

# 후방 압출 펀치의 마멸 저감을 위한 금형 형상 설계

박태준\*, 이동주\*, 김동진\* (부산대 대학원 정밀기계공학과),  
김병민\*\* (부산대 정밀 정형 및 금형 가공 연구소)

## Design of punch shape for reducing the punch wear in the backward extrusion

T. J. Park, D. J. Lee, D. J. Kim(Graduate School, PNU), B. M. Kim(ERC for NSDM, PNU)

### ABSTRACT

Die design to minimize the die wear in the cold forging process is very important as it reduce the production cost and the increase of the production rate. The quantitative estimation for the die wear is too hard because the prediction of the die wear is determined with many process variables. So, in this paper, the optimal shape of the backward extrusion punch is newly designed through the FE-analysis considering the surface expansion and Archard's wear model in order to reduce the rapid wear rate that is generated for the backward extrusion product exceeding the forming limit. The main shape variables of the backward extrusion punch are the flat, angle, and round of the punch nose part. As the flat and angle of the punch nose are larger, the surface expansion is reduced. and, the wear rate is decreased according to the reduction of the punch round. These results obtained through this study are applied to the real manufacturing process, it is implemented the reduction of the wear rate.

**Key Words** : Reduction of wear(마멸 저감), Punch shape(펀치 형상), Backward extrusion(후방 압출), Surface expansion(표면 확장), FE simulation(유한요소해석)

### 1. 서론

자동차 부품의 생산에 있어서 절삭가공은 높은 치수정도 및 복잡한 형상의 제품을 생산할 수 있지만 제품 생산에 있어 생산성 저하 및 단가상승에 큰 영향을 미친다. 따라서 최근 소성가공에 있어서 기존의 절삭가공에 의해 생산하던 제품을 재료의 손실량을 줄일 수 있고, 높은 생산성, 우수한 기계적 성질 및 양호한 치수정밀도를 얻을 수 있는 냉간단조 공법으로의 전환에 의한 고부가 가치화가 요구되고 있는 실정이다. 그러나 기존의 기계가공 부품을 냉간 단조로의 공법 전환에는 제품의 치수 불량 및 형상 불량 등의 많은 문제점을 나타낸다. 특히 냉간단조는 여러 단계의 예비 성형공정이 필요하며, 각 작업에서는 이에 상응하는 금형이 필요하고 각 공정에서 가혹한 작업조건하에서 사용되어 지므로 금형의 손상이 심하여 금형의 수명저하가 발생한다. 이러한 수명저하는 금형의 비용증가에 그치지 않고 생산성 저하 및 품질관리 비용 등의 증가를 초래하므로 이를 고려하여 종합적으로 설계

되어야 한다. 최근 금형의 재질, 제작기술, 보강방법 및 열처리 기술들의 발달로 인해 금형수명을 지배하는 인자들 중에서 마멸은 금형수명을 결정하는데 중요한 인자가 되었다. 현재까지 성형 공정에서 마멸에 관한 연구는 공정 중 금형과 소재간의 접촉면에서의 정확한 정보와 윤활제의 의한 마찰조건에 관한 정보를 예측하기 어려울 뿐만 아니라 정량적 평가가 어렵기 때문에 비교적 단순한 공정에서 실험적으로만 공구의 마멸을 규명하려는 시도가 행해져 왔다.

따라서 본 연구에서는 기존의 절삭가공으로 성형하던 자동차 부품인 브레이크 마스터 실린더 제품을 냉간단조 공정인 후방압출로 공정 전환하여 제품 생산시 발생한 공구마멸을 유한요소 해석 및 마멸해석을 통하여 규명하고 이를 토대로 하며 마멸을 저감시킬수 있는 펀치의 형상설계를 수행하였다.

### 2. 마멸 저감을 위한 펀치 설계

#### 2.1 성형 공정 설계 및 마멸 결함

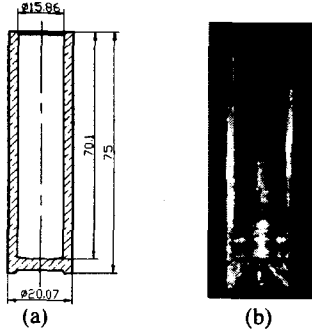


Fig. 1 Dimension and shape of small tube cylinder

본 연구의 대상 제품은 자동차 브레이크의 마스터 실린더로서 사용되는 제품의 특성상 동심도 및 제품 내경의 표면 조도가 양호해야 하고 제품 내경 공차가  $-30\mu\text{m}$  이내의 정밀도를 요구한다. Fig. 1(a)는 제품의 치수와 형상을 나타낸다.

기존의 공정은 원형의 봉 소재에 절삭 가공으로 구멍을 내는 공정으로 제조되었으나, 재료 손실이 크며 생산성이 저하되어 냉간단조 공정으로 전환이 요구되었다. 그러나 절삭 가공을 냉간 단조로 공정을 전환 하기 위해서는 일반적으로 성형 한계 이내에서 만족해야 한다. 성형 조건을 만족하지 못했을 경우는 펀치 좌굴 및 성형된 제품의 바닥과 벽의 내부에 재료의 유동 결함이 발생하여 크랙이 생기고 금형 파손등의 결함이 나타날 수도 있다.

후방 압출시 성형 한계는 압출깊이가 보통 제품 내경의 2.5 ~ 3 배 이내이고, 제품 바닥두께는 벽두께보다 0.8 배 이상이다. 그리고, 제품 외경에 대한 내경의 비가 0.75 이상으로 한다.

본 제품의 경우 내경에 비해 압출 깊이가 4.42 배 이상으로 성형 한계를 만족하지는 않지만 유한요소 해석을 수행 한 결과 유동 결함 및 금형의 강성에 문제가 없었으므로 후방 압출 공법으로 공법을 전환하여 실험을 수행하였다. 그 결과 Fig. 1(b)와 같이 압출 깊이가 길기 때문에 제품의 압출 말기의 접촉부에 금속 마찰로 인해 Fig. 2 와 같이 펀치 렌드부가 다른 냉간 후방 압출 제품에 비해 마멸이

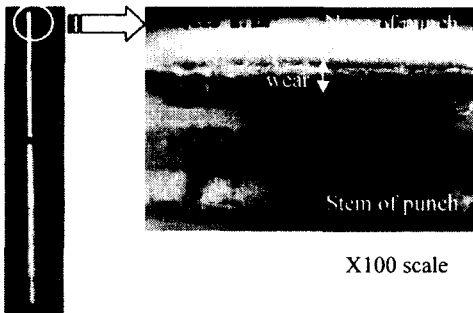


Fig. 2 Photograph of wear on punch nose

과다하게 발생하였다. 이는 금형 수명의 감소와 생산성 저하를 유발시키게 된다. 따라서 마멸을 감소시키기 위해서 공구측면에서는 펀치 형상의 변화에 의해 마멸량을 감소시키고, 소재측면에서는 소재의 표면확장(surface expansion)을 억제시키는 펀치형상의 재설계가 요구되어졌다.

## 2.2 유한 요소 해석

유한 요소 해석을 위해 상용 유한 요소 해석 프로그램인 DEFORM2D 을 이용하였다. 소재의 재질은 AISI10C 탄소강이며, 소재에 대한 압축 실험을 수행하여 다음과 같은 응력-변형을 관계식을 얻었다.

$$\bar{\sigma} = 715.6\epsilon^{-0.22} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

소재와 금형간의 마찰은 원소재를 인산염 피막 처리 후 본드루베(bond rube) 윤활 처리를 하여 마찰 상수값은 0.1 이었다. 소재의 직경은 20.07mm 이고 높이는 31.7mm 인 원형 소재를 사용하였다.

### 2.2.1 펀치의 마멸 해석

금속간의 미끄럼운동 시에 발생하는 마멸과 관련된 인자들은 접촉면의 온도, 접촉돌기(asperity)의 분포 및 접촉면의 거칠기 등의 접촉상태와 펀치 재료의 경도, 펀치에 작용하는 수직압력, 미끄럼길이, 윤활조건 등이 있다. 마멸해석을 위해 실제 마멸해석에 널리 적용되고 있는 Archard 의 마멸모델을 이용하였으며, 다음과 같은 식으로 표현된다<sup>(1)</sup>.

$$\delta w = \frac{kPL}{3h} \quad (2)$$

여기서  $\delta w$  는 마멸깊이,  $k$  는 마멸계수,  $P$  는 접촉면에서의 수직압력,  $L$  은 접촉면에서의 미끄럼길이,  $h$  는 펀치의 경도를 나타낸다. 이를 유한요소해석에 적용하면 시간  $t + \Delta t$  에서 마멸 깊이는 다음과 같다.

$$\delta w_{t+\Delta t} = \delta w_t + \frac{k}{h} [\sigma_n \Delta v]_t dt \quad \text{on } \partial\Omega^{tool} \quad (3)$$

식(3)에서  $\sigma_n$  는 금형면에 작용하는 수직압력이고,  $\Delta v$  는 금형과 소재접촉면에서의 미끄럼 속도,  $\partial\Omega^{tool}$  은 금형면을 나타낸다. Fig. 3 은 펀치의 마멸을 예측하기 위한 유한요소해석의 흐름도이다.

본 제품을 성형하는 펀치 재질은 SKH55 이고 TiCN 코팅 처리를 하였다. 마멸 해석을 위해 경도 측정 및 핀 온 디스크(pin-on-disk) 실험을 한 결과 표면 경도는 HRC 를 기준으로 62 이고, 마멸계수는  $2.98535 e^{-7}$  이었다.

먼저, 마멸량이 최저로 할 수 있는 최적의 펀치

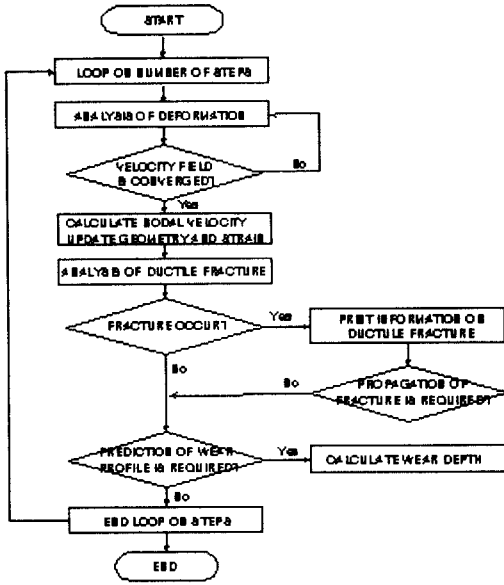
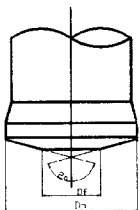


Fig. 3 Analysis procedure to predict deformation behavior and tool wear

형상 설계를 위해 후방 압출 성형시 마멸에 영향을 줄 수 있는 변수들로, 펀치노즈(nose) 평탄부(Df), 펀치 노즈(nose) 부 각도(2α)와 펀치 라운드(R)로 선정하였다. Fig. 4는 일반적으로 후방 압출 성형에서 펀치의 설계 기준으로 사용되는 ICFG(International Cold Forging Group)에서 추천하고 있는 선정된 형상 변수의 범위이다. 따라서 이 조건을 만족하는 형상 변수의 범위는 Table 1 과 같다. 이 조건에 따라 펀치의 형상 변수를 변화시켜 가면서 마멸량을 계산하였다. 생산수량은 10000 타로 설정하였으며, 수직압력과 미끄럼 속도는 유한 요소 해석을 통해 구하였다. Fig. 5는 펀치의 노즈(nose)부 평탄부의 지름의 변화에 대한 마멸이 가장 깊이 일어난 부분의 수직 압력과 미끄럼 속도, 마멸 깊이를 나타내었다.



$$D_f = D_p - (2R + (0.2 \sim 0.3)D_p)$$

$$2\alpha = 160 \sim 170$$

$$R = (0.05 \sim 0.1)D_p$$

Fig. 4 Shape parameters of punch

Table 1 Range of shape parameters for punch

	Df(mm)	2α(°)	R(mm)
Min. Value	4.5	150	0.5
Mid. Value	6	160	1
Max. Value	8	170	2

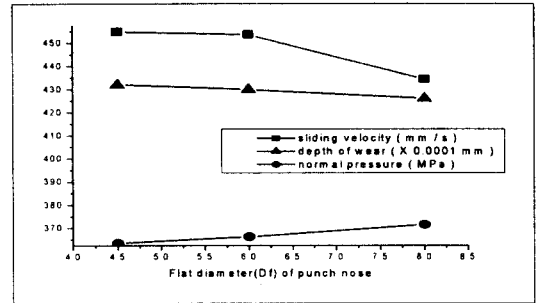


Fig. 5 Wear depth for variation of punch nose flat

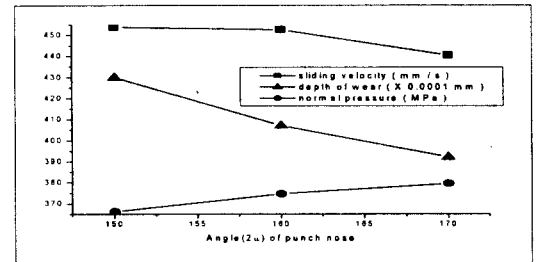


Fig. 6 Wear depth for variation of punch nose angle

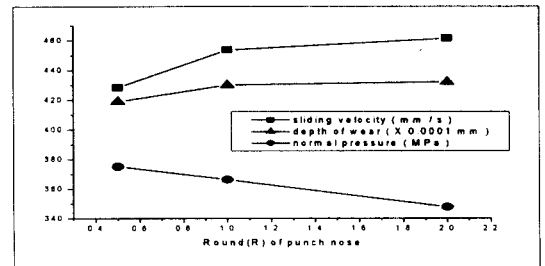


Fig. 7 Wear depth for variation of punch nose round

펀치 노즈(nose) 평탄부가 펀치 형상 변수에 미치는 영향이 비교적 적게 나타났지만, 펀치노즈(nose) 평탄부가 증가 할수록 마멸 깊이가 줄어들며, 그 부분의 미끄럼 속도는 노즈(nose) 평탄부가 증가할수록 커지고, 수직 압력은 작아지는 현상이 나타난다. 펀치 노즈(nose) 평탄부가 증가할수록 수직 압력보다 미끄럼 속도의 변화가 더 심하며 마멸 깊이는 수직 압력보다 미끄럼 속도의 감소의 영향을 많이 받았다. Fig. 6는 펀치의 노즈(nose) 각도의 변화에 대한 마멸이 가장 깊이 일어난 부분의 수직 압력과 미끄럼 속도, 마멸 깊이를 나타냈다. 펀치 노즈(nose) 각도에 따라 마멸 깊이가 크게 영향을 받았으며, 노즈(nose) 각도가 증가할수록 마멸 깊이가 급속히 감소한다. 수직 압력은 완만하게 증가하는 반면 미끄럼 속도는 비교적 급격히 떨어지는 경향을 보였다. 펀치 노즈(nose)부 각도의 증가함에 따라 미끄럼 속도의 하락으로 마멸 깊이가 감소한 것을 알 수 있다. Fig. 7은 펀치 라운드의

변화에 대한 마멸이 가장 깊게 일어난 부분의 수직 압력과 미끄럼 속도, 마멸 깊이를 나타낸 것으로 마멸 깊이가 큰 변화를 보이고 있진 않지만, 펀치 라운드가 1mm 미만인 구간에서는 변화량이 크며, 마멸 깊이와 미끄럼 속도는 펀치 라운드가 감소할수록 감소하고, 수직압력은 펀치 라운드가 증가할수록 감소한다.

### 2.2.2 소재의 표면 확장률 (Surface expansion)

후방 압출 성형시 표면 확장률은 소재의 마멸 해석 측면에서 중요한 인자로서, 과도한 표면 확장의 진행은 윤활막이 얇아지면서 결국 윤활막이 파괴되어 급속 마찰을 유발시킬 수 있다. 따라서 표면확장률이 적은 펀치 형상을 선정하므로써 윤활막 파괴에 의한 마멸의 급격한 증가를 감소시킬 수 있다. 표면 확장률(X)는 다음과 같이 정의된다<sup>(3)</sup>.

$$X = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \quad (4)$$

여기서  $A_0$ 는 표시된 절점 사이의 성형 전의 면적이고  $A_1$ 는 성형 후의 절점 사이의 면적이다. 표면 확장을 계산하기 위해 성형 전 일정한 간격으로 11 구간에 절점을 표시하고 성형 후 표시된 절점을 추적하여 소재 표면의 확장량을 계산하였다. Fig. 8은 펀치 형상 변수에 따른 소재 내경의 표면 확장을 나타내었다. 해석 결과 펀치 노즈(nose)평탄부(Df)의 지름이 커짐에 따라 표면 확장률이 작아지고, 특히 펀치 노즈(nose) 부 각도( $2\alpha$ )가 작아질수록 표면 확장이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

### 2.3 결과

펀치 마멸량을 감소하는 펀치 형상의 변화는 수직 압력의 영향도 있지만, 펀치에 작용하는 미끄럼 속도의 변화에 더 크게 작용하며, 미끄럼 속도가 펀치 노즈(nose) 평탄부와, 노즈(nose)부 각도가 증가하고, 펀치 라운드가 감소할수록 감소하며, 이에 의해 펀치 마멸 깊이도 감소하였다. 또한 소재의

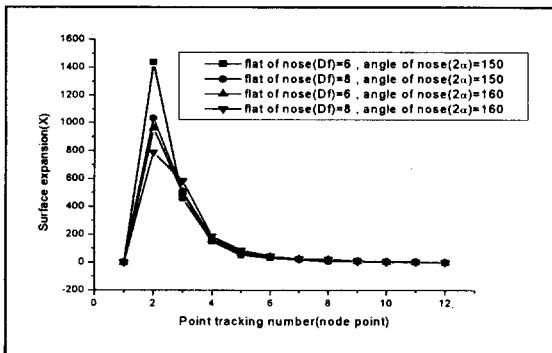


Fig. 8 Result of surface expansion for parameters of punch

표면 확장을 최소화하는 펀치 형상은 펀치 노즈(nose) 평탄부와, 노즈(nose)부 각도가 클수록 향상되는 것으로 나타났다. 해석 결과 최적의 노즈(nose)평탄부(Df)는 8mm, 노즈(nose) 부 각도( $2\alpha$ )는 170°, 펀치 라운드는 2mm 이다. 이 최적값으로 재설계된 펀치는 마멸을 감소시키고, 소재 내경의 정밀도를 향상할 것으로 예상된다. Table 2는 이 제품의 최적의 펀치 형상 변수의 값을 나타낸다.

Table 2 Value of shape parameters of optimal punch

	Df(mm)	$2\alpha(^{\circ})$	R(mm)
Opt. Value	8	170	0.5

### 3. 결론

본 연구에서는 생산성 향상을 위해 절삭 가공에서 냉간 단조로 공정을 전환할 때 발생하는 급형 마멸을 유한요소해석을 통해 고찰하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유한요소해석으로 펀치의 마멸을 예측하고, 마멸 저감을 위해 펀치의 형상을 재설계하여 마멸을 감소시킬 수 있었다.
- 2) 후방압출의 펀치 형상에서 펀치 노즈(nose)부 평탄부 지름과 노즈(nose) 각도가 증가하고 펀치 라운드가 감소할수록 펀치 마멸을 감소시킨다.
- 3) 마멸을 감소시키기 위해서는 소재의 표면 확장이 감소해야 하며, 펀치 노즈(nose)부 평탄부와 노즈(nose) 각도가 증가함에 따라 표면 확장이 감소함을 알 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학기술의 우수연구센터의 지원에 의한 것입니다

### 참 고 문 헌

1. Archard J. F., Contacts and Rubbing of Flat Surfaces, J. of Appl. Phys., Vol. 24, pp. 981, 1953
2. 황상홍, 고대철, 김병민, “생산수량에 따른 Ti-N 코팅 펀치의 마멸 해석” 한국 정밀공학회지, 제 17 권, 제 108 호, pp.149-157, 2000
3. N. Bay, S. Lassen, K. B. Pedersen, “Lubrication Limits in Backward Can Extrusion at Low Reductions”, CIRP
4. H. Nojima, J. Saga, “Effects of Punch Geometry on Punch Pressure in Cold Backward Extrusion”, JSTP, vol.21, no.234, pp.635-641, 1980