

레이저 용접 소재의 프레스 성형특성 해석(Ⅱ)

*하동호(경북대원), 김영석(경북대)

Analysis of press formability of laser-welded blank (Ⅱ)

Dong-ho Ha(Graduate School, KNU), Young-suk Kim(KNU)

Abstract

In automotive industries, stamping of laser-welded blank gives many merits which brings about dimensional accuracy, strong body assembly and high productivity. However the welding of blanks with different thickness or/and different strength materials introduces many challenging formability problems for process development and tool design.

In this paper, the deformation characteristics for deep drawing process of laser-welded blank with different thickness sheets are investigated by experiment and FEM simulation. And also the optimal location of weld line in laser-welded blank with different thickness sheets is calculated to compensate for the movement of weld line on deep drawing process. In addition, the effect of location of weld line is clarified using FEM simulation.

Key Words : Laser-Welded Blank, Different Blank Holding Force, Tailored Blank

1. 서 론

최근 자동차 차체의 제조에 있어서 차체의 용접조립시 오차 감소, 차체조립비 및 프레스 금형비의 절약 등을 위해서 각기 부위별로 사용목적에 적합한 다른 재질 또는 다른 두께의 소재를 평판 상태에서 미리 레이저용접(laser welding) 혹은 메쉬심용접(mesh-seam)하여 결합 소재로 구성된 T/B소재를 만들어 프레스 가공할 수 있는 기술이 개발되어 널리 사용되는 추세에 있다. 이러한 기술은 철강사 및 자동차 관련 업체에서 타 경쟁소재 대비 우위를 점할수 있는 기술로 인식되어 최근 프레스 가공중의 용접부의 영향에 대한 많은 실험 및 해석연구가 이루어지고 있으며 일부 실차에도 적용되고 있다[1~4].

본 연구에서는 레이저 용접된 강판의 최적 프레스 가공 기술을 확립하기 위한 기초 연구로서 동일재료의 다른 두께로 구성된 레이저 용접 블랭크를 대상으로 원형컵 딥드로잉 실험을 통한 변형특성을 파악하고 T/B소재의 프레스 가공성 평가에 유한요소해석 코드의 적용 가능성을 파악한후, 각각의 성형공정 중에 용접선의 위치변화를 수반하지 않도록 하기 위한 차등 BHF와 최적 용접선의 위치를 이론적으로 도출하였다. 또한 도출된 차등BHF와 최적 용접선 위치를 고려한 유한요소해석을 통해 이들이 프레스 성형특성에 미치는 영향을 규명하였다.

2. 성형실험 및 유한요소해석

동일재료(AKDQ)의 다른 두께(0.8mm/1.8mm)로 레이저 용접된 T/B소재를 이용하여 원형컵 드로잉시의 변형특성을 파악하였다. 원형컵 드로잉 실험에서 원형 블랭크의 직경은 110mm, 펀치직경 60mm (drawing ratio=blank dia/punch dia= $D_o/D_p=1.83$), 펀치어깨 곡률반경과 다이 곡률반경 6mm, 틈새(clearance)는 2.3mm를 사용하였다. 단 성형실험에서는 T/B소재의 다른 두께로 인하여 다이면에 단차를 가공하지 않으면 얇은 쪽 소재에 BHF가 작용하지 않으므로 드로잉 성형시 Fig. 1과 같은 과도한 주름이 발생하여 가공이 불가능하므로 다이면에 단차를 가공하여 실험을 수행하였다.

유한요소 해석에는 동적양해법을 채용한 탄소성 유한요소해석 코드인 PAM_STAMP[5]를 이용하여 다른두께를 레이저 용접한 강판에 대한 드로잉 성형특성을 해석하였고 일부 실험결과와 비교하였다. 공구와 판재의 유한 요소 분할은 Hypermesh V.2.0을 이용하였으며, 사용한 유한 요소는 굽힘과 전단을 고려한 사각 셸요소이다. Fig. 2는 원형컵 드로잉 공정의 유한요소해석에 사용된 해석모델을 나타낸다. 레이저 용접부의 기계적 성질은 직접 측정이 곤란하기 때문에 모재의 비커스 경도를 측정된 결과(Fig. 3)로부터 근사적으로 용접부는 모재보다 약 2.5배의 경도를 갖는 것으로 간주하여 용접부의 기계적 특성을 산출하였다.

해석은 다른두께 레이저 용접강판에 동일BHF를 가하고 용접선이 블랭크의 중심에 위치한 경우에 대해서 먼저 해석을 수행하여 실험결과와 비교함으로써 T/B소재의 성형해석에 유한요소해석 코드의 적용 타당성을 검토한 후 이론해석에서 도출된 차등BHF를 가하고 용접선을 중심에 위치한 경우와 동일BHF를 가하고 용접선을 이동한 경우에 대해서 원형컵 딥드로잉에 대한 유한요소해석을 수행하여 각각의 성형특성을 비교·고찰하였다.

3. 이론적 고찰

Fig. 4와 같은 원형컵 딥드로잉 가공해석에 있어서 Huber-Mises 항복조건과 블랭크홀더와 다이면의 쿠름마찰력, 굽힘응력, 굽힘플림응력을 고려하면 반경방향 응력은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[6,7].

$$\sigma_r = \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_Y \ln \frac{r_o}{r_c} + \frac{\mu H}{\pi r_o t_o} + \frac{\sigma_Y t_o}{4\rho_d} \right\} e^{\mu\phi_c} + \frac{\sigma_Y t_o}{4\rho_d} \quad (1)$$

두께가 다른 두 재료가 원형 블랭크의 중앙 대칭축에서 레이저 용접된 경우에 딥드로잉 공정에서 용접선 위치의 이동·회전을 제어하기 위해 차등BHF를 가하는 경우에 성형의 진행에 따른 양쪽 판재의 편치면에서의 변형저항력이 동일하다는 가정을 이용하면 t_1 부위와 t_2 부위에 가해야 하는 H_1 과 H_2 의 비는 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{H_1}{H_2} = 1 + \frac{\pi r_o t_2}{H_2 \mu e^{\mu\phi_c}} \left(1 - \frac{t_1}{t_2} \right) \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_Y e^{\mu\phi_c} \ln \frac{r_o}{r_c} + \frac{\sigma_Y t_2}{4\rho_d} \left(1 + \frac{t_1}{t_2} \right) (e^{\mu\phi_c} + 1) \right] \quad (2)$$

두께가 다른 두 재료를 레이저 용접한 강판의 원형컵 드로잉 공정에 대해 동일BHF를 가하는 경우를 고려해 보면, Fig. 5에서와 같이 초기 용접선의 위치가 두꺼운 강판 쪽으로 δ 만큼 이동하였다고 가정하여 식(1)을 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & r_b \theta t_1 \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_Y \ln \frac{r_o}{r_c} + \frac{\mu H_1}{\pi r_o t_1} + \frac{\sigma_Y t_1}{4\rho_d} \right\} e^{\mu\phi_c} + r_b \theta t_1 \frac{\sigma_Y t_1}{4\rho_d} \\ & = r_b (2\pi - \theta) t_2 \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_Y \ln \frac{r_o}{r_c} + \frac{\mu H_2}{\pi r_o t_2} + \frac{\sigma_Y t_2}{4\rho_d} \right\} e^{\mu\phi_c} + r_b (2\pi - \theta) t_2 \frac{\sigma_Y t_2}{4\rho_d} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $r_b \theta$, $r_b (2\pi - \theta)$ 는 용접선 위치의 이동에 따른 각 판재의 원주방향 길이를 나타낸다. 따라서 식(3)에 $H_1 = H_2$ 의 조건을 대입하여 θ 를 구하면 드로잉 성형중에 용접선의 위치이동을 억제하기 위해서는 용접선을 중심선으로부터 두꺼운 강판 쪽으로 얼마만큼 이동시켜야 하는지, 즉 이동량 δ 를 결정할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 6은 다른두께를 레이저 용접한 강판에 대해 두께차이에 의한 금형단차를 고려하고 용접선을 중심에 위치시키고 동일한 BHF(29.4KN)를 가하여 성형깊이를 23mm로 한 경우의 실험결과(a)와 해석결과(b)를 나타낸다. 그림으로부터 얇은 쪽의 소성변형이 두꺼운 쪽에 비하여 비교적 많아 편치와 접하고 있는 컵밀면부에서는 용접선이 두꺼운 쪽으로 이동하며 플랜

지부에서는 두꺼운 쪽이 얇은 쪽으로 이동·회전하고 있음을 알 수 있다. 이 용접선의 이동·회전은 두께가 다른 두 판재에 작용하는 편치력에 대해 얇은 판재의 소성변형에 저항하려는 저항력이 두꺼운 판재보다 상대적으로 작기 때문이다. 즉, 편치부위에서는 변형저항이 큰 두꺼운 쪽이 소성변형이 적어 편치에 의해 거의 굽힘변형되면서 밀려 올라가므로 변형저항이 작은 얇은 쪽이 두꺼운 쪽으로 끌려 이동한다. 따라서 플랜지 부위에서는 얇은 쪽이 많이 빨려 들어가므로 두꺼운 쪽이 얇은 쪽으로 이동·회전하게 되는 것으로 생각된다[8].

Fig. 7은 다른 두께의 레이저 용접강판에 대해 두께차이에 의한 금형단차를 고려하고 레이저 용접선을 블랭크의 중심에 위치시키고 용접선의 이동과 회전을 억제하기 위해 이론적 고찰로부터 구한 차등BHF(두꺼운 쪽 : 29.4KN, 얇은 쪽 : 186.2KN)를 가한 경우의 유한요소해석 결과이다. 얇은 쪽과 두꺼운 쪽의 변형저항력이 같기 때문에 양쪽 재료의 소성변형이 동일하여 용접선의 이동과 회전이 거의 일어나지 않고 성형이 되고 있음을 알 수 있다. 얇은 재료의 잔류 플랜지가 두꺼운 재료의 잔류 플랜지보다 많이 남게 되는데 이는 얇은 쪽에 큰 BHF가 작용하게 되어 드로잉 말기에 플랜지부의 재료가 과다하게 눌러 아이어닝(ironing)된 것에 기인한 것이다. 유한요소해석 결과는 그림(b)의 실험결과[9]와 같이 용접선의 위치 이동과 회전이 매우 작고 실험결과와 잘 일치한다. 따라서 차등 BHF를 가하는 것이 두께가 다른 레이저 용접판재의 가공에 효과적인 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 다른 두께의 레이저 용접강판에 대해 두께차이에 의한 금형단차를 고려하고 이론적 고찰결과를 적용하여 동일BHF하에서 초기용접선(initial weld line, I.W.L)을 두 재료의 변형저항력이 같게 되는 위치인 두꺼운 쪽으로 $\delta=17mm$ 이동시켜서 계산한 결과이다. 두 판재의 변형 저항력이 같으므로 편치와 접하고 있는 컵밀면부에서는 용접선의 회전없이 성형이 이루어지는 것을 볼 수 있으나 컵벽부와 플랜지부에서는 회전이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 이론적 고찰이 편치와 접하고 있는 컵밀면부에서의 용접선의 이동을 억제하는데 목적을 두고 이루어졌기 때문이다.

5. 결 론

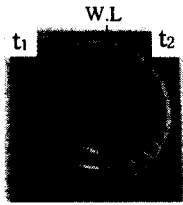
본 연구에서는 최근 자동차 산업에서 새로운 생산 기술로 대두되고 있는 레이저 용접판재의 프레스 가공 기술 확립을 위한 기초 연구로서, 레이저 용접강판에 대한 원형컵 드로잉과 사각컵 드로잉에 대한 실험과 유한요소해석을 수행하여 용접선의 회전을 방지하기 위해 용접선의 위치를 최적화였고 이때의 성형특성을 차등BHF하에서의 성형특성과 비교함으로써 레이저 용접판재에 대해 용접선 위치 이동의 영향을 규명하였다.

본 해석결과 다른 두께로 용접된 레이저 용접강판의 드로잉 성형시에는 두께차이에 의한 금형단차를 고려하여야 하며 이러한 경우 얇은 쪽 판재의 낮은 변형저항으로 용접선이 컵의 밀면에서는 두꺼운 판재 쪽으로 회전하고 컵벽과 플랜지부에서는 얇은 판재 쪽으로 회전한다는 것을 실험과 유한요소해석을 통해 알 수 있었다. 회전을 방지하기 위해 차등BHF를 가한 경우는 원형컵 드로잉에 대해서는 용접선의 회전을 억제할 수 있었다. 또한 동일BHF하에서도 블랭크상에서 변형에 대해 균일 변형저항력을 가지는 위치로 초기용접선을 이동시킨 경우에 대한 유한요소해석에서 원형컵 성형시에 용접선의 회전을 억제하여 원하는 형상의 성형이 어느정도 가능하다는 것을 보였다.

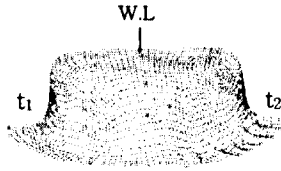
참고문헌

- [1] M. Eisenmenger and K. K. Bhatt, 1995, SAE Technical Paper, No.950922, pp.171~182.
- [2] K. Siegert and E. Knabe, 1995, SAE Technical Paper. No.950921, pp.159~169.
- [3] M. F. Shi et. al., 1993, SAE Technical Paper, No.930278, pp.27~35.
- [4] 최이천외 2인, 1996, 한국자동차공학회 '96년도 추계학술대회 논문집, Vol. I, pp.545~550.
- [5] PAM_STAMPTM VERSION 1996, Reference Manual.

- [6] K. Manabe 外 1人, 1996, 日本塑性加工學會 '96 秋季學術大會 論文集, pp.262~263.
- [7] 김영석, 1996, 소성역학-이론과 응용-경북대 기계공학부
- [8] 하동호, 김영석, 1996 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, vol.1, p.438
- [9] Taylan Altan et al., 1995, J.Mater. Proc. Tech., 53, p.684.



(a) Experiment



(b) Simulation

Fig. 1 Deformed shape of T/B material in the cylindrical cup drawing test with unstepped die

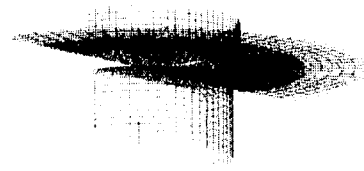


Fig. 2 Finite element model

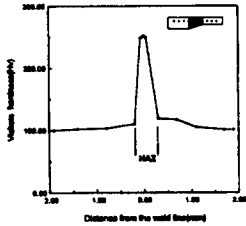


Fig. 3 Distribution of Vickers hardness of T/B material (HAZ : heat affected zone)

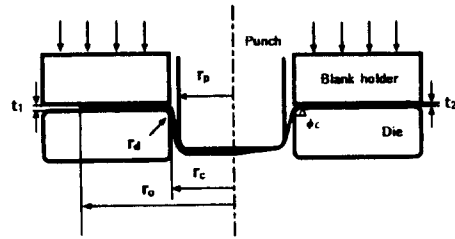


Fig. 4 Schematic view of the cylindrical cup Drawing test for T/B material

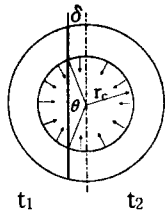
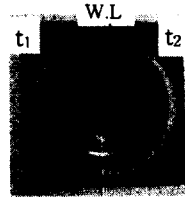
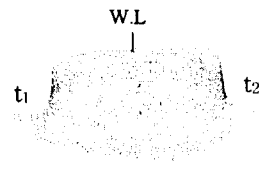


Fig. 5 Initial shift δ of weld line

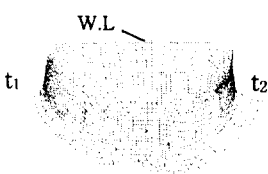


(a) Experiment



(b) Simulation

Fig. 6 Deformed shape of T/B with the same BHF



(a) Simulation



(b) Experiment

Fig. 7 Deformed shape of T/B with the different BHF
(b) from T.Altan, J.Mat.Proc.Tech., Vol.53(1995), p.686)

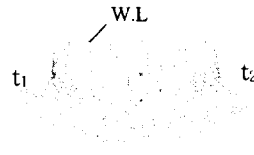


Fig. 8 Deformed shape of T/B material with the same BHF