

탄성회복을 고려한 반원형 코터 단조의 공정설계

Process Design for Forging of Half-Round Cotter Considering Elastic Recovery

*#조해용¹, 이병구², 김종원³, 김관우⁴, 김문기⁵, 조성열⁶, 한기범⁷, 김기복⁸

*#H. Y. Cho(hycho@cgnu.ac.kr)¹, B. G. Lee², J. W. Kim³, K. W. Kim⁴, M. K. Kim⁵, S. Y. Cho⁶, K. B. Han⁷, K. B. Kim⁸
¹충북대학교 기계공학부, ²⁻⁸충북대학원 정밀기계공학과

Key words : Cold Forging, Forging process, Finite Element Analysis, Elastic Recovery, Cotter

1. 서론

반원형 코터는 주로 자동차 엔진 헤드부 흡, 배기장치에서 밸브 스프링을 밸브 스템에 고정시키는 역할로 사용된다. 그 대표적인 가공법으로 프레스 공법이 주로 사용되고 있으며 다공정으로 인한 생산원가 증가의 문제가 있다.

냉간 단조법은 제품의 기계적 성질개선과 치수 정밀도 향상, 생산원가 절감의 장점을 가지고 있지만 공정과 금형 설계에 있어서 많은 현장경험과 전문적 지식이 요구된다. 또한 탄성회복, 성형하중, 금형강도 등을 고려한 설계변경 시 경험과 실험에만 의존한 경우 많은 시행착오가 발생할 수 있다. 이에 소성이론 및 해석적 방법의 연구를 통한 최대 성형하중, 성형 하중이력, 금속유동 등의 예측은 금형 개발 및 설계개선에 소요되는 비용과 시간절감 효과를 줄 수 있으며 관련 기초연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁴. 그러나 현재까지 탄성 회복을 고려한 공정 및 금형설계에 대한 연구는 미비하여 실제 현장에 유용한 관련연구가 요구되는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D를 이용, 실제 자동차 부품인 반원형 코터에 대한 냉간 단조성형 시뮬레이션을 하였고, 성형성 및 성형하중 해석결과를 비교분석하여 적정 공정 및 설계금형을 제시하고자 했다.

2. 냉간 단조공정 설계

냉간 단조의 펀치와 금형 및 초기소재를 3차원 CAD 프로그램인 PRO/ENGINEER를 이용하여 모델링 하였고, 강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D를 이용하여 설계공정에 따른 성형시뮬레이션을 하였다. 이때 소재는 탄소성체이고 성형 후 펀치 하중제거 시 탄성 회복량을 예측, 이를 기초로 펀치 및 금형설계를 변경하였다.

Fig. 1은 반원형 코터 형상을 나타낸 것이며 Fig. 1(a)는 제품도면으로 성형품은 도면의 형상 및 치수를 만족해야 한다. Fig. 1(b)는 제품의 3차원 모델로 그림의 코터 2개를 이용, 밸브 스프링 위의 리테이너와 밸브 스템을 결합시키게 된다.

Fig. 2는 냉간 단조공정을 도식적으로 나타낸 것으로 초기소재 홀딩한 후 굽힘 성형한 다음 노크아웃 펀에 의한

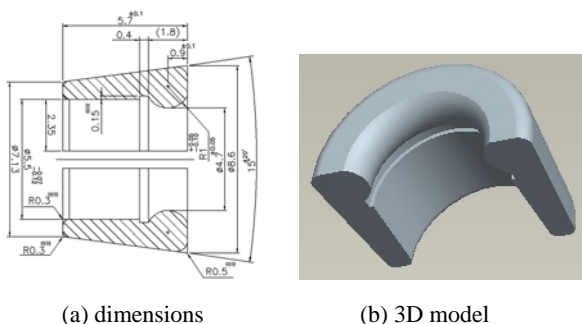


Fig. 1 Shape of final product

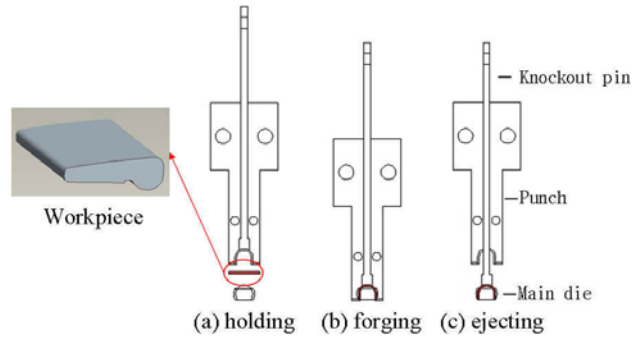


Fig. 2 Schematic description of forging process

제거 순으로 가공된다. 마지막으로 불필요한 부분을 트리밍하여 Fig. 1과 같은 최종 제품을 얻어낸다.

3. 유한요소 해석 및 금형 설계변경

성형해석을 위해 강소성 유한요소 해석 프로그램인 DEFORM-3D를 사용하였고 초기소재와 금형은 축대칭 형상과 해석시간을 감안하여 1/2 모델링 되었다. Table 1은 성형해석의 초기조건, 경계조건, 재료의 물성치를 정리하여 나타낸 것이다.

Fig. 3은 기존 설계금형과 Table 1 조건으로 성형 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 성형품 바깥면과 안쪽면 끝부분이 미성형 된 것을 볼 수 있다. Fig. 3(a)의 바깥면은 최종제품 형상과 2° 50' 각도 만큼의 차이로 Fig. 1(a)의 최종제품 형상 치수를 만족하지 못했다. Fig. 3(b)에서는 안쪽 끝단부가 미성형 됨을 해석을 통해 예측할 수 있었다. 이는 초기소재가 굽힘 가공 후 펀치 하

Table 1 Forging conditions and material properties

Forging Condition	Velocity of punch(mm/s)	600	
	Shear friction factor	0.08	
	Number of element	20,000	
	Modeling	1/2(symmetry)	
Material Property	Material	AISI 1045	AISI H13
	Young's modulus(GPa)	205	210
	Yield strength(MPa)	530	1650
	Ultimate tensile strength(MPa)	625	1990
	Poisson's ratio	0.290	0.300

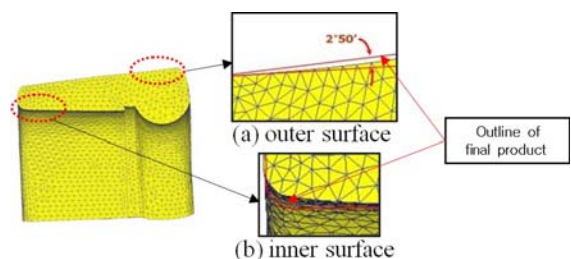


Fig. 3 Forging result before redesign

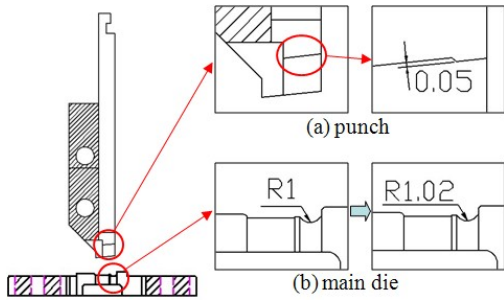


Fig. 4 Schematic description of redesign

중을 제거 하였을 때 탄성 회복되었기 때문이라 판단된다. 이와 같은 해석 결과를 통해 탄성 회복량을 예측하여 금형 설계변경을 하였다.

Fig. 4 는 설계 변경된 금형을 나타낸 것으로 Fig. 4(a)와 같이 펀치 우측부에 0.05mm 단차를 주고 Fig. 4(b)와 같이 다이 R 부분을 1.02 로 하여 Fig. 3(a)의 탄성 회복된 후 코터 바깥면 끝부분을 최종 제품형상에 근접하게 성형하고자 하였다. 또한 Fig. 3(b)의 코터 안쪽면 끝부분 미성형 문제를 약간의 업세팅을 하여 탄성 회복 억제를 통해 개선코자 하였고 성형해석을 통해 제품 성형성, 성형하중, 금형강도를 검토하였다.

4. 유한요소 해석결과

Fig. 5 는 Fig. 4 의 금형 설계변경에 대한 성형해석 결과를 나타낸 것이다. Fig.5(a)의 코터 바깥면 끝단부 형상은 최종제품 형상 선과 1° 각도를 이루므로 성형성이 매우 많이 개선된 것을 볼 수 있다. 또한 약간의 업세팅으로 인해 코터 안쪽면 끝단부 형상이 최종제품 형상 선과 거의 일치하였으며 Fig. 1(a)의 최종제품 치수를 만족시킬 수 있었다.

Fig. 6 은 성형 시뮬레이션 동안 펀치 이동거리에 따른 단조하중을 나타낸 것이다. 소재 홀딩 후 탄성에서 소성으로 넘어가는 성형 시작 시점 ①구간에서 약 628N 까지 단조하중은 급증하였다가 떨어지고, 굽힘가공의 ②구간에서 서서히 증가하다가 굽힘이 끝나는 시점인 ③구간에서 거의 0 에 가깝게 떨어진다. 그리고 Fig. 3(b) 코터 안쪽 끝단부 미성형을 개선하기 위한 업세팅 부분인 ④구간에서는 단조하중이 1823N 까지 급증하게 되는 하중이력을 예측할 수 있었다. 따라서 해석을 통한 성형하중 이력을 통해 적정 프레스 용량 결정과 금형 및 펀치에 발생응력 예측, 금형강도 분석을 통한 설계가 가능하다.

Fig. 7 은 제품 단조 중 금형과 펀치의 응력분포 결과를 나타낸 것이다. 펀치에 최대 209MPa, 다이에 최대 322MPa 의 응력이 발생되었음을 볼 수 있고, Table 1 에서 금형 및 펀치소재 AISI H13 의 항복응력은 1650MPa 임으로 발생 최대응력은 이에 크게 못 미침을 알 수 있다. 따라서 코터 냉간단조에 있어 현재 설계된 금형은 충분한 강도를 가지고 있다고 판단된다.

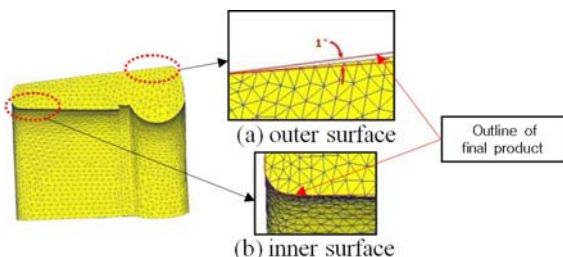


Fig. 5 Forging result after redesign

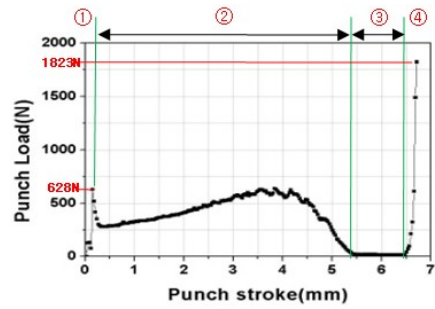


Fig. 6 Predicted punch load

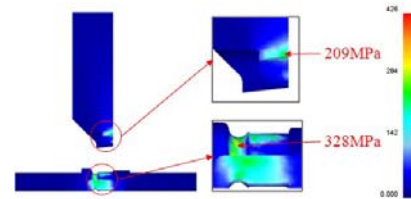


Fig. 7 Stress distributions of punch and die

5. 결론

본 연구에서 반원형 코터의 냉간 단조 공정설계를 위해 성형 시뮬레이션을 하였다. 그 결과를 분석하고 탄성회복을 고려하여 금형 설계보완을 하였으며, 해석적 방법으로 금형 강도분석을 한 결과로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 해석적 방법을 통해 단조 후 탄성 회복량을 예측하여 금형 설계를 변경하였고, 최종 제품 형상과 치수 정밀도를 만족하는 냉간 단조 공정설계를 하였으며, 이를 현장 적용 시 제품개발 비용과 시간절감의 효과가 기대된다.
2. 코터 냉간 단조에서 최대 성형하중은 약 1823N 으로 예측되며 0.2ton 이상의 작은 프레스 용량이 요구될 것으로 생각된다.
3. 금형강도 해석에서 단조 시 최대 발생응력은 펀치에 약 209MPa, 금형에 약 322MPa 로 고려된 소재 AISI H13 의 항복응력 1650MPa 에 약 1/5 정도로써 설계된 금형 및 펀치는 충분한 수명을 가질 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. T. Alton and H. J. Henning and A. M. Sabroff, "Forging Loads and Stresses in Closed-Die Forging: Part one", Battelle Memorial Institute, Construct DAAG 46-68-c-0111, 1968
2. T. Alton and R. J. Fiorentino, "Prediction of Load and Stress in closed Die forging", Trans. ASME. Journal of Eng. for Ind.. Series B, 477-484, 1971
3. A. A. K. AI-send, P. Hartley, C.E.N Struges and G. W. Rowe, "Finite Element Analysis of a Five Stage Cold Heading Process," J. Mech. Working Tech., Vol. 14, pp. 225, 1987
4. E. Doege, H. Nägele, "FE Simulation of the Precision Forging Process of Bevel Gear", Annals of the CIRP, Vol. 43, 241-244, 1994