

비대칭 압연 패스 회수에 따른 AA1050 Al 판재의 집합조직 과 소성변형비 변화

남수권¹ · 정해봉¹ · 김인수[#]

Texture and Plastic Strain Ratio Changes with the Number of Passes of Asymmetric Rolling in AA1050 Al Alloy Sheet

Su Kwon Nam, Hae Bong Jeong, Insoo Kim

(Received October 12, 2010 / Revised October 21, 2010 / Accepted October 26, 2010)

Abstract

The physical and mechanical properties and formability of sheet metals depend on preferred crystallographic orientations (texture). In this research work, the texture development and formability (plastic strain ratios) of AA1050 Al alloy sheets after 3 and 10 passes of asymmetric rolling and subsequent heat treatment were investigated. The plastic strain ratios of 10 passes asymmetrically rolled and subsequent heat treated samples are 1.3 times higher than those of the initial AA1050 Al alloy sheets. The Δr of 10 passes of asymmetrically rolled and subsequent heat treated samples is 1/30 times lower than those of the initial AA1050 Al alloy sheets. The plastic strain ratios of 10 passes of asymmetrically rolled and subsequent heat treated Al sheets are higher than those of 3 passes ones. These results could be attributed to the formation of γ -fiber, ND//<111>, and the other texture components by means of asymmetric rolling in Al sheets.

Key Words : Texture, AA 1050 Al Alloy, Asymmetric Rolling, Friction, Plastic Strain Ratio, Formability

1. 서 론

알루미늄 합금은 비중이 낮아 제품을 경량화하여 에너지 효율을 높여 연비를 향상시키고 CO₂ 에 의한 환경 오염을 줄이는데 철강 소재를 대체할 재료로 각광을 받고 있다. 그러나 어닐링한 알루미늄 판재의 성형성을 나타내는 소성변형비(r 값 또는 Lankford parameter)가 강판보다 낮아 산업화에 어려움을 겪고 있다[1~2]. 일반적으로 완전 어닐링한 알루미늄 판재는 입방집합조직인 {001}<100> 성분이 많아 소성변형비가 낮고 성형성이 나쁘며 강판의 경우 ND//<111>집합조직인 γ -fiber 성분이 많아 높은 소성변형비를 얻을 수 있어 성형성이 높다고 알려져 있다[1,3]. 그러므로 많은 연구자들이

알루미늄 합금 판재를 비대칭 압연의 전단변형을 이용하여 ND//<111>집합조직인 γ -fiber 성분을 증가시켜 소성변형비를 높이기 위한 연구를 계속해 왔다[4~11].

일반적으로 FCC 결정구조인 알루미늄을 비대칭 압연하면 평균 소성변형비가 낮은 회전 입방집합조직인 {001}<110>과 동시에 평균 소성변형비가 높은 ND//<111>집합조직인 γ -fiber 가 잘 발달된다고 알려지고 있다[3~11]. 특히 압연에서 금속판재의 표면은 압연기의 롤 표면과 마찰에 의하여 전단변형이 일어나기 때문에 γ -fiber 집합조직이 잘 발달하여 소성변형비가 높아진다. 따라서 본 연구에서는 AA 1050 알루미늄 합금판재를 비대칭 압연에 의한 전단변형 효과와 롤과 알루미늄판재

1. 금오공과대학교 신소재시스템공학부

교신저자: 금오공과대학교 신소재시스템공학부,

E-mail: iskim@kumoh.ac.kr

사이에서 일어나는 마찰에 의한 표면 층의 전단 변형 효과에 의한 소성변형비에 미치는 복합적인 영향을 알아 보기 위하여 3회 패스할 때와 10회 패스 비대칭 압연 할 때 집합조직과 소성변형비의 변화에 대해 알아 보고 성형성의 변화를 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 두께 3mm 인 AA 1050 알루미늄 합금 판재를 사용하였다. 알루미늄 판재를 압연 방향을 표시하고 60mm×40mm×3mm 크기로 절단하여 초기시편(initial specimen)이라고 이름을 붙였다. 초기시편의 압연은 상하 롤의 1:1 지름 크기 비율과 1:3 롤 속도 비율로 하였다. 무윤활 비대칭 압연으로 최종 압하율을 90%까지 하였으며 압연에서 패스당 압하율을 두 가지 방법으로 달리하였다. 여기서 압연 과정에서 무윤활 상태는 롤과 시편 사이에 높은 마찰계수를 얻기 위한 조건이다. 무윤활 비대칭 압연의 첫 번째는 각 회 압연 시 50% 압하율 이상으로 하여 총 3 회 패스 함으로서 최종 90%의 압하율이 되도록 하였다. 두 번째는 각 회 압연 패스 시 10% 압하율 이상으로 총 10 회 압연하여 최종 90% 압하율이 되도록 비대칭 압연하였다. 비대칭 압연 패스의 회수를 달리한 두 가지 시편은 각각 350°C 에서 30 분, 400°C 에서 60 분 동안 염욕에서 열처리 후에 집합조직의 변화를 측정했다. 알루미늄 판재는 압연 후 ND (Normal Direction)에 수직인 면의 극점도를 측정하였다. 비대칭 압연 판재에서 압연 롤에 의한 표면의 거칠기 영향을 제거하기 위하여 두께 층의 표면으로부터 위 아래 층에서 1/10 두께를 기계 및 화학적인 방법으로 제거하고 각각을 S=±0.9 으로 하고 중간 층인 1/2 두께 층을 S=0 로 이름을 붙였다. 이들 3 가지 각 층의 시편들은 Co-K α X-선의 Schultz 반사법을 이용하여 (111), (200) 및 (220) 불완전 극점도를 측정하였다. 측정된 극점도를 바탕으로 Bunge 방법[12]을 이용하여 방위분포함수(Orientation Distribution Function, ODF)를 얻어 소성변형비를 계산하고 집합조직과 소성변형비의 변화를 비교 분석하여 보았다.

여기서 소성변형비는 금속판재의 성형성을 나타내는 가장 중요한 파라메타 중의 하나이다. 소성변형비(r) 폭방향 진변형률/두께방향 진변형률로 나타낸다.

본 연구에서는 각 방향에서의 측정된 극점도 값을 이용하여 소성변형비를 계산하였다. 측정된 극점도를 이용하여 각 방향의 소성변형비로부터 평균 소성변형비(\bar{r} -value)와 Δr 값을 이용하여 구하였다.

$$\bar{r} = (r_0 + 2r_{45} + r_{90}) / 4, \quad \Delta r = (r_0 - 2r_{45} + r_{90}) / 2 \quad (1)$$

여기서 r_0 , r_{45} 및 r_{90} 는 각각 RD 에 0°, 45° 및 90° 방향으로 제작한 인장 시편에서 얻어진 소성변형비를 의미한다.

3. 결과 및 토의

Fig. 1 은 극점도를 자세히 분석하기 위하여 측정된 극점도를 바탕으로 방위분포함수(ODF)를 계산한 결과이다. Fig. 1 에 판재의 위와 아래 표면 층(S=±0.9)과 중간 층(s=0)의 방위분포함수(ODF)에서 집합조직의 발달을 잘 알아 볼 수 있는 단면인 $\Psi_2 = 0^\circ, 45^\circ, 65^\circ$ 에서 ODF 를 정리하였다. Fig. 1(a)는 초기시편의 방위분포함수로서 판재의 위 표면과 중간 층에 입방집합조직인 {001}<100>이 잘 발달하였고 아래 표면 층에도 {001}<100>이 발달하였다. Fig. 1(b, c)는 3 회 패스와 10 회 패스한 후 90% 비대칭 압연에서 ND//<111> 집합조직인 γ -fiber 와 회전 입방집합조직인 {001}<110>이 나타났다. Fig. 2(d, e)는 각각 3 회 패스 90% 비대칭 압연 후 350°C 에서 30 분 동안 열처리한 시편과 10 회 패스 90% 비대칭 압연 후 400°C 에서 60 분 동안 열처리한 시편으로 위 아래 표면 층에 ND//<111> 집합조직인 γ -fiber 와 회전 입방집합조직인 {001}<110>이 관찰되었고 중간 층에는 표면 층보다 약한 γ -fiber 와 회전 입방집합조직인 {001}<110>이 관찰되었다.

Fig. 2 는 각 시편에서 대표적인 집합조직의 방위분포함수 F(g)의 강도변화를 나타내었다. Fig. 2 에서 3 회 패스와 10 회 패스 후 90% 비대칭 압연한 시편과 열처리한 시편의 표면 층(s=±0.9)과 중심 층(s=0)에서 <110>/RD 집합조직인 α -fiber 와 ND//<111> 집합조직인 γ -fiber 가 대부분 증가하였다. 그러나 β -fiber 중 {011}<112> 집합조직은 초기시편을 기준으로 비대칭 압연 후와 열처리 후에 표면과 중간 층 모두에서 F(g)의 강도가 감소하는 경향을 보였으나 그 외 집합조직은 초기시편보다 열처리 전에는 감소하였고 열처리 후에는 증가하였다. 또 α -fiber 중 {001}<110> 집합조직은 10 회 패스에서 위 표면과 중심 층에서 비대

칭 압연 후 크게 증가 하였고 3 회 패스에서 아래 표면 층에서 크게 증가하였다. Fig. 2 에서 3 회 패스 90% 압연 후 350°C 에서 30 분 동안 열처리한

시편과 10 회 패스 90% 압연 후 400°C 에서 60 분 동안 열처리한 시편의 위 및 아래 표면과 중간 층에서 초기시편 보다 γ -fiber 가 높았다.

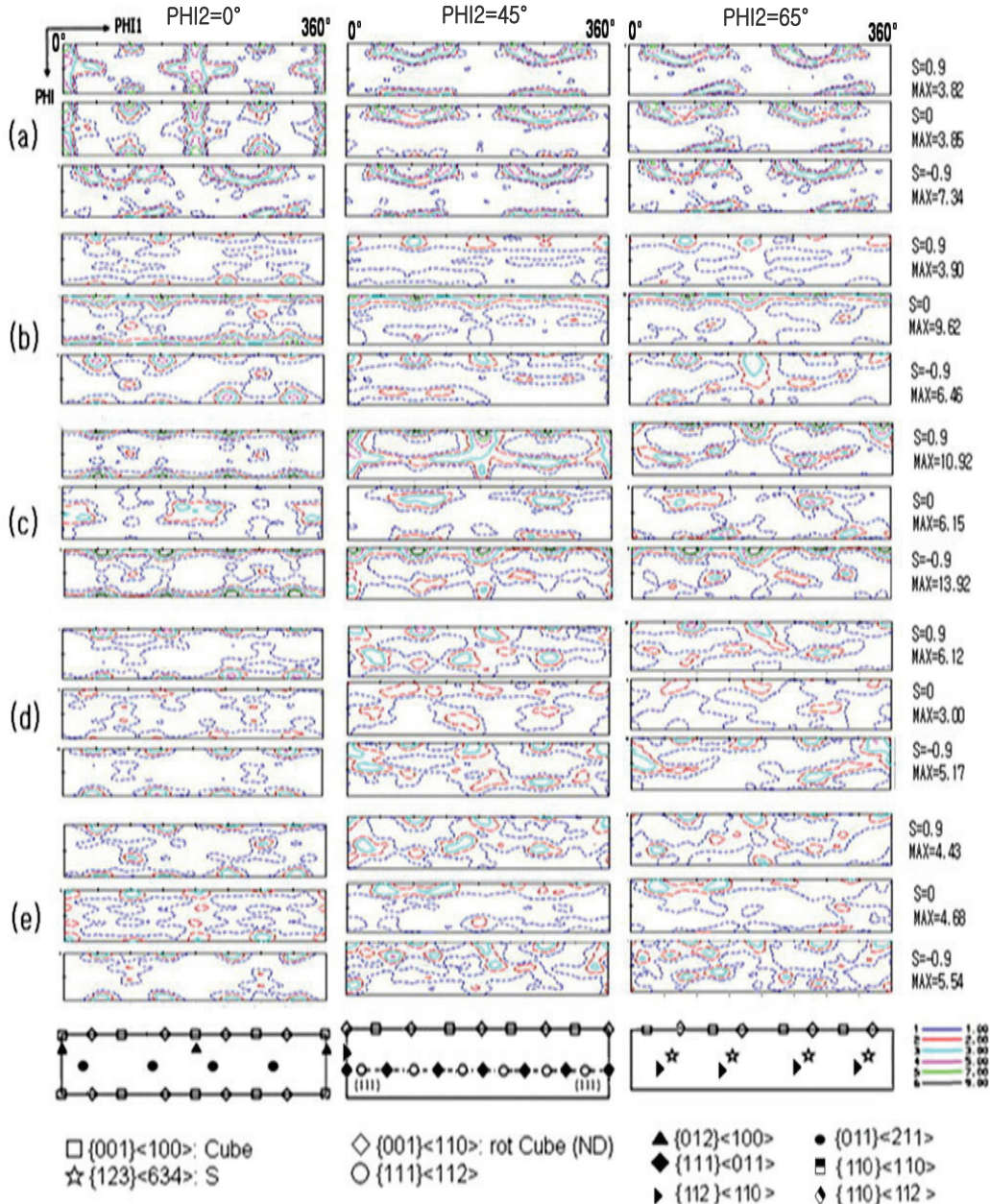


Fig. 1 ODF cutouts contours from one tenth thickness surface layer ($S=\pm 0.9$), center layer ($S=0$) of AA1050 Al alloy sheet: (a) initial specimen, (b) 90% asymmetric rolling(3 passes), (c) 90% asymmetric rolling(10 passes), (d) 90% asymmetric rolling(3 passes) and subsequent heat treated at 350°C for 30 minutes, (e) 90% asymmetric rolling(10 passes) and subsequent heat treated at 400°C for 60 minutes

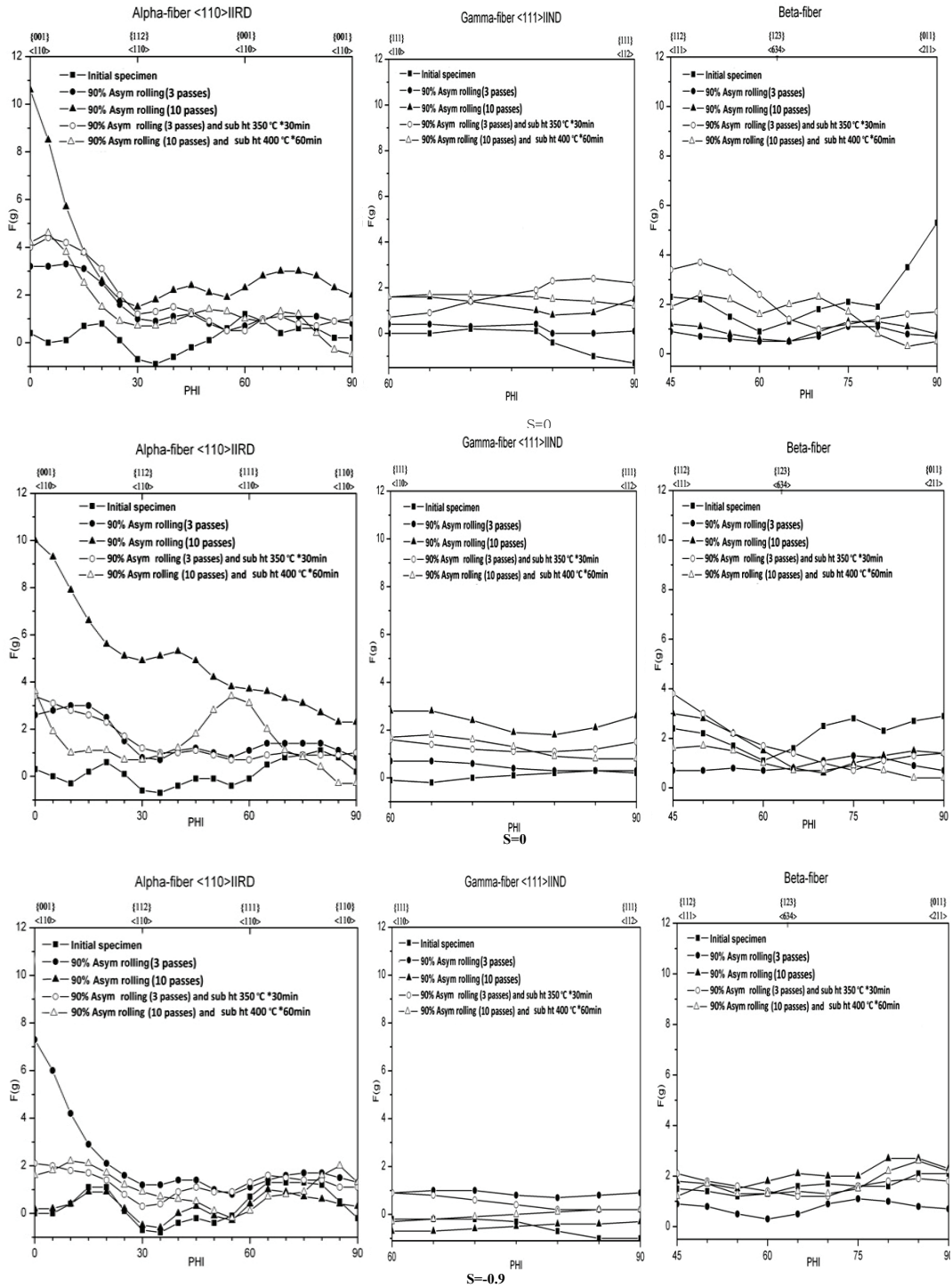


Fig. 2 Main texture component F(g) value variation based on ODF data, where $S=\pm 0.9$ are two side of one tenth surface layer and $S=0$ is center layer data

Table 1 The \bar{r} -values and $|\Delta r|$ variations of Al alloy before and after 90% asymmetric rolling and frictionally and asymmetrically mixed rolling and subsequent heat-treatment

Specimen conditions	r-value			\bar{r}	$ \Delta r $
	0°	45°	90°		
Initial specimen	0.85	0.23	1.37	0.67	0.88
90% asymmetric rolling(3 passes)	0.43	0.97	0.35	0.68	0.58
90% asymmetric rolling(10 passes)	0.40	1.07	0.47	0.75	0.63
90% asymmetric rolling(3 passes) and subsequent heat treatment at 350°C for 30 min.	0.83	0.94	0.68	0.84	0.18
90% asymmetric rolling(10 passes) and subsequent heat treatment at 400°C for 60 min.	0.70	0.87	1.11	0.88	0.03

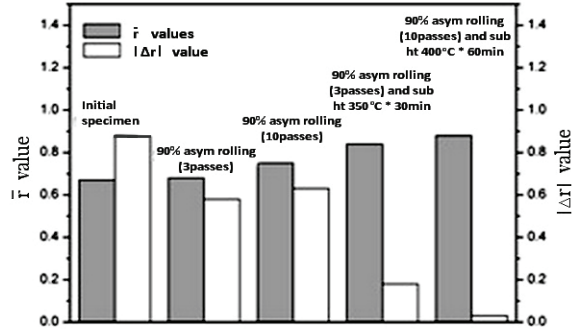
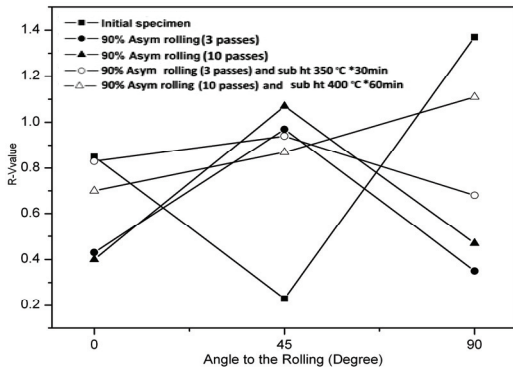


Fig. 3 R-value, \bar{r} -values and $|\Delta r|$ variations of AA 1050 Al alloy before and after 90% asymmetric rolling(3 passes) and 90% asymmetric rolling(10 passes) and subsequent heat-treatment

특히 10 회 패스 후 열처리한 시편의 표면 층 ($s = \pm 0.9$)과 중간 층 ($s = 0$)에서 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 집합조직 성분이 비대칭 압연한 시편 보다 크게 감소하였으나 3 회 패스 후 열처리한 시편에서는 비대칭 압연한 시편 보다 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 집합조직 성분이 증가하였다.

Fig. 1 의 ODF 의 자료를 이용하여 계산한 평균 소성변형비(\bar{r} -value)와 Δr 값의 절대값을 Fig. 3 과 Table 1 에서 나타내었다.

Table 1 에서 초기시편의 평균 소성변형비는 0.67 이고 3 회와 10 회 패스하여 90% 비대칭 압연한 시편의 평 소성변형비는 각각 0.68 과 0.75 이다.

3 회와 10 회 패스하여 90% 비대칭 압연 후 열처리한 시편은 각각 0.84 와 0.88 로서 10 회 패스 후 열처리한 시편은 초기시편보다 최대 1.3 배 정도 높게 나타났다. 3 회 및 10 회 패스 후 90% 비대칭 압연시편과 열처리한 시편에서 각각 평균

소성변형비가 초기시편보다 증가한 이유는 Fig. 2 에서 보인 바와 같이 비대칭 압연과 열처리 후 초기시편보다 $\langle 111 \rangle // ND$ 집합조직인 γ -fiber 발달과 관련이 있는 것으로 판단된다[1~3]. 10 회 패스 후 열처리한 시편이 3 회 패스 후 열처리한 시편의 평균 소성변형비는 10 회 때에서 약간 큰 값을 나타냈다. 이 현상도 3 회와 10 회 패스함에 따라 집합조직이 달라져서 일어난 현상으로 판단된다.

Fig. 3 과 Table 1 에서 알 수 있는 바와 같이 초기시편의 Δr 절대값은 0.88 이다. 또 10 회 패스하여 90% 비대칭 압연 후 열처리한 시편의 Δr 절대값은 0.03 이다. 그러므로 10 회 패스한 시편의 Δr 절대값이 초기시편의 1/30 정도로 낮아졌다. 이와 같은 현상은 비대칭 압연 후 열처리한 시편의 Δr 절대값의 변화는 회전 입방집합조직인 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 과 $ND // \langle 111 \rangle$ 집합조직인 γ -fiber 집합조직 등의 발달 정도와 관련이 있을 것으로 판단된다[1~3].

Fig. 3 과 Table 1 에서 평균 소성변형비(\bar{r} -value)는 비대칭 압연의 패스 수가 많아질수록 높아 지고 Δr 절대값은 비대칭 압연의 패스 수가 많아질수록 작아 짐을 알 수 있다. 이 현상 또한 비대칭 압연 패스 수가 많아 질수록 표면에서 압연 롤과 시편의 마찰력에 의하여 전단변형 효과에 의한 집합조직의 변화로 일어난 현상으로 판단된다.

4. 결 론

(1) 3 회 및 10 회 패스하여 90% 압연 후 열처리 한 시편에서 회전 입방집합조직인 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 과 ND// $\langle 111 \rangle$ 집합조직인 γ -fiber 가 초기 시편보다 증가하였다.

(2) 비대칭 압연의 패스 수가 많아질 수록 평균 소성변형비가 높았고 Δr 값은 낮아 졌다.

(3) 10 회 패스한 후 90% 비대칭 압연 후 열처리 한 시편에서 평균 소성변형비는 초기시편보다 1.3 배로 높았고 Δr 절대값은 1/30 배로 낮았다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교의 학술연구비 지원 사업으로 연구된 논문으로 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] P. H. Lequeu, J. J. Jonas, 1988, Modeling of the plastic anisotropy of textured sheet, Metal. Trans. A, Vol. 19A, p. 105.
 [2] M. Hatherly, W. B. Hutchinson, 1979, An Introduction to Textures in Metals, Institution of Metallurgists, London.
 [3] J. Hirsch, K. Lucke, 1988, Mechanism of defor-

mation and development of rolling textures in polycrystalline F. C. C. metals-simulation and interpretation of experiments on the basis of Taylor-tape theories, Acta Metall. Vol. 36, p. 2883.
 [4] J.-K. Lee, D. N. Lee, 2008, Texture Control and grain refinement of AA1050 Al alloy Sheets by asymmetric rolling, J. Mech. Sci, Vol. 50, p. 869.
 [5] H. T. Jeong, S. D. Park, T. K. Ha, 2006, Evolution of Shear Texture according to Shear Strain Ratio in Rolled in FCC Metal Sheet, Met. Mater. Int. Vol. 12, p. 21.
 [6] I. Kim, S. K. Nam, S. Akramov, 2010, Texture Change of Serve Plastically Deformed Al Alloy Sheets, Mater. Sci. Forum, Vol. 654/656, p.1259.
 [7] S. Akramov, I. Kim, N. J. Park, 2007, Texture and Formability of Frictionally Rolled AA 1050 Aluminum Alloy Sheets, Adv. Mater. Res., Vol. 26/28, p. 393.
 [8] S. Akramov, I. Kim, 2009, Texture and Formability Development of Non-lubrication Rolled Al Alloy Sheet, Trans. Mater. Proc., Vol. 18, p. 1.
 [9] I. Kim, S. Akramov, H. B. Jeong, 2009, Texture and Formability Development of Asymmetry Rolled AA3003 Al Alloy Sheet, Mod. Phys. Lett. B, Vol. 22, p. 5859.
 [10] I. Kim, S. Akramov, H. B. Jeong, T. K. No, 2009, Texture Development and Drawability of Frictional Rolled AA 5052 Al Alloy Sheet, Mod. Phys. Lett. B, Vol. 22, p. 5931.
 [11] S. Akramov, I. Kim, 2009, Texture Analysis and R-value Variation after Severe Deformed and Heat Treated Al Alloy Sheets, J. Phys., Vol. 165, P. 1.
 [12] H. J. Bunge, 1982, Texture Analysis in Material Science, Butterworth, Guildford, UK.