

중공축 내접 스플라인 성형을 위한 냉간압출공정해석

왕창범* · 김동진* · 임성주** · 김연구*** · 김민응*** · 박용복#

Analysis for Cold Extrusion Process of Internal Spline Using the Tube

C. B. Wang, D. J. Kim, S. J. Lim, Y. K. Kim, M. E. Kim, Y. B. Park

Abstract

Internal spline forming using a thin and long tube can cause the buckling and folding during the forming process. In the study, we proposed two different extrusion processes, and we performed the analysis in order to obtain the optimal process according to the length of land part. Using the rigid-plastic finite element simulation, the proposed processes have been compared by checking the deformed shape and stroke-road relation.

Key Words : Upper shaft, Spline, Mandrel, Cold extrusion process, Tube

1. 서 론

스플라인은 보스와 축의 둘레에 많은 키를 깎아 붙인 것과 같은 것으로서 일반적인 키보다 훨씬 큰 동력을 전달할 수 있고, 내구력이 크며 서로 잘 미끄러져 운동할 수 있게 한 것이며 축과 보스의 중심을 정확하게 맞출 수 있는 특징이 있다. [1].

본 논문에서는 자동차 스티어링 컬럼 셋트 구성품 중에서 Upper shaft의 핵심 부분인 축 내부의 스플라인 성형에 대해 연구하였다. Upper shaft는 형상이 다단형상으로 길이가 길고 내·외경에는 세레이션과 나사부, 테이퍼부 등 복잡한 형상을 갖고 있는 제품으로 고정도를 요구하는 정밀도가 높은 자동차 스티어링용 축류 제품이다. 일반 성형공정으로는 요구 정밀도가 높고 성형이 매우 어려운 제품으로 지금까지 기계가공으로 제조하거나 2 개의 부품을 용접하는 방법으로 제조되어

왔다.

특히 두께가 얇은 튜브형 샤프트의 경우에 중공축 스플라인 성형 공정은 좌굴(Buckling)과 밀림 현상 등이 발생하기 쉽게 때문에 충분한 강도를 갖는 튜브의 치수와 재질의 결정 그리고 스플라인 최적 형상을 고려한 고정밀 튜브성형기술이 매우 중요하다.

냉간성형 공정은 정형(Near net shape)가공이 가능하여 재료 이용률의 대폭적 향상을 도모하고, 후절삭 가공의 배제 및 절감을 이룩하여 자원 및 에너지 절감을 실현시킬 수 있어 기계절삭공정, 용접가공, 열간가공 공정에 비하여 보다 환경 친화적인 공정으로 인정받고 있다.

그러나 냉간 성형공정은 응력집중이 국부적으로 발생하기 쉽고 금형의 마모, 탄성변형으로 인한 정밀제품 생산이 어려울 뿐만 아니라 고하중 등의 기술적인 문제가 발생한다.

따라서 본 연구에서는 냉간 압출에 의한 중공

* 공주대학교 기계자동차공학부 대학원

** 한국생산기술연구원 생산공정기술연구팀

*** ㈜ 대림엘티아이

교신저자: 공주대학교 기계자동차공학부
ybpark@kongju.ac.kr

축 스플라인 성형시 길이가 긴 축류제품의 경우에 금형의 응력집중 및 성형 하중을 예측하고, 길이가 길기 때문에 발생하는 휨과 하중 등을 예상하여 중공축에 대한 최적 스플라인 성형공정을 수립하고자 한다.[2]

2. 스플라인 성형공정

그림 1은 본 논문에서 성형하고자 한 스플라인의 형상으로 총 10산의 치형으로 이루어져 있으며 큰 회전력을 전달하기 위해 치형의 충진 여부를 예측함으로써 최적의 스플라인 형상을 얻어야 한다.

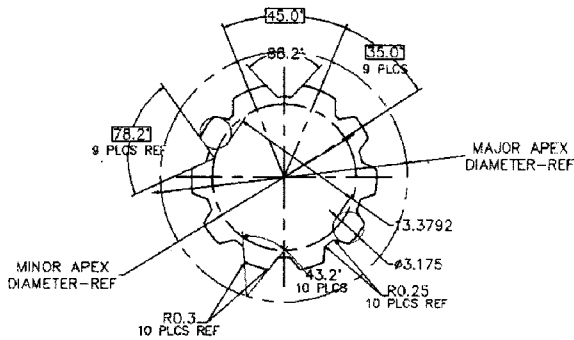
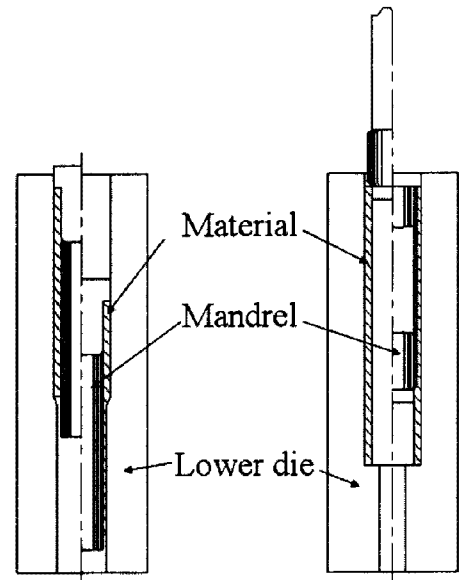


Fig. 1 Parameter of Spline

스플라인 성형은 튜브를 하우징금형 안에 삽입시킨 후 맨드릴 형태의 스플라인 펀치를 튜브 내경에 밀어 넣어 스플라인을 성형하는 방식이다.

본 논문에서는 두 가지의 성형 공정을 제안하였다. 그림 2(a)는 랜드부 길이가 긴 총형 형태의 스플라인 금형이 소재를 점점 반경이 작아지는 하우징 금형으로 가압하여 소재가 스플라인 치형 사이에 채워지는 성형 공정과 그림 2(b)처럼 소재는 고정되어 있고 랜드부 길이가 짧은 스플라인 금형을 소재의 내경으로 밀어 넣어 스플라인을 성형하는 방식이다. 튜브의 직경은 맨드릴 펀치의 머리부 직경과 같아야 하지만, 냉간 가공에서는 마찰을 줄이기 위해 윤활처리가 요구되는 것을 감안하면서 과도한 마찰에 의해 발생하는 소재의 밀림 현상을 줄이기 위해서 직경에 0.1mm의 틈을 주었다.

공정 B의 경우 랜드부 길이가 30mm로서 스플라인 펀치의 랜드부 길이가 매우 중요하다. 왜냐하면 랜드부 길이에 따라서 마찰력 상승과 함께



(a) Process A (b) Process B
Fig. 2 Extrusion process of internal spline

성형효과가 달라질 수가 있기 때문이다. 마찰력이 상승하면 성형이 계속적으로 진행되면서 금형이 성형소재를 함께 끌고 들어가는 현상이 발생하여 제품의 결침이나 굽힘 등 원인으로 인하여 제품이나 금형이 파손될 수가 있다.

본 논문에서는 공정 B의 경우 그림 3처럼 맨드릴 랜드부 길이가 20mm, 3mm, 2mm일 때 스플라인 성형에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해서 스플라인 성형 해석을 하였다.

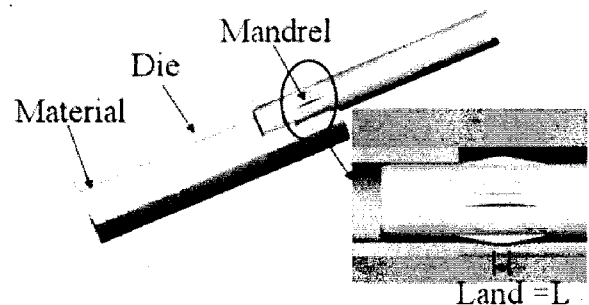


Fig. 3 Extrusion process of internal spline according to land parameter

3. 유한요소해석

3.1 해석 조건

유한요소법을 이용한 소성가공 해석 방법에는 탄소성 해석, 강소성 해석, 점소성 해석 등이 있

는데 각각이 나름대로 장단점이 있으며 해석목적에 따라 선택적으로 사용되고 있다.

본 해석에서는 상업용 유한요소 해석 프로그램인 DEFORM-3D[3]를 이용하여 강소성 유한요소법으로 공정을 해석하였다.[4] 스플라인의 치형이 총 10 산으로 시뮬레이션의 효율을 고려하여 스플라인 치형의 1/2 에 해당하는 형상을 모델링하여 해석하였고, 금형은 강체로, 소재는 강소성체로 가정하였다. 금형과 소재의 접촉면에 발생하는 마찰은 일정전단마찰로 냉간단조에서 흔히 적용되는 $m=0.12$ 로 선택하였다.

소재는 기계구조용 탄소 강관으로 식(1)과 같은 응력-변형률 관계식을 가지고 있는 SM10C 를 사용하였다.[5]

$$\bar{\sigma} = 67.354 \bar{\epsilon}^{0.2320} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (1)$$

3.2 해석 결과 및 고찰

그림 5 성형된 스플라인에서 유효 변형률의 분포를 등고선(Contour line)으로 나타낸 것이다. 스플라인의 끝단 및 이뿌리원에서 유효변형률의 분포가 크게 발생하였다. 또한 공정 A 의 유효변형률 분포 값이 공정 B 보다 높게 나타났다.

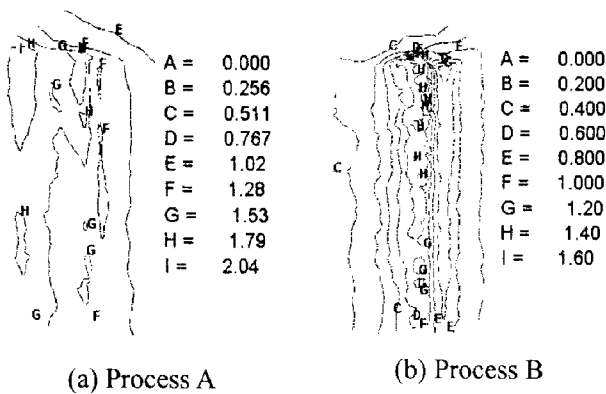


Fig.5 Effective strains after cold extrusion

그림 6 은 축방향 단면으로서 공정 A 는 정상상태분포를 잘 나타내고 있으나 공정 B 는 소재의 밀림이 발생하였다. 이는 고정된 소재에서 가압하는 맨드릴 랜드부의 마찰에 의해 소재의 후방 압출이 이뤄지지 못하기 때문이다.

또한 그림 6 은 두 공정에 대한 하중을 나타내

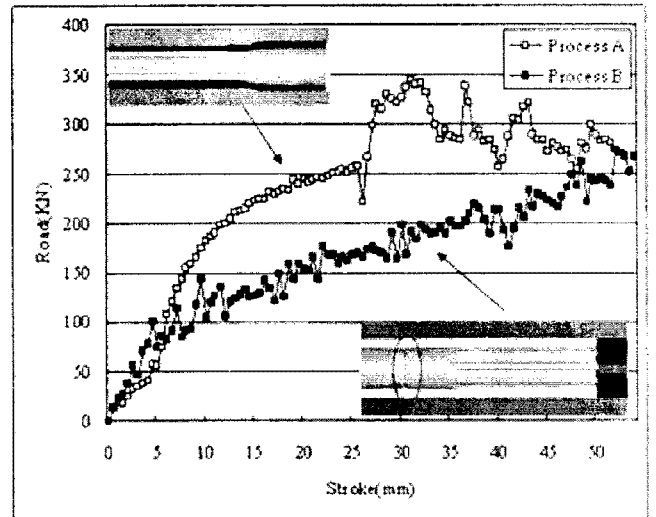


Fig. 6 Stroke-road relation according to process

는데, 공정 A 의 하중이 소재의 이동에 따른 금형과의 마찰과 랜드부의 길이가 길기 때문에 마찰력이 발생하여 공정 B 보다 높았으나, 정상상태 하중분포를 보였다. 하지만 공정 B 는 소재와 금형의 접촉 부분이 적기 때문에 초기 하중은 낮았지만, 소재의 밀림으로 하중이 계속 상승하였다.

공정 B 의 경우에 그림 7 처럼 맨드릴 랜드부 길이가 스플라인 성형에 어떤 영향을 주는지 해석 결과를 통해 알아보았다.

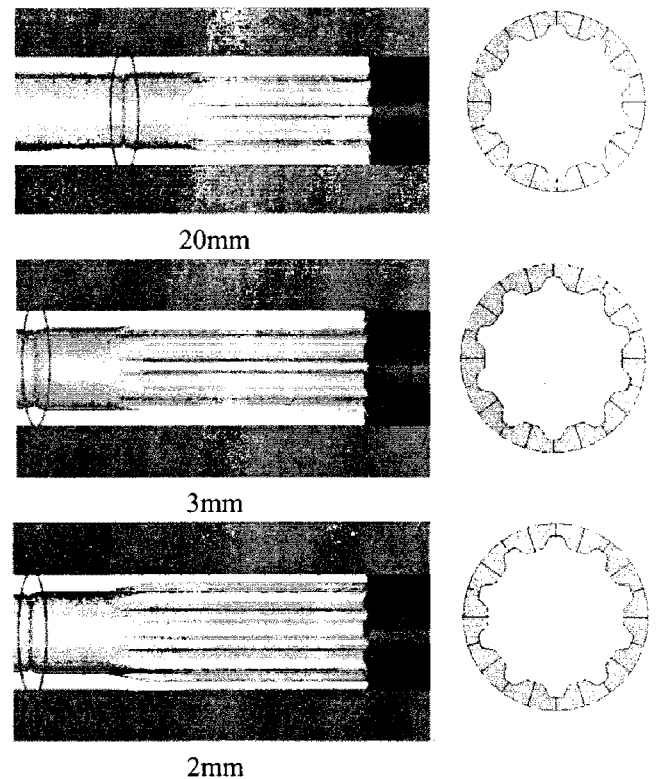


Fig. 7 Shape according to land parameters

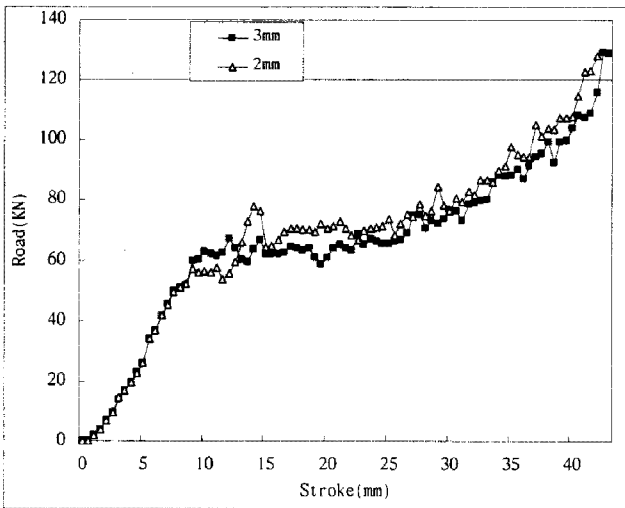


Fig. 8 Stroke-road relation for land "2mm"

랜드부 길이가 20mm 일 때 소재의 밀림현상이 발생하였고, 3mm 와 2mm 일 때 후방 압출은 이루어졌지만 마찰로 인해 최종 부분에서 밀림 현상이 발생하였다.

그림 8 은 2mm 와 3mm 의 하중분포로서 비슷한 하중분포를 나타내고 있으며 마찰로 인해 하중이 상승하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 중공축에 내접 스플라인을 성형하기 위한 냉간압출공정으로 두가지 공정을 제시하여 해석을 수행하였다. 또한 최적 스플라인성형을 하기 위한 맨드릴 랜드부 길이를 알기 위해 하중 및 성형 형상을 비교, 검토하였다.

(1) 공정 A 에서 길이가 긴 총형 형태의 랜드부 금형이 강도면에서는 유리하나 성형시 접촉면적이 계속적으로 증가되기 때문에 높은 성형하중을 나타냈다.

(2) 공정 A 의 유효 변형률 분포값이 공정 B 보다 높게 나타났으며, 공정 B 에서 소재의 밀림 현상이 나타났다. 하지만 소재와 금형의 접촉면적이 작기 때문에 초기 하중은 공정 A 보다 작은 하중 분포를 나타냈다.

(3) 랜드부 길이가 2mm 일 때 소재가 치형사이에 채워지면서 소재의 후방압출이 이루어졌지만 최종 부분에서 밀림 현상이 발생하였다. 또한 다른 공정에 비해 낮은 하중이 발생하면서 3mm 의 하중과 비슷한 것으로 보아 랜드부 길이에 따라 더 이상 하중이 작아지지 않음을 알 수 있다..

(4) 금형의 랜드부 길이가 스플라인 금형 설계에 있어 매우 중요함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S. D. Lee, Int. J. of Korea Society of Industrial Application, Vol.2, No.2, pp.187-194, 1999
- [2] 조해용, 최종용, 민규식, 한국정밀공학회지, 제 13 권, 제 1 호, pp.108-105, 1996
- [3] Deform-3D User Manual, 2003
- [4] S Kobayashi, S I Oh and T. Altan, Metal Forming and the Finite-Element Method, New York, Oxford University Press(1989)
- [5] 최재찬, 조해용, 권혁용, 한진철, "냉간 압출에 의한 헬리컬 기어의 제조에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제 15 권, 제 1 호, pp.127-138, 1991