

**급속응고분말로 제조된 Al-16Si-5Fe계 합금의 미세조직 및 고온변형거동
(Microstructure and High Temperature Deformation Behavior of
Al-16Si-5Fe Based Alloy Fabricated by Rapidly Solidified Powders)**

인하대학교 재료공학부 한재성*, 김목순

1. 서론

과공정 Al-Si계 합금은 경량이고 열팽창계수가 낮으며 내마모성이 우수하여, 수송기기 및 전기전자부품의 핵심소재로 그 사용이 증대되고 있다. 통상의 용해주조법에 의해 제조된 과공정 Al-Si계 합금은 조대한 Si 입자에 의해 강도, 소성가공성 및 피삭성이 떨어지므로 고부하지향 및 정밀성형이 요구되는 부품에 적용시키기에는 한계가 있다. 이에 비해, 분말야금법을 적용하는 경우에는 Si 입자 및 결정립의 미세화를 도모할 수 있을 뿐만 아니라, 첨가원소의 고용량 확대와 급속간화합물 분산상의 미세화가 가능하여 합금원소의 종류와 첨가량을 대폭 늘릴 수가 있으므로, 통상의 용해주조법으로는 얻을 수 없는 고성능 부품을 개발할 수 있다. 최근에 Yamaha Motor Co. Ltd.에서 snow mobile 용 two-stroke-cycle 엔진의 양산 piston 소재로 분말야금법으로 제조된 과공정 Al-Si-Fe계 합금이 실용화되었다. 그러나, 과공정 Al-Si계 분말합금은 고온영역에서 강도가 우수한 반면 낮은 연성으로 인해 성형이 쉽지 않은 것으로 알려지고 있으며, 고온변형특성에 대한 상세한 연구결과가 보고되어 있지 않아, 적용 가능한 가공방법 및 최적조건이 밝혀지고 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 언급한 피스톤합금과 유사한 조성을 갖는 Al-16Si-5Fe계 급속응고 분말합금에 대하여 고온영역까지의 미세조직 및 인장특성을 조사하여 고온변형 거동을 밝히고자 한다.

2. 실험방법

Air atomization법에 의해 제조된 급냉용고 Al-16Si-5Fe-1Cu-0.5Mg-0.9Zr(wt%) 합금분말을 열간압출(압출비:18)한 후, 압출방향에 수직인 단면에 대하여 주사전자현미경(SEM, S-4200) 및 투과전자현미경(TEM, CM200 Super Twin)을 사용하여 조직관찰을 행하였으며, XRD(X-ray diffraction) 및 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 사용하여 분석을 행하였다. 압출방향에 평행한 방향이 인장시험편의 길이 방향과 일치하게끔 인장시험편을 채취하였는데, 시험편의 표점거리는 12mm, 직경은 3mm로 설정하였다. 이와 같이 제작된 시험편을 사용하여 실온~520℃까지 $6.9 \times 10^{-1} \text{s}^{-1}$ ~ $1.4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 의 초기 변형속도로 대기중에서 인장시험을 실시하였다. 인장시험은 Instron type의 인장시험기를 사용하였으며, 시험편을 10℃/min의 승온속도로 목표온도까지 도달시킨 후, 목표온도에서 20min동안 유지한 후에 실시하였다. 시험편이 파단된 즉시 시험편을 가열로에서 꺼내어 공냉시켰으며, 이로 인한 냉각속도는 250℃/min로 측정되었다. 인장시험 후 시험편의 파단면을 주사전자현미경을 사용하여 관찰하였으며, 파단된 시험편의 길이방향의 조직을 투과전자현미경에 의해 관찰하였다. 시험편의 국부적인 용융을 조사하기 위해 시차주사열분석장치(DSC3200)를 사용하여 실온에서 600℃까지 승온속도를 10℃/min로 하여 열분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

분말압출재에 대해 SEM 및 TEM관찰을 행한 결과, 평균 결정입경 800nm 정도의 미세한 등축결정립이 관찰되었으며, 미세한 분산상들이 결정입내와 결정입계에 균일하게 분포되어 있음을 볼 수 있었다. 이러한 미세한 분산상들에 대해 EDS분석을 행한 결과 Al₃FeSi 급속간화합물로 밝혀졌다. 연신율은 모든 변형속도에서 온도증가와 더불어 증가하는 경향을 나타내었으며, $1.4 \times 10^{-1} \text{s}^{-1}$ 의 변형속도로 시험한 경우, 300%이상의 거대연신율이 510℃이상의 온도영역에서 관찰되었다. 또한, 연신율은 $1.4 \times 10^{-1} \text{s}^{-1}$ 의 변형속도까지는 변형속도의 증가와 더불어 증대

하는 경향을 나타내고 이 변형속도에서 피크를 보인 다음 변형속도가 커짐에 따라 감소하였다. 200%이상의 높은 연신율이 나타나는 온도와 변형속도에서 0.3이상의 높은 m 값이 나타났고, 이러한 사실은 200%이상의 높은 연신율은 초소성변형에 기인한다고 결론지을 수 있다. 510°C 이상에서 초소성변형된 시편의 파면관찰결과 cavitation 감소와 함께 필라멘트상들이 입계부근에서 형성되었음을 볼 수 있었다. 변형전 시편에 대해 열분석을 행한 결과 508°C에서 흡열피크가 관찰되었으며, 따라서 510°C 이상에서 변형된 시편에서 관찰된 필라멘트상은 액상의 출현에 기인한 것으로 판단되었다.

4. 결론

1. Air atomization법에 의해 제조된 급냉용고 분말을 열간압출법에 의해 치밀화시킨 봉상 압출재는 평균 결정입경 800nm 정도의 미세한 등축결정립을 갖으며, 미세한 Al_5FeSi 금속간화합물이 균일하게 분포된 조직을 나타내었다.
2. 초기변형속도 $1.4 \times 10^{-1} s^{-1}$ 및 510°C ~ 520°C의 온도조건에서 300%이상의 높은 연신율을 보이는 초소성현상이 나타났다.
3. 이와같은 고변형속도 초소성은 미세한 등축립의 존재와 열적으로 안정한 Al_5FeSi 분산상의 존재, 그리고 입계면에 형성되는 액상에 의한 응력완화의 효과와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되었다.