

AA 5052 판재의 집합조직 발달과 결정립 크기에 미치는 다양한 냉간압연 공정의 영향

이준혁¹ · 나정준¹ · 허무영^{1#}

Effect of various cold rolling process on the evolution of texture and recrystallized grain size in AA 5052 sheet

J.H. Lee, J.J. Nah, M.Y Huh

Abstract

The evolution of texture and microstructure during recrystallization was tracked after different cold rolling of aluminum sheets. Texture of the sheet center were differentiated by different strain states due to prior deformation. The evolution of recrystallization texture was studied with the amount of shear applied during cold rolling. The final grain size after recrystallization annealing was varied due to the effective strain during deformation.

Keywords: Rolling, Texture, Recrystallization, Grain size

1. 서론

재결정된 금속재료의 결정립 크기는 핵생성과 결정립 성장의 비에 의존한다. 냉간압연시의 큰 두께감소는 일반적으로 재결정 뒤의 핵생성 자리 수를 증가시켜서 재결정된 결정립의 크기가 미세해진다. 하지만 냉간압연 이전의 변형율 경로에 의한 결정립 크기와 재결정된 집합조직 관계의 정보는 매우 적다.

이상적인 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 변형율상태로 요약된다(판재의 방위 1,2,3은 각각

rolling direction(RD), trans-verse direction (TD), normal direction(ND) 을 나타낸다). 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 변형율 상태는 롤과 시편의 형상과 둘 사이의 마찰력 조건에 의존한다.

이 실험에서는 상용 Al-Mg 합금 AA5052 판재를 일정한 압하율로 냉간압연시 각각의 판재에 서로 다른 양의 전단변형율을 가하여 각각 다른 변형율 상태를 얻었다.

1. 고려대학교 신소재공학과

교신저자: 고려대학교 신소재공학과, myhuh@korea.ac.kr

2. 실험 방법

실험에 두께 16mm인 Al-Mg 합금 AA5052를 사용하였다. 비대칭 압연으로 6mm까지 압연하였으며 소둔을 통해 무질서하고 25 μ m의 균일한 결정립 크기를 갖는 판재를 생산하여 이를 초기 시편으로 사용하였다. 압연하는 동안 다른 변형 상태를 알아보기 위해 전단변형의 총합이 다른 5가지 방법으로 총압하율이 80%로 동일한 냉간압연을 하였다(Table 1.).

Table 1. 냉간압연 적용된 변수(S_U/S_L :상부롤과 하부롤의 속도비; lc/t : 롤과 시편 사이의 접촉길이 비율).

	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

이 실험에서는 상부롤 속도(S_U)와 하부롤 속도(S_L), 롤과 시편사이의 접촉길이의 비(lc)와 판재의 평균두께(t), 롤과 시편사이의 윤활조건을 다르게 하였다. S_U/S_L 는 상부롤과 하부롤의 속도 비율로 1.0은 대칭 압연을, 1.5는 비대칭 압연을 뜻하며[3-5] 이후 $S_U/S_L = 1.0$ 와 1.5는 각각 SYM과 ASY (“symmetrically” and “asymmetrically” rolled)로 나타냈다. 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 나타낸다. 윤활제를 이용한 윤활 압연은 WL(“with lubrication”), 무윤활 압연은 WO L(“without lubrication”)로 나타낸다. 예를 들어 SYM-L-WOL시편은 $lc/t = 2.2$ 로 무윤활 대칭압연한 시편이다.

각각의 실험을 진행하는 동안 압연방향은 회전 없이 한 방향으로 이루어졌으며, 만들어진 판재를

400 $^{\circ}$ C 에서 1 시간 소둔하였다.

집합조직의 측정에 Seifert 사의 XRD 3000pts 장비를 이용하였고, 이는 Bunge 에 따른 series expansion 방법으로 계산한 3 차원방위분포 함수 (ODF)를 사용하였다.

판재의 ND 면을 관찰 했으며, 각 판재의 중앙 층을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

모든 대칭 압연된 시편의 중앙 층에서 평면집합조직이 얻어졌고, 모든 비대칭 압연된 시편의 중앙 층에서 얻어졌다. 또한 재결정 후에는 모든 대칭 압연된 시편의 중앙 층에서 cube 집합조직이 얻어졌고, 모든 비대칭 압연된 시편의 중앙 층에서 무질서 집합조직이 얻어졌다.

여러 방법으로 압연했을 때 시편들의 중앙 층의 집합조직 발달에 영향을 주는 변형률 상태의 변화를 모사하기 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORMTM2D를 사용했다.

냉간압연시 집합조직의 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.

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

압연 시, $I_{13}/I_{11} < 0.4$ 일 때 전형적인 압연집합조직이 형성되고 $I_{13}/I_{11} > 0.6$ 일 때 전단집합조직이 형성된다고 알려져 있다. 실제로 중앙 층 집합조직을 측정한 Table 2와 비교했을 때 $I_{13}/I_{11} < 0.4$ 일 경우 평면집합조직이 $I_{13}/I_{11} > 0.6$ 일 경우 전단변형집합조직이 발달하였음을 확인할 수 있고 재결정 집합조직은 각각 cube와 무질서 집합조직으로 발달한 것을 확인할 수 있다.

Table 2는 유한요소해석법(FEM)로 계산한 변형률이다. 또한 Table 2는 유한요소해석법으로 시편들의 두께 층에 대해 이를 (1)식으로 계산한 유효 변형률 ϵ_{eff} 값을 보여준다. 본 실험에서는 일괄적으로 80%의 압하율로 냉간압연을 하였는데 이 때

의 von Misses 변형율(ϵ_{VM})은 1.86 이다. Table 2의 모든 ϵ_{eff} 값은 von Mises 변형율 값보다 높고 특히 비대칭압연 시편들은 $\epsilon_{eff} = 2.4 \sim 3.0$ 사이의 큰 유효변형율을 보여주었으며 이는 냉간압연 시에 전단변형율이 0이 아니라는 점을 알려준다.

Table 2. FEM으로 계산한 변형률.

	shear strain ratio	effective strain
	I_{13} / I_{11}	(ϵ_{eff})
	$s = 0$	$s = 0$
SYM-L-WL	0.10	1.97
SYM-L-WOL	0.12	1.99
SYM-H-WOL	0.14	1.94
ASY-L-WOL	0.69	2.43
ASY-H-WOL	1.19	3.00

Fig 1은 전단변형율(I_{13} / I_{11}) 과 유효변형율(ϵ_{eff}) 비 사이의 관계를 나타낸다. 냉간압연시 전단변형율 및 유효변형율의 증가가 최종결정립 크기의 감소에 영향을 준다.

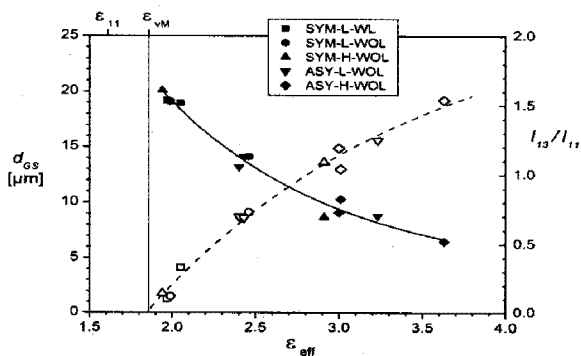


Figure 1. 각각의 냉간압연시 결정립 크기(d)와 전단변형율(I_{13} / I_{11}), 유효변형율(ϵ_{eff}) 사이의 관계.

따라서 압연 시 변화되는 세가지 변수, 상부롤과 하부롤 사이의 속도비, lc/t 값, 그리고 롤과 시

편사이의 윤활 유무가 결정립 크기 및 전단변형율과 유효변형율 값에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

4. 결론

알루미늄 판재의 냉간압연시 공정의 변화를 통해 각 시편의 집합조직 발달과 변형율 상태를 알아보았고, 서로 다른 변형율 상대가 얻어짐을 알 수 있다.

- 1) 대칭 압연을 한 시편은 중앙 층에 cube 집합 조직이 발달하고, 어닐링하면 균일 집합 조직이 발달한다. 또한 비대칭 압연을 한 시편에 비해 작은 전단변형율과 유효변형율 값 그리고 작은 결정립 크기를 갖는다.
- 2) 비대칭 압연을 한 시편은 중앙 층에 전단 집합 조직이 발달하였고, 어닐링하면 불균일 집합 조직이 발달한다. 대칭 압연을 한 시편보다 큰 전단변형율과 유효변형율 값 그리고 큰 결정립 크기를 갖는다.
- 3) 상부롤과 하부롤 사이의 속도비, lc/t 값, 그리고 롤과 시편사이의 윤활 유무가 시편에 가하는 변형율의 양에 영향을 미침을 알 수 있다.

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