

열간분말단조 공정의 열탄소성유한요소해석
 (Thermo-Elasto-Plastic Finite Element Analysis of
 Hot Forging of Powder)

충남대학교 금속공학과 및 금속융고신소재연구소, 김형섭*
 서울대학교 금속공학과, 한홍남, 이동녕

1. 서론

분말야금법으로 제조된 소결체를 이용하여 기계적 성질이 우수한 부품을 생산하는 방법으로서 분말단조법이 많이 이용된다. 이 분말단조법을, 그 적용범위를 확대하여 실 조업에 적용하려면, 금속소결체의 변형, 치밀화와 파괴에 대한 이해가 필요하다. 특히 열간분말단조에서는 변형 중 국부적으로 밀도가 변하고, 밀도 변화 및 다이와의 접촉상태가 변화함에 따라 국부적인 열물성이 또한 변화하기 때문에 국부적인 응력, 변형률, 밀도, 열물성, 온도의 변화를 이해하기란 쉽지 않다. 이 연구에서는 분말재료의 소성항복식을 이용하고, 열전달문제를 연계시켜 유한요소해석을 함으로써 열간분말단조 시의 변형거동을 보다 정확히 해석하고자 한다.

2. 해석방법

소성변형해석

다공질재료 또는 분말재료는 압력에 의존하는 소성변형 성질을 가지고 있으므로 von Mises식으로는 소성거동을 기술할 수 없다. 이 연구에서는 압력에 의존하는 다음의 항복함수¹⁾를 이용하여 유한요소해석²⁾을 하였다.

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

열전달해석

다공성금속의 열전달지배방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (k_R \nabla T) - \rho_{RCR} \dot{T} + \omega Y_R \epsilon_R^2 = 0$$

위에서 하첨자 R은 다공성금속의 겉보기양을 나타내고, k, c, ρ는 열전도도, 열용량, 밀도이다. 열발생효율 ω는 총변형에너지가 열에너지로 바뀌는 비율로서 이 연구에서는 0.9를 택하였다. 다공성금속의 열물성은 다음의 식³⁾을 이용하여, 국부적인 밀도변화에 따른 열물성의 비선형을 고려하였다.

$$k_R = \left[1 - \frac{(1-R)(1-k_v/k_b)}{1 + \frac{k_v}{k_b} \frac{R}{1-R}} \right] k_b, \quad c_R = c_b R + c_v(1-R)$$

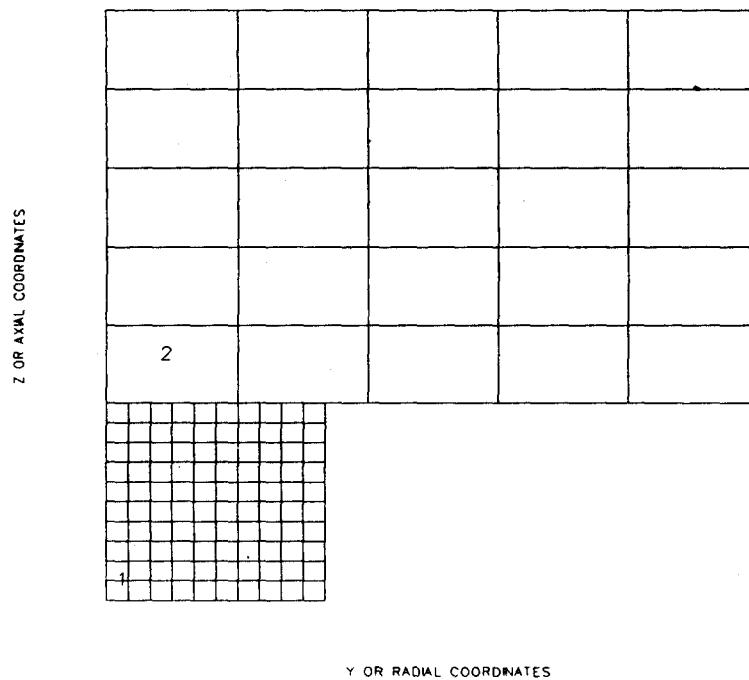
위에서 하첨자 v, b는 각각 기공과 기지금속을 나타낸다.

해석프로그램은 ABAQUS/STANDARD V5.4의 UMAT를 이용한 프로그램과 본 연구자의 COUPLEL/2D를 이용하였고, ABAQUS에서는 열물성의 밀도의존성을 고려할 수 없으므로 고온등온해석으로 실시하였다. 계산결과를 문헌의 실험결과⁴⁾와 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

완전연계(fully coupled) 열탄소성유한요소법을 이용하여 열간분말단조 공정을 해석하였다. 분말의 소성변형거동은 다공질재료의 항복함수를 이용하여 모사하여 응력, 변형률, 밀도분포, 온도분포를 예측하였고, 열물성 (열전도도, 열용량)의 밀도의존성 및 다 이와의 접촉조건을 고려하여 실제 현상에 보다 가까운 모사가 가능하였다.

Pre-Processor Ver.1 (Compiled03/01/93) COMMAND : G



참고문헌

1. D.N.Lee and H.S.Kim : Plastic Yield Behavior of Porous Metals, *Powder Metallurgy*, 35, 4 (1992) 275
2. 한홍남 : 서울대학교 박사학위논문 (1995)
3. S.Kobayashi, S-I.Oh and T.Altan : *Metal Forming and the Finite element Method*, Oxford Univ. Press (1989) 261
4. H.F.Fischmeister, B.Aren and K.E.Eastering : Deformation and Densification of Porous Preforms in Hot Forging, *Powder Metall.*, 14 (1971) 144