

# Cu rod의 three-roll screw rolling 공정 시 미세조직 및 변형상태 해석

김상현<sup>1</sup> · 박은수<sup>1</sup> · 허무영<sup>1#</sup> · 김휘준<sup>2</sup> · 배정찬<sup>2</sup>

## Evolution of strain states and microstructures during three-roll screw rolling of copper rods

S. H. Kim, E. S. Park, M. Y. Huh, H. J. Kim and J. C. Bae

### Abstract

In order to investigate the evolution of strain states during screw rolling, the samples of pure copper rod were rolled in a three-roll screw rolling mill. Microstructure observations and hardness measurements were carried out for examining the deformation during screw rolling. In addition, the finite element method (FEM) was employed to calculate. The strain states reveal that the shear strain plays a dominant role in the deformation during screw rolling.

**Key Words** : Planetary three-roll, PSW, Finite element method

### 1. 서론

Three-roll screw (planetary) rolling은 압출이나 인발공정과 유사하게 Rod의 직경을 줄이는 관점에서선 제품 생산 목적이 유사하지만 공정 속도가 빠르다는 장점을 지니고 있다. 또한 Roll의 위치를 조정함으로써 Rod의 직경을 쉽게 조절할 수 있고, temperature drop, lateral spread와 rolling load가 낮기 때문에 제품의 정밀성을 향상시키는 장점을 가지고 있다 [1].

하지만 rolling load가 낮기 때문에 알루미늄 같은 연한 성질을 갖는 결정질 금속은 재결정 온도 이하의 낮은 온도에서도 가공이 가능하지만 알루미늄에 비해 비중이 높은 금속들은 냉간 가공이 어려워 재결정온도 이상의 높은 온도에서 가공해

야 한다는 단점을 지니고 있다.

현재까지 three-roll screw rolling을 이용한 유한요소해석에 대한 연구와 Plasticine을 이용한 변형상태를 해석한 연구는 보고된 바 있지만 [1-4], 결정질 금속을 이용한 변형상태 해석 즉 microstructure와 hardness data들에 대해 보충할 수 있는 유한요소해석의 결과에 대한 연구는 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 결정질 금속인 순동을 이용하여 변형상태를 해석하기 위하여 압하율을 변화시켜 변형상태를 해석하였다. 또한, rolling되는 동안의 정확한 변형상태를 알아보기 위하여 finite element method (FEM)을 사용하여 해석하였고, 그 결과를 실험을 통해 얻은 microstructure images와 비교분석 하였다.

1. 고려대학교 신소재 공학부

2. 한국생산기술 연구원 신기능 소재팀

# 교신저자 : 고려대학교, E-mail : myhuh@korea.ac.kr

## 2. 실험 방법

실험을 수행하기에 앞서 압하율을 측정하기 위해 white plasticine 을 이용하여 3 개의 roll 의 위치를 적절히 이동시켜 정확한 압하율을 측정하였다. 30Φ, L=200mm 크기를 갖는 Pure Cu Rod 의 시편을 이용하여 RPM 90 에서 온도를 750℃로 고정하고 압하율을 30%, 50%, 70% 변화하여 압연하였다. 압연 후 변형상태를 해석은 EBSD, Vickers Hardness tester 를 이용하여 분석하였고, rolling 시 변형상태의 해석은 FEM simulation (DEFORM3D)을 이용하여 변형상태를 해석하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

실험 전 미세조직을 제어하기 위하여 750℃에서 소둔 처리하여 봉재 재료를 연화시켰다. 압연 온도가 750℃이하에서는 70%이상의 압하율을 얻을 수 없으므로 압연온도를 750℃로 정하였다.

Fig. 1은 screw rolling 후 시편들의 형상이다. 압하율이 증가할수록 roll에 접촉하는 면적이 증가하기 때문에 spiral mark가 좁아지는 현상이 관찰되며, 시편의 뒷 부분에는 end cavity가 생성된다. 이 end cavity가 생성되는 이유는 봉재의 표면층과 중앙층의 material flow가 다르게 일어나고, 표면층이 중앙층보다 더 빠른 속도로 일어나기 때문에 나타나는 현상으로 보고된 바 있다 [1].

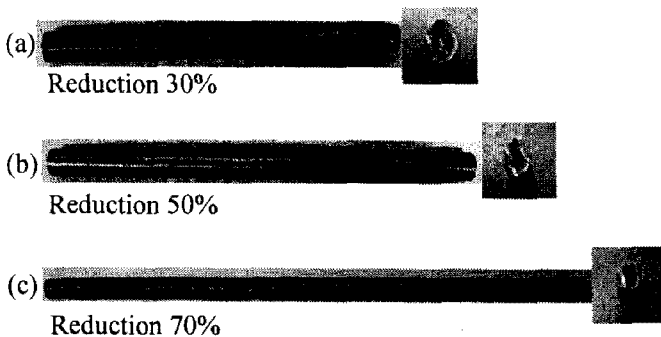


Fig. 1 Shapes of sample after screw rolling

압하율에 따른 최종직경(D), end cavity의 깊이는 Table.1 과 같다.

Table. 1 Change of Diameter and End cavity after screw rolling

Reduction	Diameter(mm)	End cavity(mm)
30(%)	25.1	9.25
50(%)	21.2	12.5
70(%)	16.4	17.5

$$*Reduction, R(\%) = ((D_o^2 - D_f^2) / D_o^2) \times 100$$

Fig. 2는 중앙층에서 표면층까지 Vickers Hardness 결과를 나타낸 곡선이다. 압하율이 증가할수록 경도값이 증가하는 결과가 나타났으며, 중앙층보다 표면층이 경도가 높은 결과를 보인다. 30%의 낮은 압하율을 갖는 sample의 경우 중앙층에서 5mm까지의 부근에서는 경도값이 거의 증가하지 않았지만, 압하율 50%, 70% sample에서는 중앙층에서도 경도값이 증가한 결과를 보인다.

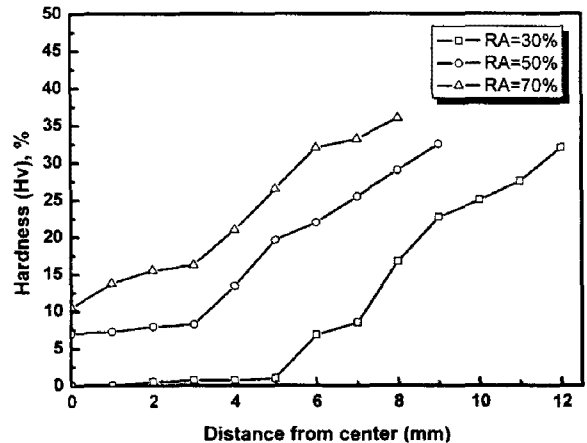
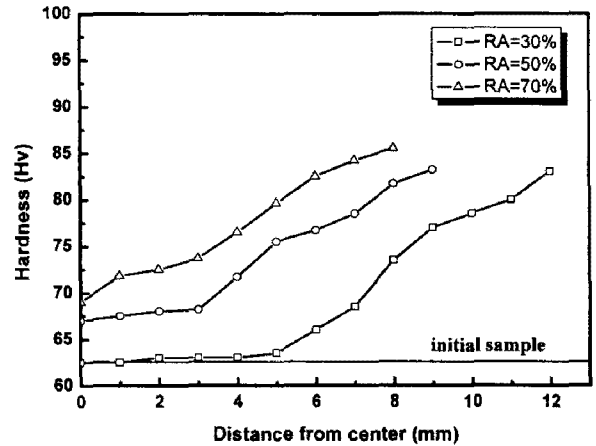


Fig. 2 Changes of hardness with increasing reduction after screw rolling.

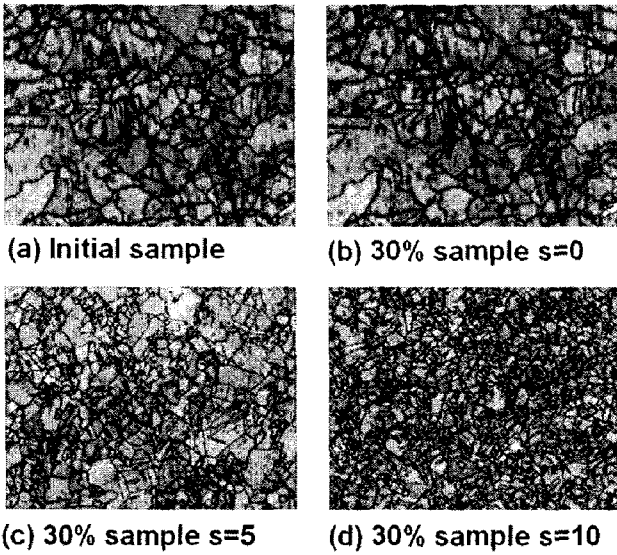


Fig. 3-1 Microstructure (EBSD image) of rolled sample (Reduction 30%)

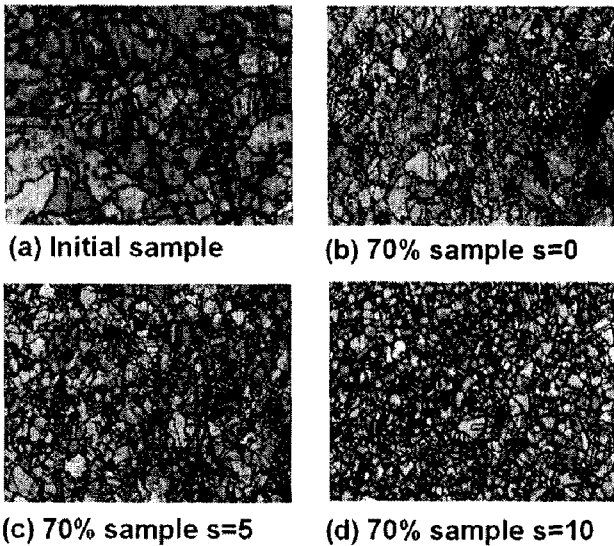


Fig. 3-2 Microstructure (EBSD image) of rolled sample (Reduction 70%)

Fig. 3은 압하율 30% 와 70%를 갖는 시편의 EBSD 미세조직 관찰 결과이다. 중앙에서부터 표면까지의 Depth parameter,  $s$ 를 사용하여 구분하였다. 즉, 중앙층을  $s=0$ , 표면층을  $s=10$ 으로 정의하여, 초기 image와  $s=0, 5, 10$  층의 EBSD image를 통하여 microstructure를 관찰하였다.

미세조직 관찰결과에 의하면, 압하율 30%를 갖는 시편의 경우 중앙층에는 변형이 발생되지 않는다. 반면 압하율 70%를 갖는 시편의 경우 중앙

층까지 변형이 일어나는 것을 관찰할 수 있다.

또한 압하율이 커질수록 표면층 역시 더 많은 변형이 일어나며, 중앙층까지 변형되는 것을 관찰할 수 있다. 즉 미세조직 관찰결과는 Fig. 2의 경도측정 결과와 일치한다. 많은 변형이 발생하는 표면층에는 중앙층보다 경도값이 높게 측정되었으며, 압하율이 높아질수록 중앙층까지 변형이 발생되기 때문에 경도값이 높아지는 결과를 보여주고 있다.

Fig. 4 는 Screw rolling 공정을 모사하기 위해서 DEFORM\_3D를 사용하였고, 유한요소 해석을 위한 modeling을 도시하였다.

해석에 사용된 주요변수는 마찰계수( $m=0.7$ ), roll의 분당회전수 (RPM) 90, 해석시간을 줄이고 정확한 변형상태를 해석하기 위하여 Heat transfer는 무시하였다. DEFORM\_3D에서는 roll의 정확한 구동축 좌표를 얻기 어려운 단점이 있어 roll이 회전시 Vibration이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, Hyperworks7.0을 이용하여 정확한 구동축 좌표를 얻어 Roll의 Vibration을 제거하였다. 해석시간은 약 60시간으로 초기에 sample을 밀어주기 위해 Pusher를 사용하였다.

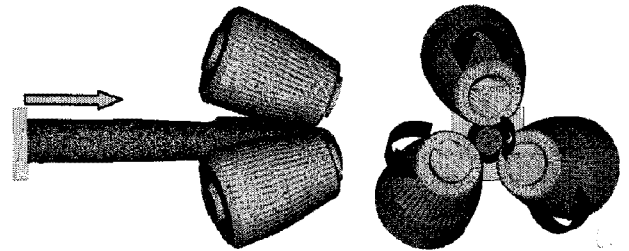


Fig. 4 Finite element modeling of screw rolling

Fig. 5 는 유한요소해석 후 얻은 변형상태를 나타낸 것이다. (a)는 단면의 effective strain 이고, (b)는 단면의 RD 방향의 strain이다.

유한요소해석 결과 중앙층에 비해서 표면층에 변형이 집중됨을 알 수 있으며, RD strain의 관찰 결과 표면층과 중앙층의 변형이 거의 비슷함을 알 수 있고, 표면층에 많은 전단변형이 일어남을 알 수 있다.

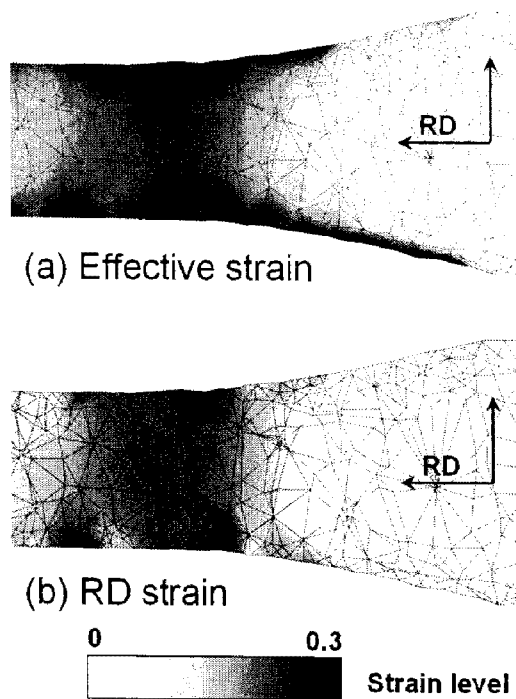


Fig. 5 Distribution of strain states during screw rolling

#### 4. 결론

본 연구에서는 결정질 금속인 순동을 이용하여 Screw rolling 한 후 압하율에 따른 변형상태를 해석하였다. 그 결과 표면층에는 많은 변형이 일어났으며, 압하율이 작을 때에는 중앙층의 변형이 없고 또한, 경도값 역시 증가하지 않았다. 그리고

압하율이 증가할수록 중앙층까지 변형이 일어날 뿐 아니라 경도값도 증가한다는 결론을 얻었다. 유한요소해석 결과 중앙층에 비해 표면층이 유효 변형율이 높게 나왔다. 이것은 screw rolling시 표면층에 전단변형이 높게 작용하기 때문이었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 “공통핵심기술개발” 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Chih-Kang Shih, Chinghua Hung, 2003, Experimental and numerical analyses on three-roll planetary rolling process, J. Mater. Proc. Tech, Vol. 142, P. 702-709
- [2] Yeong-Maw Hwang, W.M. Tsai, F.H. Tsai, I. Her, 2006, Analytical and experimental study on the spiral marks of the rolled product during three-roll planetary rolling processes, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, P. 1555-1562
- [3] Shyue-jian Wu, Yeong-Maw Hwang, Ming-Hu Chang, 2002, A Three-dimensional finite element analysis of the three-roll planetary mill, J. Mater. Proc. Tech, Vol. 123, P. 336-345
- [4] Yeong-Maw Hwang, Hung-Hsiou Hsu, G.Y. Tzou, 1998, A study of PSW rolling process using stream functions, J. Mater. Proc. Tech, Vol. 80-81, P. 341-344