

냉간포머 단조공정시 응력 집중 방지를 위한 금형분할에 관한 연구 A Study on the Split Die to Prevent Stress Concentration under Cold Former Forging Process

*정택우¹, #김상우¹, 이영선¹, 문영훈², 남중희³
* T. W. Jung¹, # S. W. Kim(kimsw@kims.re.kr)¹, Y. S. Lee¹, M. Y. Hoon², J. H. Nam³
¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²부산대학교, ³대창 엔프라

Key words : Cold Forging, Die Design, Split Die, FEM, Multi former

1. 서론

냉간단조(Cold Forging) 기술은 치수 정밀도와 표면 정도가 우수하며 높은 생산성으로 인해 대량 생산이 요구되는 기계 부품, 특히 자동차 부품에 많이 이용되고 있다. 그러나 냉간단조는 높은 압력하에서 작업하므로 금형 내부에 국부적으로 높은 응력이 발생 수 있으며 응력은 주로 단조에 의한 소재의 유동이 빈 공간을 메우는 시점에서 높게 발생한다. 이러한 응력 집중은 금형의 변형, 파손과 수명 단축의 요인으로 이를 해결하기 위해 금형설계(금형의 소재변경, 금형의 형상변경, 보강링 설계)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1~6]

본 연구에서는 자동차용 기계부품 중 하나인 피니언 플러그(Pinion Plug)를 제품의 냉간 포머 단조 공정시에 발생한 인서트(Insert) 금형의 파손 부위로 유한 요소 해석(FEM)을 통해 분석하고 그 결과를 바탕으로 인서트 금형의 응력 집중을 감소 시키기 위해 분할된 구조로 금형을 설계 하였다. 기존의 일체형 금형과 분할한 두 가지 금형 모델(Model)을 사용하여 제품 형상 및 금형 응력에 미치는 영향에 대해 해석을 통해 비교·분석함으로써 효과적인 금형 분할방법을 제시 하였다.

2. 금형 설계 및 유한요소해석

2.1 분할 금형 설계

피니언 플러그는 체결용 부품 중 하나로 부품의 돌출부에 육각형 형상으로 되어있으며 피니언 플러그 전체 성형 공정 중 연구 대상은 금형의 파손이 높은 육각형 돌출부 성형 공정이다. Fig. 1은 금형의 구조와 파손 부위를 나타내었다. 성형 공정은 상부 펀치(Punch)와 하부 금형사이에서 소재를 삽입한 후 하중을 가하는 방식으로 인서트 금형의 경우 4개로 분할 되어있으며 이 중 금형에 높은 하중이 가해지는 것은 Die2, Die3이다. 또한 이전 공정의 소재형상은 돌출부가 원통 형상으로 소재(Workpiece) 성형시 금형의 육각형 모서리 부분에 소재의 유동이 증가하여 결국 금형의 모서리 부분에 응력이 집중됨으로써 파손이 일어난 것으로 이를 해결하기 위해 원주 방향으로 생기는 응력을 반경 방향으로 분산 시킬 수 있는 구조로 금형을 설계 하였다.

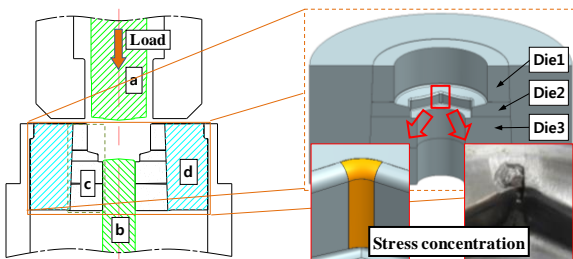


Fig. 1 Die-set for cold forging and die fracture part
(a) Punch, (b) Ejecting pin, (c) Insert die, (d) Stress ring

코너부위에 생긴 응력 집중을 감소시키기 위해 Fig. 1에 나타난 Die2과 Die3를 반경 방향(Case2)과 육각형 면에 평행한 방향(Case3)으로 분할 금형을 설계 하였다. 금형이 받는 하중에 의한 최대 주응력 방향을 예측하여 Fig. 2에 나타내었다.

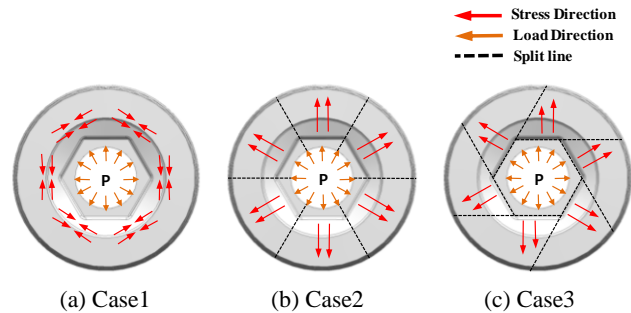


Fig. 2 Method of split die design

2.2 성형 해석

소재의 성형 해석 및 금형 응력 해석은 모든 금형을 강체(Rigid body)로 가정하여 해석한 뒤 금형의 응력 해석을 위해 추가적으로 금형을 탄성체로 가정하여 모델링 한 후 금형에 가해지는 내압을 부가하여 금형의 응력을 해석을 수행하였으며 상용유한요소해석 프로그램인 Deform 3D를 사용하였다. 압축실험을 통해 얻은 소재의 유동응력식과 성형 해석 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Condition for workpiece forging analysis

	Unit	Die(Insert)
Material	-	SWCH10A
Flow Stress	Mpa	$\sigma = 612.37(\epsilon + 0.05378)^{0.16438}$
Young's modulus	Gpa	205.8
Poisson's ratio	-	0.3
Shear friction factor	-	0.08

제품 성형 해석 결과 소재의 유동은 예측과 같이 모서리 부분으로 집중됨을 확인하였으며 성형 후 소재의 응력은 Max 867MPa로 Fig. 3과 같다.

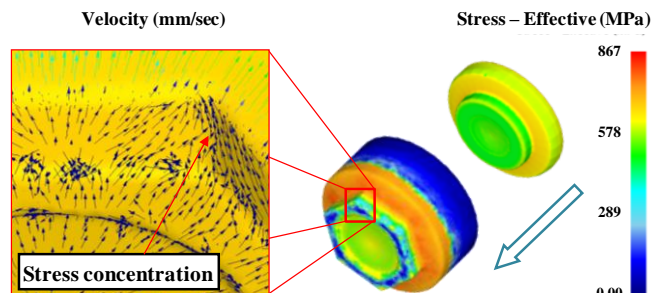


Fig. 3 Results of analysis (Velocity and Stress-Effective)

2.3 금형 응력 해석

금형 응력 해석은 전술한 바와 같이 금형을 탄성체로 가정하여 내압을 부가하여 금형 응력을 수행하였다. 해석 모델은 6면체 요소를 이용하였으며 요소 수는 모델 크기에 따라 5,000~10,000개 정도를 사용하였다. 해석 시간을 줄이기 위해 Case1(경계조건:양면)과 Case2(경계조건:한쪽면)는 1/12 모델을 이용하였다. Case3는 금형 구조 특성상 1/1 모델을 사용하였다. 해석에 사용된 금형의 물성치 및 입력 데이터는 Table 2와 같다.

Table 2 Analysis conditions for die stress analysis

	Unit	Die(Insert)	Die(Stress ring)
Material	-	WC	SKH55(51)
Young's modulus	GPa	576.2	201.7
Poisson's ratio	-	0.3	0.3
Shear friction factor	-	0.08	
Shrink fitting	-	0.002	

Fig. 4에 보는 바와 같이 해석 결과는 Case1의 경우 모서리 부분에 응력 집중이 발생하였으나 Case2, Case3의 경우 응력이 분산되어 응력 집중이 발생하지 않았다.

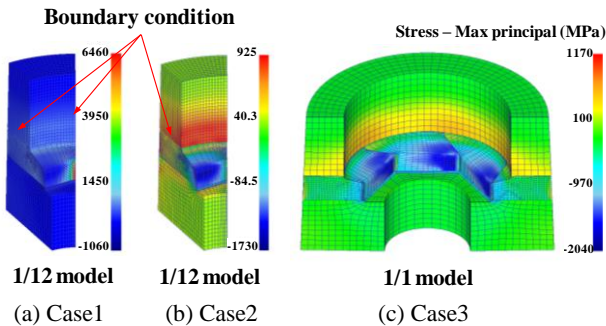


Fig. 4 Max principal stress distributions

3. 결과 및 분석

응력 집중 현상이 나타나는 Die2(육각형 성형부 금형)의 해석 결과를 바탕으로 Case1의 최대응력이 6280MPa 있었으나 Case2, Case3는 최대 응력이 400MPa 이하로 매우 낮은 수준임을 Fig. 5를 통해 알 수 있다. Case2, Case3의 경우 모서리부에 응력(압축응력)이 감소된 반면 평행 면에서 인장응력이 증가함을 보이나 금형 파손 및 응력 집중에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

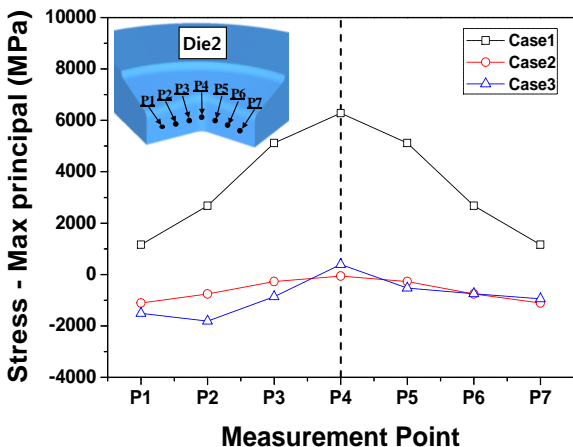


Fig. 5 Measurement result of Max principal stress in Die2

소재의 변형 해석과 금형 응력해석을 동시에 했을 경우 반경 방향 분할 금형의 경우 금형의 탄성 변형으로 인해 금형과 금형 사이에 틈이 생겨 버(Burr)가 발생되었으나 육각형 면에 평행하게 분할한 금형은 분할면을 따라 금형이 이동하여 버가 발생하지 않음을 확인하였다.

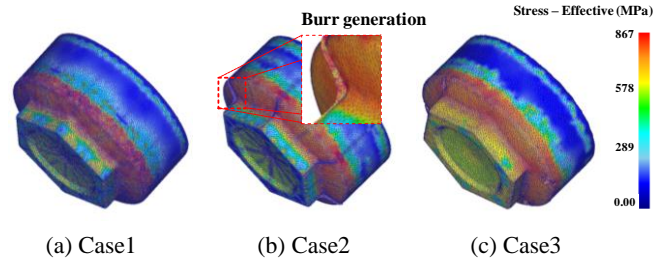


Fig. 6 Effective stress of forging analysis after die stress analysis

4. 결론

본 연구에서는 냉간 단조 공정에서 발생하는 금형의 응력 집중 현상을 방지하기 위해 분할 금형을 설계하여 유한 요소해석법을 통해 결과를 정량적으로 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 응력 집중이 발생하는 기존금형(Case1)에 비해 분할 금형(Case2, Case3)은 분할 경계면을 따라 응력이 분산되어 낮은 응력분포를 가지는 것을 확인 하였다.
- (2) Case2의 경우 소재 성형 해석시 금형에 응력 집중 현상은 발생하지 않았으나 분할면을 따라 버가 발생하였다.
- (3) Case3의 경우 금형에 응력 집중 및 분할면에(분할면을 따라 금형 이동) 따른 버의 발생이 없는 최적의 분할 방법으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 중소기업 기술혁신개발사업(과제명:비등방성 제품의 냉간단조 제조기술 개발)의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Lee. Y. S., Lee. D. K., Lee. J. H., "A Study on the Experimental and Theoretical Analysis About the Elastic of Die for Cold Forging", Journal of the Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 11, No. 2, 171-178, 2002.
- [2] Lee. Y. S., Choi. J., Lee. J. H., "The prediction of elastic deformation for cold forging die", 2nd JSTP International Seminar on Precision Forging, pp. 213-218, 2000.
- [3] Lee. H. Y., Yeo. H. T., Hur. K. D., "A Study on the Design of Cold Forging Die with Parted Notch", Journal of the Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 16, No. 6, pp. 452~456, 2007.
- [4] Park. C. W., Cho. C. S., Kim. C., Kim. Y. H., Choi. J. C., "Development of Expert System for Cold Forging of Axisymmetric Product", Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 9, 2004.
- [5] Conor McCormack, John Managhan, "A finite element analysis of cold-forging dies using two- and three-dimensional models", J. of Materials Processing Technology, 118, 286-292, 2001.
- [6] Hur. K. D., Choi. Y., Yeo. H. T., "The effect of Stress Ring for the Design of Precision Cold Forging Die", Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 12, 2004.