

알루미늄 5182/폴리프로필렌/알루미늄 5182 샌드위치 판재의 소성변형비 및 평면이방성

김기주* · 정효태**

(2004년 3월 3일 접수)

Plastic Strain Ratio and Planar Anisotropy of AA5182/Polypropylene/AA5182 Sandwich Sheets

K. J. Kim and H. T. Jeong

Abstract

The sheet formability of single AA5182 sheets and sandwich sheets comprising of AA5182/polypropylene/AA5182 (AA/PP/AA) was studied. Rolling without lubrication and subsequent recrystallization annealing led to the formation of favorable {111}//ND fiber textures in AA5182 sheets, which provided a higher plastic strain ratio of $R_m=1.5$. The R_m -value of 1.58 was obtained in the AA/PP/AA sandwich sheet sample. Furthermore, a proper combination of the sample direction of the upper and lower skin sheet gave rise to an optimization of the sheet formability of the sandwich sheets.

Key Words: Sandwich Sheet, AA5182 Skin, Texture, Plastic Strain Ratio, Drawability, Planar Anisotropy

1. 서 론

최근 자동차 산업에서는 대기오염을 줄이고 연비를 향상시키려는 노력이 계속되고 있으며, 그에 대한 법적 제재도 강화되고 있는 실정이다. 이러한 노력의 일환으로써 자동차의 경량화가 관심의 대상이 되고 있으며, 차체용 판재를 강판으로부터 알루미늄 판재로 대체 하려는 노력이 지속되어, 일부 고급차종을 중심으로 알루미늄 판재가 적용되고 있다. 최근에는 금속/플라스틱 샌드위치 판재를 이용하여 판재의 경량화를 극대화 시키려는 노력이 경주되고 있다.

샌드위치 판재는 이중의 단일 혹은 복합재료를 조합 및 적층하여 제조한 판재이다. 저밀도를 가진 폴리프로필렌을 코어재로 사용하고 상대적으로

강도가 높은 알루미늄 표면판재를 접합시켜 제조한 샌드위치 판재는 경량성 및 제진성으로 인해 자동차 차체용 판재에의 적용에 상당한 잠재력을 가지고 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 본 연구에 사용된 샌드위치 판재의 경우 중심판재인 폴리프로필렌의 연신율이 500% 이상이므로 성형성 향상에 기여하리라 판단되지만, 표면 판재인 알루미늄 판재의 소성변형비, 혹은 R-value가 철강 판재에 비하여 현저히 낮으며, 그 결과 샌드위치 판재의 딥드로잉성은 기존의 철강 판재에 비하여 낮은 편이다. 샌드위치 판재의 딥드로잉성을 개선하기 위해서는 폴리프로필렌 중심판재의 완벽한 접합과 아울러, 압연 공정으로 제조되는 표면판재인 알루미늄 합금판재의 소성변형비의 개선이 필요하며, 가공으로 인한 집합조직 및 평면 이방성 등에 대한 적절한 제

* 쌍용자동차 CAE팀

** 강릉대학교 금속재료공학과

어가 요구된다.

샌드위치 판재의 표면 판재인 알루미늄 합금 판재 등, 압연 가공 금속 판재의 소성변형비는 집합조직과 밀접한 관계가 있으며, 입방정 금속인 알루미늄 합금에서는 소성변형비의 증대를 위해 전단변형집합조직이 발달한 판재를 제조하여야 한다.⁽⁵⁻¹³⁾ 입방정 금속의 전단변형집합조직은 압연 롤과 슬라브 사이의 마찰계수 μ 값을 크게 하여 전단방향으로 변형을 받게 하여 얻을 수 있으며, 전단변형집합조직 중 특히, γ -섬유집합조직 ND//<111>이 발달할 때 판재의 이방성은 감소하고 뒹드로잉성이 증진되며, {100}<110> 방위가 발달 할 때 이방성이 커지게 된다.^(5-6,12,14-21)

T. Kamijo 등은 마찰계수가 큰 열간압연을 통하여 전단변형집합조직이 발달하여 소성변형비가 높은 알루미늄 합금 판재를 제조하였으나,⁽¹⁹⁾ 전단변형집합조직은 {100}<110> 방위로 인해 이방성이 너무 높아 재료의 평균 소성변형비를 감소시키거나 재료의 소실이 크므로 큰 문제를 야기하고 있다. 전단변형집합조직을 발달시키는 공정들은 γ -섬유집합조직 ND//<111>을 발달시켰지만 상용화되기 힘든 제한적이고 특수한 공정(ECAP, 온간압연, 비대칭 압연 등)이었으며 전단변형을 극대화시킨 경우 이방성으로 성형 시 귀가 높게 발생된다.⁽¹⁹⁻²¹⁾ 이에 착안하여 본 연구에서는, 샌드위치 판재의 이방성을 향상시키기 위해서 상부와 하부 각 표면판재의 방향별 조합을 여러 가지로 달리하여, 소성변형비가 높은 최적의 조합을 얻었으며 이를 응용하여 평면 이방성이 낮은 샌드위치 판재를 제조하는 독창적인 제조공정을 제시하였다.

2. 실험 방법

2.1 AA5182 표면판재의 압연가공 및 열처리

본 연구에서 냉간 압연에 사용한 5182 알루미늄 합금은 (주)대한전선에서 열간압연하여 제조한 것으로 4.5mm 두께의 판재이었다. 5182 알루미늄 합금의 냉간압연은 공정조건을 롤 지름 (127 mm), 압연온도(상온), 압연속도(400rpm), 패스 당 압하량(50% 이상으로 하여 총 3패스에 걸쳐 압하량 92.8% 냉간 압연), l/d 인자(형상인자, 6.77)⁽⁸⁻¹⁵⁾를 조합하여 전단변형 집합조직이 우선방위로 나타나게 하였으며, 이 때 마찰을 높여 전단 변형

집합조직이 더 잘 발달 하도록 하기 위하여 윤활은 하지 않았다.

압연에 의하여 전단변형집합조직이 충분히 잘 발달된 판재를 열처리하여 재결정집합조직의 형성을 조사하였다. 열처리는 염욕을 사용하여 5182 알루미늄 합금에 대하여 350°C에서 각각 0초, 60초, 180초, 1,200초, 3,600초 및 7,200초 동안 실시하였다.

2.2 AA/PP/AA 샌드위치 판재의 제조

Fig. 1에 나타낸 것과 같이, 5182 알루미늄 합금을 표면판재로, 폴리프로필렌 판재를 중심판재로 적용하여 AA5182/Polypropylene/AA5182(AA/PP/ AA) 샌드위치 판재를 제조하였다. 샌드위치 판재는 먼저 fillet 상태의 폴리프로필렌을 압출한 후, 상·하부 표면 양쪽에 최종 냉간 압연과 어닐 링(350°C, 1,200초) 공정을 거친 5182 알루미늄 합금판재와 접합하여 제조하였다. 접합은 140°C에서 EVA(ethylene vinyl acetone) 수지 접착제를 이용하여 행하였다. 표면판재로 사용한 5182 알루미늄 합금의 두께는 0.2mm로 정한 상태에서 폴리프로필렌 중심판재의 두께를 0.8mm로 정하여 전체 샌드위치 판재의 두께를 1.2mm가 되도록 제조 하였다.

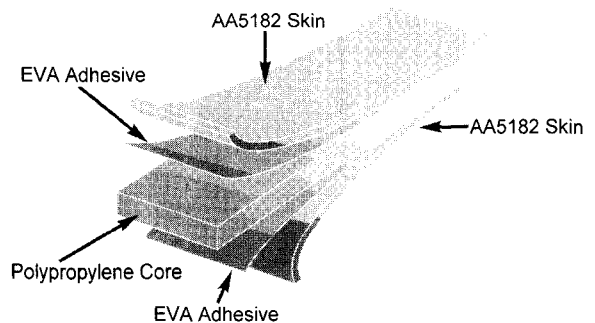


Fig. 1 Schematic drawing of a sandwich sheet

2.3 AA5182 합금과 샌드위치 판재의 특성 분석

본 연구에서 측정된 5182 알루미늄 합금 시편의 집합조직 분석을 위한 극점도는 표면층을 기계적 연마 후 10 μ m를 화학연마(NaOH 용액 사용)하여 기계적 연마 과정에 의해 생길 수 있는 변형층을 제거한 후, {111}, {200}, {220} 면을 Shulz 반사법으로 측정하였다. 측정장비는 Seifert 3003을 이용하여 관전압 및 전류를 각각 30kV 및 15mA

로 하였으며 FCC 금속에서 많이 사용 되는 Co를 타킷으로 사용하였다.

일반적으로 압연가공 판재는 시험 방향에 따라서 변형특성이 변하는 평면이방성을 갖고 있기 때문에 소성변형비의 평면이방성 평가를 위하여 각 소성변형비 측정 시편은 인장축과 압연 방향이 이루는 각도가 각각 0°, 45° 및 90° 를 이루도록 가공하여 시험하였다. 알루미늄 표면판재와 샌드위치 판재의 소성변형비를 분석하기 위하여 인장시편의 폭 및 길이방향에 extensometer를 각각 장착하여 폭 변형률과 인장 변형률을 각각 측정하였다. 소성변형비는 식 (1)로 정의하는데 여기서 ϵ_{22} 는 폭방향 진변형률, ϵ_{33} 는 두께방향의 진변형률 이다.

$$R = \frac{\epsilon_{22}}{\epsilon_{33}} \quad (1)$$

또한, 소성변형시 재료의 부피변화가 없다는 사실을 이용하면, 소성변형비는 식 (2)와 같이 된다.

$$R = \frac{\epsilon_{22}}{-(\epsilon_{11} + \epsilon_{22})} \quad (2)$$

식 (2)는 소성변형비가 변형률에 따라서 일정하다는 가정 하에 유도한 것으로 변형률에 따라서 소성변형비가 변화하는 경우에는 이러한 변화를 표현하기 어렵다. 그러므로, 본 재료의 경우는 순간 소성변형비(instantaneous plastic strain ratio)를 사용하였다. 순간 소성변형비는 각각의 변형률에서의 변형률-변형률 곡선의 미분값으로서 식 (3)과 같이 변형률에 대한 함수이다.^(5,22)

$$R_i = \frac{d\epsilon_{22}}{d\epsilon_{33}} \quad (3)$$

또한, 소성변형비는 인장변형률 5~10% 사이에서 평균하여 구하였으며, 식 (4) 및 식 (5)를 이용하여 평균소성변형비(R_m)와 소성변형비의 평면 이방성(ΔR)을 계산하였다. 여기서 R_0 , R_{45} 및 R_{90} 은 각각 압연방향과 인장축이 이루는 각이 0°, 45° 및 90° 일 때의 소성변형비를 나타낸다.

$$R_m = \frac{R_0 + R_{90} + 2R_{45}}{4} \quad (4)$$

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2} \quad (5)$$

3. 실험 결과

3.1 압연 및 재결정집합조직

압연에 의하여 전단변형집합조직이 잘 발달된 판재를 열처리하여 재결정집합조직을 조사하였다. Fig. 2에 5182 알루미늄 합금 판재에 대하여 온도 350°C에서 다양한 시간에 따라 열처리 한 후 나타나는, 집합조직의 변화를 열처리 전과 비교하여 나타내었다. 5182 알루미늄 합금 판재는 열처리 전 총 3패스에 걸쳐 압하량을 92.8%로 가공한 판재로 γ -섬유집합조직 ND//<111> 방위의 강도가 상당히 높았던 판재였으며, 어닐링 시간에 따라 {001}<110> 방위의 강도가 감소하고 γ -섬유집합조직 ND//<111> 방위의 강도가 크게 증가하였다. 180초 동안 열처리한 시편의 경우 {001}<110> 방위가 감소하는 것에 반해 γ -섬유집합조직 ND//<111> 방위의 강도는 증가하였다. 또한, 180초를 기점으로 {001}<110>방위의 상·하 및 좌·우 부분의 극강도가 낮아져 1,200초 이후에는 더욱 현저하게 낮아짐을 알 수 있다. Fig. 2(d)에서 7,200초 동안 장시간 열처리시에도 γ -섬유집합조직 ND//<111> 방위는 다른 방위로 회전하거나 바뀌지 않았음을 알 수 있다. 여기서, 전단집합조직을 갖는 5182 알루미늄 합금 판재의 열처리에 따른 재결정 집합조직의 변화와 고찰은 본 논문의 범위를 벗어나므로 다른 논문에 게재할 예정이다.⁽²³⁾

3.2 소성변형비

Fig. 3에 5182 알루미늄 판재를 350°C에서 1,200 초 동안 어닐링 후 인장축과 압연방향의 각도가 각각 0°, 45° 및 90° 를 이루도록 시편가공 후 각각의 인장방향에 대한 폭방향의 변형률을 측정된 결과를 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 45° 방향에서 그 기울기가 가장 컸으며, 0° 가 가장 낮은 기울기를 나타내고 있는 바 소성 변형비는 45° 방향이 가장 높을 것이고 그 다음은 90° 일 것이다.

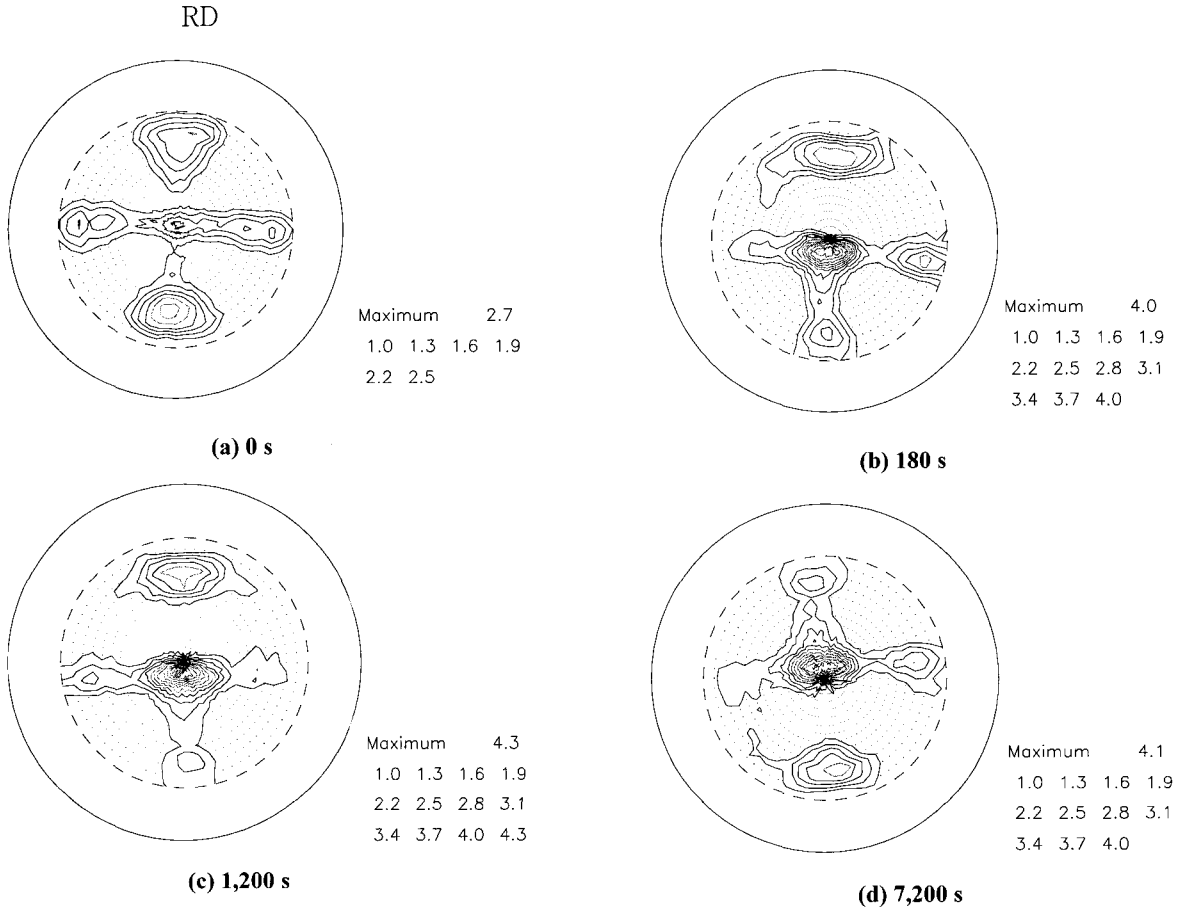


Fig. 2 Measured {111} pole figures of AA5182 sheets after annealing at 350°C for (a) 0 s, (b) 180 s, (c) 1,200 s and (d) 7,200 s

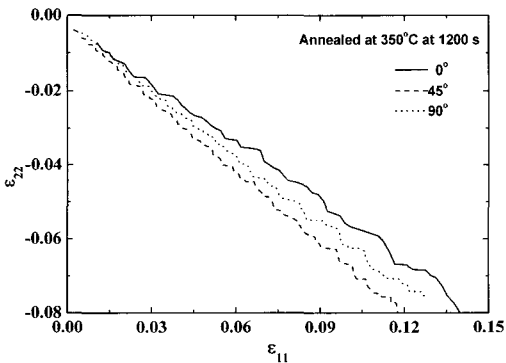


Fig. 3 Measured width strain (ϵ_{22}) as a function of tensile strain (ϵ_{11}) of AA5182 sheets for different tensile orientations

Fig. 4는 5182 알루미늄 합금 판재의 인장변형에 따른 소성변형비의 변화를 나타내었는데, 압연변형집합조직을 나타내는 판재에서 기대되는 대로 소성변형비는 45°방향이가장 높았다. 본 연구에서는 압연방향에 따른 알루미늄 합금 판재의 소성변형비를 인장변형률 5~10% 사이에서 평균하여 구하였다. 또한, 식 (4) 및 식 (5)를 이용하여 평균소성변형비(R_m)와 소성변형비의 평면이방성(ΔR)을 계산하였다.

Fig. 5에 본 연구에서 압연공정으로 제조한 5182 알루미늄 합금 판재를 350°C에서 180, 1,200 및 3,600초 동안 어닐링 후 측정된 소성변형비, 평균소성변형비 및 소성변형비의 평면이방성을 나타내었다. 열처리 조건 350°C, 1,200초 이었을 때, 판재의 평균 소성변형비가 1.50으로 가장 높은 값을 나타내었다. 그 이유는 Fig. 2에 나타난 바와 같이

본 연구에서 개발한 압연공정으로 제조한 판재의 우선 방위로 γ -섬유집합조직 ND // <111> 성분이 발달하였으며 판재를 재결정 시킨 후 다른 방위로 회전하지 않았을 뿐만 아니라 극강도가 증가하였기 때문이다. 그러나, 소성변형비의 평면이방성은 -0.54~0.64로 여전히 높은 편이다.

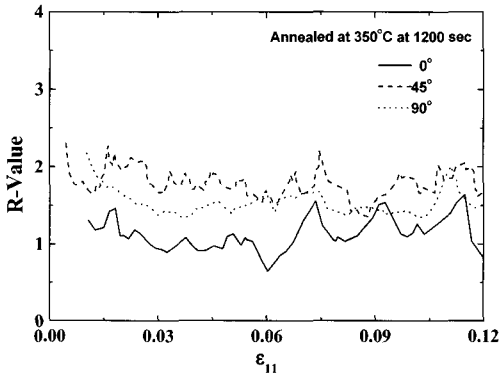


Fig. 4 Measured R-values as a function of tensile strain of AA5182 sheets for different tensile orientations

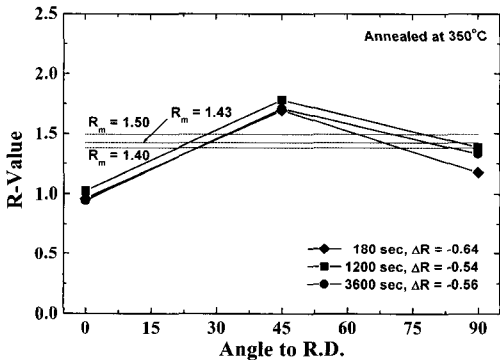


Fig. 5 Measured R-values of symmetrically rolled AA5182 sheets for different annealing times

4. 고찰

4. 1 집합조직에 따른 소성변형비의 영향

Table 1에 P. Lequeu와 J. J. Jonas⁽⁶⁾에 의하여 연속 체역학과 집합조직을 고려한 방법(CMTP법)으로 계산된 이상적인 방위들의 소성변형비를 나타내었다. γ -섬유집합조직 성분인 {111} <110> 및 {111}

<112>방위의 평균소성변형비가 각각 1.91로 가장 높을 뿐만 아니라 평면이방성은 가장 낮아 판재의 균질성형에 매우 좋음을 알 수 있다. 또한, Cube {001}<100> 방위와 Cube-방위가 ND 방향을 중심으로 45° 회전된 {001}<110> 방위의 소성변형비가 가장 낮으며 이방성 또한 가장 높다. Table 1에서 γ -섬유집합조직 다음으로 소성변형비가 높게 나타나는 방위는 Cu {112}<111> 방위와 Brass {110}<112> 방위이다. γ -섬유집합조직 성분인 {111} <uvw> 방위의 평균 소성변형비가 다른 방위에 비해 가장 높을 뿐만 아니라 평면이방성은 가장 낮다는 것은 단결정의 예를 들어 실험 또는 계산한 논문들을 통해 이미 잘 알려진 사실이다.⁽⁵⁻⁶⁾

Table 1 Lankford values for some ideal orientations by P. Lequeu and J. J. Jonas⁽⁶⁾

Ideal Orientation	R ₀	R ₄₅	R ₉₀	R _m	ΔR
{001}<110>	0.00	1.00	0.00	0.53	0.30
{111}<110>	1.84	1.89	1.95	1.91	0.04
{111}<112>	1.84	1.89	1.95	1.91	0.04
{112}<110>	0.53	1.89	1.00	1.29	0.34
{001}<100>	1.00	0.00	1.00	0.53	0.30
{110}<112>	0.50	2.09	1.00	1.35	0.46
{112}<111>	1.00	1.89	0.50	1.29	0.34
{123}<634>	0.72	1.81	0.83	1.27	0.35

본 연구에서는 여러 이상적인 방위 중 Z {111}<110>, Y {111}<112>, Cu {112}<111>, {001} <110> 및 Cube {001}<100> 방위에 대하여 결정의 슬립계와 회전을 고려하여 Vieth-Whiteley, Fukuda, Lee 법^(5-6,24)으로 소성변형비값을 직접 계산 하였다. Fig. 6은 Vieth-Whiteley, Fukuda, Lee 법을 이용하여, Z {111}<110>, Y {111}<112>, Cu {112} <111>, {001}<110> 및 Cube {001} <100> 방위의 소성변형비를 계산한 결과이다. 소성변형비가 가장 높은 방위는 γ -섬유집합조직 성분인 Z {111} <110>, Y {111}<112>이며 그 다음은 Cu {112}<111> 방위이고 소성변형비가 가장 낮은 방위는 {001}<110> 및 Cube {001}<100> 방위의 순서이었다. 그러므로, 단결정 판재의 집합조직 역시 γ -섬유집합조직 성

분인 Z {111}<110>, Y {111}<112> 방위가 우선 방위로 분포해야 우수한 딥드로잉성을 나타낼 것이다.

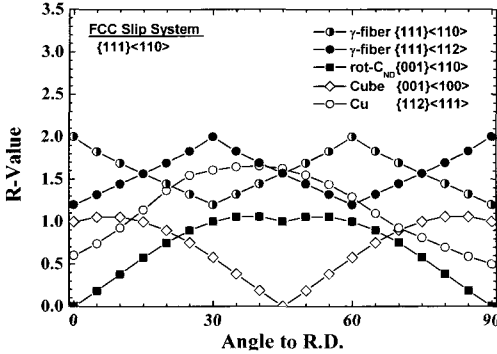


Fig. 6 Calculated R-value for {111}<110>, {111}<112>, {001}<110>, {001}<100> and {112}<111> orientations

4.2 평균소성변형비가 판재의 드로잉성에 미치는 영향

등방성인 재료는 소성변형비의 값이 가공의 방향에 따라 차이가 없다. 소성변형비가 크다는 것은 인장시 두께 감소에 대한 저항이 크며 딥드로잉시 균열에 대한 저항성도 상대적으로 크다는 것이다. 일반적으로 판재의 경우에는 면의 방향에 따라서 소성변형 정도가 변하는 평면이방성을 나타내기 때문에 소성변형비를 평균한 값, R_m 즉, 식 (4)에 나타난 것과 같은 평균소성변형비를 딥드로잉성의 척도로 사용한다. 평면이방성에 의하여 소성변형비가 다르게 나타나기 때문에 딥드로잉시 귀가 발생한다. 소성변형비가 큰 방향에서 벽이 더 얇아져서 귀가 발생하고 소성변형비가 작은 곳에서 풀이 생긴다. 이러한 현상은 압연방향에 대해서 0°, 45° 및 90° 에서 잘 나타나며 이러한 귀발생을 얼마나 제어할 수 있는지 여부가 성형 후 귀제거 손실을 줄이는 관건이 된다.

체심입방정 금속인 철강재료에서는, γ -섬유집합조직 ND//<111>은 소성변형비 증가에 가장 중요한 성분으로서 특히 자동차 판재로 쓰이는 강판에 있어서는 이 성분을 어떠한 제조공정을 통하여 얼마나 발달시키는가에 많은 관심이 집중되어 왔다.⁽²⁵⁾ 그러나, 면심입방정 금속에서는 가공시 γ -섬유집합조직 ND//<111>이 잘 나타나지 않기 때문에 딥드로잉성 증가에 대한 연구는 정제되어

있고, 오히려 이보다는 귀발생을 억제하는 연구가 더 많이 진행되어 왔다.⁽²⁶⁻²⁷⁾ 평균 소성변형비는 면심입방정 금속이나 체심입방정 금속 모두 γ -섬유집합조직 ND//<111>이 발달할수록 높은 값을 보이며, 이러한 γ -섬유집합조직 ND//<111>은 재결정 거동에 의하여 많은 영향을 받게 된다.

4.3 열처리에 따른 집합조직과 소성변형비의 변화

Fig. 7에 5182 알루미늄 합금 판재를 350°C에서 60, 180, 1,200, 3,600 및 7,200초 동안 열처리 후 측정된 (111) 극점도에서 γ -섬유집합조직 ND//<111>의 극강도를 분석한 결과를 소성변형비 측정결과와 비교하였다. 열처리시간 180초에서 γ -섬유집합조직 ND//<111>의 극강도는 급격히 증가 하였으며 1,200초에서 최고점을 나타내었다. 측정된 평균 소성변형비 역시 γ -섬유집합조직 ND//<111>의 극강도와 비례적으로 증가하였다.

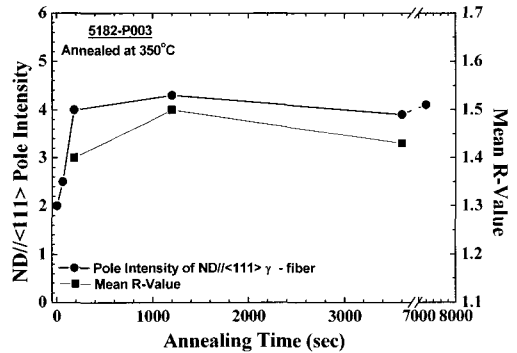


Fig. 7 Measured pole intensity of ND//<111> γ -fiber and R-values of AA5182 sheets following as annealing time at 350°C

Fig. 2에 나타난 5182 알루미늄 합금 판재를 350°C에서 열처리 후 측정된 (111) 극점도에서 {001}<110> 방위의 극강도는 열처리 시간에 따라 낮아지는 경향을 나타내었고 Fig. 5의 소성변형비 측정결과를 보면, 소성변형비의 평면 이방성은 열처리 시간에 따라 {001}<110> 방위의 극강도와 비례적으로 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 기존에 보고된 측정결과에 따르면, 소성변형비의 평면이방성 값은 열처리 온도나 시간이 증가함에 따라 평균 소성변형비의 감소와 함께 감소한다고 알려져 있으며,^(19-20,26-27) 이것은 본 연구에서의 실

험결과와 일치함을 알 수 있고, 그것은 우선방위가 열처리 시간에 따라 점차적으로 램덤하게 바뀌기 때문이다.

4.4 샌드위치 판재의 소성변형비 및 평면 이방성의 제어

본 연구에서 개발한 5182 알루미늄 합금을 AA/PP/AA 샌드위치 판재의 표면판재로, 폴리프로필렌 판재를 중심판재로 적용하여 샌드위치 판재를 제조 후 소성변형비를 측정하였다. 샌드위치 판재의 측정된 $R_m=1.58$ 은 5182 단일 알루미늄 합금판재의 $R_m=1.50$ 보다 높은 값을 나타내었으나, 소성변형비의 평면이방성은 표면판재의 높은 이방성에 의존하여 크게 감소하지 않았다. 또한, 기존에 보고된 측정결과에 따르면, 소성변형비의 평면이방성 값은 열처리 온도나 시간이 증가함에 따라 평균 소성변형비의 감소와 함께 감소한다고 알려져 있으며,⁽¹⁹⁻²⁰⁾ 본 실험결과에서도 Fig. 5에 나타난 바와 같이 열처리 시간의 증가에 따라 감소하였으나 소성변형비 역시 감소하여 딥드로잉성은 저하될 것이다. 그러므로, 본 연구에서는 샌드위치 판재의 장점을 최대한 이용하여 소성변형비의 큰 희생 없이 평면 이방성을 효과적으로 제어할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

이방성이 높은 5182 알루미늄 표면판재를 상부 판재와 하부판재로 적용하여 제조한 샌드위치 판재의 방향성을 적절하게 활용하기 위하여 Table 2의 측정된 물성치를 이용하여 상·하부 판재의 최적의 방향성을 조합하였다. 상·하부 판재의 조합을 각각 0°/PP/0°, 0°/PP/30°, 0°/PP/45° 및 45°/PP/90°의 조합으로 샌드위치 판재를 제조할 경우 상·하부 판재의 조합이 45°/PP/90°는 샌드위치 판재의 특성 상 0°/PP/45°와 같다.

Table 2 Properties of AA5182 skin and polypropylene core

Properties	K (MPa)	n	m	R ₀	R ₄₅	R ₉₀
AA5182	621.2	0.31	-0.006	1.02	1.78	1.39
Polypropylene	29.2	0.12	0.050	2.98	2.98	2.98

Here, K: Strength Coefficient, n: Strain Hardening Exponent, m: Strain Rate Sensitivity

Table 2에 나타난 바와 같이 등방성인 폴리프로필렌의 소성변형비는 무시하고 5182 알루미늄 표

면판재의 소성변형비만 고려할 경우 소성변형비 값이 가장 높게 나타나는 방향은 45°와 그 다음으로 90°이다. 그러므로 가장 높은 소성변형비와 가장 낮은 이방성을 나타낼 것 같은 조합은 45°/PP/90°의 조합이다.

5182 알루미늄 단일 판재의 높은 이방성을 효과적으로 제어하기 위해서 Fig. 8과 같은 형태로 샌드위치 판재를 제조하였다. AA/PP/AA 샌드위치 판재는 알루미늄 표면판재가 상부판재와 하부판재로 구성되어 폴리프로필렌 중심판재와 접합되기 때문에 표면판재의 평면이방성이 큰 경우 샌드위치 판재의 평면이방성 또한 높다. 방향성을 이용하여 샌드위치 판재를 제조한 후에 표면판재의 소성변형비 측정에서와 마찬가지로 인장축과 압연방향이 이루는 각이 각각 0°, 45° 및 90°를 이루도록 시편을 가공하여 소성변형비를 측정하였다. Fig. 8에서와 같이 샌드위치 판재의 소성변형비 측정 시편중 인장축과 압연방향이 이루는 각이 각각 0°, 45° 및 90°인 경우 표면 상부+하부판재는 각각 45°+90°, 0°+45° 및 0°+45°를 이루고 있으며, 45°인 경우 표면 상부+하부 판재가 이루는 각이 90°와 일치 하였다.

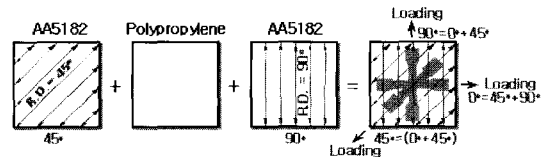


Fig. 8 Fabrication method to improve the planar anisotropy of the sandwich sheet

Fig. 9에 Fig. 8의 방법으로 제조한 AA/PP/AA 샌드위치 판재의 소성변형비와 표면 상부+하부 판재의 인장축과 압연방향이 이루는 각이 0°+0°로 판재의 방향성을 이용하지 않고 제조한 샌드위치 판재의 소성변형비를 함께 나타내었다. 표면판재의 상·하부판재의 방향을 달리 조합하여 (45°+90°) 제조한 샌드위치 판재를 동 방향(0°+0°)으로 제조한 샌드위치 판재의 소성변형비와 비교한 결과 평균 소성변형비는 비슷하였으나, 평면이방성은 동 방향으로 제조한 샌드위치 보다 약 3.2배 개선되었다. 압연집합 조직을 갖는 판재의 평면이방성은 비교적 높게 나타나는데, 이방성은 열처리 시간을 오래도록 지속하면 현저 하게 감소하지만 열처리 시간이 증가함에 따라 평균 소성변형비를

높이는데 기여하는 방위도 다른 방위로 회전하여 평균 소성변형비도 낮아지는 문제를 야기시킬 수 있다. 그러므로 샌드위치 판재의 장점인 상·하부 판재의 방향성을 적절히 이용하면 이러한 소성 변형비의 희생 문제가 향상된 샌드위치 판재를 제조 할 수 있다.

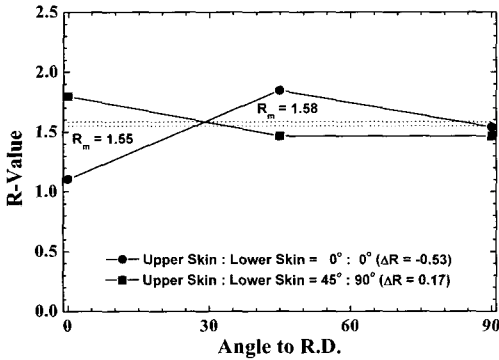


Fig. 9 Measured R-values of AA/PP/AA sandwich sheets for different tensile orientation

5. 결 론

(1) 상온에서 대칭압연을 통하여 압하율을 크게 하여 전단변형을 부여할 수 있었고, 이 때 집합 조직은 γ -fiber ND//<111> 및 {001}<110> 방위가 대표 성분이었다.

(2) AA5182/Polypropylene/AA5182 샌드위치 판재의 소성변형비(1.58) 측정결과 5182 알루미늄 표면 판재(1.50)보다 개선되었으나 소성변형비의 평면 이방성은 -0.53으로 비슷한 값을 나타내었으므로 샌드위치 판재의 평면이방성은 5182 알루미늄 표면판재에 크게 의존함을 알 수 있다.

(3) 평면이방성을 개선하기 위하여 샌드위치 판재의 구성재 중 알루미늄 표면판재의 상부 판재와 하부판재의 방향성을 이용하여 샌드위치 판재를 제조하는 신공정을 제시하였다. 신공정으로 제조한 샌드위치 판재의 평면이방성은 0.17로 이방성 측면에서는 5182 알루미늄 단일 판재에 비하여 약 3.2배 개선되었다.

참 고 문 헌

- (1) E. W. Veenstra., 1993, "Aluminum-Plastic-Aluminum Sandwich Sheet for Maximum Weight Reduction in Body Panels", SAE Paper, 930706, pp. 1~10.
- (2) K. S. Shin, K. J. Kim, S. W. Choi and M. H. Rhee., 1999, "Mechanical Properties of Aluminum/Polypropylene/ Aluminum Sandwich Sheets", Metals and Mater., Vol. 5, No. 6, pp. 613~618.
- (3) M. H. Rhee, Y. M. Ryu, K. J. Kim, K. S. Shin, J. H. Kim and K. N. Lee., 2000, "Development of Application Technique of Aluminum Sandwich Sheets for Automotive Hood", FISITA 2000, Seoul, Korea, June 12-15.
- (4) K. J. Kim, D. Kim, S. H. Choi, K. Chung, K. S. Shin, F. Barlat, K. H. Oh and J. R. Youn., 2003, "Formability of AA5182/Polypropylene/AA5182 Sandwich Sheets", J. of Mater. Proc. Tech., Vol. 139, No 1-3, pp. 1~7.
- (5) D. N. Lee and K. H. Oh., 1985, "Calculation of Plastic Strain Ratio from the Texture of Cubic Metal Sheet", J. of Mater. Sci., Vol. 20, pp. 3111~3118.
- (6) P. Lequeu and J. J. Jonas., 1988, "Modeling of the Plastic Anisotropy of Textured Sheet", Metall. Trans., Vol. 19A, pp. 105~120.
- (7) W. B. Hutchinson., 1989, "Recrystallization Textures in Iron Resulting from Nucleation at Grain Boundaries", Acta Mater., Vol. 37, No. 4, pp. 1047~1056.
- (8) T. Kamijo, H. Adachihara and H. Fukutomi., 1993, "Formation fo a (001)[100] Deformation Structure in Aluminum Single Crystals of an S-Orientation", Acta Mater., Vol. 41, No. 3, pp. 975~985.
- (9) J. Hu, K. Ikeda and T. Murakami, 1996, "Effect of Single Roller Driving Cold-Rolling on Texture and Formability of Pure Aluminum Sheet", J. Japan Inst. Metals, Vol. 60, No. 11, pp. 1130~1135.
- (10) K. Hasegawa, T. Fujita, K. Araki, S. Mitao, K. Osawa, M. Niikura and K. Ohori., 1998, "Effect of Intermediate Annealing on the R-Value of Al-Mg Alloy Sheet", Mater. Sci. and Eng., Vol. A257, pp. 204~214.
- (11) J. J. Park., 1999, "Predictions of Texture and Plastic Anisotropy Developed by Mechanical Deformation in Aluminum Sheet", J. of Mater. Proc. Tech., Vol. 87, pp. 146~153.

- (12) Y. Saito, H. Utsunomiya, H. Suzuki and T. Sakai., 2000, "Improvement in the R-Value of Aluminum Strip by a Continuous Shear Deformation Process", *Scripta Mater.*, Vol. 42, pp. 1139~1144.
- (13) C. Pithan, T. Hashimoto, M. Kawazoe, J. Nagahora and K. Higashi., 2000, "Microstructure and Texture Evolution in ECAE Processed A5056", *Mater. Sci. Eng.*, Vol. A280, pp. 62~68.
- (14) H. O. Asbeck and H. Mecking., 1978, "Influence of Friction and Geometry of Deformation on Texture Inhomogeneities during Rolling of Cu Single Crystals as an Example", *Mater. Sci. Eng.*, Vol. 34, pp. 111~119.
- (15) W. Truszkowski, J. Krol and B. Major., 1982, "On Penetration of Shear Texture into the Rolled Aluminum and Copper", *Metall. Trans. A*, Vol. 13A, pp. 665~669.
- (16) B. Major., 1992, "Texture, Microstructure and Stored Energy Inhomogeneity in Cold Rolled Commercial Purity Aluminum and Copper", *Mater. Sci. Tech.*, Vol. 8, pp. 510~515.
- (17) M. Holscher, D. Raabe and K. Lucke., 1994, "Relationship between Rolling Textures and Shear Textures in F.C.C. and B.C.C. Metals", *Acta Metall. Mater.*, Vol. 42, No. 3, pp. 879~886.
- (18) 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. Metall.*, Vol. 45, No. 12, pp. 5119~5128.
- (19) T. Kamijo and H. Fukutomi., 1995, "Improvement of Lankford Value in Al-Mg Alloys by the Formation of (111) Recrystallization Texture", *Proc. of the 16th Risø Inter. Symp. of Mater. Sci.*, Denmark, pp. 377~382.
- (20) K. H. Kim., 1999, "Textures and Plastic Strain Ratios of Asymmetrically Rolled Aluminum Alloy Sheets", p.H. D. Thesis of Seoul National Univ., pp. 136~150.
- (21) C. S. Lee, R. E. Smallman and B. J. Duggan., 1994, "Effect of Rolling Geometry and Surface Friction on Cube Texture Formation", *Mater. Sci. and Tech.*, Vol. 10, pp. 149~154.
- (22) H. T. Jeong, K. K. Um, D. N. Lee and J. A. Szpunar., 2000, "Variation of Shear Texture with Shear to Effective Strain Ratio in Rolled FCC Metal Sheet", *THERMEC 2000, Symp. on Textures in Mater.-Int. Conf. on Proc. and Manuf. of Adv. Ma.*, Las Vegas, NV, USA, Nov., pp. 4~8.
- (23) K. J. Kim and K. S. Shin., 2004, "Texture Evolution of AA5182 Aluminum Alloy Rolled Sheets after Annealing", *Metals and Mater.*, to be published.
- (24) C. N. Reid., 1975, "Deformation Geometry for Materials Scientists", Pergamon Press, pp. 111~178.
- (25) T. Sakai, Y. Saito, M. Matsuo and K. Kawasaki., 1991, "Inhomogeneous Texture Formation in High Speed Hot Rolling of Ferritic Stainless Steel", *ISIJ International*, Vol. 31, pp. 86~94.
- (26) S. M. Baeck, H. K. Seok, J. C. Lee and K. H. Oh., 2001, "Texture Analysis of Aluminum Plate Produced by ECAP", *2nd LIMAT*, Vol. II, pp. 621~626.
- (27) T. Sakai, S. Hamada and Y. Saito., 2001, "Improvement of the R-value in 5052 Aluminum Alloy Sheets Having Through-Thickness Shear Texture by 2-Pass Single-Roll Drive Unidirectional Shear Rolling", *Scripta Mater.* Vol. 44, pp. 2569~2573.