

반통로 각압출 (Half Channel Angular Extrusion, HCAE) 공정에서 재료의 변형 거동 해석 Analysis of Deformation Behavior in Half Channel Angular Extrusion(HCAE)

*#김경진¹

*#K. J. KIM(kkj@kiu.ac.kr)¹

¹경일대학교 기계자동차학부

Key words : Half-Channel Angular Extrusion, Severe Plastic Deformation, Deformation Behavior

1. 서론

강소성 가공 공정(Severe Plastic Deformation, SPD)은 대량의 소성 변형을 금속 소재의 내부에 축적시켜 소재의 결정립의 크기를 미세화시키는 기술로서, 대표적인 강소성 가공은 등통로각압출⁽¹⁾, 반복 접침 압연⁽²⁾ 등이 있으며, 결정립 미세화의 효율을 향상시키는 것을 목적으로 연속회전 등통로각압출⁽³⁾, 비틀림 각압출 공정⁽⁴⁾ 등의 공정이 최근 제안되고 있지만 공정에 필요한 장비가 복잡해지고 대형화되는 단점이 있다.

본 논문에서는 1 회 가공 시의 재료에 가해지는 소성 변형량을 증가시키고, 반복 가공 횟수를 최소화하며 1 회 공정에서 서로 다른 방향의 변형이 복합적으로 발생시킬 수 있는 새로운 강소성 가공 공정인 반통로 각압출 (Half-channel angular extrusion, HCAE)을 제안하고, 유한요소해석을 통해 제안된 HCAE 공정에서의 소성변형거동을 해석하고, 소재에 발생하는 변형률 및 변형률 분포에 대해 분석한다.

2. 반통로 각압출(HCAE, Half Channel Angular Extrusion)

Half-channel angular extrusion (HCAE) 공정은 1 회 가공에서 소재에 가해지는 소성 변형량을 증가시키고, 변형을 복합적으로 발생시키기 위해 기존의 ECAE 공정과 소재의 단면적이 감소하는 전통적인 압출 공정을 한 공정에 구현함으로써 교차각에 의해 발생하는 전단

변형과 더불어 압출 공정에서의 전단 변형 및 압축, 인장 변형을 복합적으로 부가하여 결정립 미세화 효율을 향상시키는 것을 목적으로 한다. Fig. 1 은 HCAE 공정에 사용되는 금형의 기하학적 구조와 변형되는 소재의 개략적인 형상을 나타내고 있다. Fig. 1 에서 볼 수 있듯이 HCAE 금형의 측면 형상은 ECAE 공정과 동일하게 높이가 일정한 두 개의 통로가 교차하도록 되어있지만, 위에서 본 형상은 전형적인 압출 금형과 같이 일정한 압출각 α 에 따라 단면이 줄어들면서 소재가 변형되는 형상으로 이루어져 있다.

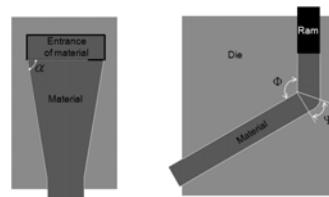


Fig. 1 Schematic diagrams of HCAE process

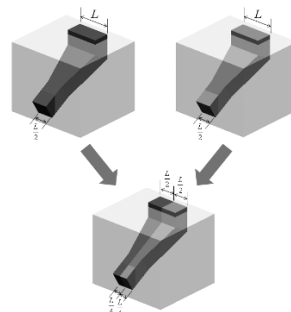


Fig. 2 Second pass in HCAE process

HCAE 공정에서 반복가공을 가능하게 하기 위해 Fig. 2 에서와 같이 성형이 끝난 소재의 폭을 초기 소재의 1/2 이 되도록 금형을 설계하고, 첫 번째 성형을 거친 2 개의 소재를 진입 채널에 동시에 위치시켜 가공함으로써 반복 가공을 가능하게 하는 방법을 채택하였다. 가공 후에 소재의 단면이 초기 소재 단면적의 1/2 로 감소하므로 반통로 각압출이라 명명하였다.

3. HCAE 공정의 유한요소해석

HCAE 공정의 유한요소해석은 소성 가공 전용 해석 프로그램인 DEFORM 3D 를 사용하였으며, 초기소재는 20 (t) × 60 (w) × 70 (l) 크기의 직육면체 형상을 가지며 소재의 종류는 공업용 순 알루미늄을 적용하였고, 대칭성을 고려하여 1/2 형상만을 해석하였다. 금형의 형상이 $\Phi = 120^\circ$, $\Psi = 27^\circ$ 인 경우에 α 가 각각 30°, 45°, 60° 인 3 가지 HCAE 공정에 대하여 해석을 수행하였다.

4. 유한요소해석결과

$\Phi = 120^\circ$, $\Psi = 27^\circ$ 인 HCAE 공정에서 α 가 각각 30°, 45°, 60° 인 경우에 성형이 완료된 후의 변형률의 분포를 관찰한 결과, α 의 크기에 따라 약간의 차이는 있지만 소재의 중심부에서 약 1.3, 소재의 표면 부분에서는 약 2.0 의 변형률이 가해지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 같은 교차각과 만곡각을 갖는 ECAE 공정에서 소재에 가하는 변형률인 0.63 에 비해 100% 이상 증가된 값이다. HCAE 금형의 형상에 따른 단면에서의 변형률 분포를 분석하기 위해 소재의 변형이 정상 상태에 도달했다고 판단되는 부분에서 압출 방향과 수직하게 절단된 단면의 변형률을 Fig. 3 에 나타내었다. HCAE 공정으로 성형된 소재는 두께 방향으로 거의 균일한 변형률을 가지며 폭방향으로 변형률이 다소 변화하지만 그 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 특히 변형률이 집중되는 모서리 부분을 제외한다면 거의 전 영역에서 1.3 ~ 1.8 의 변형률을 나타내며 $\alpha=60^\circ$ 인 경우 전 단면에 걸쳐 거의 균일한 변형률 분포를 나타낸다.

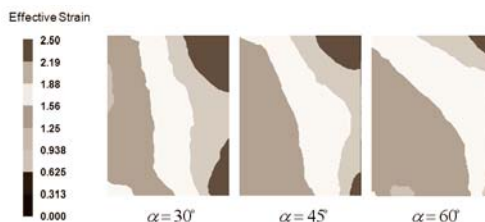


Fig. 3 Distributions of effective strain in the section of steady state region during HCAE

5. 결론

HCAE 공정은 같은 크기의 교차각과 만곡각을 갖는 ECAE 공정에 비해 1 회 가공에서 최대 100% 이상 증가된, 최고 2.0 에 해당하는 변형률을 부여할 수 있어 초미세 결정립 소재의 생산에 매우 효과적인 공정임을 확인할 수 있었다.

후기

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0014602).

참고문헌

1. Iwahashi, Y., Horita, Z., Nemoto, M., and Landon, T. G., "The process of grain refinement in equal-channel angular pressing," *Acta Mater.*, **46**, 3317~3331, 1998.
2. Saito, Y., Utsunomiya, H., Sakai, T., and Hong, R. G., "Ultra-fine grained bulk aluminum produced by accumulative roll-bonding (ARB) process," *Scripta Mater.*, **39**, 1221~1227, 1998.
3. Yoon, S. C., Seo, M. H., and Kim, H. S., "Finite Element Analysis of Continuous Rotary-Die Equal Channel Angular Pressing," *Trans. Mater. Process*, **15**, 524~528, 2006.
4. Kocich, R., Greger, M., Kurska, M., Szurman, I., and Machackova, A., "Twist channel angular pressing (TCAP) as a method for increasing the efficiency of SPD," *Mater. Sci. and Eng.*, **A527**, 6386~6392, 2010.