

Al-Si-Mg계 주조용 알루미늄 합금의 고주기 피로 거동에 미치는 기공의 영향

이영재¹, 강원국¹, 어광준², 조규상³, 이기안^{*}

Effect of Porosity on the High-Cycle Fatigue Behavior of Al-Si-Mg Casting Alloy

Lee Young Jae¹, Kang Won Guk¹, Euh Kwang Jun², Cho Kyu Sang³, Lee Kee-Ahn^{*}

Abstract

The effect of porosity on the high-cycle fatigue properties of Al-Si-Mg casting aluminum alloys was investigated in this study. Microstructure examination, tensile and high-cycle fatigue test were conducted on both Al-Si-Mg casted (F) and heat-treated (T6) conditions. Porosity characteristics on the fracture surfaces of fatigue-tested samples were examined using SEM and image analysis. The microstructure observation results showed that eutectic Si particles were homogeneously dispersed in the matrix of the Al-Si-Mg casting alloys, but there were porosities formed as cast defects. The high-cycle fatigue results indicated that the fatigue strength of the 356-T6 alloy was higher than that of the 356-F alloys because of the significant reduction in volume fraction of pores by heat treatment. The SEM fractography results showed that porosity affected detrimental effect on the fatigue life: 80% of all tested samples fractured as a result of porosity which acted as the main crack initiation site. It was found that fatigue life decreased as the size of the surface pore increased. A comparison was made between surface pore and inner pore for its effect on the fatigue behavior. The results showed that the fatigue strength with the inner pores was higher than that of the surface pore.

Key Words : Al-Si-Mg Alloy, 356-F Alloy, 356-T6 Alloy, Heat Treatment(열처리), High Cycle Fatigue(고주기 피로), Pore Size(기공의 크기), Pore Distribution(기공의 분포),

최근 들어 산업전반에 미치고 있는 부품의 소형화 및 경량화로 인하여 주철 및 철강 소재 부품을 알루미늄(Al) 및 마그네슘(Mg)으로 대체가 이루어지고 있다. 이 중에서도 알루미늄 합금은 기계적 성질, 성형성, 내구한도, 내식성, 리사이클링성 등이 우수하며 그 사용량이 증가하고 있다. 알루미늄 합금은 제작 비용 절감을 위하여 주로 고압 및 저압 주조 공정으로 제조하고 있으며, 제조된 주조용 알루미늄 합금은 주물 철강소재에 비해 약 60%의 경량화가 가능하여 자

동차, 항공, 선박 및 철도 차량 등을 포함한 산업 전 분야에서 사용되고 있다. 특히, 주조용 알루미늄 합금의 피로 특성은 일반적으로 주조공정 상 충전 과정 중에 발생하는 기공(air porosity) 결함과 응고 과정 중 금속 고유의 응고 수축에 기인한 수축공(shrinkage cavity) 결함 등 주조 결함의 영향에 크게 의존하게 된다. 그러나 아직까지 Al-Si-Mg계 주조용 합금에서 고주기 피로 특성에 미치는 열처리와 표면 및 내부 균열의 영향을 체계적으로 분석한 연구는 부족

1. 안동대학교 신소재공학부 청정소재연구센터
2. 한국기계연구원 재료연구소 신금속재료연구부
3. 동양대학교 철도차량학과
교신저자: 안동대학교 신소재공학부,
E-mail: keeahn@andong.ac.kr

한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 금형 주조로 제조된 Al-Mg-Si계 356 주조용 합금(F) 및 열처리(T6)한 합금에서 상온 고주기 피로 특성을 조사하고 피로 특성에 미치는 열처리 및 기공의 영향에 대하여 조사하고자 하였다. 이를 위해 제조된 356 합금에 대하여 T6(538℃에서 8시간 동안 용체화 처리 후 155℃에서 4시간 동안 시효 처리) 열처리 하였으며 열처리 하지 않은 상태의 합금과 열처리 된 합금에 대하여 상온 고주기 피로 시험을 수행하였다. 고주기 피로 시험은 ASTM E 466에 준하여 Instron 8501을 이용하여 상온에서 응력비 R=0.1, Frequency 10Hz로 피로 한도를 $\sim 10^7$ 의 조건으로 수행하였으며, 피로 시험 후 매크로 촬영 및 SEM을 이용하여 파단면을 관찰하였다. 경도 및 인장 실험 결과 356-T6 합금이 356-F 합금에 비하여 높은 경도와 강도 값을 나타냈으며, 미세 조직 관찰 결과에서는 두 합금 모두 전형적인 Al-Si 공정 수지를 나타내었다. 특히 356-F 합금에서는 $100\mu\text{m}^2$ 이상의 큰 기공도 존재하였으며, 356-T6 합금의 경우 전체적으로 작은 기공이 산재하여 분포하는 경향을 보였다. Al-Si-Mg계 주조용 합금의 고주기 피로 특성 결과 356-T6 합금이 356-F 합금보다 모든 응력 범위에서 우수한 피로 수명을 가지는 것으로 나타났다. 두 합금 모두에서 동일 응력 진폭 조건이라 하더라도 피로 수명 분포가 넓게 나타났으나 상대적으로 356-F 합금의 피로 수명 분포가 더 큰 것을 알 수 있었다. 피로 시험 파단면의 80% 이상이 초기 균열 생성 부분에서 기공이 존재하였다. 이 중 80% 정도가 표면에 기공이 존재하였고, 20%는 시험 내부에서 관찰되었다. Al-Si-Mg 계 주조용 합금은 기공의 크기가 증가 할수록 피로 수명이 감소하였으며 기공이 피로 수명에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 표면에 위치한 기공이 상대적으로 큰 크기의 내부에 위치한 기공보다 피로 수명에 더 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌으며 동일 크기의 기공에서도 응력 진폭 조건에 따라 피로 수명의 차이가 나타났다. 표면 기공과 피로 특성의 상관 관계 분석 결과 356-T6 합금이 356-F 합금보다 표면 기공 크기에 따라 피로 수명에 더 큰 민감도를 나타냈으며 표면 기공의 크기와 피로수명과의 상관관계에 대해 다음과

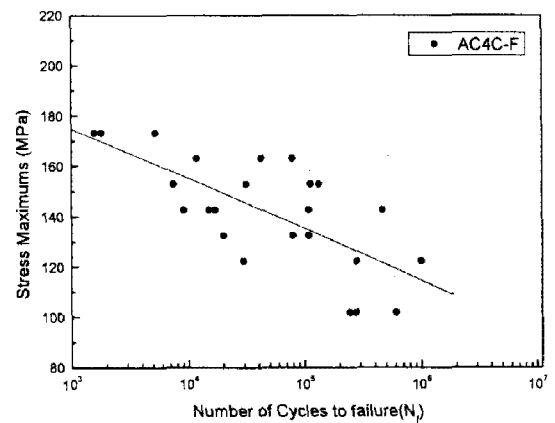
같은 식으로 표현할 수 있었다.

356-F 합금의 경우,

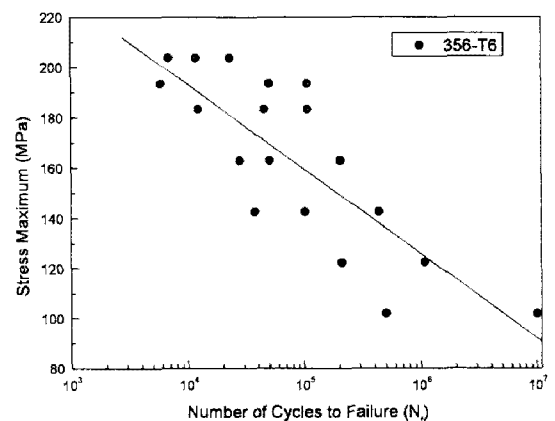
$$FatigueLife = [(66.43 \times 10^{-5}) \times PoreSize] + 5.63$$

356-T6 합금의 경우,

$$FatigueLife = [(93.57 \times 10^{-5}) \times PoreSize] + 5.5$$



(a)



(b)

Fig. Fatigue S-N curves of (a) 356-F alloy and (b) 356-T6 alloy

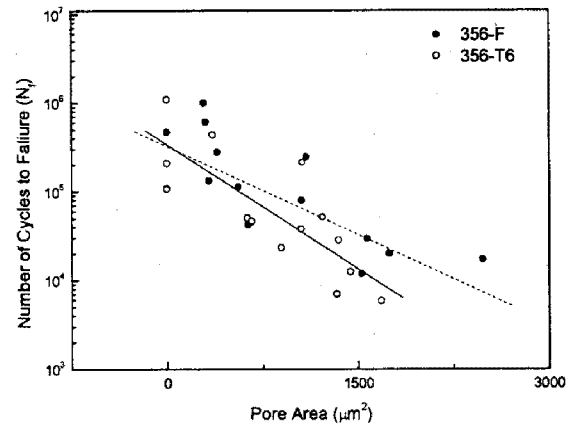
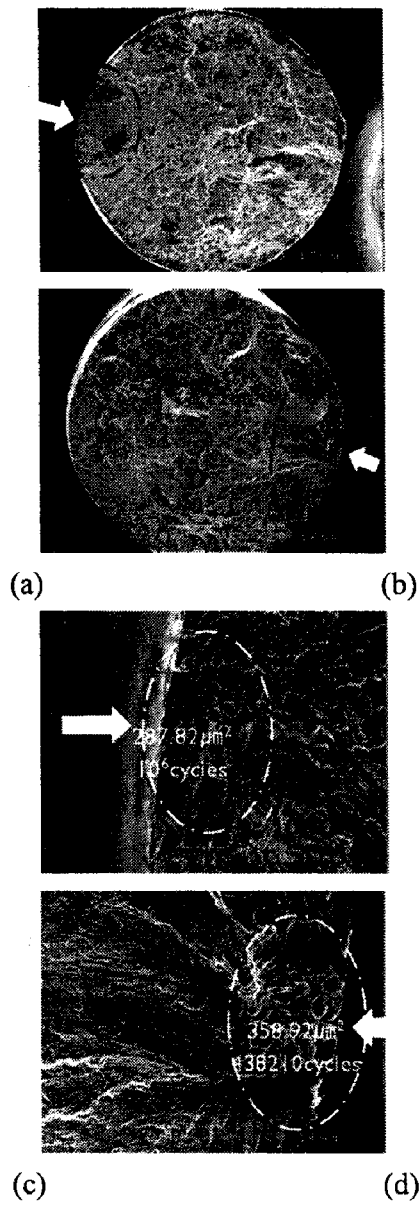


Fig. Effect of surface pore size in the fatigue life of 356-F and 356-T6 alloys

Fig. SEM images of the fatigue fracture surfaces of 356-F alloy and 356-T6 alloy specimens taken at : low magnification ((a) and (b)) showing the bright area and the crack initiation site and high magnification ((c) and (d)) showing the surface pore associated with the crack initiation site