

# 고강도 Al합금의 SIMA process시 가공조건 및 열처리의 영향에 관한 연구

이정환, 이상용, 이영선, \*전재일

한국기계연구원 재료공정연구부

\*창원대학교 재료공학과

## Effect of deformation and heating conditions at SIMA process of high strength Al alloys

Jung-Hwan Lee, Sang-Yong Lee, Young-Sun Lee, \*Jae-Il Jun

Korea Institute of Machinery and Materials

\* Changwon National University

### 1. 서론

최근 많은 연구 및 개발의 대상이 되고 있는 반응고 금속성형기술의 응용에 있어서 핵심이 되는 필요조건중의 하나는 성형에 사용되는 소재가 수지상조직이 없는 구형의 조직으로 이루어져 있어야 한다는 것이다. 이와 같은 소재를 제조하기 위한 방법으로 지금까지 기계적 또는 전자기적 교반, 입자미세화 원소 첨가, 급냉용고법등의 여러 가지 방법등이 응용되고 있다. 이와 같이 균일한 구상의 조직을 만드는 방법외에 SIMA(Strain Induced Melt Activated) 공정에서는 일반적인 제조법에 의해 소재가 제조된 후 적절한 가공도(냉간 또는 열간)를 가하여 반응고 가열을 통해 구상의 반응용조직으로 변화시킨후 반응고 성형하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 SIMA 공정에서는 소위 기계적 열처리(thermomechanical treatment)가 반응고 조직에 지대한 영향을 미치는 단계라고 할 수 있다. SIMA 공정의 응용은 현재 전신재 고강도 Al 합금에 많이 사용되고 있다. 고강도 Al 합금(예:  $2\times\times\times$ ,  $7\times\times\times$ )의 경우 성형성이 열악한 관계로 가공열처리효과를 위한 가공방법의 선정에 주의를 기울일 필요가 있다. 본 연구에서는 고강도 Al합금의 SIMA 공정에서 어떠한 가공방법 및 가열방법이 가능한 미세하고 구형의 반응고 조직을 얻는데 효과적인가를 분석하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에서는 원소재로 주조후 압출된 Al 7050, Al2024소재를 사용하였다. 반응고 가열 전의 가공효과를 주기 위해 냉간에서 upsetting법과 swaging법을 적용하였다.(그림1) 가능한 높은 냉간 가공도를 얻기 위해 압출소재를 400~500℃ 범위에서 약 2시간동안 annealing 하였다. upsetting은 50Ton 유압프레스를 이용하여 일정한 압력으로 압축변형을 가하였다. swaging은 1회에 약 1~2mm의 직경을 감소시키는 방법으로 가공도를 변화시켰다. 1차 실험에서 냉간 upsetting에 의해서는 약 60%정도까지, 냉간 swaging에 의해서는 약 70%까지를 내부결함이 없는 상태로 얻을 수 있었다. 이와 같이 냉간 가공된 소재는 고주파유도가열에 의해 반응고 온도영역으로 가열되었다. 이때 가열속도는 2~12분, 반응고 온도는 590~

630℃에서 20℃간격으로 변화시켰으며, 각각의 온도에서 유지시간은 10초~30분까지 변화시켰다. 반응고 상태에서의 조직은 급냉시킨 후 관찰하였다. 그림 2에는 전형적인 SIMA 공정의 단계를 보여주고 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig.3에는 upsetting 및 swaging된 소재의 미세조직과 비교하기 위하여 냉간 가공하지 않은 AI 2024 원소재의 반응고 온도 및 유지시간에 따른 미세조직을 나타내었다. 일정한 유지시간하에서 온도의 영향을 살펴보면 반응고 온도범위 내에서 낮은 온도로 가열할 경우에는 압출에 의해 형성된 부위별 불균일 조직을 균일하게 하거나, 고상주위의 적절한 액상율을 형성하는데에는 적당하지 않은 온도임을 알 수 있다. 반응고 가열 온도의 증가에 따라 조직은 균일해지고 있음을 알 수 있다. 일정한 반응고 온도에서 유지시간의 영향도 온도의 영향과 마찬가지로 짧은 유지시간의 경우에는 전체적인 입자의 크기는 작지만 압출에 의한 불균일 조직이 제거되지 않고 있음을 보여주고 있으며, 유지시간이 길어짐에 따라 입체 근처에 있는 원자의 확산이동에 의한 소경각grain의 대경각grain으로의 합체 및 조대화로 인하여 입자 크기가 증가하고 점차 구형화 및 균일화도 이루어졌음을 알 수 있다.

Fig.4에는 압출된 원소재를 냉간에서 upsetting한 후 590℃까지 3분동안 승온한 다음 30초 유지한 AI 2024의 미세조직을 나타내고 있다. 변형을 0%의 조직을 보면 전반적인 grain의 균일성은 전혀 발견할 수 없으며 grain내에 존재하던 용질 원소들이 에너지적으로 불안정한 grain boundary로 쉽게 이동하여 불균일한 grain을 형성하고 있다. 이에 비하여 upsetting된 소재의 경우 압출 방향에 대한 냉간 압축에 의해 압출조직이 일부 분쇄되고 소재가 전반적으로 치밀화되었음을 유추할 수 있으며 이로 인한 내부응력의 증가로 grain내의 용질원소들이 grain boundary로의 이동이 쉽지 않아 grain내에서 미세한 석출물을 형성하고 있고, 입체는 원소재에 비해 더욱 치밀하여 grain은 전반적으로 균일화되었음을 알 수 있다. 그러나 가공도가 증가할수록 입자의 구형화 및 균일화는 이루어졌지만 입자크기의 미세화는 기대하기가 어렵다는 것을 볼 수 있다. 따라서 upsetting을 통한 grain size의 미세화에는 어느 정도 한계가 있음을 유추할 수 있으며, 또한 가공도의 증가시 소재 반경방향으로 전단파괴의 우려가 있다는 단점이 있다.

Fig.5는 swaging한 AI 7050의 반응고 온도, 유지시간 및 가공도에 따른 미세조직을 나타내고 있다. 먼저 일정한 가공도(75%) 및 유지시간(1분)에서의 온도의 영향을 살펴보면 온도가 증가할수록 액상율의 증가 및 용질원소의 확산에 필요한 구동력의 증가로 인하여 grain은 점차 구형화되며 균일화되고 있음을 알 수 있다. 유지시간의 영향도 온도와 동일한 효과를 나타내고 있으며 SIMA process에서 요구되는 균일하고 미세한 비수지상의 구형 입자를 유지하고 있다. 가공도의 영향을 살펴보면 가공도가 증가할수록 grain은 뚜렷하게 미세화되고 균일화됨을 알 수 있다.

### 4. 결론

고강도 AI 합금에 대해 SIMA공정을 적용하여 반응고 성형성을 조사하기 위한 기초연구로서 냉간가공방법, 가공도 및 반응고 가열조건에 따른 반응고 조직의 변화를 관찰하였다. 가공방법으로 냉간 업세팅과 냉간 스웨이징을 이용하였다. 두 방법 모두 균일하면서도 구형을

가지는 입자를 반응고 상태에서 얻는 것이 가능하였으나 업세팅의 경우 얻을수 있는 최대 가공도가 스웨이징에 비해 떨어지고 또한 가공조직의 불균일성도 증가하는 것으로 나타났다. 스웨이징의 경우 가공효과가 높은 장점은 있지만 가공중 부위별로 불균일한 변형이 일어나지 않도록 가공조건을 적절하게 선정하여야 하는 것으로 나타났다.

## 5. 참고문헌

- 1) A.L. Tietmann, Ph.D Thesis, RWTH Aachen, Germany(1993)
- 2) M. Kenney et. al., ASM Metals Handbook, 9th Ed. Vol. 15, Ohio
- 3) A. Turkeli, N. Akbas, proceeding of 4th Int. Conf. on semi-solid processing of Alloys and composites, Sheffield, England, (1996) p.71

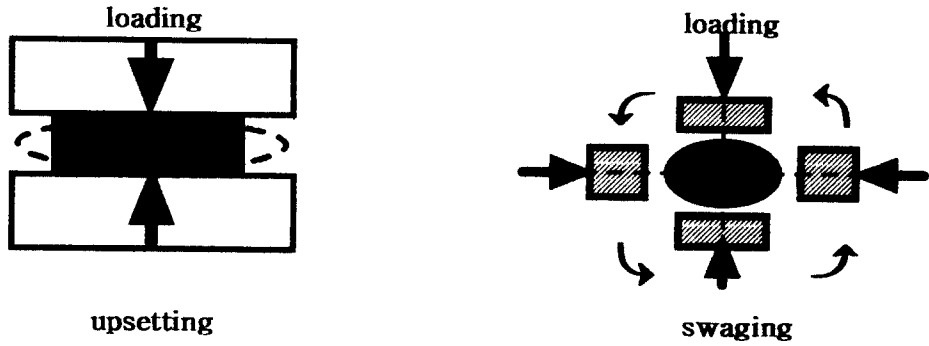
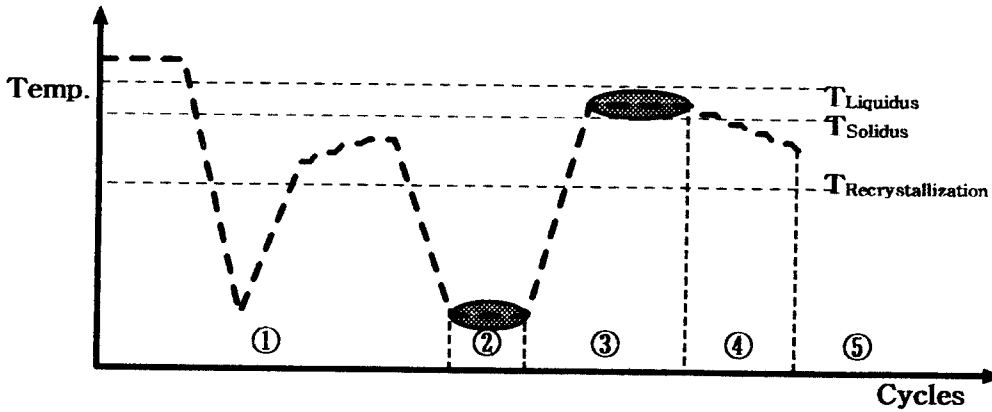


Fig.1 Illustration of upsetting and swaging methods



- ① 주조, 압출 및 annealing ② 냉간 가공 ③ 반응고 가열  
④ 반응고 성형 ⑤ 후열처리

Fig.2 Illustration of a SIMA process

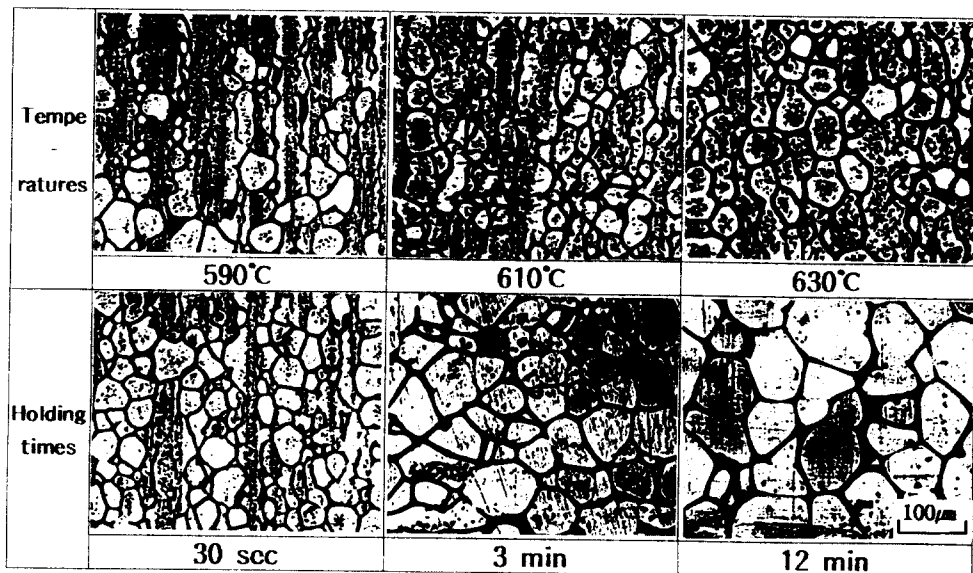
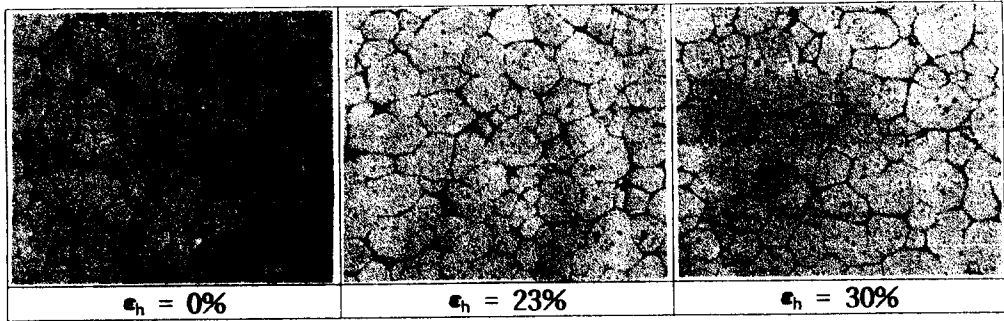
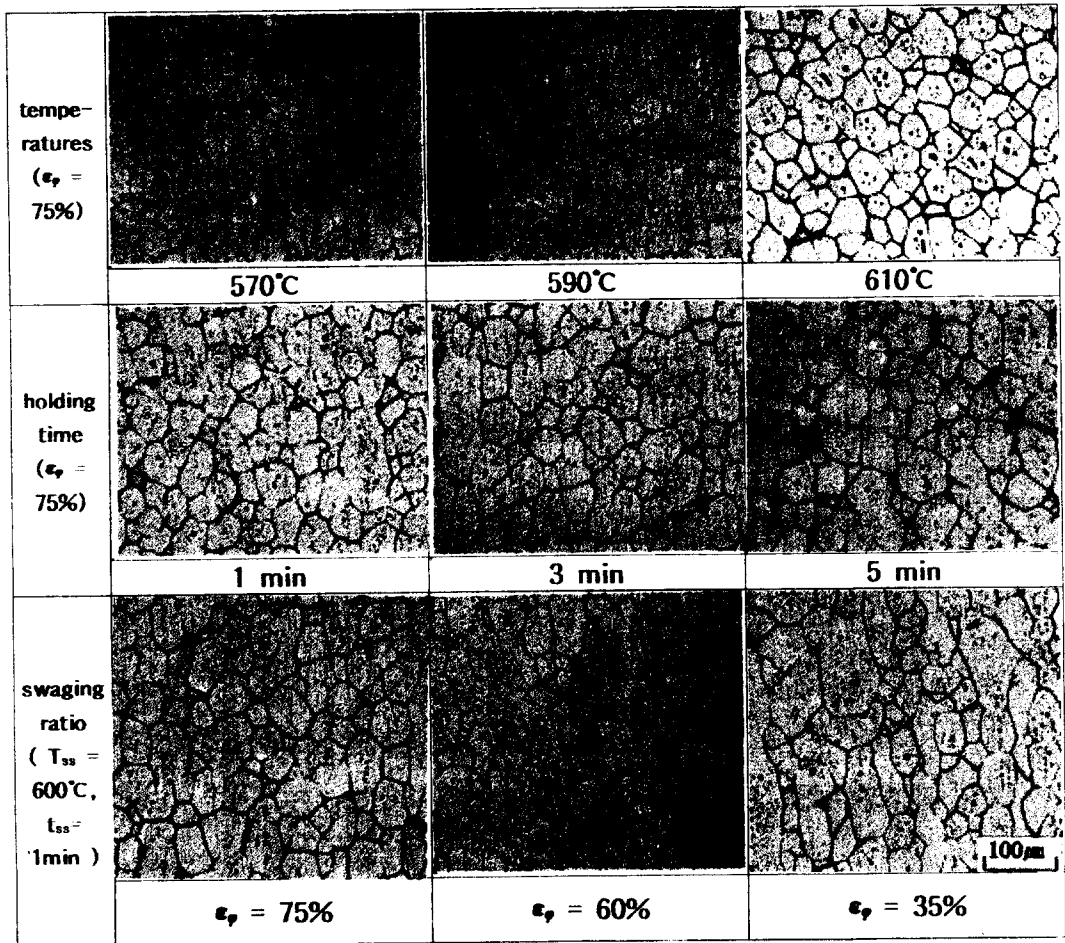


Fig. 3 Microstructures of hot extruded wrought Al 2024



**Fig.4 Semi-solid microstructures of wrought Al 2024 after upsetting**  
 [  $T_{ss} = 590^\circ\text{C}$ ,  $t_{ss} = 1\text{min}$  ]



**Fig. 5 Semi-solid microstructures of wrought Al 7050 after swaging**