한국소성가공학회 2006년도 춘계학술대회 논문집 pp. 222~225

AA 1050 알루미늄 합금의 열간 압연 시 전단집합조직의 형성

강춘구[1]· 김현철[1]· 허무영[1#]· 이종석[2]

Evolution of shear texture during hot rolling of AA 1050 aluminum sheet.

G. C. kang, H. C. Kim, M. Y. Huh, J. S. Lee

ABSTRACT

The effect of lubrication on the development of textures and Microstructure was studied by different lubricating condition during hot rolling of AA1050 aluminum alloy. Hot rolling without lubrication led to the evolution of the pronounced through-thickness texture gradients, whereas hot rolling with lubrication gave rise to the formation of uniform rolling texture in the whole thickness layer. The variation of texture and microstructure according to hot rolling condition are investigated by X-ray diffractometer (XRD) and Electron Back-Scattered Diffraction (EBSD). The experimental results were discussed base on the finite element method (FEM) simulation. FEM calculation reveals that a larger friction between roll and sheet causes the deviated strain state from a plane strain leading to the formation of shear textures in the thickness layers close to the surface.

Key Words : Aluminum alloy, Hot rolling, Lubrication, Rolling texture, Shear texture

1. 서 론

압연 중 판재에 가해지는 변형상태는 두께 방향으로(ND) 줄어들고, 압연방향으로(RD) 자유롭게 연신 되며, 폭 방향(TD)으로의 변형이 제한되는 평면변형으로 이해된다. 하지만 압연중의 압연롤과 판재 사이의 기하학적 형태 및 마찰 그리고 압연재의 두께 층에 따른 온도 구배 등의 결과로 압연재의 중앙 층을 제외한 부분에서 평면변형으로부터 벗어난 변형상태가 존재하게 된다[1-2].

압연롤과 압연재의 기하학적인 형상이 압연시의 변형상태 및 압연재의 집합조직에 미치는 효과는 롤과 판재 사이의 접촉 길이(ℓ)와 두께 변형률(h)의 비인 ℓ/h에 의존을 한다. 또한 ℓ/h가 0.5 보다 크거나 5 보다 작을 경우 압연재에 균일한 변형상태가 작용한다고 보고 있다[3].

하지만 균일한 변형상태를 가정하는 ℓ/h 조건 ($0.5< \ell/h <5$)에서도 롤과 압연재 사이에 작용하는 마찰에 의하여 두께 층에 따라 평면변형에서 벗어난 변형상태가 존재하게 된다.

알루미늄과 같은 다결정의 금속은 외부에서 가해지는 각각의 열·기계적 변형상태에 따라 우선 방위로 방위 회전을 하고 집합조직을 형성한다. 따라서 이러한 집합조직을 분석함으로써 가해진 변형상태를 역으로 해석해 낼 수 있다.

냉간 압연 공정에서 두께 층에 따른 변형상태와 그로 인한 두께 층에 따른 불균일 한 집합조직의 형성은 널리 연구 되어 왔으나, 알루미늄 합금의 열간 압연에서의 연구는 제한적이었다[4-5].

본 연구에서는 알루미늄의 윤활(With Lubrication; WO)과 무윤활(Without Lubrication; WOL) 열간압연 공정을 통해 두께 층에 따른 변형상태와 집합조직의 형성기구를 해석해 보았다.

1. 고려대학교 신소재공학부 대학원
2. 포스코 기술연구소
교신저자: 고려대학교 신소재공학부, myhuh@korea.ac.kr

XRD 와 EBSD 를 이용하여 집합조직 및 미세조직을 분석하였으며, 결과를 FEM 시뮬레이션을 통하여 해석하였다.

2. 실 험

실험에 사용된 핫밴드는 10mm 두께를 가지는 AA1050 알루미늄 합금이었다. 표면은 재결정이 완료 된 상태이며, 중앙 층은 부분적으로 재결정이 되어 있었다. 좀더 균일한 집합조직과 미세조직을 얻어내기 위해 450℃에서 10 시간 동안 균질화 처리를 해 주었고, 그 결과로 무질서한 방위와 60 ㎛의 입경을 가지는 등축정 형태의 결정립을 얻을 수 있었다.

균질화 처리가 된 압연재는 350℃까지 가열하여 직경 118 ㎜의 압연롤로 40% 압연을 실시하여 6mm 로 성형되었다. 이때의 ℓ/h 의 값은 1.92 로 롤과 압연재의 기하학적 형상으로는 두께 층에 따라 균일한 변형상태를 가정한다. 열간 압연 조건은 압연재와 롤에 윤활제를 적용한 윤활 열간 압연과, 압연재와 롤 사이에 윤활제를 적용하지 않은 무윤활 압연의 두 방법으로 실시 하였다.

결정학적 방위를 분석하기 위하여 고니오메터를 장착한 X-ray diffractometer (XRD)를 사용하였다. 두께 층에 따른 집합조직의 변화를 알아보기 위하여 압연면(ND)의 s = 0, 0,5, 0,7, 1 층을 각각 측정하였으며, 각각의 층에 대하여 측정된 3 개의 Incomplete pole figure는 Bunge의 Series expansion method (L_{max}=22)를 이용하여 Orientation Distribution Functions (ODFs) $f(g)$로 계산 되어 φ_2 =45° 에 표기 하였다[6]. 또한 EBSD를 통하여 TD면을 측정함으로써 개개의 결정립의 방위와 방위 분포, 미세조직을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

AA1050 알루미늄 합금은 FCC 의 결정구조를 가지며 압연 시 평면변형에 의해 Cu {112}<111>, S {123}<634>, Bs {110}<211>의 우선방위가 발달하는 β-fiber 집합조직이 발달하게 된다. 반면에 전단변형상태에서는 {001}<110> Rotated cube 방위가 발달하게 된다.

Fig. 1.은 윤활 열간 압연을 실시한 압연재의 각 층에 대한 ODFs 결과이다. 압연재의 전 층에 β-fiber 집합조직이 발달하였으며 중앙 층 (s = 0) 을 제외한 부분에서 {112}<111>에서 방위 밀도가 가장 높게 나타났으며, 이 방위의 방위밀도는 두께 층의 변화에 따라 크게 변하지 않았다. 두께 층에 따라 {110}<211> 방위의 밀도는 변화 하였지만 압연재의 전 층에 평면변형이 지배적이었음은 틀림없다.

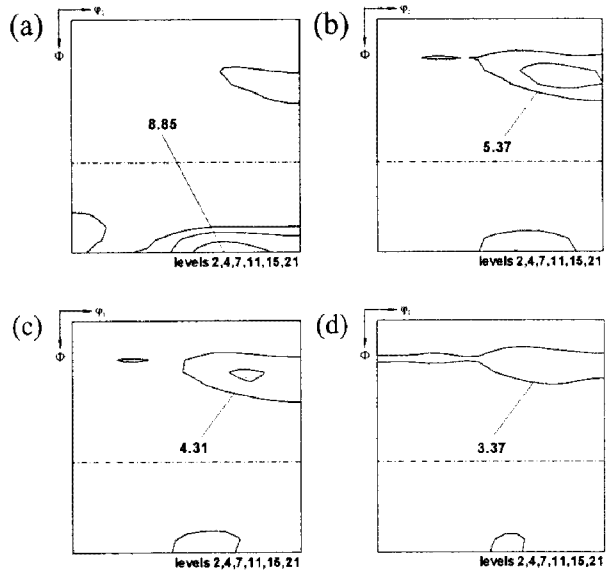

Fig. 1. Evolution of hot rolling texture of WL Sample. (a) s=0, (b) s=0.5, (c) s=0.7, (b) s=0.

Fig. 2.는 무윤활 열간압연을 실시한 압연재의 ODFs 결과이다.

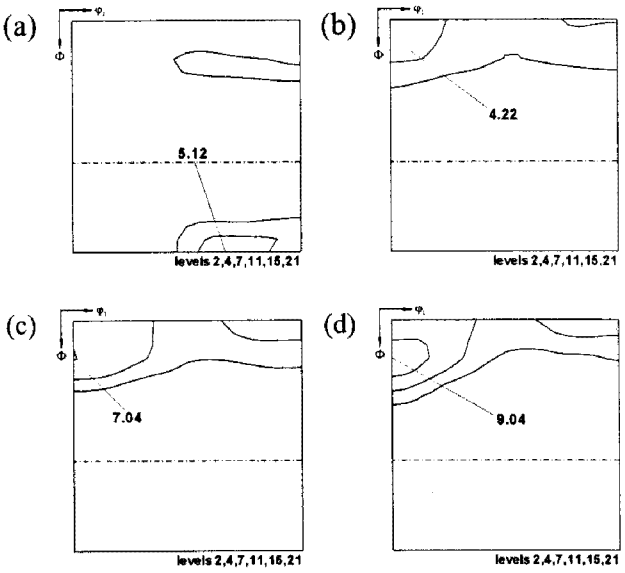

Fig. 2. Evolution of hot rolling texture of WOL Sample. (a) s=0, (b) s=0.5, (c) s=0.7, (b) s=0.9

윤활 열간 압연과는 다르게 무윤활 열간압연의 경우 두께 층에 따라 전혀 다른 집합조직이 형성되었다. 중앙 층(s=0)은 윤활 시편과 같이 β-fiber 집합조직이 발달하였으며 중간 층에서 표면 층(s=0.5~1)까지는 β-fiber 로부터 벗어난 {001}<110> Rotated cube 가 강하게 발달하였다.

압연재 전 층에서의 집합조직의 분포를 알아보기 위해서 EBSD 를 이용하여 TD 면을 측정하였다.

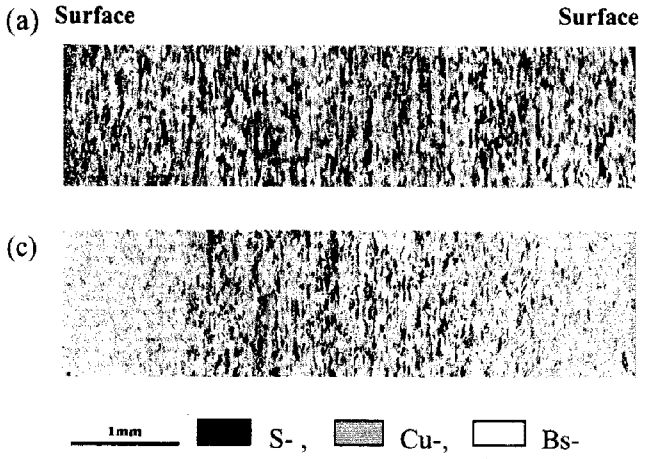

Fig. 3. EBSD mapping of rolling texture components. (a) WL sample and (b) WOL sample.

Fig 3 은 EBSD 측정 결과를 β-fiber 방위에 속하는 S-, Cu-, Bs- 방위로 표현 한 것이다. Fig. 3.에서 각각의 방위 이외에 흰 색으로 나타낸 부분은 β-fiber 방위로부터 20° 이상 벗어난 방위들이다.

윤활 열간 압연을 실시한 압연재의 경우 Fig. 1. 에서 볼 수 있었던 것처럼 압연재의 전 층에 β-fiber 에 속하는 방위들이 균일하게 발달하였다.

반면에 무윤활 열간 압연재의 경우 표면 층에서 중간 층 까지는 β-fiber 로부터 벗어난 방위들이 분포하며, 중앙 층에는 β-fiber 에 속하는 방위들이 강하게 발달함으로써 무윤활 열간 압연재는 두께 층에 따라 방위적으로 분리된 영역의 특성을 보인다.

앞에서 말한 것처럼 방위회전에 의한 집합조직의 형성은 외부로부터의 열·기계적 변형상태에 따라 변화한다. 따라서 열간 압연 시 두께 층에 따라 상이한 집합조직 발달하였다면, 두께 층에 따라 다른 변형상태가 작용 하였음을 의미한다.

열간 압연 중 발생하는 이러한 두께 층에 따른 변형상태를 해석하기 위해서 상용 Deform-2D Ver. 8.1 을 이용하여 Finite element method (FEM) simulation 을 실시 하였다.

평면변형에서부터 벗어난 변형상태는 전단변형률 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 에 기인함이 분명하다. 이러한 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 는 $\dot{\varepsilon}_{13} = 0.5\cdot(\dot{e}_{13}+\dot{e}_{31})$ 이다. 압연재와 롤 사이에 작용하는 마찰은 $\dot{e}_{13}$ 의 크기에 영향 미치며, 롤과 압연재의 기하학적인 형상은 $\dot{e}_{31}$ 에 영향을 준다.

따라서 무윤활 열간압연과 같이 롤과 압연재 사이에 작용하는 마찰력이 크다면 $\dot{e}_{13}$ 이 증가하게 되고 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 이 증가하게 되는 것이다.

압연중 롤의 입구와 출구 사이에서 압연재와 롤 사이에 작용하는 마찰이 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다양한 마찰계수 μ 에서 실험과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 실시 하였다.

Fig. 4.에서는 마찰계수 μ 가 각각 0.2 와 0.4 의 값을 가질 때 압연재 내에서의 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 의 변화를 보여준다.

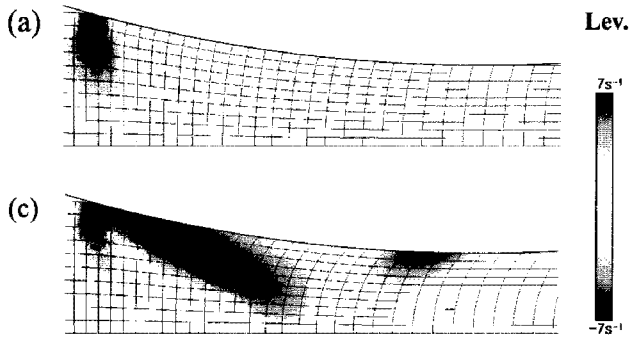

Fig. 4. Distribution of $\dot{\varepsilon}_{13}$ in a roll gap. (a) WL sample and (b) WOL sample.

Fig. 4.의 FEM 시뮬레이션 결과 압연 중 롤의 입구와 출구의 영역 안에서 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 은 압연재에 두께 층에 따라 다르게 작용한다. 또한 마찰이 높을수록 $\dot{\varepsilon}_{13}$ 의 변화는 심화되며, 두께 층에 따른 변형상태는 더욱 불균일 하게 됨을 알 수 있다.

기존의 연구에서 보고되었듯이, 압연중의 집합조직의 형성은 I_{13}/I_{11} 의 비율에 크게 의존한다. 여기서 I_{ij} 는 $|\dot{\varepsilon}_{ij}|$ 를 의미한다.

다양한 마찰계수에서 DEFORM 으로부터 계산된 이러한 I_{13}/I_{11} 의 비율이 Fig. 5.에 표시 되었다.

모든 마찰계수 조건에서 I_{13}/I_{11} 은 표면 층 (s=1) 부근에서 가장 높게 나타나며, 중앙 층 (s=0) 에서 가장 낮은 값을 갖는다. 또한 압연시의 높은 마찰계수 조건은 두께 층에 따른 응력 변형 상태의 변화를 크게 한다. 일반적으로 I_{13}/I_{11} 의 값이 0.5 를 초과할 때 전단집합조직이 발생하는 것

으로 보고 되고 있다.

윤활 열간 압연의 경우 압연재의 두께 층에 따른 집합조직의 분포는 전 층에 압연집합조직이 우세하게 발달 하였기 때문에 I_{13}/I_{11} 는 0.5 를 초과 하지 않을 것으로 보인다[7].

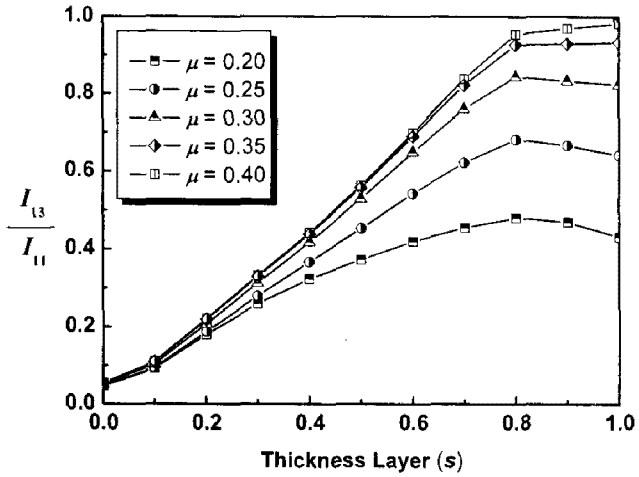

Fig. 5. Variation of I_{13}/I_{11} at thickness layers s with different frictional coefficients μ.

따라서 Fig. 5.의 마찰계수에 따른 I_{13}/I_{11} 의 값과 비교를 하였을 때 윤활 열간 압연 조건의 마찰계수 $\mu = 0.2$ 이하였을 것으로 보인다.

반면에 무윤활 열간 압연의 경우 중간층(s=0.5) 부근까지 전단 집합조직이 형성 되었으므로, μ = 0.35 나 그 이상이 될 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 집합조직이 외부에서 가해진 열·기계적 조건에 따라 변화함을 바탕으로 AA 1050 알루미늄의 열간 압연 중 윤활조건이 압연재의 두께 층에 따라 변화하는 변형상태와 집합조직에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 알아 보아다.

(1) 윤활 열간 압연을 한 압연재는 모든 두께 층에 평면변형에 의해 발생하는 압연 집합조직이 균일하게 발달하였다. 반면에 무윤활 열간 압연을 한 압연재는 중앙 층(s=0)에는 압연집합조직이 중간 층부터 표면 층까지는 압연집합조직에서 벗어난 Rotate Cube {001}<110>방위가 생성 되어 두께 층에 따라 상이한 집합조직이 발달 하였음을 알 수 있다.

(2) DEFORM-2D 를 이용하여 무윤활 열간압연을 실시한 결과, 표면 층에서 전단 변형에 의한 {001}<110>방위의 생성 원인은 압연재와 압연롤 사이에 작용하는 마찰에 의해서 이며, 압연롤과 압연재 사이에 작용하는 마찰이 높을수록 압연재의 표면 층에서 중앙 층까지 평면변형으로부터 벗어난 변형 상태는 더욱 크게 작용하게 된다.

(3) I_{13}/I_{11} 의 값을 비교해 보았을 때 전 층에 압연 집합조직이 발달한 윤활 열간압연의 경우 $\mu = 0.2$ 혹은 그 이하 일 것으로 보이며, 무윤활 열간 압연의 경우 $\mu = 0.35$ 혹은 그 이상 이었을 것을 보인다.

참 고 문 헌

[1] O. Engler, M. Y. Huh, C. N. Tomé, 2000, A Study of Through-Thickness Texture Gradients in Rolled Sheets, Metall. and Mater. Trans. 31A, pp.2299-2315.

[2] M. Y. Huh, J. C. Park, S. Lee, 1996, Interpretation of Hot Rolling and Annealing Texture in High Purity Aluminum, Met. & Mater. 2, pp.141-150.

[3] O.V. Mishin, B. Bay, G. Winther, D. Juul Jensen, 2004, The effect of roll gap geometry on microstructure in cold-rolled aluminum, Acta Materialia 52, pp.5761–5770

[4] M. Y. Huh, Y. S. Cho, O. Engler, 1998, Effect of lubrication on the evolution of microstructure and texture during hot rolling and recrystallization of copper, Mater. Sci. Eng. A247, pp152-164.

[5] M. Y. Huh, H.C. Kim, J. J. Park, O. Engler, 1999, evolution of through-thickness texture gradients in various steel sheet. Met & Mater. 5, pp. 437-443.

[6] V. Randle, O. Engler, 2000, Introduction to texture analysis, Macrotexture, Microtexture and Orientation Mapping, Gordon and Breach.

[7] J.K. Kim, M. Y. Huh, K. K. Jee, O. Engler, Texture evolution during rolling roll-cladding of compsite of five piles of ferritic stainless steel and aluminum sheets, Mater. Sci. Forum. 495-497, pp.1681-1686.