

알루미늄 판재에서 두께층에 따른 변형률 상태와 집합조직의 발달에 미치는 다양한 공정의 영향

나정준¹, 강형구¹, 허무영[#]

Effect of various processes on the evolution of through thickness strain states and textures in aluminum sheets

J.J. Nah, H.G. Kang, M.Y. Huh

Abstract

The evolution of texture and microstructure was tracked for a number of differently cold rolled aluminum sheet and through-thickness layers which were differentiated by different strain states upon preceding deformation. The results substantiate a correlation of deformation texture with the amount of shear applied during cold rolling.

Keywords: Asymmetrical Rolling; Shear texture; Strain state; Finite element method

1. 서론

이상적인 측면에서 압연가공시의 변형은 압연변형율이 $\dot{\epsilon}_{11} = -\dot{\epsilon}_{33}$ 이고 $\dot{\epsilon}_{22} = \dot{\epsilon}_{12} = \dot{\epsilon}_{13} = \dot{\epsilon}_{23} = 0$ 인 평면 변형율로 요약된다. 이러한 이상적인 가정아래 유효변형율은 다음의 von Mises 식으로 정의 된다.[1,2]

$$\dot{\epsilon}_{eff} = \sqrt{\frac{2}{3}(\dot{\epsilon}_{11}^2 + \dot{\epsilon}_{22}^2 + \dot{\epsilon}_{33}^2 + 2\dot{\epsilon}_{12} + 2\dot{\epsilon}_{13} + 2\dot{\epsilon}_{23})} = \frac{2}{\sqrt{3}} \dot{\epsilon}_{11} \quad (1)$$

그러나 실제 변형률 상태는 롤과 시편의 형상과 둘 사이의 마찰력 조건에 의존한다. 특히 판재의 표면 층에서 롤과 판재 표면 사이의 마찰과 패스에 의한 형상변화에 의해 평면 변형률 상태로부터 중요한 변화를 일으키며 판재

각 두께 층에서 전단요소 $\dot{\epsilon}_{13}$ 이 서로 다른 변화를 이끌어 낸다[3-6].

이 실험에서 우리는 일정한 압하율로 압연시 서로 다른 5가지의 변형률 가하여 판재마다 다른 변형률 상태를 주었고 각 판재의 두께 층에 따른 변형률 상태와 유효 변형률 ϵ_{eff} 을 알아보기 위해 상용 유한요소해석법을 사용하여 해석하였다. 집합조직의 발달은 여러 가지 유효 변형률에 의해 차이를 가지는 압연된 시편들의 각 두께 층을 측정하였다.

2. 실험 방법

실험에 두께 16mm인 알루미늄 합금 AA5052 판재를 사용하였다. 비대칭 압연으로 6mm까지 압연하였으며 소둔을 통해 무질서하고 25um의 균일한 결정립 크기를 갖는 판재를 생산하여 이를 초기 시편으로 사용하였다.

1. 고려대학교 신소재공학과

교신저자: 고려대학교 신소재공학과, myhuh@korea.ac.kr

압연 동안 다른 변형을 상태를 알아보기 위해 전단변형의 총합이 다른 5가지 방법으로 동일한 80% 냉간압연을 하였다(Table 1).

Table 1. 냉간압연 적용된 변수(S_U/S_L :윗롤과 아랫롤의 속도비; lc/t : 롤과 시편 사이의 접촉길이비율).

	S_U/S_L	lc/t	롤직경 (mm)	패스 수	윤활 조건
SYM-L-WL	1.0	2.2	118	8	with
SYM-L-WOL	1.0	2.2	118	8	without
SYM-H-WOL	1.0	4.9	300	4	without
ASY-L-WOL	1.5	2.2	118	8	without
ASY-H-WOL	1.5	4.9	300	4	without

S_U/S_L 는 상부롤과 하부롤의 속도 비율로 1.0은 대칭 압연을, 1.5는 비대칭 압연을 뜻하며[7-9] 이후 $S_U/S_L = 1.0$ 와 1.5는 각각 SYM과 ASY (“symmetrically” and “asymmetrically” rolled)로 나타낸다. lc/t 는 롤과 시편의 접촉 길이(lc)와 판재의 평균 두께(t)의 비로 정의 되고 롤의 직경과 압연시의 패스 수에 의존하는 것으로 이후 $lc/t = 2.2$ 과 4.9는 각각 L(“low” lc/t) 과 H(“high” lc/t)로 나타내며, 마지막으로 윤활제를 이용한 윤활압연은 WL (“with lubrication”), 무윤활 압연은 WOL (“without lubrication”)로 나타낸다.

예를 들어 ASY-H-WOL시편은 $lc/t = 4.9$ 의 무윤활 비대칭압연한 시편이다.

롤링방향은 압연 동안 회전 없이 한 방향으로만 이루어졌다.

집합조직의 분석에 Seifert 사의 XRD 3000pts 장비를 이용하였다. 판재의 ND면을 관찰 했으며, 판재의 두께 층에 걸친 집합조직 발달의 구배를 보기 위하여 판재의 두께 층을 Thickness parameter, s 를 사용하여 구분하였다. 즉, 판재의 상부표면을 $s=+1$, 하부표면을 $s=-1$, 중앙을 $s=0$ 으로 정의했을 때, 집합조직의 측정 시 비대칭압연재는 $s=+0.8$, $s=0.0$, $s=-0.8$ 의 3개 층을, 대칭압연재는 $s=+0.8$, $s=0.0$ 의 2개 층을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

변형된 집합조직의 첫 번째 형태는 널리 알려진 β -fiber를 가지는 평면집합조직이다(Fig 1a). 이 집합조직(Table 2.에서 PS로 분류)은 대칭 압연된 시편들의 중앙 층에서 얻어졌으며 윤활 대칭 압연 시편의 경우 전 층에서 이러한 평면 집합조직이 발달하였다.

다른 형태로는 Rotate Cube바위인 $\{001\}\langle 110\rangle$ 과 약한 $\{111\}/ND$ 섬유를 포함하는(Fig 1b) 전단집합조직이 관찰되었다. 이러한 형태의 집합조직(Table 2.에서 SH로 분류)은 무윤활 대칭압연 시편의 표면 층과 비대칭 압연 시편의 전 층에서 발달되었다.

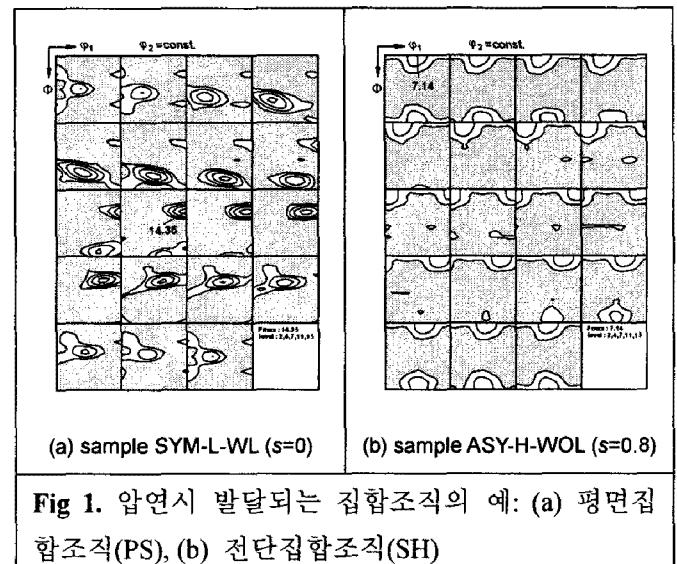


Fig 1. 압연시 발달되는 집합조직의 예: (a) 평면집합조직(PS), (b) 전단집합조직(SH)

Table 2. 두께 층에 따른 압연집합조직

(PS: 평면변형집합조직; SH: 전단변형집합조직).

	rolling texture		
	$s = -0.8$	$s = 0$	$s = +0.8$
SYM-L-WL		PS	PS
SYM-L-WOL		PS	SH
SYM-H-WOL		PS	SH
ASY-L-WOL	SH	SH	SH
ASY-H-WOL	SH	SH	SH

이와 같이 여러 방법으로 압연을 했을 때 시편들의 각 두께 층의 집합조직 발달에 영향을 주는

변형을 상태의 변화를 모사하기 위해 상용 유한 요소해석 프로그램인 DEFORMTM2D를 사용했다. 변형집합조직의 발달은, 식 (2)와 같이 변형률 속도 $\dot{\epsilon}_{11}$ 과 $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 절대값의 적분, 즉 I_{13}/I_{11} 의 값에 의해 주로 결정된다.

$$I_{ij} = \int_i |\dot{\epsilon}_{ij}| dt \quad (2)$$

압연 시, $I_{13}/I_{11} < 0.4$ 일 때 전형적인 압연집합조직이 형성되고 $I_{13}/I_{11} > 0.6$ 일 때 전단집합조직이 형성된다고 알려져 있으며 이를 Table 3에 정리하였다. 실제로 집합조직을 측정된 Table 2와 비교했을 때, $I_{13}/I_{11} < 0.4$ 일 경우 평면 변형집합조직이, $I_{13}/I_{11} > 0.6$ 일 경우 전단집합 조직이 발달하였음을 볼 수 있다. 따라서 롤링 시 변화되는 세가지 변수, 상부롤과 하부롤 사이의 속도비, lc/t , 그리고 롤과 시편사이의 윤활 유무가 I_{13}/I_{11} 의 값에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

Table 3. FEM으로 계산된 분석결과.

	shear strain ratio I_{13}/I_{11}		
	$s = -0.8$	$s = 0$	$s = +0.8$
SYM-L-WL		0.10	0.33
SYM-L-WOL		0.12	0.73
SYM-H-WOL		0.14	1.09
ASY-L-WOL	1.25	0.69	0.70
ASY-H-WOL	1.54	1.19	1.04

	effective strain (ϵ_{eff})		
	$s = -0.8$	$s = 0$	$s = +0.8$
SYM-L-WL		1.97	2.05
SYM-L-WOL		1.99	2.46
SYM-H-WOL		1.94	2.91
ASY-L-WOL	3.23	2.43	2.40
ASY-H-WOL	3.63	3.00	3.01

또한 Table 3는 유한요소해석법으로 시편들의 두께 층에 대해 이를 (1)식으로 계산한 유효변형률 ϵ_{eff} 값을 보여준다. 본 실험에서는 일괄적으로

80%의 압하율로 냉간압연을 하였다. 이 때의 평면변형률 $\epsilon_{11} = 1.6$ 이고 이를 von Mises 식으로 계산하면 $\epsilon_{vM} = 1.86$ 이다. Table 3의 모든 ϵ_{eff} 값은 von Mises 변형률 보다 높고 특히 무윤활 대칭압연 시편의 표면 층과 비대칭 압연된 시편들은 $\epsilon_{eff} = 2.4 \sim 3.5$ 의 큰 유효변형률을 보여주었으며 이는 냉간압연시에 전단변형률이 0이 아니라는 점을 알려준다.

I_{13}/I_{11} 과 유효변형률 ϵ_{eff} 의 관계를 Table 3에 표시하였다.

4. 결론

알루미늄 판재의 냉간압연 시 공정의 변화를 통해 각 두께 층의 집합조직 발달과 변형률 상태를 알아보았고 공정에 따라, 또한 시편의 두께층에 따라 서로 다른 변형률 상태가 얻어짐을 알 수 있었다.

- 1) SYM-L-WL 시편의 경우 전 층에 약한 전단 변형이 가해져 평면변형집합조직이 발달 하였다.
- 2) SYM-L-WOL 과 SYM-H-WOL 시편은 표면층에 강한 전단변형이 가해져 전단변형집합 조직이, 중앙층엔 약한 전단변형이 가해져 평면변형집합조직이 발달하였고
- 3) ASY-H-WOL 과 ASY-H-WOL 시편은 전 층에 강한 전단변형이 가해져 전단변형집합 조직이 발달하였다.
- 4) 또한, 롤의 크기에 따라 즉 (lc/t)의 변화로 인해 더 강한 전단변형을 가할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] G.E. Dieter, Mechanical Metallurgy, SI metric ed., McGraw-Hill Book, Singapore, 2001.
- [2] W.F. Hosford, R.M. Caddell, Metal Forming: Mechanics and Metallurgy, second ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
- [3] M.Y. Huh, J.C. Park, S. Lee, Met. & Mater. Inter. 2

(1996) 141.

- [4] M.Y. Huh, K.R. Lee, O. Engler, *Inter. J. Plast.* 20 (2004) 1183.
- [5] O. Engler, M.Y. Huh, C.N. Tomé, *Metall. Mater. Trans.* 31A (2000) 2299.
- [6] H.G. Kang, J.K. Kim, M.Y. Huh, O. Engler, *Mater.*

Sci. Eng. A 452-453 (2007) 347.

- [7] K.-H. Kim, D.N. Lee, *Acta Mater.* 49 (2001) 2583.
- [8] J.K. Kim, Y.K. Jee, M.Y. Huh, H.T. Jeong, *J. Mater. Sci.* 39 (2004) 5365.
- [9] M.Y. Huh, H.G. Kang, C.K. Kang, *Solid State Phenomena*, 116-117 (2006) 417.