

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

(Received May 10, 2007)

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 reduce the high pressure in die design of cold forging. 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, Single Die, Splitted Die, Finite Element Method, Sprocket

1. 서 론

기계적 성질 향상과 재료절감효과가 큰 냉간단조(Cold Forging) 기술은 빠른 생산속도와 치수 공차 및 표면정도가 우수한 정형가공으로서 최근들어 기어 제작에 많이 이용되고 있다[1~5]. 특히 단류선의 끊김이 발생하는 치절기어와 비교하여 단조공정에 의한 단조기어는 단류선이 치형까지 이어지면서 기계적 성질이 향상된다[6]. 그러나 기어의 냉간단조 금형은 온간단조 및 열간단조의 경우보다 가혹한 하중조건에서 사용됨으로 금형의 손상이 우려된다. 이를 사전에 방지하기 위해 금형설계시 단조하중과 금형이 소재로부터 받는 압력을 예측하는 것이 매우 중요하다.

크랭크 샤프트에 연결되어 체인을 구동시키는 역할을 하는 스프로켓 부품은 기존의 절삭가공에서 강도 향상을 고려한 냉간단조공정에 의해 1차 성형한 후 호빙가공 등에 의해 치형을 완성하게

된다. 이때 가공여유를 고려한 스프로켓 초기형상의 냉간단조공정시 냉간단조용 인서트 금형 내부에 국부적으로 높은 응력이 발생한다. 응력은 주로 단조에 의한 소재의 유동이 치형부의 빈 공간을 메우는 시점에서 높게 발생한다. 이러한 응력 집중으로 금형의 변형과 파손이 발생되며 생산단계에서 제품의 가격을 상승시키는 요인으로 작용한다. 이를 방지하기 위해 응력집중을 고려한 금형설계에 관한 연구가 필요하다[7].

본 연구에서는 스프로켓(Sprocket) 및 기어에서 흔히 볼 수 있는 치형 성형용 금형의 인서트 내면에서 발생하는 응력집중 현상을 감소시키는 방법에 관하여 연구하고자 한다. 이를 위해 스프로켓 성형에 필요한 공정을 유한요소해석을 통하여 분석하고 그 결과를 바탕으로 성형과정에서 발생하는 금형 인서트에 작용하는 응력집중현상을 해결하기 위해 노치형상을 고려한 분할된 인서트 구조를 도입하였다.

기존의 스프로켓 제작에 사용되는 일반적인 구

1. 동의대학교 대학원

2. 원신스카이텍㈜

교신저자: 동의대학교, kdhur@deu.ac.kr

조인 일체형 인서트 금형과 그 금형을 분할한 두 가지 모델을 사용하였으며 분할된 금형은 스프로킷 전체 치형 중 하나의 치형에 대해 3 분할한 구조로서 재료의 압출성형 공정에서 받는 영향 등을 해석적으로 접근하여 비교 평가하였다.

2. 해석 모델

2.1 해석 모델의 접근

스프로킷은 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 및 제작 되어야 한다. 이러한 점을 고려하여 단조공정으로 예비 스프로킷 제품을 생산하고 이후 후절삭 가공을 수행하여 최종적으로 정밀한 부품을 생산하는 방법을 고려하였다.

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

스프로킷의 성형해석을 위해 상용 3D-CAD 로 제품을 모델링(modeling) 하였으며 강소성 유한요소법에 기반[8-9]을 둔 DEFORM-3D 를 사용하였다. 이때 금형에 발생하는 영향을 알아보기 위해 DEFORM-3D 의 제품 성형해석값을 금형에 보간하는 방법[10]을 사용하였다. 성형해석 후 제품의 표면에 걸리는 힘을 다시 하중 조건으로 바꾸어 금형의 구조해석에 적용한 것이다.

이때 밀폐단조 성형해석에서 캐비티의 완전한 채움 상태에서는 접촉면적의 증가로 인해 하중이 급격하게 상승하므로 해석상 모든 금형이 항복하게 된다. 위 그래프에서도 나타나듯이 해석단계 P 지점에서는 350kN 의 하중이 발생하지만 그 이후 1400kN 까지 급격하게 하중이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 하중이 급격하게 증가하는 완전 채움 이전 상태인 Fig. 2 의 P 지점에서 성형해석값을 보간 하여 금형의 구조해석에 적용하는 것으로 실험을 수행하였다.

2.2 금형설계

해석에 사용되는 금형은 인서트 부분으로 일체형과 분할형의 두 가지로 구분된다. 일체형은 하나의 인서트구조로 이루어진다. 반면 분할형 금형

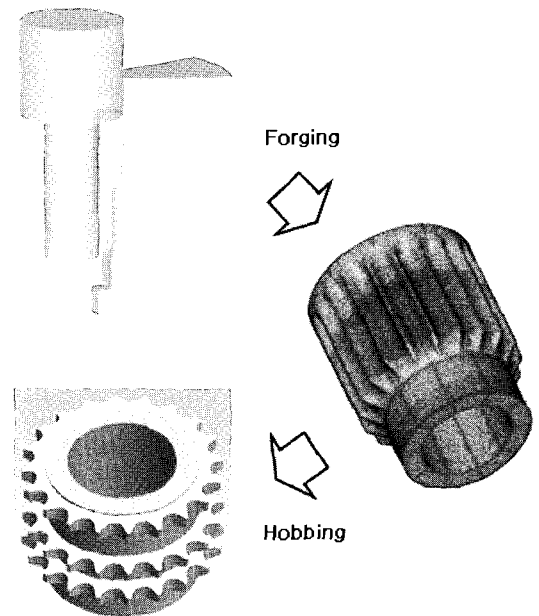


Fig. 1 Forging process of sprocket crank shaft

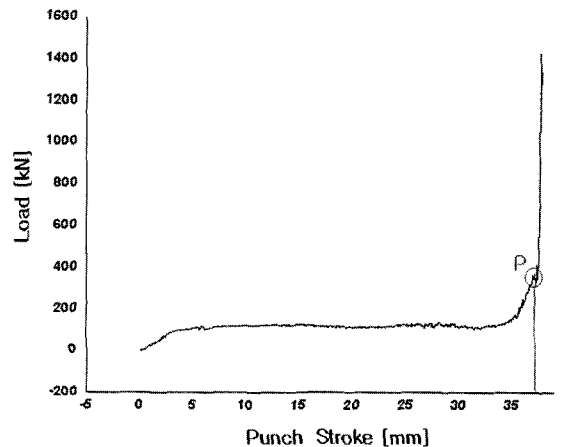
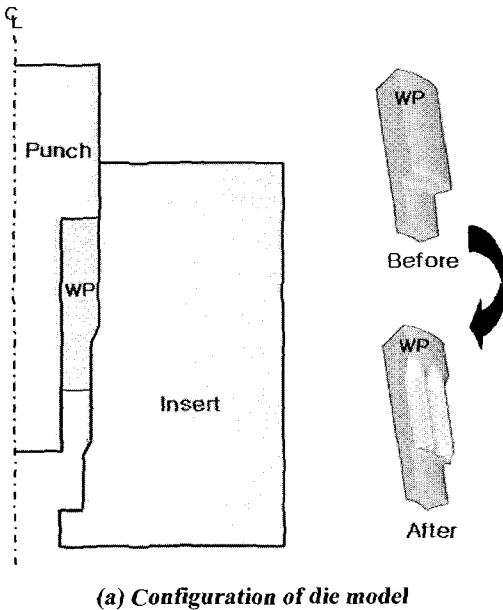


Fig. 2 Load-stroke diagram

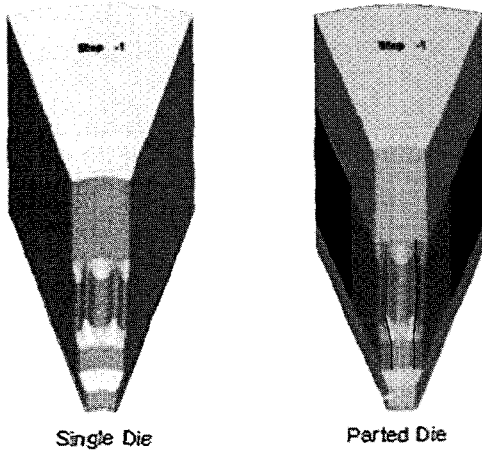
은 인서트의 한 개 치형을 중심으로 세 부분으로 분할되어 있으며 인서트 외각에 추가의 보강링과 위/아래 부분에 각각의 고정용 다이들 더해 전체 구조를 완성하였다.

Fig. 3에서 금형에 의한 소재의 성형모습과 해석에 사용된 두 금형의 구조를 나타내고 있다.

본 스프로킷은 회전 대칭이기 때문에 해석 시간을 줄이기 위하여 전체 형상의 1/10의 모델만을 사용하였다.



(a) Configuration of die model



(b) Two selected die models

Fig. 3 Die configurations used in experiment and FEM analysis

3. 유한요소해석

3.1 해석조건

Table 1은 해석에 사용된 스프로켓 냉간압출금형의 인서트와 보강링의 재료 물성치를 나타낸 것이다. 특히 분할형 금형에 사용된 보강링은 인서트와 $\varnothing 0.4\text{mm}$ 간섭을 설정하여 해석 시 금형에 먼저 예압을 걸어 인서트를 고정하도록 하였다.

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

해석결과 나타나는 contours value 는 두 모델의 범위를 같게 함으로써 두 결과값을 같은 조건에서 평가할 수 있도록 하였다[11].

3.2 일체형 금형을 이용한 구조해석

스프로켓의 형상을 이루는 인서트 금형 안쪽은 제품 성형해석시 최종단계에서 발생한 압력값을 그대로 해석조건으로 반영 하였다. 인서트 금형은 SKH9 를 사용하였으며 축대칭 해석을 하였다.

Table 1 Material properties of the die

	Mat.	HrC	E[MPa]	Sy[MPa]	v
Die insert	SKH9	65	220000	2450	0.3
Stress ring	SKD61	52	212000	1450	0.3

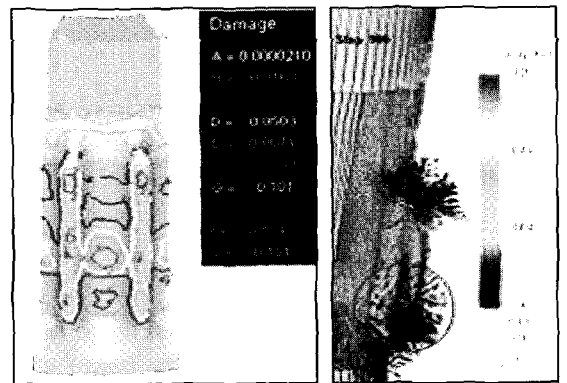


Fig. 4 Distributions of the Damage/Effective-strain by forging process

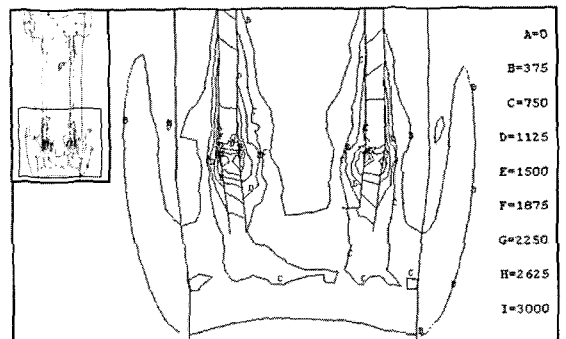


Fig. 5 Distribution of the von-Mises Stress in the single die

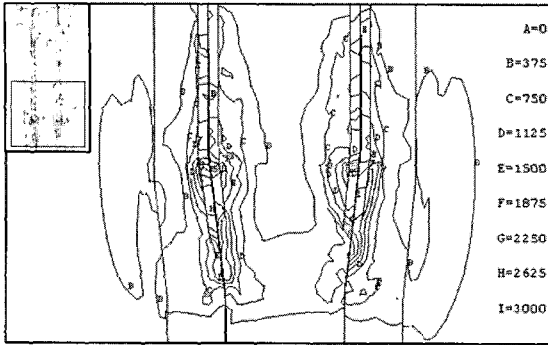


Fig. 6 Distribution of the von-Mises Stress in the splitted die

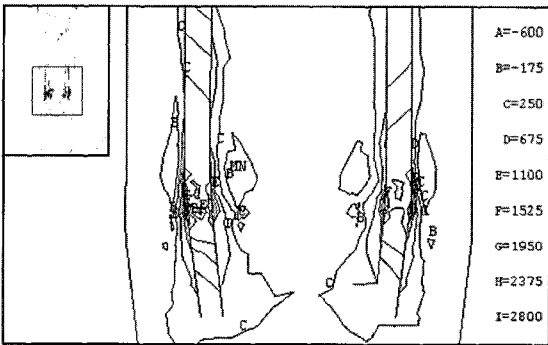


Fig. 7 Distribution of the 1st Principal Stress in the single die

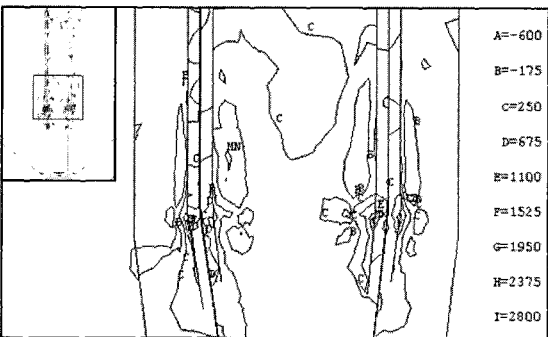


Fig. 8 Distribution of the 1st Principal Stress in the splitted die

3.3 분할형 금형을 이용한 구조해석

분할형 금형은 하나의 치형을 반경방향으로 3 부분으로 나눈 형상으로 각 다이와의 경계면은 면접촉 조건을 설정하고 바깥 경계면은 축대칭 조건을 설정하였다. 일체형금형 때와 같이 인서트부에 똑 같은 압력 조건을 설정하였으며 외가에서 인서트를 고정하고 있는 보강링은 인서트와의 간섭량을 조절함으로써 예압량을 결정하도록 하였다.

4. 결과 및 고찰

해석결과에서 측정되는 등가응력, 주응력의 크기가 두 금형의 설계방법에 따라 어떠한 경향을 보이는지 알아본 결과 노치형상에 분할형 구조를 적용한 금형의 응력은 최대 3865MPa이 작용하였고 일체형구조를 가진 금형은 이와 비슷한 응력값인 3707MPa의 등가응력이 작용하였다. 그리고 일반적으로 모델이 외부의 힘을 받을 때 파단의 직접적인 원인이 되는 주응력(Fig. 7)은 미세하지만 최대 2742MPa로 나타났으며 압축과 인장이 금형에 모두 나타났다. 응력 집중부의 전반적인 주응력값은 2000MPa을 넘지 않는다. 그리고 분할형 금형의 주응력은 최대 2353MPa로 나타났다. 전반적으로 일체형 금형 구조보다 응력값이 높게 나타났다지만 그 분포가 아주 국부적이며 전체적인 응력값은 더 낮게 나타난다(Fig 8). 응력 집중부의 주응력값은 1000MPa을 넘지 않는 것으로 나타난다. 이것은 한 곳에 집중되었던 응력이 금형의 분할된 경계면을 만나면서 분산되어 전반적으로 일체형 구조의 금형 보다 낮은 응력분포를 보인 것으로 판단된다. 그리고 해석결과에서 금형에 발생하는 최대등가응력이 항복강도보다 높게 나타나지만 그 양이 아주 국부적으로 미세하며 후 가공을 고려한 1차 성형공정임을 미루어볼 때 금형과 제품에 미치는 영향은 크지 않을 것이라 판단된다.

5. 결론

본 연구는 스프로켓(Sprocket) 및 기어의 치형 성형용 금형에서 단조공정 과정에 나타나는 인서트 금형 내면에 발생하는 응력집중에 관해 연구하였다. 일체형구조를 이루는 인서트 금형의 응력이 집중되는 노치부에 분할된 인서트 금형

Table 2 The result of FEM analysis

	Von-Mises [MPa]	1 st Principal Stress [MPa]
Single die	3707	2742
Splitted die	3865	2353

구조를 채택하고 기존의 일체형 인서트 금형과 비교하여 설계 방법에 따른 금형이 받는 영향을 유한요소해석법을 통해 정량적으로 분석하였다. 이상의 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 유한요소해석을 통해 치형 성형용 금형의 안전성을 판단하는 근거를 확보할 수 있었다.

(2) 일체형 금형구조에서 나타난 평균 2000MPa 높은 응력값은 분할구조에 의해 1000MPa 정도까지 낮아졌다. 이것으로 분할된 치형구조가 금형 내면에 작용하는 응력값에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

(3) 스프로킷 제작을 위한 금형 치형부의 국부적 파손을 줄일 수 있으며 유사 제품에도 기술을 적용하여 관련산업 전반에 재료비 절감에 따른 높은 경쟁력을 가져다 줄 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2005 학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2005AA148).

참 고 문 헌

- [1] F. Dohmann and O. Traudt, Metal Flow and Tool Stress in Cold Forging of Gear Components, Advanced Technology of Plasticity, Vol. II, pp. 1081~1089.
- [2] S. Fujikawa, H. Yoshioka and S. Shimamura, 1992, Cold-and Warm-Forging Applications in the Automotive Industry, Journal of Materials Processing Technology, 35, pp. 317~342.
- [3] I. Moriguchi, 1992, Cold Forging of Gear and Other Complex Shapes, Journal of Materials Processing Technology, 35, pp. 439~450.
- [4] 허관도, 최영, 여홍태, 2001, 정밀 냉간단조 금형설계를 위한 보강링의 영향, 한국정밀공학회지, 제18권, 제12호, pp. 145~151.
- [5] 여홍태, 송요선, 최영, 허관도, 2002, 스트레인 게이지를 이용한 후방압출금형의 변형 측정에 관한 연구, 한국정밀공학회지, pp. 713~716.
- [6] K. Lange, 1985, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, Inc, pp. 15.07~15.10.
- [7] 강경주, 박훈재, 윤주철, 김정, 강범수, 2004, 정밀정형 냉간단조 기어성형을 위한 소재처리와 다이설계, 한국소성가공학회 2004 춘계 학술대회 논문집, pp. 87~90.
- [8] C. C. Chen and S. Kobayashi, 1987, Rigid-Plastic Finite Element Analysis of Ring Compression, Application of Numerical Methods to Forming Process. ASME. AMD. Vol. 28, pp. 163~174.
- [9] S. Kobayashi, S. I. Oh and T. Altan, 1989, Metal Forming and the Finite-Element Method, Oxford University Press: Oxford, New York.
- [10] DEFORM-3D Users's Manual, Version 5.0.
- [11] ANSYS Users's Manual, Revision 5.5.