

# 크로핑 된 초기소재 형상이 금형수명 및 제품의 정밀도에 미치는 영향

이동주\* · 김동진\* · 김병민\*\*\*

## Influence of Cropped Initial Billet Shape on the Dimensional Tolerance and Tool Life

D. J. Lee, D. J. Kim and B. M. Kim

### Abstract

In cold forging by multi stage former, cropping process is important process for the high production rate and automation of forging process. But various cropping defects occur in cropping process such as orthogonality, ovality and unevenness, etc. These defects have harmful effects on the dimensional tolerance of products and tool life. So in this study, the cropping experiment is performed to examine influence of cropping process variables(clearance, cutting velocity, H/D) on occurrence of cropping defects and optimum process variables are selected, and then FE analysis is performed to verify influence of these defects on dimensional tolerance and tool life.

**Key Words** : Cropping, Defects, Dimensional tolerance, Tool life, Multistage cold forging, Former, FE-analysis

### 1. 서론

냉간 단조는 높은 생산성과 양호한 치수정도 및 표면 조도, 기계적 및 금속학적 성질이 좋은 제품의 생산 등의 많은 장점을 가지므로 현재 자동차, 항공기 및 기타 산업기계 부품의 생산에 가장 많이 적용되고 있는 생산 공정이다. 특히 다단 포머를 사용한 냉간 단조는 50에서

100 spm 이상의 높은 생산성을 가지고 자동화가 가능하므로 현재 소형 부품의 대량 생산에 가장 많이 사용되는 공법이다.

포머를 이용한 공정에서 생산성 향상을 위해 포머 자체에서 커터를 이용한 환봉을 절단하는 크로핑(cropping) 공정은 필수적인 공정이다<sup>(1)</sup>. 그러나 크로핑 공정 자체가 절삭을 통한 소재 취득 방법이 아니라 소재를 전단하는

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계기술 연구소

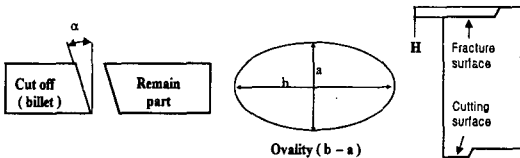
\*\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

공정이기 때문에 절단된 소재 자체가 많은 절단 결함을 가질 수 있다. 특히 이러한 결함은 소재의 표면 조도 및 치수 정도를 나쁘게 하고 금형의 수명 저하의 원인이 된다. 따라서 다단 포머를 이용한 냉간 단조에 있어서 제품의 생산성 향상과 정밀도 향상, 높은 금형수명을 위해서는 정밀절단 기술이 필요하다. 그러나 환봉 절단에 있어서 결함이 없는 양질의 소재를 얻는 것은 고도의 기술을 필요로 하고 타발에 관한 기술과 지식만으로는 충분하지 못하다<sup>(2)</sup>. 따라서 본 연구에서는 초기소재를 절단하는 크로핑 공정에서 나타나는 결함의 종류 및 원인을 규명하고 각각의 크로핑 공정조건이 결함에 미치는 영향을 파악하여 결함을 최소화 할 수 있는 적용 가능한 공정 조건을 실험을 통해 선정하였다. 또한 이러한 결함이 실제 제품의 생산시 제품의 정밀도 저하 및 금형수명에 미치는 영향을 주요요소 해석과 시제품을 통하여 비교 분석하였다.

## 2. 크로핑 결함 발생과 최적 공정 조건 선정

### 2.1 크로핑 결함의 종류 및 발생원인

크로핑 공정에서 나타나는 결함은 크게 형상 결함, 면 결함으로 나눌 수 있다. Fig. 1에 크로핑 공정에서 나타나는 대표적인 결함의 종류를 나타낸다. 직각도 불량과 진원도 불량은 제품의 치수정도 불량 및 편 하중에 의한 편 마멸에 의한 금형의 수명 저하에 큰 영향을 미치며, 단차와 제품체적에 비해 소재 체적이 더 크게 절단되는 중량 불량은 파손에 의한 금형의 수명저하에 큰 영향을 미친다. 이밖에도 2차 전단면 형성, 돌출부 등의 제품의 표면 정도에 영향을 미치는 표면 결함도 발생한다.



(a) orthogonality (b) Ovality (c) unevenness

Fig. 1 Typical of defects in cropping process

크로핑 공정에서 발생하는 결함에 영향을 미치는 공정 변수는 크게 커터(cutter)사이의 클리어런스와 절단 속도, 절단 소재의 높이에 대한 세장비(H/D), 커터와 소재사이의 클리어런스가 있다. 봉재의 절단 과정은 전단 초기의 커터의 선단부가 소재를 파고들어 전단면을 형성하는 소성 변형 단계와 이 이후의 커터 선단에

서부터 크랙이 발생하여 파단면을 형성하는 크랙의 성장, 결합 3단계로 나뉘어 진다. 따라서 이 3단계를 거쳐 형성되어지는 전단소재의 형태, 품질, 결함은 위에 언급한 크로핑 공정변수와 소재 물성치, 사용 커터의 형식에 많은 영향을 받는다. 따라서 각각의 크로핑 공정 변수가 크로핑 결함에 미치는 영향과 결함을 최소로 하는 변수의 선정을 위해 실험을 수행하였다.

### 2.2 크로핑 실험

크로핑 실험은 250ton 냉간 단조용 다단 포머를 이용하여 수행하였다. 실험에 사용된 포머의 생산 속도는 50~100spm 이며 커터의 구조는 봉재 홀더와 빌렛 지지부를 가지는 구조로서 Fig.2에 나타낸다.

실험에 사용된 소재는 AISI1010의 탄소강을 사용하였으며 초기소재의 직경은 18.3mm이다. Table 1에 실험에 적용된 공정변수를 나타내며 커터와 봉재사이의 클리어런스는 0.1로 일정하게 하여 실험을 수행하였다.

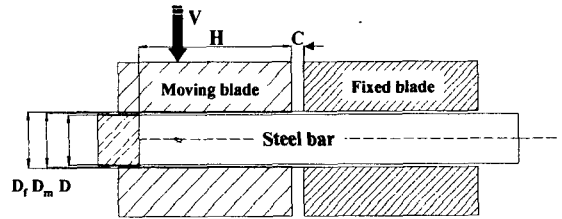
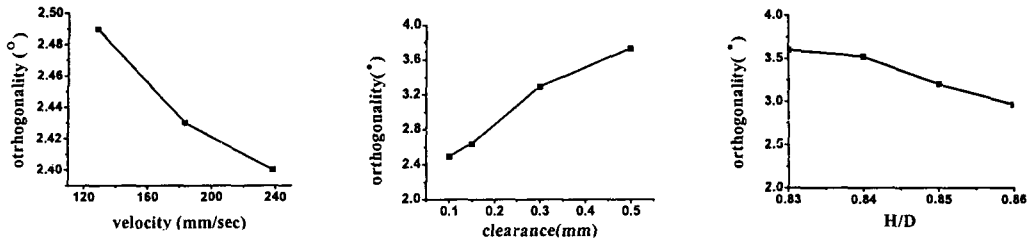


Fig. 2 Schematic of die for cropping process

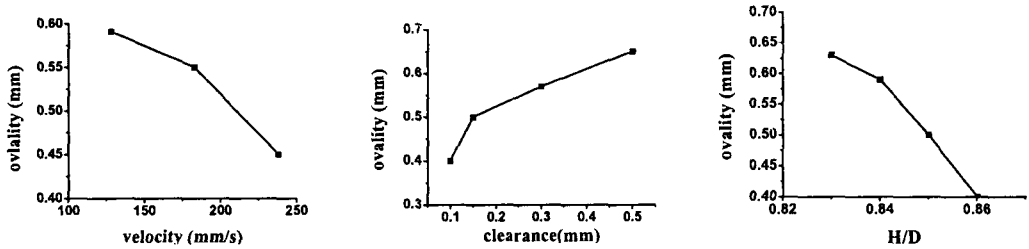
Table 1 Process variables for cropping experiment

H/D		velocity (mm/sec)			clearance (mm)				
0.85	0.90	0.95	128	183	238	0.1	0.15	0.3	0.5

각각의 공정 변수에 따라 최종 제품의 정도 및 금형의 수명에 직접적으로 영향을 주는 직각도 불량, 진원도 불량 정도의 정도를 조사하였다. 진원도 불량은 커팅 단면에 대해 Fig. 1(b)와 같이 장축과 단축의 차이로 정의하였다. Fig. 3에 실험결과를 나타낸다. 실험결과 각 공정 변수에 대해 직각도 불량과 진원도 불량은 같은 경향의 영향을 나타냄을 알 수 있었다. 클리어런스에 대해서는 클리어런스가 작을수록 결함은 작았으며, 절단 속도에 대해서는 절단 속도가 빠를수록 결함은 작게 나타났다. 또한 세장비에 대해서는 세장비가 작을수록 크로핑 결함의 정도는 작음을 알 수가 있었다.



(a) variation of the orthogonality with the velocity, clearance and H/D



(b) variation of the ovality with the velocity, clearance and H/D

Fig. 3 Results of the cropping experiments

### 3. 절단 결함의 영향

#### 3.1 초기소재 모델링 및 유한요소 해석

절단 결함이 제품의 정도 및 금형의 수명에 미치는 영향을 조사하기 위해 현장의 생산 제품에 대해 3차원 유한 요소해석을 수행하였다. 먼저 실험된 소재를 3차원 형상 측정을 통하여 대표적인 직각도 불량 및 진원도 불량, 단차의 정도를 구한 다음 결함을 가지는 크로핑된 소재를 모델링하였다. Fig. 4는 모델링된 결함을 가지는 소재의 형상을 나타낸다. 초기소재의 직경은 실험에 사용된 소재와 같이 18.3mm이며 세장비(H/D)는 0.85이다. 이 경우에 직각도 불량은 상하면에 각각 3°, 0.5°로 하였으며 진원도 불량(a/b)의 경우에는 소재의 상중하면을 기준으로 하여 각각 0.98, 1.0, 0.96으로 모델링하였으며, 단차의 경우에도 상하면에 각각 0.5mm, 0.1mm로 실제 결함을 가지는 초기소재와 같게 정의하였다.

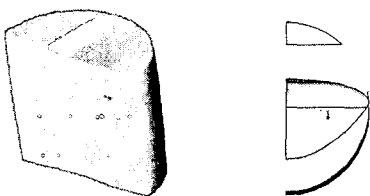


Fig. 4 Initial billet having the cropping defects

크로핑 결함의 영향을 파악하기 위해 자동차 부품인 스톱퍼(stopper)에 대해 유한요소 해석을 수행하였다. 해석은 크로핑 결함을 가지지 않는 초기소재와 결함을 가지는 초기소재에 대해 수행하여 결함의 영향을 평가하였다. 본 연구에서의 해석 대상인 스톱퍼는 250ton 단단 포머에 의해 생산되며 생산공정은 초기소재 절단 공정인 크로핑 공정과 크로핑 결함의 영향을 최소화하기 위한 두 번의 예비업세팅(pre-upsetting) 공정 그리고 예비성형(preform) 공정, 후방 압출에 의한 최종제품의 성형으로 이루어진다. Fig. 5는 실제 생산된 제품과 유한요소 해석결과를 나타낸다.



(a) Photograph of stopper in each process



(b) Results of FE analysis in each process

Fig. 5 The object of investigation to examine effects of cropping defects

### 3.1 절단결합이 금형수명에 미치는 영향

크로핑 결합 중에서 직각도 불량 및 중량 불량은 금형에 편심 하중을 가하게 되고 이로 인한 국부적인 편마모를 유발시키거나, 국부적인 응력 집중에 의한 금형의 파손 또는 유막 파괴에 의한 소부(galling) 현상을 유발하여 금형의 수명 저하를 가져온다. 따라서 일반적으로 다단 공정에서는 이러한 소재의 크로핑 결합의 영향을 최소화하기 위해 예비업세팅을 행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 소재의 크로핑 결합이 편치에 미치는 영향을 유한요소 해석을 통하여 평가하였다. Fig. 6은 두 번째 예비업세팅 공정에서 소재의 결합에 의한 편치의 탄성변형 해석을 수행한 결과이다. (a)의 경우는 결합이 없는 초기소재의 경우로서 편치의 응력 분포 및 속도 분포는 전반적으로 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 (b)의 경우에는 결합을 가지는 경우의 편치의 응력 및 속도 분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 크로핑 결합의 영향으로 인해 응력과 속도분포가 불균일함을 알 수 있다. 특히 속도의 경우에는 한쪽으로 치우쳐 분포함을 알 수 있는데 이러한 편치의 변형은 제품의 정밀도에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.

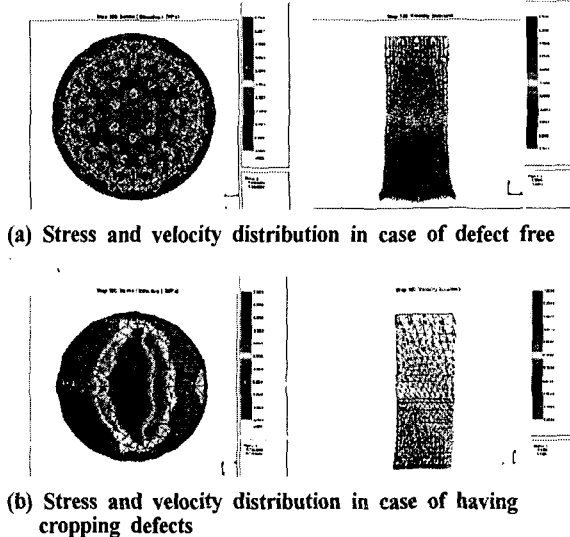
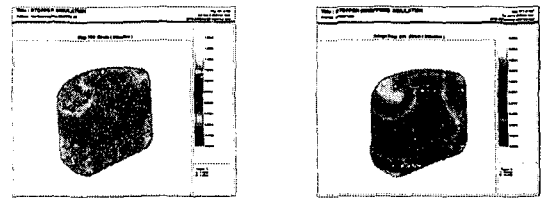


Fig. 6 Comparison of stress and velocity distribution according to existence and nonexistence of cropping defects

### 3.2 절단결합이 제품의 정도에 미치는 영향

초기소재의 진원도 불량 및 직각도 불량은 제품 성형 시 불균일 변형률 분포 발생시켜 제품의 편심 유발 및 높이, 두께 불균일 등의 제품의 치수 정도에도 영향을 미친다. 또한 이 밖에도 2차 전단면 및 돌출부 등은 제

품의 표면 결합으로 나타나게 된다. 이러한 크로핑 결합에 의한 치수 및 표면 결합은 예비업세팅 후에도 계속적 제품에 영향을 미친다. Fig. 7은 두 번째 예비업세팅 공정에서 스토퍼에 대해 초기 크로핑된 소재의 결합유무에 따른 변형률 분포를 나타낸다. 결합이 있는 경우(b)를 보면 좌우로 변형률의 분포가 불균일함을 알 수 있다. 이것은 제품이 성형되면서 계속적으로 재료의 유동에 영향을 미치므로 최종 제품의 성형 시 각부의 높이 차이 및 편심을 유발하게 된다. 스토퍼의 경우 크로핑 결합이 있는 경우에 약 0.3mm 정도의 편차량과 약 0.1mm 정도의 높이 차이가 나타났다.



(a) nonexistence of defects (b) existence of defects

Fig. 7 Comparison of effective strain distribution according to existence and nonexistence of cropping defects

## 4. 결론

본 연구에서는 냉간 단조공정에서 공정의 자동화 및 생산성 향상을 위해 필수 공정인 크로핑 공정에서 나타나는 크로핑 결합에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 크로핑 결합을 최소화 하기 위해 실험을 통하여 각각의 크로핑 공정 변수가 크로핑 결합에 미치는 영향을 평가하였으며 다음으로 크로핑 시 나타나는 결합이 금형의 수명 및 제품의 정도에 미치는 영향을 유한요소 해석 및 실험을 통하여 파악하였다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터 를 통한 한국과학재단의 우수연구센터의 지원금에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Chen Jin-De., 1992, "Plastic precision cropping of metal materials", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 32, No. 3, pp. 425~433.
- (2) Masao Murakawa, 1990, "Influence of clearance and material constraint on the cross sectional surface cut by high speed cold shearing" JSTP, Vol. 31, No. 356, pp.1135~1141.