

분할된 노치형상을 고려한 냉간단조 금형 설계에 관한 연구

이효영¹, 여홍태², 허관도[#]

A Study on the Design of Cold Forging Die with Parted Notch

H. Y. Lee, H. T. Yeo, K. D. Hur

Abstract

Cold forging technology of a gear product is being interested in the dimensional accuracy, high stiffness and reduction of stress concentration. Especially it is needed to avoid the damage due to extremely high local pressure. Therefore it is important to ensure high pressure in die design. In this study, single die insert type and splitted die insert type are considered to recognize the notch effects in the die of sprocket forming. The stress concentration has been released at the notch area by the cushion effect in the splitted die insert.

Key Words : Cold Forging, Parted Notch, FEM, Sprocket

1. 서 론

기계적 성질 향상과 재료절감효과가 큰 냉간 단조공정은 고정밀도의 부품을 대량 생산하는데 많이 이용되고 있다. 그 중에서도 기어의 정밀 단조 기술은 제조비용 절감과 강도의 향상과 같은 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 다른 단조공정에 비해 높은 압력에서 작업하므로 냉간 단조용 금형은 내부 응력집중에 의한 변형이 생기기 쉽다. 특히, 정밀한 기어제품을 생산하기 위해 금형 설계에 있어 금형의 내면에 작용하는 정확한 압력을 측정하는 기술이 필요하므로 이와 관련된 연구들이 계속 진행되고 있다.

크랭크 샤프트에 연결되어 체인을 구동시키는 역할을 하는 스프로켓 부품은 냉간단조공정에 의해 1차 성형된 후 호빙가공 등에 의해 치형을 완성하게 된다. 이때 가공여유를 고려한 스프로켓 초기형상의 냉간단조공정시 냉간단조용 인서트

금형 내부에 국부적으로 높은 응력이 발생한다. 이러한 응력집중으로 금형의 변형과 파손이 발생되며 이를 방지하기 위해 금형설계에 관한 연구가 필요하다. 금형으로 치형을 완성하기 위해서는 높은 내압의 작용에 대해 금형의 인서트가 견딜 수 있어야 한다.

본 연구에서는 스프로켓(Sprocket) 및 기어에서 흔히 볼 수 있는 치형 성형용 금형의 인서트 내면에서 발생하는 응력집중현상을 감소시키는 방법에 관하여 연구하고자 한다. 스프로켓 성형에 필요한 공정을 유한요소해석을 통하여 분석하고 그 결과를 토대로 인서트에 작용하는 응력집중현상을 방지하기 위해 노치형상을 이용한 분할된 인서트를 도입하였다. 기존의 일체형 인서트 금형과 분할된 인서트 금형이 재료성형 과정에서 받는 영향 등을 해석적으로 접근하여 비교 평가하고자 한다.

1. 동의대학교 대학원

2. 원신스카이텍㈜

교신저자: 동의대학교, kdhur@deu.ac.kr

2. 실험조건 및 방법

2.1 실험의 개요

스프로켓은 크랭크 샤프트와 연결되어 체인에 동력을 전달하는 기능을 한다. 체인을 통하여 다른 부품에 정확한 회전을 전달하기 위해서는 각 치형의 정밀도가 높아야 하며 치형의 강도가 높아 파손에 안전하도록 설계/제작 되어야 한다. 이러한 점을 감안하여 단조공정으로 제품을 생산하고 이후 절삭 가공을 수행하여 최종적으로 정밀한 부품을 생산하는 방법을 고려하였다.

실험은 Fig. 1의 단조공정에 중점을 두어 제품 성형시 인서트 금형의 설계 방법에 따라 금형이 받는 영향을 평가하고자 한다.

스프로켓의 3차원 성형해석은 상용 강소성유한요소해석 코드인 DEFORM-3D를 이용하였으며 이때 금형에 발생하는 영향을 알아보기 위해 DEFORM-3D의 제품 성형해석값을 금형에 보간하는 방법을 사용하였다. 성형해석 후 제품의 표면에 걸리는 힘을 다시 하중 조건으로 바꾸어 금형의 구조해석에 적용한 것이다.

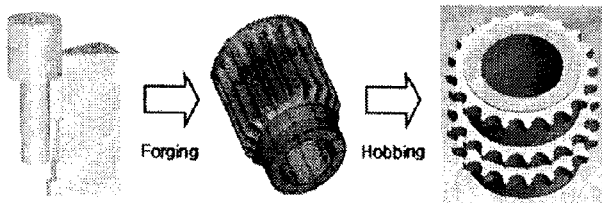


Fig. 1 Sprocket Crank Shaft working process

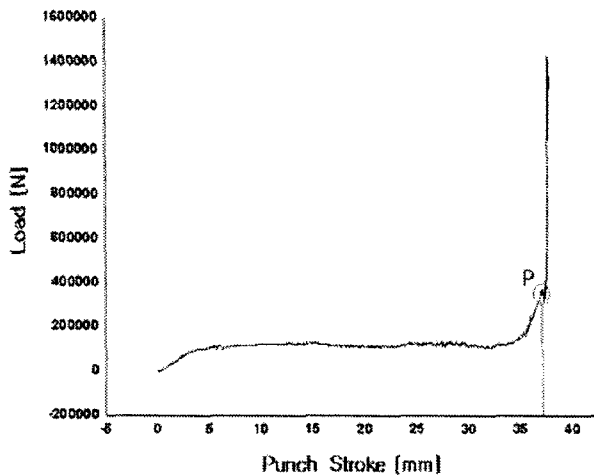


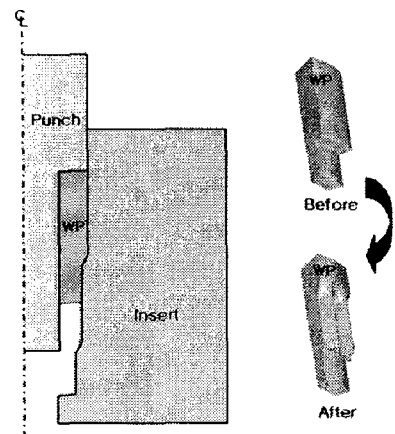
Fig. 2 Load-Punch stroke diagram

이때 밀폐단조 성형해석에서 캐비티의 완전한 채움 상태에서는 접촉면적의 증가로 인해 하중이 급격하게 상승하므로 해석상 모든 금형이 항복하게 된다. 따라서 하중이 급격하게 증가하는 완전 채움 이전 상태인 Fig. 2의 P 지점에서 성형해석값을 보간 하여 금형 구조해석에 적용하는 것으로 실험을 수행하였다.

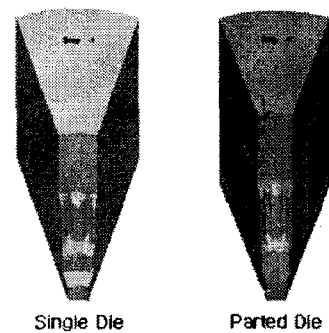
2.2 금형설계

해석에 사용되는 금형은 인서트 부분으로 일체형과 분할형의 두 가지로 구분된다. 일체형은 하나의 인서트구조로 이루어진다. 반면 분할형 금형은 인서트 부분이 세 부분으로 분할되어 있으며 외각에 보강링과 위/아래 부분에 고정용 다이틀 넣어 전체구조를 완성하였다.

Fig. 3에서 금형에 의한 제품의 성형모습과 해석에 사용되는 두 금형의 구조를 나타내고 있다.



(a) Configuration of model die



(b) Division of die

Fig. 3 Model and die used in experiment and FEM analysis

Table 1 Material properties of the die

	Mat.	HrC	E [MPa]	Sy [MPa]
Die insert	SKH9	65	220000	2450
Stress ring	SKD61	52	212000	1450

스프로켓은 회전 대칭이기 때문에 해석 시간을 줄이기 위하여 전체 형상의 1/10 의 모델을 해석에 사용하였다.

Table 1 은 해석에 사용된 스프로켓 냉간압출금형의 인서트와 보강링의 재료 물성치를 나타낸 것이다. 그 중 분할형 금형에서 보강링은 인서트와 $\phi 0.4$ mm 간섭되어 예압 과정을 설정한다.

3. 유한요소해석

Fig. 4 와 같이 스프로켓의 냉간단조시 치형 하부에서 변형이 증가하여 응력이 집중되었다. 금형의 구조해석은 이 부분을 중점으로 평가하였다.

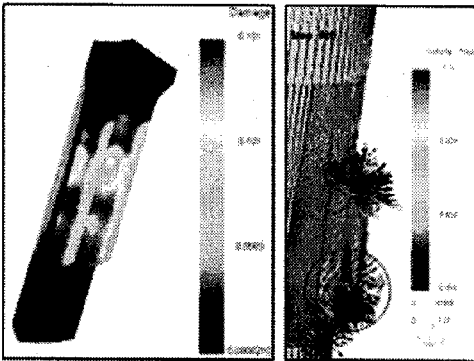


Fig. 4 Distribution of the Damage/Effective-strain by forging process

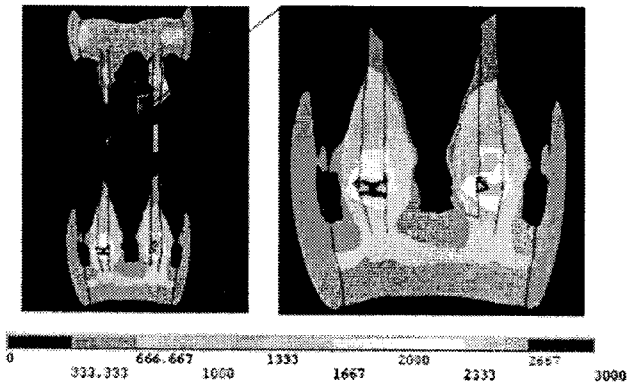


Fig. 5 Distribution of the Von-Mises Stress by the single die

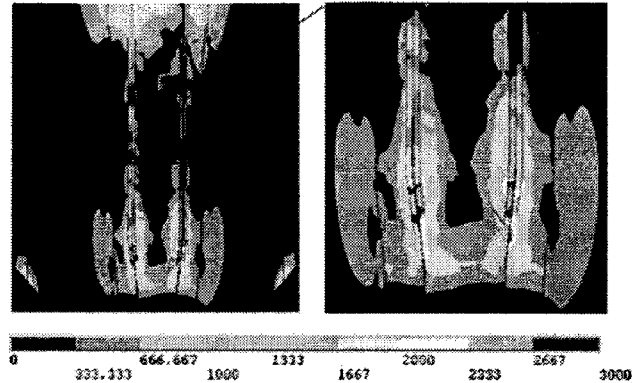


Fig. 6 Distribution of the Von-Mises Stress by the splitted die

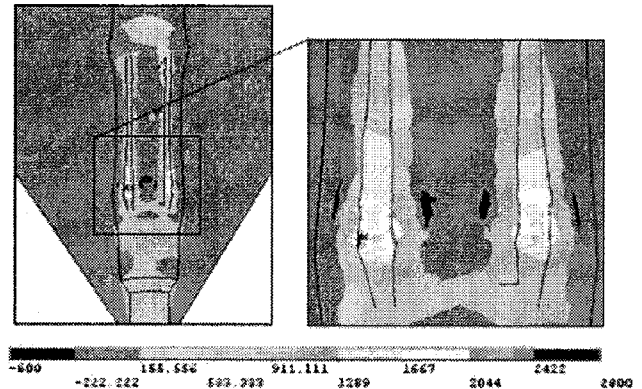


Fig. 7 Distribution of the 1st Principal Stress by the single die

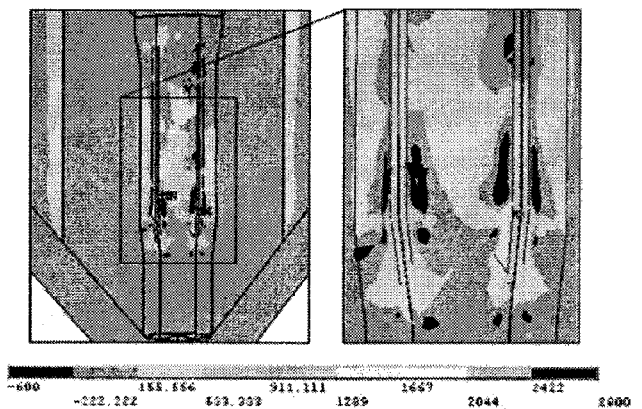


Fig. 8 Distribution of the 1st Principal Stress by the splitted die

3.1 일체형 금형을 이용한 구조해석

Fig. 5 는 일체형 다이의 구조 해석 결과이다. 응력집중이 예상되던 부분은 최대 3707MPa 의 등가 응력이 작용하였다. 그리고 일반적으로 모델이 외

부의 힘을 받을 때 파단의 직접적인 원인이 되는 주응력(Fig. 7)은 미세하지만 최대 2742MPa 로 나타났으며 압축과 인장이 금형에 모두 나타났다. 응력 집중부의 전반적인 주응력값은 2000MPa 을 넘지 않는다.

3.2 분할형 금형을 이용한 구조해석

Fig. 6 은 분할형 다이의 구조 해석 결과이다. 응력은 최대 3865MPa 이 작용하였고 주응력은 최대 2353MPa 로 나타났다. 전반적으로 일체형 금형구조보다 응력값이 높게 나타났지만 그 분포가 아주 국부적이며 전체적인 응력값은 더 낮게 나타난다(Fig 8). 응력 집중부의 주응력값은 1000MPa 을 넘지 않는 것으로 나타난다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 스프로킷(Sprocket) 및 기어에서 흔히 볼 수 있는 치형 성형용 금형의 인서트 내면에서 발생하는 응력집중으로 인한 금형의 변화를 해석적인 방법으로 비교하였다. 해석결과에서 측정되는 등가응력, 주응력의 크기가 두 금형의 설계방법에 따라 어떠한 경향을 보이는지 알아본 결과 노치형상의 구조를 이용한 분할형 금형은 일체형 구조를 가진 금형과 비슷한 응력값을 나타냈지만 한곳에 집중되었던 응력이 노치부를 만나면서 분산되어 전반적으로 일체형 구조의 금형보다 낮은 응력분포를 보였다. 그리고 해석결과에서 재료의 최대등가응력이 항복강도보다 높게 나타나지만 그 양이 아주 국부적으로 미세하며 후가공을 고려한 1 차 성형공정으로 이루어질 때 무시해도 된다고 판단된다.

이와 같이 노치형상을 이용한 냉간단조 성형공정 기술은 유사제품에도 적용 가능하며 생산비용의 낭비를 줄이고 품질향상에 우수한 효과를 나타낼 것이라 기대된다.

5. 결론

본 연구는 응력이 집중되는 부위에 노치형상을 이용한 인서트 금형의 분할구조를 채택하고 기존의 일체형 인서트 금형과 비교하여 설계에 따른 금형이 받는 영향을 해석적 방법을 통해 정량적으로 분석하였다. 일체형 구조에서 한곳에 집중적으로 나타난 높은 응력값은 분할구조의 노치형상에 의해 응력값이 분산되어 전반적으로 낮아진 것을 알수있었다. 이로인해 금형의 국부적 파손을 줄일 수 있으며 유사 제품에도 기술을 적용하여 관련산업 전반에 재료비 절감에 따른 높은 경쟁력을 가져다 줄 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지역산업기술지원사업으로 진행된 결과로서 이에 관계자 여러분께 감사드립니다

참 고 문 헌

- [1] K. Lange, 1985, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, Inc, pp. 15.80~15.90.
- [2] 허관도, 최영, 여홍태, 2001, 정밀 냉간단조 금형설계를 위한 보강링의 영향, 한국정밀공학회지, 제18권, 제12호, pp. 145~151.
- [3] 여홍태, 송요선, 최영, 허관도, 2002, 스트레인 게이지를 이용한 후방압출금형의 변형 측정에 관한 연구, 한국정밀공학회지, pp. 713~716.
- [4] DEFORM-3D Users's Manual, Version 5.0.
- [5] ANSYS Users's Manual, Revision 5.5