

알루미늄 판재의 비대칭 압연 시 변형을 상태에 미치는 압연 변수의 영향

강형구¹, 허무영^{1#}, 박수호²

Effect of Deformation Parameters on The Evolution of Strain State During Asymmetrical Rolling in Aluminum Sheet

H. G. Kang, M. Y. Huh[#], S. H. Park

Abstract

Asymmetrical rolling was performed with different working roll speeds of upper and lower rolls. In order to promote the shear deformation during asymmetrical rolling, various deformation parameters of initial sheet thickness, rolling reduction, roll speed ratio and roll radius are considered. The evolution of texture during asymmetrical rolling was shown by the calculation of orientation distribution function (ODF). The effect of deformation parameters on shear deformation were investigated by simulations with the finite element method (FEM). Asymmetrical rolling gave rise to the development of pronounced strain gradients throughout the thickness layers which resulted in the formation of strong texture gradients in the sheet.

Key Words : Asymmetrical rolling, deformation parameter, shear strain, FEM

1. 서 론

두 롤의 회전 속도가 동일한 일반적인 압연변형은 대부분의 판재에서 평면변형을 한다고 가정한다[1-6]. 근래에 압연롤의 원주 속도를 달리하는 비대칭압연을 통해 두께 층에 걸쳐 균일한 전단 변형을 발생시키는 연구가 보고되고 있다. 판재의 두께 전체에 심한 전단변형을 받으면 결정립 미세화가 이루어 지고, 판재의 성형성을 향상시킬 수 있다[9-11].

원주 속도비는 압연롤의 크기를 다르게 하거나 압연롤의 회전 속도를 다르게 하여 얻을 수 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 택하였으며, 이 경우 제어할 수 있는 변수는 판재와 압연롤 사이의 마찰 계수, 압연의 회전 속도비, 판재의 초기 두께, 압연롤의 크기, 압하율 등이 있다. 판재의 두께 층에 걸쳐 전단변형을 발생시키는 최적의 공

정 조건을 찾아 내기 위해서는 이러한 압연 변수가 미치는 영향을 파악할 필요가 있다. 유한요소법을 이용하여 이러한 비대칭압연 시 발생하는 변형을 상태를 해석하여 압연 변수의 영향을 고찰하였다.

2. 실험방법

시료는 AA 1100 판재를 사용하였으며, 무운활 상태로달변간압연을 시행하였다. 비대칭 압연 시의 변형은 상용 FEM Package인 DEFORMTM2D Ver. 8.1[12]의 소성 변형 모드를 통하여 해석하였다. 시료와 압연롤과의 마찰 값은 마찰계수로서 상온에서 일반적인 값인 0.25를 적용하였다.

본 연구에서는 시료의 두께 층을 s 로 정의하였고, 시료의 중앙층이 $s=0$, 표면층이 $s=1$ 의 값을 가진다. 이러한 두께 층에 따라 시료의 집합조직

¹ 고려대학교 신소재공학부

² 포스코 기술연구소

교신저자 (Corresponding author)

을 측정하였다. 유한요소 해석에서는 두께 층에서 각 층이 압연 방향으로 롤 사이의 변형 구간을 지날 때 노드의 위치 변화를 추적하여 시간에 따른 변형률 속도를 계산하였다. 이를 바탕으로 누적된 평면변형률과 전단변형률을 다음 식과 같이 계산하였다.

$$I_{ij} = \int \dot{\epsilon}_{ij} dt$$

압연 변수의 영향을 파악하기 위하여 경계 조건은 상하롤의 속도비, 시료의 초기 두께, 압연롤의 반지름, 압하율을 변화시켜 모사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 상하롤의 속도비의 영향을 알아보기 위해 속도비를 1.0, 1.5, 2.0으로 변화시킨 결과이다. 시편의 초기 두께를 5.3 mm, 압연롤의 반지름을 59 mm, 압하율을 35%로 하여 계산하였다. 상하롤의 속도비가 1.0일 때는 대칭 압연에 해당하며 비대칭 압연과 대조된다. 비대칭 압연의 전단변형률이 두께 층에 걸쳐 일정 값 이상인 것에 반하여, 대칭 압연은 중앙층으로 갈수록 0에 가까워졌다. 이것은 시료의 표면층에서 전단변형률 집합조직이, 중앙층 부근에서 압연변형률 집합조직이 발생한다는 잘 알려진 사실과 일치한다. 속도비가 2.0일 때에는 1.5일 때와 값의 차이가 크지 않아, 전단변형률에 영향을 미치는 속도비에는 임계값이 있는 것으로 나타났다.

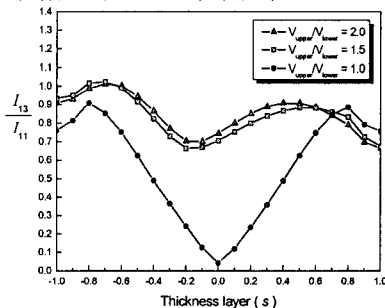


Fig. 1. Effect of working roll speed ratio.

그림 2는 시료의 초기 두께의 영향을 알아보기 위해 초기 두께를 2.65 mm, 5.3 mm, 8.0 mm, 10.6 mm로 변화시킨 결과이다. 압연롤 속도비를 1.5, 압연롤의 반지름을 59 mm, 압하율을 35%로 하여 계산하였다. 시료의 초기 두께가 얇을수록 전단변형률의 비가 높아졌다. 초기 두께가 두꺼울수록 대칭압연과 유사한 결과가 얻어져, 10 mm

이상의 시료에서는 비대칭압연의 효과를 기대하기 어려울 것으로 보인다. 또한 8.0 mm 시료에서 중앙부근을 제외한 두께 층에서 0.5 이상의 전단변형률 비가 얻어져 초기 두께가 이보다 얇다면 시료의 모든 두께 층에 걸쳐 전단변형이 일어날 것으로 판단할 수 있다.

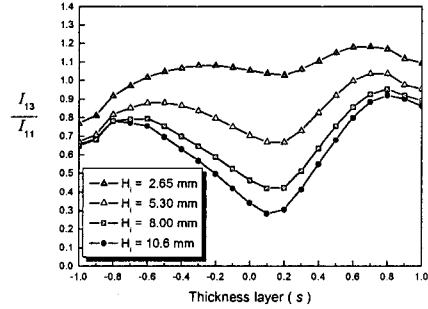


Fig. 2. Effect of initial sheet thickness.

그림 3은 압연롤의 크기의 영향을 알아보기 위해 압연롤의 반지름을 59 mm, 118 mm로 변화시킨 결과이다. 압연롤 속도비를 1.5, 시료의 초기 두께를 5.3 mm 또는 10.6 mm, 압하율을 35%로 하여 계산하였다.

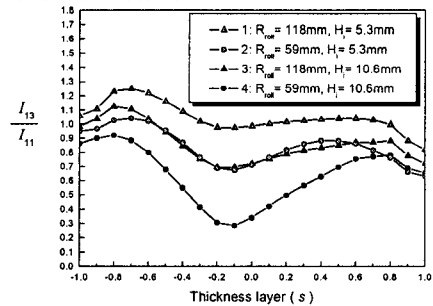


Fig. 3. Effect of working roll diameter.

압연롤의 반지름이 클수록 전단변형률의 비가 높게 나타났다. 롤의 반지름이 59 mm이고 시료의 초기 두께가 10.6 mm일 때, 표면층은 전단변형률의 비가 0.5 이상으로 높게 발달한데 비하여 중앙층은 대칭압연에 비교될 정도로 0에 근접한 낮은 값을 보였다. 이와 유사하게 롤의 반지름이 59 mm인 압연기에서 초기 두께가 6.2 mm인 시료를 35%로 비대칭 압연한 후의 집합조직이 그림 4와 같이 나타났다.

그림 5는 압하율의 영향을 알아보기 위해 압하율을 25%, 35%, 45%로 변화시킨 결과이다. 압연롤의 반지름을 59 mm, 압연롤 속도비를 1.5, 시료

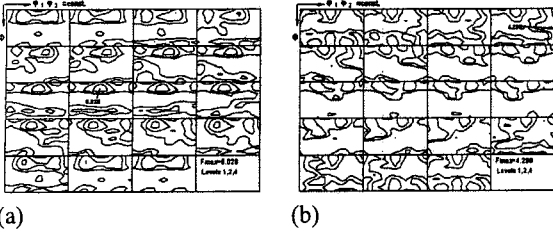


Fig. 4. Measured texture after asymmetrical rolling.
(a) $s = -1.0$, (b) $s = 0.0$.

의 초기 두께를 5.3 mm 로 하여 계산하였다. 압하율이 25 %에서 45 %로 커질수록 전단변형률의 비가 균일하게 증가하였다. 이로써 압하율을 크게 가할수록 시료에 더 큰 전단변형을 가할 수 있다는 것을 알 수 있다.

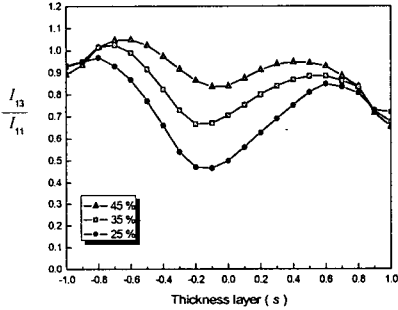


Fig. 5. Effect of rolling reduction.

4. 결론

본 연구에서는 유한요소법을 이용해 AA 1100 판재의 비대칭 압연 변형을 모사하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상하를 속도비가 존재하는 비대칭 압연 시 두께 층에 걸쳐 전단변형률이 작용하는데, 이 속도비에는 임계값이 존재한다.
2. 시편의 초기 두께가 얇을수록 균일하게 큰 전단변형률이 작용한다.
3. 압연률의 크기가 클수록 전단변형률이 크게 작용한다. 압연률의 크기의 영향은 시편의 초기 두께와 상호 연관하여 작용한다.
4. 일반적으로 압하율이 클수록 큰 전단변형률이 작용한다.

후 기

본 연구는 고려대학교 포스코 철강전문연구실에서 수행되었습니다.

[1] M. Y. Huh, 2002, Evolution of inhomogeneous textures in rolled sheets, Transactions of Materials Processing, Vol. 11, pp. 14-23.

[2] O. Engler, M. Y. Huh and C. N. Tomé, A study of through-thickness texture gradients in rolled sheets, 2000, Metall. Mater. Trans. A, Vol. 31A, pp. 2299-2315.

[3] M. Y. Huh, H. C. Kim, J. J. Park and O. Engler, 1999, Evolution of through-thickness texture gradients in various steel sheet, Met. & Mater. Int., Vol. 5, pp. 437-443.

[4] M. Y. Huh, Y. S. Cho, J. S. Kim and O. Engler, 1999, Effect of annealing temperature on the formation of cube texture in aluminum foils, Z. Metallkde., Vol. 90, pp. 124-131.

[5] M. Y. Huh, Y. S. Cho and O. Engler, 1998, Effect of lubrication on the evolution of microstructure and texture during rolling and recrystallization of copper, Mat. Sci. and Eng., Vol. A247, pp. 152-164.

[6] Y. B. Park, D. N. Lee and G. Gottstein, 1996, Development of texture inhomogeneity during hot rolling in interstitial free steel, Acta Mater., Vol. 44, pp. 3421-3427.

[7] K. H. Kim and D. N. Lee, 2001, Analysis of deformation textures of asymmetrically rolled aluminum sheets, Acta Mater., Vol. 49, pp. 2583-2595.

[8] H. Hyja, J. Markowski and D. Stoinski, 1996, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 60, pp. 73-80.

[9] C. W. Knight, S. J. Hardy, A. W. Lees and K. J. Brown, 2003, Investigations into the influence of asymmetric factors and rolling parameters on strip curvature during hot rolling, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 134, pp. 180-189.

[10] J. S. Lu, O. K. Harrer, W. Schwenzfeier and F. D. Fischer, 2000, Analysis of the bending of the rolling material in asymmetrical sheet rolling, Int. J. Mech. Sci., Vol. 44, pp. 49-61.

[11] H. Gao, S. C. Ramalingam, G. C. Barber and G. Chen, 2002, Analysis of asymmetrical cold rolling with varying coefficients of friction, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 124, pp. 178-182.

[12] DEFORM-2D, Ver. 8. 1, 2004, Scientific Forming Technologies Corporation, Columbus, OH.