

파이프의 헤딩공정에 관한 연구

김기성¹ · 이효영² · 천세영³ · 허관도[#]

A Study on the Heading Process of Pipe

H. Y. Lee, K. S. Kim, S. Y. Chun, K. D. Hur

Abstract

In generally, a high pressure fuel injection pipe has been often used as a fuel supply line in automobiles or other diesel engines. Such conventional high pressure fuel injection pipe, however, has suffered from the problem that is folding and hair cracks created therein. The defects can be locally formed in the inner wall surface of the pipe at the connecting head leading to a flow path when the pipe is deformed by the heading process. In the study, in order to prevent the folding in the inner wall surface of the pipe during the heading process, FE-analysis has been used in the die design.

Key Words : Bulging(벌징), Folding(접힘), Hair Crack(헤어크랙), Underfill(결속)

1. 서 론

최근 디젤차량에 사용되는 연료분사장치는 압력발생과 분사과정이 완전히 별개로 이루어져 분사시기를 조정할 수 있다. 이러한 방식은 엔진의 회전속도가 낮을 때에도 고압분사가 가능해져 연료의 완전연소를 통한 고효율을 얻을 수 있다. 연료분사장치 중에서 파이프의 노즐 연결부위는 고온, 고압의 조건하에서 작동하게 되므로 높은 강도가 요구된다. 현재 이러한 고압연료분사장치는 전량 외국의 수입에 의존해 사용하고 있는 상태이며, 일부 국산화를 위한 연구가 진행되고 있다.

파이프의 헤딩성형을 통한 노즐의 형상은 양단에 테이퍼 및 직각부를 가지는 형태로 초기 파이프 형상에서 원하는 최종 형상으로 결함 없이 제조하는 것이 가장 어렵다. 특히, 파이프를 성형할 때 재료유동의 불합리에 의해서 파이프 내면의 소재가 외면으로 이동 시 발생하는 벌징(bulging)은 벽면두께내부에 접힘(folding) 또는 헤어크랙

(hair crack)을 발생하여 성형 이후 외부의 피로진동 등에 의해서 균열이나 파손 등의 원인이 된다.

본 연구에서는 고압연료분사장치에 사용되는 연료파이프의 노즐부 성형을 위한 파이프 헤딩공정에 관하여 연구하였다. 내면의 접힘형상을 최소화하는 성형조건을 도출하고자 파이프 단면의 직경비에 대하여 상용유한요소해석코드인 DEFORM을 이용하여 성형해석 하였다. 해석결과로부터 접힘, 결속(underfill) 등의 발생 정도와 유효변형률분포 등을 평가하여 최적 성형조건을 결정하였다.

2. 파이프의 노즐 성형

본 성형은 열처리된 ST52 소재의 파이프를 사용하여 냉간단조 조건에서 실시하기로 한다. 소재의 유동을 파악 후 접힘결함을 최소로 할 수 있는 다양한 조건들을 고려하여야 한다. 특히 파이프의 사용에서 소재 두께를 고려하여 굽힘 또는 소성변형이 성형에 차지하는 정도를 판단한 후 해석의 접근방법을 결정하는 것이 중요하다.

1. 동의대학교 대학원

2. 동의대학교 대학원

3. 한국폴리텍 7대학

허관도: 동의대학교 기계공학과, kdhur@deu.ac.kr

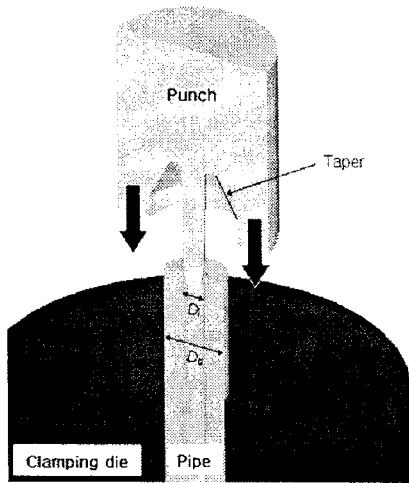


Fig. 1 Schematic diagram of die for heading process

금형은 Fig. 1과 같은 구조로써 노즐부 성형을 위한 펀치와 소재의 미끄럼 고정을 위한 클램핑 다이, 그리고 파이프 소재로 구성된다. 파이프의 직경비 D_o/D_i 는 2.67 이며, 펀치의 경사각을 비롯한 외형은 현재의 조건을 그대로 유지하도록 하였다.

3. 유한요소 해석

파이프의 헤딩 공정에서 소재내면에서 발생하는 접힘 형상을 해결하기 위해 시뮬레이션을 통해 성형해석 하였다. 해석시간을 단축하기 위해 축 대칭의 단순화한 평면 모델을 선택하였으며 성형에서 문제로 지적되는 접힘의 영향을 알아보기 위해 파이프 내면의 변형집중부위와 소재유동에 집중하여 해석하였다. 이때, 성형해석은 파이프 두께와 변형정도를 고려해 탄성회복을 무시한 강소성 유한요소법으로 설정하였다.

3.1 1단 공정을 적용한 헤딩성형

1단 공정으로 성형한 결과 Fig. 2와 같이 파이프의 내면에 접힘이 발생하였다. 이러한 결함부를 제거하기 위해서는 파이프를 성형 후 내면을 절삭하거나 금형의 수정을 통한 성형공정을 변경하는 경우가 있다. 하지만 전자의 경우는 제품의 두께가 얇아지는 단점이 있어 고려하지 않았다.

단일공정에서의 성형결과 소재의 유동은 펀치의 외형을 따라 별장이 크게 이루어졌으며 성형 후 파이프 내면에 급격한 접힘이 발생하였다.

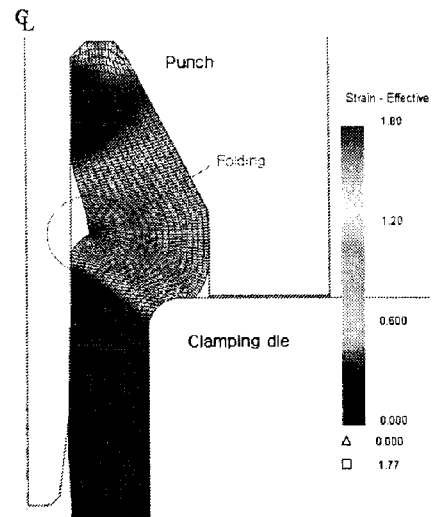


Fig. 2 Distribution of the Effective-strain by singular heading process

3.2 2단 공정을 적용한 헤딩성형

접힘형상을 개선하기 위해서는 소재의 별장을 초기에 구속하여 반경방향으로의 유동 흐름이 축 방향을 따라갈 수 있도록 추가적인 금형이 필요하였다. 추가된 금형은 별장이 일어나는 시점에서 더 이상 유동이 외부로 향할 수 없도록 제어하는 기능을 담당하였다. Fig. 3, 4는 2단 성형을 적용한 해석결과 이다. 이미 Fig. 3에서 헤드부의 완전한 채움과 함께 접힘 없는 외형을 성형할 수 있었다. 이후 Fig. 4에서 소재는 축 방향을 향하는 유동흐름을 보이며 최종 형상을 마무리 지을 수 있었다.

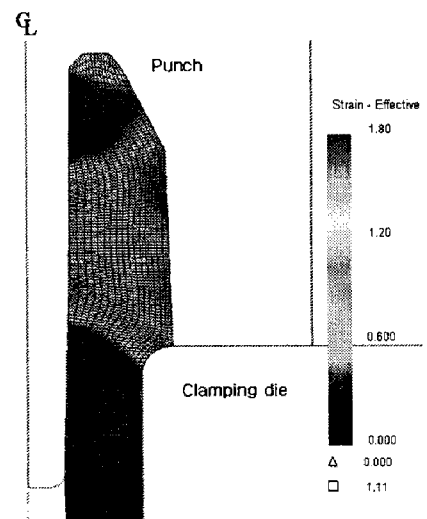


Fig. 3 Distribution of the Effective-strain at the 1st process of the two-step heading process

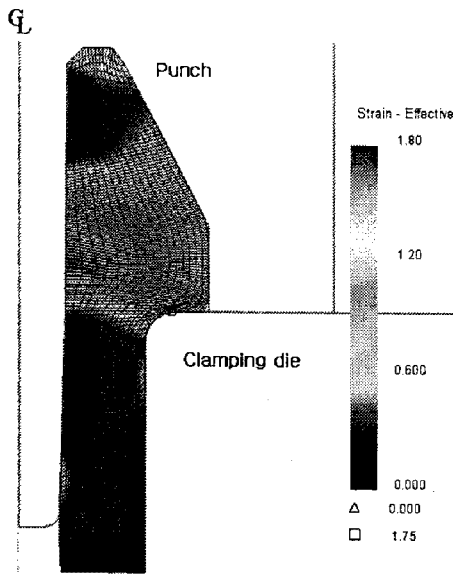


Fig. 4 Distribution of the Effective-strain at the 2nd process of the two-step heading process

결과, 단일공정에서 발생되었던 접힘을 완전히 제거할 수 있었다. 성형 후 발생한 유효변형률에서도 비슷한 값을 보임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 고압 배관용 파이프의 체결부 성형을 위해 유한요소해석을 이용하여 공정설계를 하였다. 1단 공정에서 펀치의 외형 수정없이 내면부 결함이 없는 제품의 성형은 난해하므로 2단 성형 공정으로 최종성형공정을 결정하였다.

성형해석을 통한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 1단 공정에서 성형공정을 분석한 결과 초기 소재 내면이 외부로 이동되어 접힘형상이 발생하였고 변형이 집중되어 크랙의 위험을 발생하였다.

(2) 2단 성형공정에서 첫 번째 헤딩 공정인 외경구속에 의해 외경부에 발생하기 쉬운 플래쉬 발생을 억제하고 내경부의 벌징 발생을 억제할 수 있었다.

(3) 본 연구결과인 다단 헤딩공정을 제품개발 등에 적용한다면 개발기간 단축과 성능개선이 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Masayoshi Mukasa and Shigeaki Fujimaki, 1975, HIGH PRESSURE FUEL INFECTION PIPE, United States Patent, 4,134,430
- [2] Bela Lengyel and I. A. Chaudhry, 1995, Computer-aided planning in the cold forging of steel, Proceeding of the 9th International Cold Forging Congress, pp. 199~207
- [3] 임중연, 황병복, 김철식, 1999, 냉간압출을 이용한 롱넥 플랜지 성형에 대한 공정설계, 한국소성가공학회지, 제8권, 제2호, pp. 160~168.
- [4] Park, J. J., Rebelo, N. and Kobayashi, S., 1983, A new approach to perform design in metal forming with the finite element method, Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 23, No. 1, pp. 71~79.
- [5] K. T. Han and J. S. Park, 2002, On the Deformation Analysis of the Brake Tube-End for Automobiles, The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 31~35