

무결함 CAM 타입 디프케이스 양산화를 위한 스플라인 정밀성형공법에 관한 연구

The Research of Net Shape Forming Process for a Diff. Case of Cam Type

*#김동환¹, 황상호¹, 김말철², 안치규², 김문경³, 김병민⁴

*D. H. Kim(dhkim@iuk.ac.kr)¹, S. H. Hwang¹, M. C. Kim², C. K. An², M. K. Kim³, B. M. Kim⁴
¹ 한국국제대학교 기계자동차공학부, ² 일광금속, ³ 창원전문대학 자동차기계학부, ⁴ 부산대학교 기계공학부

Key words : Diff. Case, Cam, Preform design, Optimal design, Cold forging, FE-simulation

1. 서론

차동기어 (Differential Gear)장치라 함은 2 개의 사이드 기어와 2 개의 피니언 기어가 세트로 사용되는 베벨 기어 (Bevel Gear)식을 가리키지만, 현재 일본에서는 차동기어 성능향상을 위하여 캠(CAM) 방식 개발이 진행되고 있으며, 특히, 4륜 구동 오토바이 장착용 캠 타입 차동기어장치를 개발 및 적용하고 있다. 본 연구의 개발 대상 제품은 4륜 구동 오토바이 장착용 캠 타입 차동 기어 장치의 핵심 부품인 디프케이스(Diff. Case)이다. 4륜 구동 오토바이 장착용 및 RV 차종의 캠 타입 디프케이스 조립사진을 Fig. 1 에 나타내었다.

기존의 디프케이스 생산방식을 살펴보면 먼저, 주물제조(스플라인 없음), 선삭가공, 베벨기어조립 생산하는 베벨기어 타입과 열간단조, 선삭가공, 브로치, 용접공정 순으로 생산하는 방식이 있다. 캠 타입 디프케이스의 경우 스플라인 기어를 기계 가공에 의하여 가공한 제품의 정도는 우수하나, 강도 및 내구성이 떨어지고, 제조 원가가 상승하는 문제점이 있다. 따라서 차동기어 장치용 캠 타입 디프케이스의 제품 정밀도 향상 및 제조 원가 절감을 위해서는 고정도 냉간단조 성형, 즉 준 정형 가공(Net Shape Forming)기술이 요구되며, 이를 위해서는 소재 유동에 대한 정확한 파악 및 그 유동을 제어할 수 있는 기술이 필요하다. 특히 냉간단조 공정의 생산성 향상 및 제조원가 절감을 위해서는 프레스 양산화 기술이 절실히 요구된다.

냉간단조 공정에서는 성형하중 감소가 금형수명과 생산성에 큰 영향을 끼친다. 성형 하중을 줄이기 위하여 공정을 분배하여 성형하는 것이 대세이며, 새로운 성형 공법의 개발을 통하여 성형 하중과 공정수를 줄일 수 있다면 생산성 향상 및 제조 원가 절감에 상당한 효과를 보일 것이라 사료된다. 자동차 부품에 적용 가능한 고강도, 무결함 캠 타입 디프케이스 정밀 냉간 성형공법 개발을 위해서는 열간단조 및 선삭가공 후 기계가공을 적용하는 제품에 대한 결함 최소화 기술이 요구된다. 현재 열간 및 냉간 단조 적용 시 치면 측면부 미세 흑피 발생 및 바닥 구석부 치내, 외경부 살 말림 현상 등이 발생하고 있으며, 윤활제 밀림 현상 발생하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 무결함 스플라인 정밀성형공법 및 실험적, 해석적 연구로부터 디프케이스 양산 프레스 기술을 개발하고자 한다.

본 연구의 대상은 4륜 구동 오토바이 장착용 캠 타입 디프케이스이며, 기존의 열간, 냉간 단조품 및 최종 가공품을 Fig. 2 에 나타내었다.



Fig. 1 Application of diff. case of cam type – UNIVACE co.



(a)Hot forging (b) Cold forging (c) Final part
 Fig. 2 Diff. case of cam type for 4WD auto bicycle

2. 디프케이스 성형해석

디프케이스 성형해석을 위하여, 먼저 디프케이스 재료 (S35C)에 대하여 인장시험과 마찰시험을 수행하였다. 인장 시험은 MTS 장비를 이용하여 온도범위 900°C~1200°C 및 냉간에서 수행하여 응력-변형률의 관계식을 얻었으며, 링 압축시험 및 마찰시험선도로부터 마찰특성을 평가하였다.

본 연구의 목적은 정밀 냉간단조 공법에 의하여 디프케이스 스플라인 기어를 생산하는 방식으로 변경하는데 있다. 먼저, 열간 공정도 및 부품도로부터 스플라인 디프케이스의 정확한 체적을 계산하여야 한다. 3D 설계를 통한 열간 단조품의 계산된 체적은 Fig. 3 에 나타낸 바와 같이 267.367mm³였다.

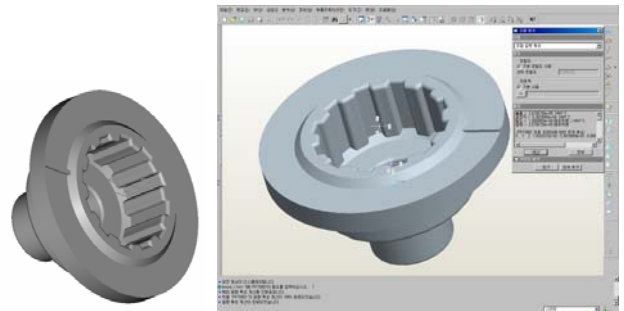


Fig. 3 Hot forged shape and 3D modeling for calculation of volume

열간단조공정의 예비성형체(perform)로부터 초기형상을 결정 하기 위한 절차를 Fig. 4 에 나타내었다. 먼저 계산된 열간단조품의 체적으로부터 예비성형체 형상 즉, Fig. 4(b)의 z 를 결정하게 된다. 계산된 z 의 길이는 38.8mm 이다. 이외의 다른 치수는 열간 단조품의 형상으로부터 고정된 치수이며, 초기형상은 성형가능범위에서 결정되어야 하는데, 해석을 통하여 Fig. 4(a)의 x 치수를 최대 85 ~ 60 mm 범위로 해석을 수행한 결과 x 부가 85mm 인 경우 소재의 미충만 부분이 발생하였고, x 부가 60 인 경우에는 소재의 좌굴, 겹침 등의 결함이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 소재 결함이 없고 하중이 비교적 작도록 설계하기 위하여 신경망 해석을 통하여 예측된 80mm 로 하여 예비성형체 해석을 수행하였다.¹ 열간 예비성형공정에 대한 성형해석결과를 Fig. 5(a)에 나타내었다. 여기서 알 수 있는 것은 Fig. 4 의 1 차 형상의 x 부를 80mm 와 높이 53mm 로 하여 해석을 한 경우에 초기에 목표한 것과 같이 2 차 공정의 z 부

길이 38.8mm 로 맞출 수 있었으며, 이 결과로부터 열간 성형을 수행하였고 Fig. 5(b)와 같이 형상적인 측면에서는 약간의 플래시가 발생함을 알 수 있었으나, 원하는 스플라인 치형 형상이 제대로 성형됨을 확인 할 수 있었다.

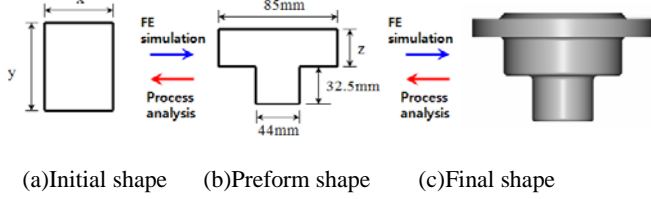


Fig. 4 Procedure for design of initial shape in hot forging process

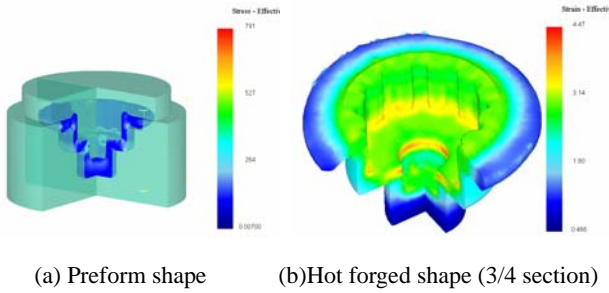


Fig. 5 Effective strain distribution in hot forging process

냉간 공정에서 스플라인부 금속유동을 평가하기 위하여 먼저 금형 형상에 대한 3D 모델링을 수행하였고, 스플라인부 냉간 성형해석결과를 Fig. 6 에 나타내었다. 현장의 냉간 단조도를 토대로 해석을 수행한 결과 스플라인 치형 끝 단부의 응력이 다소 과다함을 알 수 있고, 치형의 형상이 불완전함을 볼 수 있다. 그리고 최종 응력분포를 보면 플래시 부에서 소재가 과다하게 유출되고 이로 인한 금형의 하중이 급격하게 상승한다. 따라서 금형의 재설계 및 냉간 단조도의 수정이 요구된다.

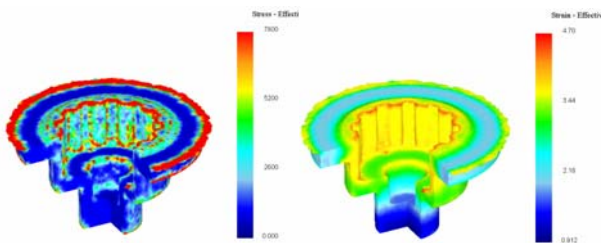


Fig. 6 FE-simulation of cold forging for conventional condition

3. 디프케이스 성형실험 및 분석

디프케이스 프레스 양산화를 위해서는 불완전 성형부 및 스플라인 부의 치형 형상 결함 방지 성형기술이 요구된다. 디프케이스 성형실험에서 발생하는 결함을 Fig. 7 에 나타내었다. 열간단조, 냉간단조 및 내경 선삭 공정을 검토해본 결과 냉간 사이징 공정의 스플라인 성형불량(Fig. 7(a), (b)) 및 스플라인 치수확인이 어렵고, 윤활제 밀림 현상이 나타났으며 치면의 스크래치 또한 문제시 되고 있다(Fig. 7(c)). 또한 치형의 금속유동을 확인한 결과 바닥부의 접힘 결함(Fig. 7(d), (e))과 냉간 펀치 절손(Fig. 7(f))이 발생하였다.

4. 디프케이스 냉간단조 공정설계

냉간단조 성형해석으로부터 스플라인 부는 안쪽과 바깥쪽 사이징이 동시에 이루어지며, 최종 부품의 체적계산 및 부적절한 금속유동으로 사이징 최종 단계에서 소재가 완전한 치형을 갖지 못하는 불완전 성형이 발생한다.

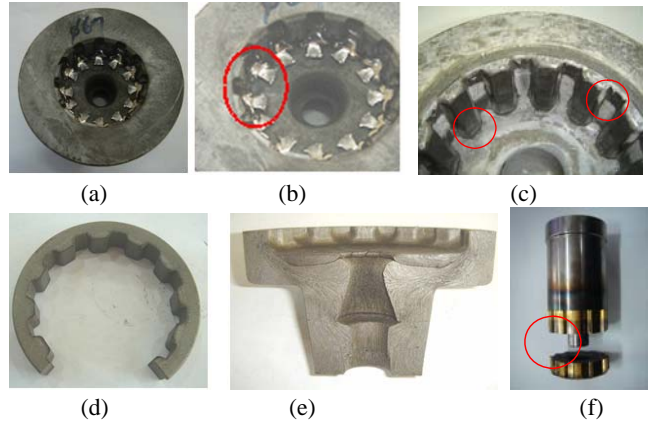


Fig. 7 Defects of diff. case in experiments of forging process

본 연구에서는 치폭, 치폭 밑단 그리고 곡률을 변수로 하여 실험계획법을 이용한 신경망해석을 수행하였다. 여러 가지 경우가 수가 많기 때문에 실제 현장 적용 가능한 범위에서 해석계획을 수립하였으며, 변수 조합에 따라 해석을 수행하였다. 신경망 해석을 통하여 결정된 설계변수조합은 Fig. 8(a)에 나타낸 바와 같이 치폭의 길이는 7.63mm 이며, 치폭 밑단 길이는 8.03mm 그리고 곡률은 0.3mm 로 선정되었으며, 이 변수조합으로 해석을 수행하여 형상 및 응력 분포를 Fig. 8(b), 실험결과를 Fig. 9 에 나타내었다.

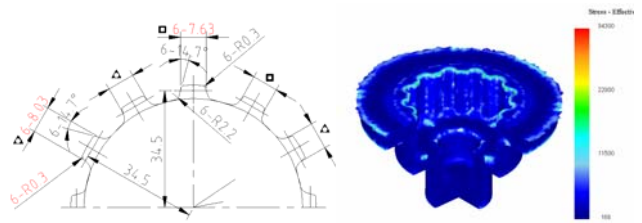


Fig. 8 FE-simulation for selected condition by ANN



Fig. 9 Verification for selected condition

5. 결론

본 연구에서는 캠 타입 디프케이스의 무결함 성형기술 개발을 위하여 스플라인 정밀성형 및 결함방지를 위한 열간 및 냉간단조 공정설계방법을 연구하였다. 본 연구로부터 결함 최소화 방안을 해석 및 실험으로부터 제시하였으며, 향후 고수명, 고강도 금형설계를 통한 프레스 양산화 기술개발에 적용되어야 할 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부의 2006 년도 지역산업기술개발사업 중 "공통기술개발사업"의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- Kim, D. H., Kim, B. M., "Preform Design of the Bevel Gear for the Warm Forging using Artificial Neural Network," Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 20, No. 7, pp.36-43, 2003