

# 성형 하중 저감을 위한 개방형 후방 압출의 신공정 설계

김동진\*, 정덕진\*, 김병민\*\*

## New Process Design of Open Backward Extrusion to reduce the Forming Load

D. J. Kim\*, D. J. Jeong\*, B. M. Kim\*\*

### Abstract

In order to reduce the forming load of backward extrusion to a feasible level, a new backward extrusion processes are proposed. In these process, the shape of punch and die for conventional backward extrusion are change to open backward extrusion. To analyse the process, numerical simulations by the finite element method has been performed. This simulation gave good results concerning the prediction of the forming load, material flow and the corresponding shape of forged products. These predictions set the limits of the preform shape and forming load, depending on the punch and die geometry. The results show that the forming load is reduced significantly when the conventional backward extrusion change to open backward extrusion.

### 1. 서론

일반적으로 소성가공 공정에서 소재의 높은 유동응력은 높은 성형 하중을 필요로 한다. 이러한 높은 성형 하중은 금형의 파괴 또는 금형의 수명을 감소시키며 금형의 과도한 탄성 변형으로 인하여 제품의 치수 정도에 영향을 미친다. 따라서 성형 하중을 저감하는 공정 설계는 소성가공 공정 설계에서 대단히 중요한 인자이다[1].

후방 압출 공정은 튜브, 포장용 캔, 변속 장치 부품 등을 성형하는 일반적인 소성가공법중 하나이다. 이러한 가공법은 다른 공정에 비해 향상된 기계적 성질, 양호한 표면 상태, 우수한 치수 정밀도, 높은 생산성, 낮은 제조 원가 등의 많은 장점들을 가지고 있다[2].

Wifi 등은 후방 압출 공정에서 예비 성형체의 형상에 따른 제품의 연성 파괴 여부를 해석하였고 [3], Bennani 등은 캔 후방 압출 공정에서 편지 각도, 재료의 가공경화지수, 마찰, 단면 감소율에 따른 표면 확장에 대한 영향을 연구하였다[4]. 이러한 대부분의 연구들은 각 공정 변수들이 기존의 후방 압출 공정에 미치는 영향이나 제품의 성형성에 대한 것으로 후방 압출 공정의 성형 하중이나 금형 강도에 관련된 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 성형 하중을 저감할 수 있는 새로운 후방 압출 공정을 설계하고자 한다. 먼저 기존의 밀폐형 후방 압출 공정을 개방형 후방 압출 공정으로 변경하고 최종 제품을 성형할 수 있는 예비성형체를 설계하였다. 설계된 예비성형 공정으로 예비성형체를 성형한 후 최종 제품을 성형하여 각 공정의 성형 하중 및 제품의 변형 정도를 비교, 분석하여 최적의 성형 공정을 선정하였다.

### 2. 후방 압출 공정 설계 및 해석

#### 2.1 기존의 후방 압출 공정 해석

후방 압출 공정 해석에 사용된 소재는 AISI4340으로 초기에 1100℃로 가열된다. 금형은 SKD61로서 초기 예열온도는 400℃이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 제품은 항공기에 사용되는 부품으로 제품의 형상은 Fig.1 과 같다.

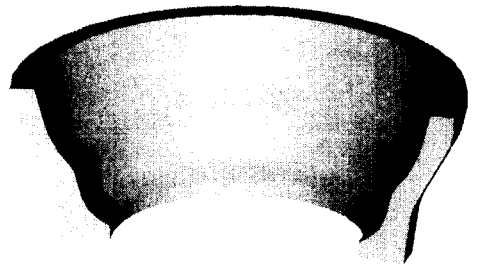


Fig.1 3D configuration of backward extruded product

\* 부산대학교 대학원

\*\* 부산대학교 정밀 정형 및 금형 가공 연구센터

먼저 기존의 후방 압출 공정에 대한 성형 해석을 수행하였다. 예비성형체를 후방 압출 공정으로 성형한 다음, 소재의 중심부를 피어싱한다. 이렇게 피어싱된 소재를 최종 금형으로 성형하여 최종 제품을 완성하게 된다. 최종 제품의 치수는 Fig.2와 같다.

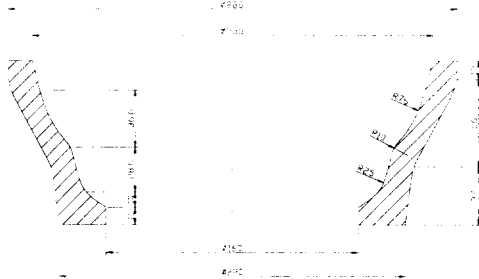


Fig.2 Dimension of backward extruded product

Fig.3은 예비성형체를 해석한 결과를 나타내었다. 최대 유효 변형율은 소재의 중심부, 소재의 바닥부 및 펀치와 접촉부에서 발생하였다. 소재의 중심부 및 소재의 바닥부분은 다음 공정인 피어싱 공정에서 피어싱 될 부분이기 때문에 큰 문제는 없을 것으로 생각되며, 펀치와 접촉부에서 발생한 높은 유효 변형율은 그 분포된 양이 작고 또한 최종 공정인 기계가공을 통하여 제거 될부분으로서 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 그러나 예비성형공정의 성형하중은 1,070 톤으로 매우 큰 값이 나왔다. 펀치 행정이 진행됨에 따라 소재의 접촉면이 지속적으로 증가하였고, 펀치 행정의 마지막에서는 거의 밀폐 성형이 이루어지기 때문에 성형 공정이 매우 큰 것으로 생각된다. 따라서 성형 하중을 저감시키기 위해서는 펀치, 금형과 소재와의 접촉면적을 최소화 하는 새로운 공정을 설계하여야 한다.

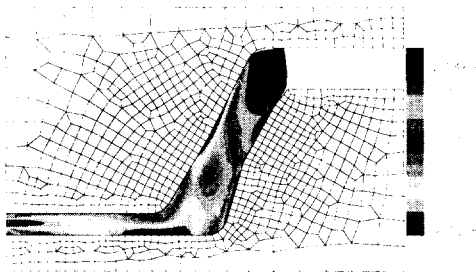


Fig.3 Distribution of effective strain for preforming

## 2.2 개방형 후방 압출 공정 1 해석

펀치, 금형과 소재와의 접촉면적을 최소화하기

위하여 기존의 밀폐형 후방 압출 공정을 개방형 후방 압출 공정으로 변경하였다. 개방형 후방 압출 공정으로 공정을 변경한 것은 Fig.4와 같은 자유 업세팅 공정을 해석한 결과를 근거로 하여 수행하였다.

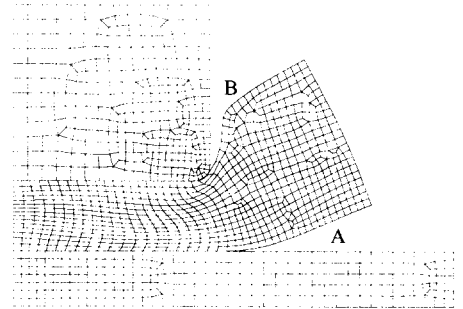


Fig.4 Deformation of free upsetting

펀치 행정이 진행됨에 따라 소재의 바닥부(Fig.4 A)가 금형으로부터 분리되어 위로 변형하게 되고, 소재의 상부(Fig.4 B)는 펀치의 곡률부를 따라 성형이 이루어지면서 그림과 같이 펀치와 떨어져 변형하게 된다. 이러한 현상은 펀치와 접촉하고 있는 소재 중심부의 체적이 펀치의 행정이 진행됨에 따라 외경부로 소재 유동이 이루어지면서, 펀치 접촉부의 소재와 금형 접촉부 소재간의 유동 속도의 차이로 인하여 Fig.4와 같이 변형을 하게 된다. 이러한 유동 특성을 이용하여 펀치의 형상은 Fig.4의 B부분이 좀더 넓어 질 수 있는 형상으로 설계하였고, 금형의 형상은 Fig.4의 A부분이 위로 더 올라갈 수 있는 형상으로 설계를 수행하였다. 즉 제품의 전체적인 형상이 Fig.3의 예비성형체 형상으로 이루어 지도록 펀치와 금형의 형상을 기존의 밀폐단조처럼 제품의 형상처럼 설계하지 않고 소재의 유동을 유도하는 형상으로 설계하였다(Fig.5)

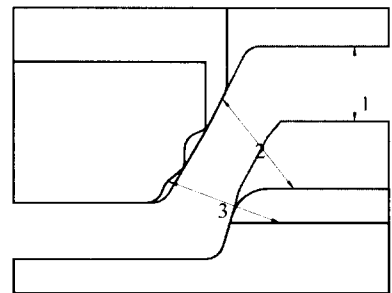


Fig.5 Configuration of punches and dies(1; conventional backward extrusion, 2, 3; developed backward extrusion)

먼저 Fig.5의 2번 형상으로 예비성형체를 성형하였다. 최대 유효변형을 분포는 펀치의 오목한 부분에서 일어났다(Fig.6). 펀치 설계시 펀치의 형상에 오목한 형상을 둔 것은 펀치와 소재사이의 접촉을 최소화하기 위해서 설계를 한 것인데, 이 부분의 치수 및 형상이 부적절하여 이 부분으로 소재 유동이 이루어 졌다. 오목한 부분으로 유동이 이루어진 소재가 펀치 행정이 진행함에 따라 다시 후방 압출되어 소재가 두 번의 유동 저항을 받아서 이 부분에서의 유효변형을 값이 높은 것으로 생각된다. 그러나 이 부분 역시 최종 공정에서 기계가공될 부분으로 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다.

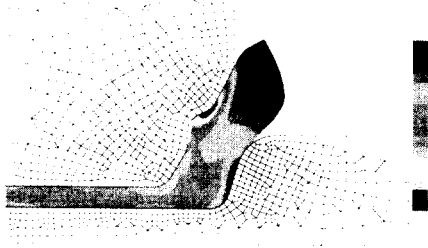


Fig.6 Distribution of effective strain for preforming I

예비성형 공정에서 성형하중은 841 톤으로 기존의 공정에 비해 약 21% 정도 감소하였다. 따라서 기존의 후방 압출 공정을 개방형 후방 압출 공정으로 변경함으로써 제품의 성형 하중을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 펀치, 금형 및 소재와 접촉부를 더 줄이는 형상으로 펀치 및 금형의 형상을 재설계하여 예비성형 공정을 다시 수행하였다.

### 2.3 개방형 후방 압출 공정 II 해석

다음으로는 펀치, 금형 및 소재와 접촉부를 더 줄이는 형상으로 펀치 및 금형의 형상을 재설계하여 후방 압출 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 펀치 및 금형의 형상은 Fig.5의 3번 형상을 사용하였다. 먼저 펀치의 형상은 외경을 작게 하였고, 오목한 형상을 펀치 내경부분으로 이동시켰다. 펀치의 오목한 형상을 내경부로 이동시킨 것은 펀치의 곡률부분을 이동하는 소재의 유동이 다른 부분에 비하여 빠르기 때문에 예비성형공정 I과 같이 이 오목한 부분으로의 소재 유동을 방지 하여 이로 인한 소재의 과대 변형을 방지할 수 있고, 전체적으로 소재와의 접촉면을 줄일 수 있을 것으로

생각된다. 금형의 형상은 예비성형공정 I에 비하여 높이만을 줄여서 소재와의 접촉부를 최소화 하였다.

Fig.7에 변경된 형상으로 해석한 결과를 나타내었다. 최대 유효변형을 분포는 소재의 중심부, 펀치와의 접촉부 및 금형과의 접촉부에서 발생하였다. 소재의 중심부는 피어싱할 부분이고 펀치와의 접촉부는 기계가공될 부분이어서 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각되지만, 금형과의 접촉부에서의 높은 유효변형율은 영향을 줄 것으로 생각된다. 하지만 그 값이 2.3 정도로 다른 공정에 비해 작기 때문에 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 이 부분에서 변형율의 값이 큰 이유는 소재가 금형의 단부분을 유동한 후 자유 상태가 되면서 시계 방향의 소재 굽힘으로 인하여 부가적인 변형을 받아서 생기는 것으로 생각된다. 이러한 부분은 금형의 높이를 높게 하여서 변형의 집중을 방지할 수 있을 것으로 생각된다.



Fig.7 Distribution of effective strain for preforming II

예비성형 공정에서 성형 하중은 615 톤으로 기존의 공정에 비해 약 43%, 예비성형공정 I에 비해 약 27%가 감소한 하중이다. 따라서 기존의 공정을 개방형 후방 압출 공정으로 변경함으로써 제품의 성형 하중을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나 이번 공정은 금형의 단높이가 낮아서 제품의 굽힘변형과 같은 부가적인 변형이 발생하였다. 따라서 이러한 부가적인 변형을 방지하기 위해서는 금형의 형상을 재설계하여야 한다.

### 2.4 개방형 후방 압출 공정 III 해석

앞의 두가지 개방형 후방 압출 공정을 검토한 결과 펀치형상은 예비성형 공정 II의 형상이 좋을 것으로 생각되고, 금형의 형상은 예비성형 공정 I의 형상이 좋을 것으로 생각된다. 따라서 펀치형상은 Fig.5의 3번으로 하였고, 금형의 형상은 2번 형상으로 하여 예비성형 공정을 해석하였다.

Fig.8 에 변경된 형상으로 해석한 결과를 나타내었다. 최대 유효변형을 분포는 소재의 중심부, 편치외의 접촉부 발생하였고 앞의 예비성형 공정 II 과는 달리 금형과 접촉부에서는 발생하지 않다. 금형의 단을 높게함으로서 편치 행정이 진행되면서 발생하는 굽힘 변형의 양이 작아져서 금형과 접촉부에서의 유효변형을 값이 많이 줄어 들었지만 기존의 공정이나, 예비성형 공정 I 에 비해서는 조금 큰 값이다. 그외 소재의 중심부는 피어싱할 부분이고 편치와의 접촉부는 기계가공될 부분이어서 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 그러나 예비성형 공정 II와는 달리 이번 공정에서는 편치부의 오목한 부분으로 소재의 유동이 이루어 졌다. 이러한 유동은 금형의 단 길이가 높기 때문에 변형 저항이 증가하여 이 부분으로의 재료 유동이 이루어졌다. 따라서 편치와 접촉하는 부분에서의 변형을 값이 높고 그 분포가 커졌다.

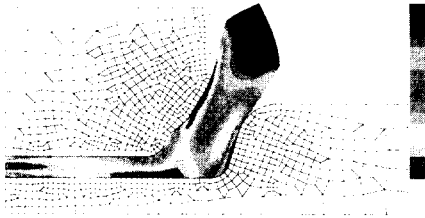


Fig.8 Distribution of effective strain for preforming III

예비성형 공정에서 성형 하중은 705 톤으로 기존의 공정에 비해 약 34%, 예비성형공정 I 에 비해 약 16%가 감소한 하중이다. 그러나 예비성형 공정 II 에 비해서는 약 13%가 증가한 양이다.

이와 같은 결과로부터 기존의 후방 압출 공정을 개방형 후방 압출 공정으로 변경함으로써 제품의 성형 하중을 상당히 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 각 공정에 따른 예비성형체의 형상과 변형 정도는 조금씩 차이가 난다. 이렇게 성형된 예비성형체로 최종 제품을 성형하여 최종 제품의 성형성, 성형 하중, 변형 정도 등을 분석하여 설계자의 요구에 맞는 최적의 공정을 선택하여야 한다.

### 3. 결과 및 고찰

먼저 네 가지 예비성형 공정으로 성형된 예비성형체 중심을 피어싱하여 최종 금형으로 성형 해석을 수행하였다. Table 1 에 피어싱 공정을 수행한 후 각 예비성형체의 유효변형률 및 연성 파괴값을 나타내었다. 예비성형 공정 하중, 최대 유효변형률,

최대 연성 파괴값만을 비교해보면 예비성형 공정 III 가 성형하중도 가장 낮고, 최대 유효변형률 및 연성 파괴값은 가장 낮다. Fig.9 에 각 예비성형 공정으로 성형한 제품이 피어싱 후의 형상을 나타내었다. 피어싱은 내경이  $\phi 160$  이 되는 동일한 위치에서 수행하였다.

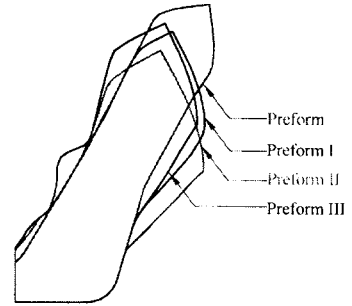


Fig.9 Configuration of each preforms

기존의 후방 압출 공정으로 예비성형체를 성형한 후 소재의 중심부를 피어싱하고 최종 제품을 성형한 결과를 Fig.10 에 나타내었다. 제품의 성형성을 알 수 있는 연성 파괴값의 분포를 살펴보면 최대값이 0.45 로 후방 압출부 끝부분에 분포한 것을 알 수 있다. 이러한 부분은 최종 공정에서 기계가공될 부분이기 때문에 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 최종 공정에서의 성형 하중은 490 톤으로 예비성형 가공에 비해 작은 성형 하중값이다.



Fig.10 Distribution of fracture values for final forging

(Bold line is configuration of final product)

예비성형 공정 I 로 예비성형체를 성형한 후 소재의 중심부를 피어싱하고 최종 제품을 성형한 결과를 Fig.11 에 나타내었다. 제품의 성형성을 알 수 있는 연성 파괴값의 분포를 살펴보면 최대값이 0.49 로 후방 압출부 끝부분에 분포한 것을 알 수

있었고, 앞의 해석보다 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 부분은 최종 공정에서 기계가공될 부분이기 때문에 제품에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 최종 공정에서의 성형 하중은 416 톤으로 예비성형 가공에 비해 작은 성형 하중 값이다. 앞의 경우보다 최종 공정에서 성형하중이 작게 걸리는 이유는 예비성형 공정동안 펀치의 오목한 부분으로 유동한 소재 때문이다. 최종 성형 공정 동안 펀치의 오목한 부분으로 유동한 소재는 펀치 행정이 진행되는 동안 소재 내경부로의 유동을 억제시키게 된다. 따라서 소재 유동은 펀치나 금형과 접촉하지 않는 외경부로 상대적으로 많이 유동하게 되어 성형 하중이 작게 걸리게 되었다. 이러한 현상은 앞의 해석 결과와 본 해석 결과의 내경부분을 살펴보면 Fig.11의 결과에서 소재 내경부로의 소재 유동이 상대적으로 작음을 알 수 있다.



Fig.11 Distribution of fracture values for final forging I  
(Bold line is configuration of final product)

예비성형 공정 II로 예비성형체를 성형한 후 소재의 중심부를 피어싱하고 최종 제품을 성형한 결과를 Fig.12에 나타내었다. 제품의 성형성을 알 수 있는 연성 파괴값의 분포를 살펴보면 최대값이 0.50로 앞의 두 가지 해석 결과와는 달리 후방 압출부에 분포한 것을 알 수 있었다. 이러한 부분은 최종 공정에서 기계가공을 하여도 남아 있는 부분으로 제품에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 최종 공정에서의 성형 하중은 518 톤으로 앞의 두 가지 공정보다 상대적으로 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 연성 파괴값의 분포와 큰 성형 하중은 개방형 후방 압출 공정을 거치면서 소재의 내경부의 두께가 외경부의 두께보다 얇아져서 소재 중심부로의 소재 유동이 원활하게 일어나서 생긴 것으로 생각된다(Fig.12). 따라서 이러한 현상은 피어싱

공정에서 피어싱 되는 위치를 조절함으로써 제품 내부의 높은 연성 파괴값 분포와 높은 성형 하중 문제를 조절할 수 있을 것으로 생각된다.

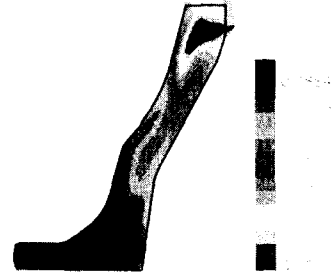


Fig.12 Distribution of fracture values for final forging II  
(Bold line is configuration of final product)

예비성형 공정 III로 예비성형체를 성형한 후 소재의 중심부를 피어싱하고 최종 제품을 성형한 결과를 Fig.13에 나타내었다. 제품의 성형성을 알 수 있는 연성 파괴값의 분포를 살펴보면 최대값이 0.48로 예비성형 공정 II와 유사하게 후방 압출부에 분포한 것을 알 수 있었다. 이러한 부분은 최종 공정에서 기계가공을 하여도 남아 있는 부분으로 제품에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 최종 공정에서의 성형 하중은 518 톤으로 예비성형 공정 II 공정과 같은 값을 가짐을 알 수 있었다.

이러한 연성 파괴값의 분포의 변화는 Fig.9의 피어싱 후의 예비성 4 형체 II과 III의 형상을 비교해 보면 예비성형체 III의 외경부의 두께가 예비성형체 II에 비해서 얇고 전체적인 길이가 긴 것을 알 수 있었다. 이러한 형상의 차이로 인하여 최종 공정에서 소재 내경부와 외경부로의 소재 유동 차이로 인해 연성 파괴값의 변화가 생긴 것으로 생각된다.



Fig.13 Distribution of fracture values for final forging III  
(Bold line is configuration of final product)

각 예비성형체로 최종 제품을 성형하는 네 가지 성형공정을 Table 2에 정리하였다. 먼저 성형 하중의 관점에서 보면 예비성형 공정 II로 최종 제품을 성형하는 것이 성형 하중을 최소화 시키는 것임을 알 수 있었다. 그러나 최대 변형율값, 최대 연성 파괴값과 피어싱에 의한 소재 손실을 보면 기존의 공정에서 최종 제품을 성형하는 것이 좋을 수 있었다. 이러한 결과는 기존의 공정은 수 많은 시행 착오를 거치면서 공정의 개선이 많이 이루어 졌지만, 새로이 개발한 공정은 예비성형 공정에서 성형 하중만을 고려하여 성형 하중이 최소화 되는 공정만을 고려해서 생긴 문제이다. 따라서 새로이 개발된 개방형 후방 압출 공정에 대한 공정 개선을 통하여 피어싱에 의한 소재 손실 및 소재의 성형성에 영향을 미치는 최대 유효 변형율의 값과 최대 연성 파괴값을 최소로 할 수 있는 공정의 최적화가 이루어 져야 할 것이다. 이러한 공정의 최적화는 예비성형 공정에서 펀치와 금형의 형상 및 치수에 대한 평가 작업을 통해서 이루어 질 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

기존의 후방 압출 공정에 대하여 성형 하중을 획기적으로 저감할 수 있는 새로운 개방형 후방 압출 공정을 설계하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 펀치, 금형과 소재와의 접촉면을 최소화 할 수 있는 개방형 후방 압출 공정은 기존의 공정에 비해 성형 하중을 약 21%, 최대 43%까지 저감시킬 수 있었다.

- (2) 성형 하중 감소로 인하여 예비성형체의 성형성에 영향을 미치는 최대 유효변형율과 최대 연성파괴값을 작게 할 수 있었다.
- (3) 성형 하중의 감소는 금형의 파괴 또는 금형의 수명을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 예비성형 공정동안의 성형 하중을 저감할 수 있는 개방형 후방 압출 공정을 설계하였다. 따라서 성형 하중 이외의 공정 조건에 대한 평가를 통하여 공정 개선에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. K. Osakada, X. Wang, S. Hanami, "Precision forging process with axially driven container", J. Mat. Proc. Tech., No.71, pp.105-112, 1997
2. R. Lee, C. Kwan, "A modified analysis of the backward extrusion of internally circular-shaped tubes from arbitrarily shaped billets by the upper-bound elemental technique", J. Mat. Proc. Tech., No.59, pp.351-358, 1996
3. A.S. Wifi, A. Abdel-Hamid, N. El-Abbasi, "Computer-aided evaluation of workability in bulk forming processes", J. Mat. Proc. Tech., No.77, pp.285-293, 1998
4. B. Bennani, N. Bay, "Limits of lubrication in backward can extrusion:analysis by the finite element method and physical modelling experiments", J. Mat. Proc. Tech., No.61, pp.275-286, 1996

Table 1 Comparison of forming load, maximum strain, fracture and volume for each preforming processes

	Max. load(ton)	Max. strain	Max fracture	Volume(mm <sup>3</sup> )
Preform I	1070	2.1446	0.4008	1967644.824
Preform II	841	3.0661	0.3297	1967644.824
Preform III	615	2.0868	0.3169	1967644.824
Preform IV	705	2.1157	0.3248	1967644.824

Table 2 Comparison of forming load, maximum strain, fracture, volume and piercing for each final processes

	Max load(ton)	Max strain	Max damage	Volume(mm <sup>3</sup> )	piercing(%)
Preform I	490	2.9899	0.4415	1733135.466	11.91827688
Preform II	416	4.0654	0.5192	1731501.281	12.00132971
Preform III	518	3.1888	0.4931	1727461.147	12.20665813
Preform IV	518	3.5292	0.4884	1730916.612	12.03104386