

카운터샤프트 기어의 스플라인 치형 정밀성형을 위한 열간단조 공정에 관한 연구

김현필* · 김현수 · 김용조

한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과 · (주)용암금속 · 경남대학교 기계자동차공학부

A Study on Hot Precision Forging Processes for Spline Teeth of a Counter Shaft Gear

H. P. Kim* · H. S. Kim · Y. J. Kim

Korea Polytechnic VII · Yongam Metal Co. · Kyungnam University

Abstract : A counter shaft gear is an important part in the transmission system of vehicle. Its shape is relatively complicated and should meet high strength. Traditionally the counter shaft gear has been manufactured as follows; a spline body is firstly machined for teeth and then attached to the main gear body by frictional welding, and finally is finished by grinding. Therefore it is necessary to develop a new manufacturing technology eliminating both frictional welding and grinding processes. In this study, a new hot forging process was proposed and designed so that the spline body with teeth and main gear body are formed as one body. Finite element simulations and experimental works were performed for design of forging processes to get the quality final precision-forged product. Consequently the most suitable blocker process could be obtained.

Key Words : Counter shaft gear, Spline teeth, Cold sizing, Blocker optimization, Hot forging process

1. 서 론

변속기 시스템에서 가장 중요한 부품이라고 할 수 있는 변속기에는 많은 부품들로 구성되어 있으며, 이 중에서도 치형끼리 서로 맞물려 직접 변속이 이루어지는 카운터샤프트 기어(counter shaft gear)는 그 형상이 까다롭고 높은 강도가 요구되는 매우 중요한 부품이다.

카운터샤프트 기어는 변속기 시스템 내에서 슬리브(sleeve)와 맞물려 동기작용에 의하여 기어의 물림을 변화시킴으로서 입력축과 출력축

의 회전속도를 변속시키는 주요한 기능을 한다. 이 부품의 제조에 있어서는 외경부에 기어 치형이 가공되고 중간 소경부에 스플라인 형상의

치형이 있어 단조 후 기계가공하기에 매우 어려움이 있다. 이러한 카운터샤프트 기어의 스플라인 형상의 치형 가공이 어렵기 때문에 스플라인 치형부와 외경 치형부를 따로 제작한 후 마찰 용접하여 부품을 생산하여 왔다. 이로 인해 제거되는 소재량이 많고, 또한 기계가공 및 마찰용접에 필요한 시간과 비용이 높다.

자동차 부품의 스플라인 형상 및 기어류의 제조에 있어서 강도향상과 원가절감의 두 가지 효과를 동시에 만족시키기 위해 다양한 연구들이 진행되어지고 있다.1-3) Kim4) 등은 내접 스플라인 형상의 폐쇄단조에서 측면압출법과 압셋단조법을 적용하여 연구한바 있으며, Wang5) 등은 중공축에 내접 한 스플라인을 성형하기 위한 맨드렐의 이동 유무에 따른 최적공정과 설계변수를 도출하였다. 최근에는 카운터샤프트 기어의 스플라인 치형부에 대해서 열간·냉간 복합단조를 통해 정밀 성형하는 연구를 수행하여 개발하기도 하였다.6) 카운터샤프트 기어

* 한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과

(김현필 kimhp58@kopo.ac.kr)

접수 : 2012. 06. 21. 채택 : 2012. 11. 09.

의 스플라인 형상부와 기어치형 형상부를 일체형으로 열간 단조한 후 스플라인 치형부를 냉간 사이징하여 마찰용접 공정과 치형부에 대한 연삭가공을 완전히 생략하도록 하는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

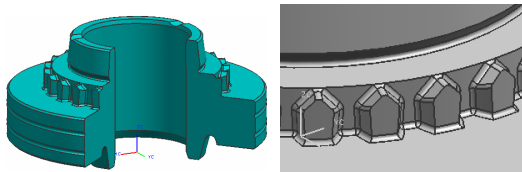
본 연구에서는 일체형 카운터샤프트 기어를 제조함에 있어 스플라인 치형부의 정밀성형이 가능하도록 하기 위한 열간 단조공법을 개발하고자 하며, 이를 위해 블로커 형상을 제안하고 시뮬레이션과 열간 단조실험을 통해 최적화된 블로커 형상을 도출하였다.

2. 카운터샤프트 성형공정 설계

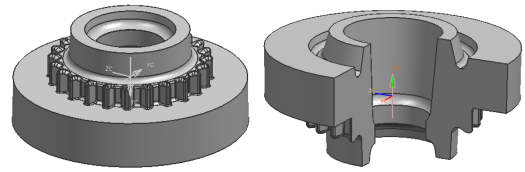
2.1 열간단조품 설계

카운터샤프트 기어의 스플라인 치형부의 무연삭 정밀성형을 위해서는 열간 단조공정에서 외경부 및 치형부를 일정 형상으로 성형한 후, 높은 정밀도를 요구하는 치형부는 냉간 사이징 공정을 거쳐 최종 제품을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 카운터샤프트 기어의 열간 단조공정을 위한 블로커 형상의 최적화를 달성하고자 하였으며, 이를 위하여 Fig. 1(a)에 나타난 카운터샤프트 기어의 최종 냉간 사이징 제품형상을 바탕으로 Fig. 1(b)와 같은 형상의 열간 단조품의 형상을 설계하였다. 이 때 금형과 제품의 빼기구배(draft angle)를 하형의 경우 1°를 적용하고 상형의 경우 5°를 적용하였으며, 최종 냉간 사이징이 되는 스플라인 치형부에 있어서는 빼기구배를 0°를 적용함으로써 완전한 스플라인 치형이 성형될 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 및 실험에 적용한 모델은 카운터샤프트 5단 기어이며, 치형부의 상세치수를 Table 1에 나타내었다.



(a) Final product by cold sizing



(b) Product by hot forging

Fig. 1 Counter shaft gear of transmission

Table 1. Involute spline specifications

Gear type	Counter shaft - 5th	
	Cold sizing	Hot forging
Outer dia.	51.35~51.5	63.9
Root dia.	46.2~47.2	58.55
Module	2.0	←
Pressure angle	20°	←
Number of teeth	24	←
Pitch circle dia.	48	←
Base circle dia.	45.105	←
Radius of face / root edge	R0.5 / R0.5	R0.5 / R0.5
Modification coefficient	0.6818	

2.2 블로커 형상의 제안

정밀 열간 단조공정에서 스플라인 치형에 결속이나 스케일, 치수불량 등의 결함이 조금이라도 있으면 냉간 사이징 공정에 의한 완제품에서 불량으로 나타나기 때문에, 열간 단조 성형 시 금형의 형상설계와 고난이도의 공정기술이 요구된다.

카운터샤프트 기어의 열간 단조공정에서 업셋, 블로커, 피니셔의 3공정으로 성형할 경우, 블로커 형상이 최적화되지 않으면 피니셔 공정에서 스플라인 치형부에 겹침, 결속 등의 결함이 발생하기 쉽다. 이로 인해 지금까지의 성형 공정은 업셋, 피니셔의 2공정으로 제조하고 있으나, 피니셔 금형의 치형부에 과도한 마모가 발생하여 금형수명이 짧은 문제점이 있다. 그러나 본 연구에서는 열간 단조공정을 업셋, 블로커, 피니셔의 3공정으로 설계하고, 블로커 형상을 최적화함으로써 최종 단조품의 정밀도와 금형수명을 향상시킬 수 있도록 하였다.

먼저 세 가지 종류의 블로커 형상을 제안하고 금형의 3차원 모델링 후 단조성형 시뮬레이션에 적용하였다. 해석 결과를 분석하여 최적의 블로커 형상을 도출할 수 있었다. Fig. 2에 제안된 블로커 형상의 도면을 나타내었다. Type-1의 형상은 축대칭

형상을 갖는 부품의 블로커 설계에 통상적으로 많이 적용하는 방법이며, 하형의 경우 피니셔 형상과 유사하게 적용하고 상형의 경우 펀치 보스부의 길이를 피니셔 보스 길이보다 짧게 적용하였다. Type-2의 형상은 Type-1의 형상과 유사하나 치형 바닥부 영역에 오목한 홈을 부여하고 상형 평면에 10°의 경사면을 부여하였다. Type-3의 형상은 Type-2의 변형된 형상으로서 치형 바닥부 오목한 홈의 깊이를 보다 얇게 적용하고 홈의 각도를 30°에서 15°로 조정하였다. 또한 하형의 깊이를 0.2mm로 수정하였다.

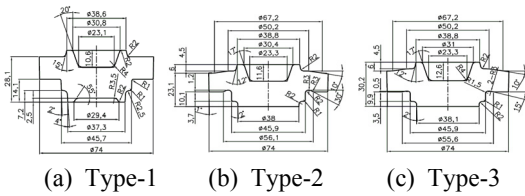


Fig. 2 Drawings of the blocker shape

3. 열간단조공정 해석

3-1. 시뮬레이션 조건

카운터샤프트 기어의 스플라인 치형 정밀 열간단조의 성형해석은 DEFORM-3D를 활용하였으며, 해석 조건은 Table 2에 나타내었다. 유한요소해석 결과로부터 단조성형 중 발생할 수 있는 소재의 겹침(folding), 미충진 현상을 분석하여 최종 제품에서의 결함을 미리 예측하여 방지하고, 단조품의 품질 특성을 향상시킬 수 있는 블로커 형상을 찾아내어 적절한 성형 공정을 제안하였다.

카운터샤프트 기어의 열간 단조에 사용된 초기 소재의 치수는 $\phi 35*80$ mm로 적용하고 제품의 형상을 고려하여 30°형상에 대한 모델링을 수행하고, 대칭 조건으로 해석하였다.

금형과 소재의 접촉면에 발생하는 마찰은 일정 전단마찰 법칙을 적용하였다. 금형 온도는 300℃로 하였고 초기 소재의 온도를 1200℃로 하여 해석을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 재료는 실제 카운터샤프트 기어 재료인 SCR420H 소재를 적용하였으며, 이의 물성치는 해석 프로그램인 DEFORM-3D에서 기본적으로 제공하는 것을 사용하였다.

Table 2. Conditions for FE analysis

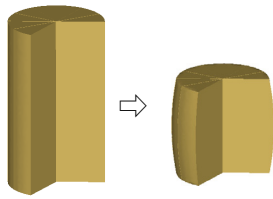
Item	Description
Material	SCR420H
Flow stress	DEFORM Library
Material temperature (°C)	1200
Die temperature (°C)	300
Friction coefficient(shear)	0.3
Boundary condition	30° symmetric
Initial billet(mm)	$\phi 35*80$
Mesh	30,000~50,000

3-2. 해석결과

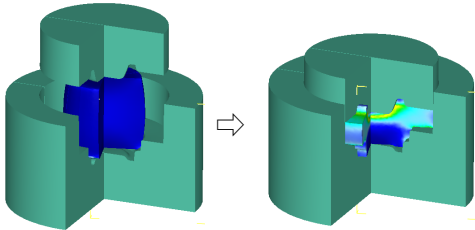
본 연구에서는 카운터샤프트 기어의 스플라인 치형을 정밀단조 성형하기 위해 $\phi 35*80$ mm인 초기 소재를 사용하여 업셋, 블로커 및 피니셔의 3공정으로 최종성형품을 얻는 공정해석을 수행하였다.

Fig. 3에 Type-1의 블로커 형상을 사용하였을 경우에 대한 해석 결과를 나타내었다. 해석 결과에서 업셋된 소재가 블로커 금형의 하형에 적절히 안착이 되며 블로커 형상의 성형이 원활이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 피니셔 공정에서 스플라인 치형을 성형하는 단계에서 Fig. 4에 표시한 바와 같이 겹침 결함이 나타나는 것을 알 수 있다. 피니셔 공정의 변형초기에 상형의 펀치가 하강하면서 스플라인 치형이 성형되어진다. 이 때 Fig. 4(a)와 같이 소재가 후방 압출되어 올라가면서 스플라인 치형부와 다이와의 간격이 커진다. 변형 후기에는 상형의 전영역이 소재와 접촉되어 지며 소재를 누르게 되어 Fig. 4(b), (c)에 나타낸바와 같이 스플라인 치형의 바닥부에 겹침이 발생함을 알 수 있다.

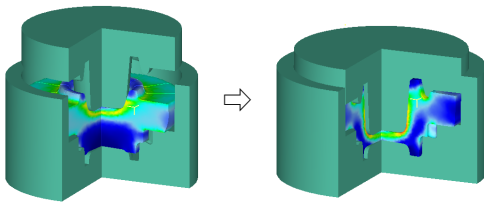
Fig. 5에 Type-2의 블로커와 피니셔 공정에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었고, Fig. 6에 스플라인 치형부의 변형 형상을 단계별로 나타내었다. 대체로 성형은 원활이 이루어지지만 피니셔 공정에서 스플라인 치형을 성형하는 단계에서 겹침 결함이 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 Type-1의 블로커 형상을 적용한 경우와 유사한 형태를 띠고 있으며, 변형 초기에 소재의 후방 압출되는 양을 적절히 조절하고 또한 스플라인 치형부 영역에 오목한 형상을 부여하여 해결할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Upset process

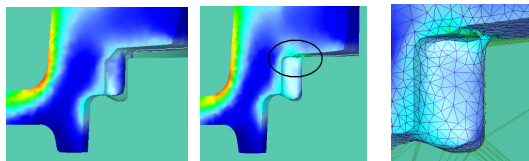


(b) Blocker process



(c) Finisher process

Fig. 3 Results of FE analysis for Type-1



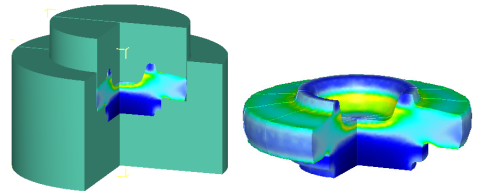
(a) as early (b) as latter (c) folding

Fig. 4 Folding defect in the finisher process for Type-1

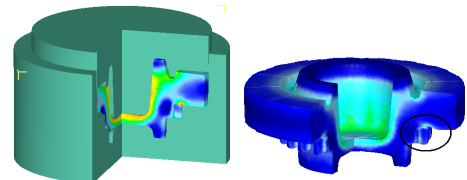
Fig. 7에는 Type-3의 블로커 형상을 적용하여 성형하였을 경우 블로커 및 피니셔 성형 형상을 나타내었고, Fig. 8에는 피니셔 공정에서의 변형과정을 단계별로 나타내었다. 해석 결과에 의하면 스플라인 치형을 성형하는 단계에서 Type-1 및 Type-2의 블로커 형상을 적용하였을 때 발생되었던 겹침 결함은 나타나지 않았다.

피니셔 공정의 성형과정을 살펴보면 변형초기에 상형의 펀치가 하강함에 따라 스플라인 치형이 성

형되어지면서 Fig. 8(a)와 같이 소재가 후방 압출되어 지지만 그 양이 극히 미미하게 발생한다. 스플라인 치형부의 성형은 Fig. 8(b)와 같이 하형의 스플라인 치형부의 충진이 이루어지면서 하형과의 접촉이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 피니셔 공정에서 치형의 충진시 어떠한 결함이나 결육 현상을 발생시키지 않고, 완전한 성형을 유도할 수 있는 최적화된 블로커 형상을 얻었다고 할 수 있다.

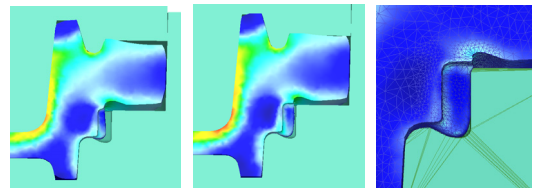


(a) Blocker process



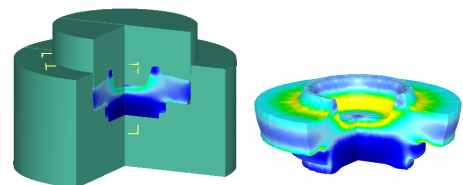
(b) Finisher process

Fig. 5 Results of FE analysis for Type-2

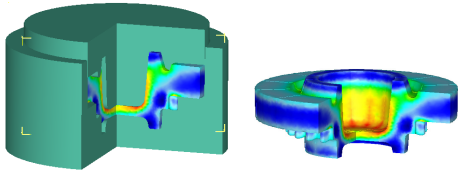


(a) as early (b) as latter (c) folding

Fig. 6 Folding defect in the finisher process for Type-2

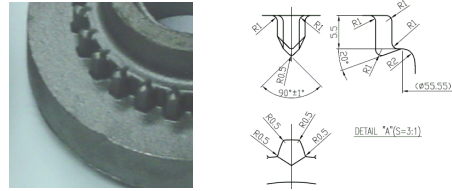


(a) Blocker process



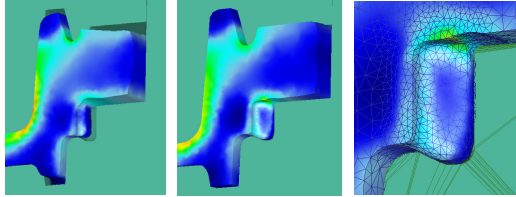
(b) Finisher process

Fig. 7 Results of FE analysis for Type-3



(a) Forged teeth (b) Drawing of spline tooth

Fig. 10 Forged spline teeth



(a) as early (b) as latter (c) no defect

Fig. 8 Deformation pattern in the finisher process for Type-3

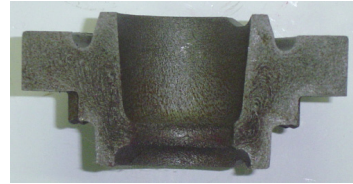


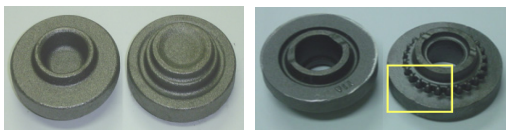
Fig. 11 Metal flow of counter shaft gear

4. 시험 및 분석

4-1. 카운터샤프트 기어 열간 단조

유한요소 해석결과로부터 얻어진 블로커와 피니셔 형상을 바탕으로 금형을 제작하고 열간 단조를 통하여 시제품을 제작하였다(Fig. 9). 스플라인 치형부 확대 형상(Fig. 10)에서 나타낸바와 같이 도면 형상과 치형의 살채움이 양호하게 이루어졌음을 확인할 수 있다.

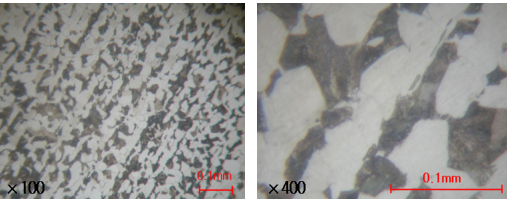
Fig. 11에 카운터샤프트 기어 단면의 금속유동선(metal flow)을 나타내었으며, 유한요소해석 결과로부터 얻어진 금속유동 형태와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.



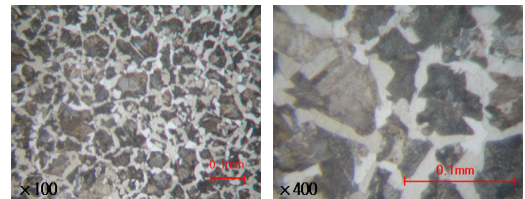
(a) Blocker

(b) Finisher

Fig. 9 Counter shaft gear by hot precision forging



(a) Billet (SCR420H)



(b) Forged part

Fig. 12 Micro-structure of billet and forged part

5. 결론

카운터샤프트 기어의 스플라인 치형의 정밀 성형을 위한 열간 단조공정에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 치형부의 정밀성형을 위해 블로커 공정의 금형형상을 제안하고, 공정에서 발생할 수 있는 결함을 시뮬레이션을 통해 미리 예측함으로써 최적화된 블로커 형상을 얻을 수 있었다.

2) 해석 결과를 바탕으로 수행한 열간 단조시험에 의하면 스플라인 치형은 정밀하게 성형되어지면서 금속유동선이 양호하게 나타나는 단조품을 얻을 수 있었다.

3) 열간 단조품의 미세조직에서 결정립 크기가 15~20 μm 정도의 페라이트와 펄라이트의 복합상 조직으로 나타났고 인장강도가 향상될 것으로 예측된다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 2009년도 산학공동기술개발지원사업(00035426)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Dean, T. A., "The net-shape forming of gears", *Materials and Design*, Vol. 21. pp. 271-278, 2000.
- 2) 박상수, 김병민, 이정민, "내 치형 드럼클러치의 냉간 단조 공정 설계", *한국정밀공학회지*, Vol. 22. pp.30-37, 2005.
- 3) 김성현, 이호용, "중공축 소재를 이용한 전후방 복합압출의 성형특성", *소성가공학회지*, Vol. 14. pp.772-778. 2005.
- 4) 김용조, 김현수, 이승동, "유한요소법에 의한 내접 스플라인 기어형상의 폐쇄단조공정 해석", *Journal of Advanced Materials*, *경남대학교 신소재연구소*, Vol. 12, pp.33-38, 2000.
- 5) 왕창범, 임성주, 박용복, "중공축 내접 스플라인 성형을 위한 설계변수의 영향", *소성가공학회지*, Vol. 15. pp.512-517
- 6) 이광오, 김정민, 제진수, 강성수, "복합단조공법을 이용한 자동차 트랜스미션용 클러치 기어 개발", *한국정밀공학회지*, Vol. 23. pp. 185-192, 2006.