

전·후방 압출 제품의 유동 결함에 관한 연구

황상홍*, 이동주*, 김병민**

The study on the flow defect of cold combined forward-backward extrusion product

S. H. Hwang*, D. J. Lee, *, B. M. Kim**

Abstract

This paper presents a study of cold combined forward-backward extrusion product. The case of product with thin wall in piercing process occur defects of deformation and breakdown during piercing process and the center web of product with thin thickness cause flow defect. Such defect is made by the difference of material flow. Methods of the material flow control in the two directions and forming process to remove this flow defect is proposed. The effectiveness of the proposed methods is examined by comparison experiment and finite element simulation.

Key word : Cold combined forward-backward(전·후방 압출 공정), backward extrusion(후방 압출), Finite element simulation(유한 요소 시뮬레이션), Flow defect(유동 결함)

1. 서 론

양방향 컵 형상을 가지는 제품의 경우에는 두 번의 후방 압출 공정을 행하여 제품을 성형하는 것이 일반적이다. 또한 이러한 제품중 벽의 두께가 얇은 제품의 경우에 마지막 단계의 피어싱 공정중 피어싱 되어지는 웨브의 두께보다 벽 두께가 얇을 경우 공정중 벽 부분이 변형 또는 파손이 일어나게 된다. 따라서 이러한 형상을 가지는 제품은 피어싱할 부위의 두께를 얇게 성형해야 한다. 그러나 두께를 얇게 성형할 때 후방압출 공정에서 재료의 유동이 한쪽으로만 일어나게 되므로 재료유동에 의한 유동결함(lapping)이 일어나게 된다. 이러한 제품의 성형하는 방법은 다양히 연구되어 왔다. Arentoft 와 Bay¹ 등은 양방향 컵 압출 공정에서 마찰 실험을 통해 공구 이동에 대한 양쪽 컵의 높이에 대해 연구하였다. Osakada² 등은 이러한 결함을 해결하기 위하여 전후방 압출시 재료유동을 동시에 생기게 하기 위하여 컨테이너의 구동을

이용하여 재료의 유출길기와 압출압력의 감소시키는 방법을 연구하였다. 그러나 이전의 연구에서는 이러한 제품의 유동결함에 대한 연구는 드문실정이다. 따라서 본 논문에서는 양방향 압출 성형할 때 재료유동에 의해 일어나는 유동결함현상을 예측하고 또한 실험적으로 구한 한계 피어싱 두께까지 결함이 없는 제품을 성형하기 위한 전후방 압출 방법, 금형형상의 변경, 컨테이너 구동, 스프링력을 이용하는 방법을 제시하고 있다. 또한 제시된 방법들을 통해 재료의 유동결함이 없는 제품을 성형할 수 있는 가능성을 검증하기 위하여 실험과 유한요소법을 병행한다.

2. 유한요소 시뮬레이션

본 연구에서 성형된 제품치수는 Fig. 1에 나타나고 있으며 성형한 제품의 한쪽 벽의 길이가 43 mm 이고 제품 벽의 두께가 2.15mm 이므로 이러한 제품을 후방압출 공정의 성형가능성을 검토하여야 한다.

본 연구에서는 Aida³ 의 성형한계식을 적용하여 제품의 성형 가능성을 검토하였다. Fig. 2의 양방향 후방압출 제품을 성형하는 한계를 나타내고 있

* 부산대학교 대학원

**부산대학교 정밀 정형 및 금형 가공 연구소

다. 또한 이 식을 바탕으로 중간 웨브(web)의 성형 한계를 결정할 수 있으며 양방향 후방 압출로 성형하는 것이 가능하다.

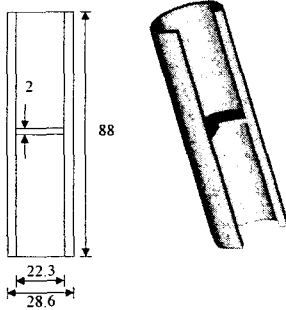


Fig. 1 Dimensions of the pin product

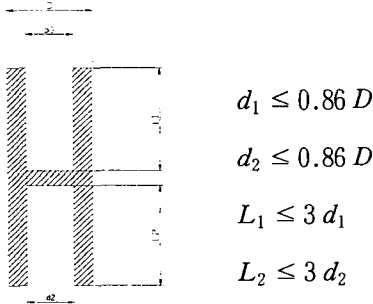


Fig. 2 The limit of forgeability in backward extrusion product

제품의 성형해석에는 강소성 유한 요소 코드인 DEFORM-2D⁴를 이용하였다.

소재의 SM10C를 사용하였고 강소성 유한 요소해석을 위한 유동용력식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 1122.3 \bar{\epsilon}^{0.22} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

유한요소 해석시 소재와 금형사이의 마찰상수 $m = 0.1$ 로 하여 해석하였다.

3. 실험 결과

3.1 일반적 후방 압출을 행하였을 경우

제품을 두 번의 후방 압출 공정으로 설계할 경우 어느 일정한계높이 이후에는 이전에 성형한 후방 압출쪽에서 재료유동의 속도차가 생기게 되고 지속적인 후방 압출을 행할 경우 재료의 일부가 안쪽으로 말려 들어가는 유동결함이 발생하게 된다. Fig. 3은 유동결함이 발생하지 않는 한계 높이까지 성형한 것이고 이 이후에는 Fig. 4와 같이 유동결함이 발생하게 된다. 본 연구에서 피어싱 부의 두

께를 2mm까지 성형할 경우 일반적 후방 압출 공정에서는 한계 높이 이상이 되면 유동결함이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 본 제품의 경우 한계높이는 약 7.5mm이다. 그러나 피어싱 공정을 위하여 더 많은 양을 압출하여야 하므로 다른 공정을 도입하여야 한다.

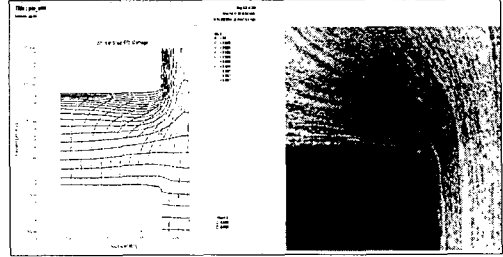


Fig.3 The limit height of pin product without defect

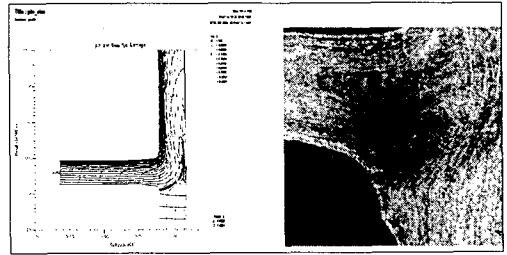


Fig. 4 The height(2mm) of web part with lapping defect

3.2 금형의 형상을 변경하였을 경우

Fig. 5는 다양한 방법으로 하부의 금형 형상을 바꾸어 실험한 결과이다. 하부 금형 형상을 변경하는 것으로는 유동을 지연시키지만 웨브의 두께가 얇아지면 역시 이러한 유동결함이 발생하였다.

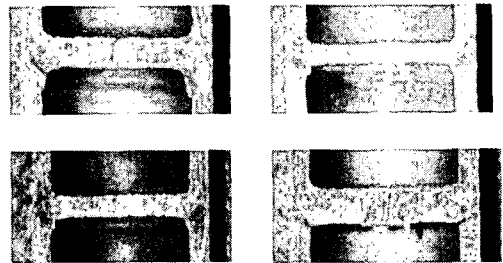


Fig.5 Experimental results of pin products with defect of lapping

4. 성형해석 및 고찰

본 제품의 유동결함을 해결하기 다음의 방법을 제안한다. 양방향으로 압출부에 여유를 주어 양방향

으로 유동을 형성시켜 비 유동영역 없애는 방법과 개방형 압출을 통한 방법 또는 공구에 홈모양을 주어 랩핑이 발생하는 부분의 금속 유동을 지연시키는 방법과 동시에 전후방 압출로 성형하여 상단과 하단부가 동시에 성형되도록 하는 방법, 압출길이의 제한을 위해 스프링력과 컨테이너를 구동시키는 방법등을 고려할 수 있다. 또한 본 연구에서는 이러한 재료의 유동에 의해 일어나는 비 유동 영역 및 재료의 속도차에 의해 발생하는 유동결합을 유동선 추적에 의해 결합부위의 유동흐름을 보고 결합 유무를 결정하였다.

4.1 두 번의 후방 압출시 개방형으로 압출한 경우 위의 결과로부터 유동결합을 제거하기 위해 양방향 개방형으로 압출하는 경우에는 이전에 후방 압출 공정 부분이 더 많이 성형되어 중앙 웨브부를 중심으로 양쪽의 길이가 달라진다. 이러한 결과는 Fig. 6에 나타내고 있다. 유동선 추적에 의해 하부 코너부위의 유동이 원만히 일어나는 것을 볼 수 있고 유동결합은 발생하지 않은 것으로 추측할 수 있다.

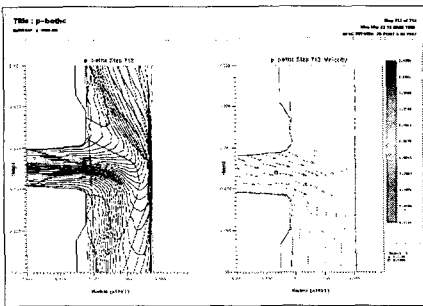


Fig. 6 FE-simulation of two stage backward extrusion in open die

Fig. 6에 나타나는 바와 같이 아래쪽 부분이 28mm가 더 많이 성형되므로 중앙 웨브를 양쪽 중앙에 위치시키기 위해서는 이전 후방 압출 공정의 길이를 제어하여 마지막 후방 압출 공정에서 양쪽의 길이가 같아지도록 하면 된다.

4.2 금형을 홈모양을 주어 성형하는 경우

유동흐름에 의해 유동결합이 발생하므로 전방 압출부위의 유동을 감소시키기 위해 금형에 그루브 형상을 주어 유동을 제한하는 방법을 고려해 보았다. 그러나 Fig. 7에서와 같이 유동을 지연시켰지만 완전히 유동결합을 해결하지는 못하였다. 해석 결과 유동선의 흐름이 굴곡져서 일어나는 것을 볼

수 있다. 이는 전방 압출쪽의 하부 금형이 밀폐되어 있는 경우 유동이 지연되었다고 아래쪽 전방 압출 부분이 먼저 차게 되고 이후 비 유동영역이 형성되면서 마찬가지로 중간 웨브의 두께를 얇게 성형하는 경우에는 유동결합이 발생하는 것을 예측할 수 있었다.

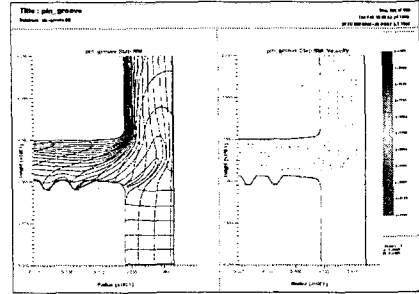


Fig. 7 FE simulation of lower die with groove

4.3 양방향 개방형 및 밀폐형 압출의 경우

양방향 동시 압출의 경우에는 이전의 4.1결과와 반대로 펀치의 유동 반대방향으로 제품의 길이가 길어 지게된다. 이러한 현상을 제거하기 위해 위쪽을 밀폐형으로 하고 일정 높이에서 양쪽이 같이 출만 되도록 하면 유동결합도 없앨 수 있고 압출하중 자체도 크지 않으므로 양방향 동시에 압출하여 성형하여도 문제가 없다.

Fig.8의 경우는 위쪽을 밀폐형으로 성형하여 제품의 양쪽 길이가 같게 하고 또한 유동결합이 없는 제품을 성형할 수 있을 것이다.

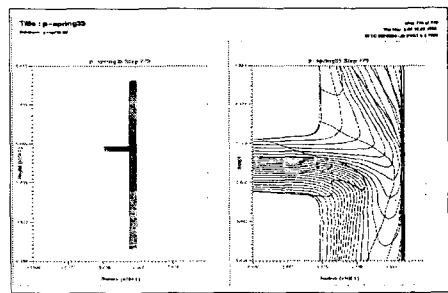


Fig. 8 FE-simulation of one side closed die backward extrusion and the other side open die forward extrusion

4.4 양방향 압출시 컨테이너를 구동하는 경우

4.3절의 경우 전·후방 압출을 행하는 경우에는 전방 압출 보다 후방 압출쪽이 더 많이 성형되므로 소재를 지지하고 있는 외부 컨테이너를 유동시

켜 전방 쪽으로 압출이 일어나도록 하여 이것 역시 유동결합이 없는 제품을 성형할 수 있었다. 양방향 밀폐 압출에서 컨테이너 속도에 의해 양방향 동시에 충만되게 성형하면 된다. 이렇게 하기 위해서 여러 가지 속도비로서 시뮬레이션 해본 결과 편치의 속도에 대한 컨테이너의 속도(V_c / V_p)가 0.75일 때 양방향이 동시에 압출되고 유동결합이 발생하지 않았다. Fig. 9에서는 컨테이너를 구동시켜 성형한 제품의 유한요소 해석결과와 유동선을 나타내고 있다.

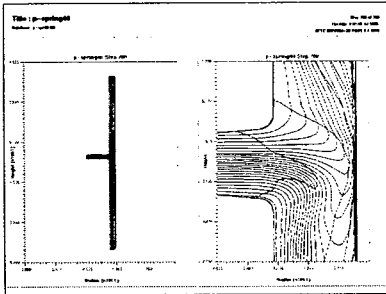


Fig. 9 FE-simulation considering axially driven container

4.5 양방향 압출시 후방 압출부에 스프링력을 가하는 경우

양방향 압출의 경우에는 후방압출 쪽의 성형이 많이 일어나므로 이것을 방지하기 위해 전·후방 동시 압출시 후방 압출 부위에 스프링력을 이용하여 소재의 유동을 제한하고 전방 압출과 후방 압출을 동시에 일어나도록 할 수 있다. 본 연구에서는 스프링력을 고려하기 위해 상단부에 탄성체로 고려하고 변형길이를 5.09mm만큼 변형시켜 성형해석을 해 보았다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 스프링력에 의해 상단 부의 소재 충만이 지연되고 전·후방 압출이 동시에 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 전·후방 압출이 동시에 일어나므로 유동결합도 일어나지 않을 것으로 생각된다.

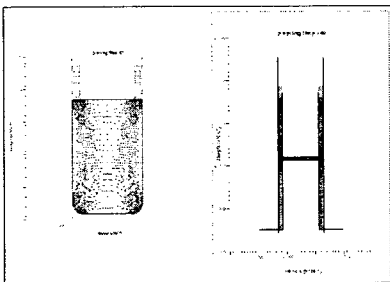


Fig. 10 FE-simulation considering spring force

Table 1에 위 공정들에 대한 하중을 비교하고 결합 발생 유무를 예측하였다. 유동선의 흐름에 의해 래핑결합이 발생유무를 판별할 수 있었다.

Table 1 Comparison with proposed process

성형조건	최대성형 하중(ton)	결합 유무
두 번의 후방압출	129	유
후방압출(개방형)	103	무
금형(groove)	100	지연
전·후방 동시압출	107	무
컨테이너 구동시	125	무
스프링력 고려	108	무

5. 결론

얇은 벽을 가지는 핀 제품의 경우 중앙 웨브의 두께가 얇을수록 이후 피어싱 공정에서 유리하기 때문에 일정 두께까지 후방 압출 공정에서 성형하여야 한다. 그러나 일반적인 공정인 두 단계의 후방 압출 공정을 거치면 두 번째 후방 압출 공정에서 유동 속도 차에 의해 소재가 안쪽으로 말려 들어가는 래핑 결합이 발생하게 된다. 이러한 결합을 해결하기 위해 방법들은 다음과 같다.

1. 두 번의 후방 압출 공정에서 금형을 개방형으로 압출하는 방법
2. 금형에 그루브형상을 넣어 성형하는 방법
3. 전후방 동시압출로 성형하는 방법
4. 컨테이너를 구동시켜 유동을 제어하는 방법
5. 후방 압출부에 스프링력을 가하여 유동을 제어하는 방법

상기 공정들의 각각 장점과 단점을 내포하고 있다. 이러한 점들을 해결한다면 위의 방법 모두 유동 속도 차에 의해 생기는 유동결합을 해결할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

1. M.Arentoft, C.Vigso, M. Lindegren, N. Bay, "A study of the double cup extrusion process as a friction test", 5th ICTP, vol 1, pp. 243-249
2. Kozo Osakada, Xin Wang and Shinji Hanami, "Forward - Backward Extrusion with Axially Driven Container", 塑性と加工, 제37권 제30호, pp. 1154-1179
3. Aida, "프레스핸드북", 第 2 版, pp. 80-121
4. DEFORM-2D user manual