

정밀정형 냉간단조 기어성형을 위한 소재처리와 다이설계

강경주* · 박훈재** · 윤주철* · 김 정*** · 강범수***

Billet Treatment and Die Design for Net-Shape Forming of Gear by Cold Forging

K. G. J. Kang, H. J. Park, J. C. Yun, J. Kim and B. S. Kang

Abstract

In this paper, net-shape forming of an automobile gear is investigated. Barrel, a component of automobile start motor, is adopted as a net-shape forming. In order to accomplish the goal of net-shape forming without cutting of tooth and cam after forming, forming ability is raised through billet treatment and die design. As a technique of billet treatment spheroidizing annealing of billet to get low hardness and molybdenum disulphide coating to get low contact friction between billet and die is carried out. One of critical points of die design, fillet radii variation of tooth of die is applied to get smooth surface of barrel after cold forging. As a measurement of tooth accuracy, distance between two pins and lead-tooth alignments are investigated. Cam profile accuracy is checked with a 3D measuring instrument. Results obtained from the tests revealed reasonable result with respect to design goal. By these results, the paper shows that reasonable results can be obtained by billet treatment and die design for net-shape forming.

Key Words : Net-Shape, Cold Forging, Barrel, Start Motor, Cam, Gear Tooth

1. 서 론

기존의 절삭, 열처리, 그라인딩가공에 의해서 생산하는 기어는 공정이 복잡하고 생산량이 떨어진다. 이는 항공기용 기어같이 고속, 고하중 조건에서 운전되며 최고의 정밀도를 얻기 위한 공정으로 적합하다. 그러나, 자동차용 기어와 같이 다량의 기어를 낮은 가격에 생산하기 위해서는 기존의 공정으로는 적합하지 않다.

최근 들어서 인건비 상승, 전문기술 인력 부족 및 생산성 저하 등의 문제점을 해결하기 위하여 프레스를 활용한 냉간 단조공정으로 전환되고 있

는 추세이다.^(1~6) 단조에 의한 부품 생산의 목표는 결함이 없으면서 요구조건에 부합되는 부품을 가장 경제적으로 생산하는 것이며, 여기에 따라 적절한 성형공정 단조에 의한 부품 생산의 목표는 결함이 없으면서 요구조건에 부합되는 부품을 가장 경제적으로 생산하는 것이며, 여기에 따라 적절한 성형공정의 설계가 요구되고 있다.^(7~9) 이에 정밀정형기술은 인력부족 및 생산성 저하등의 문제를 해결하기 위한 기술이다.

본 논문에서는 자동차의 시동모터의 부품인 배럴을 정밀정형에 의한 성형공정으로 제작하는 것을 보였다. 배럴의 형상은 Fig. 1 과 같다. 배럴을

* 부산대학교 대학원 항공우주공학과
** 한국생산기술연구원 마이크로성형팀
*** 부산대학교 항공우주공학과

정밀정형에 의해 제작하기 위해서는 다이의 설계 및 제작, 소재의 제작기술이 필요하다. 본 논문에서는 자동차용 기어의 정밀정형 성형을 위한 소재처리와 다이설계기술을 연구하였다.

2. 배럴의 정밀단조 성형공정

2.1 배럴의 성형공정

Fig. 1에서 보인 바와 같이 배럴은 바깥쪽의 기어이와 안쪽의 캠으로 이루어져 있다. 배럴의 성형공정은 Fig. 2와 같다. 초기 소재(billet)를 열처리하고 화성피막을 거친 다음 성형을 위해 준비해 둔다. 준비된 소재는 Fig. 3과 같이 다이와 펀치 사이에 배치되고 펀치가 아래방향으로 펀칭하면서 기어이와 캠부분이 동시성형된다. 성형후에 목표 수준의 정밀도가 확보되기 위해서는 소재준비기술과 다이의 설계 제작 기술이 들어가야 한다. 따라서 본 장에서는 소재의 열처리 및 윤활, 다이의 형상설계에 관한 내용을 먼저 다루기로 한다.

2.2 구상화 소둔(Spheroidizing Annealing)

한층 더 나은 절삭성능이 요구되는 경우 냉간 단조 성능을 향상시키고 연화시킬 목적으로 구상화소둔을 행한다. 이것은 펄라이트(pearlite)의 층상조직을 파괴하여 탄화물(cementite)을 구상화시켜 페라이트(ferrite) 기지 내에 분산시키는 열처리 방법이다. 배럴의 성형에 사용된 소재는 자동차용 냉간단조 소재인 SAE8620H이다. 열처리 작업표준은 구상화율(spheroidizing rate)이 75%이상 되도록 하며 경도(hardness)는 HrB 82 이하가 되도록 한다. 탈탄(decarburizing)은 철강을 고온으로 가열할 때 강속의 탄소가 산소와 반응하여 철강 표면부의 탄소 함유량이 감소하는 현상을 말하며 이때의 값은 0.2mm 이하가 되도록 한다. 열처리의 취출온도는 550℃이다.

2.3 다이의 설계

기어이를 형성하는 다이의 설계형상을 Fig. 4에 보였다. Fig. 4(a)는 다이의 측면도를, Fig. 4(b)는 평면도를 보였다. 접촉입사각은 현장경험을 바탕으로 15°로 결정하였으며 Fig. 4(a)의 X부분의 상세형상을 Fig. 4(c)에 보였다.

다이의 치형부분은 이골과 이봉우리로 구성되어 있는데, 다이의 이골은 기어의 이봉우리를 형

성하고 다이의 이봉우리는 기어의 이골을 형성한다.

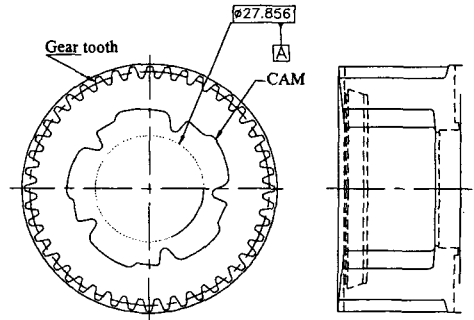


Fig. 1 Forming view of barrel: (a) top ; (b) side

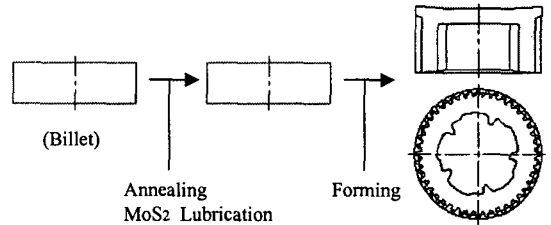


Fig. 2 Precision forging process of barrel

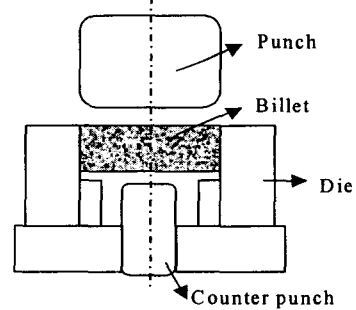


Fig. 3 Setting of die, billet, punch and count punch for forming of barrel

Fig. 4(b)의 Y는 다이의 이봉우리이고, Z는 이골이다. Y와 Z의 상세형상을 Fig. 4(d)에 보였다. Fig. 4(d)에서 Y의 3차원 형상은 Fig. 4(b)에서 Y부분을 화살표 방향에서 바라본 형상이다. 곡률반경값은 현장경험을 통해서 획득할 수 있었다. 획득된 곡률반경값을 Fig. 4(d)에 보였다. 상세도 Y에서 이봉우리 부분의 곡률반경은 0.3으로하고 이골로 가면서 최대 0.8까지 변화시켰다. Fig. 4(b)의 Z부분의 상세형상은 Fig. 4(d)에 보였다. 이와 같이 다이를 설계하여 소재가 소성변형할 때 목표 치수가 나오도록 하였다.

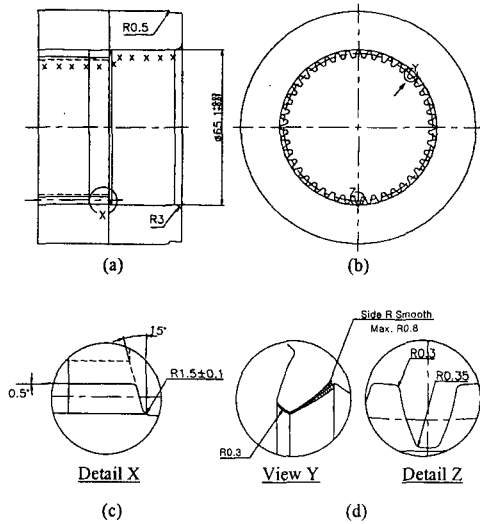


Fig. 4 Design of die: (a) side view of die ; (b) top view of die ; (c) detail of X from side view ; (d) detail view of Y and detail Z from top view (unit: mm)

3. 정밀정형 성형결과 및 검토

3.1 공정별 조직 및 경도

Fig. 5 는 원소재, 구상화소둔, 기어링후 등 각 공정별 조직 및 경도를 조사한 것이다. Fig. 5(a)는 원소재의 조직도 및 경도이다. HrB 경도값으로 90.2 에서 91.9 까지 측정되었다. Fig. 5(b)는 구상화소둔후의 조직도 및 경도이다. 펄라이트(Pearlite)내의 탄화물(Cementite) 속에 고르게 분산되어있음을 알 수 있다. 따라서 경도가 약화될 수 있음을 알 수 있고 경도측정결과 75.0~77.2 의 값이 나왔다. 이 값은 열처리목표치인 HrB 82 이하를 만족하는 값이다. Fig. 5(c),(d)는 기어링후의 조직도이며, (c)는 바닥면의 조직이고, (d)는 측면의 조직이다. Fig. 5(e)는 기어링후의 경도측정값이다. 성형시 가공경화로 인하여 경도값이 많이 높아짐을 알 수 있다. 변형이 많이 일어난 바닥부분에서 경도가 더 높아진다는 것을 알 수 있다.

3.2 화성피막과 마찰계수값

다이의 마찰계수를 구하기 위하여 링압축 실험을 수행하였다. 링시편의 크기는 외경:내경:높이 =9:4.5:3(mm)로 제작하였고 압축실험에 사용한 장비는 INSTRON 이며, 링 높이의 20%(0.6mm), 40%

(1.2mm), 그리고 60% (1.8mm)까지 압축하였다. 압축실험을 통해 얻은 결과와 유한요소해석을 통해서 얻은 교정곡선(calibration curve)을 그 결과 피막한 소재와 다이 사이의 마찰계수는 0.19 였다. 이 값은 인산아연계만으로 피막한 마찰계수 0.09 보다 높은 값이나 변형이 심한 경우에 피막층과의 결합이 우수하며 배럴과 같이 변형이 심한 냉간단조성형에서는 효과적이다.⁽¹⁰⁾

3.3 치형정밀도

치형 정밀도를 검사에는 오버핀경 측정, 리더선의 변위를 측정하였다. 지름이 2.667 (mm)인 핀 두 개로 총 44 개 이므로 오버핀경 측정하였다. 측정결과 평균값은 66.076 (mm)이며, 최대값은 66.091(mm)이고, 최소값은 66.067(mm)이다. 따라서 측정값들은 66.1±0.06 (mm)에 들어온다. 이 값은 설계 목표치를 만족하는 값이다. 다음은 리더선의 변위를 44 개의 이를 한매씩 돌아가며 측정하였다. 좌우측리더선을 측정한 결과 Fig. 6 에 보인 것과 같은 변위 결과를 볼 수 있었다. Fig. 6 에 보면 그 결과로 리더선의 변위범위는 44 매 모두 26m 이내에 들어오는 것을 알 수 있다. 이 값은 JIS6 급 스펙인 35m 를 만족하는 값이다. 따라서 치형정밀도가 목표치에 들어오는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 절삭가공이 아닌 정밀정형에 의한 냉간단조 무절삭 1 공정으로 기어를 성형하기 위한 기술을 보였다. 소재의 처리와 다이의 설계에 대한 기술이 필요함을 알 수 있었고 다음과 같은 결론을 내렸다.

- (1) 소재가 소성변형을 잘 일으키기 위해서는 소재의 조직을 연화시켜 경도를 낮추어야 한다. 연화시키는 방법으로서 조직을 구상화 시키는 것이다.
- (2) 소재가 변형되기 시작할 때부터 기어이를 형성하기까지 성형결과에 영향을 주는 다이의 설계에서는 반경조정이 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 소성가공기반구축사업 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

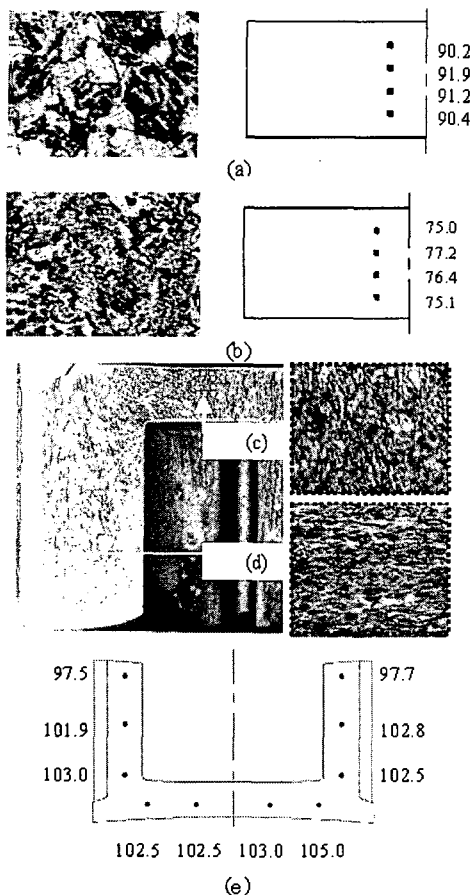


Fig. 5 Structure element state and hardness measurement distributions: (a) raw material ; (b) after spheridizing annealing ; (c) bottom after gearing ; (d) side after gearing ; (e) hardness after annealing (unit: HrB)

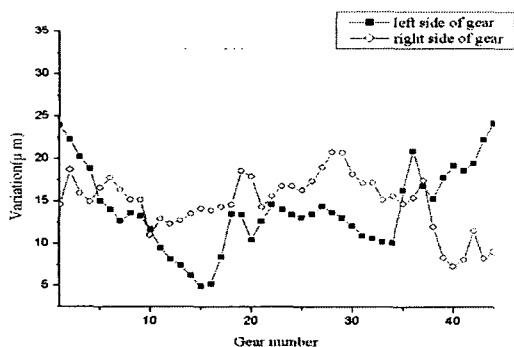


Fig. 6 Lead-tooth alignment variation

- (1) S.K. Byun, B.W. Huh and B.S. Kang, 1999, "Finite Element Analysis and Design in Combined Precision Forming of Bending and Coining with Experimental Measurement," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 94, Iss. 2~3, pp. 167~174.
- (2) B.S. Kang, J.H. Lee, B.M. Kim and J.C. Choi, 1995, "Process Design in Flashes Forging of Rib/Web-shaped Plane-strain Components by the Finite Element Method," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 47, pp. 291~309.
- (3) A.G. Mamalis, D.E. Manolakos and A.K. Baldoukas, 1996, "Finite-element Simulation of Axisymmetric Preforms in Precision Forging at Elevated Temperatures," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 57, pp. 103~111.
- (4) A.G. Mamalis, D.E. Manolakos and A.K. Baldoukas, 1996, "Simulation of the Precision Forging of Bevel Gears using Implicit and Explicit FE Techniques," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 57, pp. 164~171.
- (5) J.J. Park, J.H. Lee and Y.S. Lee, 1996, "FEM Analysis of Closed-Die Forging of a Bevel Gear," *Transactions of the KSME, A.*, Vol. 20, No. 8, pp. 2458~2467.
- (6) J.C. Choi, Y. Choi, S.J. Park and K.K. Kim, 1997, "A Study on the Cold Forging Process of Spur Gears," *J. of KSPE*, Vol. 14, No. 12, pp. 105~113.
- (7) L.P. Lei, J. Kim and B.S. Kang, 2000, "Analysis and Design of Hydroforming Process for Automobile Rear Axle Housing by FEM," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 40, Iss. 12, pp. 1691~1708.
- (8) B.S. Kang and S. Kobayashi, 1991, "Preform Design in Ring Rolling Processes by the Three-dimensional Finite Element Method," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 31, No. 1, pp. 139~151.
- (9) D.Y. Yang and K.H. Kim, 1988, "Rigid-Plastic Finite Element Analysis of Plane Strain Ring Rolling," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 30, No. 8, pp. 571~580.
- (10) N. Bay, 1994, "The State of the Art in Cold Forging Lubrication," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 46, Iss. 1~2, pp. 19~40.