

고속열간압연가공된 AA1050의 두께방향으로의 변형량 및 미세조직 변화

이 성 희[†]

목포대학교 신소재공학과

Through-Thickness Variation of Strain and Microstructure of AA1050 Processed by High Speed Hot Rolling

Seong-Hee Lee[†]

Department of Advanced Materials Science and Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Chonnam, 534-729, Korea

(2008년 7월 29일 접수 : 2008년 9월 1일 최종수정 : 2008년 9월 2일 채택)

Abstract The through-thickness variations of strain and microstructure of high-speed hot rolled 1050 pure aluminum sheet were investigated. The specimens of 1050 aluminum were rolled at temperatures ranging from 410 to 560°C at a rolling speed of 15 m/s without lubrication and quenched in water at an interval of 30ms after rolling. The redundant shear strain induced by high friction between rolls and the aluminum sheet was increased largely beneath the surface at a rolling reduction above 50%. Recrystallization occurred in the surface regions of the specimen rolled to reduction of 65% at 510°C, while only recovery occurred in the other regions.

Key words high-speed hot rolling, strain, pure aluminum, microstructure.

1. 서 론

최근 지구온난화 문제가 국내외적으로 큰 이슈가 되면서 그 주범인 CO₂가스의 배출을 감소시키고자 하는 연구가 다방면으로 이루어지고 있다. 특히, 자동차와 같은 수송 기기의 경우 차체를 경량화하면 CO₂가스 배출량을 줄일 수 있고 연료비도 절감할 수 있으므로 자동차 경량화에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁻³⁾ 자동차 경량화의 접근 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나 가장 쉽게 접근할 수 있는 방법 중의 하나가 종래에 많이 사용하던 철강 재료의 대체재료를 비중이 철강재료의 약 1/3에 불과한 알루미늄합금을 사용하는 것이다. 그러나 알루미늄합금의 경우 강도와 성형성 면에서 철강재료에 비해 크게 떨어진다. 알루미늄합금의 성형성을 향상시키기 위해서는 {111}//ND 집합조직을 발달시켜 소성변형비(r-value)를 증가시킬 필요가 있다.¹⁻⁵⁾ 그러나 알루미늄은 순금속형(Cu-type) 압연집합조직을 나타내므로 압연 시에 발달하는 대표적인 집합조직 성분은 {112}<111>, {123}<634>, {110}<112> 등이며 {111}//ND 집합조직은 발달하지 않

는다. 그러나 압연롤과 재료 사이의 마찰계수가 큰 압연 또는 롤간극형상비(1/h)가 작은 압연에서는 판재의 표면 부근에 통상의 압연집합조직과 다른 전단집합조직이 발달하여 두께방향으로 불균일한 집합조직이 발달하게 된다.^{1,6,7)} 이 때 표면 부위에 발달하는 집합조직 성분 중에 성형성 향상에 도움이 되는 {111}<110> 방위도 포함되어 있으므로 이를 적극 활용하고자 하는 연구가 최근 많이 이루어 지고 있다.^{4,8,9)}

금속재료의 열간압연의 경우, 압연롤과 판재 사이에 높은 마찰계수로 인하여 부가적 전단변형이 도입된다.⁹⁾ 이 전단변형량은 압축변형과 중첩되어 실효적 변형량, 즉 상당변형량을 증가시킬 뿐 아니라 변형양식을 바꿈으로 재료의 미세조직 및 집합조직에도 큰 영향을 준다. 특히, 고속열간압연의 경우 전단변형량이 판재의 두께방향에서 표면부위에 집중되는 경향이 있어 초미세한 결정립이 형성하는 등 매우 다른 조직을 형성하는 경향이 있다.¹⁰⁾ Sakai 등은 오스테나이트계 스텐레스강에 고속열간압연을 실시하여 전단변형량이 증가할수록 {111}//ND 및 {100}//ND 성분이 발달한다고 보고하고 있다.¹¹⁾ 이와 같이 고속열간압연을 행할 경우 일반 열간압연과 다른 미세조직 및 집합조직 특성을 나타낸다. 본 연구에서는 AA1050 알루미늄에 고속열간압연을 적용하여 두께방향으로의 변형량 변화 및 미세조직 변화를 조사하였다.

[†]Corresponding author

E-Mail : shlee@mkpo.ac.kr (S. H. Lee)

2. 실험 방법

실험에 사용된 재료는 냉간압연 후 완전 어닐링된 두께 3 mm, 폭 28 mm, 길이 300 mm의 공업용 1050 알루미늄 판재(순도 99.58%)이다. 열간압연의 열이력곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 압연은 시편을 510°C에서 20분간 균일화처리를 실시한 후, 410°C, 460°C, 510°C의 각 온도에서 압하율 20~65% 범위에서 실시하였으며, 압연속도는 15 m/sec의 고속으로 실시하였다. 본 연구에 사용된 열간압연기의 롤 직경은 530 mm, 롤 폭은 120 mm이었으며, 압연된 시편은 압연기에 부착되어 있는 수냉식 스프레이 쿨러 장치를 이용하여 30 ms의 매우 짧은 시간 내에 냉각되었다.

2.1 두께방향으로의 전단변형량 측정

두께방향으로의 변형량 분포를 측정하기 위하여 압연 전에 판재의 폭 방향의 중심부에 직경 약 2 mm의 구멍을 뚫어 시편과 같은 재질의 핀(환상의 봉)을 심어 넣었다. 열간 압연 후에 이 핀의 완곡형상으로부터 좌표를 읽어 임의의 점에서의 전단변형량을 구하였다. 이 때 전단변형량(γ)은 다음과 같은 세가지 가정 하에 구하였다.¹²⁾

- (1) 압연 중에 압하변형량증분과 전단변형량증분과의 비는 일정하다.
 - (2) 압하변형량증분은 판재의 두께방향으로 일정하다.
 - (3) 평면변형량 조건이다.
- 이상과 같은 가정하에서 전단변형량 γ 는

$$\gamma = \frac{2(1-r)^2}{r(2-r)} \tan\theta \cdot \ln \frac{1}{1-r} \quad (1)$$

에 의해 산출되었다. 여기서, r 는 압연 압하율이고, θ 는 핀의 접선의 기울기이다.

2.2 조직관찰

미세조직은 압연방향과 평행하게 횡단면으로 시편을 잘라 (TD면) 연마작업으로 경면을 만든 후 불화붕소산(HBF₄ 4%+H₂O 96%) 으로 전해부식하여 광학현미경으로 관찰하였다.

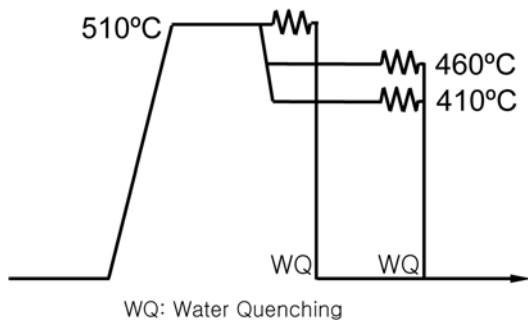


Fig. 1. Schematic representation of experimental procedure.

3. 결과 및 고찰

3.1 두께방향으로의 변형량 분포

Fig. 2는 압연 압하율이 두께방향으로의 전단변형량의 분포에 어떤 영향을 주는지 각 온도별로 나타낸 것이다.

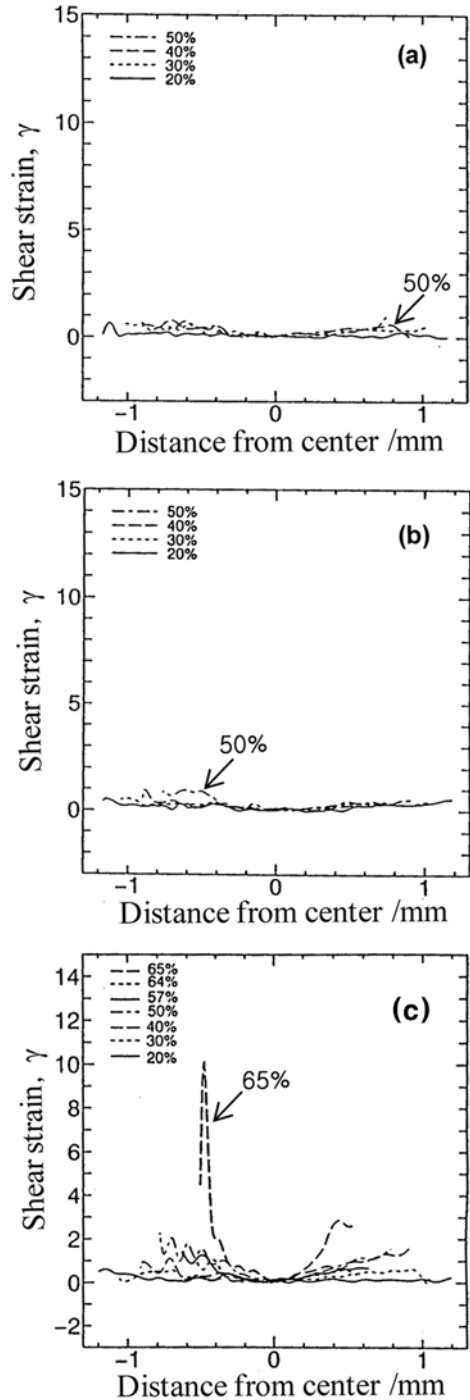


Fig. 2. Through-thickness variation of shear strain after high-speed hot rolling of AA1050. Rolled at 410°C (a), 460°C (b) and 510°C (c), respectively.

그림에서 보는 바와 같이 410°C, 460°C의 경우에는 압하율이 20%에서 50%까지 높아져도 도입된 전단변형량의 크기가 아주 작으며 두께방향으로 큰 변화가 없었다. 그러나 510°C의 경우에는 압하율이 증가함에 따라 전단변형량의 크기가 특히 표면 부위에서 점차적으로 증가하여 압하율 65%에서는 전단변형이 매우 크고 비대칭적으로 도입되는 것을 알 수 있다. 여기서 10 정도의 매우 큰 전단변형량이 도입된 것은 압연 중에 재료와 롤 간의 순간적인 소착(燒着)현상이 발생한 것에 기인한 것이라 사료된다. Fig. 3에 압연압하를 증가에 따른 상당변형량의 크기를 각 온도별로 나타내었다. 여기서 상당변형량의 크기는 다음 식에 의해 구하였다.

$$\bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\ln \frac{1}{1-r}\right)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \quad (2)$$

여기서, γ 는 식 (1)에서 구한 전단변형량값이고, r 은 압연압하율이다.

그림에서와 같이, 상당변형량도 전단변형량의 경우와 유사하게 410°C, 460°C에서는 압하율이 증가해도 두께방향으로 큰 변화를 보이지 않으나, 단지 압하율 증가에 따른 압축변형량의 증가분만큼 상당변형량의 크기도 증가하는 것이 뚜렷하게 관찰된다. 510°C의 경우 전단변형량에서 언급한 것과 동일하게 적용할 수 있으나, 단지 압축변형량이 가산되었으므로 두께방향으로의 굴곡정도가 작아져 있는 것을 알 수 있다. 또한, 여기서도 압하율이 증가함에 따라 상당변형량의 크기가 증가하는 것이 뚜렷하게 관찰된다.

3.2 미세조직

Fig. 4에 410°C에서 열간압연된 AA1050 판재의 표면부근과 중심부위에서 촬영한 광학현미경 조직사진을 나타내었다. 그림에서와 같이 모든 압연압하율에 있어서 표면부근과 중앙부위 사이에 미세조직의 큰 차이가 없었다. 20%의 압하율에서는 결정립이 압연방향으로 다소 연신되어 있으며 표면부위의 결정립 크기가 다소 미세하지만 표면부위와 중앙부위 모두에서 재결정조직이 거의 그대로 남아 있는 것을 알 수 있다. 그러나 30%의 압하율의 경우, 압연방향으로의 연신 정도가 크며 전형적인 가공조직을 나타낸다. 또한, 압하율이 증가함에 따라 더욱 뚜렷한 가공조직을 나타내지만, 압하율 50% 시편의 표면부위에서는 동적회복(dynamic recovery)이 발생하여 화살표로 표시한 바와 같이 거친 입계를 가진 결정립들도 일부 관찰된다. Fig. 5에 460°C 압연판재에서 관찰된 조직사진을 나타내었다. 이 경우도 410°C 압연판재에서와 유사하게 표면부근과 중심부위에서 미세조직상의 큰 차이는 나타나지 않았다. 또한, 410°C에서와 유사하게 압하율이 증가함에 따라 압연방향으로의 결정립계의 연신

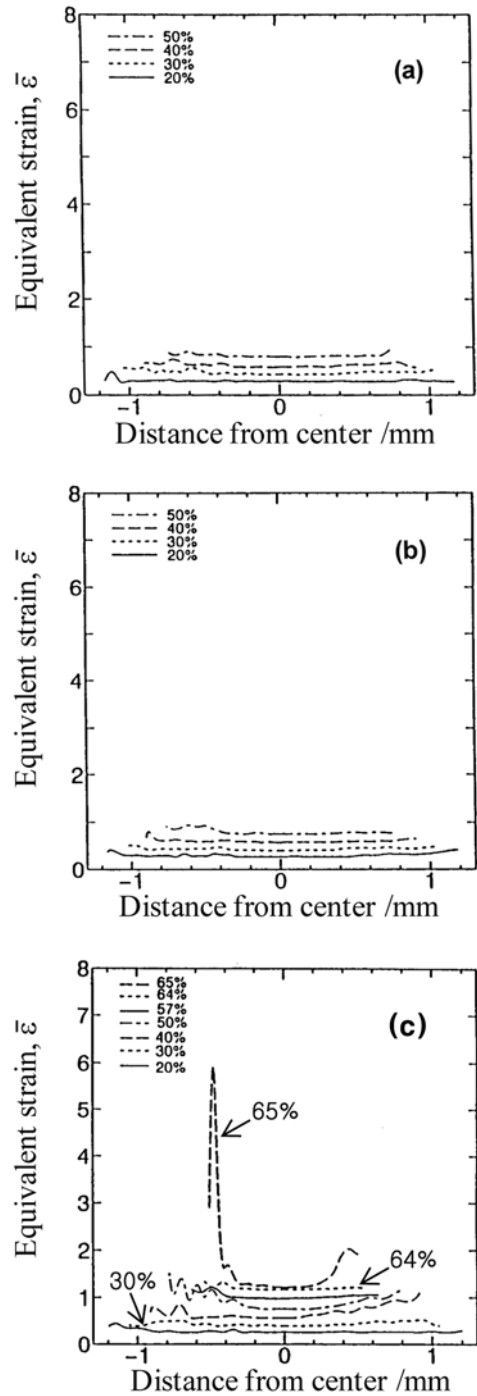


Fig. 3. Through-thickness variation of equivalent strain after high-speed hot rolling of AA1050. Rolled at 410°C (a), 460°C (b) and 510°C (c), respectively.

정도가 증가하는 것이 확연히 관찰된다. 다만, 40% 이상의 압하율에서 압연된 시편의 표면부위와 중앙부위 모두에서 이미 동적회복이 발생하여 결정립계가 다소 거친 형상을 나타내는 것을 알 수 있다. Fig. 6에 510°C 압연판재의 조직사진을 나타내었다. 이 경우는 40% 및 50%

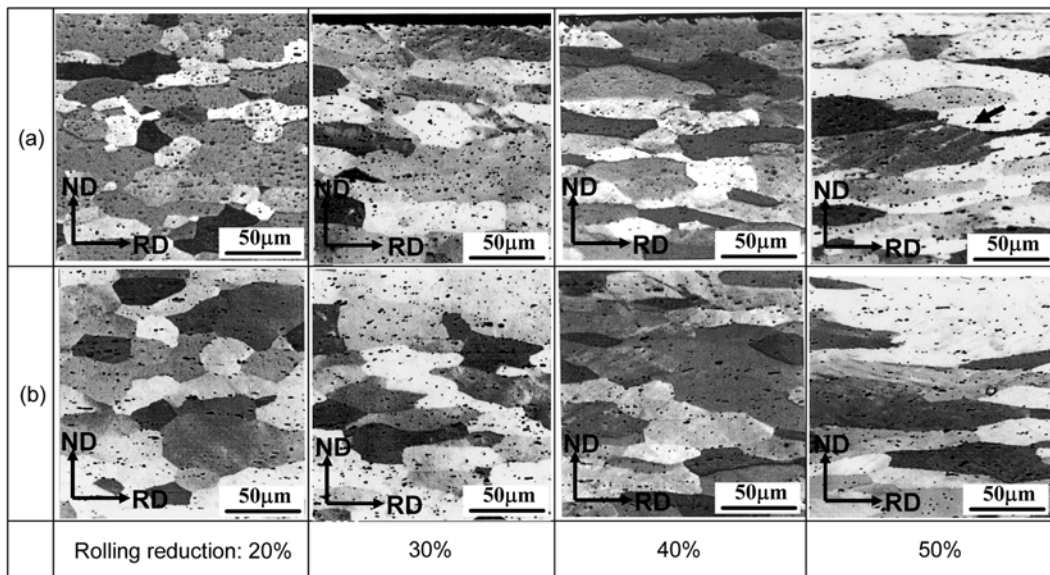


Fig. 4. Optical microstructures observed near surface (a) and center (b) of the plane perpendicular to transverse direction (TD plane) of AA1050 after high-speed hot rolling at 410°C.

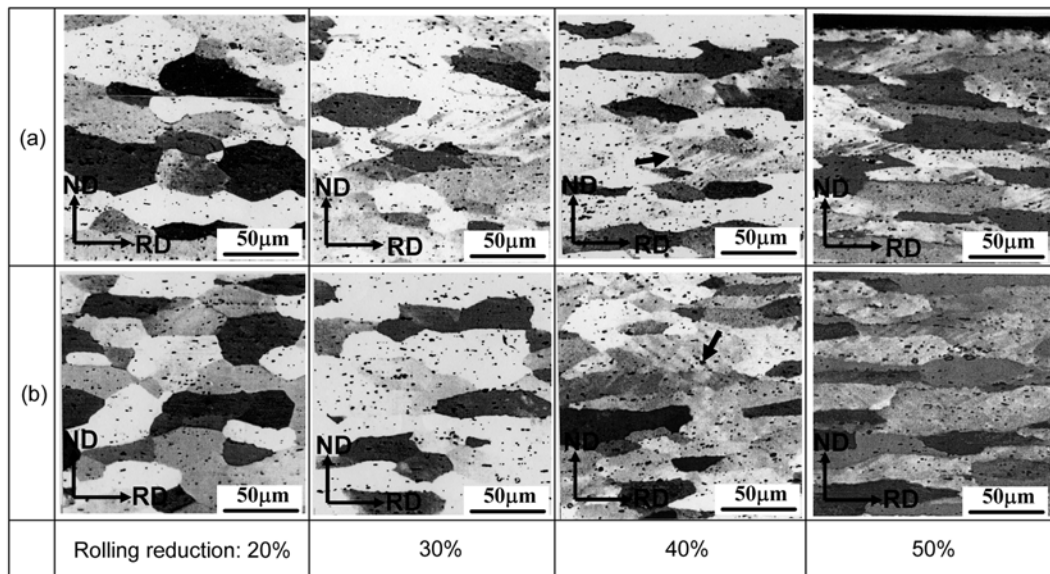


Fig. 5. Optical microstructures observed near surface (a) and center (b) of the plane perpendicular to transverse direction (TD plane) of AA1050 after high-speed hot rolling at 460°C.

압하율에서 중심부위에 비해 표면부위의 결정립경이 다소 미세한 경향을 나타낸 것 외에는 압하율 50%까지는 압하율 증가에 따른 미세조직의 변화가 460°C의 경우와 매우 유사하였다. 그러나 65%의 압하율에서는 중심부위와 표면부위에서 매우 다른 조직을 나타내었다. 즉, 중심부위는 다른 온도에서의 경우와 마찬가지로 결정립이 압연 방향으로 크게 연신되어 있고 동적회복이 발생하여 결정립계의 거칠기가 현저한 모양을 나타내지만, 표면부위는 동적 재결정(dynamic recrystallization)이 발생하여 등축(equiaxed)

의 결정립 모양을 나타낸다. 이처럼 표면부위에서 재결정이 발생한 것은 앞에서 언급한 바와 같이 롤과 재료 간에 순간적인 소착현상으로 인해 표면부위에 부가적 전단변형량이 과도하게 도입되어 기하학적으로 필요로 하는 전위¹³⁾(geometrically-necessary dislocation, g-n 전위)의 양이 다량으로 도입되었기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 7에 표면부위의 재결정 발생 상황을 압연온도와 압하율 관계로 정리한 것이다. 그림에서와 같이 재결정은 압연 온도 510°C, 압하율 60% 이상에서 발생함을 알 수 있다.

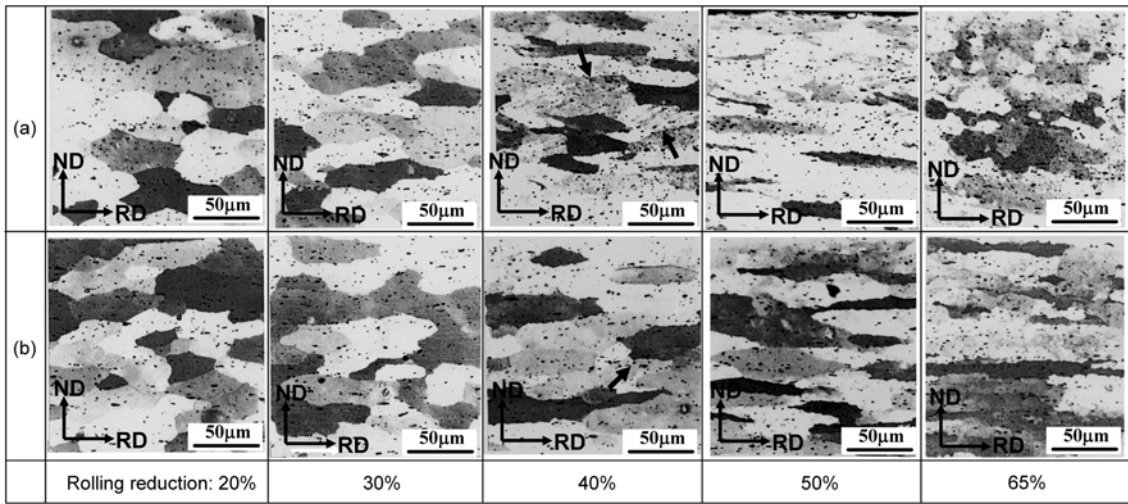


Fig. 6. Optical microstructures observed near surface (a) and center (b) of the plane perpendicular to transverse direction (TD plane) of AA1050 after high-speed hot rolling at 510°C.

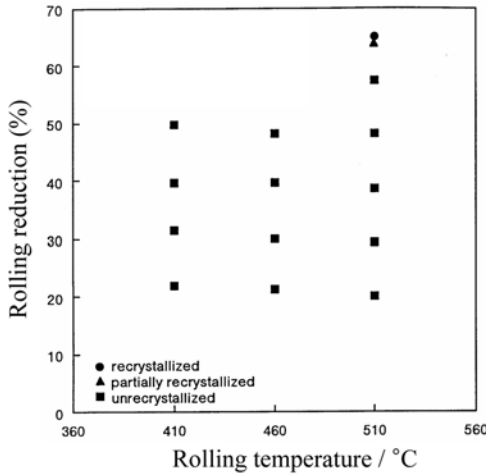


Fig. 7. Effect of rolling reduction and rolling temperature on recrystallization of high-speed hot rolled AA1050.

4. 결 론

AA1050 순알루미늄을 410°C, 460°C, 510°C의 각 온도에서 20~65% 압하율로 고속열간압연을 실시하여, 두께방향으로의 변형량 및 미세조직 변화를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 410°C, 460°C의 경우에는 압하율이 20%에서 50%까지 높아져도 도입된 변형량의 크기가 매우 작았으며 두께방향으로 큰 변화가 없었으나 510°C의 경우에는 압하율이 증가함에 따라 전단변형량 및 상당변형량의 크기가 특히 표면 부위에서 점차적으로 증가하였다.

(2) 압하율이 30%이하의 시편의 경우, 모든 온도에서 가공 조직을 나타내었으나, 압하율이 증가함에 따라 회

복 및 재결정조직으로 변화하였으며 그 정도는 두께방향의 위치 및 압연온도에 따라 다소 차이가 있었다.

(3) 압연온도 510°C, 압하율 65% 에서 열간압연된 시편의 표면부근에서 동적재결정이 발생하였으며, 이것은 압연시 비정상적으로 과도하게 도입된 부가적 전단변형량에 기인한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. W. C. Liu, B. Radhakrishnan, Z. Li and J. G. Morris, *Mater. Sci. Eng.*, **A472**, 170 (2008).
2. S. B. Kang and H. W. Kim, *Bull. Kor. Inst. Met. & Mater.*, **10**, 761 (1997).
3. H. S. Ko, S. B. Kang and H. W. Kim, *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, **35**, 1699 (1997).
4. J. K. Lee and D. N. Lee, *Inter. J. Mech. Sci.*, **50**, 869 (2007).
5. H. Utsunomiya, T. Ueno and T. Sakai, *Scripta. Mater.*, **57**, 1109 (2007).
6. I. L. Dilamore and W. T. Roberts, *Acta Metall.*, **12**, 281 (1964).
7. W. Truskowski, J. Krol and B. Major, *Metall. Trans.*, **11A**, 749 (1980).
8. T. Sakai, S. Hamada and Y. Saito, *Pro. 6th Int. Conf. on Aluminum Alloys (ICAA-6)*, 1161 (1998).
9. S. H. Lee and T. Sakai, *Met. & Mater. -Int.*, **14**, 263 (2008).
10. T. Sakai, Y. Saito and K. Kato, *Trans. ISIJ*, **27**, 520 (1987).
11. T. Sakai, Y. Saito, M. Matsuo and K. Kawasaki, *ISIJ Inter.*, **31**, 86 (1991).
12. T. Sakai, Y. Saito K. Hirano and K. Kato, *Trans. ISIJ*, **28**, 1029 (1987).
13. M.F. Ashby, *Phil. Mag.*, **21**, 399 (1970).