

유한요소 해석을 통한 AA 5052 판재의 Cross-roll 압연시 Cross angle 에 따른 변형률 상태의 변화

김상현¹ · 강형구¹ · 김대근¹ · 이재설² · 허무영^{1#}

Evolution of strain states during Cross-roll rolling in AA 5052 sheet for varying cross-roll angle using FEM

S. H. Kim, H. G. Kang, D. G. Kim, J. S. Lee, M. Y. Huh

Abstract

In the present work, cross-roll rolling was carried out using a rolling mill in which the roll axes are tilted by 5°, 7.5°, 10° towards the transverse direction of the rolled sample. The evolution of strain states during cross-roll rolling was investigated by three-dimensional finite element method (FEM) simulation. Parallel to cross-roll rolling, normal-rolling using a conventional rolling mill was also carried out in the same rolling condition for clarifying the effect of cross-roll rolling. It turned out that three shear rate components were all introduced to the rolled sample by the cross-roll rolling process, while only one shear rate component operated during normal-rolling.

Key Words : Cross-roll rolling, Symmetrical Rolling, Strain State, FEM Simulation

1. 서 론

금속판재의 압연 공정은 다양한 방법들이 있다. 먼저 기본적으로 상부와 하부 롤의 크기와 롤의 회전속도를 동일하게 하는 정상적인 압연방법인 대칭압연 방법이 있다.

이러한 대칭압연은 대부분 소재의 중앙 층에서 평면변형을 한다고 알려져 있다[1-2].

대칭압연과는 다른 압연방법인 비대칭압연 방법에는 여러가지 방법들이 있다. 상하 압연 롤의 크기가 다른 압연기에서 행할 수 있으며, 또한 상하 압연 롤의 크기가 동일하지만 상하 압연롤의 속도를 다르게 하여 압연할 수 있다.

또한 한쪽 롤에만 윤활조건을 설정하여 상하부 마찰계수를 다르게 하여 비대칭 압연하는 방법도 있다. 위의 비대칭 압연 방법을 각각 이주속, 차등마찰 압연으로 알려져 있다. 이러한 비대칭 압연을 행하게 되면 대칭압연에 비해 소재에 전단

변형이 발생하게 되어 판재의 모든 두께 층에 전단 집합조직을 발달 시킬 수 있다[3]. 이렇게 균일한 전단 집합조직이 얻어지려면 패스당 압하율, 압연롤의 크기, 시료의 초기 두께와 마찰 조건 등의 변수들을 제어할 수 있어야 한다.

최근에 Y. Chino 등은 Cross-roll 압연기로 마그네슘 합금판재 AZ31을 소재로 사용하여 압연된 판재의 성형성과 집합조직에 대한 연구결과가 보고된 바 있다[4-5].

하지만 FCC금속을 이용하여 Cross-roll 압연 시 변형률 상태와 또는 Cross-roll angle에 따른 변형률 상태는 해석된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 알루미늄합금 AA5052를 이용하여 Cross-roll 압연 시 변형률 상태와 Cross-roll angle에 따른 변형률상태를 예측하기 위해 유한요소해석(FEM)하고 Cross-roll 압연공정과 비교하기 위해 롤이 회전된 각도를 제외한 모든 공정변수들을 동일하게 하여 Normal 압연공정과 비교하였다.

1. 고려대학교 신소재공학과

2. 한국생산기술연구원 경량화 부품팀

교신저자 : 고려대학교 신소재공학과

E-mail : myhuh@korea.ac.kr

2. 유한요소 해석 방법

본 연구에서는 Cross-roll 압연 공정 시 변형율상태의 변화를 알아보기 위하여 감소성 유한요소법을 기반으로 하는 상용 DEFORM-3D를 이용하여 해석하였다.

소재로는 알루미늄 합금 판재 AA5052를 선정하여 Cross-roll 압연공정과 비교하기 위한 대칭압연 공정도 함께 시뮬레이션 하였다.

Fig 1은 Cross-roll 압연의 원리를 위한 개념도를 나타낸 것이다. Cross-roll 압연기의 상부와 하부 두 개의 롤이 판재의 TD(transverse direction)방향으로 각각 5°, 7.5°, 10° 씩 교차되어있다.

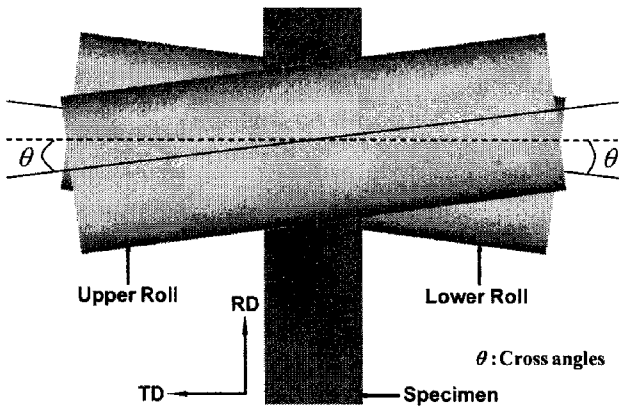


Figure 1. Schematic diagram of the cross-rolling mill.

시뮬레이션에 사용된 공정변수는 롤의 교차된 각도를 제외한 Cross-roll 압연과 대칭압연의 변수들은 동일하다. 압연 속도는 2rad/sec, 압하율은 40% 즉 판재의 초기 두께를 6mm에서 3.6mm까지 압연하였다. Cross-roll 압연과 대칭압연 모두 160mm 직경의 롤을 사용하였다. 판재와 롤과의 마찰력을 최대로 하기 위해 무윤활 압연조건을 선택하여 마찰 계수를 쿨롱 마찰조건인 $\mu = 0.3$ 으로 하였다. 압연 온도 조건은 상온으로 하였으며, 판재의 요소를 적절한 해석시간을 고려하여 10000개로 정하였다. 대칭압연과는 다르게 Cross-roll 압연 시 DEFORM 3D에서는 정확한 구동 축 좌표를 얻기 어렵기 때문에 롤의 정확한 구동 축 좌표를 얻기 위해 HyperMesh 7.0을 사용하여 롤 회전 시 vibration을 제거하였다.

위의 유한요소 해석을 위한 공정변수들을 Table 1.에 간략히 정리하였다.

Table 1. Process parameters for the rolling

Rolling speed	2rad/sec
Reduction ratio, r	40%
Initial thickness of sample	6mm
Diameter of work roll, D	160mm
Cross-roll angle	5°, 7.5°, 10°
Friction coefficient, μ	0.3
Rolling temperature, T	Room temperature
The number of Elements	10000

Fig 2는 Normal 및 Cross-roll 압연 공정의 유한요소 해석을 위한 modeling을 도시한 것이다.

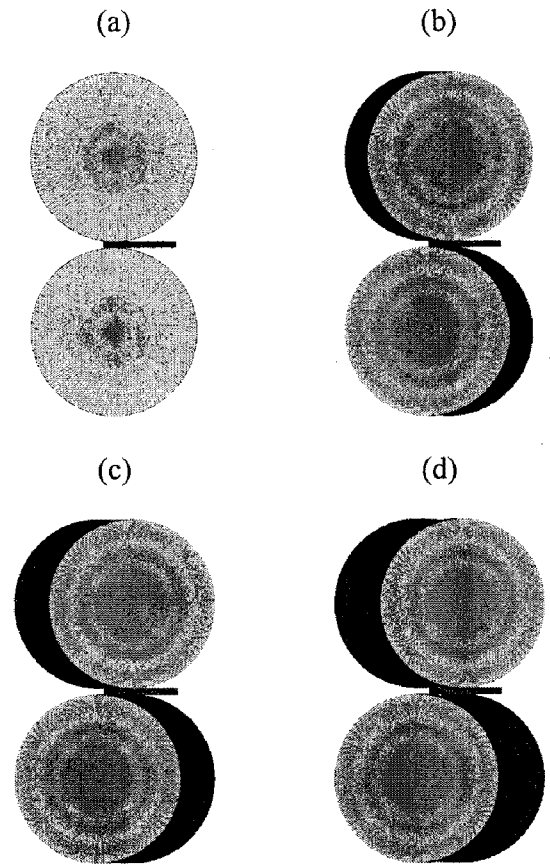


Fig 2. Finite element modeling of Cross-roll rolling mill (a) normal rolling (b) cross angle 5°, (c) 7.5° and (d) 10°.

3. 유한요소 해석 결과

Fig 3은 대칭압연(normal rolling)과 Cross-roll 압연의 Cross-roll angle 변화에 따른 판재의 표면층

($s=0.9$)의 변형률 상태를 나타낸 것이다.

대칭압연 변형률인 fig 3(a)에서는 롤과 판재의 마찰에 의해 발생하는 전단변형률 $\dot{\epsilon}_{13}$ 이 발생하는 것으로 잘 알려져 있다. 반면 Cross-roll 압연에서도 마찰에 의한 $\dot{\epsilon}_{13}$ 이 작용하게 되며 대칭압연과는 다르게 $\dot{\epsilon}_{12}$, $\dot{\epsilon}_{23}$ 전단변형률도 함께 발생한다는 것을 알 수 있었다. fig 3(b-d)에서 알 수 있듯이 Cross-roll angle이 5° 보다는 7.5° 가 더 큰 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 발생하며 7.5° 와 10° 는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

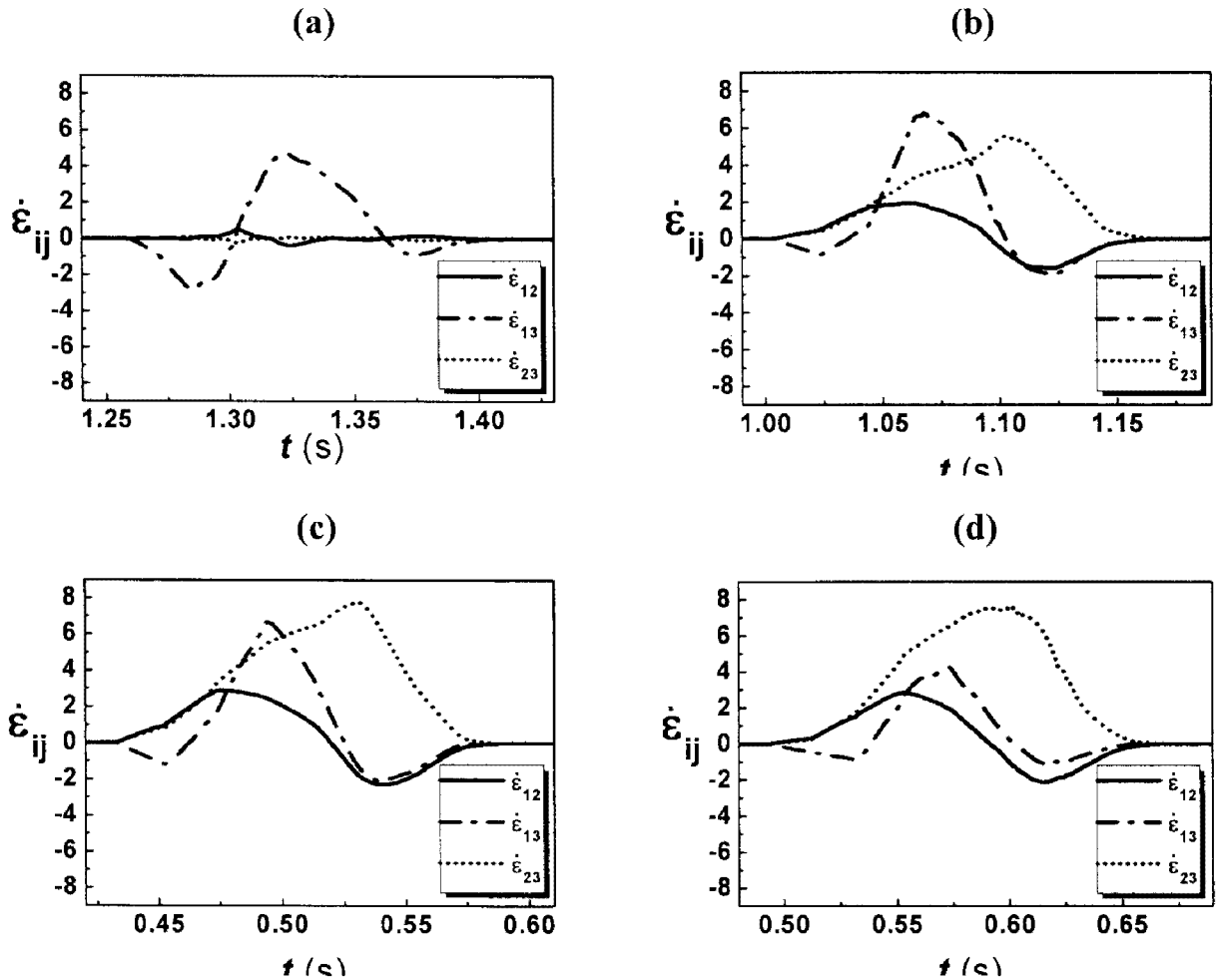


Figure 3. Variations of shear strain components $\dot{\epsilon}_{13}$, $\dot{\epsilon}_{12}$, $\dot{\epsilon}_{23}$ along the stream lines $s = 0.9$ (a)normal rolling (b) cross angle 5° , (c) 7.5° and (d) 10° .

Fig 4는 대칭압연(normal rolling)과 Cross-roll 압연의 Cross-roll angle 변화에 따른 판재의 중앙층($s=0.0$)의 변형률 상태를 나타낸 것이다.

대칭압연 변형률인 fig 4(a)에서는 롤과 판재와의 마찰이 작용하지 않기 때문에 전단변형률 $\dot{\epsilon}_{13}$ 이 발생하지 않는다. 마찬가지로 Cross-roll 압연에서도 $\dot{\epsilon}_{13}$ 뿐만 아니라 $\dot{\epsilon}_{12}$ 도 판재의 중앙층에서는 발생하지 않는다. 여기서 흥미로운 점은 판재의 표면층에서 발생하는 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 중앙층에서 발생한다는 것이다. 이 전단변형률 $\dot{\epsilon}_{23}$ 은 표면층에서와 마찬가지로 fig 3,4(b-d)에서 알 수 있듯이 Cross-roll angle이 5° 보다는 7.5° 가 더 큰 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 발생하며 7.5° 와 10° 는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

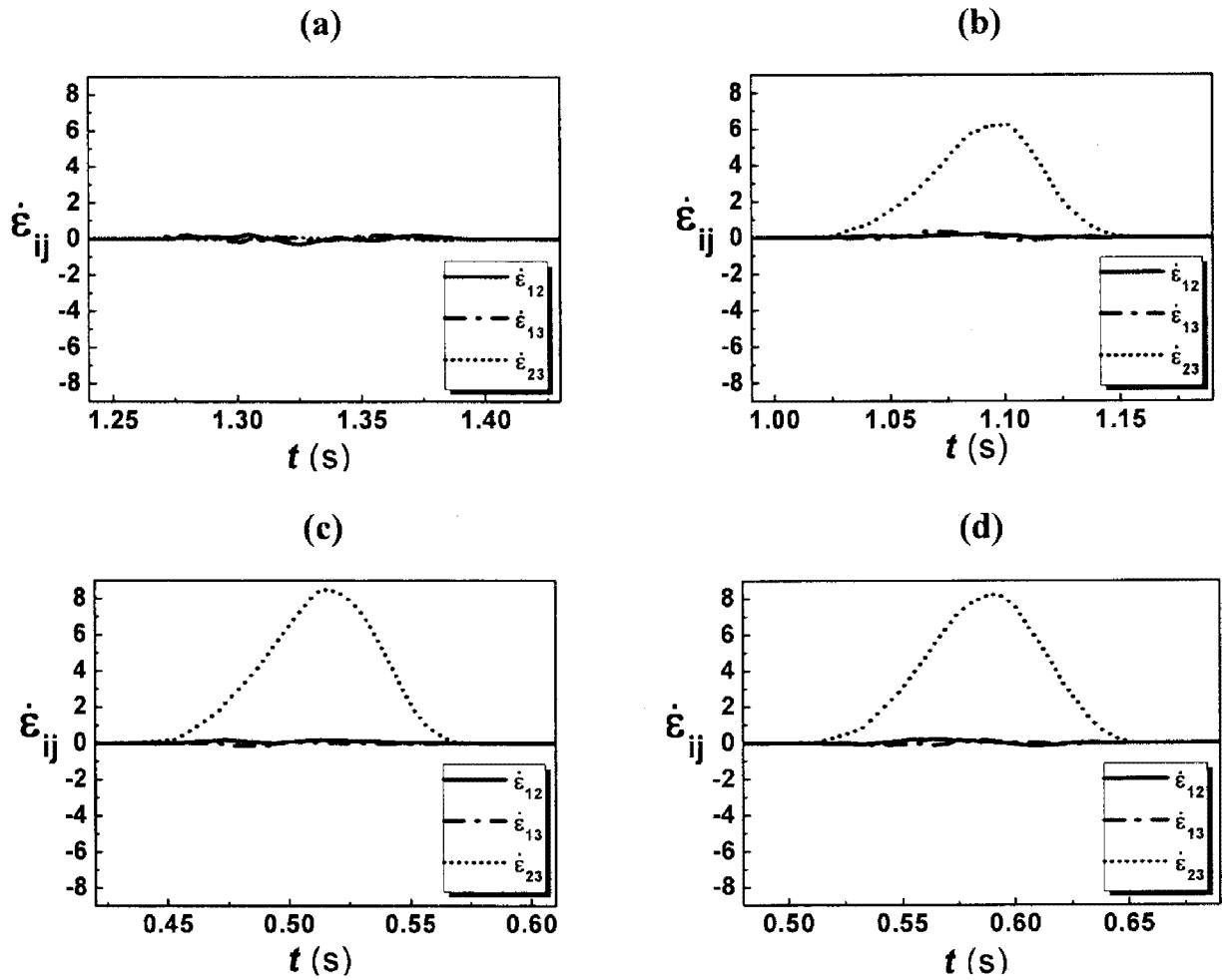


Figure 4. Variations of shear strain components $\dot{\epsilon}_{13}$, $\dot{\epsilon}_{12}$, $\dot{\epsilon}_{23}$ along the stream lines $s = 0.0$ (a)normal rolling (b) cross angle 5° , (c) 7.5° and (d) 10° .

4. 결론

본 연구에서는 Cross-roll 압연 시 Cross-roll angle 변화에 따른 변형률 상태를 알아보기 위해 대칭압연 공정과 비교하여 위의 공정을 유한요소해석(FEM)을 이용하여 알아보았다. Cross-roll 압연된 관재의 중앙 층에서는 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 매우 높게 발생하는 반면에 대칭압연된 관재에는 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 발생되지 않음을 알 수 있었다. 또한 Cross-roll angle 커짐에 따라서 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 5° 보다는 7.5° 가 더 큰 $\dot{\epsilon}_{23}$ 이 발생하며 7.5° 와 10° 는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. $\dot{\epsilon}_{13}$ 은 대칭압연시 롤과 관재의 마찰에 의해 발생하는 전단변형률로 많이 알려져 있지만, $\dot{\epsilon}_{23}$ 에 대한 전단변형률은 Cross-roll angle에 의해 발생하는 것으로 예측되어 더욱 깊은 연구가 요구될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 허무영, 2001, 한국소성가공학회지, Vol. 11, pp. 14~23.
- [2] O. Engler, M. Y. Huh, C. N. Tome, 2000, Metall. Mater. Trans A, Vol. 31A, pp. 437~443.
- [3] C. G. Kang, H. G. Kang, H. C. Kim, M. Y. Huh, H. G. Suk, 2007, J. Mater. Proc. Tech, Vol. 187-188, pp. 542~545
- [4] Y. Chino, K. Sassa, A. Kamiya, M. Mabuchi, 2006, Mat. Sci. Eng, A441, pp. 349~356
- [5] Y. Chino, K. Sassa, A. Kamiya, M. Mabuchi, 2007, J. Materials Letters, 61, pp. 1504~1506.