

반응고 357-T5 합금의 파괴 특성

박철 김상식* 배명환 강신우** 권용남 이영선 이정환***

Fracture behavior of Thixoformed 357-T5 Semi-solid Al alloys

C. Park, S. S. Kim*, S. W. Kang, M. H. Bae**, Y. N. Kwon, Y. S. Lee, J. H. Lee***

Abstract

The effects of microstructural features on the fracture behaviors, including impact, high-cycle fatigue, fatigue and crack propagation, of thixoformed 357-T5 (Al-7%Si-0.6%Mg) alloy were examined. The resistance to impact and high-cycle fatigue of thixoformed 357-T5 tended to improve greatly with increasing solid volume fraction. An almost three-fold increase in impact energy value was, for example, observed with increasing solid volume fraction from 59 to 70%. The improvement in both impact and fatigue properties of thixoformed 357-T5 with increasing solid volume fraction in the present study appeared to be related to the magnitude of stress concentration at the interface between primary and eutectic phase, by which the fracture process was largely influenced. Based on the fractographic and micrographic observations, the mechanism associated with the beneficial effect of high solid volume fraction in thixoformed 357-T5 alloy was discussed.

Key Words : Impact, High-cycle fatigue behavior, FCP behavior, 357-T5 alloy.

1. 서론

환경과 에너지 문제의 해결을 위한 저공해 배출공정기술의 개발과 함께 신구조용 금속재료 기술인 반응고 합금 성형기술은 새로운 금속 소재가공분야로서 세계적인 관심이 고조되고 있다.¹⁾ 반응고 합금 성형기술은 생산기술 측면에서의 장점 때문에 초기부터 상업화를 위

한 개발 노력이 기초연구와 함께 병행되어 왔다.²⁻⁴⁾ 최근에는 최종 반응고 제품의 미세조직 특성과 기계적 특성 및 부식특성 관계에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.⁵⁻⁷⁾ 본 연구자들은 이미 반응고 357 합금 성형시 재가열 조건에 따른 기계적 성질과 부식 특성의 변화에 관한 연구를 보고하였으며, 이러한 반응고 성형품과 금형주조 된 동일 합금의 제반 특성을

* 경상대학교, 재료공학부, 공학연구원, 진주
** 주식회사 센트랄 기술연구소 창원
*** 한국기계연구원, 재료기술부, 창원

비교하였다. 한편 미세조직이 인장특성에 미치는 영향에 대하여서도 연구하였다. 그 결과 미세조직이 인장특성에도 큰 영향을 미치는 것을 알았다. 따라서 본 연구에서는 미세조직이 파괴 특성(충격 특성, 고주기피로 특성, 피로균열 성장 특성)에 미치는 영향에 대하여 연구해 보고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 성용하이테크에서 전자기 교반법으로 제조된 30mm 직경의 반응고 357 합금 빌렛을 사용하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 반응고 357 합금 조성을 나타내었다. 각 빌렛은 고주파 유도 가열로에서 급속 가열되어, 400톤 용량의 Buehler 모델SC42 반응고 전용 프레스에서 성형 되었다. 성형 후의 시편에 대하여 각각 T5와 T6 열처리를 행하였다. 그림 1은 시험에 사용된 최종성형품의 형상을 보여주고 있다. 고주기피로 시험은 게이지 길이가 20mm 직경이 4mm 봉상시편을 모델 KDMT-240 굽힘피로시험기에서 50Hz의 주파수로 실험을 행하였다.

Table 1. Chemical composition of semi-solid 357 alloy in the weight percent.

Al	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Sn	Ti	other
Bal.	7.0	0.03	0.65	0.15	0.03	0.03	0.05	0.03	0.2	0.1

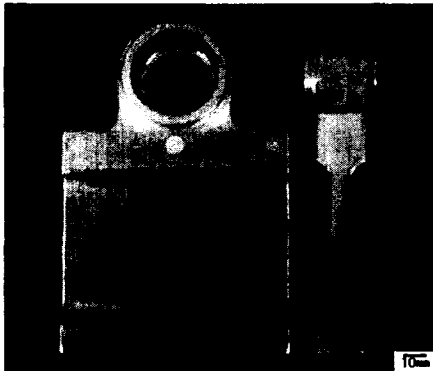


Fig. 1 Photograph of thixoformed 357 alloy product used in the present study.

피로균열성장시험은 폭 38.1mm, 두께 6.4mm의 chevron notch를 가지는 CT 시편을 제작한 후 Instron 8516 동적재료시험기를 이용하여 주파수 10Hz, 하중비를 0.1로 하여 시험을 행하였다. 균열길이 측정은 직류전압강하법을 이용하였다. 충격시험은 하중 6kgf의 미소충격시험기를 이용하여 행하였다. 피로시험과 충격시험 후의 파단면은 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과및고찰

그림 2는 반응고 357-T5 합금의 고상부피분율에 따른 충격흡수에너지의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 고상부피분율이 59%에서 70%로 증가함에 따라 충격흡수에너지는 3.5J/cm²에서 8.8J/cm²로 현저하게 변하는 것을 알 수 있다. 그림 3은 충격시험 후 고상부피분율이 각각 59%와 68%인 시편의 SEM 파단면 사진과 동일한 부분에서 파단 경로를 보여주는 광학현미경 사진을 나타내고 있다. 그림에서 고상부피분율이 낮은 경우에는 의사벽계파괴 양상이 관찰된 반면에 고상부피분율이 높은 경우에는 연성파괴 양상이 관찰되었다. 이는 이미 보고된 바 있는 인장실험에서 관찰된 경향과 원인이 유사함을 알 수 있다.⁷⁾

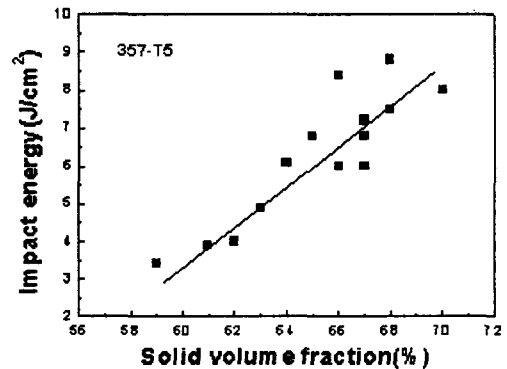


Fig. 2 The impact energy values for thixoformed 357-T5 alloy as a function of solid volume fraction.

미세조직이 반응고 357-T5 합금의 고주기피로 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각 80, 100, 120MPa 응력 하에서 굽힘피로시험을

행하였다. 그림 4는 고상부피분율의 변화에 따른 반응고 357-T5 합금의 고주기피로 특성의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 고상부피분율이 57%에서 74%로 증가함에 따라 각각의 응력상태에서 파단까지의 반복회전수도 증가하는 것을 알 수 있다. 예를 들면 120MPa 응력상태에서 고상부피분율이 60%에서 73%로 증가함에 따라 파단에 이르는 반복회전수도 2.0×10^5

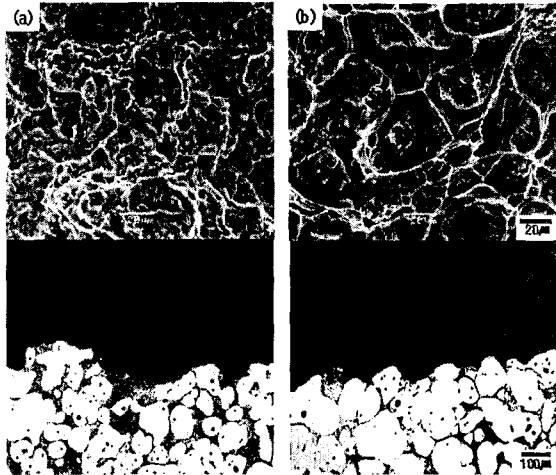


Fig. 3 SEM fractographs and matching cross sectional optical micrographs of impact tested 357-T5 specimens with different solid volume fraction of (a) 59 and (b) 68%, respectively.

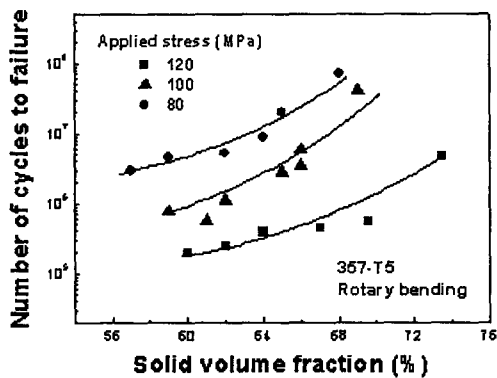


Fig. 4 The cycles to high-cycle fatigue failure for thixoformed 357-T5 alloy as a function of solid volume fraction with three different applied stress values.

에서 4.5×10^5 로 증가하고 있다. 그림 5는 굽힘 피로시험 후 반응고 357-T5 합금의 고상부피분율이 각각 55%와 71%인 경우의 SEM 파단면 사진과 동일한 부분에서 파단경로를 보여주는 광학현미경 사진을 보여주고 있다. 피로시험에서도 충격시험에서 관찰된 유사한 파괴양상을 관찰할 수 있었다.

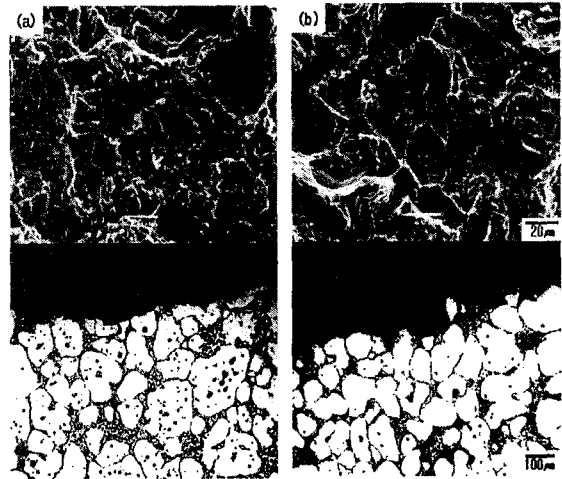


Fig. 5 SEM fractographs and the matching cross-sectional optical micrographs of high-cycle fatigue tested thixoformed 357-T5 with different solid volume fraction values of (a) 55 and (b) 71%, respectively.

그림 6은 반응고 357 합금과 금형주조품의 피로균열성장특성을 나타내는 da/dN -K 곡선을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 동일한 T6 열처리 된 반응고 357 합금이 금형주조품에 비해 우수한 피로균열저항성을 나타내고 있다. 한편 반응고 357-T6 합금이 357-T5 합금에 비해 전반적으로 우수한 피로균열저항성을 나타내고 있음을 관찰할 수 있다. 이러한 피로균열성장 거동의 차이를 알아보기 위하여 피로균열경로를 주사전자현미경과 광학현미경을 이용하여 관찰한 사진을 각각 그림 7과 그림 8에서 보여주고 있다. 그림 7과 그림 8을 비교하여 보면 동일한 낮은 ΔK 값에서 반응고 357-T6 합금의 경우 피로균열이 초정 α 를 피해가는 반면에 357-T5 합금의 경우에는 피로균열이 초정 α 를 가로지르면서 성장하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 경향이 나타나는 주요한 원인은 초정 α 와 공정조직상 사이에 작

용하는 응력집중의 정도와 연관이 있다고 판단된다. 한편 열처리 과정에서 취성을 가지는 공정조직내의 Si 입자의 형상과 크기의 변화도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

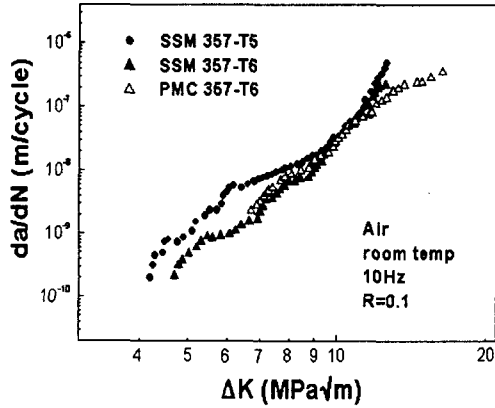


Figure 6. Fatigue crack propagation properties of thixoformed 357-T5. The data for thixoformed 357-T6 and PMC 357-T6 are also included for comparison.

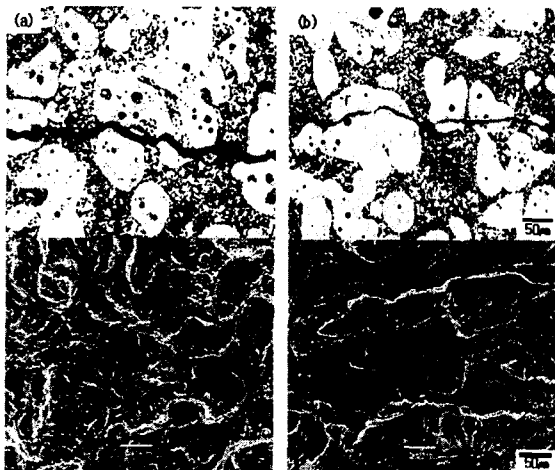


Figure 7. Optical micrographs of fatigue crack path and matching SEM fractographs for thixoformed 357-T5 at (a) intermediate and (b) near-threshold K regime, respectively

4. 결론

본 연구에서는 미세조직이 반응고 357-T5 합금의 파괴 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 반응고 357-T5 합금의 충격흡수에너지와 고주기 피로특성은 고상부피분율의 증가함에 따라 증가하였다.

(2) 고상부피분율이 증가함에 따라 초정 α와 공정조직사이의 경계면에 작용하는 응력집중이 감소하므로 초정 α를 피해가게 된다. 따라서 응력집중의 감소로 인하여 충격흡수에너지와 피로특성이 향상되는 것으로 판단된다.

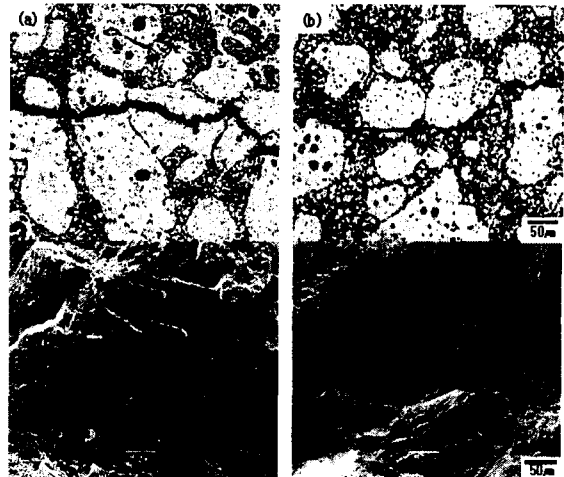


Figure 8. Optical micrographs of fatigue crack path and matching SEM fractographs for thixoformed 357-T6 at (a) intermediate and (b) near-threshold K regime, respectively

후기

본 연구는 한국과학기술부 국가지정연구소 후원에 의해 완성되었다.

참고문헌

- (1) W. G. Cho, C. G. Kang., 2000, J. Mater. Procdss. Technol., Vol. 105, pp. 269-277.
- (2) M. C. Fleming., 1991, Metall. Trans. A., Vol. 22A, pp. 957-980
- (3) A. M. Kliauga, M. Ferrante., 2002, Mater. Sci. Eng., Vol. A337, pp. 67-72.
- (4) Z. W. Chen, W. R. Thorpe., 1996, Mater. Sci. Eng., Vol. A221, pp. 143-153.
- (5) Y. B. Yu, S. S. Kim, and J. H. Lee., 1999, Scripta Metall. Mater., Vol. 41, pp.

- 762-771.
- (6) Y. B. Yu, S. S. Kim, Y. S. Lee, and J. H. Lee., 2002, Metall. Trans., Vol. 33A, pp. 1399-1442.
- (7) C. Park, S. S. Kim, Y. S. Lee and J. H. Lee., 2002, J. Kor. Inst. Met. & Mater., Vol. 40, pp. 1071-1077.