

정밀냉간단조 기술을 적용한 자동차 액추에이터용 스퍼기어 부품개발

박동환^{1,*}, 한성철²

Development of Spur Gear Parts for Automotive Actuators using Precision Cold Forging Technology

D. H. Park and S. C. Han

(Received October 14, 2023 / Revised November 20, 2023 / Accepted November 21, 2023)

Abstract

Spur Gear parts for automobile actuators using existing former forging technology were produced in a total of three processes on a former forging machine. However, in order to improve cost increase due to frequent mold breakage, Spur Gear parts were designed and manufactured in the cold forging process after forming the preform through former forging. In other words, in the existing former forging mold, product seating defects occurred due to horizontal movement, resulting in many product defects and mold damage, so there was an urgent need to improve mold life and product defects. In order to improve this, we tried to improve the mold life by improving the existing 3 former forging processes to a former forging process and 2 cold forging processes. Therefore, We developed Spur Gear parts for automobile actuators were developed by applying precision cold forging technology through a former forging process and 2 cold forging processes to improve mold life.

Keywords : Spur gear parts, Automotive actuators, Precision cold forging, Mold life, Cost reduction

1. 서 론

액추에이터(actuator)는 전기나 유압, 압축 공기 등을 이용하는 원동 구동장치를 두루 일컫는 용어로, 일반적으로 전류, 작동 유압 형태의 에너지원으로 작동하며 이 에너지를 여러 종류의 움직임으로 변환한다. 즉, 전기적 신호를 빛, 소리, 힘 등 물리적 변화로 바꿔주는 기계 장치를 말하며, 작동기 또는 작동장치라고도 한다. 이러한 액추에이터의 역할은 유압 실린더나 유압 모터와 같이 물리적인 힘을 기계적으로 변환시키는 기기로 DC모터, 워 기어, 워 휠, 휠 기어, 마그네틱 클러치와 리밋 스위치 등으

로 이루어져 있다.

자동차 액추에이터용 스퍼기어 부품은 액추에이터 내측에 위치하는 부품으로써 전륜 구동에서 사륜 구동의 변속모드로 전환시켜 주는 역할을 한다. 이러한 스퍼기어 부품은 정밀 복합 치형을 가지는 부품으로 원가절감과 제품 수명향상이 요구되는 부품이다.

일반적으로 대량생산을 위해 스퍼기어 부품은 냉간단조 기술, 열냉간 복합단조 기술, 포머단조와 냉간단조를 복합한 정밀냉간단조 기술 등을 적용하여 제작한다. 냉간단조 기술은 상온에서 실시하는 단조 가공을 말하며, 금속은 단조 시에 소성변형으로 인해 조직 내부에서 전위가 이동할 여지가 제한되므로 경도와 강도가 증가되는 반면 전연성은 저하된다[1-10].

열냉간 복합단조 기술은 열간단조 후 냉간단조

1. 경북하이브리드부품연구원, 수석연구원

2. 한성산업, 대표

#Corresponding Author: Gyeongbuk Hybrid Technology Institute,

E-mail: pdh@ghi.re.kr (Dong-Hwan Park),

ORCID: 0000-0003-4745-9604

공정을 적용한다. 열간단조 공정은 제품의 외관과 치수정밀도가 떨어지므로 열간 공정 후 냉간 공정으로 성형하여 원가절감과 정밀도가 우수한 제품을 얻을 수 있다. 즉, 열냉간 복합단조 부품은 냉간 공정만으로 작업 시에 금형 파손으로 인하여 원가상승과 품질 저하 문제가 빈번히 발생하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 열냉간 단조기술을 적용한다 [11-13].

기존에 포머단조 기술을 적용한 자동차 액추에이터용 스퍼기어 부품은 포머 단조기에서 총 3공정으로 스퍼기어 부품을 생산하고 있으나, 금형 파손이 잦아 원가상승 요인이 되었다. 이를 개선하기 위하여 예비성형체를 포머단조로 제작하여 냉간단조 공정에서 스퍼기어 부품을 제작하도록 설계하였다. 즉, 기존 포머단조 공정만으로 작업 시 금형 파손으로 인하여 원가 상승과 품질 저하 문제가 빈번히 발생하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 포머단조와 냉간단조를 복합한 정밀냉간단조 기술을 적용하였다[14].

본 연구는 정밀냉간단조 기술을 적용한 자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품을 개발하는 것으로 기존 금형 수명 문제가 발생하여 금형 교체와 원가상승으로 품질 문제가 대두되고 있어, 이를 포머단조 1공정과 냉간단조 2공정으로 개선하여 금형 수명 문제를 해결하고 원가절감을 도모하였다. 즉, 기존 포머단조 금형은 수평 이동으로 인한 제품 안착 불량 발생하여 제품 불량률이 다수 발생하고, 금형 파손이 발생하여 금형 수명향상과 제품 불량 개선이 시급한 실정이었다. 이를 개선하기 위하여 기존 포머단조 3공정에서 포머단조 1공정과 냉간단조 2공정으로 개선하여 금형 수명을 향상하고자 하였다.

2. 금형 실험

2.1 소재 물성 시험

Spur Gear 부품에 대한 성형해석을 위하여 압축시험을 수행하여 기계적 성질을 확인하였다. 시험에 사용된 소재는 SWRCH18A이며, 시험편은 Fig. 1과 같이 원기둥 모양으로 지름 10mm, 높이 15mm로 와이어 커팅 가공하여 제작하였다. 압축시험은 100톤 만능재료시험기(UTM)에서 시험속도 2mm/min로 소재 압하율 60% (9mm)까지 압축하여 수행하였다. Fig. 2는 압축시험 장비를 보여주고, Fig. 3은 압축시험 전

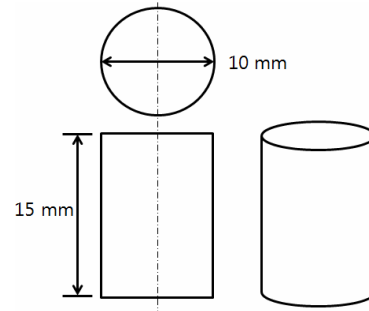


Fig. 1 Test specimen size



Fig. 2 Experimental equipment for compression test



Fig. 3 Test specimens of before and after compression test

후의 시편을 보여준다. Fig. 4는 SWRCH18A 소재 압축 과정을 공칭 응력과 공칭 변형률 선도, 진응력과 진변형률 선도로 나타내었으며, 확보된 데이터는 성형해석의 소재 물성으로 적용하였다.

2.2 Spur Gear 금형 설계 및 제작

냉간단조 공정의 특징은 단조 프레스에서 포머단조 공정과 마찬가지로 큰 변형을 주어 성형하는 것으로 가공 면이 평활하고, 후가공이 필요 없어 재료 회수율이 좋다. 또한, 제품의 치수정밀도가 우수하며 가공경화에 의한 기계적 성질이 향상된다. 이러한 정밀냉간단조 성형기술을 적용하여 자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품을 개발하기 위하여 최적의

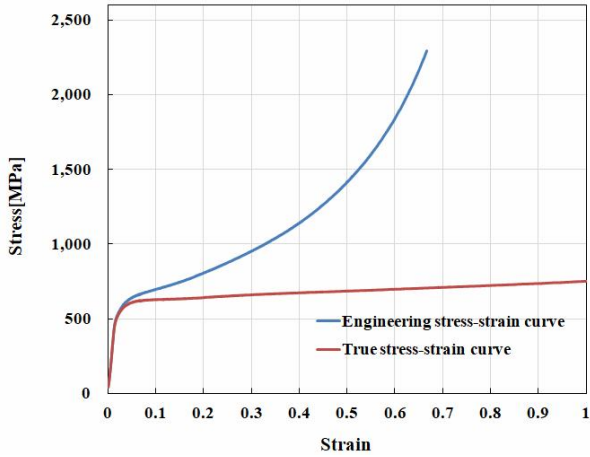


Fig. 4 Stress-strain curve of the compression test for SWRCH18A

Table 1 Process sequence of Spur Gear die

Process	Before improvement	After improvement
1	1 st Former forging	1 st Former forging
2	2 nd Former forging	1 st Cold forging
3	3 rd Former forging	2 nd Cold forging

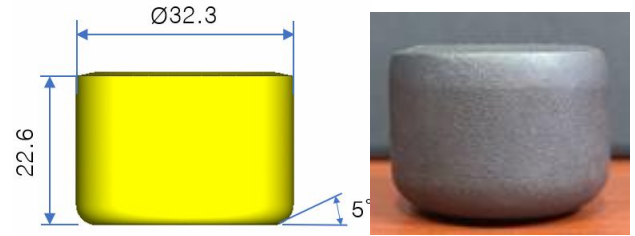


Fig. 6 1st former forging(preform shape) product of Spur Gear



Fig. 5 Spur Gear parts of automotive actuators

공정을 설계하였다. 단조 공정수의 결정은 단조품의 형상과 단면 변화 정도에 따라 결정되며, 형상이 복잡하고 단면 변화가 심한 경우에도 가능한 공정수를 적게 설계하는 것이 좋으며, 공정수가 증가하면 금형 제작비용 상승으로 원가절감이 어렵다.

Fig. 5는 자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품을 보여준다. 기존 Spur Gear 부품은 포머단조 금형에서 주요 부품인 펀치와 다이 파손이 잦아 금형 파손에 의한 제품 불량 발생하므로 금형수명 향상과 제품 불량 개선이 시급한 실정으로 이를 개선하기 위하여 정밀냉간단조 기술을 적용하여 최적의 공정을 설계 제작하였다.

본 Spur Gear 부품 공정은 총 3공정으로 1공정 포머단조, 2공정 1차 냉간단조, 3공정 2차 냉간단조 공정 순으로 설계하였다. Table 1은 Spur Gear 금형의 공정 순서를 보여준다. 1공정 포머단조 공정은 Fig. 6과 같이 예비성형체를 $\varnothing 32.3 \times 22.6\text{mm}$ 로 설계하였다.

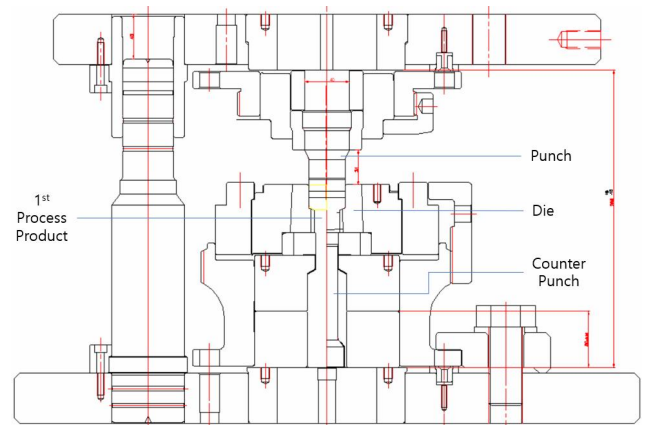


Fig. 7 1st cold forging die design of Spur Gear

1공정 포머단조 공정은 냉간단조 성형을 위한 예비성형체를 제작하는 공정으로 선재를 포머 단조기에서 절단하여 라운드(round) 작업을 하는 공정이다. 즉, 1공정 포머단조 공정은 1차 냉간단조 공정의 다이에 삽입하기 쉽게 한쪽을 가공하는 공정이다. Fig. 7은 1차 냉간단조 금형 조립도를 보여주고, Fig. 8은 2차 냉간단조 금형 조립도를 보여준다. 1차 냉간단조 공정은 스퍼기어를 성형하는 공정이며, 2차 냉간단조 공정은 최종 스퍼기어를 사이징하는 공정이다. 1차 냉간단조 금형의 펀치는 고속도공구강(SKH51), 다이는 초경합금을 사용하고, 2차 냉간단조 금형의 펀치는 고속도공구강(SKH55), 다이는 초경합금을 열박음하여 제작하였다.

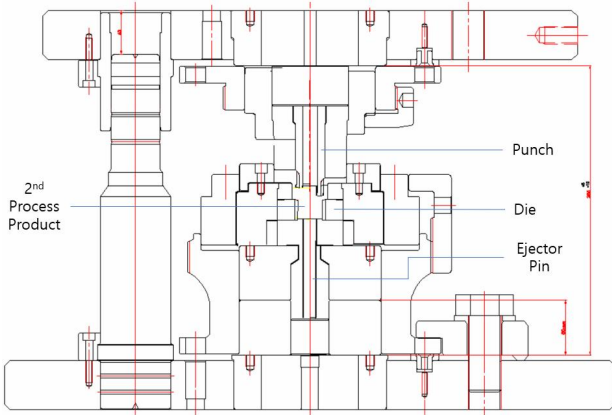


Fig. 8 2nd cold forging die design of Spur Gear

Table 2 Simulation conditions of cold forging

Plastic material	SWRCH18A
Preform size	Ø32.3×22.6mm
Material temperature	20℃
Die temperature	20℃
Friction coefficient	0.05, 0.1, 0.15, 0.2
Velocity	1 st cold forging : 46.67mm/sec 2 nd cold forging : 23.33mm/sec
Press capacity	1 st cold forging : 400ton 2 nd cold forging : 400ton

3. 성형해석

Spur Gear 부품 생산을 위해 공정 설계를 진행하여 원소재 절단 후 1공정 포머단조, 2공정 1차 냉간단조, 3공정 2차 냉간단조 등으로 제품을 완성할 수 있도록 공정 설계하였다. 즉, 1공정 포머단조 후에 소둔, 쇼트, 윤활 처리를 실시하고, 2공정 1차 냉간단조 성형 후에 쇼트, 윤활 처리를 실시하여 최종적으로 3공정 2차 냉간단조 성형을 실시하도록 공정 설계하였다. 1공정 포머단조 공정은 예비성형체를 제작하는 공정이므로 성형해석을 수행하지 않았으나, 2공정 1차 냉간단조 공정과 3공정 2차 냉간단조 공정은 단조 성형해석을 수행하였다. 3D CAD S/W를 활용하여 Spur Gear 부품과 금형을 3차원으로 모델링하고, simufact forming S/W를 활용하여 Spur Gear 금형의 단조 성형해석을 수행하였다. 단조 성형해석을 위해 SWRCH18A 소재의 압축시험 데이터를 기계적 소재물성으로 입력하였다. Table 2는 단조 성형해석 조건을 보여준다. 피가공 소재는 소성체(plastic

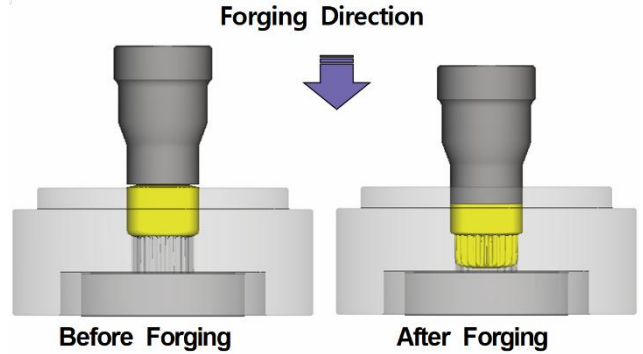


Fig. 9 3D model before and after 1st cold forging

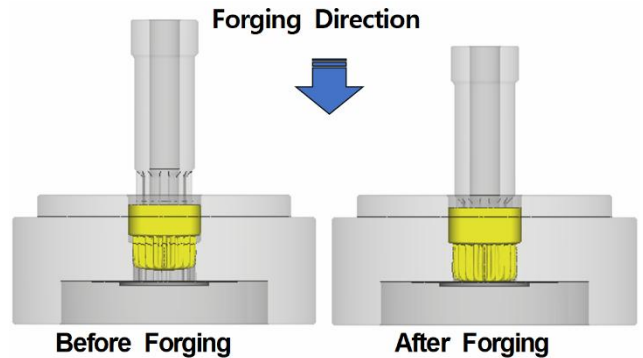
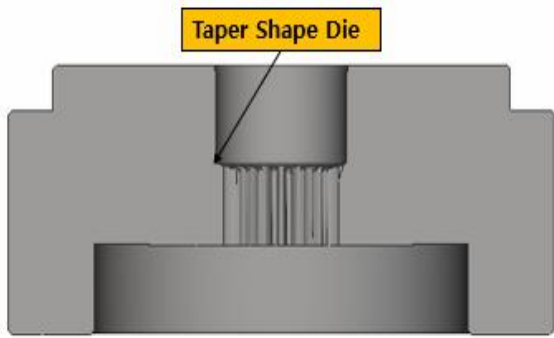


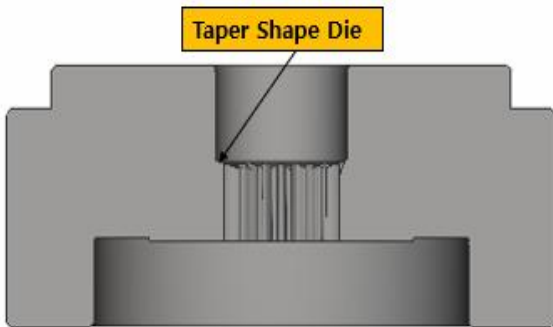
Fig. 10 3D model before and after 2nd cold forging

material)로 펀치와 다이는 강체(rigid body)로 가정하여 강소성 유한요소해석을 수행하였다. 냉간단조 시 공정별 마찰계수를 0.05, 0.1, 0.15, 0.2로 구분하여 단조 성형해석을 수행하였다. 단조 프레스의 성형 속도는 2공정 1차 냉간단조에서 46.47mm/sec, 3공정 2차 냉간단조에서 23.33mm/sec으로 적용하였다.

Fig. 9는 2공정 1차 냉간단조 공정 전후의 3D 모델을 보여주고, Fig. 10은 3공정 2차 냉간단조 공정 전후의 3D 모델을 보여준다. 1공정 포머단조 공정에서 제작한 예비성형체를 2공정 1차 냉간단조 금형의 다이에 삽입하도록 공정을 설계하였다. 냉간단조 성형해석은 2공정 1차 냉간단조 금형에서 테이퍼 형상 다이와 직각 형상 다이 등 2가지로 실시하고, 3공정 2차 냉간단조 금형에서 테이퍼 형상 다이와 직각 형상 다이 등 2가지로 실시하였다. Fig. 11은 냉간단조 공정의 3D 모델을 보여준다. 여기서 Fig. 11(a)는 2공정 1차 냉간단조 금형에서 테이퍼 형상 다이의 3D 모델을 보여주고, Fig. 11(b)는 3공정 2차 냉간단조 금형에서 테이퍼 형상 다이의 3D 모델을 보여준다.



(a) Taper shape die of 1st cold forging

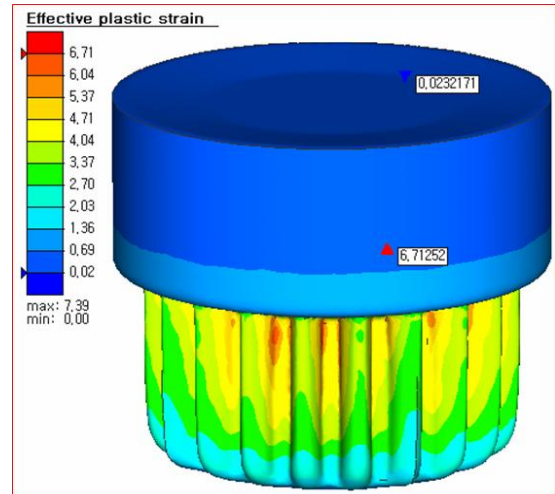


(b) Taper shape die of 2nd cold forging

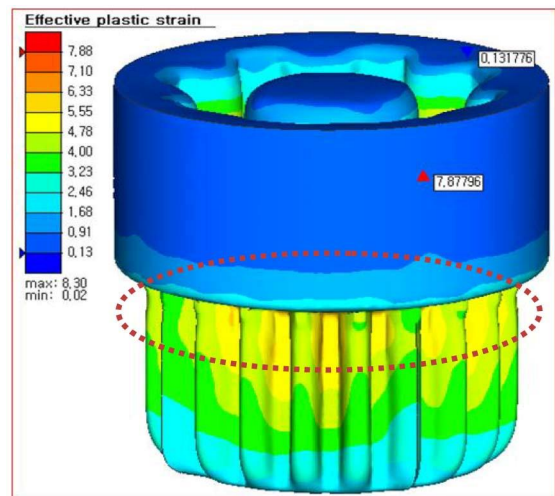
Fig. 11 3D model of cold forging die

Fig. 12는 마찰계수 0.05일 때 냉간단조 공정의 유효 소성 변형률을 보여주고, Fig. 13은 등가응력을 보여준다. 냉간단조 성형해석 결과를 보면, 1차 냉간단조 공정과 2차 냉간단조 공정에서 테이퍼 형상 다이의 경우에 결육 발생이 예측되었다. Fig. 14는 냉간단조 공정의 3D 모델을 보여준다. 여기서 Fig. 14(a)는 2공정 1차 냉간단조 금형에서 테이퍼 형상 다이의 3D 모델을 보여주고, Fig. 14(b)는 3공정 2차 냉간단조 금형에서 직각 형상 다이의 3D 모델을 보여준다. Fig. 15는 마찰계수 0.05일 때 냉간단조 공정의 유효 소성 변형률을 보여주고, Fig. 16은 등가응력을 보여준다. 1차 냉간단조 공정에서 테이퍼 형상 다이이며, 2차 냉간단조 공정에서 직각 형상 다이의 경우에 결육 발생이 예측되지 않았다.

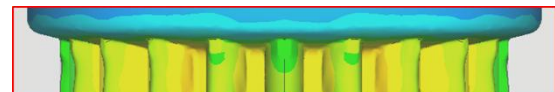
Fig. 17은 냉간단조 성형해석 결과로 마찰계수에 따른 최대하중을 보여준다. 마찰계수 변화에 따라 최대하중 변화를 확인한 결과 마찰계수 0.05일 때 1차 냉간단조 공정에서 80ton, 0.1일 때 83ton, 0.15일 때 86ton, 0.2일 때 88ton이고, 2차 냉간단조 공정에서 68ton, 0.1일 때 71ton, 0.15일 때 74ton, 0.2일 때 76ton 등으로 나타나 마찰계수 증가에 따라 최대하중도 증



(a) Taper shape die of 1st cold forging



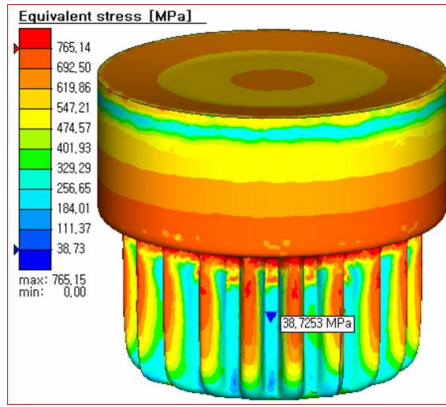
(b) Taper shape die of 2nd cold forging



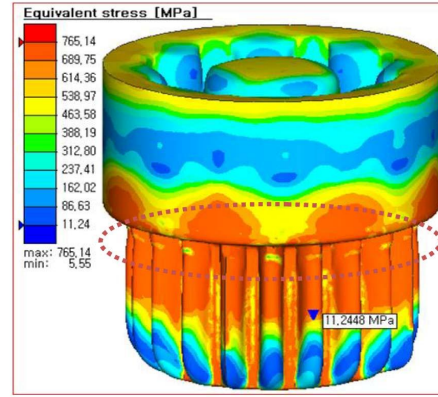
(c) Underfill occurrence in the taper shape die of 2nd cold forging

Fig. 12 Effective plastic strain of cold forging at friction coefficient 0.05

가함을 알 수 있다. 일반적으로 마찰계수는 윤활일 경우 냉간단조에서 0.05에서 0.2 정도로 평가된다. 마찰계수에 따라 냉간단조 제품의 형상 차이가 거의 없었으며, 1차 냉간단조 공정에서 테이퍼 형상 다이이며, 2차 냉간단조 공정에서 직각 형상 다이의 경우에 결육 발생이 예측되지 않았으며, 실제 사용된 프레스 기준으로 적용이 가능한 것으로 판단된다.



(a) Taper shape die of 1st cold forging

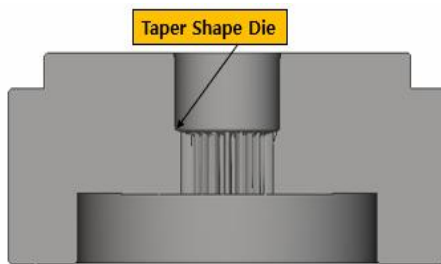


(b) Taper shape die of 2nd cold forging

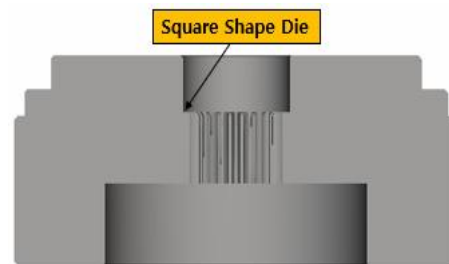


(c) Underfill occurrence in the taper shape die of 2nd cold forging

Fig. 13 Equivalent stress of cold forging at friction coefficient 0.05

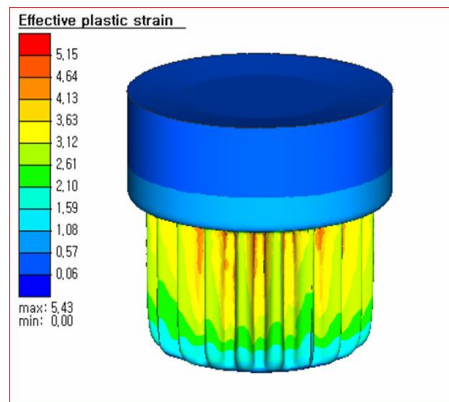


(a) Taper shape die of 1st cold forging

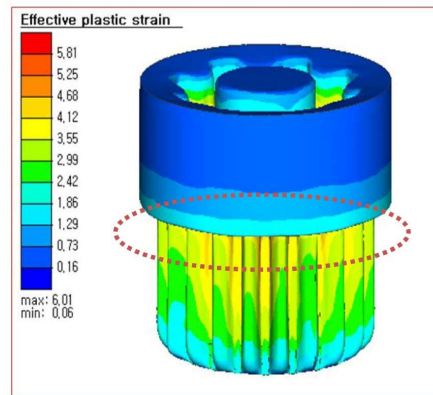


(b) Square shape die of 2nd cold forging

Fig. 14 3D model of cold forging die



(a) Taper shape die of 1st cold forging

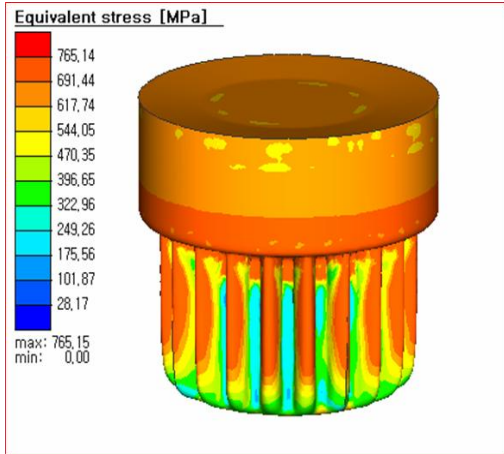


(b) Square shape die of 2nd cold forging

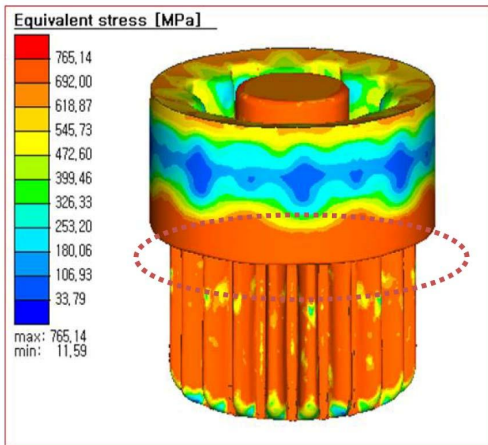


(c) No underfill in the square shape die of 2nd cold forging

Fig. 15 Effective plastic strain of cold forging at friction coefficient 0.05



(a) Taper shape die of 1st cold forging



(b) Square shape die of 2nd cold forging



(c) No underfill in the square shape die of 2nd cold forging

Fig. 16 Equivalent stress of cold forging at friction coefficient 0.05

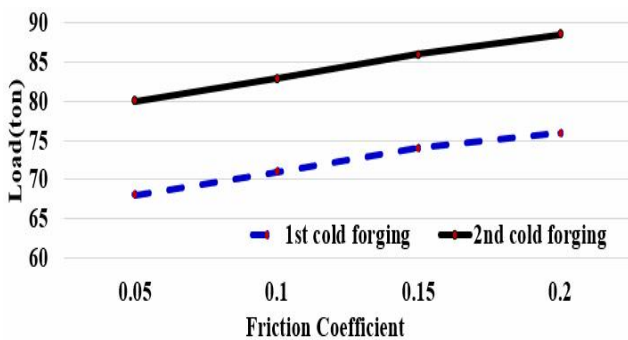


Fig. 17 Load change according to friction coefficient

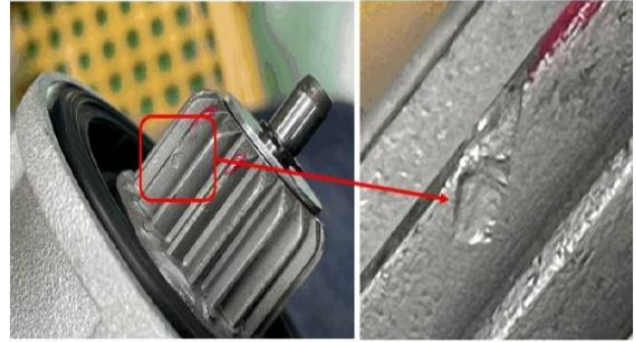


Fig. 18 Underfill defect of Spur Gear product



Fig. 19 1st cold forging product of Spur Gear

4. 결과 및 고찰

자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품의 금형 수명 향상을 위해 SWRCH18A 환봉 소재를 절단하여 1차 포머단조에서 예비성형체를 제작하여 1차 냉간단조, 2차 냉간단조 공정 순으로 공정 설계하고 금형을 설계 제작하여 시제품을 생산하였다. Fig. 18은 스퍼기어 냉간단조 제품에서 결육 발생 부위를 보여준다. 최종 공정인 3공정 2차 냉간단조 공정에서 직각 형상 다이를 적용하여 제작한 결과 단조 성형해석 결과와 마찬가지로 결육이 발생하지 않았다. 즉, 3공정 2차 냉간단조 공정에서 직각 형상 다이를 적용하여 결육 발생을 방지하였다. 이는 3공정 2차 냉간단조 공정에서 직각 형상 다이를 적용하므로 스퍼기어 외부에 압력을 증가시키는 영향을 미치므로 결육이 발생되지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 19는 스퍼기어 부품의 1차 냉간단조 공정 제품을 보여주고, Fig. 20은 2차 냉간단조 공정 제품의



Fig. 20 Final cold forging product of Spur Gear



Fig. 21 Outside diameter measurement of Spur Gear product

로 최종 제품을 보여준다. 실제 냉간단조 성형 실험에서 성형해석 결과와 마찬가지로 2차 냉간단조 다이를 직각 형상 다리로 제작한 경우에 결육이 발생되지 않았고, 2차 냉간단조 다이를 테이퍼 형상 다리로 제작한 경우에 Fig. 18과 같이 결육이 발생되었다. 포머단조와 1차 냉간단조 금형으로 제작된 Spur Gear 공정 부품을 2차 냉간단조 금형에서 최종 치수 정밀도를 만족하는 성형제품을 제작하였다. 즉, 2차 냉간단조 금형은 400ton 단조 프레스에 금형을 설치한 후 1차 냉간단조 공정 제품을 삽입하여 최종 제품을 얻을 수 있었다. Fig. 21은 자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품의 치외경 측정 장면을 보여준다. 자

동차 액추에이터용 Spur Gear 제품에 대한 치외경을 3차원 측정기를 사용하여 측정하였다. 치외경은 시료 5개에 대해 측정 결과 평균 0.025mm로 정밀도를 만족하였다. 또한, 제품 생산 시에 금형 수명은 기존 포머단조 5,000개 정도에서 정밀냉간단조 기술을 적용하여 50,000개 정도로 향상됨을 확인하였다. 즉, 기존 포머단조의 금형 수명이 5,000개 정도에서 정밀냉간단조 기술을 적용하여 50,000개 정도의 제품을 생산하였다.

5. 결론

본 연구는 정밀냉간단조 기술을 적용한 자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품을 개발하는 것으로 금형수명을 향상하기 위한 개선공정을 제시하였다. Spur Gear 부품의 포머단조와 냉간단조의 복합 성형 공법 적용을 위하여 소재 물성평가와 단조 성형해석, 시작금형 설계 제작, 시제품 성능평가를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Spur Gear 부품의 원소재인 SWRCH18A에 대한 기계적 성질을 파악하기 위하여 압축 시험을 통해 응력-변형률 선도를 얻었으며, 단조 성형해석 시에 소재 물성을 적용하여 정확한 해석 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 냉간단조 성형해석 결과에서 성형하중은 마찰 계수 증가에 따라 최대하중이 증가하나 냉간단조 제품의 형상 차이는 거의 없었다. 또한, 1차 냉간단조 공정과 2차 냉간단조 공정에서 테이퍼 형상 다이의 경우에 결육 발생이 예측되나, 1차 냉간단조 공정에서 테이퍼 형상 다이이며, 2차 냉간단조 공정에서 직각 형상 다이의 경우에 결육 발생이 예측되지 않았다.

(3) Spur Gear 부품 생산을 위해 기존 포머단조 3 공정에서 포머단조, 1차 냉간단조, 2차 냉간단조(사이징) 등 총 3공정으로 공정 설계하였으며, 단조 성형해석 결과와 같이 실제 2차 냉간단조(사이징) 공정에서 치수 정밀도가 우수한 최종 시제품을 확보할 수 있었다.

(4) 자동차 액추에이터용 Spur Gear 부품에 대한 포머단조와 냉간단조를 복합한 정밀냉간단조 기술을 확보함으로써 기존 5,000개 정도에서 50,000개 정도로 10배 이상 금형 수명향상이 가능함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 지역특화산업육성사업(과제번호: S3267961)에 의하여 지원되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Kim, K. M., Kim, M. C., Hwang, S. H., Chung, S. H., Chung, W. J., Joun, M. S., 2019, Numerical and Experimental Study on Spring Back in Automatic MultiStage Precision Cold Forging Process of a Steering Yoke, Transactions of Materials Processing, Vol. 28, No. 3, pp. 115~122, <http://doi.org/10.5228/KSTP.2019.28.3.115>
- [2] Jo, A. R., Jeong, M. S., Lee, S. K., Moon, Y. H., Hwang, S. K., 2020, Process Design for Manufacturing a Pinch Yoke of Automotive Universal Joint, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. C, Vol. 8, No. 1, pp. 41~48, <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-C.2020.8.1.041>
- [3] Song, S. E., Kwon, H. H., 2012, A study on the Cold Forging Development of Guide Valve for the Fuel Pressure Regulator, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 21, No. 2, pp. 331~336.
- [4] Kang, B. S., Ku, T. W., 2014, Process Modification and Numerical Simulation for an Outer Race of a CV Joint using Multi-stage Cold Forging, Transactions of Materials Processing, Vol. 23, No. 4, pp. 211~220, <http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2014.23.4.211>
- [5] Jeon, H. W., Yoon, J. H., Lee, J. H., Kim, B. M., 2014, Plate Forging Process Design for an Under-drive Brake Piston in Automatic Transmission, Transactions of Materials Processing, Vol. 23, No. 2, pp. 88~94, <http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2014.23.2.88>
- [6] Seo, J. H., Choi, J. W., Jung, E. E., Kang, M. C., 2022, Multi-stage Cold Forging Process Design and Backward Extrusion Characteristics Evaluation of Serration Gear for Electronic Parking Brake, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 21, No. 2, pp. 130~136, <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2022.21.02.13>
- [7] Kim, H. M., Park, Y. B., Park, S. Y., 2011, Finite Element Analysis of Precision Cold Forging Process to Improve Material Utilization for Injector Housing, Transactions of Materials Processing, Vol. 20, No. 4, pp. 291~295, <http://doi.org/10.5228/KSTP.2011.20.4.291>
- [8] Seo, Y. H., 2021, A Study on Improving the Precision of Quantitative Prediction of Cold Forging Die Life Cycle Through Real Time Forging Load Measurement, Transactions of Materials Processing, Vol. 30, No. 4, pp. 172~178, <http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2021.30.4.172>
- [9] Li, Q. S., Kim, M. C., Jung, D. C., Son, Y. H., Joun, M. S., 2011, Quantitative Analysis of Effect of Shrink Fit in Cold Forging, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 28, No. 3, pp. 301~307.
- [10] Choi, D. S., 2015, Design of Cold Forging Process of Micro Screw for Mobile Devices, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 6, pp. 3692~3697, <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.3692>
- [11] Park, D. H., Kwon, H. D., 2016, Development of Automobile Engine Mounting Parts using Hot-Cold Complex Forging Technology, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 179~184, <http://doi.org/10.1007/s40684-016-0023-5>
- [12] Park, D. H., Han, S. C., 2015, Integration Forming Technology based on Cold Hot Forging of Clutch Jaw Parts for Farm Machinery, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 24, No. 5, pp. 489~495, <http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.5.489>
- [13] Park, D. H., Kwon, H. D., Kwon, H. H., 2019, Development of Cam Ring Gear Parts of Large Diameter for Truck Clutch Using Hot-Cold Complex Forging Technology of Small Bar, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 20, No. 5, pp. 827~836, <https://doi.org/10.1007/s12541-019-00100-5>
- [14] Park, D. H., Han, S. C., Han, S. H., Kwon, H. H., 2023, Development of Steering Stop Parts of Automobile Suspension using Former Cold Forging Complex Molding Technology, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 40, No. 1 pp. 57~64, <http://doi.org/10.7736/JKSPE.022.079>