

## 평판형 전조압연의 성형특성 연구

이형욱<sup>1#</sup>, 윤덕재<sup>1</sup>, 이근안<sup>1</sup>, 이낙규<sup>1</sup>, 최석우<sup>1</sup>

### A Study on Forming Characteristics in Plate Type Cross Rolling Process

H. W. Lee, D. J. Yoon, G. A. Lee, N. K. Lee, S. Choi

#### Abstract

Cross rolling process is one of incremental forming processes to form an axi-symmetric shaped metal component. It can be classified into two types according to the shape of dies, which are a drum type (roll type) and a plate type (straight type). It can also be classified into a wedge type and a ramp type processes according to deformation characteristics of a material. The ramp type die is applied to plate type cross rolling process in cold forming process for forming of teeth of gear or bolt, while the wedge type die is generally utilized to drum type and plate type cross rolling processes in hot forming process. A shape of the ramp type die is usually same as final shape of a product at every section of a progressing direction, while the shape of the wedge type die has different shapes in a progressing direction. In this paper, a rolling of neck part in a ball stud component has been carried out using the plate type cross rolling process with a ramp shaped die. Forming characteristics have been performed using finite element analysis in order to obtain a proper preform for the ramp type plate cross rolling process.

**Key Words** : Plate Type Cross Rolling (평판형 전조압연), Drum Type Cross Rolling (드럼형 전조압연), Micro-alloyed Steel (비조질강), Ramp Type Die(램프형 금형), Wedge Type Die(웨이형 금형)

#### 1. 서론

점진성형기법의 하나인 전조압연공정은 주로 원통형 형상의 소재를 가공하여 다음공정의 예비성형체를 만들거나 완제품으로 성형하는 공정이다. 전조압연공정은 열간공정, 냉간공정에 모두 사용되며, 열간가공 공정에서는 단조품의 예비성형체나 다단축과 같은 완제품을 성형하는 데 사용되고, 냉간가공 공정에서는 나사나 기어의 전조작업이나 냉간성형품의 표면을 가공하는 작업에 이용된다.

전조압연공정은 금형의 형상에 따라 드럼형과 평판형으로 나누어지고, 금형의 성형형태에 따라

램프(Ramp) 형과 웨지(Wedge) 형으로 나눌 수 있다. 램프형 금형은 최종형상과 동일한 형상의 금형을 이용하여 압하량을 조절하여 성형하는 방식이고, 웨지형 금형은 초기에 절입부를 사용하여 필요한 압하량을 성형한 후 소재를 측면으로 유도시키는 방식이다. 웨지형 금형은 드럼형과 평판형에서 소재의 유동이 비교적 많은 경우에 사용되며, 램프형 금형은 주로 나사 전조와 같은 냉간가공에서 소재의 유동량이 많지 않은 경우에 사용된다.

냉간공정에 이용되는 전조압연공정에서 가장 고려되어야 하는 것은 소재유동이 어렵기 때문에 발생하는 내부의 Mannesmann Hole과 미끄러짐에

1. 한국생산기술연구원 디지털생산공정팀  
# 교신저자: hwlee@kitech.re.kr

의한 불완전성형이다. 따라서 냉간공정에서는 전조압연을 위한 예비성형체의 설계가 중요하다. 소재의 유동을 줄이면서도 표면의 성형효과를 키울 수 있는 성형체를 설계하는 것이 냉간전조압연공정의 핵심이라 할 수 있다. 이러한 예비성형체의 설계에서 실제 공정상을 통하여 수정하려면 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에, 유한요소해석을 통한 설계가 큰 도움이 될 수 있다.

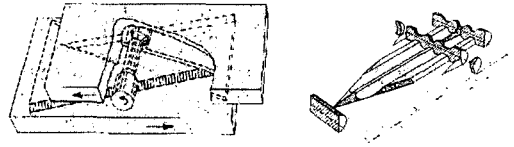


Fig. 1 Schematic diagrams of plate type cross rolling

전조압연에 대한 유한요소해석은 주로 열간상태에서의 전조압연공정에 대하여 연구가 이루어져 왔으며<sup>(1-3)</sup>, 최근 냉간전조압연에 대한 연구도 수행되고 있다<sup>(4-6)</sup>. Zb. Pater 등<sup>(1)</sup>은 평판형 전조압연공정을 이용한 업셋팅 공정의 해석적 모델을 구성하였고, 전조압연공정의 안정성에 대한 연구를 수행하였다. Y. Dong 등<sup>(2,3)</sup>은 평판형 전조압연공정에서 수치해석과 실험을 통하여 틀과 소재간의 미끄러짐을 해석하였다. Choi 등<sup>(4-6)</sup>은 비조질강의 정형성형에 대한 연구를 통하여 드림형 금형에서의 냉간 전조압연공정을 해석적 방법과 실험적 방법을 통하여 연구하였다.

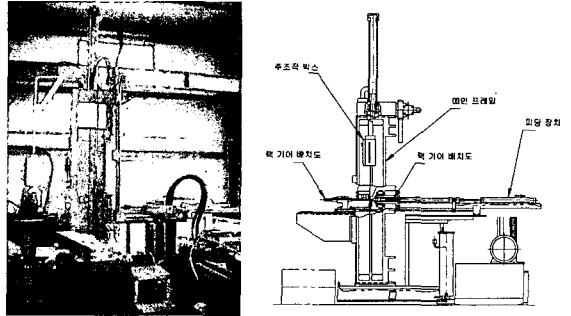


Fig. 2 Rack-dies rolling machine

본 논문에서는 현재 비조질강의 수요부품 중의 하나인 자동차 조향, 현가부품인 볼 스테드(Ball Stud)의 성형을 위하여 램프형 금형을 가진 판 형태의 전조압연공정을 이용하였다. 냉간공정에서 중요한 금형과 예비성형체를 설계하기 위하여 CAE 기법을 이용하여 램프형 금형에서 소재의 형상에 따라 소재의 성형량을 검토하였다. 유한요소해석은 KISTI의 Supercomputing Center에 있는 LS-DYNA3D를 사용하였다.

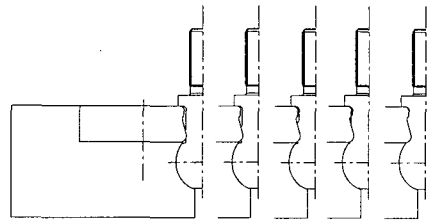


Fig. 3 Incremental die geometries of the rack-die

## 2. 평판 전조압연 공정

### 2.1 평판전조압연

평판전조압연 공정의 개념도는 Fig. 1 과 같다. 본 연구에서는 평판전조압연기로 Rack-Dies 기계를 사용하였고, 금형의 형상이 진행방향에 대하여 동일한 형상을 가지고, 압하량만 선형적으로 증가하는 램프형 금형을 사용하였다. 실험에 사용된 기계는 Fig. 2에 상세도와 함께 도시하였다.

전조압연을 통하여 성형할 소재는 조향장치 부품인 볼 스테드로 사용된 금형은 Fig. 3 과 같이 두개의 금형으로 이루어진 랙-다이스 금형으로 성형이 진행됨에 따라 압하량을 선형적으로 증가시키는 형상을 가지고 있다. 이러한 램프형 금형은



Fig. 4 Machined die and original preform of ball stud



Fig. 5 Deformed shape of ball stud using the rack-dies

조절가능한 변수가 많은 웨지형 금형과는 다르게, 선형적으로 증가되는 압하량을 제외하면 조절 가능한 설계변수가 거의 없기 때문에 본 논문에서

는 예비성형체를 설계하는데 중점을 두었다.

Fig. 4 에는 가공된 다이와 초기 성형에 사용된 예비성형체를 도시하였다. 최초의 예비성형체 모델은 최소 직경을 최종형상의 직경과 일치시킨 형상을 설정하였다. 성형 후 형상을 Fig. 5 에 도시하였다. 초기 설계안에서는 성형의 가능성을 확인하기 위해서 목부를 완전히 성형하지 않았다. 그러나 구의 직경과 목부의 직경이 다름으로 인한 문제점을 발생되지 않음을 알 수 있다.

## 2.2 평판전조압연 공정의 유한요소해석

평판형 전조압연공정의 유한요소 해석을 위하여 Fig. 6 과 같이 금형과 소재를 모델링하였다. 사용된 소재의 물성은 예비 성형을 위하여 저탄소강인 S20C 의 물성을 사용하였다. 전조압연 공정의 해석은 탄소성 구성방정식을 사용하였으며 해석의 복잡성으로 인하여 LS-DYNA 3D 를 사용하였다. 해석에 사용된 절점은 18657 개이고, 요소는 약 16000 개 이다. 해석시간은 supercomputer IBM p690 에서 90 시간 정도 소요되었다. Fig. 7 에는 최종성형형상과 초기형상을 비교하여 도시하였다. 금형의 진행에 따라 성형이 되었으나 금형에 완전히 채워지지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 8 에는 소재의 표면의 한 점을 추적하여 정규화한 값을 도시하였다. 이것은 소재의 회전도의 정도를 나타내는 것으로 미끄러짐 현상을 알아볼 수 있는 지표가 된다. 초기 설계안에서는 정밀 성형작업을 수행하는 버니싱 구간에 들어가면서 소

재가 미끄러짐을 알 수 있어 예비성형체를 수정하여야 함을 알 수 있다.

예비성형체를 설계하기 위하여 최종형상과 초기형상간의 체적을 계산하여 Fig. 9 에 도시하였다. 체적의 비율로는 충분히 금형에 채워져야 하나 볼의 머리부가 밀려서 이동할 경우 0.42mm 의 이동에도 체적이 모두 소모됨을 알 수 있다. 따라서 본 형상의 예비성형체 설계에는 재료의 유동을 볼 머리부보다는 플랜지 부로 유도하는 것이 설계의 중요한 요소인 것을 알 수 있다. 이로부터 소재의 목부를 플랜지로부터 7mm 떨어진 위치에서 3.5 도 정도 경사지도록 설계하여 소재 유동이 플랜지 부로 집중되도록 하여 수정된 모델을 구성하였다.

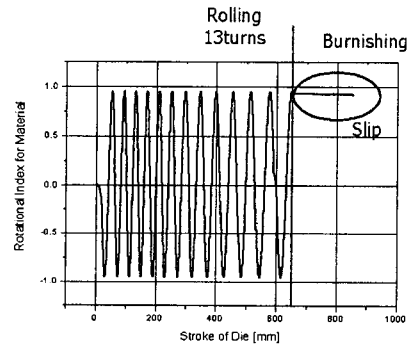


Fig. 8 Variation of the rotational index (normalized radial coordinate of surface point) of a material with respect to the stroke of die for the original preform

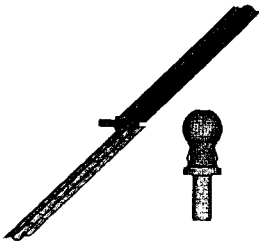


Fig. 6 Finite element modeling for the plate type cross rolling process

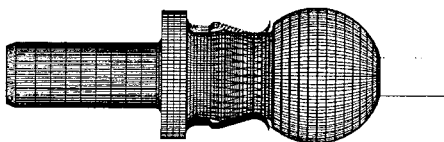


Fig. 7 Comparisons of initial and deformed shapes

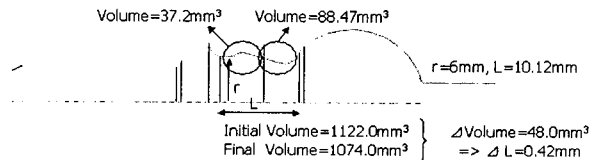


Fig. 9 Volume calculation for a modified design

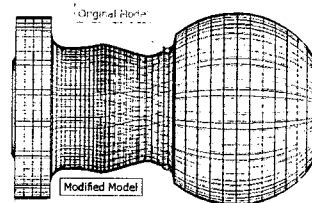
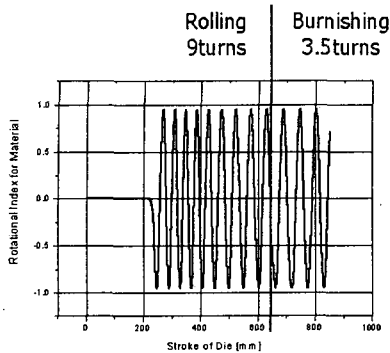
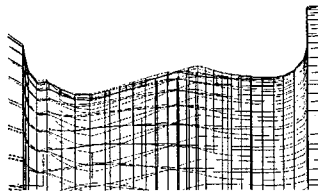


Fig. 10 Comparisons of deformed shapes of the original and the modified models



**Fig. 11 Variation of the rotational index (normalized radial coordinate of surface point) of a material with respect to the stroke of die for the modified preform**



**Fig. 12 Comparisons of deformed shapes of the modified models with respect to the different material properties of S20C and micro-alloyed steel**

수정된 모델과 초기 모델의 변형형상 결과를 Fig. 10 에 도시하였다. 두 모델의 최종형상은 거의 동일한 형태를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 11 에서 수정된 모델은 버니싱 구간에서도 미끄러짐이 일어나지 않음을 알 수 있다. 따라서 거의 동일한 형상을 유도하면서 미끄러짐이 일어나지 않는 수정된 모델이 더 좋은 설계안인 것을 알 수 있다. 또한 이 경우 소재의 회전수도 초기모델보다 줄어들어 내부 결함이 생길 가능성도 더 낮은 것을 알 수 있다.

Fig. 12 에는 최종적으로 볼 스테르드가 적용될 비조질강 재료의 물성치를 입력하여 해석한 결과를 도시하였다. 금형면에 보다 많이 채워진 것이 비조질강을 이용한 해석 결과이다.

### 3. 결론

본 논문에서는 볼 스테르드의 목부를 성형하기 위하여 램프형상의 금형을 이용한 평판형 냉간

전조압연공정에 대하여 유한요소해석을 수행하여 예비성형체를 설계하였다. 동일 직경을 가진 목부에 소재의 유동을 위하여 경사진 형상을 가진 설계안을 제안하여 초기 모델보다 미끄러짐이 일어나지 않으면서 거의 동일한 체적을 가지는 최종형상을 얻을 수 있도록 하였다. 유한요소 해석을 통하여 확인하기 힘든 머리부와 목부의 곡률 등에 대한 미세한 설계는 실제 실험을 통하여 결정하여야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 청정생산기술사업 중 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 차세대 환경친화형 고강도 냉간 비조질강 제품 개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Zb. Pater, W. Weronki, J. Kazanecki and A. Gontarz, 1999, Study of the process stability of cross wedge rolling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 92-93, pp. 458-462.
- (2) Y. Dong, M. Lovell and K. Tagavi, 1998, Analysis of interfacial slip in cross-wedge rolling: an experimentally verified finite-element model, J. Mater. Process. Technol., Vol 80-81, pp. 273-281.
- (3) Y. Dong, K. A. Tagavi and M. R. Lovell, 2000, Analysis of interfacial slip in cross-wedge rolling: a numerical and phenomenological investigation, J. Mater. Process. Technol., Vol. 97, pp. 44-53.
- (4) S. Choi, D. J. Yoon, G. A. Lee, H. W. Lee and K. H. Na, 2005, Cold Rolling Technique for Eliminating Cutting Process in Manufacturing Precise Product using Non-heat-treated Micro Alloys, Materials Science Forum, Vol. 475-479, pp. 3235-3238.
- (5) 이형욱, 윤덕재, 이근안, 최석우, 2004, CAD/CAE 를 이용한 냉간 비조질강용 회전전조 금형설계, 한국소성가공학회 2004 년도 춘계학술대회 논문집, pp. 400-403.
- (6) 윤덕재, 김인호, 최석우, 임성주, 이형욱, 2004, 냉간 전조압연 공정에서의 성형조건에 따른 재료의 물성변화분석, 한국소성가공학회 2004 년도 추계학술대회 논문집, pp. 319-324.