

알루미늄 5052 합금 판재의 이형 압연 시 변형률 상태에 미치는 윤활의 영향

박은수¹, 황규철¹, 허무영^{1#}, 김휘준², 배정찬²

Effect of lubrication on the evolution of strain states in AA 5052 sheet during shape rolling

E. S. Park, K. C. Hwang, M. Y. Huh, H. J. Kim, J. C. Bae

Abstract

In order to investigate the effect of strain states attributed to the lubrication during shape rolling, shape rolling for V-sectioned sheets was carried out with and without lubrication. The evolution of strain states during shape rolling was studied by three-dimensional finite element method (FEM). Shape rolling with and without lubrication produces shape-rolled samples in fairly similar outer shapes, since the distribution of normal strain components is nearly independent of the lubrication condition. In contrast, the distribution of shear strain components strongly depends on the lubrication condition.

Key Words: shape rolling, strain state, microstructure, finite element method

1. 서론

다양한 단면 형상(T-형, W-형, V-형)을 갖는 이형 압연 판재는 정류자, 파워 트랜지스터 및 LED 용 리드프레임재 및 각종 전기 장치의 연결 부위 등의 전기 및 전자 장치 산업에 널리 이용되고 있다. [1]

최근에 연속 공정이 가능한 제조 방법인 Tandem-mill-rolling 방식이 개발되어 널리 사용되고 있다[2]. 통상적인 판재압연은 압연재의 폭 방향으로 변형이 없어 2 차원적으로 해석될 수 있지만, 이형압연 시에는 폭 방향 변형이 존재하기 때문에 이형압연은 3 차원적인 변형으로 해석된다.

이형압연 공정 시 변형상태의 변화는 유한요소법을 이용하여 해석할 수 있다. Mori 와 Osakada[3]는 하나의 Groove 롤과 flat 롤을 갖는 이형 압연 공정에서 발생하는 3 차원 변형을 강소성 유한 요소법으로 해석이 가능함을 보고하였다. 또한 Chen[4]등은 3 차원 유한 요소법인 DEFORM_3D 를 이용하여 V-형 판재의 이형 압연 시 압하율, 롤의 크기, 마찰 계수 등의 다양한 변수가 V 홈의 채우기와 폭퍼짐 현상에 대한 영향을 해석하였다. 그러나 아직까지 이형 압연 시 다양한 압연 변수에 의해 발생하는 3 차원적인 변형 상태가 실제 제품의 미세 조직과 집합 조직 발달에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 보고 되지 않았다.

본 연구에서는 이형압연 시 변형상태에 미치는 윤활의 효과를 3차원 유한요소해석 하였고, 실제로 윤활/무윤활 조건에서 판재 시료로 이형압연 실험을 수행하였다. 이형압연기에서 압연한 알루미늄 합금판재 시료에 형성되는 미세조직을 관찰하고 집합 조직을 분석하여 본 연구에서 수행한 유한요소해석의 타당성을 입증하였다.

1. 고려대학교

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 고려대학교, E-mail: myhuh@korea.ac.kr

2. 실험 방법

본 실험에서는 알루미늄 합금 AA5052 판재를 사용하였다. 본 실험에서 사용한 이형압연기는 상부 롤에 각도 10° , 폭 10.0 mm, 높이 0.88 mm의 groove가 음각으로 파여 있는 상부 롤과 평활한 면을 가지는 하부 롤로 구성되어 있으며, 롤의 반경은 80 mm였고, 압연 온도 350°C 에서 압하율 40%로 1 패스에 이형압연을 행하였다. 본 연구에서는 이형압연 시 변형상태에 미치는 윤활의 효과를 주 변수로 실험하였는데, 앞으로 이 논문에서 무윤활 압연한 시료를 WOL(without lubrication)-시료 그리고 윤활 압연한 시료를 WL(with lubrication)-시료라 명명한다.

이형압연을 행한 시료에서 분석한 위치를 명확하게 표시하기 위하여 본 논문에서는 두께변수(thickness parameter) s 와 폭변수(width parameter) w 를 정의하였다. 그림 1은 변형 전과 후 이형압연 시료에서 위치변수들인 s 와 w 를 보여준다. 시료 위쪽 표면이 $s=+1$ 이고 아래 표면이 $s=-1$ 이고 중앙 층은 $s=0$ 으로 정의된다. 또한 폭 방향으로, groove-구역의 중앙 즉 시료의 가장 두꺼운 부분이 $w=0$ 이며, 시료의 가장자리가 $w=1$ 이다. 시료의 폭 방향으로 좌우 대칭이 성립하여 좌우 가장지리를 모두 $w=1$ 로 정의하였다.

이형압연 시 위치와 시간에 따른 변형률 상태의 변화는 3차원적인 유한요소해석 소프트웨어인 상용 DEFORM-3D를 이용하여 계산하였다 [5]. 롤과 시료 사이의 마찰변수는 마찰력과 임계전단응력의 비로 정의되는 m 값(friction factor)을 사용하였으며, 윤활과 무윤활 시의 값은 각각 0.2와 0.7를 사용하였다 [6].

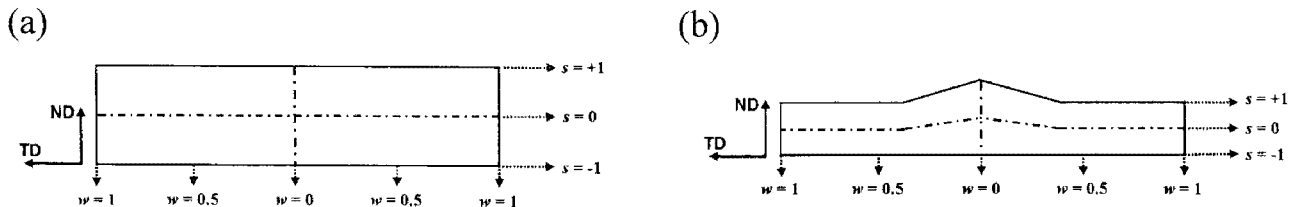


Fig. 1. Definition of the thickness parameter s and width parameter w in the sample; (a) before and (b) after shape-rolling deformation.

3. 실험 결과

3.1 이형압연 시 변형률 상태의 유한요소해석

유한요소법을 이용하여 경계조건에 따라 이형압연 시 시료의 두께 방향 및 폭 방향에 따른 각 위치 (s, w) 에서 변형시간에 따른 변형률속도 $\dot{\epsilon}_{ij}(s, w)$ 를 구하였다. 압연롤 사이에서 다양한 경로로 변형을 받은 시료의 각 위치 (s, w) 에서의 변형률 $\epsilon_{ij}(s, w)$ 은 식(1)과 같다.

$$\epsilon_{ij}(s, w) = \int \dot{\epsilon}_{ij}(s, w) dt \quad (1)$$

그런데 변형률은 재료의 최종 형상변화(net shape change)에 대한 정보만 제공하며, 변형에 따른 시료의 집합조직 형성과 재료의 가공경화는 축적된 변형이력(accumulated strain history)인 $I_{ij}(s, w)$ 에 의존한다.

그림 2는 폭 방향 및 두께 방향으로 이루어지는 면인 RD 면에서 시료가 이형압연되는 동안 수직변형률속도 $\dot{\epsilon}_{11}$, $\dot{\epsilon}_{22}$, $\dot{\epsilon}_{33}$ 변화에 따라 계산된 $I_{ij}(s, w)$ 의 변화를 보여준다. 그림 2에서 주목할 것은 이형압연 시 압연재에서 얻어지는 I_{11} , I_{22} , I_{33} 의 분포는 위치에 따라 조금의 차이는 있지만 무윤활과 윤활의 경계조건에 관계없이 거의 비슷한 분포가 얻어진다는 것이다. 이것은 이형압연 시 윤활/무윤활 경계조건에 관계없이 외관으로는 거의 동등한 외관을 가지는 이형압연재가 얻어짐을 의미하는 것이다.

RD-방향의 축적된 변형 I_{11} 은 위치 (s, w) 에 관계없이 거의 같은 $I_{11}=0.5$ 정도가 얻어졌는데 이것은 압하율 40%의 수직변형률 $\epsilon_{11} = \ln(0.6)$ 에 해당하는 값으로 이형압연 시 모든 위치에서 RD 방향으로 거의 같은 변형, 즉 압연재의 길이 증가가 일어나는 것을 뜻한다. I_{11} 과 상반되게 압연재 두께방향인 ND

방향의 수직변형률 ϵ_{33} 은 압연 시 압연재의 두께가 감소함으로 항상 음의 값을 가진다. 그런데 ϵ_{33} 의 절대값에 해당하는 I_{33} 은 groove-구역에 비하여 flat-구역에서 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이것은 이형압연 시 변형구역의 두께가 작은 flat-구역에서 두께방향으로 큰 두께감소가 일어나기 때문이다. 일반적인 판재압연 시에는 압연재의 2-방향인 폭방향(TD)으로의 수직변형률 ϵ_{22} 은 무시될 수 있지만, 그림 2에서와 같이 이형압연 시에는 압연재의 폭방향으로 재료의 유동이 있어 $\dot{\epsilon}_{22}$ 가 변화하여 그 결과 I_{22} 가 존재한다. 재미있는 사실은 flat-구역에 비하여 groove-구역에서 I_{22} 가 크게 얻어지는데 이것은 이형압연 초기에 flat-구역에 변형이 집중되며 groove-구역으로 재료가 밀려 들어오기 때문인 것으로 $\dot{\epsilon}_{22}$ 의 변화를 확인함으로써 알 수 있었다.

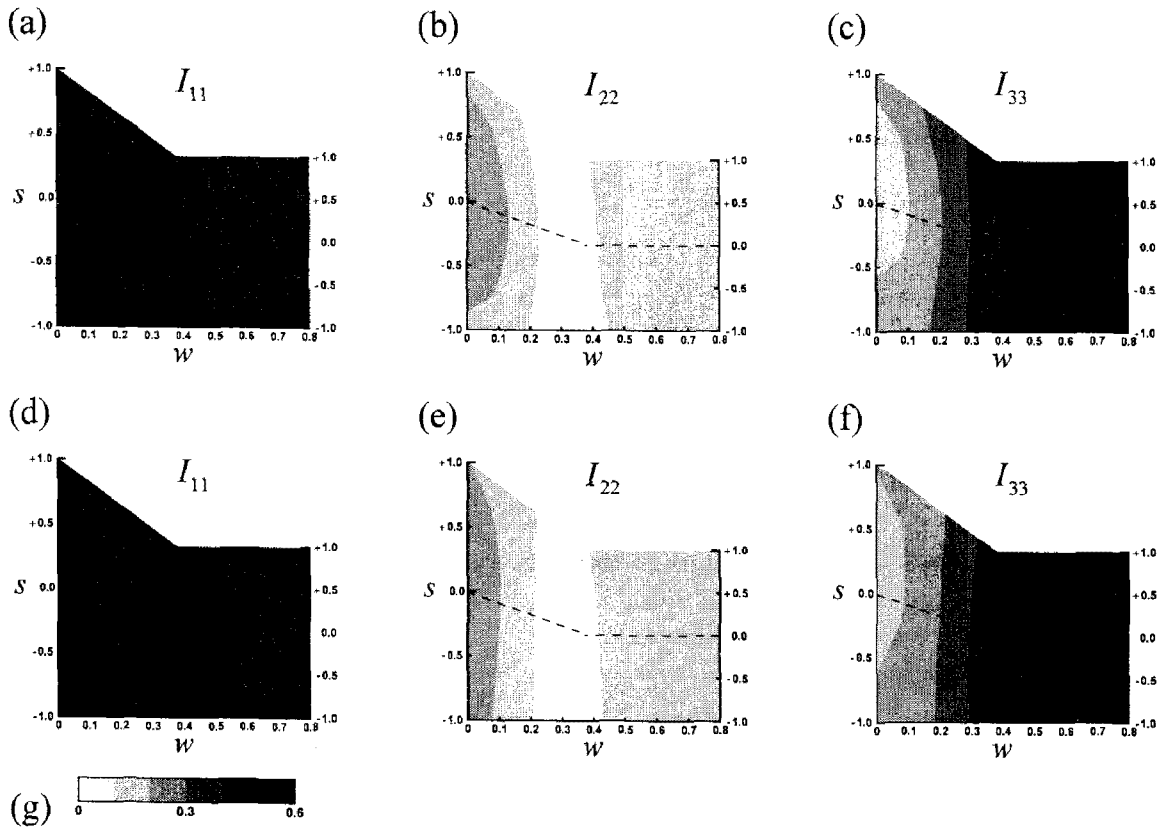


Fig. 2. Distribution of accumulated normal strain components $I_{ij}(s, w)$ in samples. (a) to (c) shape-rolled without lubrication (WOL sample), (d) to (f) shape-rolled with lubrication (WL sample), (g) levels.

그림 2에서와 같이 이형압연 시 압연재에서 얻어지는 I_{11} , I_{22} , I_{33} 의 분포에 미치는 무윤활/윤활 경계조건 의 영향은 거의 없었다. 그러나 무윤활/윤활 경계조건은 그림 3에서와 같이 I_{12} , I_{13} , I_{23} 의 분포에는 매우 커 다란 영향을 준다. 일반적인 판재압연 시에는 폭방향(TD)으로 변형이 거의 없어 2-방향을 포함하는 전단변 위 ϵ_{12} , ϵ_{23} 는 존재하지 않고 변형구역의 형상과 재료와 롤 표면에 미치는 마찰에 의하여 단지 ϵ_{13} 가 존 재한다. 그러나 이형압연 시에는 2-방향을 포함하는 전단변위를 속도가 변화하여 그림 3과 같이 I_{12} , I_{13} , I_{23} 가 모두 얻어진다. groove-구역과 flat-구역이 만나는 경계에서 I_{12} , I_{23} 의 값이 크게 나타나며 특히 무윤활 상 태에서 압연한 WOL-시료의 표면 층에 가까운 곳에서 큰 I_{23} 이 얻어졌다.

무윤활/윤활 경계조건은 특히 I_{13} 의 값에 커다란 영향을 주는데 WOL-시료의 상하 표면 층에서 높은 I_{13} 가 그리고 WOL-시료의 중앙 층에서 낮은 I_{13} 가 얻어졌다. 이에 반하여 윤활 압연한 WL-시료에서 I_{13} 는 매우 낮은 값을 가진다. 재료와 롤 표면 사이에 마찰력이 크게 작용하는 무윤활 이형압연 시에는 시료의 표 면 층에 가까운 곳에서는 재료와 롤의 속도차이에 따른 큰 $\dot{\epsilon}_{13}$ 가 작용하나 중앙 층에 가까운 곳에서는 평 면변형에 가까운 즉 $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 변화가 거의 없기 때문이다. 위의 결과를 요약하면 윤활 이형압연에 비하여 무

윤활 이형압연을 하면 시료의 위치에 따라 I_{12} , I_{13} , I_{23} 의 분포가 불균일 함을 알 수 있다.

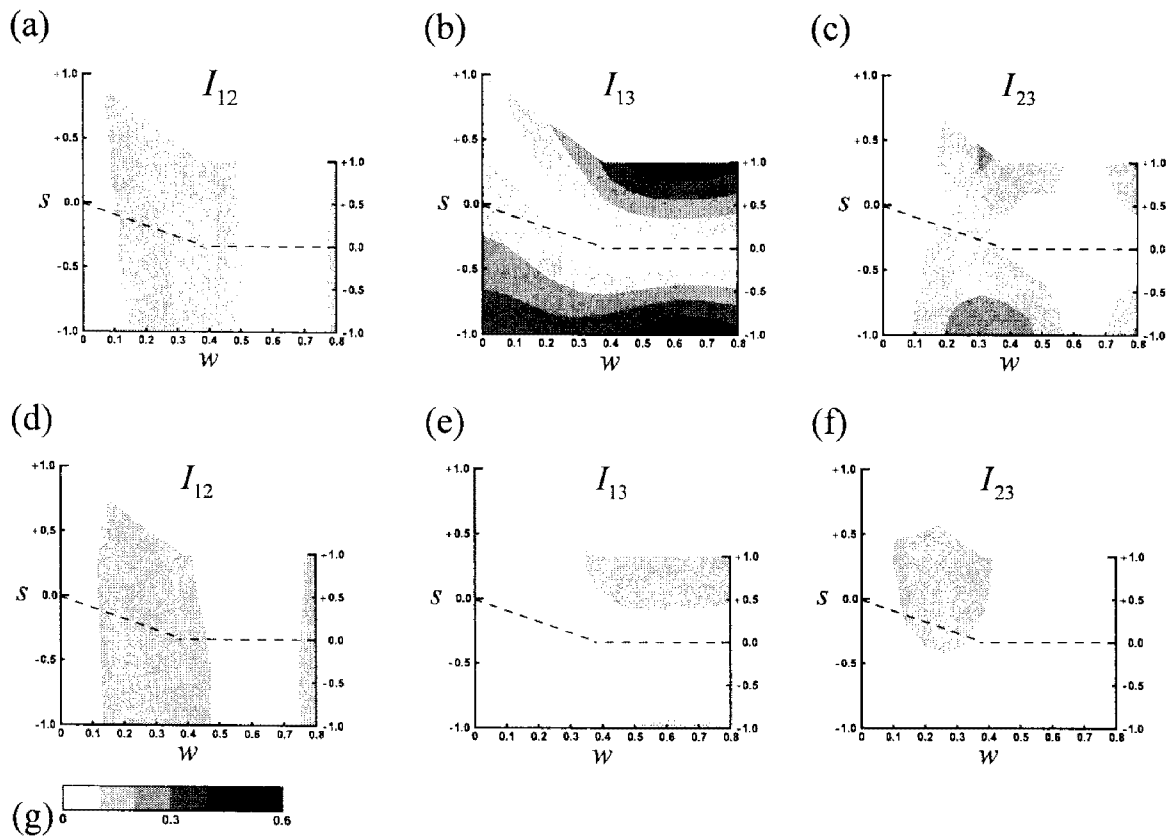


Fig. 3. Distribution of accumulated shear strain components $I_{ij}(s, w)$ in samples. (a) to (c) the WOL sample, (d) to (f) the WL sample, (g) levels.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 판재의 이형압연 시 변형상태에 미치는 윤활의 효과를 유한요소 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압연재에서 얻어지는 수직변형률의 분포는 무윤활/윤활 경계조건에 관계없이 거의 비슷하여 외관적으로는 거의 유사한 변형을 받은 이형압연재가 얻어진다.

(2) 윤활압연에 비하여 무윤활압연 조건에는 보다 큰 전단변형률의 구배가 존재하기 때문에 무윤활압연 시료에서 보다 불균일한 미세조직과 집합조직이 형성됨을 예측할 수 있다.

참고 문헌

- [1] H. Fukuda, J. Jap. Soc. Technol. Plast. 32, 452 (1991).
- [2] US Patent No. 4, 578, 979, Apr. 1, 1986.
- [3] K. Mori, K. Osakada, Int. J. Numer. Methods Eng. 30, 1431 (1990).
- [4] D. C. Chen, C. H. Chen, J. Mater. Process. Technol. 177, 104 (2006).
- [5] J. J. Nah, H. G. Kang, M. Y. Huh, O. Engler, Scripta Mater. 58, 500 (2008).
- [6] E. S. Park, H. G. Kang, J. C. Lee, M. Y. Huh, H. J. Kim, J. C. Bae, J. Mater. Process. Technol. 187-188, 783 (2007).