

유한요소해석을 이용한 분말단조성형의 최적화 방안 연구 A Study on Optimization of Powder Forging using Finite Element Analysis

*박동진¹, #이석순², 강한빈², 송주한², 백인석², 이동욱², 박민혁², 김민규³,

*D. J. Park¹, #S. S. Lee(leess@gnu.ac.kr)², H. B. Kang², J. H. Song²,

I. S. Paek², D. U. Lee², M. H. Park², M. K. Kim³,

¹경상대학교 기계공학과, ²경상대학교 기계공학과, ³(주)솔리드이엔지

Key words : Powder Metallurgy, Relative Density, Finite Element Analysis

1. 서론

분말야금(Powder Metallurgy, P/M)은 금속이나 금속산화물의 분말을 가열하여 결합시킴으로써 금속재료나 금속가공제품을 만드는 기술을 말한다. 분말야금법은 다른 금속가공법과는 달리 복잡한 공정을 거치지 않고 최종 제품에 가까운 형상을 다량으로 만들 수 있는 장점이 있다.

일반적인 분말야금 공정은 분말단조, 분말사출 성형, 열간 등가압 성형, 금형압축 등이 있는데 여러 가지 기계요소들은 이러한 공정을 이용하여 분말을 성형한 후 소결이나 최종가공을 거쳐 생산된다. 여기서 생산된 기계요소들의 최종 품질은 여러 가지 요인들에 의해 결정된다. 여기에는 분말의 초기 밀도, 분말의 혼합 정도, 초기 분말의 양 등이 있으나 그 중 가장 중요한 인자중의 하나가 금형벽과 분말의 마찰이다. 이 마찰은 성형체 내부의 불균일한 밀도구배를 발생시키기 때문에 최종 부품의 기계적 물성의 저하를 초래하게 된다.

따라서 본 논문에서는 유한요소해석 소프트웨어인 ABAQUS를 활용하여 특정 형상에 대한 분말의 성형과정을 해석하고 금형벽과 분말 사이의 최적의 마찰상태를 찾는 것을 목적으로 하였다.

Table 1 Material properties used in subroutine

Elastic Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Relative Density
0.1	0.0001	0.5
40000	0.06	0.6
80000	0.12	0.7
120000	0.18	0.8
160000	0.24	0.9
200000	0.3	1

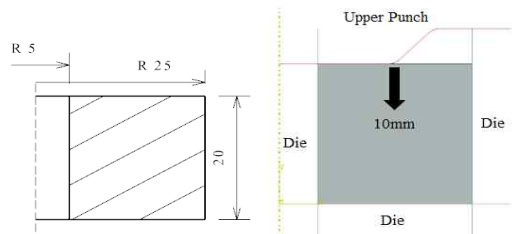


Fig. 1 Initial shape of the powder and the boundary condition

2. 성형공정의 유한요소해석

금속 분말과 같이 분말의 성형 거동을 예측하는 모델은 여러 가지가 있다. 본 논문에서는 Gurson이 제안한 분말의 항복 조건식을 적용하여 분말의 거동을 관찰하였다.

본 논문에서는 Fe 계 분말에 대한 재료 상수를 사용하였다. Fe 계 분말의 탄성계수 및 팽창비는 상대 밀도(Relative Density, RD)가 변화함에 따라 달라지게 된다. 이러한 특성은 ABAQUS의 사용자 정의 서브루틴 UAMT를 사용하여 Table 1과 같이 나타내었다.

초기 상대 밀도가 0.6인 분말의 형상은 Fig. 1과 같이 외경이 25mm이고 내경이 5mm인 형태로 설정하였으며 Die에 위치시킨 후 Upper Punch를 이용해 아래 방향으로 10mm만큼 압축하여 Table 2와 같이 마찰계수의 차이에 따른 상대 밀도를 관찰하였다.

Table 2 Material properties used in subroutine

Case 1	Case 2	Case 3
10mm Compaction	10mm Compaction	10mm Compaction
Friction Coeff : 0.1	Friction Coeff : 0.2	Friction Coeff : 0.3

3. 유한요소해석 결과

Fig. 2 ~ 4는 해석 Case에 대한 결과를 나타낸다. 마찰계수가 0.1인 경우 최대 상대 밀도가 최대치인 1에 가까운 결과를 나타내며 최소 상대 밀도는 0.827로 금형 외부 아랫부분에서 나타났다.

마찰계수가 0.2인 경우 최대 상대 밀도가 최대치를 나타내며 최소 상대 밀도는 0.719로 다소 낮은 결과가 나타났다.

마찰계수가 0.3인 경우 최대 상대 밀도는 최대치를 나타내나 최소 상대 밀도는 0.677로 초기 상대 밀도 대비 큰 변화가 없는 것으로 확인되었다.

이러한 결과가 나타난 원인은 금형벽과 분말간의 마찰이 커질수록 접촉면에 분포한 분말들의 유동이 제한적이기 때문인 것으로 생각된다.

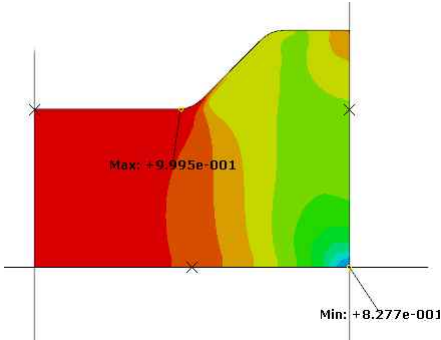


Fig. 2 Relative Density after compaction (Friction Coeff : 0.1)

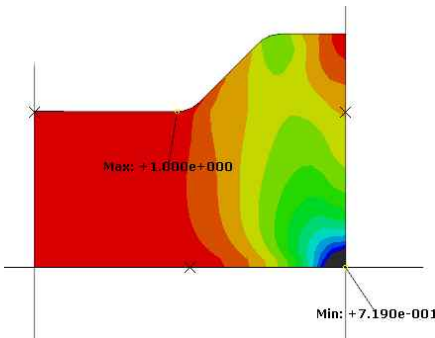


Fig. 3 Relative Density after compaction (Friction Coeff : 0.2)

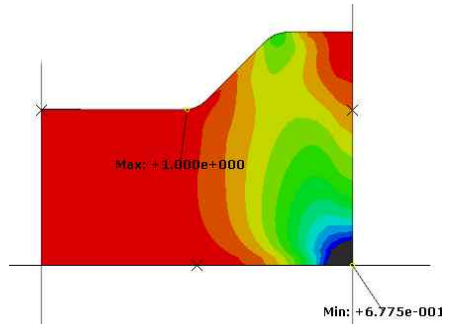


Fig. 4 Relative Density after compaction (Friction Coeff : 0.3)

4. 결론

본 논문에서는 분말과 금형과의 마찰 상태에 따른 상대 밀도의 변화를 알아보고 제품의 품질을 예측하였다.

마찰계수가 작은 경우 상대 밀도의 편차가 약 17%로 나타났으나 마찰계수가 큰 경우 약 32%로 밀도 구배가 불안정한 것으로 나타났다.

특히 마찰계수가 큰 경우 금형 외부 아랫부분에서 상대 밀도가 0.677로 극부적으로 낮게 나타나 실제 제품 성형 시 높은 공극률로 인해 기계적 강도가 매우 취약할 것으로 예측된다.

따라서 실제 제품 성형 시 금형과 분말간의 적절한 윤활처리를 통한 최적의 마찰상태를 찾아 상대 밀도의 편차를 줄일 수 있는 방안을 최대한 고려하여 우수한 품질의 분말 야금 제품을 생산할 수 있을 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 2단계 지역대학 육성사업(BK21)과, 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과이다.

참고문헌

1. Abaqus 6.12 Documentation, Theory Manual, 13/2/2012 edition.
2. Rui Zhang., "Numerical Simulation of Solid-State Sintering of Metal Powder Compact Dominated by Grain Boundary Diffusion," The Pennsylvania State University, Appendix B, 2005.
3. 이원식, 송건, "분말야금의 기초," 기전연구사, 79-98, 2003.