

소형엔진용 샤프트 개발을 위한 단조유동선 제어에 관한 FE해석

Finite element analysis about control of Metal flow for development of a small engine shaft

*이성철¹, 공재현¹, 이옥영¹, #허관도²

*S. C. Lee¹, J. H. Kong¹, O. Y. Lee¹, #K. D. Hur(kdhur@deu.ac.kr)²

¹ 동의대학교 기계공학과 대학원, ² 동의대학교 기계공학과

Key words : Metal flow, Hot forging, Preform, FE- Analysis

1. 서론

단조가공은 기계적 성질이 우수한 제품을 대량생산 할 수 있기 때문에 신뢰도가 요구되는 각종 구조물 및 수송기계 (항공기, 자동차, 선박) 부품은 반드시 단조를 통하여 양호한 단류선이 얻어지도록 한다. 특히 항공기의 동체 및 엔진부품 중 상당수의 경우에는 미세한 기계적 결함도 허용되지 않으므로 부품의 신뢰성이 매우 중요하다. 대부분의 단조품은 비대칭이면서 복잡한 형상을 가지고 있기 때문에 원하는 최종부품을 한 번의 성형공정으로 생산할 수 없는 경우가 많아 여러 번의 예비성형이 포함된 다단계 성형공정이 요구된다.^{1,2}

열간 단조 공정의 예비 성형체의 설계는 단조의 공정설계 중 가장 중요한 내용으로 지금까지는 경험자의 시행착오에 의한 방법이 주로 이용되고 있다. 또한 소성열의 발생과 소재와 금형간의 열전달에 의한 온도의 변화가 소재의 유동에 직접적인 영향을 주기 때문에 소재를 적절하게 분배하고 금형공동부에서 유동을 조절하는 것이 중요함을 알 수 있다.³

금형공동부의 반지름은 이러한 결함의 생성에 매우 중요한 영향을 끼친다. 코너반지름이 클 때 소재는 잘 유동하고, 반지름이 작으면 소재가 겹쳐져서 콜드셧(cold shut)이라는 겹침결함을 만들기 때문에 결함 없는 제품을 만들기 위해서는 소재의 유동양상과 금형충진, 응력 변형률, 변형속도, 온도분포 등에 대한 정량적 분석이 요구된다.⁴

본 연구에서는 설계 프로그램인 Pro-E를 사용하여 설계변수로 작용하는 예비성형체의 코너반지름을 적절히 조절하여 설계하였다. 강소성 유한요소 해석 프로그램 DEFORM-3D를 사용하여 최종금형 내 예비성형체의 임의의 노드들의 위치이동에 따른 변형속도에 대한 유한요소 해석을 수행하였다.

2. 예비성형체 형상 설계

단조공정 중 형단조는 소재가 두 개의 금형에 의해 압축되면서, 금형 공동부의 형상으로 성형이 이루어지고 일부재료는 밖으로 유동되어 플래시를 형성한다. 복잡한 제품의 경우, 결함이 없는 적절한 재료분포를 얻기 위해 소재는 다단계의 예비형상을 거치기도 한다. 예비형상은 초기소재와 최종형상의 중간형상으로 금속의 유동을 원활하게 하여 적절하게 금형에 충전시켜 플래시로 나가는 재료의 양을 줄일 수 있고, 단조되는 방향으로 금속 유동을 줄임으로써 단조 최종형상의 마모를 최소화 시키며 원하는 단류선을 얻음으로써 기계적 성질을 조절할 수 있다.^{3,5}

Fig. 1은 Pro-E에서 설계한 소형엔진용 샤프트의 최종형상이다. 예비성형체의 최적크기 선정에 보다 쉽게 접근하기 위하여 CAD프로그램을 이용하여 최종형상의 체적을 계산하였고, 이를 근거로 예비성형체의 형상을 설계하였다. 이와 관련한 재료의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

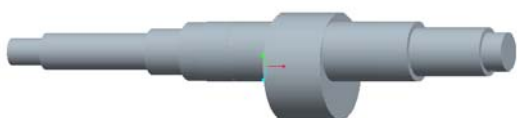


Fig. 1 Shape of a small engine shaft

Table 1 Mechanical Properties of Al 7075-T6

Materials	Range	Unit
Modulus of Elasticity	7.2e10	N/m ²
Poissons Ratio	0.33	-
Ultimate Tensile Strength	5.7e8	N/m ²
Tensile Yield Strength	5.05e8	N/m ²
Thermal expansion coefficient	2.36e-5	1/K
Thermal Conductivity	130	W/(m.k)

3. 공정해석

3.1 유한 요소 해석 조건 및 설정

Fig. 2는 알루미늄 열간단조 공정의 예비성형체와 금형의 형상을 나타내고 있다. 예비성형체는 강소성체로, 초기 온도는 500℃로 사용하였다. 가열조건으로 외부환경 온도를 20℃, 열전달 계수를 0.02N/sec/mm/C로 사용하였다. 단조시물레이션을 위하여 금형의 초기온도는 150℃로 균일하다고 가정하고 다이의 변형 및 온도 변화는 무시하였다. 단조공정은 1차 타격시 햄머 전체 에너지의 20%인 3800000 Nmm, 효율 0.8%, 햄머하중 1500ton으로 가정하였다. 1차 타격후 상부 다이를 10mm들어 올리고, 0.5초 간의 방열공정으로 제한하였다. 하부 다이는 고정되어있고 상부 다이만 아래로 내려와 성형이 된다.

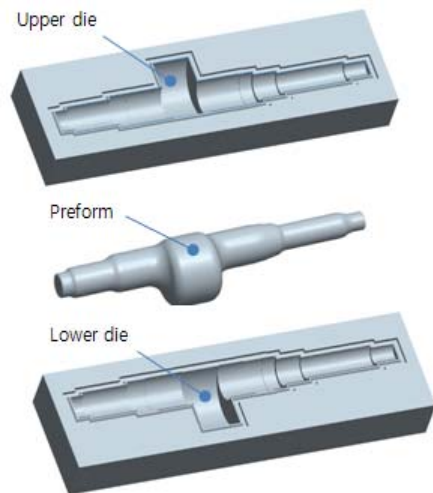


Fig. 2 Geometries of dies and preform

3.2 유한 요소 해석 결과

3.2.1 소재의 유동

예비성형체의 플래시 생성 부분에 17개의 노드를 지정하여 노드의 변형속도에 의한 소재의 변형특성을 파악하였다.

Fig. 3은 4차례의 타격공정에서의 각각의 노드들의 변형 속도를 나타내었다. Fig. 4에 최종 형상에서의 노드들의 변형 속도를 그래프로 나타내었다.

3.2.2 공정 변경

소재의 유동을 양호하게 하기위해 4초간의 이송공정을 시작으로 4회의 햄머 단조공정과 햄머공정 간의 열전달 공정의 8공정으로 수정하였다. 수정된 공정은 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Process of multiple forming

Process	
1공정	가열로에서 금형까지 이동(4초)
2공정	1차 타격(20%, 3800000 Nmm)
3공정	열전달 해석(편치 상승, 5초)
4공정	2차 타격(25%, 4750000 Nmm)
5공정	열전달 해석(편치 상승, 5초)
6공정	3차 타격(35%, 5130000 Nmm)
7공정	열전달 해석(편치 상승, 5초)
8공정	4차 타격(45%, 5510000 Nmm)

4. 결론

본 연구에서는 단조 공정시 발생하는 소재의 변형 속도를 확인하기 위하여 유한 요소 해석 프로그램인 DEFORM-3D를 사용하여 해석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 예비성형체 형상의 체적이 최종금형 형상의 체적보다 커서 플래시로 인한 재료의 손실이 큼을 확인하였다.
- (2) 각각의 노드에서 유동특성은 변형속도가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인하였다.
- (3) 4차례의 타격공정시 최종 형상의 금형보다는 플래시 부분에 변형 속도가 집중적으로 발생하는 것을 확인하였다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업 및 2010년도 교내 위탁연구과제(2009FC024)으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. Cho, H. Y., Kim, Y. T., Kim, K. W., and Kim, W. J., "Finite Element Analysis for Multi - stage Forging Process Design of Bolt with Nonaxisymmetric Washer Cam," J. of the KOSME, Vol. 32, No. 4, pp.585-595, 2008.
2. S. R, Lee., Y. G, Lee., C. H, Park., D. Y, Yang., " Optimal Design of Preform in hot forging," J. of the KSME, Vol. A, pp.780-785, 2000.
3. Kim, J. H., Kim, Cheol., " Analysis of Hot Forging Closed-Dies Considering Metal Flow Line and Heat Conduction," J. of the KSME, Vol. 2009, No. 2, pp. 538-543, 2009.
4. T. Altan, S.I. Oh and K. L. Gegel., "Metal Forming: Fundamentals and application," ASME series in Metal Processing. 1983.
5. Y.M. Kwon, Y.S. Lee., J. I. Song., J. H. Lee., "The Effect of Preform Shape for Hot-forging Process of Aluminum-alloy," J. of the KSME, Vol. C, pp.106-110, 2001.

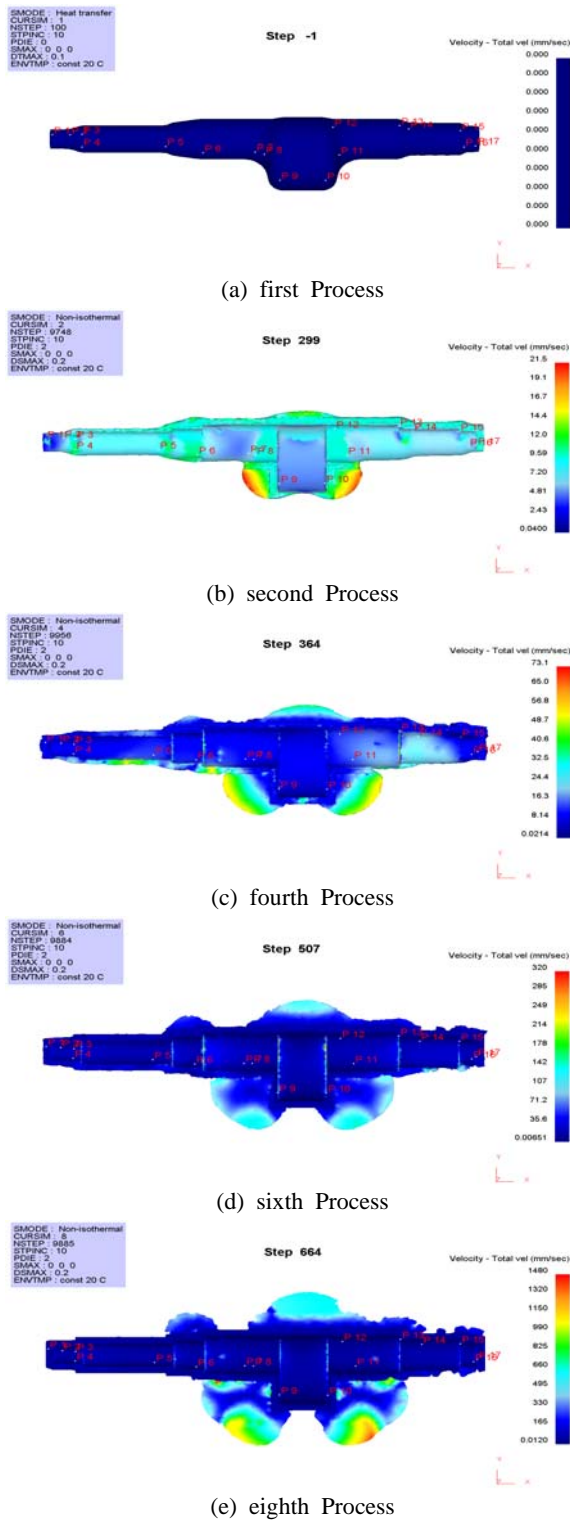


Fig. 3 Deformation velocity of each node

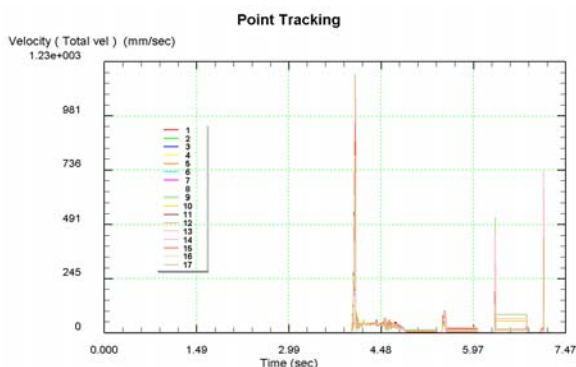


Fig. 4 Result of deformation velocity at each node