

A356 합금 미세조직변화에 따른 기계적 특성에 관한 연구

김국주* · 권용남* · 이영선* · 이정환* · 이신호** · 이재현***

Mechanical Behavior of A356 depending on the Variation of Microstructure

K. J. Kim, Y.-N. Kwon, S. H. Lee, J. H. Lee, Y. S. Lee and J. H. Lee

Abstract

A356 alloy is one of the most popular casting aluminum alloys due to its good castability. It is well known that the mechanical properties of A356 alloy strongly depend on its characteristic microstructure, such as the size of eutectic Si, primary α dendrite and so on. These microstructural features are determined during the casting and solidification process, which implies the strong relationship with mechanical properties with solidification methods.

In the present study, the mechanical characteristics of A356 alloy was investigated by using squeeze cast control arm in terms of the microstructural features, such as the size of eutectic Si, primary α dendrite. By doing so, the most favorable microstructure of A356 could be determined for Al control arm that should be one of the most reliable parts in automobile

Key Words : A356 Alloy, Cast Structure, Dendrite Size, Eutectic Si, Tensile Property

1. 서론

주조용 Al-Si 계 합금은 용탕의 유동성 및 충전성이 뛰어나 다양한 부품제조에 적용되고 있다. 미량의 Mg 이 첨가된 A356 합금은 Mg_2Si 상의 석출반응을 이용하여 강도가 향상시킨 합금으로 다양한 구조부품에 사용되고 있다. 특히, 최근에는 높은 신뢰성이 요구되는 자동차 조향·현가 부품등에도 많이 적용되고 있는 대표적인 주조용 알루미늄 합금이다.

A356 합금의 기계적 성질은 Mg_2Si 상의 석출물 뿐만 아니라 공정 Si 및 초정 α 상의 크기 및 상대적인 분포에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이러한 미세조직적 인자들은 주로 주조방법

및 이에 따른 응고속도 변화에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉, 동일한 A356 합금으로 제품을 성형할 경우에도 저압주조, 스퀴즈 주조, 반응고성형 등과 같은 다양한 주조법을 사용할 수 있으며 이에 따라 상기 언급한 미세조직 인자들이 서로 상이하게 형성되어 결과적으로 기계적 물성의 차이를 가져오게 된다.

본 연구에서는 A356 합금을 이용하여 대표적인 자동차용 조향·현가 부품인 컨트롤 암을 모델로 상이한 주조 조직이 기계적 성질에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 이를 위하여 스퀴즈 주조법으로 제조된 컨트롤 암을 이용하여 주조조직의 형성과정 및 이에 따른 기계적 특성의 변화를 고찰하였다.

* 한국기계연구원 공정연구부

** 이수금속주식회사 기술연구소

*** 창원대학교 금속재료공학과

2. 실험방법

본 연구에서는 Al-7.1%Si-0.32%Mg의 조성을 가지며 스퀴즈 주조로 제조한 컨트롤 암을 이용하였다. 스퀴즈 주조는 금형에 용탕을 주입한 후 응고중 압력을 가하여 수축공의 발생을 억제하는 주조법이다. 그림 1은 본 연구에 사용한 컨트롤 암의 형상을 보여주는 것으로 복잡한 형상의 부품 주조시 위치에 따라 공정 Si 및 초정 α 상의 크기 및 분포 등의 변화를 예상할 수 있다. 금형의 냉각 패턴 설계에 따라 부위별 미세조직의 특징이 결정될 뿐만 아니라 스퀴즈 주조의 특징인 가압패턴의 설계에 의해서도 조직 제어의 가능성이 있다. 본 연구에서는 이상과 같이 응고조건이 서로 다른 부위에서 시편을 채취하여 미세조직을 관찰하였으며 또한 해당 부위에서 인장시험을 실시하였다. 실험에 사용한 모든 시편은 535°C에서 5시간 용체화처리 후 165°C에서 6시간 시효처리로 구성된 T6 처리를 실시하였다.

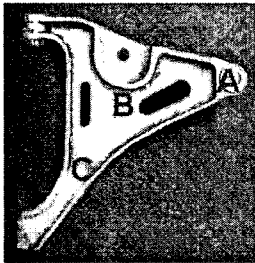


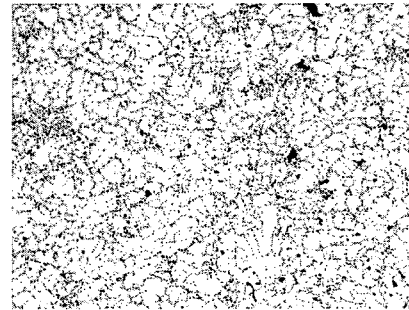
Fig. 1 Squeeze cast control arm with A356 alloy used in the present study.

3. 실험결과 및 고찰

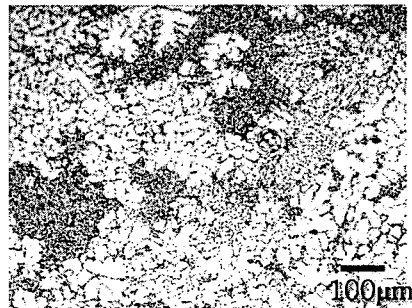
주조 및 응고속도의 차이에 의해 발생하는 미세조직 및 물성의 차이를 이해하기 위하여 그림 1에 표시한 것과 같이 대표적인 3개의 부위를 조사하였다. A 부는 스퀴즈 핀을 이용해 응고시 가압을 부가한 부위이다. B 부위는 다른 부위에 비해 상대적으로 두께가 얇기 때문에 주조시 용탕흐름이 빠르고 복잡한 경향을 나타냄을 유도 및 응고해석을 통해 알 수 있었다. 두께 분포의 변화에 따라 응고속도도 변화하여 수축공 집적의 가능성이 예상되었다. 마지막으로 C 부위는 부품 전체에 걸쳐 가장 두꺼운 부위로 가장 낮은 응고속도를 나타내는 부위이다.

그림 2는 주조시 고상과 액상이 공존하는 온도

에서 스퀴즈 핀을 이용하여 압력을 가해 응고시 발생하는 수축공을 제거한 A 부분의 미세조직을 보여주고 있다. 컨트롤 암의 구조상 A 부위는 후속 소성가공이 필요한 부위이다. 본 연구에서는 소성가공이 성공적으로 진행된 시편(그림 2(a))과 소성가공중 파손이 발생한(그림 2(b)) 두가지 경우에 대해서 분석을 시도하였다. 그림 2(a)의 경우 공정 Si 상이 초정 α 수지상 경계를 따라 균일하게 존재하는데 비해 그림 2(b)의 경우 공정 Si 상들이 100 μm 이상의 크기의 colony 형태로 뭉쳐져 있는 경우가 관찰된다. Al-Si 합금에서 공정 Si는 초정 α 에서 발생하는 전위들의 이동을 막아 강도를 높이는 역할을 하는 것으로 보고되어 있다. 또한, 파괴시 공정 Si와 초정 α 의 계면은 크랙의 발생 위치로 작용하기 때문에 공정 Si의 형상 및 분포는 Al-Si 합금의 기계적 특성 제어에 매우 중요한 영향을 미친다. 그림 2(b)에 나타낸 불균일한 공정 Si의 분포는 스퀴즈핀의 가압시 응고가 진행되지 않은 액상의 국부적으로 집중에 의해 형성된 것을 판단된다. 이상의 결과로부터 수축공 방지를 위해 사용한 스퀴즈 가압이 국부적으로 불균일한 미세조직을 형성시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 2 Microstructure of squeeze cast control arm on A part, (a) sound case and (b) failed case.

그림 3(a) 및 3(b)는 각각 구역 B 와 C 의 미세 조직을 보여주고 있다. 그림 3(a)에서 화살표로 표시한 방향으로 응고가 진행되는 것을 응고해석을 통해 확인할 수 있었다. 또한, 그림 3(b)의 경우 중심부에서 가장 늦게 응고가 진행된다. 그림 3(a) 및 (b)에서 응고가 늦게 진행된 부위일수록 공정 Si 상 분율이 높아질 뿐만 아니라 조대한 colony 형태로 뭉치는 경향이 높아져 기계적 특성을 떨어뜨리는 결과를 일으킨다.

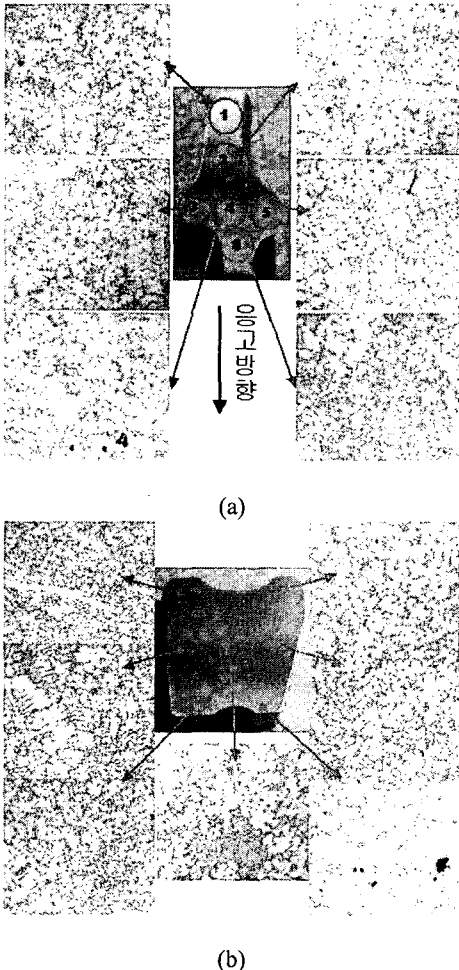


Fig. 3 Microstructure of squeeze cast control arm on (a) B and (b) C sections.

그림 2 와 3 을 통해 설명한 바와 같이 컨트롤 암과 같이 복잡한 형상을 가진 주조품의 경우 응고속도 및 스퀴즈 가압등의 영향으로 불균일한 미세조직이 형성된다. 이러한 불균일한 조직은 주

조품의 기계적 특성의 균일성을 낮추는 원인으로 작용하기 때문에 이에 대한 적절한 제어가 필수적이다. 그림 4 는 서로 다른 미세조직의 형성이 예상되는 부위에서 시편을 채취한 후 인장시험을 실시한 결과이다. 인장시험후 시험결과와 미세조직간의 상관관계를 고찰하기 위하여 파면아래 부위의 조직을 관찰하였다. 그림 4(a)에서 강도는 1 번 시편, 연신율은 2 번 시편이 가장 높은 결과를 나타내었다. A356 합금의 변형은 초정 α 상에서 발생한 전위운동에 의해 일어나며 초정상을 둘러싸고 있는 Si 상들에 의해 방해를 받는다. 일반적인 금속재료에서는 결정립 크기가 작을수록 강도가 높아지는 Hall-Petch 관계식이 성립하지만 A356 합금의 경우 주 결정립에 해당하는 초정 α 의 크기가 작아질수록 강도가 낮아진다. 그 이유는 초정 크기가 작아질수록 α 상과 공정상간의 계면의 면적이 증가하며 이에 따라 공정 Si 상이 α 상에서 발생한 전위의 운동을 완벽하게 방해하지 못하기 때문이다. 그림 4(b)의 1 번 시편의 경우 초정 α 상은 1 차 수지상(primary dendrite, PD)는 약 $220\mu\text{m}$, 2 차 수지상(secondary dendrite, SD)은 $50\mu\text{m}$ 인데 비해 그림 4(c), (d)의 2 번 시편의 경우 PD 는 약 $170\mu\text{m}$, SD 는 약 $25\mu\text{m}$ 으로 강도가 낮을수록 미세한 α 상을 가지고 있음으로 알 수 있다. 이와 더불어 α 상의 형상이 강도가 높을수록 보다 등축정에 가까워 초정/공정계면의 면적이 줄어들며 결과적으로 공정 Si 가 보다 효과적으로 전위운동을 방해할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 4(a)에서 2 번 시편이 가장 높은 연신율을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 연신율의 경우 강도와 반대로 α 상에서 발생한 전위가 초정/공정 계면에서 집적되지 않고 이웃 α 상으로 이동할 때 높은 값을 가진다. 2 번 시편의 경우 초정 α 의 크기가 1 번에 비해 작기 때문에 강도는 떨어지지만 연신율은 높은 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 3 번 시편의 경우 강도와 연신율이 가장 낮은 값을 가지는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 공정 Si 상들이 국부적으로 집적되어 일종의 네트워크를 형성하여 크랙의 발생이 매우 용이한 미세조직을 가지고 있다. 즉, 공정 Si 들이 편석되어 있는 colony 들은 변형량이 높지 않은 경우에도 크랙이 발생하여 조기에 파단이 일어난다.

공정 Si 의 형상 및 크기는 A356 합금의 다른 기계적 특성에도 영향을 크게 미친다. 그림 4(b)나 (c)와 같이 비교적 건전한 조직을 가지는 경우 평

균 4.74×10^4 (J/m^2)의 충격값을 가지는데 반해 공정 Si의 colony가 존재하는 경우 $3.47 \times 10^4 J/m^2$ 으로 약 30% 정도의 충격특성의 저하가 관찰되었다. 특히, 공정 Si의 colony의 발생은 주조품의 기계적 특성의 편차를 일으키는 주 원인으로 작용하기 때문에 냉각채널, Overflow 설치 등 주조방안의 정확한 설계가 필요하다.

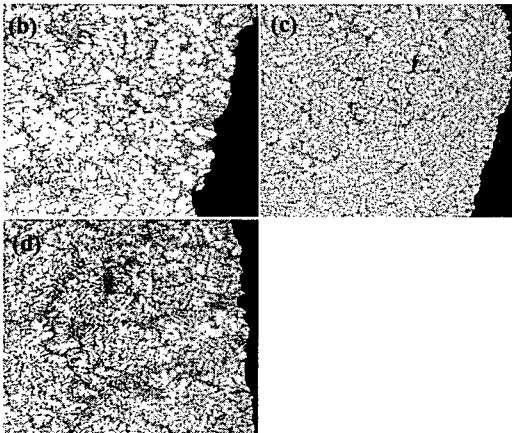
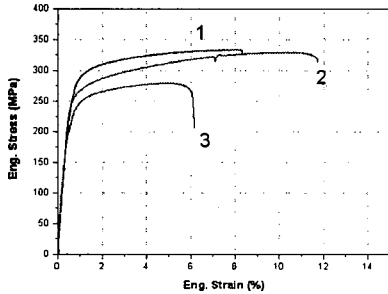


Fig. 4 (a) Tensile tests of A356 and microstructure of fractured sections (b) 1, (c) 2 and (d) 3 cases.

4. 결론

본 연구에서는 스퀴즈 주조법으로 제조된 쿼트를 암의 부위별 미세조직의 형성과정 및 이에 따른 물성의 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) A356 합금의 강도는 초정 α 의 크기가 커질수록, 그리고 형상이 등축정에 가까울수록 증가한다. 이는 초정 α 상에서 발생한 전위의 방해물로 작용하는 공정 Si 상의 분포가 초정의 크기 및 형상과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문이다.

(2) A356 합금의 연신율은 초정 α 의 크기가 작아질수록 증가한다. 그러나 공정 Si들이 colony 혹은 긴 네트워크를 형성하는 경우 연신율은 급격하게 감소한다. 이는 공정 Si 계면이 크랙의 생성 위치로 작용하며 공정상에서의 전위운동의 어려움에 그 원인이 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지역특화기술개발사업 “경량소재 Fusion 성형기술 개발” 연구비 지원으로 수행된 결과로써 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) S.-W. Han, etc., 2002, “Effects of solidification structure and aging condition on cyclic stress strain response in Al-Si-Mg cast alloys”, Mater. Sci. & Eng. A337, p. 170.
- (2) Q. C. Wang and C. H. Caceres, 1998, “The fracture mode in Al-Si-Mg casting alloys”, Mater. Sci. & Eng. A241, p. 72.
- (3) C. S. C. Lei, etc, 1997, “The effect of hot isostatic pressing on cast aluminum”, JOM, 49, P. 38.
- (4) Benzerga, etc., 2001, “Smaller is softer: an inverse size effect in a cast aluminum alloy” Acta mater., 49, p. 3071.
- (5) 강충길, 1997, “알루미늄합금의 반응용 단조 및 주조공정에 관한 수치해석”, 소성가공학회지, 6, p.239.
- (6) 윤중열, 1997, “Al-Si 합금의 반응고 합금 제조기술”, '97고액공존금속의 성형기술 심포지엄, p.52.