

배압성형을 이용한 냉간단조 헬리컬 기어의 치수정밀도 향상에 관한 연구

김홍석^{1#} · 정현철¹ · 이영선² · 강성훈² · 이일환³ · 최석탁³

A Study on Improvement of Dimensional Accuracy of Cold Forged Helical Gears using Back Pressure Forming

H. S. Kim, H. C. Jung, Y. S. Lee, S. H. Kang, I. H. Lee, S. T. Choi

Abstract

As important mechanical elements, gears have been used widely in power transferring systems such as automobile transmission and there have been several researches trying to make gear parts with cold or warm forging in order to reduce cost and time required to gear manufacturing process. Although forging processes of spur and bevel gears have been developed as practical level owing to active previous researches in Korea, the manufacturing of helical gear has been still depended on traditional gear cutting processes such as hobbing, deburring and shaving. In order to manufacture helical gears with cold forging process, a research project supported by government has been conducted by Daegu university, KIMS and TAK and this paper deals with effects of back pressure forming technique to cold forging of helical gear as a fundamental research.

Key Words : Helical Gear, Cold Forging Process, Dimensional Accuracy, Back Pressure Forming, Backup Die

1. 서 론

기어(Gear)는 서로 마주보는 치면의 상대 운동을 통하여 구동부에서 발생된 회전력의 전달 및 회전 속도와 회전 방향의 변화 등에 사용되는 핵심적인 기계 요소로서 물리적인 운동을 유발하는 장치의 부품으로서 광범위하게 사용되고 있다. 특히, 헬리컬 기어(Helical Gear)는 동일한 두께의 스피어기어(Spur Gear)에 비해 광폭의 치면이 접촉되기 때문에 보다 큰 회전력을 보다 정숙한 환경에서 전달할 수 있으며, 이러한 특성으로 인해 자동차의 변속기에 채용이 확대되고 있다.

절삭 가공을 통한 일반적인 기어의 제조 방식에서는 호빙(Hobbing)과 디버링(Deburring), 셰이빙

(Shaving)으로 이루어지는 치절가공으로 KS 4급 정도의 치형을 생성한 후 열처리와 연삭을 통하여 최종 제품을 가공하게 된다. 그러나, 치절가공에는 상당한 가공 시간 및 고가의 장비와 공구가 요구되기 때문에 단조를 통하여 기어를 성형하고자 하는 노력이 지난 수년간 활발히 이루어지고 있다[1-2]. 이러한 노력의 결과로 스피어기어와 베벨기어(Bevel Gear)에 대한 단조성형 기술은 현장 생산 수준으로 발전하였으나, 국내에서 헬리컬 기어에 대한 단조기술은 아직 충분히 확보되지 못한 상태이다.

본 연구에서는 직경 30mm 이하의 비교적 소구경 헬리컬 기어의 냉간단조성형을 최종 목표로 하며, 이를 위하여 전방압출 형태의 성형 방식을

1. 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소

3. ㈜티에이케이

교신저자: 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

E-mail: kimong@daegu.ac.kr

적용하고자 한다. 압출형 기어성형법은 펀치와 다이의 회전이 요구되지 않기 때문에 업세팅 방식에 비해 장비 구성이 용이하지만 소재의 유동을 적절하게 제어하지 못하면 요구되는 치형 정밀도를 확보할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 배압 성형기술(Back Pressure Forming)[3]의 적용을 통하여 치형 정밀도를 향상시키고자 하며, 본 논문에서는 이러한 연구의 기초로서 CAE 해석을 통하여 배압력의 적용이 헬리컬 기어의 치형 정밀도에 미치는 효과를 고찰하고자 한다.

2. 단순모델을 이용한 배압 효과 분석

2.1 2차원 단순모델 구성

최종적으로 고찰하고자 하는 제품은 헬리컬 피니언으로서 잇수 9개, 헬리컬각 26°의 3차원 형상이며, 제품의 형상 특성 상 전방압출 형식의 성형공정이 적합한 것으로 판단되었다. 그러나 헬리컬 기어의 경우 스퍼기어나 베벨기어와는 달리 대칭해석이 어렵기 때문에 성형공정의 3차원 해석에는 상당한 시간이 소요된다[4]. 따라서, 본 연구에서는 압출공정에서 배압성형의 효과 분석 및 배압 조건의 설정을 위하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 해석 모델과 조건으로 해석을 수행하였다.

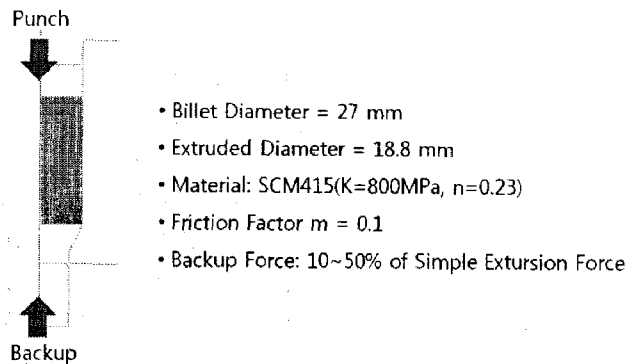


Fig. 1 Analysis model and conditions of forward extrusion with backup force

2.2 배압효과 분석

전술한 바와 같은 해석 조건에서 배압을 사용하지 않았을 경우 얻어진 단순 전방압출 공정의 성형하중은 정상상태에서 약 38 ton 이었다. 배압력의 크기에 따른 영향을 분석하기 위하여 배압

펀치에 가해지는 하중을 압출하중의 10%부터 50%까지 10% 단위로 변화시켜가며 해석을 수행하였다.

Fig. 2에는 펀치의 스트로크가 30mm일 때, 배압력을 가하지 않은 경우와 배압력이 전방압출 하중의 20%와 50%인 경우의 유효응력분포를 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 배압력을 가하지 않았을 경우 압출 성형된 부위에는 별도의 응력이 발생하지 않지만 배압력이 커질수록 배압 펀치에 의해 높은 응력이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 한편, 그림에 나타내지 않은 배압력 10%와 30%, 40%의 경우에도 배압력이 증가할수록 압출 금형을 벗어난 성형부위의 유효응력이 커짐을 확인할 수 있었다.

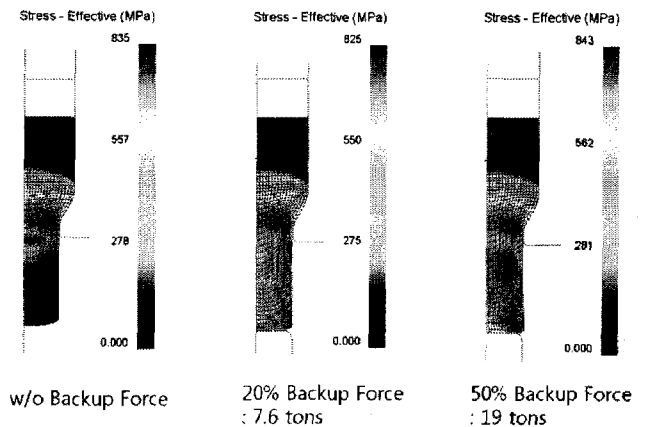


Fig. 2 Distributions of effective stress with and without backup force

Fig. 3에는 반경방향 응력분포를 나타내었는데, 배압력이 증가할수록 압출부위의 압축응력이 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향을 통하여 성형품의 길이 방향으로 작용되는 배압력에 의해 반경 방향으로의 소재 유동이 유발되고 있으며, 기어 금형의 경우 배압성형에 의해 치형 부위의 소재 채움이 향상될 수 있음을 유추할 수 있었다. 그러나, 배압력이 커질수록 금형에 작용하는 응력이 증가하기 때문에 금형의 수명에는 불리한 조건으로 작용될 것으로 판단된다. 또한, 성형 후 압출 부위의 직경이 배압력 20%와 50%의 경우 각각 최대 0.06mm와 0.18mm

증가하는 것을 관찰할 수 있는데, 기어 금형의 경우 배압력이 클수록 치형의 소재 채움은 향상되지만 금형 수명과 제품 정밀도의 측면에서 적절한 배압력의 설정이 요구됨을 확인할 수 있었다.

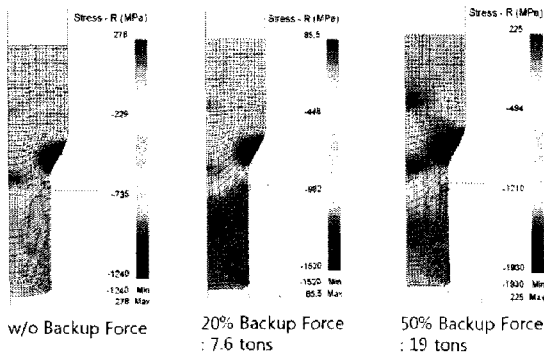


Fig. 3 Distributions of radial stress with and without backup force

3. 헬리컬 기어의 배압성형

3.1 헬리컬 기어의 일반 압출성형

목표 제품은 헬리컬 피니언으로서 피치원 지름 16.956mm, 압력각 20°, 치두께 3.435mm로 구성되는 9개의 기어치가 26°의 헬리컬 각도를 이루며 오른손 방향으로 회전한다. 초기소재의 지름은 27mm이며, 전절에서와 같이 마찰계수 0.1의 조건에서 SCM415를 소재로 사용하였다.

배압을 사용하지 않았을 경우의 변형 형상과 내부의 유효응력분포를 Fig. 4에 나타내었다. 외관상 금형면을 따라 헬리컬 기어가 원활하게 성형된 것처럼 보이지만 압출 후 성형 단부에서 소재의 채움이 충분치 않음을 확인할 수 있었으며, 압출형 금형을 통과한 후에는 유효응력이 거의 발생하지 않고 있음을 알 수 있었다.

3.2 헬리컬 기어 배압성형

헬리컬 기어의 배압성형 방식도 Fig. 1에 나타난 개략 모델과 동일한 단계로 수행되었다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 성형의 시작 단계에서 배압 펀치는 금형의 바닥면과 동일 선상에 위치하며, 압출된 소재가 금형에서 노출되어 배압 펀치와 접촉될 때부터 배압이 작용한다. 성형 초기에 배압 펀치의 위치를 다이 하단부로 설정한 이유는 배

압이 과도할 경우 배압 펀치와 헬리컬 금형 사이의 틈새로 소재가 빠져나와 배압 펀치의 원활한 작동을 방해할 수 있으며 공차가 충분치 못할 경우 배압 펀치의 탄성 변형으로 헬리컬 다이에 손상을 줄 수 있기 때문이다.

배압 미적용 시 CAE 해석을 통하여 얻은 성형 하중은 약 56.8 ton으로서 2차원 단순모델 결과를 고려하면 5 ~ 20 ton 정도의 배압이 고려 가능한 것으로 판단되었다. 따라서 배압 펀치에 작용하는 하중을 5, 10, 15, 20 ton으로 설정하여 해석을 수행하였다. Fig. 6에 배압력이 10, 15, 20 ton의 경우에 얻어진 유효응력 분포를 나타내었는데, 배압력을 가하지 않은 Fig. 4의 유효응력 분포와 비교하면 배압력이 커질수록 압출 후 성형부의 유효응력이 증가함을 알 수 있었다.

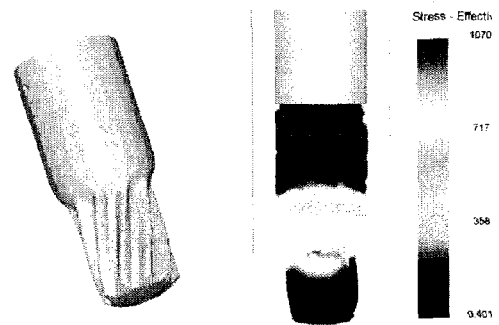


Fig. 4 The deformed geometry and effective stress obtained by CAE analysis of gear extrusion without backup force

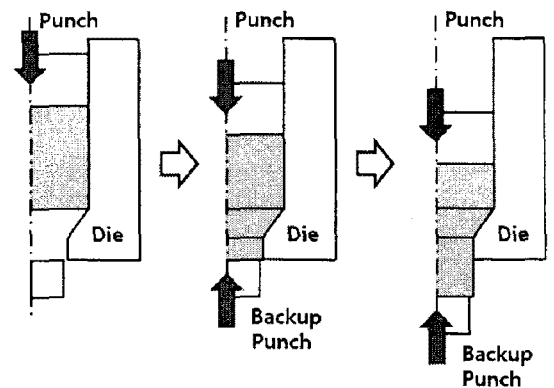


Fig. 5 The schematic diagram of helical gear extrusion with backup punch

Fig. 7에는 각 배압력에 대해 얻어진 해석 모델에 대하여 금형과 접촉하고 있는 요소를 나타내었는데, 짙은 색으로 표시된 부분이 금형과 접촉되고 있는 요소로서 소재와 금형 간의 접촉면이 충분해야 원하는 형상정밀도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 7에 나타낸 소재와 금형 간의 접촉 경향을 고찰하면 배압력이 증가할수록 기어 성형 부위에서 접촉 면적이 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

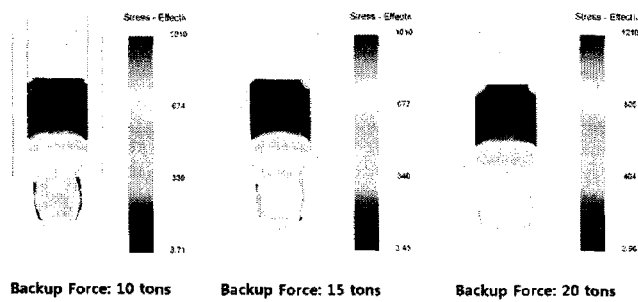


Fig. 6 Effective stress distributions obtained by CAE analyses of backup pressure method

4. 결 론

본 논문에서는 헬리컬 기어의 압출형 냉간단조 공정 개발을 위한 기초로서 배압성형법이 헬리컬 기어의 성형에 미치는 영향을 고찰하였다.

(1) 전방압출 형태의 성형공정에서 성형 후 소재에 배압력을 가할 경우 압출 금형의 성형부에서 반경방향의 응력이 증가하여 소재의 채움성이 향상될 수 있다.

(2) 배압력이 너무 클 경우 성형 후 기어 부위에 횡방향 변형이 증가하여 형상 정밀도가 떨어질 수 있다.

(3) 헬리컬 기어의 경우 스퍼기어와는 달리 배압 펀치에서 작용되는 배압력이 직접 전달되지 않기 때문에 단순 원통형 배압 펀치만으로는 충분한 형상정밀도를 확보하기 어렵다

후 기

본 연구는 지식경제부의 지역전략기획기술개발사업의 일환인 ‘차세대 변속기 구동부품 무선삭정밀제조기술 개발’의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 박종진, 이정환, 1993, 냉간단조에 의한 기어제작 연구, 대한기계학회지, 제33권, 제3호, pp. 213~222.
- [2] 권용철, 이정환, 이춘만, 이영선, 2007, 스퍼기어의 제조공정에 따른 치수변화와 잔류응력에 관한 연구, 2007, 한국소성가공학회지, 제16권, 제8호, pp. 575~581.
- [3] 권용철, 이정환, 이영선, T. Ishikawa, 2008, 배압성형기술을 이용한 Lock-up Hub의 정형제조 기술에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제17권, 제2호, pp. 124~129.
- [4] Y. B. Park, J. H. Yoon, D. Y. Yang, 1994, Finite element analysis of steady-state three-dimensional helical extrusion of twisted sections using recurrent boundary conditions, Int. J. Mech. Sci., Vol. 36, pp. 137~148.

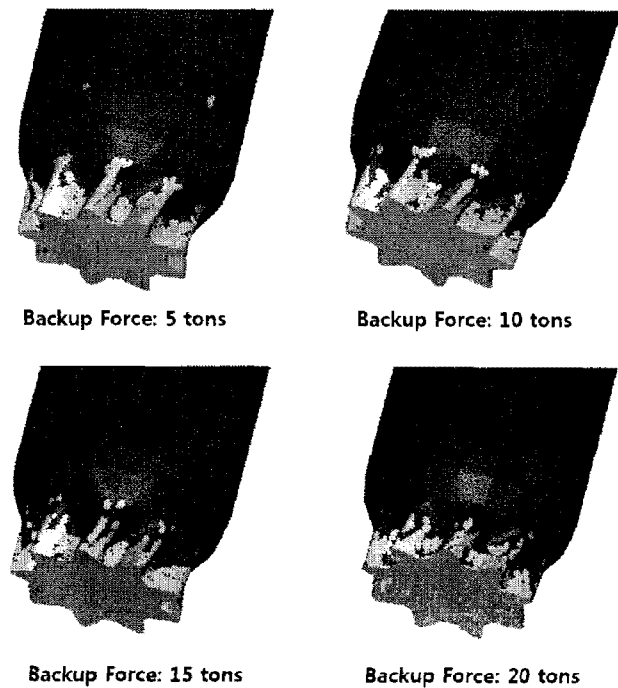


Fig. 7 The contact elements predicted by CAE analyses with backup force