

비대칭압연한 알루미늄합금판재의 전단집합조직발달과 결정립미세화 : 전단변형 조합의 영향

이종국*·이동녕**

Shear Texture Development and Grain Refinement in Asymmetrically Rolled Aluminum Alloy Sheets : Effects of Shear Combinations

Jong Kook Lee, Dong Nyung Lee

Abstract

Asymmetric rolling, in which the ratio of the rotation rates of the upper and lower rolls was 2, has been used to introduce an intense plastic shear strain for the purpose of grain refinement and developing shear deformation textures through the sheet thickness to improve the strength and plastic strain ratio of AA1050 aluminum alloy sheets. The alloy sheets were rolled at room temperature without lubrication. The textures and microstructures of the sheets were investigated by x-ray diffraction and electron back-scattered diffraction (EBSD) analyses with emphasis on effects of combinations of rolling directions.

Key Words : Aluminum Alloy, Asymmetric Rolling, Shear Texture, Grain Refinement

1. 서론

비대칭압연은 판재의 두께방향으로 균일하게 소성전단변형을 가할수 있는 획기적인 방법이다 [1-8]. 전단변형은 $\{001\}\langle 110\rangle$, $\langle 111\rangle//ND$ 방위와 같은 전단변형집합조직 발달과 결정립미세화에 유리하며 특히 $\langle 111\rangle//ND$ 집합조직성분은 덩드로잉에 바람직하다[2,3]. 이전 연구에서 여러가지 압연변수를 변화시키며 비대칭압연하였을때 알루미늄 판재의 집합조직 발달과 결정립 미세화에 대

하여 알아보았다[1,9,10]. 본 연구에서는 지름이 같은 상부롤과 하부롤을 각각 다른 회전속도로 회전시키는 방법으로 AA1050 판재를 비대칭 압연하였으며 비대칭압연중 압연 방향의 변화가 집합조직 발달과 결정립미세화에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 실험 방법

무질서방위를 갖는 4.4mm두께의 알루미늄합금판

* 현대.기아 연구개발본부 금속재료연구팀
** 서울대학교 재료공학부 신소재공동연구소

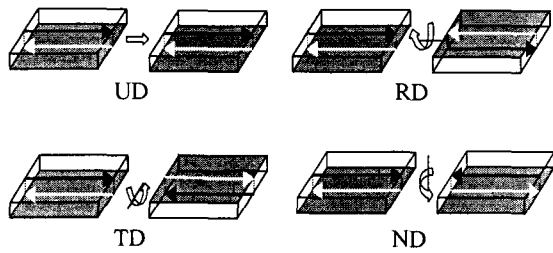


Fig. 1 Shear directions (arrows) in asymmetric rolling. In UD rolling, RD is not changed, whereas in TD, RD and ND rolling, sheet is rotated through 180° about TD, RD and ND axes, respectively, each pass. Dark surface is initially lower surface. Left and right figures show shear directions before (left) and after (right) each rolling pass.

재(0.25% Si, 0.4% Fe, 0.05% Cu, 0.05% Mn, 0.05% Mg, 0.05% Zn, 0.05% V)을 30cm지름의 압연롤을 이용하여 상온에서 9패스에 걸쳐 75% 무윤활 비대칭압연하였다. 상부롤과 하부롤의 롤 회전속도는 각각 45rpm과 23rpm이며 이때 상부롤과 하부롤의 롤 회전속도비를 롤속도비로 정의하고 이 경우 롤속도비는 2이다. 매 압연패스마다 각각 ND, RD, TD축을 중심으로 180도 회전시키며 비대칭압연한 3가지 다른 판재를 만들었으며 이를 각각 ND75, RD75, TD75판재로 명명하였다. 실험에 있어 판재의 회전양상을 그림.1에 나타내었다. 또 4.4mm판재를 일방향으로 8패스에 걸쳐 1.49mm까지 비대칭압연한 후 ND축을 중심으로 180도 회전하여 각각 최종두께 1.13(24%), 1.21(19%), 1.29mm(13%)까지 비대칭압연하여 UD66ND24, UD66ND19, UD66ND13으로 각각 명명하였다. 이렇게 비대칭압연한 판재들을 재결정열처리를 위해 400도 염욕에서 1시간 열처리 하였다. 집합조직해석에는 x-선 극점도가 결정립구조해석에는 EBSD (electron back-scattered diffraction)가 이용되었다. EBSD해석에 사용된 판재는 195도염욕에서 1시간 열처리를 통하여 양질의 데이터를 얻을 수 있게 하였으며 시편은 20% 퍼클로릭산과 80% 에탄올 용액에서 전해 애칭하였다.

3. 결과 및 토의

압연된 판재의 집합조직을 그림.2(a)에 나타내었다. ND75와 RD75 시편에서는 두께방향으로 전단변형집합조직에 가까운 방위들을 나타냈으나 TD75 판재의 경우에는 전단집합조직의 발달이

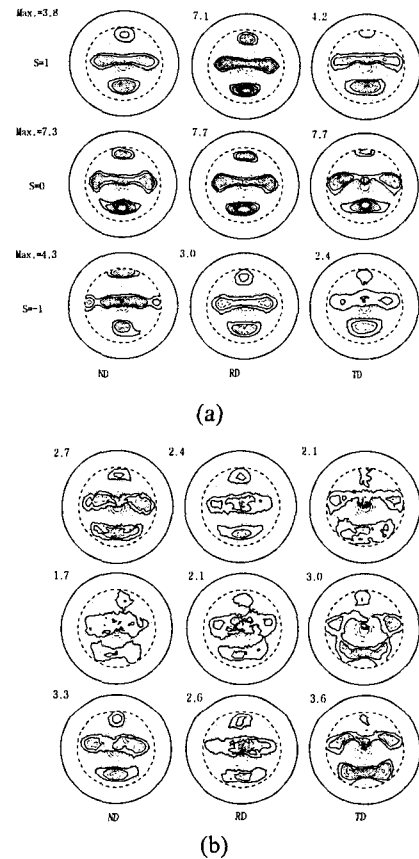


Fig. 2 (a)(111) pole figures of AA1050 sheets asymmetrically rolled by 75% in 9 passes with rotation through 180 about ND, RD and TD axes each pass (b) after annealing at 400°C for 1 h. Upper surface layer (S=1), center layer (S=0) and lower surface layer (S=-1) are designated referred to initial specimen.

미약하였다. ND75와 RD75의 경우에는 전단방향이 매 패스마다 변화하지만 TD75의 경우에 있어서는 그렇지 않다는 점은 주목할만 하다. 또 ND75와 UD66 시편들에 있어서는 판재의 하부가 상부보다 극점도의 강도가 높으며, TD75와 RD75 시편에 있어서는 상부가 하부보다 극점도의 강도가 높음을 확인할 수 있으며 이는 공통적으로 비대칭압연시 마지막 패스에서 상대적으로 회전속도가 작은 압연롤과 접촉한 면이라는 점에서 주목할만 하다.

열처리 후 판재의 집합조직은 그림.2(b)과 같으며 변형집합조직과 유사하지만 강도에 있어 다소 감소한 모습을 나타낸다. ND75, RD75, TD75 시편 모두 중심층에서는 이상적인 전단집합조직에서

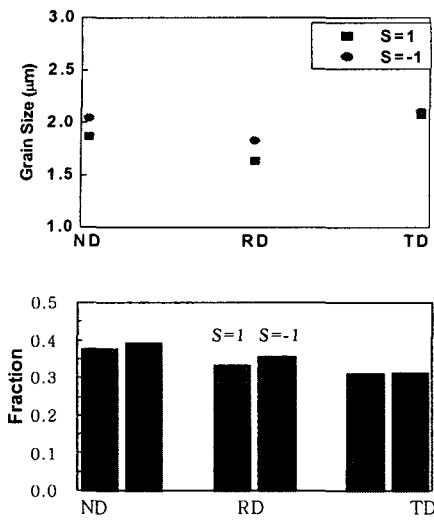


Fig. 3 (upper) Average grain sizes and (lower) fractions of high angle boundaries in AA1050 sheets asymmetrically rolled by 75% in 9 passes with 180° rotation about ND, RD and TD axes each pass after annealing at 195 °C for 1h.

다소 벗어난 집합조직을 나타낸다. EBSD를 통해 얻어진 평균 결정립 크기와 고경각 입계분율은 그림. 3에 나타내었다. ND75와 RD75 시편이 TD75 시편에서보다 미세한 결정립크기와 높은 고경각입계분율을 나타냈으며 이는 전단집합조직의 발달정도와의 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

그림. 4는 전단방향을 역전시킨 마지막 패스에서 압하량에 따른 집합조직 발달정도를 나타낸다. 마지막 패스에서 판재를 ND축을 중심으로 180도 회전시켜 비대칭압연한 경우 결정의 회전이 이상적인 전단집합조직을 지나서까지 일어남을 알 수 있다. 일방향압연에 있어서는 결정의 회전이 이상적인 전단집합조직을 지나서까지 일어나지 않는다. 본 결과에서 결정의 회전정도는 마지막 패스에서의 압하량과 무관하였으며 ND//<111>성분의 강도는 압하량이 가장 적은 13%일때 가장 높았다. 또한 열처리 후 변형집합조직은 크게 변화하지 않았으며 강도는 다소 감소하였다. 평균결정립 크기와 고경각입계분율에 있어서는 시편에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

그림. 5은 a 값($=e_{13}/e_{11}$, 여기서 e_{ij} 는 변위의 기울기 값이다)에 따른 Dillamore방위 {4 4 11}<11 11

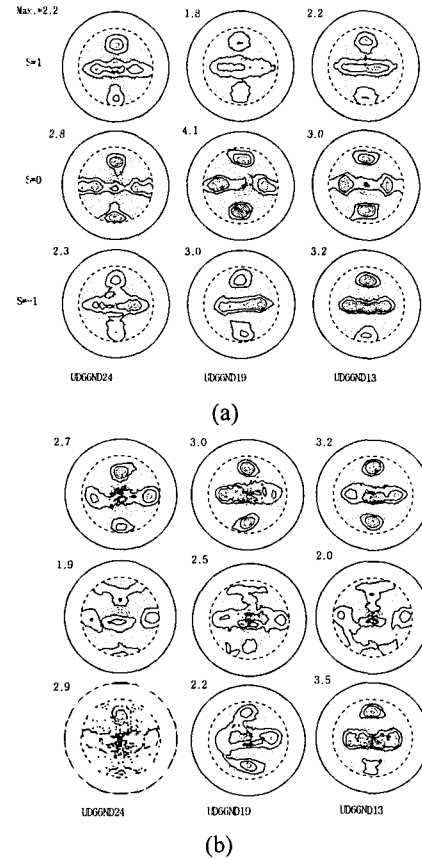


Fig. 4 (a) (111) pole figures of AA1050 sheets asymmetrically rolled by 66% in 8 passes, followed by 180rotation about ND axis and then rolled by 24, 19 and 13% in one pass and (b) after annealing at 400 °C for 1h.

8>에서부터 TD축을 중심으로 결정의 회전을 계산한 것이다. a 가 0일때, 즉 전단변형이 없는 경우에는 알려진 바와 같이 Dillamore방위와 Goss방위가 안정한 방위임을 알 수 있다. 그러나 a 의 절대값이 0보다 커짐에 따라 방위는 이상적인 전단 집합조직성분인 {001}<110>과 {111}<112>에 가까워지며 a 값이 무한대가 되면 이 성분으로 수렴한다. 일방향 비대칭압연에서는 무한대의 a 값이 불가능하기 때문에 이상적인 전단집합조직을 얻을 수 없지만 전단변형의 역전에 의해 이상적인 전단 집합조직을 얻는 것이 가능하다[1].

비대칭압연된 판재에 있어서 변형집합조직과 재결정집합조직이 유사함은 전단변형집합조직이 높은 온도에서 열처리 후에도 매우 안정함을 의미한다. 이와 유사한 결과는 이전 연구에서도 얻은 바 있다[8]. a 값이 10인 비대칭압연시 (001)[110]결정

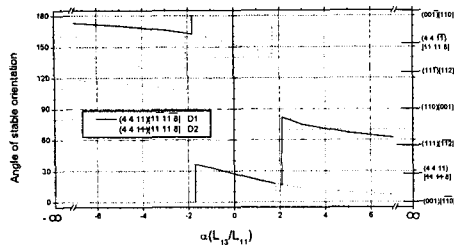


Fig. 5 Stable orientations rotated from Dillamore orientations (DO) about TD as a function of for fcc crystal [1].

의 슬립계는 $(\bar{1}11)[110]$ 와 $(1\bar{1}1)[110]$, $(111)[\bar{1}\bar{1}2]$ 결정의 슬립계는 $(111)[0\bar{1}1]$ 과 $(111)[\bar{1}01]$ 로 계산된다 [1]. 여기서 $(\bar{1}11)[110]$ 과 $(1\bar{1}1)[110]$ 의 슬립계는 같은 슬립방향을 공유하며 하나의 $(001)[110]$ 슬립계로 생각할 수 있으며 마찬가지로 $(111)[0\bar{1}1]$ 과 $(111)[\bar{1}01]$ 의 슬립계는 같은 슬립면을 공유하므로 하나의 $(111)[\bar{1}\bar{1}2]$ 슬립계로 생각할 수 있다. 이러한 경우 시편의 열처리시 전위들은 서로 반응하여 급속도로 소멸함으로써 연속 재결정을 일으키게 된다. 이와 유사한 현상은 적층결합에너지가 작은 Cu-7.3% Al합금선에서도 관찰 된다[11].

4. 결론

비대칭압연을 통하여 판재 두께방향으로 균일하게 전단 집합조직을 발달시킬 수 있으며 결정립을 미세화시킬 수 있다. 그러나 일방향 전단변형에 의해서는 이상적인 전단변형집합조직을 얻을 수 없으며 전단변형의 역전이 있어야 결정이 이상적인 전단집합조직으로 회전할 수 있다. 재결정 열처리에 의해 변형집합조직은 변화하지 않지만 강도는 다소 변화한다. 결정립은 전단집합조직발달 정도에 비례하여 미세화된다.

5. 참고 문헌

(1) K.-H. Kim and D. N. Lee, "Analysis of Deformation Textures of Asymmetrically Rolled Aluminum Sheets," *Acta materialia*, 49 (2001), 2583-2595.
 (2) K.-H. Kim, D.N. Lee, and C.-H. Choi, "The Deformation Textures and Lankford Values of Asymmetrically Rolled Aluminum Alloy

Sheets," *ICOTOM12*, ed. J.A. Szpunar (NRC Research Press, Ottawa Canada, 1999), 755-760.
 (3) C.-H. Choi et al., "Analysis of Texture in Aluminum Alloy Sheets Rolled Using Asymmetric Rolls," *J. Korean Institute of Metals and Materials*, 35 (1997), 429-439.
 (4) C.-H. Choi, K.-H. Kim, and D. N. Lee, "The Effect of Shear Texture Development on The Formability of Rolled Aluminum Alloy Sheets," *Mater. Sci. Forum*, 273-275 (1998), 391-396.
 (5) C.-H. Choi, K.-H. Kim, and D. N. Lee, "Texture Control of Aluminum Alloy Sheets", *Proc. Synthesis/Processing of Lightweight Metallic Materials II*, ed. C.M.Ward-Close et al. (Warrendale, PA: The Metallurgical Society of AIME, 1997) 37-48.
 (6) Dong Nyung Lee et al., "Improvement in Formability of Aluminum Alloy Sheets for Use of Automobiles", *Advanced Automobile Materials*, ed. Wang Xianjin and Wang Zubin (Proc. the International Conference on Advanced Automobile Materials, Beijing: The Chinese Society for Metals, 1997) 67-76.
 (7) D. N. Lee and K.-H. Kim, "Textures and Plastic Strain Ratios of Sheet Metals for Automobile", *Proc. 98 International Symposium of the RCPAM*, ed. B.I. Kim, Y.B. Park, and S.S. Kim (Suncheon, Korea: Suncheon National University, 1998) 39-49.
 (8) D. N. Lee and K.-H. Kim, "Effects of Asymmetric Rolling Parameters on Texture Development in Aluminum Sheets", *Proc. Second Global Symposium on Innovations in Materials Processing and Manufacturing*, ed. M.Y. Demeri (Warrendale, PA: TMS of AIME, 2001) 219-235.
 (9) J.K. Lee and D.N. Lee, "The Shear Texture Development and Grain Refinement in Asymmetrically Rolled Aluminum Alloy Sheets by Varied Reduction per Pass", *Materials Science Forum*, 408-412 (2002) 1419-1424.
 (10) S.-H. Kim et al., "The Evolution of Shear Deformation Texture and Grain Refinement in Asymmetrically Rolled Aluminum Sheets", *Mater. Sci. Res. Int.*, 8 (2002) 20-25.
 (11) S. Kim, C.-H. Choi and D.N. Lee, "Deformation and Annealing Textures in Drawn Aluminum Bronze Wires", *Materials Science Forum* Vols. 408-412 (2002) 913-918.