

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(기계공학:ME96-E-14)에 의하여 연구되었음.

합금강을 이용한 스퍼기어의 정밀 냉간 단조

최재찬(부산대 기계공학부), 최영*(부산대 대학원)

Precision Cold Forging of Spur Gear Using the Alloy Steel

J.C.Choi(Pusan Univ.) and Y.Choi*(Graduate School Pusan Univ.)

Abstract

The conventional closed-die forgings had been applied to the forging of spur gears. But the forgings require high forging-pressure. In this paper, new precision forging technology have been developed. The developed technology is two steps forging process. Good shaped products are forged successfully with lower forging-pressure than those of conventional forging.

Key Words : Precision Forging, Forging of Spur gear, Alloy Steel (SCM415)

1. 서론

기계부품중 기어는 정밀도와 강도를 요구하는 제품이다. 소형 정밀기어의 생산은 대부분 호빙, 세이빙과 밀링가공 등과 같은 절삭가공에 의존하고 있다. 그러나 소성가공에 의해 성형된 기어는 절삭가공에 의해 제조된 기어에 비해 재료 및 비용절감, 생산성 향상 및 강도증가를 기대할 수 있어, 최근 냉간단조에 의한 합금강 소재의 기어 성형법 개발이 활발히 연구되고 있다[1-3].

기어 중 스퍼기어는 잇줄이 직선이며 축에 평행한 기어로 그 형상이 축방향에 대해 구제각이 전혀없고 단조시 금속유동은 측면방향으로 일어나기 때문에 단조가공시 높은 가공압력을 필요로 한다. 이러한 높은 가공압력은 금형의 파손, 소성변형 및 마모로 인한 정밀도 저하의 원인이 된다. 이러한 점에서 낮은 가공압력으로 기어를 성형하는 정밀단조법이 개발 되었다[2,3].

Kondo와 Ohga등은 분류(divided flow)방식을 이용한 정밀단조법을 개발하고 이를 스퍼기어 단조에 응용했다[4]. 또 최근에는 합금강을 소재로 하여 스퍼기어를 단조하였다[3]. 그러나 분류방식에 의한 단조법에서, 단조시 맨드릴(mandrel)을 상하로 교환해야 하며 내경(inner diameter)부에 금속유동이 발생하여 재료의 손실 및 추가적인 후가공을 필요로 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 정밀단조법을 개발하고 합금강(SCM415)을 소재로 하여 스퍼기어를 단조 하였다. 또한 안내형 단조로 스퍼기어를 단조해 비교하였으며 문헌[3]에 제시된 분류방식에 의한 단조법과 비교하였다.

2. 정밀단조법

스퍼기어를 단조하기 위한 일반적인 공정을 Fig.1 [1]에 나타낸다. 안내형 및 구속형 공정을 이용하여 상용 알루미늄 소재를 높은 가공압력, 1800(MPa),으로 단조하였으나 이(tooth)의 완전한 성형을 이루지 못하였다[5].

그러므로, 본 연구에서는 SCM415 소재의 스퍼기어를 단조하기 위해, Fig.2와 같은 2단계 단조공정(two step forging process)을 제안한다. 이는 스퍼기어 단조에 구속형 공정보다 유리한 안내형 단조공정을 변형한 형태이다. 두 번째 단조단계에서 이젝터부의 충만을 위해, 이젝터부 내측에 유동 여유(relief)가 첫 단계에서 생성되도록 하였다. 두 번째 단조단계에서 완전 밀폐성형이 되지 않도록 이젝터의 내경을 맨드릴 외경보다 크게 하였다. 이는 단조 최종단계에서의 가공압력을 낮추기 위해서이다.

또한, 두 번째 단조단계에서 하형의 이젝터(ejector)만을 교환하도록 하였고 내경부 금속유동이 발생하지 않게 하여 분류방식 단조에서 발생하는 문제점을 해결하였다.

3. 단조실험

3.1 금형설계

합금강(SCM415) 소재의 스퍼기어를 단조하기 위해 Fig.2의 정밀단조법을 이용하여 금형을 설계, 제작하였다. 스퍼기어의 재원은 Table 1과 같다. 펀치가 소재를 가압할 때, 펀치와 소재의 동축도를 일정하게 유지하도록 하기 위해, 다단으로 펀치를 설계하고 펀치의 원통부가 안내다이를 통해 안내되도록 하였다. 첫 번째 단조단계에서 생성되는 유동 여유가 두 번째 단조단계에 폴딩(folding)결합이 발생되지 않도록 이젝터 형상을 결정 하였다. 일반적인 냉간단조 공정에서 200(kgf/mm²)의 높은 압력이 금형에 작용함으로써 금형의 파손을 방지하기 다이를 보강하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 2중으로 다이를 보강하였다. 금형의 치수정도를 확보하기 위해 보강링을 열박음한 후, 내면을 와이어 컷(wire-cut) 방전가공하고 연마가공을 하였다. 펀치, 이젝터 및 다이 인서트는 고속도강(SKH9) 재료를 Hrc 65로 열처리 하였다.

3.2 단조실험

소재는 풀림처리 한 후, 외경 23mm, 내경 11.5mm 및 높이 15mm로 기계가공 하였으며, 단조시 마찰력을 줄이기 위해 인산염 피막처리를 하였다.

단조실험은 200(tonf) 유압프레스를 이용하여 수행하였다. 첫 번째 단조단계에서의 최대하중과 두 번째 단조단계에서의 최대하중을 같도록 하여 실험하였다. 이 최대하중을 증가시키면서 실험하였으며, 가공압력이 1860(MPa)인 85.5(tonf)일 때, 이(tooth)의 성형이 완전하였다. 비교를 위해, 단조 최종단계의 하중을 같게하여, 안내형 단조공정으로 스퍼기어를 단조하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 하중-변위 선도

실험으로 얻어진 정밀단조법의 하중-변위선도를 Fig.3에 나타낸다. 첫 번째 단조단계에서, 유동 여유의 생성 때문에 펀치행정이 길다. 그러므로 정밀단조법으로 단조할

경우, 소비되는 에너지가 많으며, 이로 인해 제품의 가공경화 정도가 높을 것이다. 두 번째 단조단계에서는 하중이 급속히 증가하나 일정한 기울기를 보인다. 이는 이젝터부의 유동 여유가 아직 남아 있기 때문이다.

4.2 단조품

Fig.4에 (a)소재, (b)최종 단조된 스퍼기어를 나타낸다. 최종 단조된 스퍼기어의 내경부에 폴딩(folding) 결함이 발생되지 않았다. 또한 펀치부와 이젝터부에 재료가 균일하게 충전되었다. 이는 유동 여유를 줌으로써, 안내형 단조공정에서 마찰력 때문에 재료가 펀치부에 집중되는 현상을 해결했음을 나타낸다. Fig.5에 단조된 기어의 이젝터부를 보인다. 유동 여유부가 첫 번째 단조단계에서 완전히 형성되고 다음 단계에서는 이(tooth)가 성형이 된다. 단조 최종단계에서도 유동 여유부가 완전히 없어지지 않고 있다.

4.3 가공압력

Fig.6에 안내형 단조공정으로 단조한 스퍼기어와 비교를 나타낸다. 같은 가공압력, 1860(MPa),으로 성형한 결과이다. 안내형 공정에서는 다이벽면에 작용하는 마찰력 때문에 재료가 펀치부에 집중되었고 이(tooth)가 완전히 성형되지 못했다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법으로 성형한 스퍼기어는 이(tooth)가 완전히 성형되어졌다. 이는 제안한 단조방법이 정밀단조법임을 나타내는 것이다.

실험에서 1860(MPa)로 SCM415 소재의 스퍼기어 단조가 가능하였는데, 이 압력은 낮은 값이다. Kondo와 Ohga등은 분류방식을 이용한 2단계의 정밀단조법으로 S10C, SCr420H 및 SNCM420H 재료에 대해 1510(MPa), 1940(MPa) 및 2260(MPa)로 스퍼기어를 단조하였다[3].

5. 결론

SCM415를 소재로 하여 스퍼기어를 단조하기 위해 정밀단조법을 제안하고 단조실험하였다. 제안한 단조법은 2단계 단조공정을 가진다. 첫 번째 단조단계에서 유동 여유를 생성하고, 최종단계에서 이(tooth) 성형이 완료된 후에도 유동 여유가 있으므로 낮은 단조압력으로 성형이 가능했다. 즉, 1860(MPa)의 낮은 가공압력에서 이(tooth) 성형이 완전한 스퍼기어를 얻을 수 있었다.

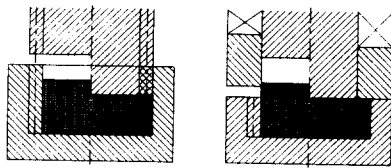
참고문헌

1. 심상운, 송기섭, 윤두성, 박용복, 양동열, 1995, "자동차용 후진 아이들 기어의 정밀 냉간 단조", 단조기술의 진보, 이동녕·박종진 편, pp.145-157.
2. T. Nakano, 1994, "Modern applications of complex forming and multi-action forming in cold forging", J. Mater. Process. Technol., 46, pp.201-226.
3. K. Ohga, F. Murakoshi, H. Ando and K. Kondo, 1996, "Precision cold die forging of actual steel gear toothed products utilizing divided flows", Proceedings of the 5th I.C.T.P., Columbus, Ohio, USA, pp.331-334.

4. K. Kondo, T. Jitsunari and K. Ohga, 1985, "Investigation on cold die forging of a gear utilizing divided flow", Bulletin of JSME, vol.28, No.244, pp.2442-2450.
5. 최재찬, 최영, 김경구, 탁성준, 1997, "스퍼어기어의 단조 공정에 관한 연구", 한국정밀공학회 '97년도 춘계학술대회논문집, pp.1015-1019.

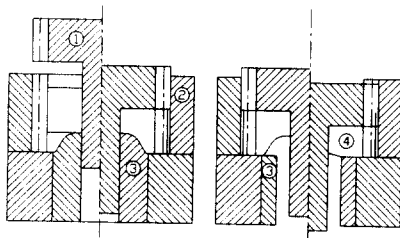
Table 1 Adopted involute standard external spur gear.

Module	1.5mm
Pressure angle	20 °
Number of teeth	18
Pitch circle	27mm
Inner diameter	11.5mm



(a) guiding type (b) clamping type

Fig.1 Die design schematics for the gear forging[1].



(a) 1st step (b) 2nd step

- ① Toothed punch
- ② Toothed die
- ③ Ejector
- ④ Test material

Fig.2 Die design schematics for the two step precision-forging of a spur gear.

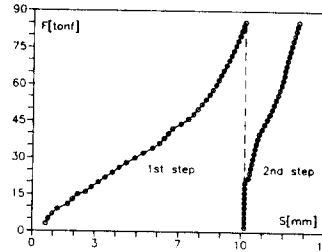
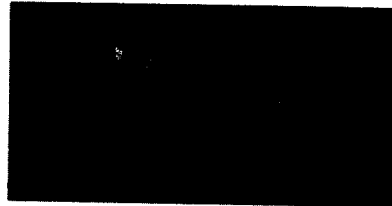


Fig.3 Load-displacement diagram of the two step precision-forging.



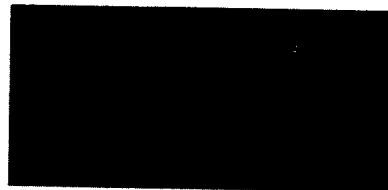
(a) billet (b) forged spur gear

Fig.4 Billet and forged spur gear in the loading direction view.



(a) 1st step (b) 2nd step

Fig.5 Forged workpieces in the reverse direction view.



(a) guiding type (b) present

Fig.6 Comparison of the forged spur gears between guiding type and the present precision-forging in the reverse direction view.