법으로 제조한 제품과 비교하였을 때는 전반적인 기계적 성질이 향상되는 것으로 알려져 있다[9].

한편, 주단조에 사용되는 주조 프리폼의 미세조직에 따라 단조성이 크게 변화하게 되는데, 그 주요 인자는 기지의 용질농도와 수지상 기지의 간격(DAS) 그리고 결정립의 크기 등을 들 수 있다[8].

따라서, 주단조법을 적용하여 복잡형상의 제품을 제조하기 위해서는 우선 주조재 설정이 선행되어야 한다. 즉, 최종형상에 가까운 주조소재를 단조하므로 단조시에 목표하는 기계적 특성을 얻기 위해서는 결합이 비교적 적은 고품질의 주조품 제작이 필수적이다. 이를 위하여 본 실험에서는, 주조용 Al 합금을 주단조법에 적용하고자 주조용 Al 합금으로서 현재 상용되고 있는 아공정 Al-Si(AC4B)합금에 Si를 추가로 첨가하고 용해하여 공정 Al-Si 합금을 제조하였다.

그러나, 이러한 공정 Al-Si 합금은 주조시 조대한 침상의 공정 Si이 정출하게 되는데, 이는 임계 응력하에서 미세응력 집중효과를 발생시켜 소재의 기계적 특성을 저하시키는 원인이 된다. 따라서, 합금의 공정 Si 개량처리와 초정 Al 고용체를 미세화 하기 위해 Sr과 TiB를 첨가하였다. 그리고 개량화제 및 미세화제를 첨가한 후 미세조직을 관찰하여 그 변화를 관찰하였으며, 기계적 특성을 평가하기 위해 인장강도 시험을 실시하였다. 또한, 단조성 평가를 위해 열간가공재현실험을 통하여 실제 단조시 변형량과 적절한 압축가공 온도, 하중 및 미세조직 변화를 관찰하였으며, 실제 단조로 시편을 제조하여 기계적 성질을 평가하였고 아울러 단조 후 열처리에 대한 효과도 관찰하였다.

Table 1. Chemical compositions of eutectic Al-Si alloys(wt.%).

| | Si | Cu | Mg | Zn | Fe | Mn | Ni | Al |
|---------------------|-----------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|------|
| EutecticAl-Si alloy | 10.5~11.5 | 0.2~0.3 | 0.2~0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | bal. |

2. 실험방법

공정 Al-Si 합금을 주단조 공정에 적용하기 위해 먼저 주조용 합금인 상용 AC4B 합금의 주괴를 사용하여 metal Si를 첨가하여 목표 조성으로 용해하였으며 각 합금의 조성을 분석하였다. 이렇게 제조된 합금에 Cu를 820°C에서 첨가하고 약 30분 동안 진정시킨 후, 용탕의 온도를 730°C로 저하시켜 Mg를 첨가한 후 약 20분 동안 진정시켰다. 그리고 탈가스 처리를 행하여 약 10분간 진정시켜 주조한 후 200°C로 미리 예열된 금형에 주탕하였다. 여기서 Cu와 Mg는 합금의 기계적 성질과 가공성 향상을 위해 첨가하였으며 제조된 합금 및 개량화제 그리고 미세화제의 화학적 조성은 Table 1와 Table 2에 각각 나타내었다.

주단조 공정에서 단조를 실시하기 전 중력주조로써 예비성형체를 제조하기 때문에, 조직 미세화를 위하여 공정 Si의 개량처리제로 Sr 모합금을, 초정 Al 고용체상의 미세화 처리제로는 AlTi₅B 모합금을 사용하였다. 공정 Si의 개량처리를 위해서 먼저 용탕을 제조한 후 730°C에서 Table 2의 조성인 Sr 모합금을 첨가하고 약 20분간 진정시킨 후 200°C로 미리 예열된 금형에 주조하였다. Sr 첨가는 Al-9.6wt.%Sr 모합금이 사용되었으며, 합금내 Sr양이 0.025, 0.05, 0.075 및 0.1wt.%가 되도록 변화시켰다.

Sr 모합금이 첨가된 합금의 미세조직을 관찰한 후 최적의 조건을 설정하고 여기에 α-Al상의 미세화를 위해 AlTi₅B 모합금을 용탕에 0.05, 0.1, 0.2 및 0.5wt.%로 각각 변화시켜 첨가하였다. 제조된 각각의 시편에 대하여 미세조직 검사와 인장시험을 통해 Sr과 TiB의 적절한 첨가량을 결정하였다.

미세조직검사는 광학현미경을 사용하였으며, 인장시험은 cross head speed 5 mm/min로 행하였다.

Table 2. Chemical compositions of refiner and modifier(wt.%)

| | Ti | B | Fe | V | Al |
|----------|------|-------|------|-------|------|
| Refiner | 4.7~ | 0.96~ | 0.17 | 0.08 | bal. |
| (α-Al) | 5.1 | 1.02 | | | |
| | Sr | Fe | Si | P | Al |
| Modifier | 9.61 | 0.17 | 0.02 | 0.001 | bal. |

공정 Si의 개량화와 초정 Al의 미세화처리가 가장 잘 이루어진 합금에 대해서 실제 단조시 예상되는 필요 하중과 열간단조에 따른 미세조직의 변화를 알아보기 위하여 열간가공재현시험(high temp. deformation simulation and mechanical testing machine, thermec-master-z, FDC, Japan)을 실시하였다. 열간가공재현시험은 strain rate 0.01 mm/sec, heating rate 5°C/sec로 가열 후 2분간 등온유지하고 압축가공을 실시한 후 상온까지 급냉시키는 방법으로 실시하였다. 압축가공온도는 400, 450 및 500°C로, 압축률은 30%와 40%로 각각 변화시켰으며, 이를 통해 실제 단조시의 단조온도와 압축가공시의 하중 및 미세조직 변화 등을 관찰하여 적절한 단조조건을 구하고자 하였다.

실제 단조 프레스를 이용하여 조직이 미세화 처리된 합금을 450°C에서 40% 단조하여 단조 후 기계적 성질을 검토하였으며, 단조는 주괴를 절단하여 인장시험과 200 ton 프레스를 이용하여 단조하였으며, 열처리는 510°C에서 4시간 동안 가열하여 용체화 처리한 다음 170°C에서 10시간 동안 인공시효를 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공정 Al-Si 합금의 개량처리에 미치는 Sr의 영향

본 실험에서 제조된 공정 Al-Si 합금의 미세조직을 광학현미경을 통해 관찰하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 사진에서와 같이, 공정 Si이 facet한 계면으로 인해 조대한 침상형으로 성장해 있음을 볼 수 있으며, Sr 첨가량에 따른 미세조직의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 사진에서 보듯이, Sr 함량이 0.025wt.%일 때는 공정 Si의 개량 효과가 일부 나타나지만 개량처리 효과가 미흡한 것을 관찰할 수 있었으며, 0.05wt.%일 때는 공정 Si의 개량화 정도가 상당히 진행되었음을 볼 수 있었다. Fig. 2의 (c)에 나타난 바와 같이 Sr의 첨가량이 0.075wt.% 이상인 경우에는 공정 Si의 형성이 매우 미세한 섬유상으로 개량처리 됨을 관찰할 수 있었으며, 그 크기는 수 μm 이하임을 알 수 있었다. 그러나 Sr을 0.075wt.% 이상 첨가시에는 더 이상의 개량효과가 나타나지 않음을 미세조직 관찰을 통해 알 수 있었다.

따라서, 본 실험에서 사용된 공정 Al-Si합금의 공정 Si의 개량화를 위한 Sr 첨가량은 0.075wt.%일 때가 가장 효과적임을 알 수 있었다.

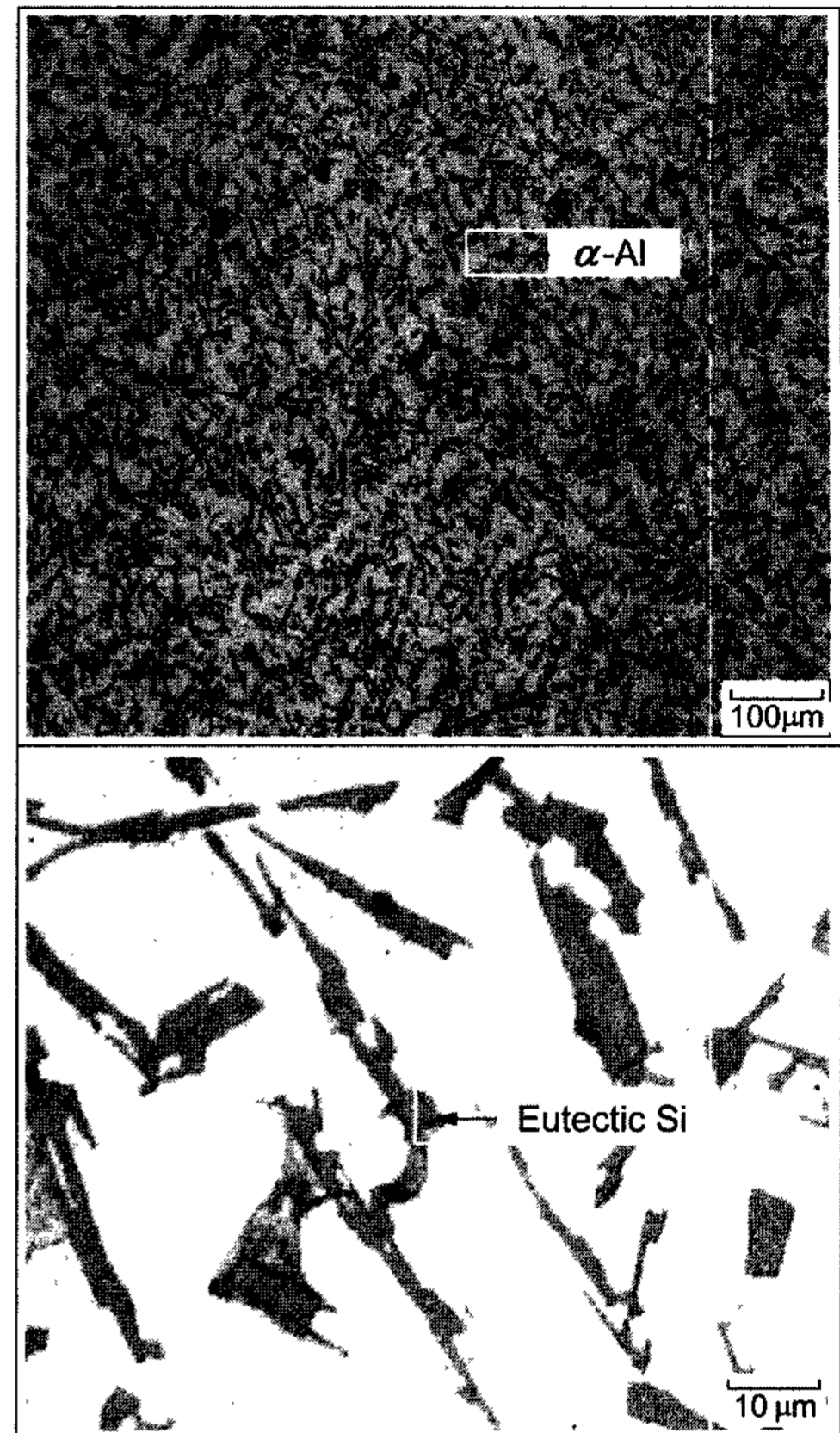


Fig. 1. Microstructures of eutectic Al-Si alloy at the as-cast.

한편, Sr을 첨가하지 않은 상태에서 균일하게 관찰되던 α -Al상이 Sr 첨가로 인해 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 조대한 수지상으로 형태가 변화한 것을 관찰할 수 있었다. 이는 공정 Al-Si 합금은 응고과정에 고액공존영역이 좁아서 초정으로 정출한 α -Al이 핵성장할 여유가 없기 때문이며, Fig. 1의 미세조직에서 볼 수 있었던 α -Al의 수지상이 관찰되지 않았다.

그러나, Sr을 첨가하면 합금의 융점은 변하지 않고 응고점이 저하되어 준고상선의 저하현상이 일어나 고액공존영역이 넓어지게 되어[10] α -Al이 수지상으로 응고하게 된 것으로 판단된다.

3.2 공정 Al-Si 합금의 미세화에 미치는 TiB의 영향

본 연구에서는 Sr 첨가 후 비교적 조대한 수지상을 가지는 α -Al 고용체상을 미세화하기 위하여 TiB를 첨가하였다.

TiB 첨가량에 따른 미세조직의 변화를 관찰하여 그

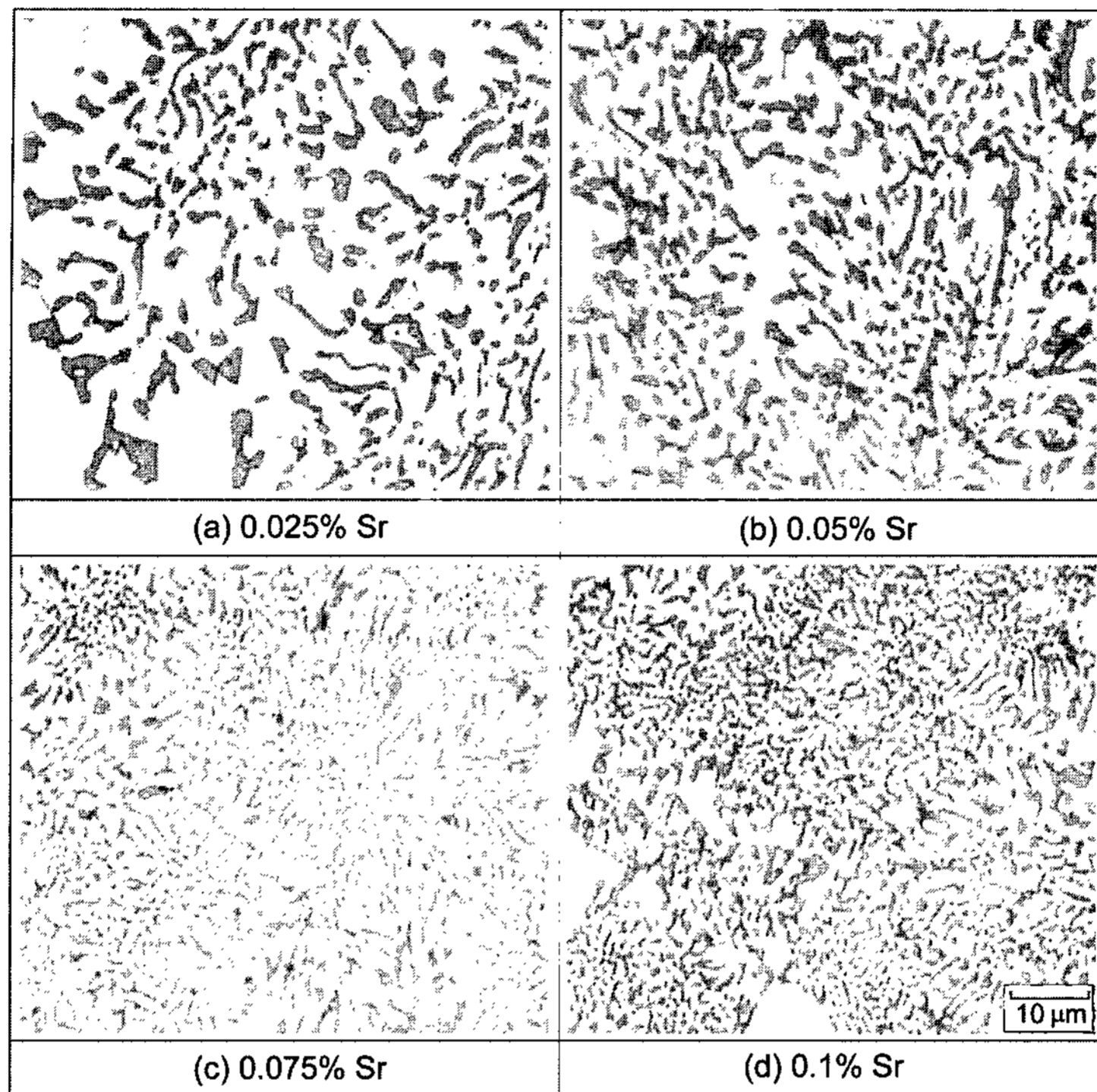


Fig. 2. Microstructures of specimens obtained with various Sr additions(wt.%).

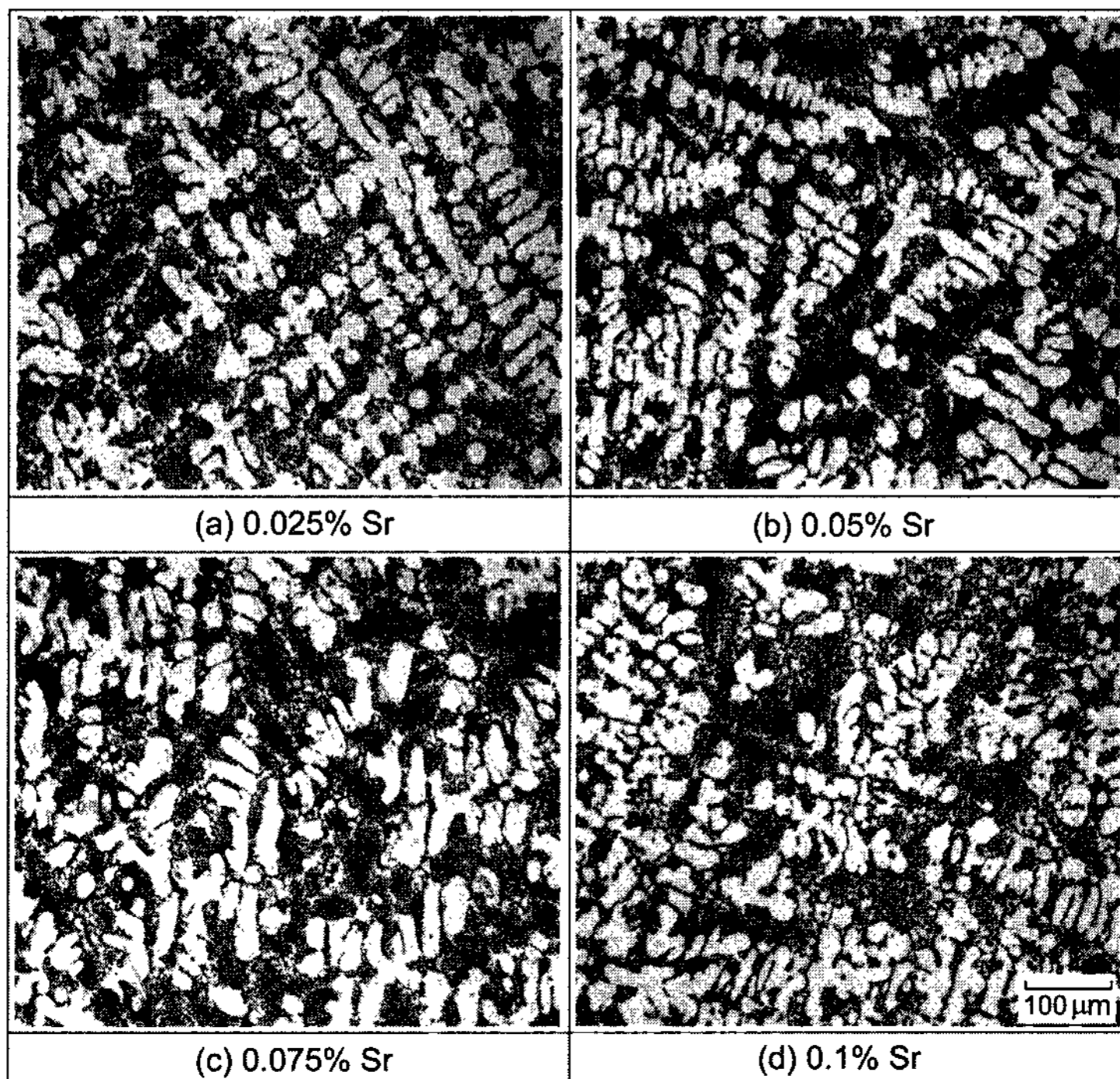


Fig. 3. Microstructures of specimens obtained with various Sr additions(wt.%).

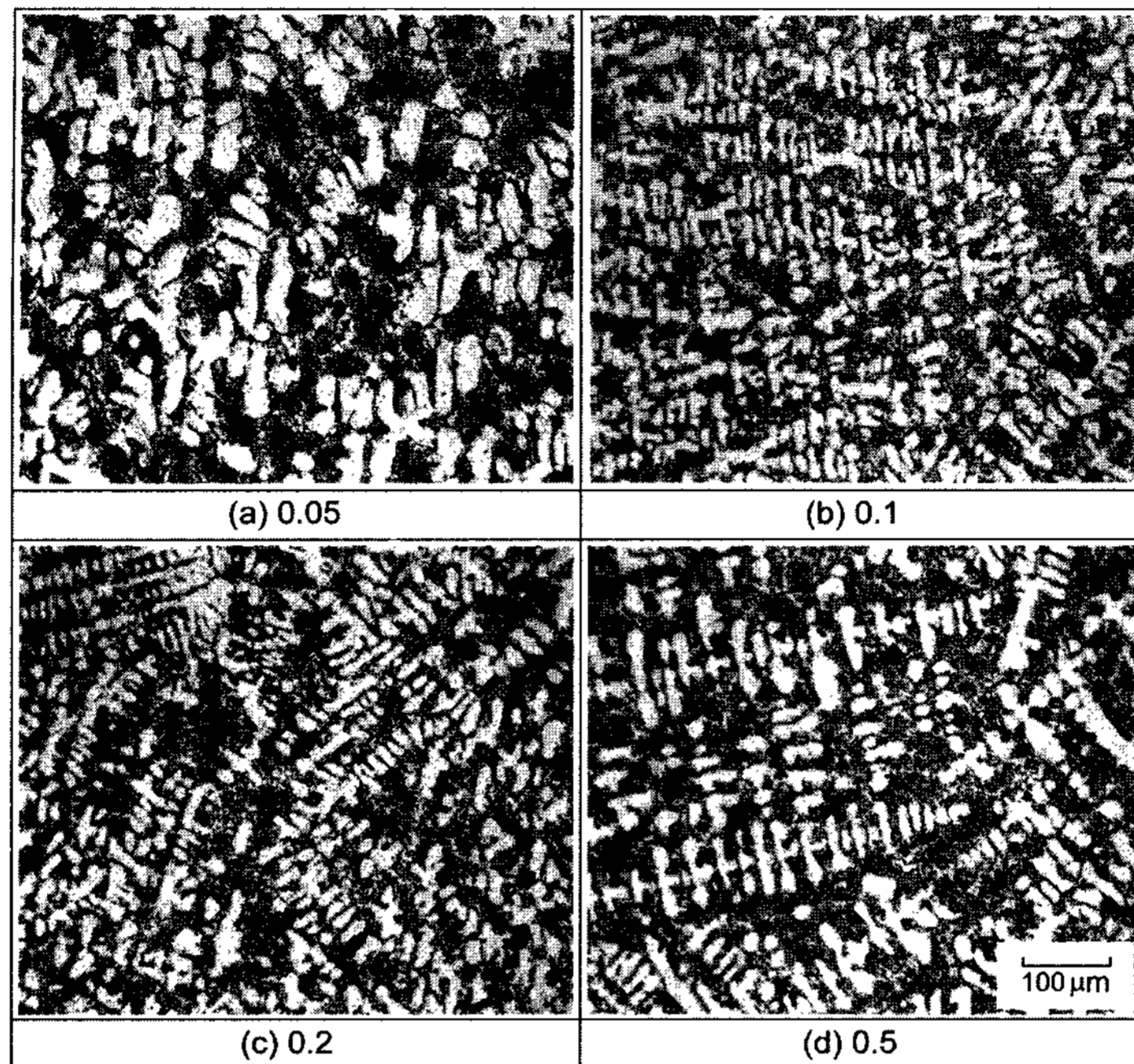


Fig. 4. Microstructures of specimens obtained with various TiB additions(wt.%).

결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 (b)에서와 같이 초정 Al 미세화제 첨가량이 0.1wt.%일 때 초정 Al 고용체상의 수지상 가지 간격이 미세화됨을 관찰할 수 있었으며, Fig. 4의 (c)와 같이 TiB첨가량이 0.2wt.%인 경우 더 이상의 미세화 효과는 나타나지 않았고, 0.5wt.% 첨가한 경우는 수지상 간격이 오히려 다소 조대해지는 것으로 관찰되었다. 이는 Ti 첨가량이 많아지면 액상 Al중에 Ti의 확산이 느려지므로 수지상 가지의 선형적인 성장이 억제되어 상의 형상이 꽃잎형상 (petal-like)으로 되는 현상에 기인하여 결정립은 조대해지며, 이 현상은 냉각속도가 느릴수록 핵으로 작용하는 상이 조대해지고, 그 분포도 균일해지기 때문에 더욱 현저해진다는 Akihiko[11]의 보고와 일치하는 것으로 판단된다.

따라서, 본 실험에서는 초정 α -Al 고용체상의 입자 미세화를 위해 TiB를 첨가하여 미세조직을 관찰한 결과 적절한 TiB첨가량은 0.1wt.%로 설정하였다.

Fig. 5에는 지금까지의 미세조직 관찰을 통해 최적 조건으로 판단하였던 Sr 0.075wt.%와 TiB 0.1wt.%를 첨가한 공정 Al-Si합금의 미세조직을 저배율과 고배율로 나타내었다. 사진에서 볼 수 있듯이, 조대한 침상형으로 정출하던 공정 Si상이 미세한 섬유상으로 개량처

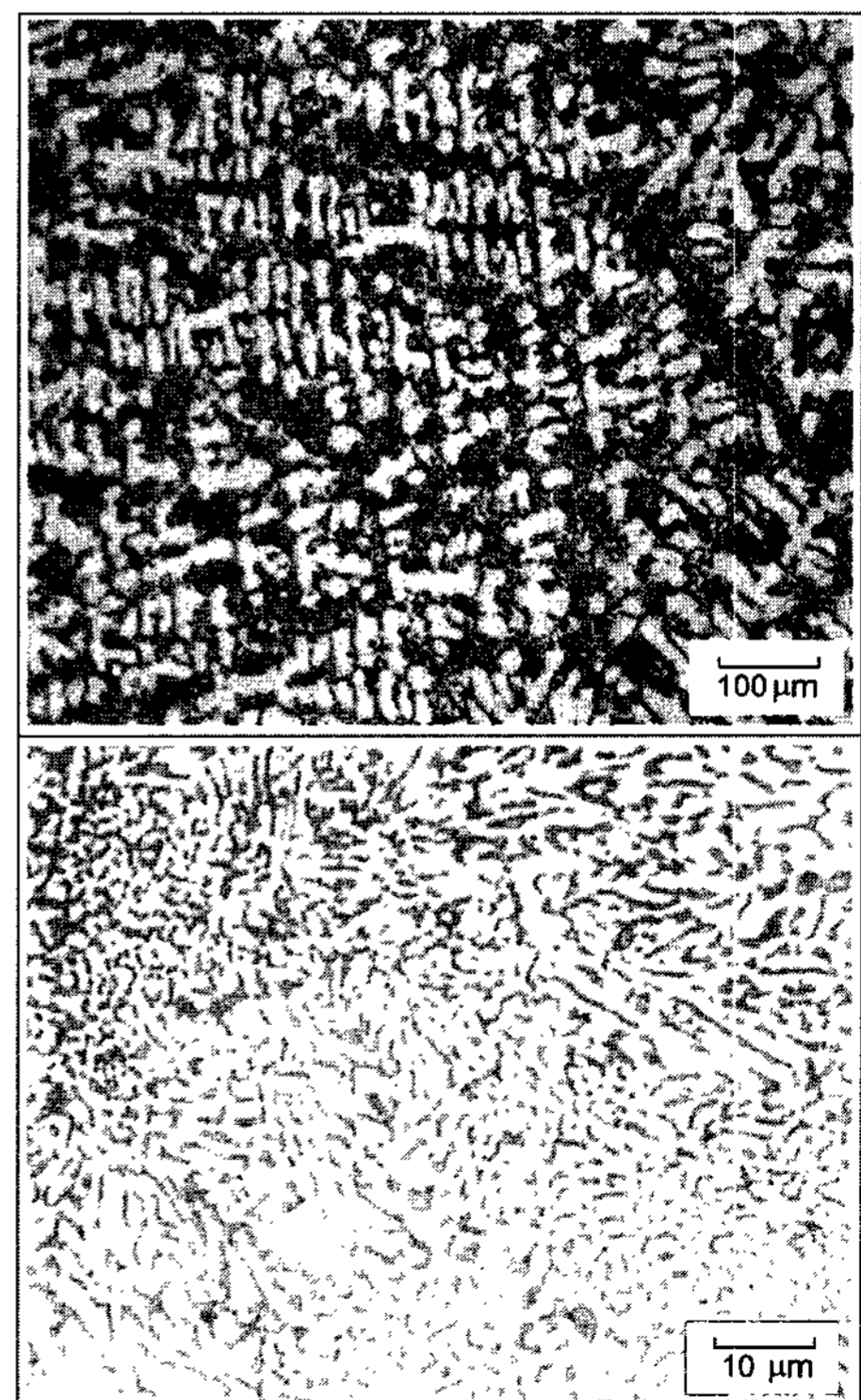


Fig. 5. Microstructures of specimens obtained with 0.075%Sr and 0.1%TiB added(wt.%).

리가 되었고, 비교적 조대하게 관찰되던 α -Al 고용체상의 수지상 간격 또한 매우 좁아지는 것으로 나타났다.

3.3 개량화제 및 미세화제 첨가량에 따른 기계적 특성 변화

단조 가공시 재료의 미세조직은 실제 단조시 중요한 인자로 작용하므로 공정 Al-Si 합금의 공정 Si 개량화와 α -Al 고용체상의 미세화를 위해 Sr과 TiB 합금을 첨가하여 조직을 미세화하기 위한 실험을 먼저 진행하였으며, 그에 따른 기계적 특성평가를 위해 인장시험을 실시하였다.

먼저 Sr 첨가량의 변화에 따른 인장 강도 값과 신율을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이, Sr을 첨가하지 않은 경우 인장강도 값이 20 kgf/mm²로 신율은 4%로 나타났으나 Sr을 첨가하여

공정 Si를 개량처리에 따라 인장강도 값과 신율이 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 Sr을 0.075wt.% 이상 첨가하여 공정 Si를 개량처리한 경우에는 인장강도가 30 kgf/mm²로 신율은 7% 증가하여 비교적 우수한 기계적 성질을 가지는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 2에 나타난 미세조직의 변화와 비교해 볼 때 Sr 첨가로 인한 공정 Si의 개량화로 인하여 공정 Al-Si 합금의 기계적 성질 향상에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

한편, Sr의 첨가량을 최적조건으로 판단하였던 0.075wt.% 첨가하고, TiB의 첨가량을 변화시켰을 때의 인장강도 값과 신율의 변화를 Fig. 8과 Fig. 9에 각각 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이, TiB 첨가에 의해 α -Al 고용체상의 수지상 가지 간격이 좁아질수록 인장강도 값과 신율이 증가함을 알 수 있었으며, 가장 미세한 조

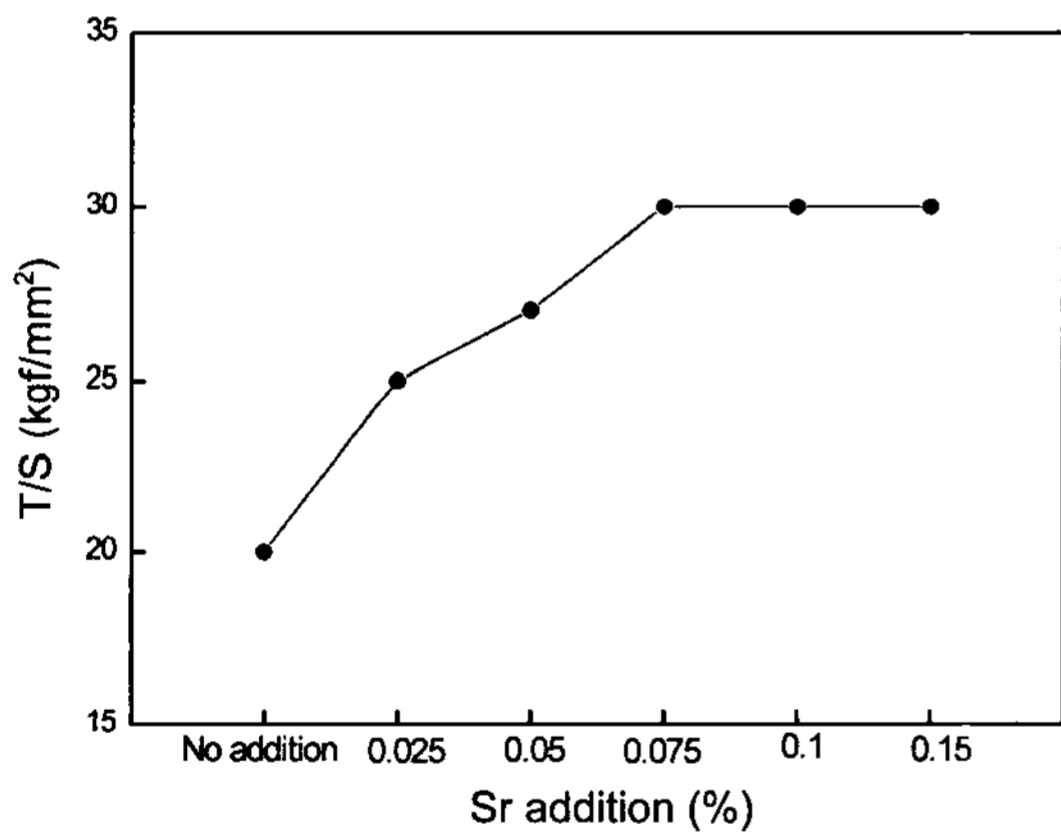


Fig. 6. Variation of tensile strength with Sr addition.

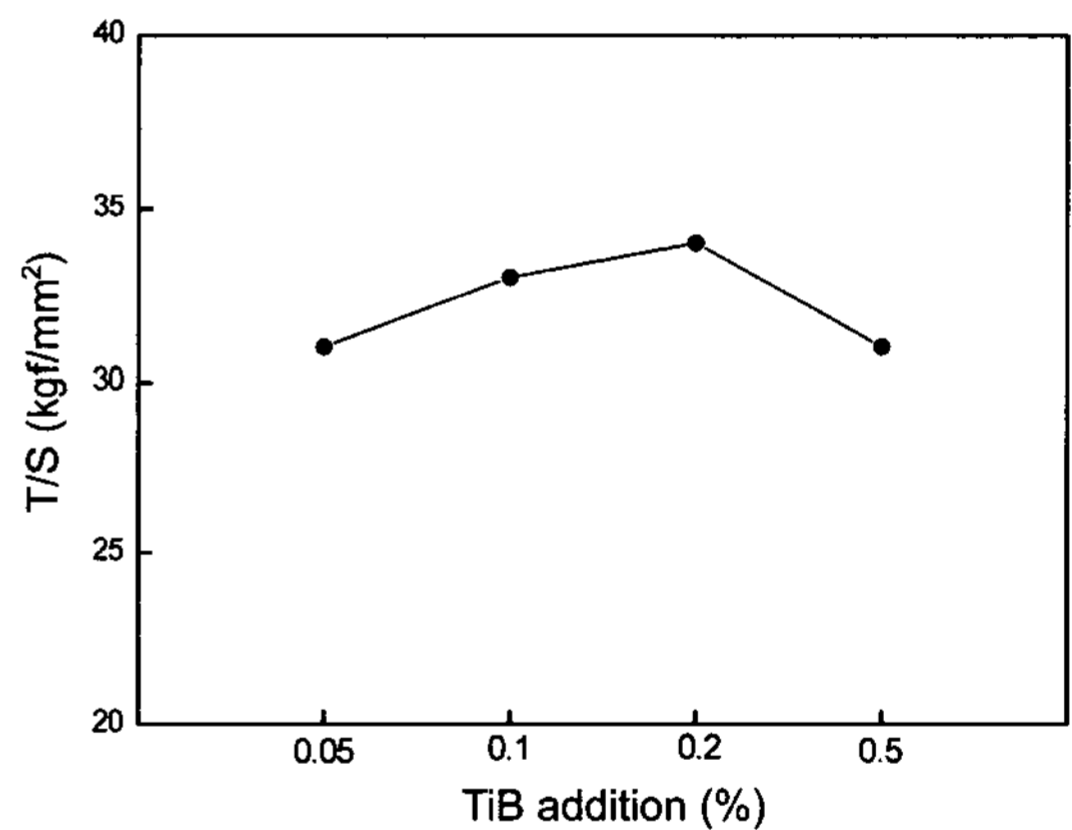


Fig. 8. Variation of tensile strength with TiB addition.

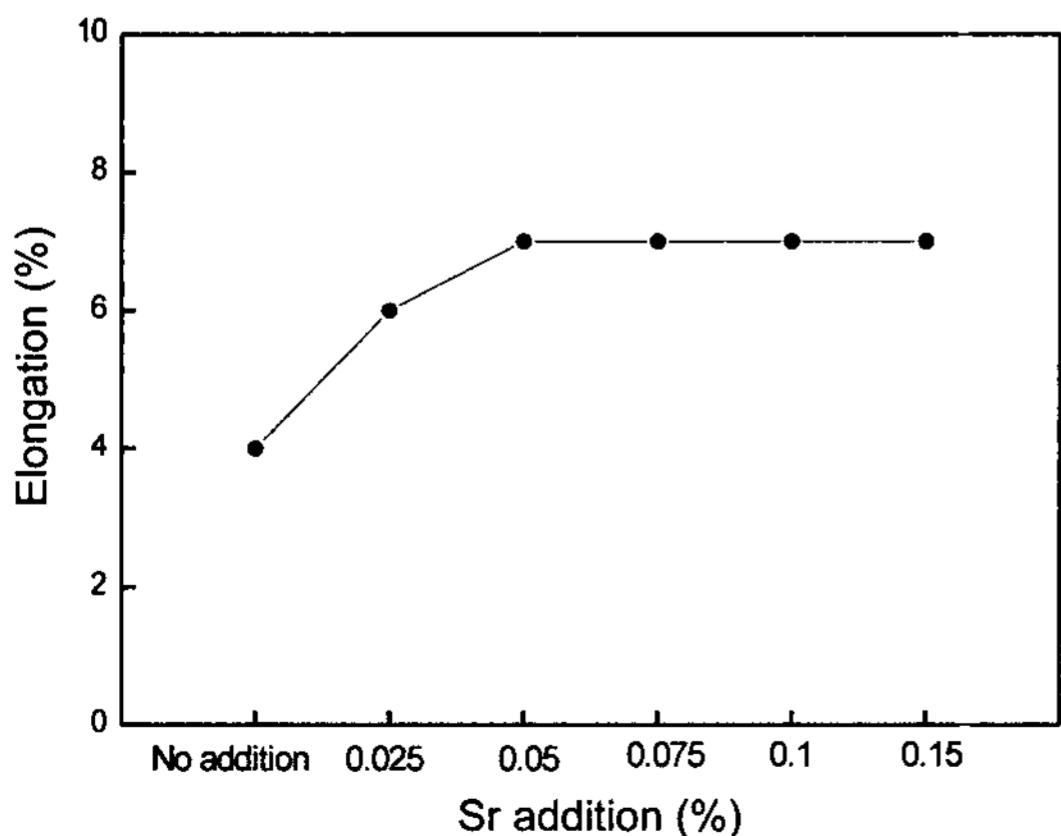


Fig. 7. Variation of elongation with Sr addition.

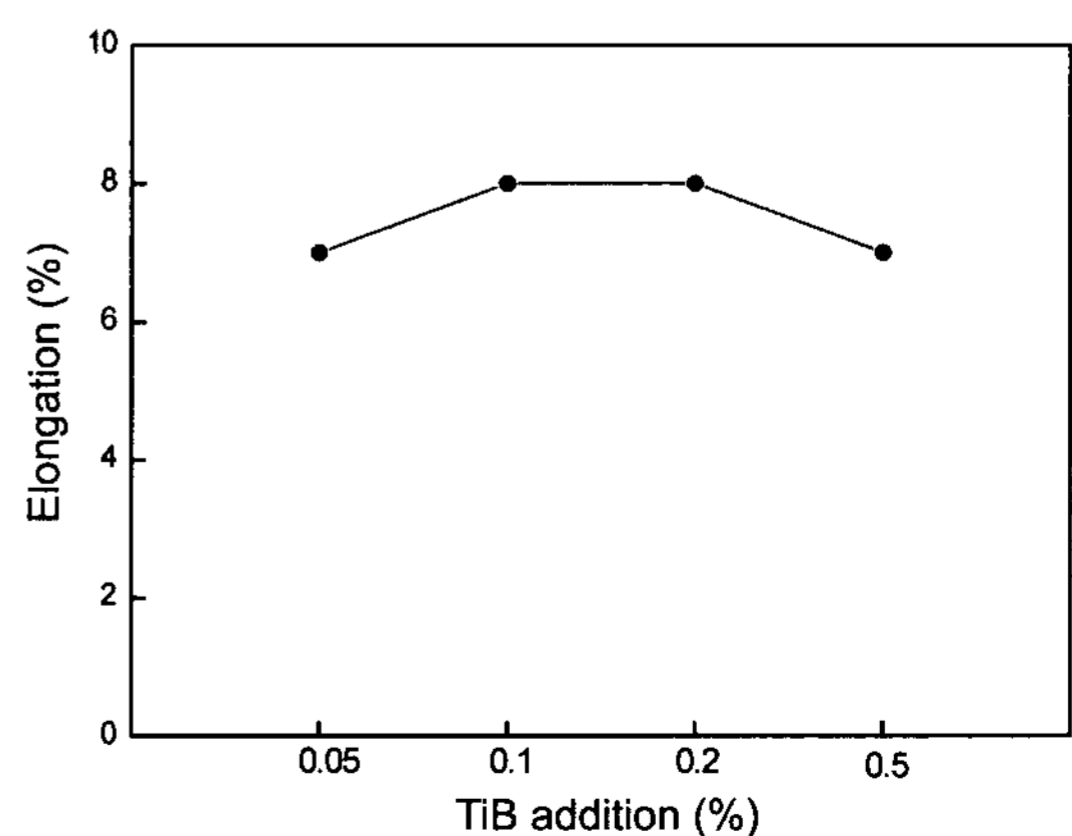


Fig. 9. Variation of elongation with TiB addition.

직을 나타내었던 TiB 첨가량이 0.1wt.%인 경우 그 인장강도 값은 33 kgf/mm², 그리고 신율은 8%로 가장 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

3.4 개량화제 및 미세화제 첨가량에 따른 단조성 평가

Sr 및 TiB 첨가에 의해 개량처리된 공정 Al-Si 합금의 단조성 평가를 위해 압축율을 30%와 40%로 각각 변화시키고, 압축가공온도를 400, 450 및 500°C로 변화시키면서 열간가공재현시험을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 각각 나타내었다.

Fig. 10 및 Fig. 11은 30% 및 40%로 각각 압축이 진행되는 동안 압축하중의 변화를 온도별로 나타낸 것으로서, 그래프에 나타난 바와 같이, 압축가공온도가 400, 450 및 500°C일 때 압축하중이 시편의 단면적에 약 5000, 3500 및 1700N이 필요한 것으로 나타나 압축가공 온도가 높을수록 열간압축시 비교적 적은 압축하중이 필요함을 알 수 있었으며 각각의 조건에 대

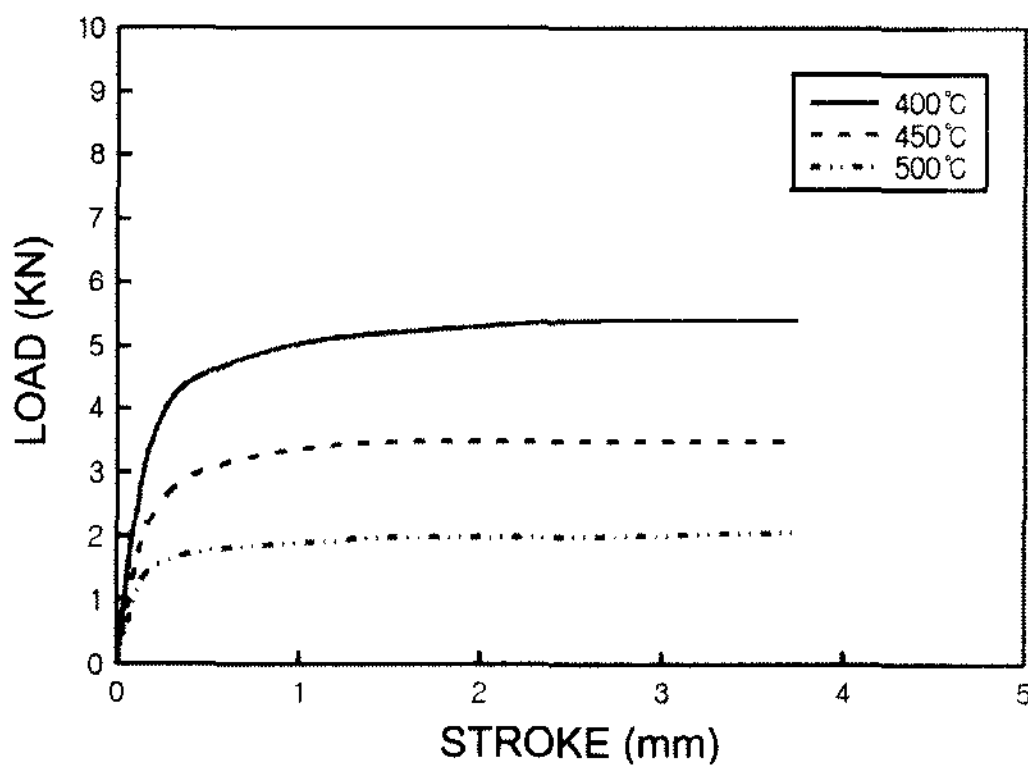


Fig. 10. The stroke-load graph at 30% hot compressive strain.

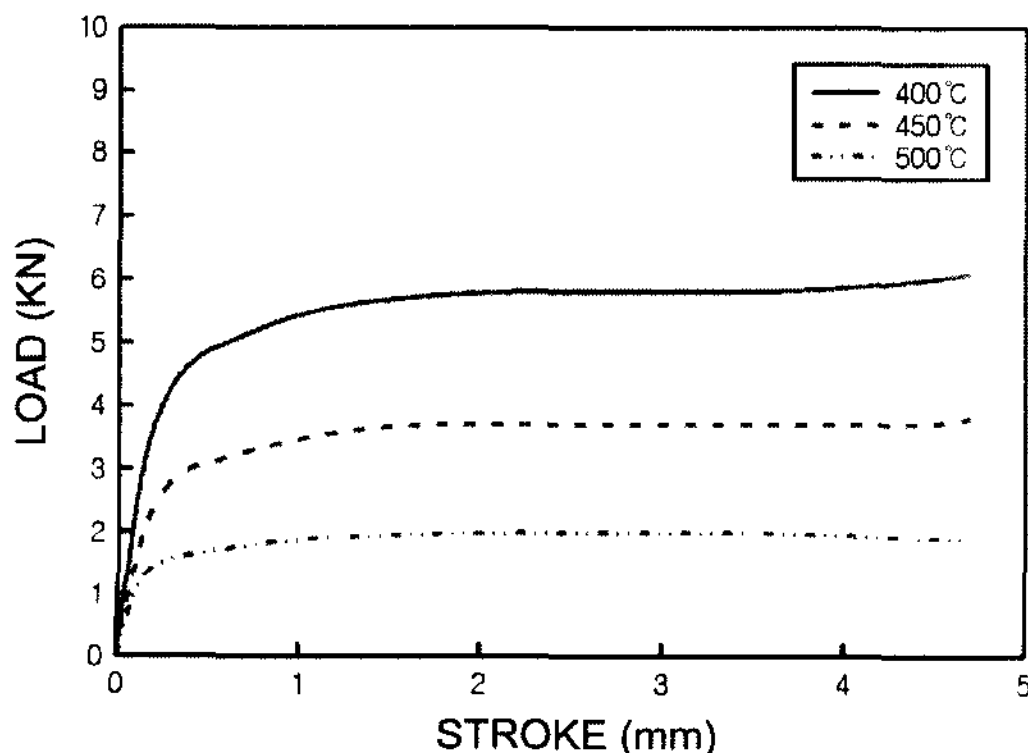


Fig. 11. The stroke-load graph at 40% hot compressive strain.

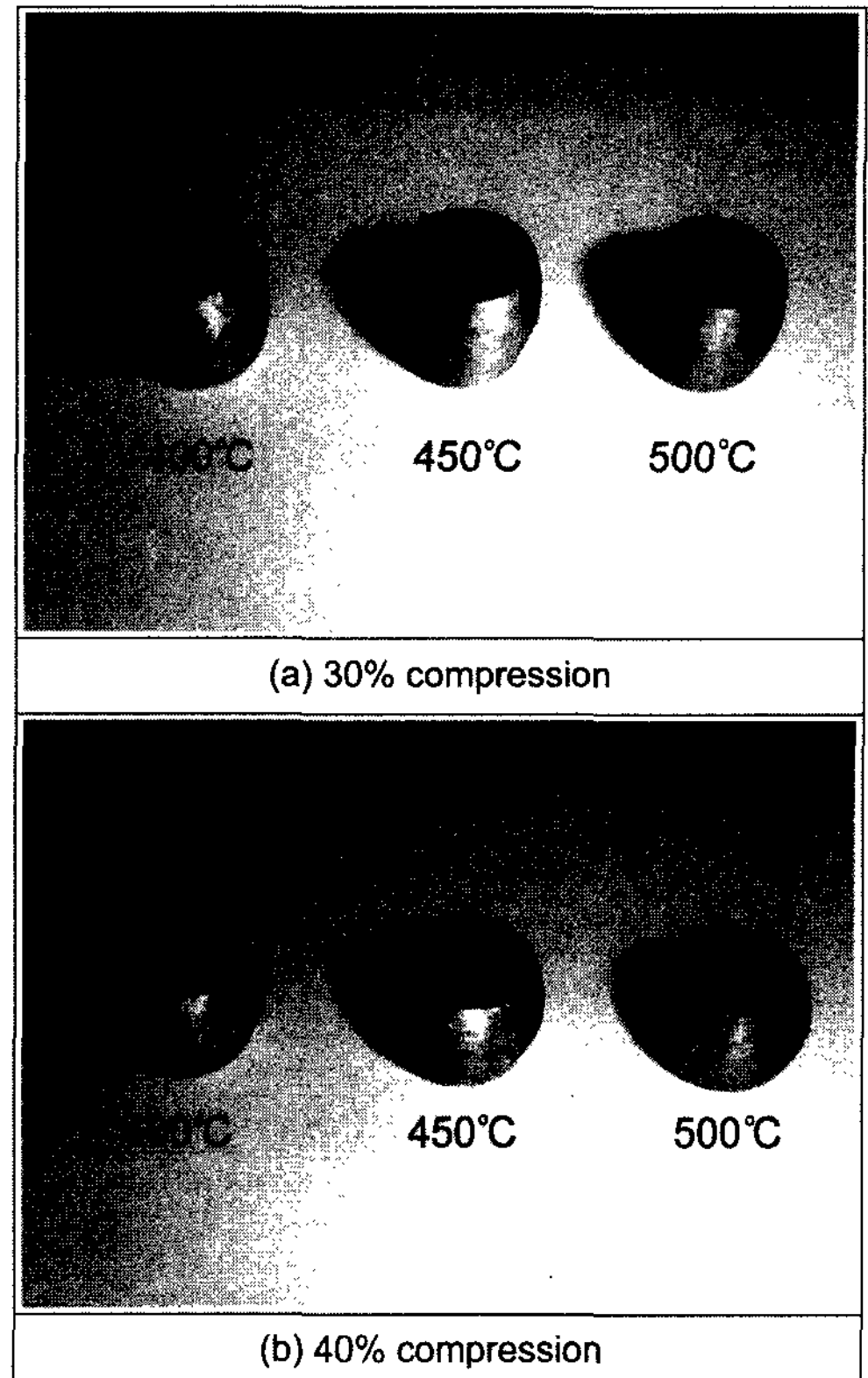


Fig. 12. The shape of specimen after 30% and 40% hot compressive strain.

한 시편의 압축 후의 사진을 Fig. 12에 나타내었다. 압축가공시 압축가공온도가 높아질수록 변형에 대한 변형저항은 줄어드는 것으로 나타났으며, 450°C의 경우 변형저항이 시편의 단면적에 약 3500N 정도 작용함을 알 수 있었다.

450°C의 경우, 시편의 단면적을 고려할 때 단위면적 (mm²)당 약 70N의 하중이 필요하다는 것을 의미하며, 이 값은 변형저항으로써 실제 단조시 반드시 고려되어야 할 인자이다. 즉, 단조를 행할 경우 하중의 정확한 계산이 이루어져야만 단조기계 선정과 금형의 강도 등을 결정할 수 있기 때문이며, 필요한 단조하중의 계산은 아래 식으로 계산이 가능하다.

$$F = C_r \cdot K_g \cdot S$$

여기서 F = 필요하중

K_r = 변형저항

C₁ = 계수(1.2~2.5)

S = 접촉부 투영면적이다[12].

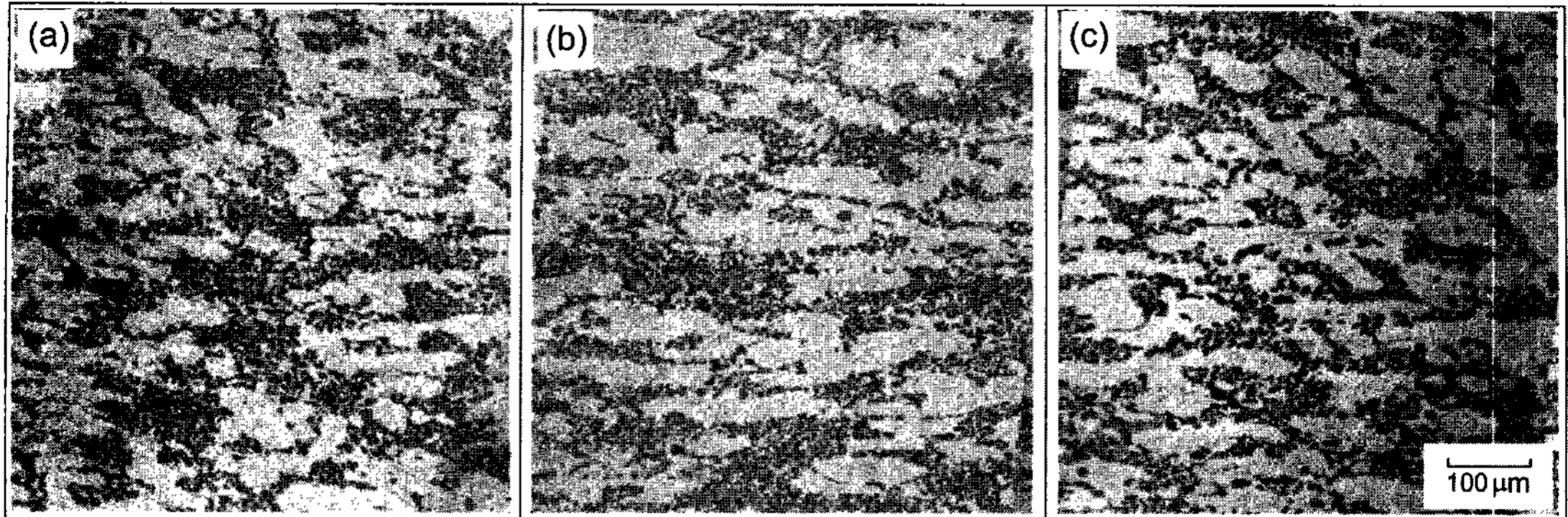


Fig. 13. Microstructures of specimens after 30% hot compressive strain. (a) 400°C, (b) 450°C, (c) 500°C

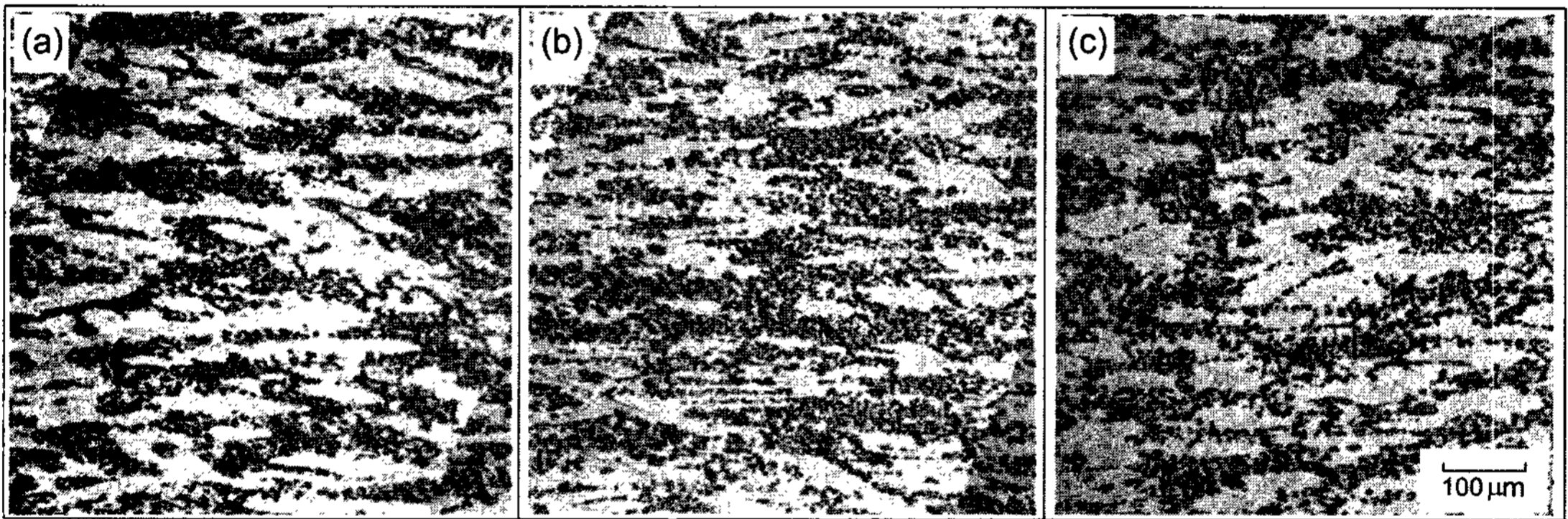


Fig. 14. Microstructures of specimens after 40% hot compressive strain. (a) 400 °C, (b) 450°C, (c) 500°C

실제 알루미늄 주단조시 열간단조 작업온도가 450°C, 압축율이 30~50%로 알려져 있다[14]. 또, 본 실험에서 예비단조에 해당하는 열간가공재현실험을 행하여 압축 가공한 시편에 대한 미세조직을 관찰하였으며 그 결과를 Fig. 13 및 Fig. 14에 각각 나타내었다. 사진에서 보듯이, 압축율 30%에 비해 40%의 압축율인 경우가 조직이 다소 미세해졌음을 볼 수 있었으며, 또한 각 조건에서 가공온도가 500°C인 경우에는 조직이 다소 조대해지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 열간가공에 따른 회복 및 재결정 현상에 기인한 것으로 판단된다.

상기 압축시험의 결과로부터, 열간단조시 압축가공온도가 높으면 변형저항은 적지만 미세조직이 비교적 조대해지고, 가공온도가 낮으면 변형저항이 높아지므로 본 실험에서는 450°C에서 40% 압축하는 조건을 최적 조건으로 설정하였다. 따라서, 본 실험에서는 주조용 Al 합금의 조직을 미세화시켜 주단조를 실시하고자 앞 절에서 조직이 미세한 합금을 주조하여 가장 기계적

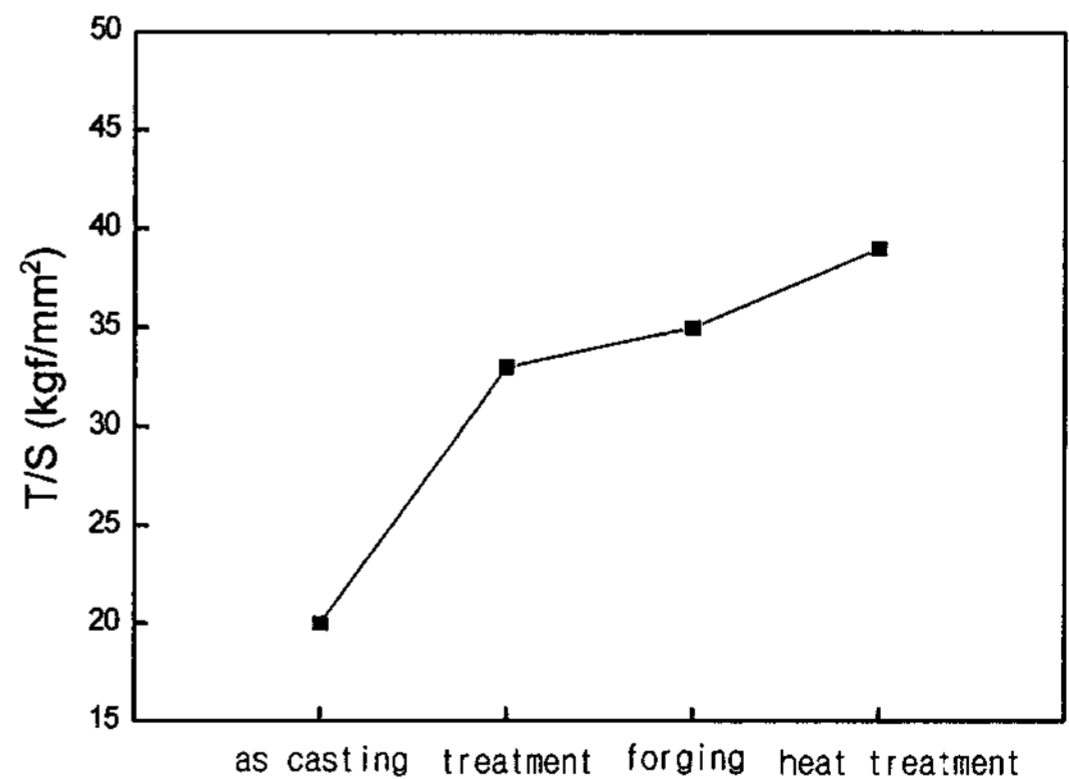


Fig. 15. Changes of tensile strength with various treatment in eutectic Al-Si alloys.

성질이 우수한 합금을 대상으로 450°C에서 40% 단조를 실시한 후 인장시험을 하여 단조 이전과의 기계적 성질을 비교하였으며 그 결과를 Fig. 15 및 Fig. 16에 각각 나타내었다. 그림에서 보듯이, 열간단조를 실시하

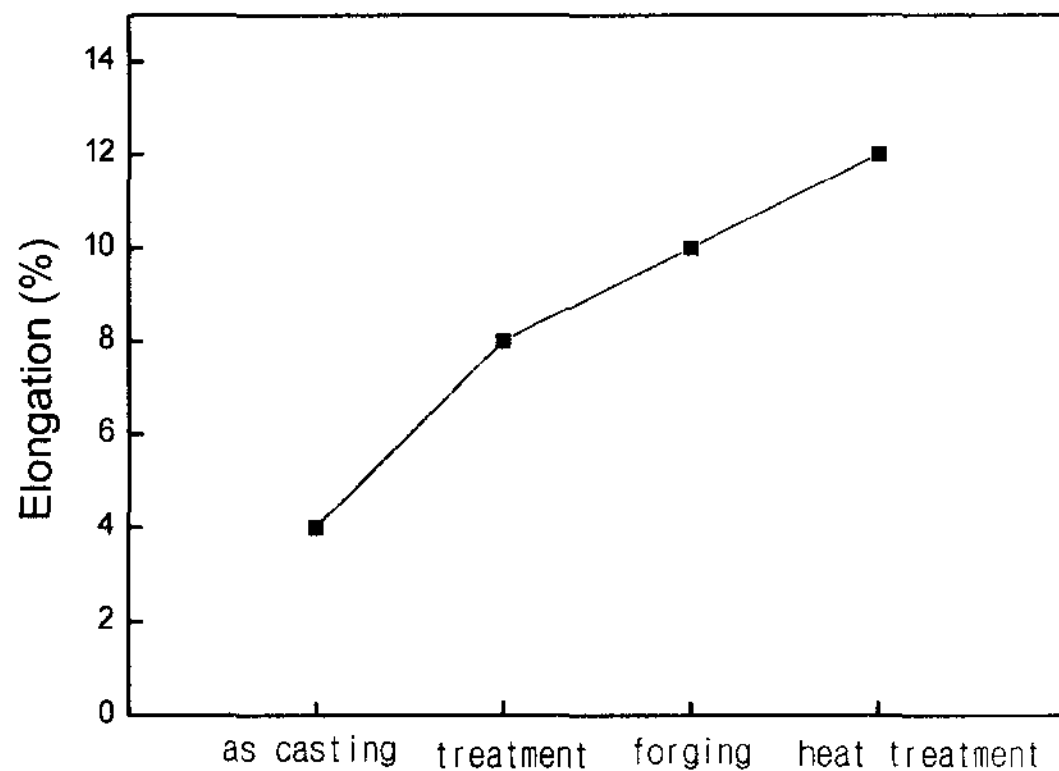


Fig. 16. Changes of elongation with various treatment in eutectic Al-Si alloys.

고 난 이후 인장강도 값은 약 35 kgf/mm^2 , 신율은 약 10%로 나타났으며, 열처리(T6)를 실시하고 난 이후 인장강도는 약 39 kgf/mm^2 , 신율은 약 12%로 더욱 향상되었음을 알 수 있었다. 이는 단조를 실시함에 따라 공정 Si의 미세화 효과와 더불어 주조시 발생한 미세 기공 등의 주조결함이 압착됨으로 인하여 기계적 성질이 향상되었음을 의미하며 열처리(T6) 후 시효효과에 의해 더욱 향상된 기계적 성질을 가지게 된 것으로 사료된다.

4. 결 론

공정 Al-Si 합금의 개량화 및 미세화처리를 위해 Sr 과 TiB를 첨가한 주단조 소재를 개발하고, 이 소재를 열간가공재현시험을 통해 단조로의 적용가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공정 Si의 개량화제로 Sr 모합금을 첨가한 결과 0.075wt.%일 때가 우수한 개량화 효과를 나타내었으며, 그 이상 첨가시 개량화 효과는 없는 것으로 확인되었다.

2. 공정 Si의 개량화제인 Sr 모합금의 첨가량을 0.075wt.%로 고정하고 초정 Al의 미세화제로 AlTi_3B 모합금을 첨가한 결과, 0.1wt.%일 때가 가장 우수한 미세화 효과를 나타내었으며, 그 이상 첨가시 오히려 초정 Al이 조대해지는 현상을 나타내었다.

3. 공정 Al-Si 합금을 개량화 및 미세화 처리한 시편에 대한 인장시험 결과 Sr 0.075wt.%, TiB 첨가량

은 0.1wt.%일 때 인장강도 값은 약 33 kgf/mm^2 , 신율은 약 8%로 가장 우수하게 나타났다.

4. 단조성 평가를 위한 열간가공재현시험 결과 압축율 40%, 압축가공온도 450°C 일 때 가장 양호하게 나타났다으며, 재료의 단위면적당 약 70N의 하중이 필요함을 알 수 있었다.

5. 열간단조 후와 열처리(T6)를 실시한 경우 인장강도 값은 약 35 kgf/mm^2 에서 약 39 kgf/mm^2 로 또한, 신율은 약 10%에서 약 12%로 각각 향상되었으며 이는 열처리 후 시효효과에 의해 기계적 성질이 향상된 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 "과학기술부-한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구 센터"의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Toshihiro Chikada : "Light Alloy Parts for Automobile", J. of Japan institute of light metals(1990), 40, 12, 944
- [2] Normang, Gjostein : Advanced Materials & Process(1990), 137, 73
- [3] Claus Razim : Advanced Materials & Process(1990), 137, 75
- [4] T. Uno and Yoshida : "Recent Development in Auto Body Sheet Aluminum", SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS(1986), 27, 4, 22
- [5] H. Ichimura : paper No. 18, 57th World Foundry Congress, Osaka, Sep. (1990)
- [6] K. Fukizawa and H. Shiina : The technology of Automobile, No. 5. Vol. 46, (1992), 66
- [7] Yoshiaki YAMAMOTO, Yasushi IWATA and Motoyuki NAKAMURA : J. of the Japan institute of light metals, No. 1, Vol. 39, (1989), 21
- [8] Tsunehisa SEKIGUCHI : The 12th Chair of forging technology of aluminium, 1-8, 1992
- [9] Ki-Young Kim : J. of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, No. 4 (2000, 8)
- [10] Japan institute of light metals : The microstructure and property of aluminium, 241
- [11] Akihiko, Hiroyasu : J. of the Korean Foundrymen's Society, 51, 7, (1978), 34
- [12] Tsunehisa SEKIGUCHI : J. of Japan Institute of Light Metals, Vol. 44, No. 12(1994) 749