

# Groove Pressing 공정을 통한 소성 변형 거동 연구

윤승채<sup>1,2</sup>·A.Krishnaiah<sup>2</sup>·U.Chakkingal<sup>3</sup>·김형섭<sup>#</sup>

## Analysis of Plastic Deformation Behavior during Groove pressing

S. C. Yoon, A. Krishnaiah, U. Chakkingal, H. S. Kim

### Abstract

Elasto-plastic finite element analysis was carried out for analyzing the severe plastic deformation behavior of copper specimens during groove pressing. Deformation localization was studied in terms of strain variations along the longitudinal direction. Plastic strain is lower at the local interface between the shear and the flat regions, which receive very little shear during the pressing cycle. Strain localization is more intensified with the number of rove pressing cycles, although the average strain level increases.

**Key Words** : finite element method, severe plastic deformation, groove pressing, strain localization, copper

### 1. 서 론

강소성 공정은 벌크 소재의 초미세/나노 결정립 구조 재료를 제조하는 가장 효과적인 공정으로써, 여러 강소성 공정들이 개발되고 있다. 그 대표적인 공정으로는 Equal Channel Angular Pressing (ECAP), Accumulative Roll Bonding (ARB), High Pressure Torsion (HPT) 등이 있다. 그뿐만 아니라 대표적인 강소성 공정 연구에 대한 실제 산업 적용 및 그 응용범위를 넓히기 위한 여러 공정들이 개발 및 scale-up 그리고 연속 공정에 대한 여러 대안 연구들이 이루어지고 있으며, 이에 따라 여러 공정들이 개발 및 수정이 이루어지고 있다. 특히 그 대표적인 사례로 판재가공을 위해 적용된 Groove Pressing (GP) 공정을 들 수 있다[1-3]. GP 공정은 Shin 등에 의해 처음 제안된 공정으로써, 소재에 반복 전단 변형을 가함으로 재료의 내부 구조를 미세화를 이루는 공정이라 할 수 있다. 그림 1은 GP 공정의 개략도이다. 여기서 관찰할 수

있는 바와 같이 GP 공정은 Grooved 금형과 Flat 금형으로 이루어져 있으며, 공정 모식도에서 알 수 있는 바와 같이 크게 5 단계 공정 절차를 거쳐 진행되는데, 간단한 반복적인 가공을 통해 초미세 결정립 구조 소재를 제조하는 공정임을 알 수 있다. 이러한 GP 공정에 대한 많은 연구자들이 발표를 이루고 있으나, 소재의 기계적 혹은 물리적 특성은 가공 중의 변형 양상에 크게 의존되는 금형 형상이나 가공 공정 변수의 연구 없이 실험에 의존된 결과만을 고찰하고 있는 실정이며 가공 공정에 영향 미치는 여러 요인에 대해 체계적으로 정립이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 재료의 물리적 특성 향상을 위해서는 공정 조건 수립 및 공정 변수에 대한 연구는 선행적으로 이루어져야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 최근 많은 연구가 진행되고 있는 판재 강소성 공정인 GP 공정에 대해 유한 요소법을 이용하여 그 공정 특성 및 소재 변형 거동을 연구하고자 한다.

1. 충남대학교 대학원  
2. 충남대학교 BK 첨단부품소재산업단  
3. Osmania University, India  
# 교신저자: 충남대학교 나노공학부, E-mail: hskim@cnu.kr

## 2. 유한요소 해석

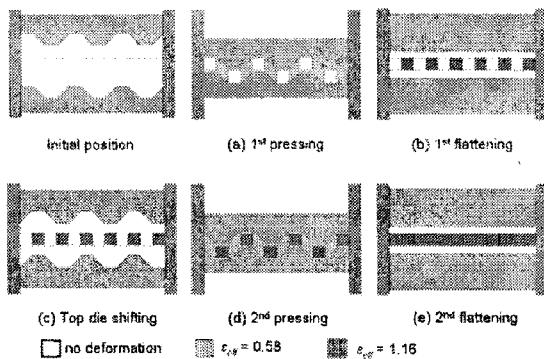


Figure 1. Schematic of groove pressing process showing 5 stages: (a) first pressing; (b) first flattening; (c) top die shifting towards RHS; (d) second pressing; (e) second flattening.

효과적인 GP 공정의 계산 수행을 위해 탄소성 유한 요소법을 적용하였다. GP 공정에 대해서는 이전에도 많은 계산 수행 및 연구 논의가 이루어진 바가 있으나, 실제적인 응력 및 변형 이력에 대한 구체적인 논의는 미흡한 실정이다[4]. 이를 고찰하기 위해 대표적인 탄소성 유한요소 상용 code인 ABAQUS/Standard를 사용하였다. 시편의 두께 방향 변형률이 0 인 평면변형 상태로 가정하여 계산의 효율성을 높였으며, 길이방향으로 80 mm, 두께 방향으로 5 mm에 해당한다. 또한 재료와 금형 사이 계면에는 일반적으로 사용되는 0.1 의 마찰을 고려하였으며, 100,000개의 4절점 요소를 사용하였다. 또한 사용된 재료는 어닐링된 Cu로서, 일반적인 인장 실험으로는 본 계산에 필요한 자료를 얻기 어려우므로, 전위셀 진화모델을 이용하여 이론적으로 얻은 응력-변형률 곡선을 사용하였다[5].

## 3. 결론

그림 2는 2회 반복 GP 공정을 진행한 것으로써, 이론적으로 1회 압축 공정에 얻을 수 있는 0.58의 단순 전단 변형과는 다소 다른 양상을 나타내며, 공정 종료 후에는 반복 공정이 이루어진 부분이 상당히 국부적인 변형 양상을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 가공 압축 공정이 점차 증가 되어짐에 따라 유효변형률이 증가하는 추세를 나타내어진다.

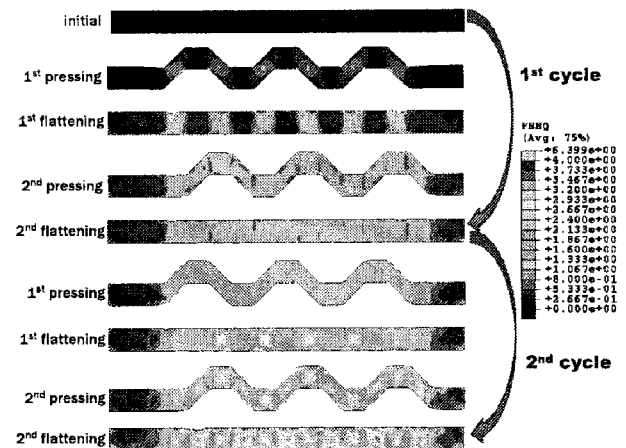


Figure 2. Effective strain distributions in groove pressing after two cycles.

이를 효과적으로 고찰하기 위해 변형 구간을 3 부분으로 나누었으며, 각 변형 구간에 일어나는 변형 이력을 각 단계별 공정에서 유효 변형률을 고찰함으로써 GP 공정의 변형 특성을 분석하였다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 2007 년도 국가지정 연구실 사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. H. Shin, J. J. Park, Y. S. Kim, K. T. Park, 2002, Constrained groove pressing and its application to grain refinement of aluminum, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 328, pp. 98~103.
- [2] J. W. Lee, J. J. Park, 2002, Numerical and experimental investigation of constrained groove pressing and rolling for grain refinement, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 130~131, pp. 208~213.
- [3] A. Krishnaiah, U. Chakkingal, P. Venugopal, 2005, Application of the groove pressing technique for grain refinement in commercial purity copper, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 410~411, pp.337~340.
- [4] J. Park, N. J. Park, 2005, Influence of orthogonal shear on texture an R value in aluminum sheet, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 169, pp.299~307.
- [5] Y. Estrin, L. S. Toth, A. Molinari, Y. Brechet, 1998, A dislocation-based model for all hardening stages in large strain deformation, Acta Mater., Vol. 46, pp. 5509~5522.