

A 5032 판재성형에서 발생하는 표면거칠기에 관한 연구

박서운*(울산대 대학원)*, 김진무(울산대 공대)**

A Study on the Surface Roughness in the A 5032 Sheet Metal Forming

Seo-Oun Park , Jin-Mu Kim

ABSTRACT

In sheet metal forming, since the surface area of workpiece is apparently larger than the volume of it, the surface condition of the sheet metal is much varied. The formability of sheet metal is decided by the forming limit and the macroscopic surface defect as like fracture and wrinkle, and microscopic asperities. The factors affected in forming limit are strain hardening exponent, strain-rate sensitivity exponent, anisotropic coefficient. The increasing of surface roughness is decreased the forming limit curve. It is known that the greater plastic deformation the more surface roughness by Kienzle, Osadaka. The purpose of this study is to investigate the influences of surface roughness in a uniaxial tension and the trapezoidal-shaped box drawing.

Key Words : Surface Roughness(표면거칠기), Orange Peel(오렌지필), Al Alloy Sheet(Al 합금판),
Deformation Rate(변형속도), Strain Stretcher Mark(스트레인 스트레처 마크)

1. 서 론

금속박판을 프레스 가공에 의해 소요의 형상, 치수로 성형하는 방법을 보통 판재성형(Sheet Metal Forming)이라 부르며 소성가공법 중에서도 중요한 분야의 하나이다. 보통 판재성형은 제품의 체적에 비해서 표면적이 현저하게 크고, 성형중에 공구에 의한 표면구속이 적은 것이 특징이다. 특히 자동차 차체 패널과 같은 경우는 펀치의 평균횡단면적과 판재 두께와의 비가 1,500에 이르는 등 대형성형품이 많으므로 소성변형의 진행에 따라 성형체 표면상태가 많이 변하게 된다⁽¹⁾. 박판의 성형성은 성형한계에 의해 결정되는 데 성형한계는 파단이나 주름의 발생

과 같은 거시적인 불량현상과 성형체 표면의 거칠어짐이나 치수정도 변화같은 미시적 관점에서 규정된다. 성형한계에 영향을 미치는 인자로는 가공경화지수(n), 변형율속도 감수성지수(m), 이방성계수(r) 등이 있고 또한 재료 내부결합의 발생과 성장이 큰 영향을 미친다⁽²⁾. 또한 판 표면의 거칠기도 성형한계곡성을 저하시키는 원인으로 된다. 특히 공구와 접촉하지 않는 자유표면에서는 이웃하는 결정립들은 서로 다른 방향을 가지고 있기 때문에 변형시 각각의 결정립들이 서로 독립적으로 변형하려고 하는 경향을 보이므로 이 결정립 둘이 표면위에 뚜렷하게 보이는 오렌지 필(orange peel)현상을 나타내기도 한다⁽³⁾. 이와 같은 판재성형품의 표면거칠기는 제품

의 미관이나 표면 다듬질 상태를 악화시키게 되고, 판두께가 얇은 경우에는 성형한계를 저하시키는 원인이 된다. 소성변형을 받은 판재의 표면거칠기에 관한 연구는 많이 이루어지고 있다. 즉, 판재가 소성변형을 받을 때 판재의 표면거칠기가 증가한다는 것은 Kienzle, Osakada 와 Oyane 등에 의해 실험적으로 조사된 바 있고, Yamaguchi 등은 변형경로가 다른 경우의 표면거칠기의 발생상태를 수치해석에 의해 구한바 있다⁽⁴⁾. 본고에서는 앞으로 자동차 차체 패널재로서 많이 사용될 것으로 기대되는 5000 계열 Al 합금판을 시험재료하여 일축인장 변형의 진전에 따른 표면거칠기의 영향을 관찰하고 또한 변형속도를 변화시켰을 때의 영향도 조사했다. 그리고 사다리꼴 용기를 성형했을 때의 성형체 각부의 표면거칠기 발생상태를 조사하여 인장시편과 실물성형체와의 관련성도 조사한다.

2. 자동차 차체용 5000계열 Al 합금판

최근 환경 문제 및 에너지 절약을 위한 자동차의 연비향상 방안으로 자동차 차체에 Al 합금판을 사용하여 경량화를 달성하려는 시도가 많이 이루어지고 있으며 현재 많은 종류의 합금이 개발되어 있다. 이들 합금을 대별하면 Mg을 주성분으로 하는 Al-Mg계의 비열처리형 합금과 Cu, Mg, Si 등을 주성분으로 하는 Al-Cu계 및 Al-Mg-Si계의 열처리형 합금으로 분류된다. 이중 Al-Mg계의 5000계열 Al 합금판은 높은 강도와 양호한 성형성을 동시에 나타내므로(thirty-thirty) 기존의 철강재료의 대체재료로 관심이 커지고 있다. 이중 5182-O재료가 사용실적이 많으나, 프레스 성형시에 Al-Mg계 합금플림판에서 나타나는 스트레처 스트레인 마크(stretcher strain mark)가 생기기 때문에 이를 방지하기 위한 5182-SSF(S-S free)판재가 개발되어 있다. 최근에는 5182 합금보다 성형성이 우수한 고 Mg계의 5085나 5032재가 자동차 차체 패널용 소재로 많이 쓰이고 있다.

3. 변형정도와 표면거칠기의 관계

판재에서 소성변형이 진행됨에 따라 자유표면에서 나타나는 표면거칠기의 변화는 다음과 같은 실험식으로 나타낼 수 있다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾

$$R = \alpha \epsilon + R_0 \quad \text{----- (1)}$$

여기서 α 는 표면거칠기의 증가비율을 나타내는 정수이며 ϵ 은 변형율, R_0 는 변형전 판재의 초기거칠기이다. R_0 가 적은 조질압연판의 경우에는 변형의 초기부터 윗식이 적용되는 것으로 알려져 있다. 표면거칠기의 증가비율 α 는 재료의 결정립경 d , 결정계 및 집합조직 등 금속학적인 인자에 의해 다르게 된다. 지금까지의 실험결과에 따르면 α 는 d 에 비례하는 것으로 알려져 있다.

$$\alpha = k d \quad \text{----- (2)}$$

보통 거칠기를 중심선 표면거칠기 R_a 로 표시하면 (2)식의 k 는 체심입방격자는 0.23, 면심입방격자는 0.5, 조밀육방격자는 0.84-1.15의 값을 가진다. 표면거칠기를 표시하는 방법으로 최대높이거칠기(R_{max}), 중심선 평균거칠기(R_a), 십점평균거칠기(R_z)가 KSB 0161에 지정되어 있으나 본고에서는 표면거칠기가 진전하게 됨에 따라 판재의 불균일함(thickness imperfection)이 발생하고 이것이 성형한계에 영향을 미친다고 고려할 때, 표면거칠기를 그림 1과 같이 최대거칠기로 표시하기로 한다.

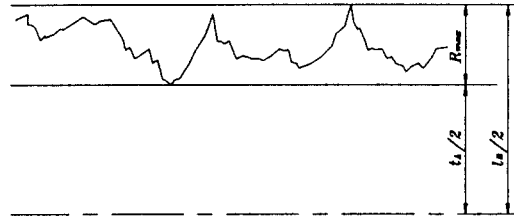


그림 1 최대높이 표면거칠기의 정의

판재의 양면에 같은 크기의 거칠기 R_{max} 이 생기는 것으로 가정하고 네킹이 일어나는 곳으로 예측할 수 있는 판두께가 가장 얇은 부분의 판두께 t_B 를

$$t_B = t_A - 2 R_{MAX} = t_A - 2 (\alpha \epsilon + R_0) \quad \text{--- (3)}$$

로 근사시키면 A부와 B부의 판두께 불균일함 f_R 은

$$\begin{aligned} f_R &= \frac{t_B}{t_A} = 1 - \frac{2(\alpha \epsilon + R_0)}{t_A} \\ &= 1 - \frac{2(\alpha \epsilon + R_0)}{t_0 \exp(\epsilon t_A)} \quad \text{----- (4)} \end{aligned}$$

로 되며, 이식은 Marciniak-Kuczynski의 식에 적용될 수 있을 것이다.

4. 실험장치 및 실험방법

4-1 실험재료

본 실험에서 사용한 재료는 두께 0.9 mm의 Al-Mg계 A5032-T4 합금판이다. 재료의 인장특성을 파악하기 위하여 ASTM E-8에 해당하는 KS 13B 시험편을 판재의 압연방향과 각각 0°, 45°, 90°의 방향에 따라 채취하여 제작하였다. 초기 표면조도는 판재의 압연방향에 따라 다소 다르나 대략 $R_0 = 3 \mu\text{m}$ 이다. 표 1은 실험재료의 기계적 성질을 나타낸 것이다.

표 1 실험재료의 기계적 성질

소재	σ_t (kg/mm ²)	σ_y (kg/mm ²)	Elong. (%)	E (kg/mm ²)	n
A5032	29.25	13.12	30	0.76×10^4	0.24

4-2 실험장치

본 실험에서 인장시험은 만능인장시험기(Instron)로 실시하였으며, 실제 드로잉작업을 했을 때 성형체의 표면 각부에서 나타나는 표면거칠기의 발생상황을 파악하기 위하여 그림 2와 같은 금형을 사용하여 사다리꼴 용기를 드로잉한 후 검사하였다. 이 때 블랭크 크기는 300 × 300mm의 정사각형 소재를 사용하였고 최대 성형깊이는 45 mm이다.

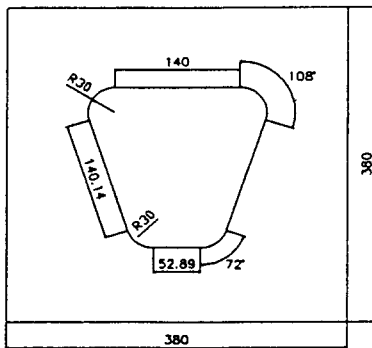


그림 2 금형의 형상

드로잉작업은 가압능력 250톤의 유압프레스에서 실시하였으며 표면거칠기는 일본 Mitutoyo사 제품인

Surftest 201 표면조도계를 이용하여 측정하였다. 경도는 마이크로 비커스 경도계를 사용하여 측정하였다.

5. 실험결과 및 고찰

공시재인 A5032-T4 소재를 일축인장 및 사다리꼴 용기로 드로잉 작업을 하였을 때 소성변형을 받은 부분에서는 육안과 촉감으로도 확인할 수 있는 오렌지 필(orange peel) 현상이 나타났다.

5.1 일축인장시의 표면거칠기 변화

5000계열 Al 합금판의 결정립 크기는 KSD 0209 규격으로 측정된 결과 대략 $45 \mu\text{m}$ 의 크기를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 (1), (2)식에서 $k=0.5$ 로 놓으면 $R=0.0225 \epsilon+3$ 으로 된다. 판재의 프레스 성형시 성형속도도 성형성에 영향을 미치게 되며 일반적으로 성형속도가 커질수록 강도가 커지게 된다. 또한 소성가공은 가공법에 따라 성형속도가 다른 데 판재성형가공은 보통 진변형율은 0.1-0.5, 변형속도(deformation rate)는 0.05-2m/sec, 변형율속도(strain rate)는 $1-10^2/\text{sec}$ 에서 실시한다. 따라서 본 실험에서는 성형속도에 따른 표면거칠기 변화를 파악하기 위하여 일축인장시에 변형속도를 변화시켜 실험하였고 그림 3에 그 결과를 나타내었다.

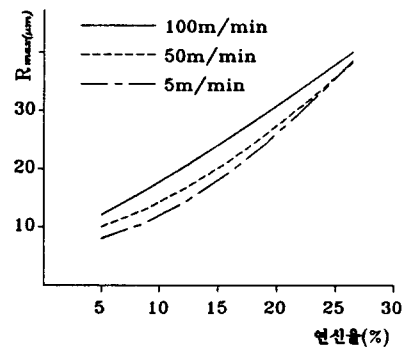


그림 3 변형속도에 따른 표면거칠기의 변화

5.2 압연방향에 따른 영향

판재성형시 r값도 성형성에 큰 영향을 미치는 데 보통 r값이 클수록 FLD가 저하하게 되고 특히 등2

측영역에서는 그 감소비율이 크게된다. 본 실험에서 사용한 공시재의 압연방향에 따른 r값은 표1과 같고 이에 따른 표면거칠기의 발생상황을 그림4에 나타내었다.

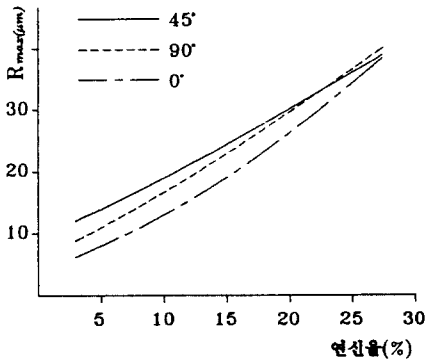


그림 4 r값과 표면거칠기와의 관계

5.3 표면거칠기와 경도와의 관계

그림 5은 변형속도를 5mm/min로 일정하게 실험하였을 때의 표면거칠기 증가에 따른 경도치 변화를 나타낸 그림이다.

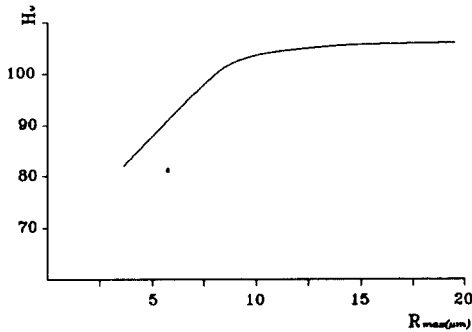


그림 5 표면거칠기 변화와 경도와의 관계

변형을 받지 않은 소재 경도는 $H_v = 80$ 이다. 그림에서와 같이 표면거칠기가 증가할수록 경도는 조금씩 증가하는 경향을 보였으나 그 변화는 심하지 않았다. 변형속도가 큰 경우에도 경도변화는 같은 경향을 보였으며, 변형속도에 의해 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

5.4 사다리꼴 용기 성형체에서의 표면 거칠기 변화

A5032 판재를 사용하여 사다리꼴 용기의 덩 트로 잉을 하였을 때, 성형체 표면에는 표면거칠기의 발생상황을 육안으로 확인 할 수 있었다. 특히 차체용 AI 판재는 성형성 개선이나 성형후 도장작업시의 윤활제 제거를 용이하게 하기 위하여 판재 양면에 모두 테프론 코팅이 되어 있는 경우가 많다. 테프론 코팅을 제거하고 성형한 면에서는 블랭크가 다이구멍 안으로 유입될 때 블랭크홀더나 다이면과의 마찰에 의해서 성형에 의해 거칠어진 판재표면이 마찰에 의해 소거되었다. 그러나 테프론 코팅한 채로 성형한 경우에는 성형체의 내·외면에 관계없이 표면거칠기가 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 6은 사다리꼴 용기 성형후에 나타난 표면거칠기의 발생상태를 나타낸 그림이다. 그림에서 검게 칠해진 부분은 표면이 육안으로 확인할 수 있을 정도로 거칠어진 부분을 나타낸다. 표면거칠기 발생부위는 블랭크홀더 압력에 의해 거의 영향을 받지 않고 그림과 같은 형태를 유지했으며 블랭크홀더 압력이 상승하면 표면거칠기도 다소 상승하였다. 그리고 모든 코너부의 다이R부에서 직벽부 끝가지에는 대략 45° 방향으로 양 방향에 걸쳐 스트레처 스트레인 마크 (Stretcher Strain Mark)가 발생했는데 이는 항복점 신장이 그 원인일 것으로 생각된다.

실제로 항복점 신장 현상은 연신율이 낮은 상태에서 발생하고, 변형이 진행할수록 성장해서 리더스밴드 (Lüder's band)로 발전해 나가게 된다. 그러나 성공한 성형체에서 코너의 직벽부는 매우 큰 연신율을 나타나게 되는데 이는 코너부 양 측면으로부터의 압축에 의한 재료유입의 효과인 것으로 파악되며, 이로 인해 벽부의 변형율이 소재의 변형율보다 커도 스트레처 스트레인 마크가 생기는 것으로 판단된다.

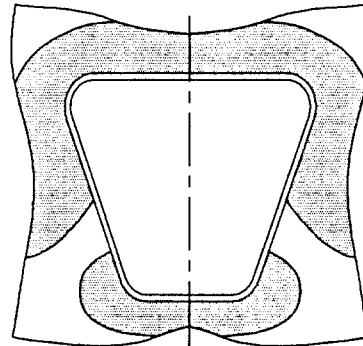


그림 6 사다리꼴용기 성형시 나타나는 표면거칠기의 분포상태

그림7은 성형체 단직변부 중앙부에서의 표면 거칠기 변화를 나타낸 것이다.

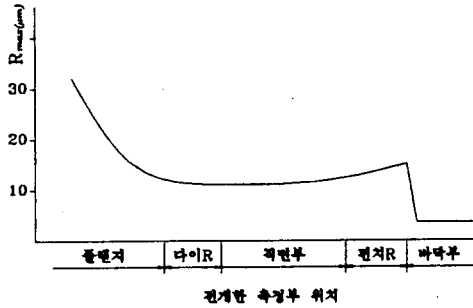


그림 7 단직변부 중앙을 따른 표면거칠기 변화

단직변부는 그림 6과 같이 직선부 길이가 짧아 곡선부에서의 컵 드로잉의 영향을 많이 받게 된다. 따라서 곡변부 플랜지 유입이 많으므로 상당한 압축응력을 받게 된다. 표면거칠기도 이와 같은 경향을 잘 나타내고 있는 데, 즉 그림 7에서와 같이 플랜지 끝단에서의 Rmax은 $32\mu\text{m}$ 의 값으로 최대값을 나타내며 이는 압축응력의 영향으로 생각된다. 이후 다이R부와 편치R부를 포함하는 직벽부에서는 표면거칠기가 $10\mu\text{m}$ 의 값으로 일정하게 나타났다. 편치R부가 끝나는 부분부터 바닥부에는 거의 변형을 받지 않는 모재부와 같은 크기의 표면거칠기를 나타냈다.

그림8은 성형체 장직변부 중앙부에서의 표면거칠기 변화를 나타낸 그림이다.

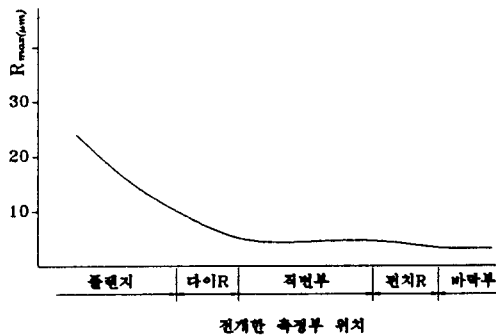


그림 8 장직변부 중앙을 따른 표면거칠기 변화

장직변부는 단직변부보다는 플랜지의 유입량이 적고 이의 영향으로 표면거칠기도 단직변부보다는 적게 나타났으며 다이R부부터 바닥부에 이르기 까지

의 표면거칠기의 양은 변형을 받지 않은 모재부와 비슷하게 나타났다. 이것은 이 부분에서의 판재 변형상태는 드로잉변형이 아닌 스트레칭에 의한 것으로 생각되며 이부분에서의 파단은 거의 일어나지 않을 것으로 판단된다.

그림9는 예각 R부에서의 표면 거칠기 변화를 나타낸 그림이다.

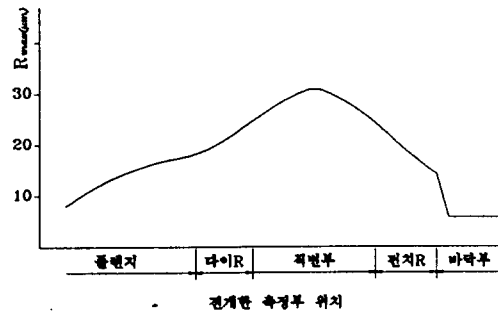


그림 9 예각R부 중앙을 따른 표면거칠기 변화

이 부분을 측정된 결과 직벽부에서의 표면거칠기가 $31\mu\text{m}$ 으로 가장 크게 나타났다. 실제 실험에서도 이 부분은 블랭크홀더력이나 블랭크의 형상에 따라 편치R이나 다이R부에서 파단이 가장 많이 일어나는 곳이다.

6. 결 론

판재성형가공시 변형진행에 따른 표면상태의 변화를 파악하기 위하여 일축인장시험 및 사다리꼴 이형용기의 딥드로잉 시험을하여 표면거칠기를 측정하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 일축인장시험시 변형속도가 증가할수록 표면거칠기도 증가하였으나, 변형속도의 영향은 크게 나타나지 않는다
2. 판재의 압연방향에 따른 표면거칠기는 0° , 90° , 45° 의 크기순서로 나타났으나 그 차이는 무시할 수 있을 정도이다.
3. 표면거칠기가 증가할수록 경도도 증가하는 경향을 나타내었고, 표면거칠기 $10\mu\text{m}$ 이상에서는 거의 일정한 값을 나타낸다.
4. 사다리꼴용기의 드로잉시 표면거칠기는 블랭크의 부분별 변형정도 및 재료 유입상태를 근사적으로 추측할 수 있게 해 준다.

5. 사다리꼴용기의 장직변부 및 단직변부에서의 표면거칠기 발생은 비슷한 양상을 나타내며 두 군데 모두 플렌지부에서 최대값을 나타낸다.
6. 사다리꼴용기의 예각R부에서는 직벽부에서 표면거칠기가 가장 크게 나타난다.

참 고 문 헌

1. 青木 至, “薄鋼板の大寸法プレス成形における特徴”, 機械の研究, 第 29 卷、第 5 號, pp 31-36, 1977
2. P.B. Mellor and A. Parmar, “Plasticity Analysis of Sheet Metal Forming”, PLENUM PRESS, pp. 53-74, 1978
3. George E. Dieter, “Mechanical Metallurgy : Defects in Formed Parts”, McGRAW-HILL, pp. 697-700, 1976
4. 山口克彦, “板材の成形限界を向上させるための基本的な考え方”, 塑成と加工, 第 33 卷, 第 372 號, 1992
5. 河合 望, “塑性變形に伴う多結晶金屬板の表面構造變化”, 日本機械學會論文集, 51卷 468號, 昭60
6. 阿部武治, “材料の不均質と成塑性變形後の表面粗さ”, 日本機械學會論文集, 50卷 454號, 昭59
7. 高倉章雄, “剛塑性有限要素法による板材表面あれの解析”, 日本機械學會論文集, 51卷469號, 昭60