

자동차 트랜스미션용 클러치 기어의 성형 공법 및 성형성 향상에 관한 연구

김정민[#], 이광오¹, 강성수².

A study on the forming process and formability improvement of clutch gear for vehicle transmission

J. M. Kim, K. O. Lee, S. S. Kang

Abstract

Forging process is one of the forming process and is used widely in automobile parts and manufacture industry. Especially the gears like spur gear, helical gear, bevel gear were produced by machine tool, but recently they have been manufactured by forging process. The goal of this study is to study forming process with data obtained by comparison between forward extrusion and upsetting simulation results and formability improvement by various heat treatment conditions. By analysis data of 3D FEM by upsetting and forward extrusion forming, the forming process of clutch gear develops using data based on 3D FEM analysis. Through tensile test using specimens by various heat treatment conditions, the optimal heat treatment condition is obtained by comparison the results of tensile test.

Key Words : Clutch gear, SCM 420, Forward Extrusion, Upsetting, Normalizing, Spheroidizing, FEM analysis

1. 서론

단조가공법은 자동차 산업의 발전과 함께 전 세계적으로 오래 전부터 널리 사용되고 있는 금속 성형법의 하나로써, 현재에도 자동차, 항공기, 가전제품 및 레저용품 산업계 등 널리 이용되어지고 있으며, 그 적용범위가 점차 확대되고 있는 추세이다. 복잡한 형상 및 고강도 제품의 대한 단조 가공의 필요성으로 인해 가공물의 온도를 어느 정도 높여 가공물의 변형저항을 낮추고 공정을 단축하여 생산성을 높이는 복합 정밀 단조(열간단조+냉간단조)에 대한 연구가 일본 유럽 등의 선진국에서는 본격적으로 진행되고 있다. H. Kim,

F. Sunami, Yamanaka 는 Net-shape 단조를 지원하는 단조 시뮬레이션에 대한 연구[1-2]를 수행하여 치차의 Net-shape 형상의 단조 성형에서는 국부적인 밀폐형태가 되고 발생하고 큰 응력 집중이 발생하므로 응력 집중을 회피하기 위한 연구를 수행하였다. 그리고 B-A, Behrens 는 Net-shape 치차 성형을 하기위해 die 에 elastomer ring 을 넣어 die 의 탄성 변형을 제어하는 이론을 제시하였다[3] 연구에서는 Upsetting 과 전방압출 공법을 이용한 CAE 해석결과를 통해 클러치 기어의 성형공법을 제시하고, 클러치 기어의 냉간 성형성을 향상 시키기 위해, 노말라이징 및 구상화 열처리 조건들을 다양하게 적용하여 인장실험을 통해 항복강도

1. 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

2. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

E-mail: jmdoit@hotmail.com

및 인장강도 연신율을 비교하여 최적의 열처리 조건을 개발하였다.

2. 성형공법 연구

2.1 목표 강종

목표 강종은 대표적인 HSLA(High Strength Low Alloy)강으로서 자동차 기어 단조용 소재로 널리 사용되고 있는 SCM420 을 선정하였다. 아래의 Table 1 에 SCM420 강의 화학조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical Composition of SCM420 Steel

C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr
0.18~	0.15~	0.60~	0.03	0.03	0.15~	0.9~
0.23	0.35	0.85	이하	이하	0.3	1.20

2.2 3 차원 유한요소해석

소성가공 상용 프로그램인 DEFORM 3D 를 이용하였으며, 3 차원 유한요소 해석의 목적은 열간 단조에 의한 pre-form 을 이용하여 냉간 단조 공법 중에 하나인 Upsetting 공법과 전방압출공법을 적용한 성형해석을 수행하고 금형에 작용한 하중 및 관심부위의 Displacement, Stress Max principal 등 해석결과의 비교하고자 한다. Fig. 1 은 Upsetting 공법 과 전방압출 공법에 적용할 pre-form 형상이고 (a)는 upsetting 공법의 pre-form 이며, (b)는 전방압출의 pre-form 이다.

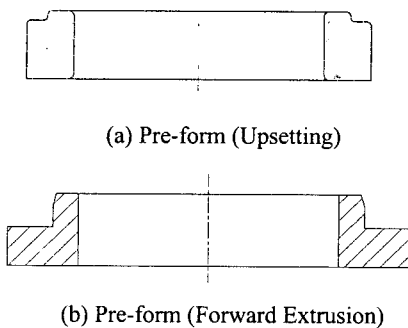


Fig. 1 The shape of Pre-Form

Upsetting 및 전방압출 성형해석 모두 동일한 해석 조건을 적용 하였으며, 또한 클러치 기어 형상

이 축 대칭 형상이므로 Symmetric 조건을 부여하여 1/12 의 형상을 성형해석을 하였다. Fig. 2 는 Upsetting 공법과 전방압출 공법에 의한 die 하중을 FEM 해석결과에 의해 나타낸 것이다.

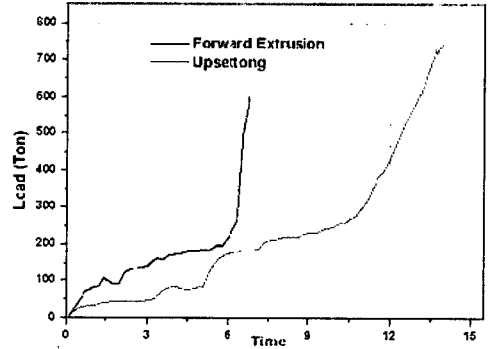
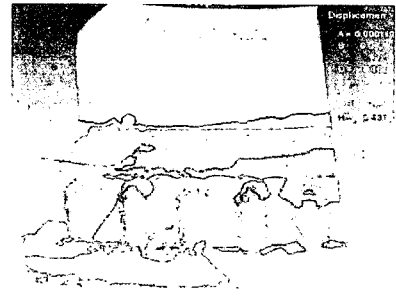
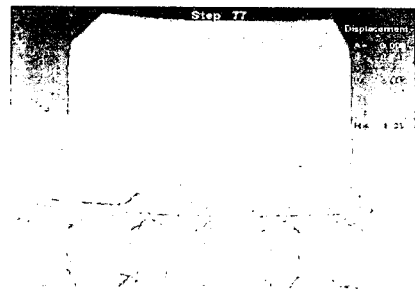


Fig. 2 The die load by upsetting and forward extrusion



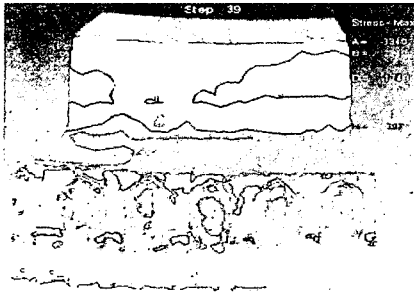
(a) Displacement (Forward extrusion)



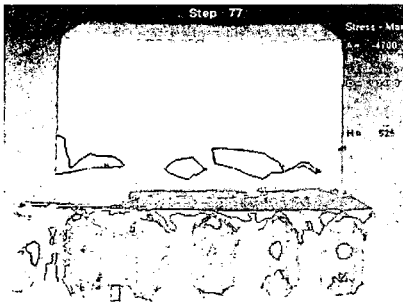
(b) Displacement (Upsetting)

Fig. 3 Displacement

Fig. 2 를 비교해보면, 전방압출공법 적용 시 프레스 하중은 600ton 의 결과가 나왔으며, upsetting 공법에 의한 프레스 하중은 710ton 이다. 그리고 최종성형시간은 전방압출공법의 경우, 성형시간이



(a) Stress (Forward extrusion)



(a) Stress (Upsetting)

Fig. 4 Stress Max principal

약 6.8 초인 반면, upsetting 공법은 약 11.3 초이다. 성형시간 및 하중의 결과를 비교하였을 때 전방 압출공법이 upsetting 공법보다 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그 다음 Displacement 와 Stress Max principal 항목에 대한 결과를 비교하고자 한다.

Fig. 3 과 4 는 전방압출공법과 upsetting 공법에 의한 displacement 와 Stress Max principal 에 대한 결과를 나타낸 그림 이다. Fig. 3, 4 를 비교해보면, 주 관심 부위가 기어 치형부 이므로, 전방압출의 경우, 치형이 성형 되면서, 급형 die 와 접촉시간이 상대적으로 많아짐에 따라, 전 치형부의 변위 및 압축응력이 높은 결과가 나타났다. Upsetting 의 경우 groove 가 먼저 성형 됨에 따라, groove 부 근처 치형이 성형이 되므로, 상대적으로 높은 변위 및 압축응력이 발생하였다. 두 공법에 의한 치형부의 변위량과 응력의 차이는 큰 차이가 없었음을 확인하였다. 결론적으로 FEM 해석을 통해 하중, 변위, 응력을 고려하였을 때 전방압출공법이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

3. 성형성 향상 연구

Table 3 Heat treatment conditions

Case	Normalizing	Spheroidizing
Case1	940℃ 200mm	780℃ 600℃ 300℃ 3h, 7h, 1h, 3h
Case2	900℃ 2.5h	800℃ 600℃ 10h, 10h
Case3	940℃ 200mm	800℃ 600℃ 10h, 10h
Case4	900℃ 2.5h	760, 740, 710, 680 351m, 323m, 275m, 246m, 227m, 3.2h
Case5	900℃ 2.5h	780℃ 600℃ 300℃ 3h, 7h, 1h, 3h
Case6	940℃ 200mm	760, 740, 710, 680 351m, 323m, 275m, 246m, 227m, 3.2h

3.1 열처리 실험

일반적으로 냉간 단조품의 성형성 향상을 하기 위해 열처리를 실시한다. 이 연구에서는 노말라이징 과 구상화 열처리를 조합한 6 가지의 열처리 조건을 이용하여 열처리 실험을 하였다. Table 3 에서 6 가지의 열처리 조건을 나타내었다.

이러한 열처리 조건들을 적용한 시편들을 이용하여 기계적 물성치 획득 및 결과를 비교하기 위해 상온 인장실험을 수행하였다. 실험조건은 0.1m/s 의 속도의 ram speed 를 적용 하였다.

Fig. 7 은 상온 인장실험 결과이다. Fig. 7 을 보면, 연신율의 경우 Case 4, 5, 6 이 0.4 이상의 연신율을 나타내었으며, 강도 측면을 비교 하였을 때, Case 4 가 5, 6 의 경우보다 낮은 강도를 나타내었다. 항복강도 인장강도 연신율을 고려하였을 때 Case 4 가 가장 우수한 결과를 나타내었다. Table 4

각 Case 별 항복강도와 최대인장강도, 연신율을 비교한 표이다.

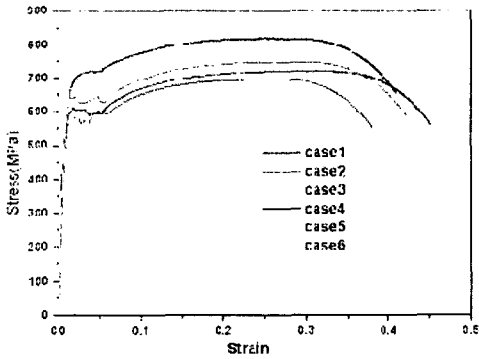


Fig. 7 Stress-strain curve

Table 4 Comparison for the mechanical properties

	YS(MPa)	UTS(MPa)	연신율
case1	709	821	0.407
case2	577	697	0.378
case3	583	702	0.4
case4	610	720	0.448
case5	669	785	0.459
case6	656	750	0.423

4. 결론

자동차 트랜스미션용 클러치 기어의 성형공법 및 성형성 향상에 대한 연구를 수행 하면서 다음과 같은 결론을 획득하였다.

(1) CAE 에 의한 해석결과와 비교에 의해 하중, Displacement, Stress Max principal 비교 검토한 결과, 전방압출에 의한 공법이 Upsetting 에 의한 공법보다 우수하다는 것을 알 수 있었다..

(2) 클러치 기어의 성형성 향상을 위한 최적화 열처리 조건을 획득하기 위해 다양한 조건의 열처리 실험과 인장실험을 수행하여 실험결과를 비교 검토한 결과, Case 4 가 가장 우수하다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 金炫琪, 角南不二夫, 山中 仁, 2000, ネットシェイプ鍛造を支える鍛造シミュレーション/型加工技術, 日本塑性加工學會誌 第 41 卷 제 47 7 號 pp: 1014~1020.
- [2] 有馬達男, 1997, 172 回塑加シンポテキスト pp:23-32
- [3] T. A. Dean, 2000, The net-shape forming of gear, Materials Design 21, pp:271-278, 2000.
- [4] B-A, Beherens, Cold Sizing of Cold-and Hot Formed Gear, 2004, Annals of CIRP, 239-242
- [5] K. Osakada, New Methods of Precision Forging, 1999, Advanced Technology of Plasticity, Vol. 2 Proceedings of the 6th ICTP, 9, pp:19-24.