

## 디프드로잉시 AA1050판재의 초기 집합조직 거동에 관한 연구

최시훈\* · 조재형\* · 오규환\*

(1998년 7월 1일 접수)

### Behavior of Initial Texture During Deep Drawing of AA1050 Sheets

Shi-Hoon Choi, Jae-Hyung Cho and Kyu Hwan Oh

#### Abstract

The texture evolution during deep drawing of AA1050 sheets was experimentally investigated and the lattice rotation rate was predicted using rate sensitive model with full constraints boundary conditions. The measured textures are dependent on the amount of the flange deformation and the initial crystal orientations. In the specimen parallel to RD, the initial crystal orientations around the D component rotated toward the Cu component and the initial crystal orientations along the  $\alpha$  fiber rotated toward the G  $\{1\ 1\ 0\}\langle 0\ 0\ 1\rangle$  and P  $\{1\ 1\ 0\}\langle 1\ 1\ 1\rangle$  components during deep drawing. In the specimen parallel to  $45^\circ$  with respect to RD, the initial crystal orientations around the D component rotated about ND and the initial crystal orientations along the  $\alpha$  fiber also rotated toward the  $(1\ 1\ 0)\{2\ \bar{2}\ 3\}$  and  $(1\ 1\ 0)\{2\ \bar{2}\ 7\}$  components about ND. In the specimen parallel to TD, the initial crystal orientations around the D component rotated toward the rotated cube and the initial crystal orientations along the  $\alpha$  fiber rotated toward the  $\{1\ 1\ 0\}\langle 1\ 1\ 3\rangle$  component.

**Key Words** : Texture Evolution, Deep Drawing, Rate Sensitive Model

#### 1. 서론

금속판재의 소성변형을 다루는 문제에 있어서 소성변형에 의한 집합조직의 변화는 중요한 연구 과제로 다루어져 왔다. 그 이유는 금속판재의 성형성이 초기 집합조직 뿐만 아니라 변형중에 변화하는 집합조직에 영향을 받기 때문이다. 지금까지 변형집합조직에 관한 연구에서는 인장(tension),<sup>(1,2)</sup> 압연(rolling),<sup>(3-6)</sup> 디프드로잉(deep drawing)<sup>(7,8)</sup> 및 비틀림(torsion)<sup>(9,10)</sup>과 같은 금속의 소성

변형에 의한 결정학적인 집합조직의 변화를 실험적으로 관찰하였고 결정학적인 모델을 이용하여 이론적으로 예측하였다. Savoie 등은<sup>(7)</sup> 디프드로잉에 의해 알루미늄판재에서 발달하는 집합조직을 비사방정(non-orthorhombic) 시편대칭성을 고려하여 방위분포함수를 계산하였으며, 완전구속의 속도민감도모델(rate sensitive model)<sup>(8)</sup>을 이용하여 결정의 안정방위를 예측하였다. 그들은 반지름방향(드로잉방향), 원주방향 및 두께방향을 기준좌표계로 설정하여 디프드로잉에 의한 변형이력을 평면변형

\* 서울대학교 공과대학 금속공학과

으로 단순화 시켰다. 그 결과 압연방향에 대해서 일정한 각도를 가진 시편들은 각기 다른 초기 집합조직을 갖게 되어 초기 집합조직의 변화에 따른 이방성 및 성형성을 서로 비교하기가 곤란하였다. 이 연구에서는 이런 점을 극복하기 위해서 열간 압연한 AA1050 판재를 디프드로잉한 후 집합조직을 같게 갖도록 RD, TD 및 ND를 기준 좌표계로 설정하고 판재의 위치 (RD, RD에 대해서 45° 및 TD)와 원주방향의 변형량의 차이에 의한 초기 집합조직의 변화양상을 비사방정 시편대칭성을 고려하여 실험적으로 관찰하였다. 한편, 플랜지 변형을 평면변형으로 가정하여 속도민감도모델로부터 결정의 안정방위와 실험결과를 비교 고찰하였다.

## 2. 실험 및 계산 방법

열간 압연한 AA1050판재를 디프드로잉한 후 집합조직 해석을 수행하였다. 디프드로잉을 위한 블랭크의 초기 두께는 2.5 mm이었고, 블랭크의 직경은 324 mm, 펀치의 직경은 180 mm이었다 (드로잉비 :1.8). 우선 플랜지 부위 (flange part)에서 변형되는 재료의 집합조직 변화를 관찰하기 위해서 펀치 스트로크를 51 mm 진행한 후 플랜지의 RD, RD에 대해서 45°와 TD에 해당하는 부위에서 극점도 시편을 컵 안쪽벽에서 각각 취했다. 플랜지 부위보다 더 큰 원주방향 변형을 겪는 판재의 집합조직 변화를 관찰하기 위해서 펀치 스트로크를 105 mm진행한 후 컵 바닥면을 기준으로 컵벽의 1/2 지점과 2/3 지점의 시편을 각각 취하였다. 시편의 극점도 측정은 Seifert D3000 PTS X선 회절기를 사용하여 수행하였고, 조건적 Ghost보정을 해주는 WIMV방법<sup>(11)</sup>을 사용하여 (111), (200) 및 (220) 불완전 극점도로부터 결정들의 방위분포

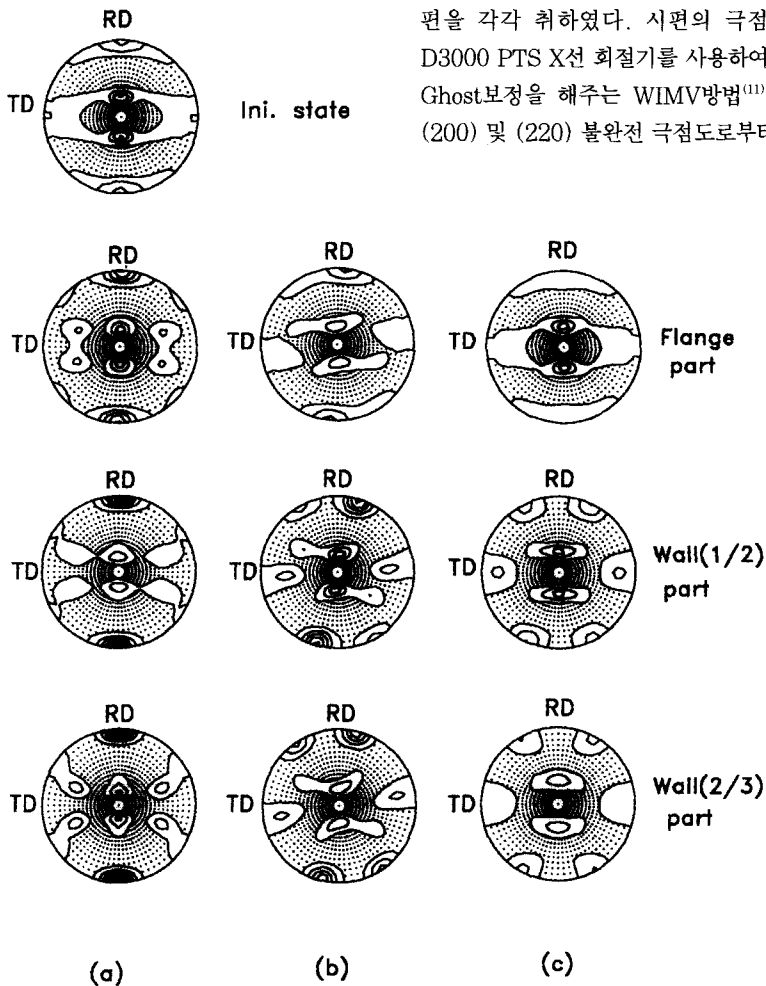


Fig. 1 The (111) pole figures recalculated from ODF of (a) RD, (b) 45° (and (c) TD samples in deep drawn cup

함수 (ODF)를 계산하였다. 측정된 극점도로부터 방위분포함수를 계산할 때 시편의 대칭성은 RD에 대해서 45°에 해당하는 시편은 단사정 (monoclinic) 시편대칭성이므로 기본 오일러 공간의 영역을  $0^\circ \leq \phi_1 \leq 180^\circ$ ,  $0^\circ \leq \phi_2 \leq 90^\circ$ ,  $0^\circ \leq \phi_3 \leq 90^\circ$ 로 확장하였다.

디프트로잉에 의한 안정방위를 고찰하기 위해서 속도민감도모델 (rate sensitive model) 을 사용하였는데, 이때 사용한 변형률속도텐서는 다음과 같이 평면변형상태로 가정하였다.<sup>6,12)</sup>

$$D = D_{11} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $D_{11}$ 은 드로잉방향으로의 변형률증분을 의미하며, 시편축인  $X_1$ 과  $X_2$ 는 각각 드로잉 (반지름)방향과 원주방향에 평행한 방향이다. 디프트로잉에서의 변형이력인 평면변형과는 다른 이력, 즉 두께 방향인  $X_3$ 로의 변형이 발생하나 변형량이 드로잉과 폭방향으로 발생하는 변형량에 비해 적을 것으로 판단되어 평면변형으로 가정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 디프트로잉된 컵의 RD 시편

Fig. 1(a)는 AA1050판재의 디프트로잉 후 디프트로잉된 컵에서 RD에 해당하는 부위의 초기 집합조직의 변화들 (111)극점도에 나타난 것이다. 디프트로잉에 의해 결정의 회전을 고찰하기 위해서 변형 후에 집합조직과 초기 집합조직을 함께 플랜지에서 발췌 변형량의 크기 순서로 나타내었다. 또한, Fig. 2(a)에 약 부위에 해당하는 방위분포함수의 단면 ( $\phi_2$ 를 45°)을 플랜지에 취화 평면변형량의 순서로 배열하여 나타내었다. 초기 집합조직은  $\phi_2 = 45^\circ$  단면 상에 D방위와  $\alpha$  섬유 (G(111)001) ~ B, (110)(112)) 주위에 주로 분포하고 있는 전형적인 열간 압연 집합조직임을 확인할 수 있다. Fig. 3은 방위분포함수의 단면과 디프트로잉시 발달하는 주요방위들을 표시한 도식도이며, Fig. 3과 Fig. 2(a)을 비교하여 관찰하면, 디프트로잉을 상형적인 압연집합조직성분을 가진 초기 결정방위중에 D성분, {4411}⟨1118⟩ 주위에 분포하던 결정방위들은 Cu성분, {112}⟨111⟩ 주위로 이동하였으며,  $\alpha$  섬유에 걸쳐 분포하던 결정방위들은 G

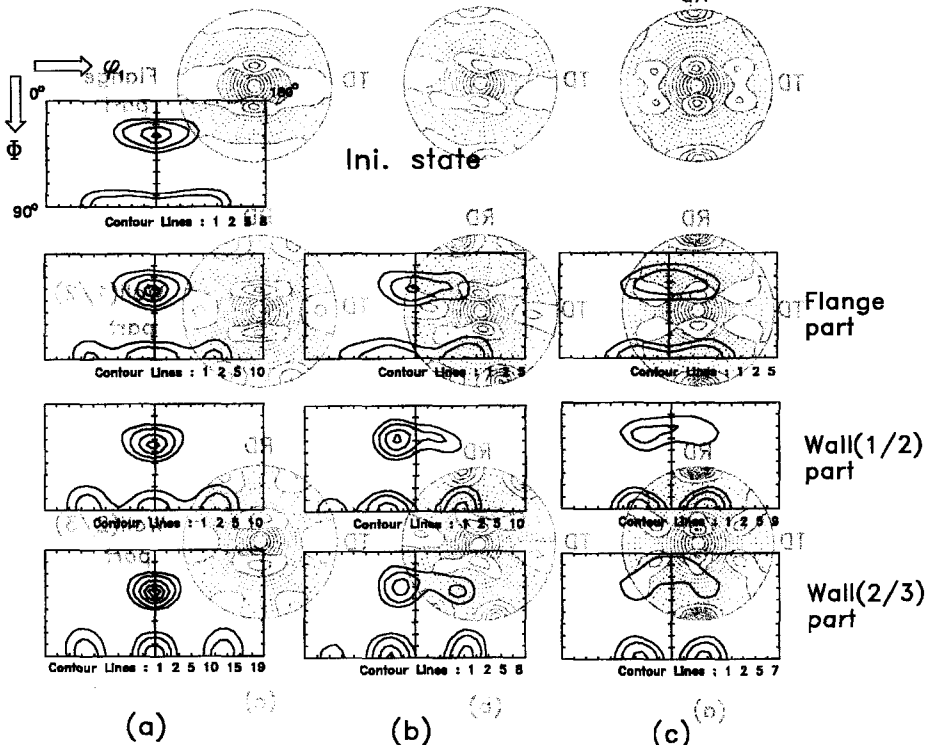


Figure 2. ODF sections of (a) RD, (b) 45° and (c) TD samples in deep drawn cup.

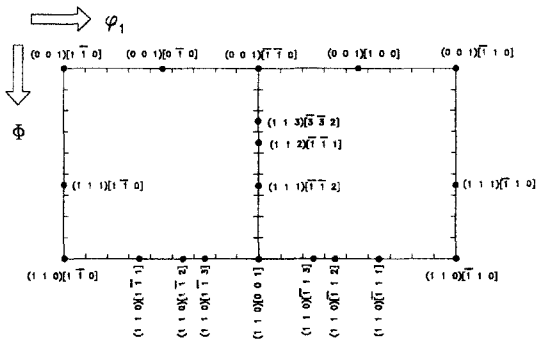


Fig. 3  $\phi_2=45^\circ$  ODF section showing the main orientations commonly found in deep drawn cup

성분과 P성분 주위로 이동함을 확인할 수 있다. 플랜지 변형을 많이 받음에 따라 G성분과 P성분 주위에서의 방위분포함수는 증가하나 주요 방위의 변화는 나타나지 않았다. Fig. 4(a)는 이상과 같은 결정방위의 이동을 설명하기 위해서 식(1)의 변형률속도텐서를 가정하여 속도민감도모델로부터 예측된 결정의 회전속도장이다. 초기 D 성분 주위에 존재하던 방위들은 Cu성분으로 이동하는 것과  $\alpha$  성분유에 걸쳐 분포하던 초기 방위는 G성분과 P성분으로 이동하는 실험 결과를 예측해 주고있다.

3.2 디프드로잉된 컵의 45° 시편

Fig. 1(b)은 디프드로잉 후 RD에 대해서 45° 방향에 위치한 시편의 (111)극점도이다. 특히 RD에 놓여있던 초기 방위들의 거동은 사방정 (orthorhombic) 시편대칭성을 보였으나, 이 시편의 초기 방위들은 단사정 (monoclinic) 시편대칭성을 갖는다. 또한, 이 시편에 해당하는 방위분포함수의 단면 ( $\phi_2=45^\circ$ )인 Fig. 2(b)에서도 시편대칭성이 사방정에서 벗어남을 확인할 수 있다. Fig. 4(b)는 RD에 대해서 45° 방향에 위치한 결정들의 회전속도장을 보여주는데, 이 회전속도장으로부터 D성분 주위에 존재하는 초기 방위들이 디프드로잉 동안 불안정한 방위가 되어 (7 7 17)[1 1 2]성분을 경유하여 다른 안정 방위로 이동하는 경향을 예측할 수 있다. 이 결과는 Fig. 2(b)에서 (7 7 17)[1 1 2]성분 주위의 방위밀도가 플랜지 변형에 따라 증가하다가 약해지는 현상을 설명해 주고 있다. 한편, 초기  $\alpha$ 성분유에 걸쳐 분포하던 초기 방위들은 플랜지 변형에 의해 일부는 (1 1 0)[1 1 2]성분과 (1 1 0)[1 1 1]성분 사이에 위치한 (1 1 0)[2 2 3]성분 주위로 이동하며, 일부는 (1 1 0)[0 0 1]성분과 (1 1

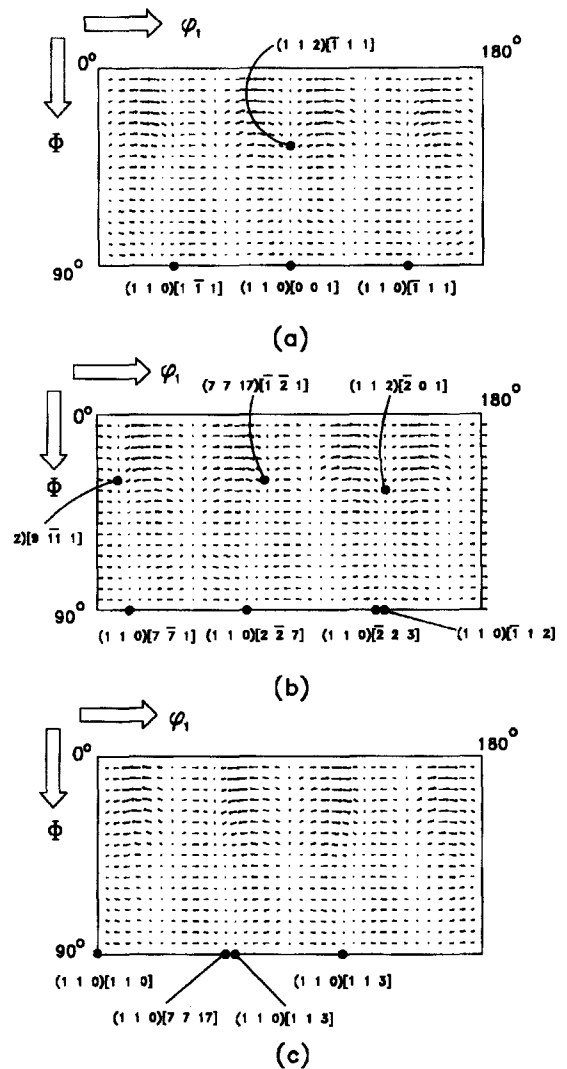


Fig. 4 Lattice rotation rates in the  $\phi_2=45^\circ$  ODF section of (a) RD, (b) 45° and (c) TD samples during flange deformation

0)[1 1 3]성분 사이에 위치한 (1 1 0)[2 2 7]방위 주위로 이동하는 실험 결과를 잘 예측해 주고있다.

3.3 디프드로잉된 컵의 TD 시편

Fig. 1(c)는 디프드로잉 후 TD에 위치한 시편의 (111) 극점도이다. 이 부분에 위치한 초기 방위들은 사방정 (orthorhombic) 시편대칭성을 보인다. 이 시편에 해당하는 방위분포함수의 단면 ( $\phi_2 = 45^\circ$ ) Fig. 2(c)로부터 플

랜지 변형이 증가함에 따라 D방위 주위는 약해지고,  $\alpha$ 섬유에 걸쳐 분포하는 방위들은 일정한 방위로 이동함을 알 수 있다. Fig. 4(c)는 TD에 위치한 방위들의 예측된 회전 속도장을 보여주는데, 이 회전속도장으로부터 D성분 주위에 존재하던 방위들은 방위밀도가 낮아지면서 RC성분,  $\{0\ 0\ 1\}\langle 1\ 1\ 0\rangle$ 로 향하며,  $\alpha$ 섬유에 걸쳐 분포하던 방위는  $\{1\ 1\ 0\}\langle 1\ 1\ 3\rangle$ 성분 주위로 이동함이 예측된다.

#### 4. 결 론

디프드로잉을 수행한 후 드로잉된 컵으로부터 집합조직을 측정된 결과 RD 및 TD에 평행한 시편의 결정방위들은 사방정 시편대칭성을 보이면서 안정한 방위로 이동하였다. RD에 대해서 45° 방향으로 놓여져 있던 결정방위들은 단사정 시편대칭성을 보이면서 안정한 방위로 이동하였다.

(1) 디프드로잉시 RD에 평행한 시편의 초기 결정방위 중 D성분 주위에 방위들은 Cu성분으로 이동하였으며,  $\alpha$ 섬유에 걸쳐 분포하던 결정방위는 G성분,  $\{1\ 1\ 0\}\langle 0\ 0\ 1\rangle$ 과 P성분,  $\{1\ 1\ 0\}\langle 1\ 1\ 1\rangle$ 으로 이동하였다.

(2) 디프드로잉시 RD에 대해서 45° 방향에 위치한 시편의 초기 결정방위 중 D성분 주위에 방위들은 플랜지 변형을 받음에 따라 ND에 대해서 회전하였으며,  $\alpha$ 섬유에 걸쳐 분포하던 결정방위도 역시 ND에 대해서  $\{1\ 1\ 0\}\langle 2\ 2\ 3\rangle$ 와  $\{1\ 1\ 0\}\langle 2\ 2\ 7\rangle$  성분으로 이동하였다.

(3) 디프드로잉시 TD에 평행한 시편의 초기 결정방위 중 D성분 주위에 존재하던 결정방위들은 방위밀도가 감소되도록 rotated cube로 이동하였고,  $\alpha$ 섬유에 걸쳐 분포하던 결정방위는  $\{1\ 1\ 0\}\langle 1\ 1\ 3\rangle$ 성분으로 이동하였다.

#### 참고문헌

- (1) R. Becker, J. F. Butler, Jr., H. Hu and L. A. Lalli, 1991, "Analysis of an Aluminum Single Crystal with Unstable Initial Orientation (011)[110] in Channel Die Compression", Metall. Trans. A, Vol. 22A, pp. 45~58.
- (2) S. -H. Choi, J. H. Cho, F. Barlat, K. Chung, J. W. Kwon and K. H. Oh, "Prediction of Yield Surfaces of Textured Sheet Metals", Metall. Trans. A, to be published.
- (3) J. Hirsch and K. Lücker, 1988, "Mechanism of Deformation and Development of Rolling Textures in Polycrystalline F.C.C. Metals-II. Simulation and Interpretation of Experiments on the Basis of Taylor-Type Theories", Acta metall., Vol. 36, pp. 2883~2904.
- (4) S. -H. Choi, J. W. Kwon and K. H. Oh, 1996, "Prediction of Inhomogeneous Texture in Clad Sheet Metals by Hot Roll Bond Method", Metals and Materials, Vol. 2, pp. 133~140.
- (5) C. H. Choi, J. W. Kwon, K. H. Oh and D. N. Lee, 1997, "Analysis of Deformation Texture Inhomogeneity and Stability Condition of Shear Components in F.C.C. Metals", Acta mater, Vol. 45, pp. 5119~5128.
- (6) S. -H. Choi and K. H. Oh, 1997, "Rate Sensitive Analysis of Texture Evolution in F.C.C. Metals", Metals and Materials, Vol. 3, pp. 252~259.
- (7) J. Savoie, Y. Zhou, J. J. Jonas and S. R. Macewen, 1996, "Textures Induced by Tension and Deep Drawing in Aluminum Sheets", Acta metall., Vol. 44, pp. 587~605.
- (8) Y. Zhou, J. J. Jonas and K. W. Neale, 1996, "Behaviour of Initial Texture Components during the Plane Strain Drawing of F.C.C. Sheet Metals" Acta metall., Vol. 44, pp. 607~619.
- (9) K. W. Neale, L. S. Toth and J. J. Jonas, 1990, "Large Strain Shear and Torsion of Rate-Sensitive F.C.C. Polycrystals", Int. J. Plast., Vol. 6, pp. 45~61.
- (10) L. S. Toth, J. J. Jonas, P. Gilormini and B. Bacroix, 1990, "Length Changes during Free End Torsion : A Rate Sensitive Analysis", Int. J. Plast., Vol. 6, pp. 83~108.
- (11) S. Matthies, G. W. Vinel, 1982, "On the Reproduction of the Orientation Distribution Function of Texturized Samples from Reduced Pole Figures Using the Conception of a Conditional Ghost Correction", Phys. stat. sol. (b), Vol. 112, pp. 111~114.
- (12) L. S. Toth, P. Gilormini and J. J. Jonas, 1988, "Effect of Rate Sensitivity on the Stability of Torsion Textures", Acta metall., Vol. 36, pp.