

열간단조의 자동설계

*김대영, 박종진
홍익대학교 기계공학과

Automatic Design of Hot Forging

Dae-Young Kim, Jong-Jin Park

Department of Mechanical Engineering, Hong Ik University, Seoul, 121-791

Abstract

In this study, a computer program was developed which generates automatically a drawing of the forging design in axisymmetric hot-forging of steel. The program designs a forging envelope from a machined part geometry according to forging design rules: parting line, draft angles, fillet and corner radii, minimum web and rib thicknesses. For the purpose of verification, the program was applied to a machined part from a factory. It was found that the generated forging design agreed well with the actual one used in the factory.

Key Words: forging design, hot forging, steel, axisymmetric forging, forging envelope, expert system

1. 서론

일반적으로 단조제품의 최종형상과 치수는 기계가공제품의 형상과 치수를 기본으로 하여 설계한다. 이러한 설계를 단조설계(forging design)라고 하는데 많은 경험을 가진 전문가에 의하여 이루어지고 있다. 최근에 설계 시간 및 비용의 최소화 관점에서 이러한 설계를 자동적으로 수행할 수 있는 시스템의 개발 욕구가 증가하고 있다. Gokler 등은 열간 업셋 단조의 공정설계 시스템을 개발하였다[1]. 또한 Davison[2]와 Bariani[3,4] 등은 중실 및 중공 축대칭 다단 냉간 단조의 공정설계 시스템을 개발하였다. Kim과 Altan도 다단 냉간 단조의 공정설계 시스템을 개발하였다[5]. Osakada[6]등은 유한요소 해석기술에 neural network의 개념을 도입하여 유한요소해석으로 얻은 결과를 지식베이스로 사용하는 시스템을 개발하였다. 주용선[7]은 압출과 업셋 단조 공정설계 시스템을 개발하였고, 김홍석[8]과 윤성만[9]은 냉간 단조 공정설계 시스템을 개발하였다.

본 연구의 목적은 강(steel)을 대상으로 하여 축대칭 열간단조시 단조설계와 도면작성을 자동적으로 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하는 것이다. 이를 위하여 현장의 경험과 문헌의 자료를 수합하여 단조설계에 필요한 변수들에 대한 데이터를 정리하였다. DOS와 Windows 환경의 PC에서 AutoCAD와 연계하여 작동할 수 있도록 Fortran 언어와 AutoCAD 및 AutoLISP 언어를 사용하였다. 이 시스템이 완성되면 유한요소해석 기술과 연계하여 축대칭 열간단조의 공정설계와 금형설계를 신속하게 수행할 수 있게 될 것이다.

2. 단조 설계 룰

단조금형설계에서 가장 중요한 원칙은 저항이 최소인 방향으로 소재를 유동시켜 금형 공동부를 적절히 충전시키는 것이다. 금형설계에 필요한 변수들을 아래에 요약하였다.

2.1 최소 리브(rib)두께와 최소 웨브(web)두께

리브는 높이에 대하여 최소한의 두께를 확보하고 있어야 한다. 금형가공시 리브의 공동부는 일반적으로 테이퍼형의 엔드밀을 사용하여 가공한다. 리브의 공동부가 너무 얇거나 또는 길어서 가공이 용이하지 않을 때는 인서트를 사용한다. 드래프트 각이 작은 리브의 경우에는 금형으로부터 단조품을 분리하기 위하여 고정된 인서트와 녹아웃 장치 가 필요하다. 일반적으로 리브의 두께는 리브의 높이에 의해 결정된다. 높이 대 두께의 비가 8 : 1 이상일 경우는 특수 장치가 있는 금형이 필요하므로 최대 6 : 1을 넘지 않는 범위내에서 설계한다.

웨브는 얇은 평판형상의 부분이다. 웨브는 보통 수평면으로 단조평면(forging plane)을 포함하고 있으나 흰 형상으로 나타나는 경우도 있다. 웨브는 다른 부분들을 연결하는 역할과 금형 공동부에 소재가 유동하는 통로 역할을 하므로 형분리선(parting line)의 위치, 드래프트 각, 코너 반경과 필렛 반경, 리브의 치수와 함께 고려되어야 한다. 보통 얇은 웨브 부품은 많은 공정을 요구한다.

2.2 드래프트 각(draft angle)

외부 드래프트(outside draft)는 수평부분의 바깥면에 적용되며, 내부 드래프트(inside draft)는 안쪽면에 적용된다. 보편적으로 적용하는 드래프트 각은 10° 이내이다. 그 범위 안에서 허용오차는 $\pm 1^\circ$ 이다. 일반적으로 드래프트 각은 단조후 금형으로부터 소재를 분리시키는데 필요하지만 과도한 드래프트 각은 가공비용과 재료손실을 증가시킨다.

2.3 코너 반경(corner radius)과 필렛 반경(fillet radius)

코너 반경과 필렛 반경은 교차되는 면을 부드럽게 연결하여 소재유동을 용이하게 하는 기능을 수행한다. 따라서 응력이 집중되는 부위에서 응력을 낮춤으로서 금형의 응력이 감소하고 수명이 길어진다. 수평 코너의 크기는 돌출부의 높이에 영향을 받는다. 수평 코너 반경은 단조 공정의 정밀도를 결정하는 요소이다. 따라서 정밀단조형에 가까와 질수록 작은 코너 반경을 사용한다. 반면에 단조성이 나쁜 소재일수록 큰 코너 반경이 요구된다. 결국 큰 코너 반경의 사용은 생산성을 향상시키며 다이 싱킹(die sinking)을 단순화 시킨다. 수직코너에서는 수평코너에서 선택한 반경을 취하는 것이 일반적이다. 그러나 단조의 형태가 수직코너에서 더 큰 반경을 허용하면 허용 가능한 큰 치수의 반경을 선택하는 것이 유리하다.

일반적으로 수평 필렛의 크기는 리브 및 근접한 부분의 높이와 관련되어 있다. 코너의 경우와 같이 필렛의 크기는 공정 정밀도에 반비례한다. 가장 큰 필렛은 블락커에, 가장 작은 필렛은 정밀단조에서 채택된다. 수평 필렛 반경은 필렛의 기계가공여부, 웨브와의 거리, 웨브의 형태 등에 의해 결정된다. 리브의 교점에서 내부 필렛과 같은 수직 필렛은

교차각이 90° 또는 그 이상의 경우라도 반경은 최소한 리브와 웨브 접합부의 필렛 반경과 같아야 한다. 접촉각이 90° 이하이고 높이가 1인치 또는 그 이상되는 리브의 경우에는 수직 필렛 반경은 최소한 리브-웨브 접합부 필렛반경의 1.5~2배가 되어야 한다.

3. 단조설계에의 응용

현장의 전문가와 문헌조사를 통하여 수합된 최소 리브와 웨브 두께, 드래프트 각, 코너와 필렛 반경 등의 단조설계 룰을 실제의 기계가공도면에 적용하여 단조설계를 수행하고, 이를 실제의 단조도면과 비교하여 보았다. 그림 1-(a)는 실제 단조도면이며 1-(b)는 단조설계 룰을 적용시켜 시스템으로부터 구한 도면이다.

그림 1-(a)내의 이점쇄선부분이 기계가공형상을 나타내고 있다. 피어싱 부분의 웨브는 길이가 19.4mm이므로 두께를 3mm로 선택했다. 전체적으로 기계 가공 여유는 1.5mm를 주었다. Part A에서는 리브의 높이가 18.5mm이고 외측이므로 외측 드래프트 각인 5° 를, 코너 반경은 1.32mm를 취했다. Part B에서 리브는 높이가 33mm이고 내측이므로 내측 드래프트 각인 7° 를 선택했으며 코너 반경은 2.8mm를, 필렛 반경은 7.2mm를 선택했다. Part C에서 리브는 높이가 39mm이고 내측이므로 내측 드래프트 각인 7° 를 선택했고, 코너 반경은 3.2mm를, 필렛 반경은 9mm를 취했다. Part D에서도 리브 높이 30mm에 해당하는 내측 드래프트 각인 7° 를 선택하였고 코너 반경은 2.5mm를 선택했으며 필렛 반경은 6.5mm를 취했다. 이상과 같이 기계가공도면에서 단조설계 룰로부터 작성된 도면을 그림 1-(b)에 나타내었다.

실제 현장 도면과 본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 작성한 도면은 전반적으로 잘 일치하고 있다. 다만 필렛과 코너 반경에서는 약간의 차이를 보인다. 이는 필렛과 코너 반경으로 제안된 값들이 소재의 유동에는 적당하지만 실제 금형가공시에는 부적당하여 큰 값을 선택한 것으로 판단된다. 그러나 이러한 차이는 반경이 커질수록 적어진다. 실제로 하단부 필렛의 크기를 보면 두 값이 거의 일치함을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 시스템을 사용하여 여섯가지의 대표적인 기계가공도면에 적용하여 얻은 단조설계 결과를 그림 2에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 강의 축대칭 열간단조시 단조설계를 자동적으로 수행하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 기계가공도면으로부터 단조도면을 자동적으로 작성하는 룰 베이스 시스템이다. 이 시스템에 사용된 단조설계 룰은 현장 경험자의 조언과 문헌조사를 통하여 수합하였다. 이 시스템을 실제 기계가공도면에 적용해 본 결과 작성된 단조도면은 현장의 단조도면과 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 다른 기계가공도면에도 적용해 본 결과 전반적으로 무난한 설계를 수행하는 것으로 판단된다. 하지만 시스템의 타당성을 검증하기 위해서는 많은 실제의 경우에 적용하고 비교하는 과정을 거쳐야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] M. I. Gokler, T. A. Dean, W. A. Knight, Proc. 11th NAMRC, 1983, pp.217~223
- [2] T. P. Davison, W. A. Knight, Advanced Technology of Plasticity, vol.1, 1984,

pp.551-556

- [3] P. Bariani, W. A. Knight, Annals of CIRP, vol.34/1, 1987, pp.245~248
- [4] P. Bariani, E. Benuzzi, W. A. Knight, Annals of CIRP, vol.36/1, 1987, pp.145~148
- [5] H. K. Kim, T. Altan, J. of Material Processing Tech., vol.33, 1992, pp.57~74
- [6] K. Osakada, G. B. Yang, T. Nakamura, K. Mori, J. of JSPT, 1990, pp.511~514
- [7] 주용선, 충남대학교 공과대학, 석사학위논문, 1994
- [8] 김홍석, 한국소성가공학회, '94 추계학술대회 논문집, pp.141-148
- [9] 윤성만, 서울대학교 공과대학, 박사학위논문, 1996

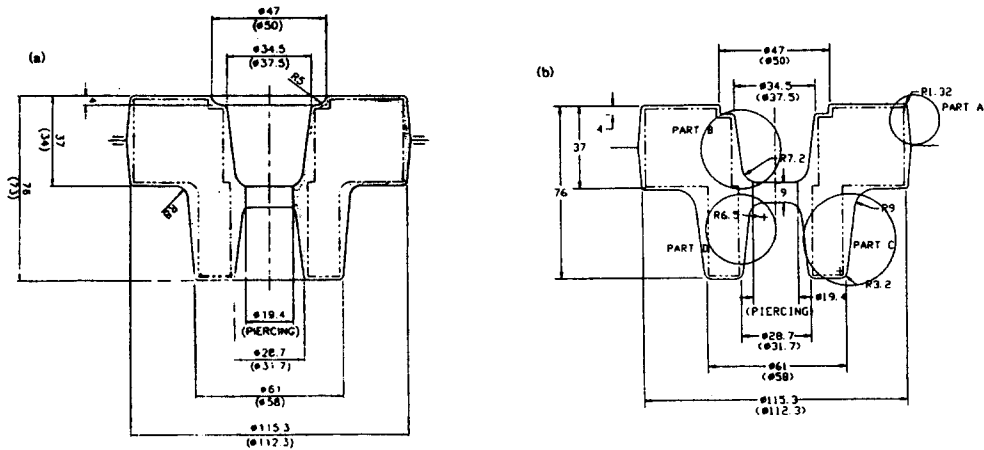


그림 1. 단조도면; (a) 현장 단조도면, (b) 시스템에서 작성된 도면

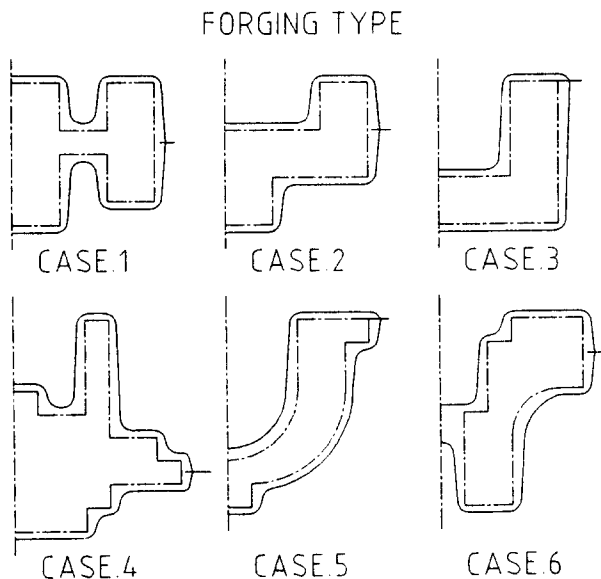


그림 2. 여섯가지 대표적인 기계가공도면에 적용하여 작성된 단조도면