

반고상 성형을 위한 과공정 Al-Si 합금의 조직 미세화

Microstructural refinement of hypereutectic Al-Si alloys for semi-solid state processing

김 인 준, 김 도 향
연세대학교 금속공학과

Abstract

금속을 반고상 상태에서 성형하기 위하여 미세조직학적 거동을 밝히기 위해, 본 연구에서는 높은 비강도, 내마모성을 가진 과공정 Al-Si 합금을 반응고 가공하였을 때의 미세조직과 상온 가공 후 반고상 온도로 일정시간 유지하였을 때의 미세조직을 관찰하였다. 일반주조시의 개량 원소 P과 Sr을 첨가하였으며 췌기형 주조재, 압연재, Si 입자강화 Al기 복합재료를 반고상 상태로 가열한 미세조직을 관찰하여 초정 Si 입자의 형상 변화를 관찰하였다.

반응고 교반시 초기에는 P 과 Sr 의 첨가에 의해 초정 Si 입자가 미세화 되었으나 교반이 지속되어 가면서 이러한 경향은 감소하였으며 구상에 가까운 형태로 변화하였는데, 이는 교반이 지속되면서 첨가 원소의 효과보다 교반 자체의 미세조직 변화 기구에의 의존도가 높아지기 때문인 것으로 사료된다.

냉각속도를 달리한 췌기 형상에서의 금형에서 주조된 미세조직을 관찰한 결과 냉각속도가 느릴 때에만 첨가원소의 영향이 나타났으며, 반고상 온도 유지 후 초정 크기에는 큰 변화가 없었으나 α -halo 가 형성되고 미세한 Si 입자가 생성되었다. 이는 입자 크기의 성장에 따른 주위의 농도구배로 인해 생성된 것으로 사료된다.

압연시 첨가원소는 핵생성과 재결정을 촉진시켜 초정 Si 의 크기를 크게 감소시켰다. 반응용 처리시 초정 Si 입자는 약간 성장하였으며, α -halo 도 생성되었다.

압출한 시료를 반응용 처리한 경우 Si 입자의 형상 변화는 거의 없었으며, Si 입자에 형성되어 있던 산화막이 기지와 초정 Si 입자간의 확산장벽으로 작용하여 α -halo 가 거의 생성되지 않았다.

반응고 교반시 미세조직 변화 기구로는 취성과괴, 합체, 마모를 제안하였으며, 가공 공정에서의 초정 Si 결정의 크기를 비교하였을 때 $45\mu\text{m}$ 이하의 분말을 섞어 압출하였을 때 가장 작은 초정 Si 입자 크기를 얻을 수 있었다.

I. 서론

최근 산업의 발달로 높은 경도, 내마모성, 우수한 인성, 내식성 등의 우수한 기계적 성질을 가지는 고기능 재료와 복잡하고 다양한 형상의 제품을 제조하기 위하여 새로운 제조기술들이 개발되고 있다. 이러한 새로운 제조기술 중의 하나로 고액공존 구역에서 주조공정과 열간공정을 복합시켜 새로운 특성을 가지는 재료를 개발하는 반고상 가공법(semi-solid state processing)이 있다. 이 방법은 반고상 상태에서 가공력을 가하여 다이 캐스팅 등이 가능하며, 미세조직이 균일한 고품질의 제품을 생산할 수 있고 용탕을 취급하지 않아 안전하고 청결한 작업조건을 유지할 수 있으며 공구와 기계의 수명을 향상시키고 한 번의 공정으로 최종 형상에 가까운 제품을 제조할 수 있는 등의 많은 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는, 타 합금계에 비하여 공업적 응용가능성이 높고 상대적으로 적게 보고되고 있는 과공정 Al-Si 합금계 반고상 금속을 연구 대상으로 택하였다. 반고상 상태(semi-solid state)에서 성형을 하기 위해서는 미세하고 구상인 입자가 분포하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있으며, 입자들의 변화를 살펴보기 위하여 용탕을 응고하는 중에 교반을 가하는 반응고 가공과 더불어 금형주조, 압연, 압출 등의 다른 방법으로 제조된 합금을 반고상 온도에서 유지시 미세조직 변화를 관찰하였다. 본 연구에서는 반고상 영역에서 각 시료의 미세조직의 변화를 관찰, 비교하고 미세조직 변화 기구를 제안하여 반응고/반용융 가공의 기초 자료로서 활용하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 과공정 Al-Si 합금은 각각 흑연 도가니 내에서 Al-25wt%Si 모합금에 Cu-15wt%P 모합금 또는 Al-10wt%Si-10wt%Sr 모합금을 첨가하여 전기 저항로로 900℃ 에서 제조하였다. P 은 초정 입자의 미세화를 위해, Sr 은 공정조직과 함께 초정 입자를 미세화 시키기 위해 첨가하였으며, 제조된 합금의 목표조성은 Al-25Si, Al-25Si-0.3Cu-0.05P, Al-25Si-0.6Cu-0.1P, Al-25Si-0.05Sr, Al-25Si-0.1Sr 이었다.

스테인레스 지지대 위에 고정된 흑연도가니 내에 조성에 맞는 모합금을 넣고 분위기 없이 용융한 후, 냉각하면서 반고상 가공을 행하였다. 모터를 이용하여 패들(paddle)형의 교반자를 하강시켜 슬러리 내에 담근 다음 교반을 행하였다.

썰기(wedge)형의 금형에 용탕을 주입하여 금형주조하였다. wedge type 의 빠른 끝 부분에서는 약 10^3K/s order 의 냉각속도를 보였고, 넓은 부분에서는 약 10^0K/s order 의 냉각속도를 보였다. 반응용 처리시 미세조직학적 변화를 살펴보기 위하여 공정점 직상인 580°C 에서 30분 유지하며 합금 조성에 따른 초정 Si 형상 변화를 관찰하였으며, 유지 시간에 따른 미세조직학적 변화도 관찰하고자 하였다.

금형 주조한 봉상의 시료를 압하율 50%까지 수십 pass 에 걸쳐 열간 압연하였다. 압연은 고상선 이하인 550°C 에서 행하였다.

외부에서 Si 입자를 첨가한 Al 기 복합재료를 제조하였다. 혼합된 분말을 프레스를 사용하여 이론 밀도의 약 70%로 충전하였으며, 350°C 에서 2시간 동안 탈가스 처리를 행한 후 약 100 kgf/cm^2 의 압출압과 17.1 : 1 (94.1%)의 압출비로 열간 압출을 행하였다.

분말의 분포상태 및 미세조직, 특히 Si 분말형태 및 계면 상태를 규명하기 위해 광학현미경 및 영상분석기, 주사전자현미경을 사용하였다. 미세조직에 있어서는 초정 Si 입자의 크기와 구상화 정도를 측정하였으며, 압축강도를 측정하였다.

3. 실험 결과

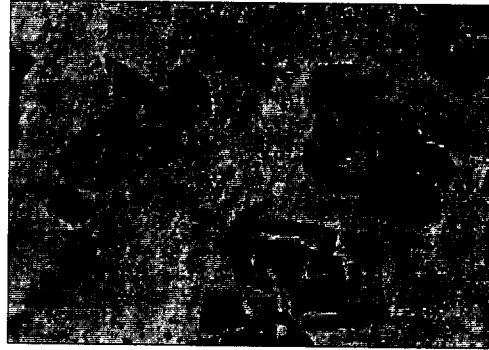
반응고 가공시, 액상선 근처의 초기에는 첨가원소에 의해 초정 입자가 미세화되었으나 냉각과 교반을 계속하였을 때에는 입자 크기가 전반적으로 증가하면서 첨가원소의 영향이 감소함을 볼 수 있다.

용탕을 냉각하여 반고상 영역에서 등은 상태를 유지하였을 때, 첨가원소에 따른 초정입자 미세화가 관찰되었다. 그러나 교반을 시작하면서 1~3분 내에 입자 크기가 큰 폭으로 감소함을 볼 수 있으며, 이후 30분까지의 교반에서도 입자 크기는 큰 변화를 보이지 않았다.

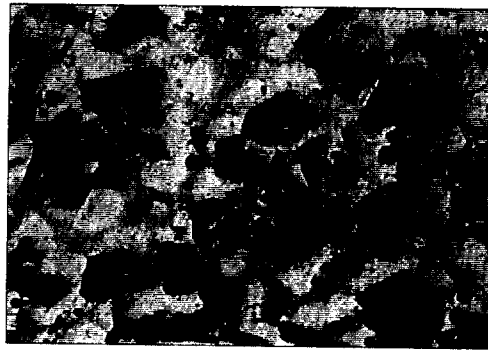
썰기(wedge)형의 금형 주조품에서는, 냉각속도가 느릴수록 초정 Si 입자의 크기가 크고 첨가원소에 따른 미세화 경향이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이를 공정점 직상인 580°C 에서 30분간 유지한 경우 α -halo 가 조대하고 구형에 가까운 것을 볼 수 있다. 또한 α -halo 주위에 직경 $20\mu\text{m}$ 이내의 미세한 초정 Si 입자들이 다량 존재하고 있다.

압연시 첨가원소 P 과 Sr 의 초정 Si 미세화 현상은 매우 강하게 나타났으며, 반응용 처리시 썰기 형상에서의 경우와 마찬가지로 조대한 구상의 α -halo 와 미세한 Si 입자가 형성되었다.

압출한 시료를 반응용 처리시 초정 Si 입자의 크기에는 큰 변화가 없었으나, 다른 방법으로 제조된 경우와 달리 α -halo 가 거의 형성되지 않음을 관찰할 수 있다. Si 입자의 계면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 안정하게 존재함을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 1. (a) 썰기형 주조재에서의 광학현미경 조직, (b) 썰기형 주조재를 580°C에서 30분간 반응용 처리하였을 때의 광학현미경 조직

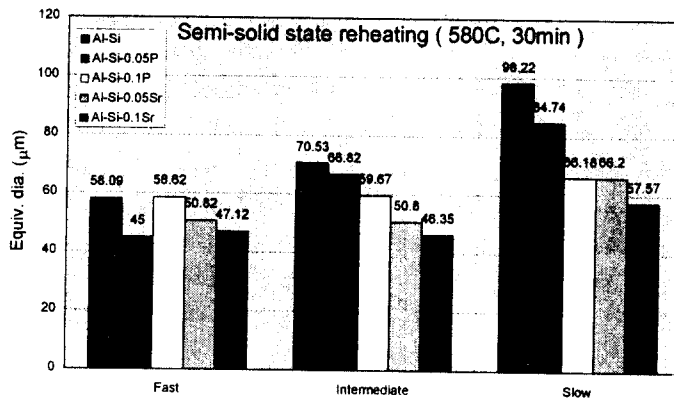


그림 2. 썰기형 주조재의 반응용 처리시 조성과 냉각속도에 따른 Si 입자 크기변화