

폐쇄단조 다이세트 개발 및 정밀단조 응용

전병윤¹, 박래훈², 전만수[#], 최상호³, 성재용⁴, 김충기⁵, 정성환⁶

Development of an Enclosed Die Forging Die Set and its Application to Precision Forging

B. Y. Jun, R. H. Park, M. S. Joun, S. H. Choi, J. Y. Sung, C. G. Kim, S. H. Jeong

Abstract

In this study, a die set for enclosed die forging is developed and it is applied to precision forging of bevel gears and spiders. The enclosed die forging die set is introduced in detail together with the enclosed die forging. A target mechanical press and a model product are selected and various engineering technologies are applied for detail design of the enclosed die forging die set. Several precision forgings are manufactured by the developed die set. The enclosed die forging die set as well as the precision forging processes are developed under intensive industry-university cooperation.

Key Words : Enclosed die forging, Die set, Precision forging, Bevel gear, Spider

1. 서 론

국내의 자동차부품산업의 대외경쟁력 향상을 위해 경량화기술, 고품질화기술, 생산성 향상 및 제조원가 절감 기술 등의 연구에 힘쓰고 있다. 생산기술 측면에서는 절삭량을 최소화하고 생산공정을 자동화함으로써 생산비용을 줄이는 노력이 계속되고 있다. 특히 소재의 낭비를 줄이고 고품질을 유지하는 생산방법으로 정밀정형성형(net shape forming) 기술[1]이 각광을 받고 있다. 냉간 단조의 경우, 정밀정형단조가 주요 관심 분야인데, 핵심기술인 폐쇄단조(enclosed die forging) 기술의 국내 수준은 단순모방에 머무르고 있다.

일본에서는 1970년대부터 폐쇄단조 기술[2]을 개발하기 시작하여 현재 세계 최고 수준의 기술력을 유지하고 있다. 폐쇄단조 기술에서 한국과 일본의 기술 격차는 매우 크다. 현재 우리나라는 대부분의 고급 폐쇄다이세트(enclosed die forging die set)를 일본에서 고가에 수입하고 있는 실정이다.

폐쇄단조 기술로서 생산할 수 있는 단조제품으로는 베벨기어, 헬리컬기어, 스파이더, 인너레이스, 크로스저널 등이 있다. 이와 같은 제품들을 정밀정형단조로 생산할 경우, 정도 및 강도 등의 품질 개선과 단조공정단축, 단조품 내·외부 결함 방지 등의 장점이 있다. 그러므로 폐쇄다이세트의 기술개발 및 저가의 금형시스템의 국내 보급은 국내 단조산업의 발전에 필수적이다

1. 진 엔지니어링
2. 경상대학교 기계공학과 대학원
3. 방호정밀
4. 우성정공㈜
5. 일진금속공업㈜
6. ㈜대연정공
교신저자: 경상대학교 기계공학과,
E-mail: msjoun@gsnu.ac.kr

본 논문에서는 폐쇄단조의 요소기술에 관한 연구결과와 응용예제를 소개하고자 한다.

2. 폐쇄단조와 폐쇄다이세트

2.1 폐쇄단조

Fig. 1 은 기존의 형단조를 개념적으로 나타내고 있다. 일반적으로 이러한 공정은 플래쉬(flash)가 발생하여 소재의 수율이 저조하고 정밀도 및 강도가 떨어지는 단점을 지니고 있다. Fig. 2 은 폐쇄단조를 개념적으로 나타낸 것이다. 폐쇄단조에서는 상형과 하형이 먼저 닫힌 후 제품이 성형되기 때문에 플래쉬가 없고, 후가공을 최소화시킨 정밀 단조품을 생산할 수 있는 장점이 있다. 반면, 시스템이 복잡하고 고가이기 때문에 일반 기업체에서 관련 시스템의 도입이 쉽지 않다.

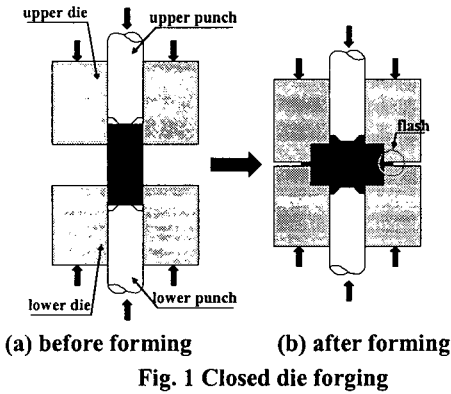


Fig. 1 Closed die forging

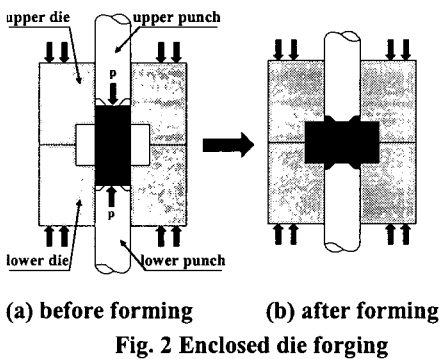


Fig. 2 Enclosed die forging

2.2 폐쇄다이세트

폐쇄다이세트의 종류에는 링크스프링식과 링크유압식이 있으며, 작동방식에 따라서 복동식과 단동식이 있다. 본 연구에서는 폐쇄하중의 변

경이 용이하고 적용범위가 넓은 복동 링크유압식 폐쇄다이세트를 연구 대상으로 하였다.

Fig. 3 는 폐쇄다이세트의 각 부위의 명칭을 도시화한 것이다. 폐쇄다이세트는 크게 상부, 중부, 하부로 나눌 수 있다. 먼저 상부는 슬라이더(slidebar), 상판(upper plate), 상유압실린더(upper hydraulic cylinder), 상금형(upper die), 상펀치(upper punch)로 구성되고, 중부는 중간판(middle plate), 링크(link)로 구성되며 하부는 볼스터(bolster), 하판(lower plate), 하유압실린더(lower hydraulic cylinder), 하금형(lower die), 하펀치(lower punch)로 구성되어 있다.

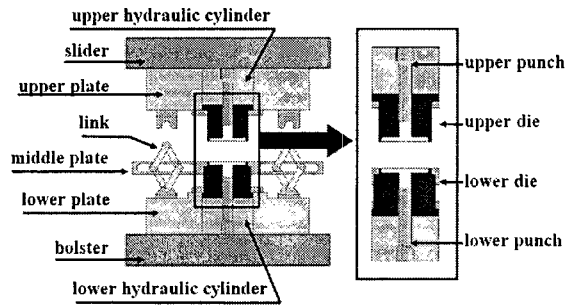


Fig. 3 Part name of an enclosed die forging die set

Fig. 4 는 폐쇄단조에 필수적인 복동 링크유압식 폐쇄다이세트의 작동 원리를 개념적으로 나타낸 것이다. 먼저 슬라이더가 하강해서 상판과 링크가 접촉한 후 링크가 중간판과 하금형을 움직이고, 상금형과 하금형이 닫혀진 상태에서 펀치에 의해 최종 제품이 성형된다. 링크가 없는 경우 하금형이 움직이지 않는 상태에서 상금형과 하금형이 닫혀지고 성형이 이뤄지게 된다. 링크시스템의 특징으로 최초 성형위치의 조절기능과 상·하금형의 속도 조절 기능을 들 수 있다.

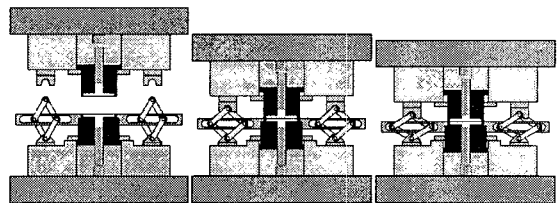


Fig. 4 Mechanism of the enclosed die forging

일반적으로 다이세트는 장비와 생산 제품에 따라 차이가 날 수밖에 없다. 폐쇄다이세트 역시 마찬가지다. 따라서 적용 대상 장비와 제품의 결

정이 이루어져야 하고, 가급적 범용성이 높도록 선정되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터의 보유장비인 기계식 프레스를 적용 대상 장비로 선정하였으며, 제품은 Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 외곽 반경이 23mm 인 축대칭 제품을 적용 대상 제품으로 선정하였다. 프레스의 구체적인 사양은 Table 1에서 보는 바와 같다.

설계 정보를 획득하기 위하여 단조 시뮬레이션 [3]을 실시하였으며, 주요 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 소재는 AISI 1020 이고 변형저항식은 $\bar{\sigma} = 750 \bar{\epsilon}^{0.2}$ MPa 이며, 마찰계수를 0.05 로 가정하였다.

해석 결과, 폐쇄하중은 최대 1,000kN 이다.

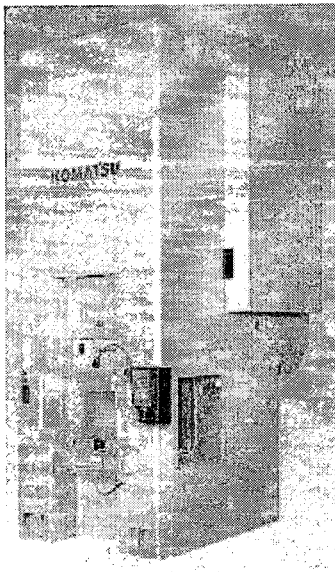
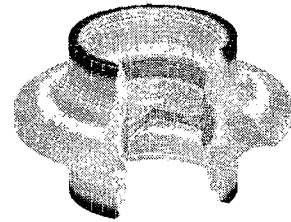


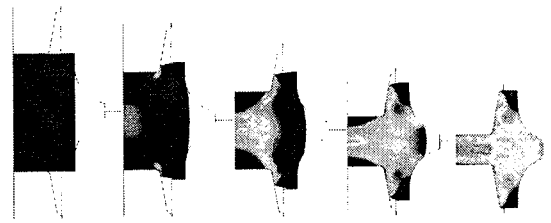
Fig. 5 The target forging press

Table 1 Specifications of the press

Capacity(kN)	10,000
Stroke(mm)	250
Working speed(mm/s)	1800
Slide(mm)	900×900
Bolster(mm)	1,000×900
Knockout capacity(kN)	500
Knockout stroke(mm)	100



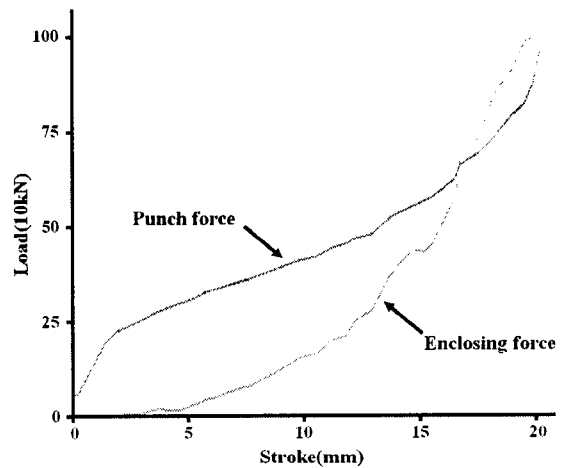
(a) Model product



(b) Effective strain



(c) Metal flow lines



(d) Forming load versus stroke

Fig. 6 Forging simulation results of the model process

3. 폐쇄다이세트의 상세설계

3.1 피스톤의 단면적의 결정

설계기준 폐쇄하중은 최대 폐쇄하중에 안전계수를 고려하여 결정되며, 본 연구에서는 안전계수를 1.2 로 간주하였다. 따라서 단조시물레이션 결과를 바탕으로 설계기준 폐쇄하중을 1,250kN 으로 설정하였다. 폐쇄다이세트와 유사한 장비의 유압, 즉 폐쇄압은 25MPa 을 넘지 않도록 설계하므로 본 연구에서도 현장의 경험을 반영하여 이를 폐쇄압으로 결정하였다. 따라서 피스톤의 단면적은 약 500,000mm² 으로 설계되었으며, 이를 바탕으로 기구 설계를 실시하였다.

3.2 폐쇄다이세트 상세설계

Fig. 4 에서 폐쇄다이세트의 개념설계를 미리 설명하였고, 이를 바탕으로 상세설계를 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 7 에 나타내었다.

3.3 링크의 구조해석

폐쇄다이세트에서 구조역학적으로 가장 취약한 부분은 링크이다. 따라서 링크의 구조해석을 위하여 링크 부위를 접촉문제로 모델링하여 응력해석을 실시하였다. 사용된 S/W 는 CATIA 이다.

링크에 작용하는 유효응력 분포를 Fig. 8 에 나타내었다.

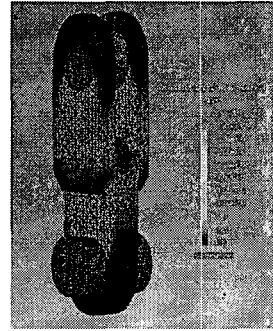


Fig. 8 링크의 구조해석 결과

단위하중이 가해졌을 때 최대유효응력은 3,800Pa 로 나타났는데, 이 응력이 작용할 경우 최대 전달하중이 5,000kN 에 이른다. 따라서 1,250kN 이 작용할 경우, 피로강도 이하에 머무름을 알 수 있다.

4. 폐쇄다이세트 및 응용예제

Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 등은 본 연구에서 개발한 폐쇄다이세트와 폐쇄단조품을 나타내었다.

Fig. 10(a)의 스파이더는 링크시스템을 이용한 상하대칭인 형태이다. 링크시스템은 성형하중을 낮추어주고 정밀한 제품을 생산할 수 있는 장점이 있다. 반면, 시스템의 설정이 복잡하다는 단점이 있다. Fig. 10(b)의 베벨기어는 상하대칭형이 아니고 소재 또한 크지 않아 링크시스템이 없이도 생산이 가능하다. 이 경우 시스템 설정이 용이하며, 생산성이 높아진다. 하지만 정밀도가 높고 후가공이 필요 없는 제품을 생산하기 위해서는 링크시스템이 사용된다.

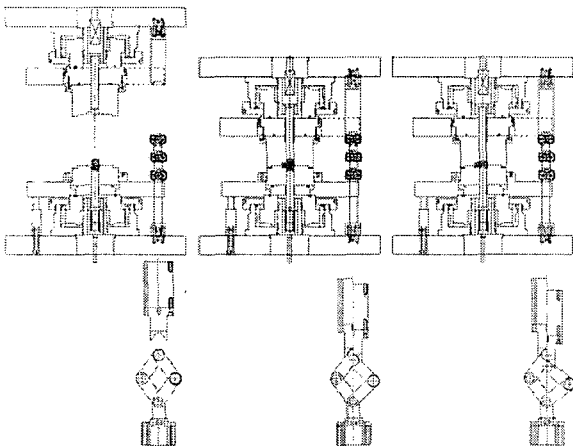


Fig. 7 Detail design of an enclosed die set

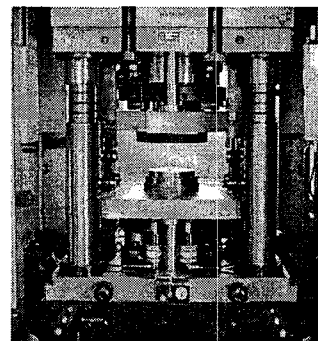


Fig. 9 제작된 폐쇄다이세트

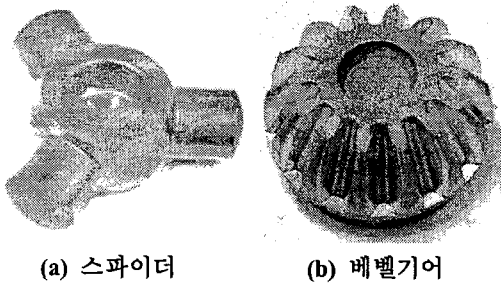
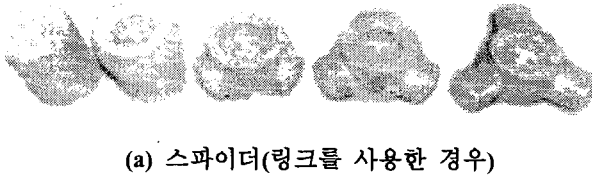
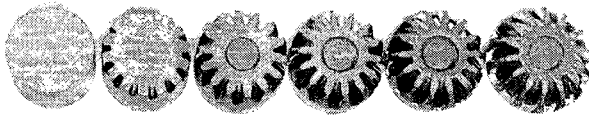


Fig. 10 폐쇄단조 공법으로 시험생산된 단조품



(a) 스파이더(링크를 사용한 경우)



(b) 베벨기어(링크를 사용하지 않은 경우)

Fig. 11 폐쇄단조품의 성형 과정

5. 결론

본 연구에서는 정밀정형단조에 필수적인 폐쇄다이세트를 개발하고, 이를 이용하여 베벨기어 및 스파이더 단조품을 개발하였다. 폐쇄다이세트의 기본 개념을 정립하였으며, 모델 제품의 선정 및 단조 시뮬레이션, 기구학적 해석, 링크의 구조해석, 폐쇄압의 결정 등을 통하여 상세설계를 체계화하였다.

산학협력에 의하여 폐쇄다이세트가 제작되었으며, 이를 이용하여 정밀폐쇄단조 공법에 의한 베벨기어, 스파이더의 개발 및 시험생산을 성공적으로 완수하였다.

폐쇄다이세트의 보급을 통한 정밀정형단조의 확산은 국내의 관련 산업 발전에 필수적이다. 본 연구를 통하여 확보된 요소기술들은 보급형 폐쇄다이세트의 개발 및 보급과 단조산업의 고부가가치화에 이바지할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] E. Doege and R. Bohnsack, 2000, Closed die technologies for hot forging, J. Mat. Proc. Tech, vol 98, pp.165-170
- [2] H. Yoshimura, K. Tanaka, 2000, Precision forging of aluminum and steel, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 98, pp.196-204
- [3] M. S. Joun, M. C. Lee, 1997, Quadrilateral finite-element generation and mesh quality control for metal forming simulation, Int. J. Num Meth. Engrg., Vol. 40, pp.4059-4075.