

## 용융 Al합금의 고온산화에 미치는 합금원소의 영향 (Effect of Alloy Elements on the High-Temperature Oxidation of Al Alloy Melts )

부산대학교 조창현, 김상호, 강정윤  
동의대학교 김일수  
국방과학연구소 김철수, 김창욱

### 1. 서론

세라믹/금속기 복합재료를 제조할수 있는 Lanxide process(DIMOX-Directed Melt Oxidation)은 산화성 또는 반응성이 강한 용융금속을 표면으로 부터 산화, 또는 질화시켜 산화물, 질화물로 만들어 기지로 하고 미처 산화되지 않은 용융금속은 세라믹스 기지내에 균일하게 분포하게 되어 금속과 세라믹스가 서로 3차원적으로 맞물린 미세조직을 갖는 복합재료를 제조하는 방법이다. 이 제조법의 세라믹 기지 복합재료는 사용하는 합금의 종류, 충전제, 산화온도, 산화시간, 분위기에 따라 성질과 미세구조가 다양한 것으로 알려져 있다.

현재까지 용융산화법에 의한 복합재료 연구는 주로 Al-Mg 및 Al-Mg-Si합금의 산화거동에 대한 것이 대부분이고 이미 원소의 영향에 대해서는 검토된 바가 없다. 그래서, 본 연구에서는 Al-1wt%Mg 및 Al-3wt%Mg합금을 기본조성으로 하여 유동성을 개선하는 것으로 알려진 Cu 및 Si을, 젖음성을 증가시키는 것으로 알려진 Ca 및 Ce을, 증발을 조장하여 금속의 유입통로를 제공하는 것으로 알려진 Zn을, 산화된 알루미늄의 결정립 미세화 원소인 것으로 알려진 Cu 및 Ni을, 산화성을 개선하는 것으로 알려진 Sn을 각각 1, 3, 5wt%를 첨가하여 3원계합금을 제조한 후, 이들 첨가원소가 용융금속의 산화량 및 미세조직에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

### 2. 실험방법

Al 합금을 밀폐된 전기로에 장입한 후 Ar gas를 불어 넣어 약 700℃에서 30min 동안 가열하였다. 용해된 Al 합금은 Cu mold에 주입하여  $\varnothing 20\text{mm} \times \ell 1150\text{mm}$ 의 ingot를 제조하였다. 합금은 기본조성에 첨가원소의 wt%를 각각 다르게 첨가하여 삼원계합금을 제조하였다. 제조한 합금은 10mm 두께로 잘라 내경이 20mm인 alumina crucible에 넣었다. 이 crucible의 무게를 측정후 로에 넣고 1473K까지 5K/min의 승온속도로 가열하여 각각 20 및 40 시간 동안 유지한 후 로냉하였다. 산화반응의 정도를 고찰하기 위하여 로에서 제거된 시편의 무게를 측정하였다. 시편을

잘라 연마한 후 optical microscope와 SEM으로 미세구조를 관찰하였다. 그리고 시편 각 부위의 원소분석은 EDS로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰.

1473K에서 20시간 동안 Al-1Mg 합금과 Al-3Mg 합금을 산화시킨 결과 Al-1Mg 합금은 이론 산화량의 49%정도 산화되었으나, Al-3Mg 합금은 표면이 약간 산화된 외에는 거의 산화가 이루어지지 않았다. Fig. 1은 합금원소의 영향을 검토하기 위하여 Al-1Mg 합금에 Si, Zn, Sn, Cu, Ni, Ca 및 Ce를 각각 1, 3, 5 wt%를 첨가한 합금을 20시간 산화시킨 후의 무게증가를 나타낸 것으로 대부분의 합금이 어느 정도의 산화가 이루어지며, 특히 Si 및 Sn을 첨가한 계가 좋은 산화 거동을 보였다. 반면에 Ca 및 Ce를 첨가한 합금은 산화정도가 미미하였으며, 40시간 유지해도 별 차이가 없었다.

Fig. 2는 20시간 산화로 무게증가를 보이지 않던 Al-3Mg 합금을 40시간 온도유지 하였을 때 61%의 무게증가를 보여 주는 것으로서, 이런 현상은 Si, Sn, Zn을 첨가한 계에서도 나타나고 있다. 즉 이들 합금은 산화물 성장을 위한 잠복기가 긴 것으로 볼 수 있다. Al-3Mg-3Cu 합금이나 Al-3Mg-5Cu 합금만이 20시간에서 좋은 산화거동을 보여 준다. Al-3Mg 합금에 다른 원소를 첨가하여 40시간 후 산화정도를 관찰한 결과 Si, Sn, Zn, Cu를 첨가한 합금 외에는 40시간을 산화시켜도 산화정도가 미미하다.

산화층의 미세구조를 관찰한 결과, 대체로 금속상과 세라믹상이 균일하게 분포된 것을 알 수 있었다. 균일한 산화물 형상을 가진 Al-Mg, Al-Mg-Cu, Al-Mg-Ni 합금의 산화층은 void가 거의 없으나, Al-Mg-Si, Al-Mg-Sn 합금의 산화층에는 void가 고루 산재해 있었다. 그리고 불균일한 산화층이 성장하는 Al-Mg-Zn 합금은 void가 존재하지만 Al-Mg-Si, Al-Mg-Sn 합금보다는 그 양이 적었다.

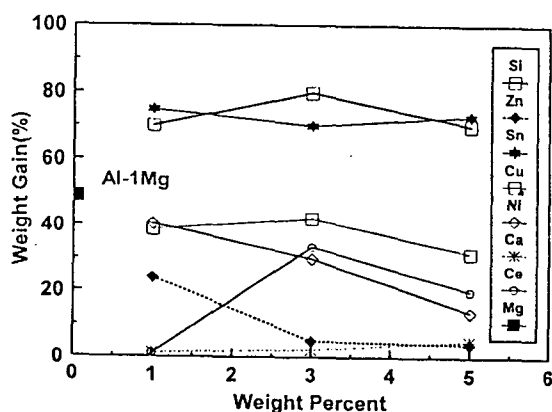


Fig. 1 Effect of alloy elements at fixed Al-1wt%Mg for 20 hours at 1200°C.

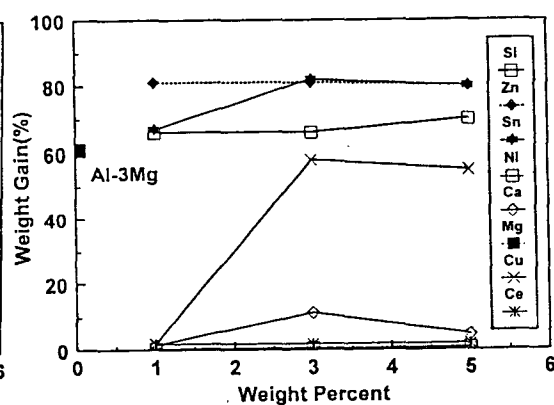


Fig. 2 Effect of alloy elements at fixed Al-3wt%Mg for 40 hours at 1200°C.