

텅스텐-구리 라이너 성형을 위한 금형 압축 공정 연구

Finite Element Analysis for Die Compaction Process of W-Cu Composite Powders for Shaped Charge Liner

국방과학기술연구소 대장갑/내열금속재료 개발팀 김영무*, 노준용, (주)세타텍 권영삼, 정석환

I. 서 론

금형 압축 성형 공정은 금속이나 세라믹 분말을 이용하여 복잡한 형상의 부품을 제조하기 위하여 가장 널리 사용되고 있는 분말야금 공정 중에 하나이다.¹⁾ 본 공정은 매우 복잡한 형상의 부품을 기계 가공 없이 저렴하게 양산할 수 있는 장점을 가진 반면, 공정의 특성 상 금형 벽과 분말간의 마찰이 발생하고, 복잡한 형상을 성형할 경우 성형체의 밀도가 불균일하며 크랙이 생기는 등의 단점이 있다. 따라서 정밀하고 균일한 밀도 분포를 갖는 성형체를 제조하기 위해서는 공정 변수를 최적화 시키는 작업이 필요하다.²⁾ 본 연구에서는, 분말야금 전용 CAE 소프트웨어인 PM solver를 이용해, 텅스텐-구리 복합분말을 라이너와 유사한 형상으로 금형 성형 압축 시, 형상과 공정 변수에 따른 밀도 구배를 해석하였다.

II. 실험방법

본 연구에서 사용된 재료는 텅스텐-구리 복합분말(조성(wt%):65W-35Cu)이며, 이론적 모델링에 필요한 재료상수를 계산하기 위하여 다음과 같은 금형 압축 공정을 수행하였다. 초경재료로 제작된 내부 직경 11.28mm인 금형에 분말을 채우고 탭핑(tapping)을 하여 초기 충전 밀도를 얻은 후, 0~600MPa의 하중으로 압축하며 상대 밀도를 측정하였다. 위의 실험을 통해 계산된 결과를 분말야금 전용 CAE 소프트웨어인 PM solver에 적용해 라이너와 유사한 형상에서의 텅스텐-구리 복합분말 금형 압축 성형 거동을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

분말 성형체의 소성변형은 체적변형을 동반하며, 금형 압축 성형 공정 중 분말 성형체의 소성변형거동을 해석하기 위해 항복함수(yield function)가 필요하다. 텅스텐-구리 복합분말의 소성변형거동은 Shima and Oyane³⁾에 의해 제안된 항복함수를 사용하였다.

$$\Phi = \left(\frac{q}{\sigma_m} \right)^2 + \alpha(1-D) \left(\frac{p}{\sigma_m} \right)^2 - D^m \quad (1)$$

여기서, D는 상대밀도를, σ_m 은 모재의 유동 응력을 나타낸다. 위 식에서 α , ν 및 m 은 실험치로부터 결정되는 재료상수이다. α 와 ν 의 값은 Shima and Oyane에 의하여 구해진 공통의 값을 사용하였으며, 이들 값은 철 및 알루미늄 분말의 소성 변형 거동에서도 유효함을 보여주었으며 다음과 같다.^{3,4)}

$$\alpha = 6.20, \nu = 1.028$$

또한 모재유동응력(σ_m)은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\sigma_m = a + b\bar{\epsilon}_m^n \quad (2)$$

여기서, a , b , 및 n 은 재료상수이며 $\bar{\epsilon}_m$ 은 모재의 유효 소성 변형률이다. 텅스텐-구리 복합분말의 경우 금형 압축 실험을 통해 계산한 결과 아래와 같다.

$$\sigma_m = 5647 + 0.0001\bar{\epsilon}_m^{0.1235} \quad (3)$$

Fig. 1은 텅스텐-구리 복합분말의 금형 압축 실험 치와 식(1)과 (2)를 사용해 PM solver를 이용하여 그 해석결과를 비교하고 있다.

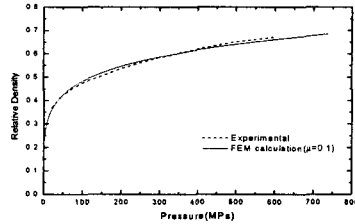


Fig. 1. Variation of relative density with pressure for W-Cu composite powder during die compaction

Fig. 2은 식 (2)의 재료상수들과 Fig. 1의 성형조건을 이용하여 PM solver를 통해 유한요소 해석을 라이너와 유사한 형상에 적용한 경우 분말 성형체 내부의 밀도 분포를 보여준다.



Fig. 2. Density distribution at the (a)beginning and (b)end of uniaxial compression for W-Cu composite powder

해석 결과 Fig. 2에서 보듯이 최종 압축 후 상대적으로 압축량이 많은 라이너 꼭지점(apex)부분에서의 상대 밀도가 최대 직경 부분의 밀도보다 월등히 높음을 알 수 있었다. 이러한 위치에 따른 밀도 차이가 많이 나는 점(라이너 꼭지점 부분: 94%, 최대 직경 부분: 27%)은 라이너 직경이 커질수록 미 성형된 부분이 많다는 점을 의미하며, 이는 소결체의 뒤틀림 및 크랙을 유발할 수 있는 주요 원인이 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 라이너와 같은 형상을 금형 압축 성형시 분말 간의 마찰을 줄이기 위한 방법(바인더 첨가 등) 등이 필요함을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 차세대 라이너 재료인 텅스텐-구리 복합분말의 압축 성형 공정 실험을 수행하여 Shima and Oyane 항복함수의 재료상수를 결정하였으며, 이 값을 분말전용 CAE 소프트웨어인 PM solver에 적용하여 라이너와 유사한 형상의 금형 압축 성형 공정을 모델링 하였다. 그 결과 라이너 형상 전반에 걸쳐 불균일한 밀도 분포가 나타남을 예측할 수 있었고, 이를 해결하기 위하여 바인더의 첨가 등 분말 간 마찰을 줄이는 추가 공정이 필요함을 알 수 있었다.

Reference

- [1] R.M. German: Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ (1994)
- [2] Y.-S. Kwon, S.H. Chung, H.I. Sanderow, K.T. Kim and R.M. German: PM²TEC, Las Vegas (2003) 4
- [3] S. Shima and M. Oyane: Int. J. Mech. Sci., **18** (1976) 285
- [4] Y.S. Kwon, H.T. Lee and K.T. Kim: J. Eng. Mat. Tech., **119** (1997) 366