

냉간 대칭/비대칭 압연시 압연변형을 상태와 집합조직의 형성

허무영, 이재필, 이재협
재료공학부, 고려대학교 공과대학

Evolution of Strain States and Textures During Symmetrical/Asymmetrical Cold Rolling

Moo-Young Huh, Jae-Pil Lee, Jae-Hyup Lee
Div. of MSE, Korea University

Abstract

Symmetrical and asymmetrical rolling was performed in AA 1050 sheets. Asymmetrical rolling was carried out by using different roll velocities of upper and lower rolls. The effect of the reduction per rolling pass on the formation of textures and microstructures during symmetrical and asymmetrical rolling was studied. In order to intensify the shear deformation, symmetrical and asymmetrical rolling was carried out without lubrication. The strain states associated with rolling were investigated by simulations with the finite element method (FEM). A fairly homogeneous residual shear strain throughout the sheet thickness was observed after asymmetrical rolling. Symmetrical rolling with a high friction gave rise to a strong net shear strain gradient in the sheet thickness.

Key words : Symmetrical rolling, Asymmetrical cold rolling, Shear texture, Strain state, FEM simulation

1. 서론

압연변형 집합조직을 모델링 할 때 대부분의 경우에는 대부분 결정립이 평면변형을 한다고 가정하며 모델링을 한다. 그러나 이 시뮬레이션 가정은 압연되는 판재의 중앙 층이 아닌 다른 두께 층에서 일어나는 전단변위를 무시한 것으로 압연재의 변형과 이에 수반되는 집합조직을 시뮬레이션 할 때 경계조건 설정에 많은 문제점을 포함하는 것이다. 즉 압연 롤 사이에서 변형구역의 기하학적 형상 및 변형상태의 변화, 압연재와 압연롤과의 접촉면에서 마찰, 열간압연 시 압연재의 두께 층에 따른 온도구배 등이 평면변형 상태로부터 벗어나는 원인이 되는 것이다 [1-5]. 이와 함께 압연판재의 두께 층에 따라서는 불균질한 변형률 상태가 얻어진다. 롤과 압연재와의 마찰이 심하면 표면 층에서는 전단변형이 크게 발생하게 되지만 중앙 층에서는 이에 따른 전단변형의 효과는 없다 [6]. 본 논문에서는 냉간 대칭/비대칭 압연 시 압연변형률 상태를 유한요소법을 이용하여 추적하였고, 실제 실험을 통하여 냉간 대칭/비대칭 압연 시 집합조직의 형성을 측정하여 유한요소법에서 예측되는 변형상태로 모델링된 집합조직과 비교하였다. 또한 strain marking 실험을 통하여 대칭/비대칭 압연 시 얻어지는 잔류전단변형률(net shear strain)을 측정하여 유한요소법에서 계산되는 메쉬의 변화와 비교하여 압연 시 주어지는 경계조건을 구하는 방법을 제시하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 초기 시료는 상용 알루미늄 합금 AA1050으로, 초기 두께가 6mm 이었다. 이 초기 시편을 260°C에서 1시간 열처리를 한 뒤, 최종 두께 3mm까지 한 패스 당 압하율을 변화시켜 3가지 경로를 통하여 대칭/ 비대칭 냉간 압연을 하였다.

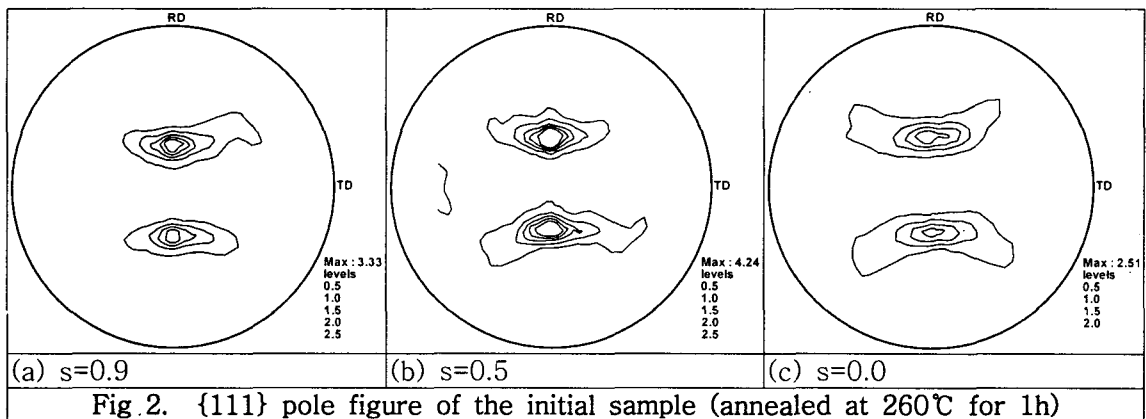
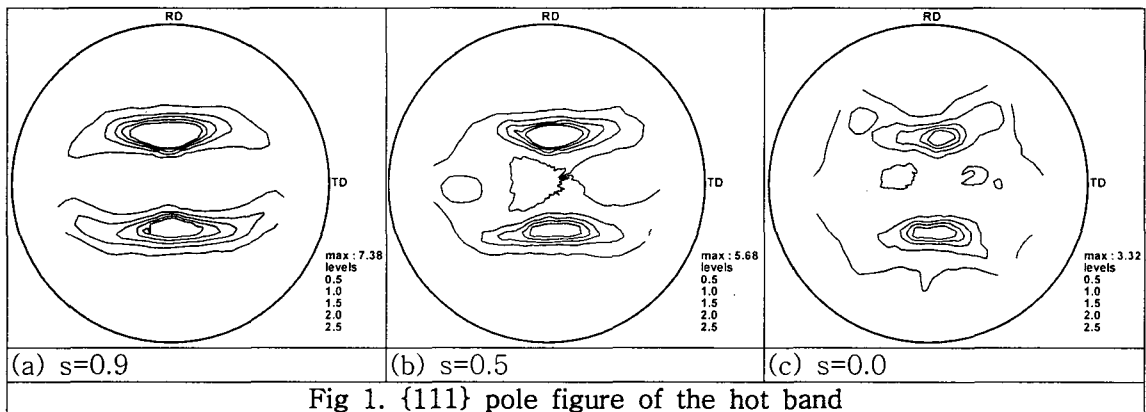
경로 1은 6mm 에서 3mm 로 1회 압연을 행 하였고, 경로 2는 6mm → 4.5mm → 3mm 로 2회 압연을 행 하였다. 그리고 경로 3에서는 6mm → 5mm → 4mm → 3mm 로 3회 압연을 행 하였다.

이때 사용한 롤의 직경은 상부 롤, 하부 롤 모두 150mm 이었다. 그리고, 비대칭 냉간 압연 시에는 상부 롤 속도를 하부 롤 속도보다 1.5배 빠르게 하였다. 또한 대칭/비대칭 냉간 압연 시 모두 전단 변형을 최대화하기 위하여 무윤활 상태로 압연을 실시하였다.

거시 집합조직 변화를 알아보기 위해 X-ray 고니오메타를 이용하여 극점도를 측정하였다 [7]. 두께 층에 따른 집합조직의 변화를 알아보기 위해, 대칭 냉간 압연의 경우 $s=0.9$, $s=0.5$, $s=0.0$ 을 측정하였고, 비대칭 냉간압연의 경우에는 $s=0.9$, $s=0.5$, $s=0.0$, $s=-0.5$, $s=-0.9$ 을 측정하였다. 여기서, s 는 시편의 두께 층을 나타내는 인자이며, “-”는 중심 층의 아래 층을 나타낸다.

대칭/비대칭 냉간 압연 시 실제 변형 상태를 알아보기 위해, 시편의 중심부에 직경 0.3mm 의 구리 선을 주입하여 대칭/비대칭 냉간 압연 후, 단면을 SEM으로 관찰 하였다. 또한 유한요소법 (DEFORM 2D)을 이용하여 대칭/비대칭 냉간 압연의 변형 상태와 마찰 계수를 알아보았다 [8].

3. 결과 및 고찰



냉간 압연 전 초기 시편의 집합조직은 Fig. 1 에서와 같이 모든 층에서 전형적인 압연 집합조직인 $\{112\}\langle 111 \rangle$ Cu-방위, $\{123\}\langle 634 \rangle$ S-방위, $\{011\}\langle 211 \rangle$ Bs-방위로 이어지는 β -fiber 섬유방위를 가지고 있었다. 본 연구에서는 집합조직과 미세조직을 보다 균질하게 하기 위하여, 260°C에서 1 시간 동안 열처리를 하였고, Fig. 2 과 같이 이 열처리에 따른 집합조직의 변화는 없었으나, 경도는 Hv=45에서 35까지 감소하였다.

이와 같은 열처리 후 균질한 집합조직을 가지는 시료를 3mm까지 경로 1, 2, 3으로 대칭/비대칭 냉간 압연을 하였다. 앞에서 언급하였던 것과 같이 경로 1, 2, 3은 각각 초기 두께 6mm 시료를 각각 1 패스, 2패스, 3패스에 의하여 대칭 및 비대칭 압연한 것을 뜻한다.

대칭 냉간압연의 경우에는 경로 1, 2, 3에 상관없이 항상 모든 두께 층에서 평면변형에 의한 전형적인 압연 집합 조직이 발달 하였다. 반면에 비대칭 냉간 압연 시에는 Fig. 3 에서와 같이 표면층에서 전단변형에 의한 집합조직이 발달하였고, 중앙층(s=0)과 하부 중간층(s=-0.5)에서는 평면변형에 의한 집합조직이 형성되었다. 또한 상부 중간층(s=0.5)에서는 평면 변형과 전단 변형이 동시에 일어나서 이에 상응하는 집합조직이 형성되었음을 확인 할 수 있었다.

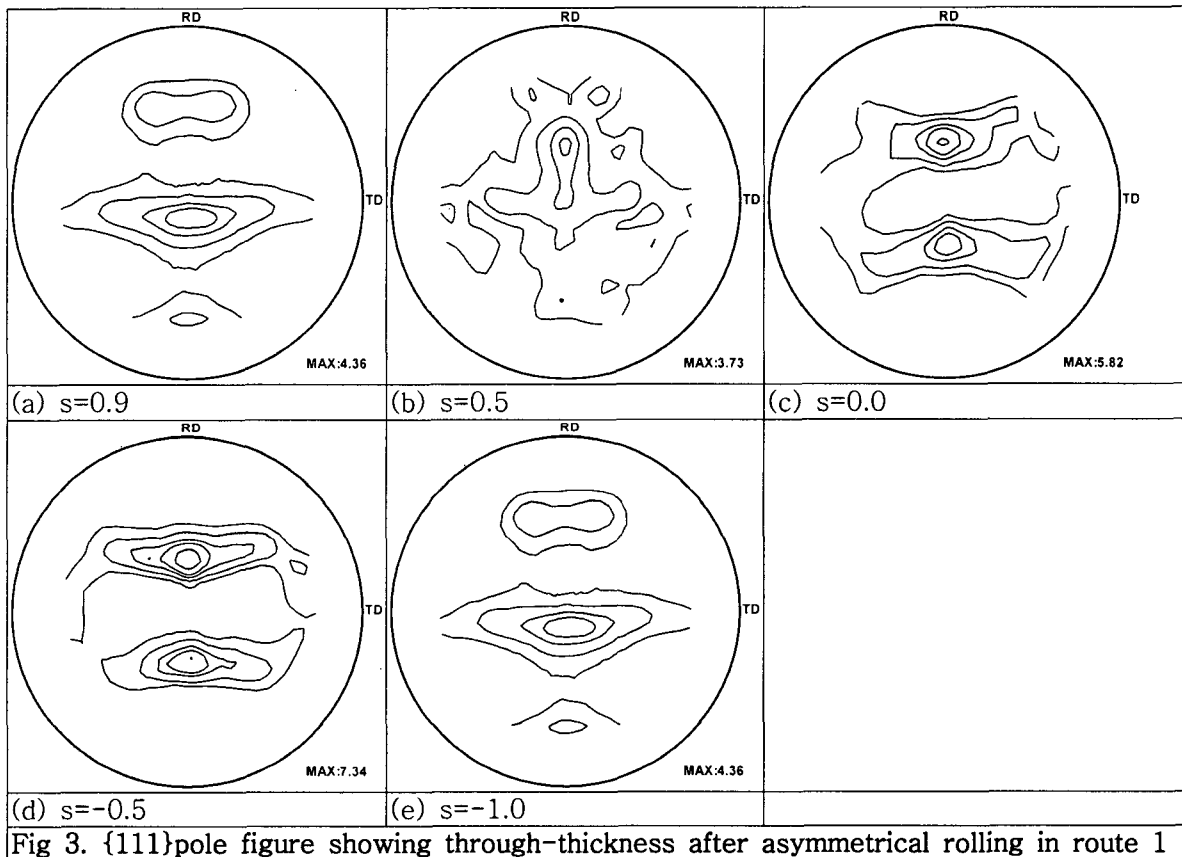


Fig 3. $\{111\}$ pole figure showing through-thickness after asymmetrical rolling in route 1

Fig. 4는 경로 2로 비대칭 냉간 압연 시 집합조직의 형성을 보여주는데, 전단 집합조직은 속도가 빠른 위쪽 물과 접촉한 표면층에서만 발달하였고, 그 이외의 두께 층에서는 압연 집합조직이 발달하였다. 그런데 경로 3을 통하여 즉 3패스에 의하여 6mm 시료를 3mm로 비대칭압연을 행 경우에는 모든 두께 층에서 단지 압연 집합조직만 발달하였다.

대칭 냉간 압연 시에는 모든 경로에서 평면변형에 의해 압연 집합조직이 발달하였다. 그러나, 비대칭 냉간 압연 시에는 한 패스 당 압하율이 클수록, 표면층에 가까운 층에서 전단 집합조직이 발달하였다. 또한 속도가 빠른 물과 접촉한 시편의 표면층에서 속도가 느린 물과 접촉한 시편의 표면층에 비하여 전단 집합조직이 훨씬 잘 발달함을 본 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

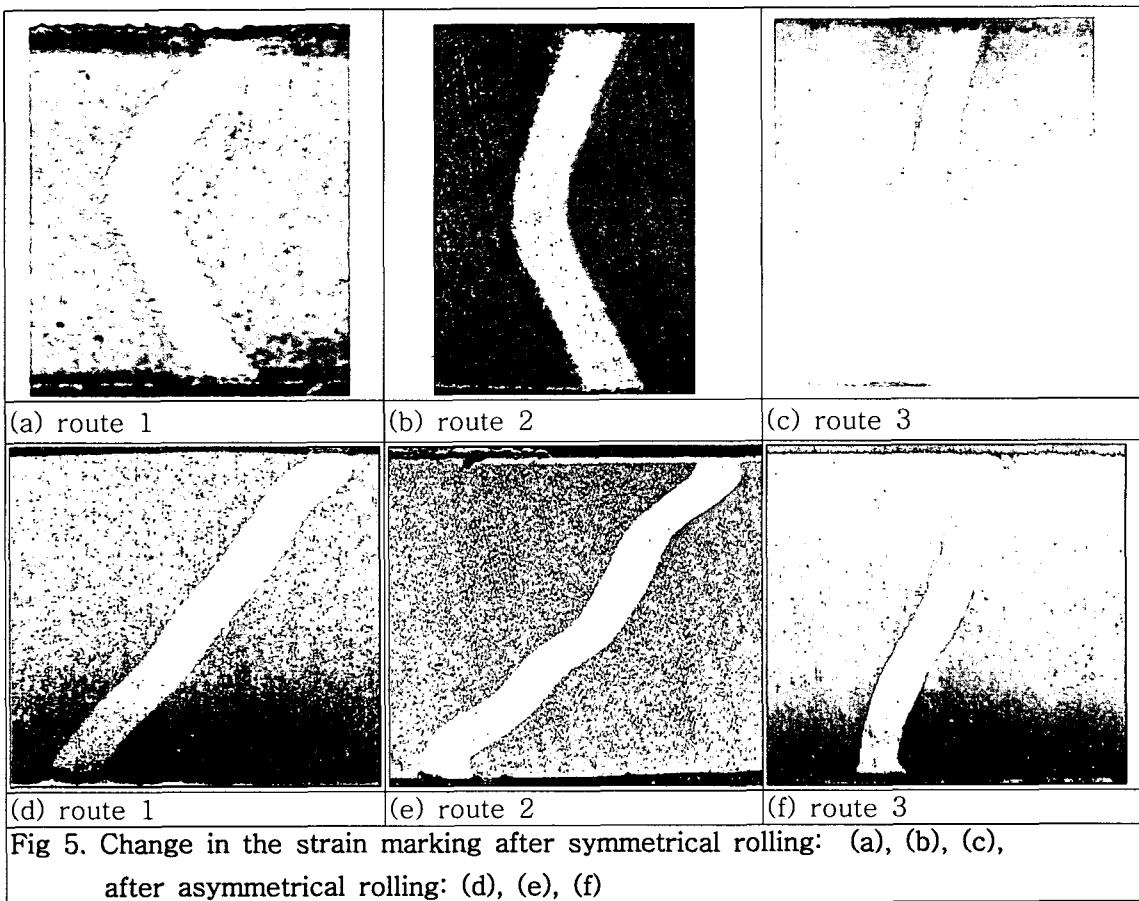
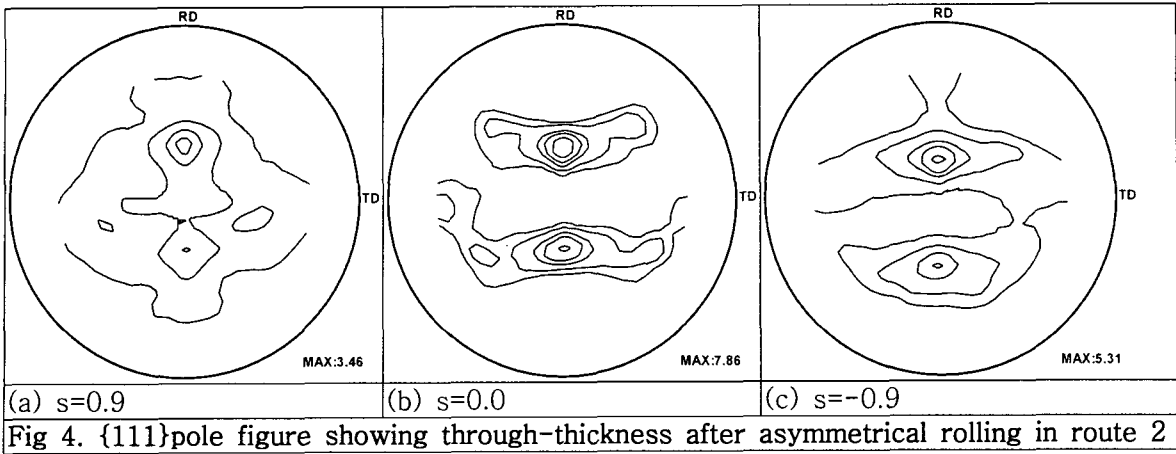


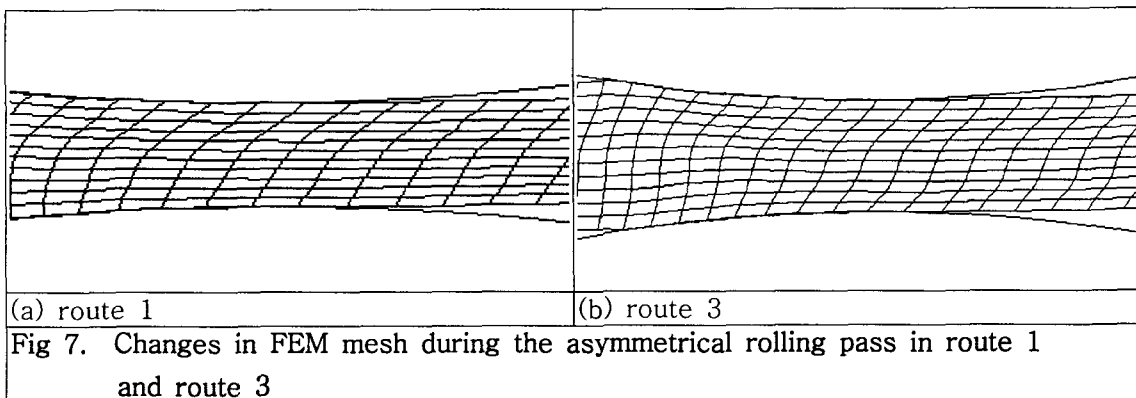
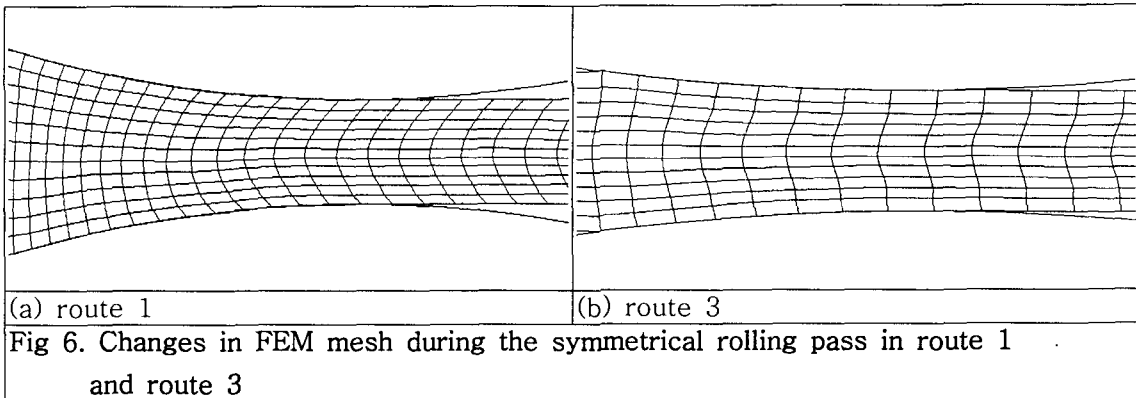
Fig 5. 는 대칭/비대칭 냉간 압연 시 변형 상태의 변화를 알아보기 위해, strain marking 실험을 한 것이다. 그림 5의 (a), (b), (c)에서 보듯이 대칭 냉간 압연에서는 표면층의 전단 변형량이 중심층보다 커서 C-shape의 Strain Marking이 보인다. 그리고, 한 pass 당 압하율이 클수록, 시편 표면과 롤 사이의 마찰계수가 커져서 이러한 C-shape의 strain marking이 더 많이 휘어졌다.

반면, 비대칭 냉간 압연에서는 주입된 구리선의 기울어짐이 명확히 관찰되었고, 경로 1에서는 약 32° , 경로2에서는 31° , 경로 3에서는 20° 의 기울어짐이 관찰 되었다. 비대칭 냉간 압연에서도 역시 한 pass 당 압하율이 클수록, strain marking이 더 많이 기울어짐을 알 수 있었다. 그림 5의 (d), (e), (f)는 또한 비대칭 냉간 압연에서 균일한 전단 변형이 이루어졌음을 보여주고 있다. 하지만, 이러한 균일한 잔류 전단 변형이, 집합조직의 형성에 영향을 미치는 압연롤 사이에서 전

단 변형률의 균일함을 나타내지는 않는다.

Strain marking 실험과 더불어, 대칭/비대칭 냉간 압연 시 각 경로에서의 변형 상태, 변형률 상태와 마찰계수의 변화를 알아보기 위해, DEFORM 2D 를 이용하여 유한요소 해석을 하였다. Fig 6.은 대칭 냉간 압연에서 경로 1과 경로 3의 시뮬레이션을 한 메쉬 모양이다. 다양한 마찰계수를 적용하여 시뮬레이션 한 결과 경로 1을 통하여 실험 한 결과 얻어지는 strain marking의 형태는 상하 롤에 마찰계수 $\mu=0.3$ 을 적용할 때와 거의 일치함을 알 수 있었다. 또한 경로 3을 통하여 압연한 시료에서 얻어지는 strain marking의 형태는 마찰계수를 $\mu=0.15$ 로 하여 시뮬레이션 한 결과와 가장 잘 일치함을 알 수 있었다. 이와 같이 대칭압연의 경우에는 압연 패스당 압하량이 크면 압연재와 롤 사이에 큰 마찰계수가 작용함을 확인할 수 있었다.

Fig 7은 비대칭압연을 FEM 시뮬레이션 한 결과를 보여준다. 비대칭압연의 경우 주목할 것은 대칭압연과는 다르게 상하롤의 마찰계수를 같게 하면 실험결과에 일치하는 strain marking을 얻을 수 없다는 것이다. 경로 1로 비대칭압연 시 실험결과와 가장 유사한 시뮬레이션 결과를 보여주는 경계조건은 윗롤과 시편사이의 마찰계수 $\mu=0.3$ 아랫롤과 시편사이의 마찰계수 $\mu=0.1$ 였다. 즉 느린 쪽의 롤 표면에 비하여 빠른 쪽의 롤 표면에 높은 마찰계수가 작용함을 본 연구결과 확인할 수 있었다. 경로 3을 통하여 비대칭압연 시 실험결과와 가장 유사한 시뮬레이션 결과를 보여주는 경계조건은 윗롤과 시편사이의 마찰계수 $\mu=0.2$ 아랫롤과 시편사이의 마찰계수 $\mu=0.15$ 였다. 이와 같이 비대칭압연 시 한번 압연 패스 당 압하량이 작을수록 마찰계수는 감소하며 또한 빠른 상부롤과 느린 하부롤의 표면에 작용하는 마찰계수의 차이도 감소함을 알 수 있었다.



4. 결론

대칭 냉간 압연 시에는 한 압연패스 당 압하율에 관계없이 모든 경로에서 평면변형에 의해 압연 집합조직이 발달하나, 비대칭 냉간 압연 시에는 한 압연패스 당 압하율이 클수록, 표면층에 가까운 층에서 전단 집합조직이 발달하였다. 또한 속도가 빠른 롤과 접촉한 시편의 표면층에서 전단 집합조직이 높게 발달하였다.

Strain marking 실험과 유한 요소 해석을 통하여 대칭/비대칭 압연 시 잔류전단변형을 비교한 결과, 대칭압연 시 압하율이 클수록 높은 마찰계수가 롤 표면과 재료 사이에 작용하며, 비대칭 압연 시에는 압하율의 증가하고 롤의 속도가 빠른 계면 조건에서 큰 마찰 계수가 작용하였다.

후기

본 연구는 한국과학재단의 지원(No. R01-2001-00261-0)을 받았습니다.

참고문헌

- [1] O.Engler, M.Y. Huh and C.N. Tom, Metall. Mater. Trans. A, vol. 31A, pp. 2299-2315, (2000)
- [2] J. Hirsch and K. Lcke, Acta Metall., vol. 36, pp. 2863-2883, (1988)
- [3] M.Y. Huh, S.Y. Cho and O. Engler, Mater. Sci. Eng., vol. A315, pp. 35-46, (2001)
- [4] M.Y. Huh, J.C. Park and S. Lee, Met. & Mater. Inter. vol. 2, pp. 141-149, (1996)
- [5] O. Engler, H.C. Kim and M.Y. Huh, Mater. Sci. Technol., vol. 17, pp. 75-86, (2001)
- [6] K.H. Kim and D.N. Lee, Acta Mater., vol. 49, pp. 2583-2595, (2001)
- [7] V. Randle and O. Engler, Introduction to Texture Analysis, Macrotexture, Microtexture and Orientation Mapping, Gordon and Breach. Amsterdam, (2000)
- [8] M.Y. Huh, K.R. Lee and O. Engler, Int. J. Plasticity, vol. 20, pp. 1183-1197 (2004)