

Al-Si 합금 분말의 압축거동 시 치밀화와 항복거동 (Consolidation and Yield Behavior of Al-Si Alloy Powders during Compaction)

충남대학교, 홍순직*, 천병선, 조성석, 김형섭

1. 서론

분말의 성형공정을 정밀하게 조절하기 위하여 소성역학과 수치적인 방법을 이용한 접근법이 많이 이용되고 있다. 그러나 이들은 주로 다공질 재료의 모델로서 금속분말의 변형거동은 다공질 소결금속과는 다른 점이 많다. 금속분말의 압축공정에서는 초기밀도가 소결금속에 비해 매우 낮고, 변형초기에 입자간의 미끄럼이 나타난다. 또한 금속분말 입자는 산화막으로 둘러싸여 있을 가능성이 높다. 따라서 다공질 금속과는 다른 항복식이 요구되는데, 한홍남은 Lee-Kim의 다공질 금속의 항복식을 변형시킨 금속분말의 항복식을 제안하였다. 이 연구에서는 급속응고법 중에서 많이 사용되고 있는 기체분사법, 원심분무법, 쌍롤법으로 제조된 급속응고 Al-Si합금 분말의 압분시험을 통하여 각 분말의 특성에 따른 압분 및 분말의 소성항복 거동을 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

상용의 Al, Si, Fe, Cr 주괴로부터 고주괴유도로를 이용하여 무게비 Al-20Si-5Fe-2Cr의 주괴를 제조하였다. 이 주괴로부터 기체분무법, 원심분무법을 이용하여 분말을 제조하고 쌍롤을 이용하여 판상형 재료를 제조하였다. 쌍롤에서 제조한 판은 분쇄기에서 10 분간 분쇄하였다. 제조한 후 분급한 분말을 300 ton 유압식 프레스로 성형하여 높이 20 mm, 직경 20 mm의 원통형 압분체로 제작하였다. 분말의 양을 조절하여 압분체의 상대밀도는 0.7, 0.75, 0.8이 되도록 하였다. 압분압력을 변화시켜가며 압분체의 밀도를 측정하였다. 압분체의 밀도는 아르키메데스의 원리를 이용한 밀도계로 측정하였고 광학현미경으로 기공의 형상을 관찰하였다.

3. 금속분말의 항복식과 치밀화

한홍남은 금속분말의 압축변형을 해석하기 위하여 다음의 항복식을 제안하였다.

$$(2+R^2) J_2' + \frac{1-R^2}{3} J_1^2 = \left(\frac{R-R_T}{1-R_T} \right)^m Y_0^2$$

여기서 R_T 는 분말의 두드림상대밀도, m 은 분말의 항복응력의 밀도의존성을 나타내는 지수이다.

이 연구에서는 다음의 수정된 항복식을 제안하여 치밀화 거동을 해석하였다.

$$(2+R^2) J_2' + \frac{1-R^2}{3} J_1^2 = \left(\frac{R-R_T}{1-R_T} \right)^{0.85/R_T} Y_0^2$$

4. 결과 및 고찰

그림은 분말의 제조법과 입도에 따른 압축곡선의 결과이다. 가압을 하지 않은 경우, 즉 두드림밀도는 분말간의 마찰이 적은 구형입자인 기체분무 분말의 경우가 가장 높고 불규칙한 모양의 쌍롤-분쇄 분말의 경우가 가장 낮다. 그러므로 하중을 가하지 않은 상태에서의 밀도는 기지금속의 기계적 특성이 아닌 분말의 형태가 가장 큰 요인임을 알 수 있다. 그러나 하중을 가했을 경우에는 원심분무 분말이 가장 높은 치밀화에 도달하고 쌍롤법 순으로 치밀화가 낮다. 이 결과는 분말의 형태가 치밀화에 미치는 결정적인 요인은 아니라는 것을 의미한다. 분말은 압축 시 큰 소성변형을 받으면서 기공이 감소하고 치밀화가 이루어진다. 따라서 냉각속도가 커서 높은 강도를 가지고 변형저항이 큰 재료의 치밀화가 적을 것이다. 이 변형저항을 고려하면 냉각속도가 느릴수록 치밀화가 잘 될 것이고 이는 실험의 치밀화 순서와도 일치한다. 즉 분말의 겉보기밀도는 입형이 구형일수록 유동성이 좋아 높지만, 압축성은 낮은 강도의 분말인 원심분무 분말이 높다. 그림의 계산결과에서, 쌍롤 분말은 초기밀도가 낮고 치밀화가 느리다. 기체분무 분말은 초기 밀도가 높으나 초기밀도가 낮은 원심분무 분말보다도 치밀화가 느려져, 1000 psi 이상의 압력에서는 원심분무 분말의 압분체의 밀도가 높다. 이는 실험 결과의 경향과도 잘 일치하는 것이다.

5. 결론

기체분사법, 원심분무법, 쌍롤법으로 제조한 금속용고 Al-Si 합금분말의 압축성형 시험을 통하여, 분말의 입형, 입도, 기지금속의 물성에 따른 압축성을 고찰하였다. 실험결과, 분말의 입형은 하중을 가하지 않은 초기밀도인 겉보기밀도와 두드림밀도의 주요 인자가 되지만 하중을 가하기 시작하면 그 효과보다는 기지금속의 변형저항이 압축성의 주요한 인자로 작용함을 알 수 있었다. 즉, 불규칙한 형태의 분말은 두드림밀도가 낮고 빠른 냉각속도의 분말은 큰 변형저항으로 인하여 압축성이 나쁘다. 한홍남에 의해 제안된 분말의 항복식과 구리분말의 실험에서 얻은 $R_T \times m = 0.85$ 의 관계로부터 항복식을 수정하였으며, 이 식은 분말의 특성으로서 두드림밀도만 필요로 하고, 분말의 압축거동을 잘 표현하였다.

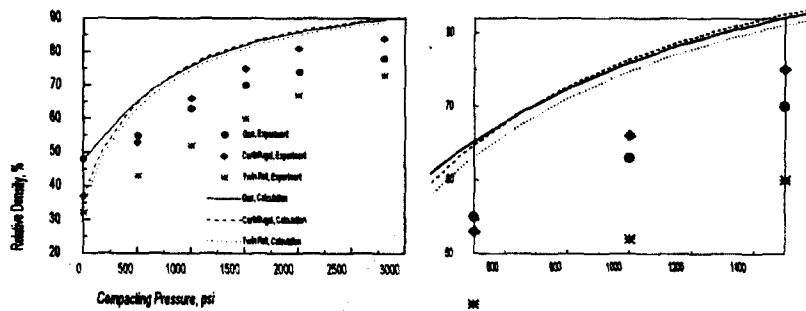


Fig. Compactibility curves of Al-Si powders of gas atomization, centrifugal atomization and twin roll methods with various sizes. Dots are measured values and curves are calculated ones.