

열간단조 금형의 내마멸 설계에 관한 연구

A Study on the Design of Hot Forging Die for Reduction of Wear

*장진형¹, 최창혁², 김현수³, #김용조²

*J. H. Jang¹, C. H. Choi², H. S. Kim³, #Y. J. Kim(yohngjo@kyungnam.ac.kr)²

¹ 경남대학교 대학원 기계공학과, ² 경남대학교 기계자동차공학부, ³ (주)용암금속

Key words : Hot forging die, Wear, Blocker die, Preform process, Rigid-plastic finite element analysis

1. 서론

국내에서는 자동차산업 발달로 그 부품의 수요가 커지고 있는 환경에서 관련부품들을 대량 생산함과 더불어 원가를 절감하고 강도를 향상시킬 수 있는 제조방법으로는 앞으로도 점차 확대 적용될 수 있는 소성가공법의 하나가 단조이다.¹⁾ 하지만 원자재 가격의 상승과 후발주자인 중국시장의 급속한 발전과 더불어 외국 자동차 업계의 국내 진출로 인하여 부품의 구입이 세계화로 확대되었으며, 생산, 구매, 기술경쟁이 세계화되어 국내의 단조 산업이 어려운 상황에 놓여있다. 따라서 단조 기술의 발전과 혁신 없이는 제조 산업의 생존이 어렵게 되었으며, 특히 단조에서는 공정개선 및 정밀성형에 의한 소재의 회수를 향상 뿐 아니라 금형의 수명향상 등의 기술개발이 필수가 되었다.

일반적으로 단조공정설계 및 금형설계에 따라 단조제품의 제조원가, 생산성 그리고 정밀도 등의 영향이 크게 달라진다. 특히, 열간단조금형은 고온과 높은 하중 상태에서 사용하므로 금형의 손상이 쉽게 발생하고, 이로 인해 금형수명이 저하된다. 금형의 제작비용이 대략적으로 제조비의 약 30%를 차지하므로 금형의 수명저하로 인한 금형 교체 시 제조비용이 증가하고, 금형의 교체시간의 증가는 곧 생산성의 저하로 나타나게 된다.²⁾

본 연구에서는 차량의 동력을 전달하는 등속조인트의 부품인 외륜(outer race)의 열간단조에서 금형의 수명을 향상시키기 위한 내마멸 금형설계를 수행하였다. 이를 위해서 열간단조공정 해석에 Deform-3D를 이용하였고, 이 결과를 적용하여 금형의 마멸량을 해석하였다. 그리고 제품의 공차에 0.5 mm 이하를 적용하여 금형의 수명을 구할 수 있었고, 금형을 수정해가면서 마멸량을 최소화하는 방법으로 금형을 설계하였다.

2. 단조공정 및 금형의 수명평가 방법

강소성 유한요소 해석 프로그램으로 널리 사용되고 있는 Deform-3D를 이용하여 해석을 수행하였으며, 이를 통해 블로커(blocker)금형과 피니셔(finisher)금형의 마멸을 평가하였다. 이때 사용된 소재의 재질은 AISI 1045이고, 금형의 재질은 AISI H13이다.

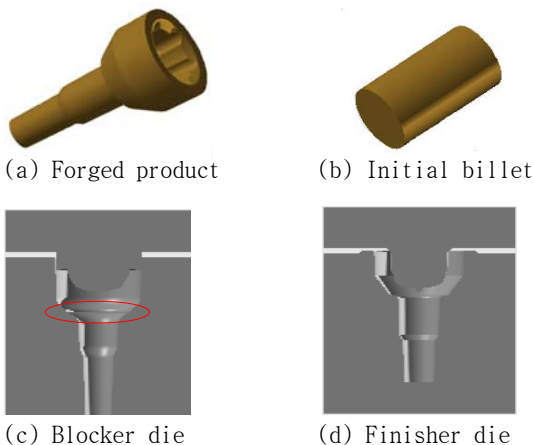


Fig. 1 Forging die for outer race

Fig. 1은 최종 단조품의 형상과 최초 소재 및 소재유동을 고려한 프로토타입의 단조금형을 나타내었다. 외륜의 단조공정

은 초기소재를 1200℃ 가열한 후 열간 단조 후 작업자가 블로커 금형에 소재를 정확하게 위치시키기 위해서 Fig. 1(c)에 원으로 표시된 소재의 자리를 만들었고, 이후 피니셔 금형을 이용하여 단조하였다. 또한 공정과 공정사이에는 가열된 소재가 공기 중에서 일어나는 대류 및 복사 열전달을 고려하여 해석을 수행하였다. 마멸량을 구하기 위해서는 Choi등³⁾의 AISI H13 금형재의 온도에 따른 마멸계수를 적용하였고, 금형의 수명평가에는 제품의 기준공차인 0.5mm를 기준으로 하였다.

3. 마멸량 해석결과

3. 1 프로토타입 금형의 마멸량

Fig. 2는 프로토타입의 금형으로 마멸량을 해석한 결과이고, 그 결과를 기준공차 0.5mm에 대해 금형의 수명을 평가하였으며 Table 1에 나타내었다. 블로커 공정 중 하부금형의 수명이 다른 금형에 비해 현저히 낮은 것을 확인할 수 있다.

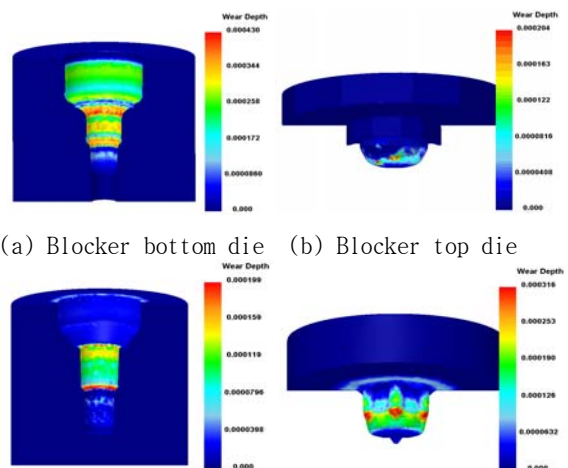


Fig. 2 Distribution of wear depth of the prototype die

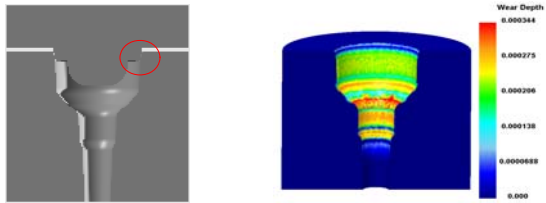
Table 1. Wear life from the simulation (cycle)

Process	Blocker		Finisher	
	Top	Bottom	Top	Bottom
Wear life	2450	1162	1582	2512

3. 2 1차 수정된 금형의 마멸량

금형의 수명이 각각 다르게 나타나면 가장 낮은 수명을 기준으로 금형을 교체해야 하기 때문에, 블로커 하부금형의 수명 향상을 위하여 Fig. 3과 같이 소재의 자리를 제거하고 10°의 구배를 적용하여 해석하였다. 그 해석결과를 바탕으로 금형을 제작하여 실제 제품생산에 적용하였다.

현장에서 사용한 금형의 수명은 해석결과보다 낮게 나타났으며, 블로커 하부금형의 국부적인 마멸로 인하여 Fig. 4와 같이 소재의 형상변화가 발생하였다. 그것은 피니셔 공정을 거치면서 결합 결함으로 나타났다.



(a) Blocker die shape (b) Distribution of wear depth
Fig. 3 Modified blocker die

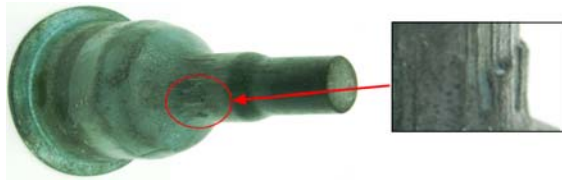
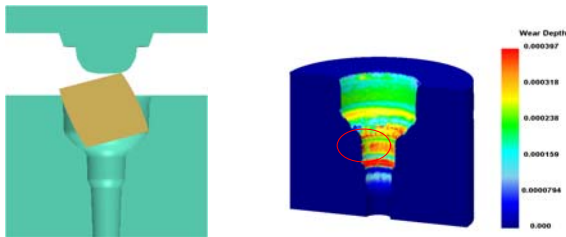


Fig. 4 Photograph of a defective product due to local wear from the blocker die

블로커 공정에서는 충분히 얼셋되지 않은 소재를 하부금형에 위치시킬 때 실제 소재가 금형의 한쪽에 기울어질 수 있는데, 이 점을 고려하여 또한 해석하였다. Fig. 5(b)와 같이 국부적으로 발생한 급격한 마멸현상을 확인할 수 있다. 현장에서의 작업 방법에 따라 소재를 위치하여 금형의 수명을 평가한 결과 Table 2와 같이 블로커 하부금형에서 200회 정도의 차이가 발생하는 것을 확인하였다.



(a) Blocker die (b) FE result

Fig. 5 FE result of blocker die according to locating of material

Table 2. Wear life from the simulation (cycle)

Process		Blocker		Finisher	
Die		Top	Bottom	Top	Bottom
Wear life	Modified-1	2923	1453	1661	2500
	Modified-2	2396	1259	1683	2857

3. 3 최종 수정금형의 마멸량

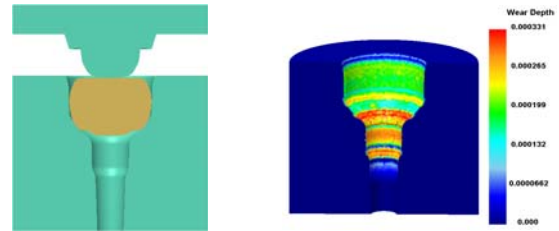
금형에 소재를 보다 쉽고 정확하게 위치시킬 수 있도록 Fig. 6과 같이 예비성형체 공정을 추가 하였으며, 이로 인하여 Fig. 7과 같이 소재가 블로커 금형에 안정적으로 정착되었다. 이 경우 금형의 수명을 평가한 결과를 Table 3에 나타내었다.



(a) Initial billet (b) Preform
Fig. 6 Preforming process

최종적으로 금형의 수정과 블로커 공정에서의 소재위치 등을 고려한 금형의 수명을 표현하기 위해 Fig. 8과 같이 나타내었다.

여기서 금형의 마멸수명을 가장 크게 향상시킬 수 있는 공정설계의 결과는 블로커 금형의 수정과 예비성형체 공정의 추가로 이루어진 단조 공정임을 알 수 있다.



(a) Blocker die (b) FE result
Fig. 7 Final modified blocker die

Table 3. Wear life from the simulation (cycle)

Process	Blocker		Finisher	
	Top	Bottom	Top	Bottom
Wear life	2824	1510	1879	3030

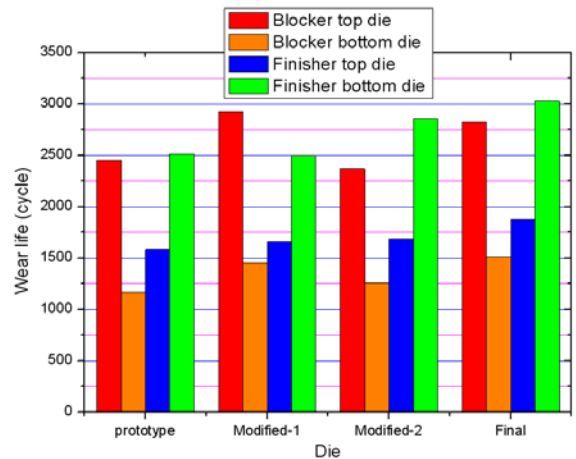


Fig. 8 Wear life of die

4. 결론

열간단조금형의 내마멸 설계를 위하여 Deform-3D를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 이를 바탕으로 금형을 제작하여 실제 제품생산에 적용하였고, 내마멸 설계에 기초한 금형수명 해석결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 프로토타입 금형의 수명은 1162회였지만, 마멸수명을 고려하여 금형을 수정한 결과 수명이 약 25%까지 증가하였다.
- 2) 예비성형체 공정을 추가한 경우에는 수명이 1510회이었으며, 프로토타입 금형의 수명에 비해 약 30% 증가하였다.
- 3) 블로커 공정에서 소재의 셋팅상태가 금형수명에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. K. P. Rao, "Development of Constitutive Relationships using Compression Test of a Medium Carbon Steel", Transactions of the ASME, vol. 114, pp. 116-123, 1992
2. Lange K., "Cost Minimization in small Quantity Production of Stepped Shafts by Combined NC-Radial Forging and NC-Turning - A New Approach to Flexible Manufacturing System", Annals of the CIRP, 1985
3. C. H. Choi, Y. J. Kim, "A Study on Life Estimation of a Forging Die", Transactions of Materials Processing, Vol. 16, No. 6, 2007, pp. 479-487
4. Deform-3D User Manual, V5.0, SFTC.