

레이저 용접 테일러드 블랭크를 이용한 사이드 패널 성형

권재욱* · 명노훈* · 백승엽* · 인정제* · 이경돈*

(1998년 7월 1일 접수)

Stamping of Side Panel Using the Laser Welded Tailored Blank

J.W.Kwon, N.H.Myoung, S.Y.Baek, J.J.Yin and K.D.Lee

Abstract

In this study, side panels were developed using the laser-welded tailored blank (T.B.) of both the same thickness and different thickness. At first, the formability of the same thickness T.B. was investigated to compare with one of the non-welded panel with respect to weldline movement and strain distribution in blank during the stamping process. Based on these results, we determined the weld line positions and the die step for T.B. forming of the blanks composed of different thickness combination.

Then we made some stamping tryouts with selected types of blanks to investigate the formability of T.B. of the different thickness. During the tryouts, wrinkles were found in the a-pillar lower region which is under the deformation mode of the shrink flange. In the b-pillar region, fractures were also found. These defects have been reduced and corrected by controlling the blank design, the die faces and process parameters.

Key Words : Laser Welding, Tailored Blank, Formability, Side Panel

1. 서 론

Tailored Blank (이하 T.B.) 성형공법은 1980년대 국외에서 소개된 이래 유수의 자동차회사에서 차체 경량화 및 재료비의 절감 측면에서 많이 활용되고 있다.^(1~3) 한편 차체 T.B. 적용 부품으로는 Door inner, longitudinal, Side outer, Side inner 등을 들 수 있는데 자동차 회사들의 경량화 효과 및 생산성 향상 측면에서 지속적으로 확대 적용되는 추세이다.^(4~6) T.B.의 기술은 용접 방법에 따라 레이저용접과 Mash seam용접으로 나뉘는

데 요즘은 레이저를 이용한 용접방법이 많이 활용되고 있다.⁽⁷⁾ 그러나 레이저 용접의 경우 판재의 Fine shearing에 어려움이 있지만 기술적인 문제점들이 거의 해결되었고^(8~9) 세계 철강회사를 중심으로 한 ULSAB (Ultra Light Steel Automotive Body) project에서 이 기술을 적용한 후에 더욱 활발히 연구가 진행되고 많은 양산차에 적용되고 있다.

현재 T.B.의 핵심 기술중에서 용접에 대한 연구는 활발히 진행, 보고되고 있으나 대부분의 연구는 레이저 용접 판재의 기계적 물성 및 간단한 모델 실험 수준에 그치고

* 고등기술연구원

있다. 상대적으로 실제 자동차 부품개발에 관련한 실물 성형측면이나 금형에서의 성형 및 금형기술에 대한 보고는 아직 부족한 상태이다. 따라서 당 연구원에서는 자동차 차체중 가장 큰 부분을 차지하고 있고 T.B. 적용시 재료비의 절감효과가 크며 Stamping시에 가장 어려운 부품중 하나인 Side panel의 T.B. 성형 및 금형 기술을 연구 개발한 결과를 보고하고자 한다. 이 연구 개발은 먼저 동종 두께의 조합으로 용접된 Side panel을 성형함으로써 용접되지 않은 판재와 비교하여 레이저 용접선이 성형에 미치는 영향과 용접선의 이동을 관찰하였고 성형해석을 통하여 이중두께 T.B. 성형을 위한 금형의 단차위치설정 및 금형 가공을 수행하였다. 또한 성형해석을 통한 다양한 블랭크 설계안으로 성형실험을 수행하여 이중두께 조합의 T.B. Side panel을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 동종두께 Side Panel T.B. 성형

동종두께의 T.B. 성형의 목적은 첫 번째로 도금량이 다른 판재를 이용하여 T.B.를 제작하여 성형함으로써 무용접 판재 대비 용접선 존재에 따른 변형거동 관찰 및 용접선이동량 확보와 두 번째로는 용접되지 않은 판재의 성형 결과와 비교하기 위함이다. 용접은 당 연구원에서 개발된 4KW 레이저 용접기를 사용하였고 용접속도 6 m/min, 보조가스 Ar, 가스유량은 30 liter/min의 조건으로 3개의 용접선을 용접하였다. 또한 용접을 위한 판재의 절단은 Fine shearing을 위해 특별히 제작한 절단기에서 수행하였다.

2.1.1 Blank 형상

성형전의 동종두께(1.0 mm) T.B. 형상은 Fig. 1과 같다. 이의 T.B.의 blank design은 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 이중두께 성형시와 동일한 비교를 위해 다음장에서 논할 이중두께 T.B. 용접선 형상과 같은 형상으로 레이저용접을 하였다. 동종두께의 용접판재는 용융이연도 금강판으로 각 부위의 도금량은 10~20 μm으로 각기 다르며 기계적 성질을 표 1에 이중두께의 용접용 판재의 기계적성질과 함께 나타내었다.

2.1.2 성형실험

Tailored Blank의 실물 성형실험을 위하여 side panel 금형을 제작하였다. 제작한 D/A(double action)금형을

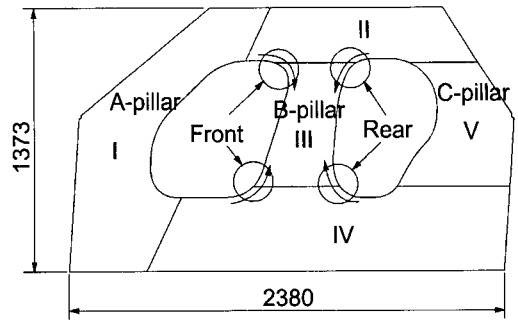


Fig. 1 The blank shape of same thickness T.B.

Table 1 Mechanical properties of steel sheets

Thickness	Y.S. (MPa)	T.S. (MPa)	et(%)
1.0 mm (same thickness)	164.9	298.4	47.5
0.9 mm (diff-thickness)	161.9	295.8	47.3
1.9 mm (diff-thickness)	190.1	315	47.7

이용하여 우선 용접이 되지 않은 side panel을 성형하여 금형의 가공상태를 확인한후에 동종두께의 T.B.의 성형 시험을 하였다. 사용된 프레스는 800 ton 유압프레스이며 변형거동의 정량적인 평가를 위해 성형하기전에 내부 블랭킹 라인을 따라 panel에 5 mm원형 grid를 전기화학적인 방법으로 입혀 변형후의 모양을 miler tape나 자동 변형률 측정장치를 이용하여 측정하였다.

(1) 용접선 존재의 영향

Fig. 2에는 무용접판재와 동종두께 T.B side panel의 성형후 b-pillar영역에서의 변형률을 비교하였다. b-pillar는 성형시에 블랭크의 크기나 모양에 민감한 부분이므로 이곳의 변형률을 측정하였다. Fig. 1의 X축은 변형후 용접선을 기준으로 한 거리이며 Fig. 1의 화살표방향을 기준으로 왼쪽은 - 오른쪽은 +로 표기하였다.

그림에서 보면 상단(upper region)에서의 최대변형률은 10~25%사이에 존재하고 하단(lower region)에서의 최대변형률은 30~50%사이에 존재한다. 또한 무용접

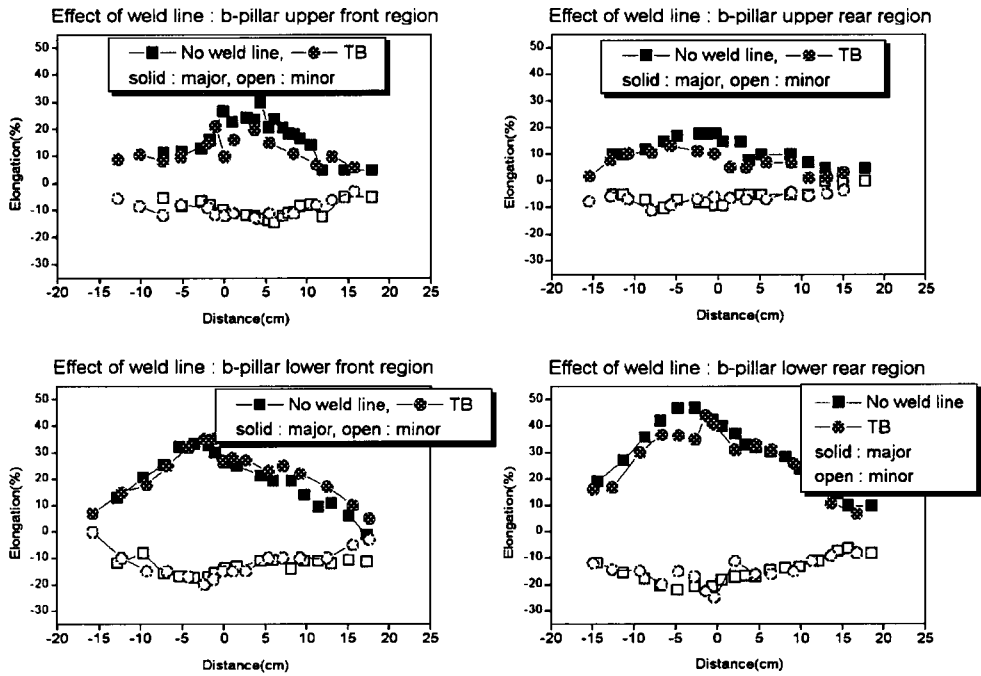


Fig. 2 The strain distribution for the b-pillar region-the effect of the weld

판재의 b-pillar 하단에서의 변형을 분포를 보면 최대 peak점이 동종두께의 것과 달리 약간 좌측으로 벗어나 있다. 이는 용접선의 설계가 최대 변형을 영역을 피해 설정되어 있음을 의미한다. 이와같이 b-pillar부 중에서도 하단의 rear부분의 변형률이 가장 크게 나타나고 있고 용접선의 유무에 따라 변형률의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이로써 동종두께의 성형은 b-pillar하단부에서의 용접선의 높이 설정에만 주의한다면 별무리가 없이 성형할 수 있음을 알 수 있으며 실제 제품생산시에도 기존 T/O과정과 같은 방법으로 수행할 수 있다.

(2)용접선 위치의 영향

Fig. 3에는 b-pillar하단부의 용접선의 위치(WL=451,461,481 mm)에 따른 변형률 분포를 나타내었다. 그림에서 보면 용접선이 높아짐에 따라 변형률의 분포가 한곳에 집중되지 않고 크기도 작아지며 용접선의 위치로부터 변형률 peak점이 멀어지는 효과가 있다. 즉 다시말해서 성형 측면에서는 용접선의 높이를 가능한 높여 줌으로써 용접선이 신장플랜지 영역에서 멀어지게 하는것이 바람직하다. 그러나 이는 재료비 절감측면에서는 바람직하지 못함으로 용접선 설계에 이 두인자를 모두 고려하여 용접선을 설정하여야 한다.

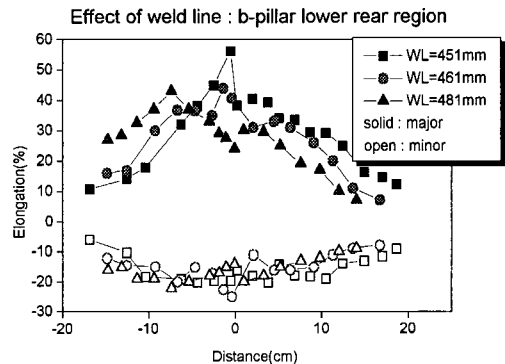


Fig. 3 The effect of the weld line location for the b-pillar lower rear region

(3)용접선 이동량

성형전 blank에서의 용접선과 성형후의 용접선의 위치를 3차원 측정기를 사용해 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에 나타난바와 같이 용접선은 형상의 좌,우측에서 아래쪽으로 상당히 이동하였음을 알 수 있다. 정량적으로 이를 살펴보면 좌,우 각기 아래쪽으로 36 mm, 블랭크의 끝은 안쪽으로 약 25 mm정도 이동하였다. 그림에는 나타나지 않았지만 A-pillar부의 상단위쪽에서 용접선

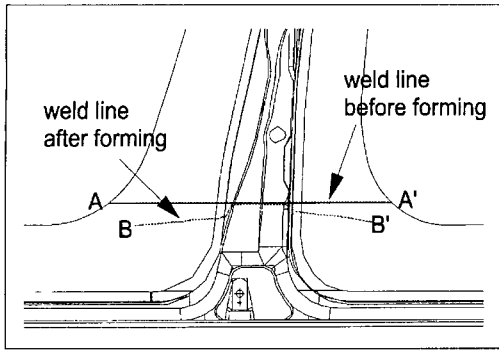
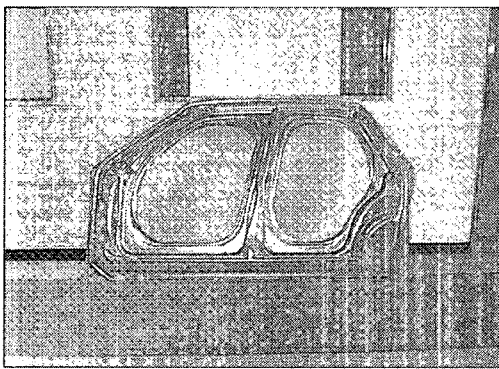
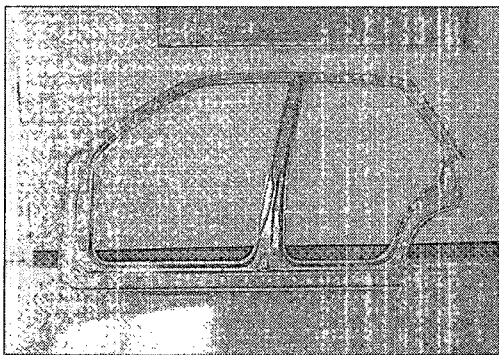


Fig. 4 Weld line movement for B-pillar lower part



(a)



(b)

Fig. 5 The same thickness tailored blank of the side panel

이동이 많았다. 이와 같은 용접선 이동결과는 재료가 제품의 형상에 따라 성형시 용접선이 이동된 결과인데 이를 참고하면 이중두께 성형시의 용접선이동 방향에 대한 지침을 설정할 수 있다. 예를 들어 이중두께 성형시 그림의 용

접선을 기준으로 위쪽이 두껍고 아래쪽이 얇다면 제품의 형상으로 인한 용접선의 이동을 고려하지 않고 생각하면 재료의 강도 차이로 인해 용접선은 두꺼운 쪽으로 즉 위쪽으로 올라갈 것이다 그러나 재료가 형상으로 인한 성형시의 용접선 이동을 고려하면 그림과 같이 용접선은 아래쪽으로 향하게 된다. 이의 결과 이중두께성형시 용접선은 이의 효과들이 상충되어 나타날 것을 짐작할 수 있다. 다시 말해서 그림에서 제품의 형상 좌우의 용접선이동량이 Fig. 4보다는 상당히 작을 것으로 예상된다. 또한 Fig. 4의 제품 오른쪽 부분의 모서리부분의 변형률은 위에서 언급했듯이 거의 성형한계에 도달한 것으로 생각된다. 이로써 이중두께의 성형시 오른쪽의 용접선이 아래쪽으로 이동하여야만 얇은 부분의 변형률 집중을 막고 성공적인 성형의 할 수 있을 것이다. Fig. 5에는 동종두께 side panel의 성형된 panel 과 trim 및 flange공정을 거친 완제품을 함께 나타내었다. 다음으로 동종두께를 성형하였던 금형에 이중두께 성형을 위한 금형의 단차설정 및 가공을 수행하여 이중두께 T.B성형용 금형을 완성하였다. 이중두께 성형용 금형의 단차설정을 위해 동종두께 T.B의 성형결과와 이중두께 성형해석의 결과로부터의 용접선의 거동의 자료를 활용하였다.

2.2 이중두께 Side Panel 성형

위에서 설명한 바와 같이 동종두께의 T.B를 이용해 자동차의 side panel을 제작할 수 있었고 용접되지 않은 판재와의 비교를 통하여 용접선이 존재하더라도 별 무리 없이 성형할 수 있었으며 성형시 가장 변형률이 최대인 지점과 이때의 용접선 이동에 대해 이해할 수 있었으므로 이를 토대로 이중두께 T.B의 성형을 실시하였다. 이를 위해 위에서 사용된 금형에 성형해석을 이용하여 이중두께 성형시의 용접선이동을 예측하여 이중두께 성형을 위한 단차영역을 가공하여 이중두께 T.B side panel 성형 실험을 하였으며 이의 결과를 아래에 논의하였다.

2.2.1 Blank 형상

이중두께 T.B의 설계시에 가장 먼저 고려해야 할 것은 제품중의 생략 part와 두께를 선정하는 것인데 본 연구에서는 side panel과 조립되는 part인 front hinge, front pillar, center pillar를 생략하여 Fig. 6과 같이 용접용 Blank 및 두께를 설정하였다. 또한 이중두께를 성형하기 위한 블랭크의 설계를 위해 다음과 같은 사항에 유의하여 설계하였다.

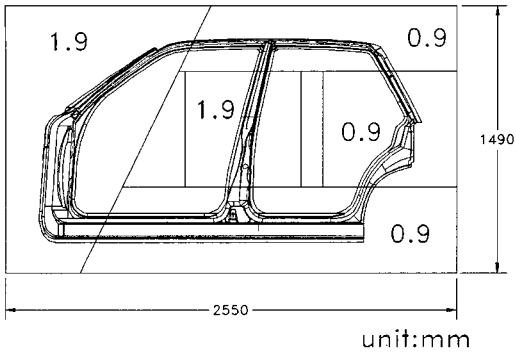


Fig. 6 The blank combination for welding of the side panel

(a) 용접부의 변형률이 클것으로 예상되는 부분은 후판부의 변형을 증가시킨다.

(b) 용접선의 위치가 최대변형을 지점에서 벗어나도록 한다.

이와같이 설정된 용접선을 기준으로 하여 여러 가지의 성형용 블랭크 설계를 하여 이를 laser를 이용하여 cutting하였다. 이와 같이 결정된 형상을 사용하여 단차 가공된 금형에 이중두께 T.B. 성형실험을 하였다.

2.2.2 성형실험

(1) T.B. Side panel의 성형인자

이중두께의 side panel T.B. 성형실험은 동중두께의 성형과는 매우 다르며 이는 성형시에 이중두께의 용접부 부근에서의 성형거동이 동중두께의 경우와는 매우 다르기 때문이다. 일반적으로 side panel의 성형은 자동차 부품중 가장 난이한 형상 중의 하나이므로 T.B.로의 성형은 더욱 난이할 것으로 예상된다. 이는 제품 성형시 성형 모드중 판단 및 주름에 민감한 신장플랜지 영역과 수축플랜지 영역이 혼재되어 있기 때문이다. 따라서 성형시의 여러 가지 공정인자 (블랭크 홀딩력, 드로오비드의 조절, 윤활, 성형 블랭크형상 등) 중에서 본 연구에서는 T.B. 성형시 인자로 성형용 블랭크 형상을 정하여 특히 신장플랜지에서의 블랭크 형상을 변화시켜가며 이에 따른 판단유무 및 변형 형태등을 관찰하였다. 때문에 성형해석의 결과를 기초로 하여 Fig.7과 같은 여러 가지 형태의 블랭크 안으로 성형실험을 하여 주요한 성형 불량 형태를 간단히 정리해 보았다.

(2) 변형거동

Fig. 7의 동중두께 성형시와 같은 모양의 blank 1의 형상은 이중두께 성형시에 판단을 억제할 수 없다. 이때의

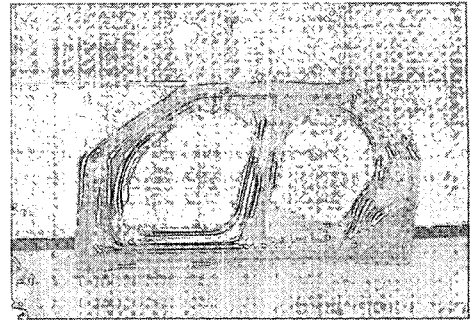
a) Blank 1	b) Blank 2	c) Blank 3
the same blank shape with same thickness T.B	blank design of forming simulation	blank shape change for the B-pillar lower region
Fracture(B-pillar rear part)	Fracture(B-pillar rear part)	Fracture(B-pillar rear part)

Fig. 7 The blank shapes of the different-thickness TWBs

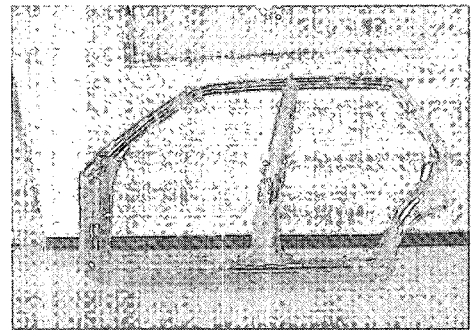
파단은 a, b-pillar의 상, 하단의 모든 영역에서 발생하였으며 A-pillar 하단부의 수축 플랜지 영역에서 후판의 박판부로의 이동으로 인한 주름이 발생하였다. 이는 용접선이 뒤쪽으로 설정되면 주름량을 줄일 수 있다. 한편 성형 깊이가 가장 큰 b-pillar 하단부의 앞,뒤쪽 모두에서 나타났다. 이때의 파단은 신장 플랜지 영역의 성형한계에 따른 것으로 용접선의 끝부분에서 부터 crack이 유발되었다. 이는 동중두께 성형시와 같은 변형거동이 이중두께시에는 나타나지 않았으므로 이의 대책이 필요하다.

따라서 신장변형 모드에서의 파단을 없애기 위해 성형 해석을 이용해 설계된 blank 2의 성형 실험 결과 대부분의 파단은 억제할 수 있었지만 B-pillar하단부 뒤쪽의 파단이 계속 나타났다. 이 부분은 동중두께 성형시에도 가장 높은 변형률이 나타났던 부분으로 두꺼운쪽의 형상으로 인해 하단부의 평행한 용접선이 움직이지 않고 고정되어 있기 때문이며 이를 위해 blank3과 같이 b-pillar 하단부의 형상을 변경하여 용접선 이동을 유도하였다. 이로 인해 파단량은 상당히 줄어들었지만 이를 완전히 없앨수는 없었다. 이점에 착안하여 b-pillar 하단부의 용접선은 후판부에 변형을 어느정도 가하면서 박판부쪽으로 이동시키는 블랭크 설계 및 금형의 드로오비드를 조정하여 다시 성형 시험을 수행한 결과 완성된 panel을 얻을 수 있었다. 이의 판재 모양들을 이용하여 성형한 결과의 b-pillar 하단부의 성형한계도를 Fig. 8에 나타내었다.

성형한계도를 살펴보면 모든 블랭크 형상에서 성형한계와 가까우므로 파단유발 가능성이 있으나 blank 3인 경우는 성형한계가 다른 경우보다 낮게 설정되어 있는 것을 알 수 있는데 이는 용접선이 어느 정도 움직임으로 후판의



(a)



(b)

Fig. 9 The tailored blank of the side panel

변형률 가져온 결과로 볼 수 있으며 이점에 착안하여 성형 블랭크 형상을 변경함으로써 완성된 성형 판재를 얻을 수 있었다. 이의 결과 이중두께 side panel의 T.B. 성형 결과를 Fig. 9에 나타내었다. Tailored Blank의 Tryout 과정에서 성형시 파단이 발생된 부분의 blank의 형상도 중

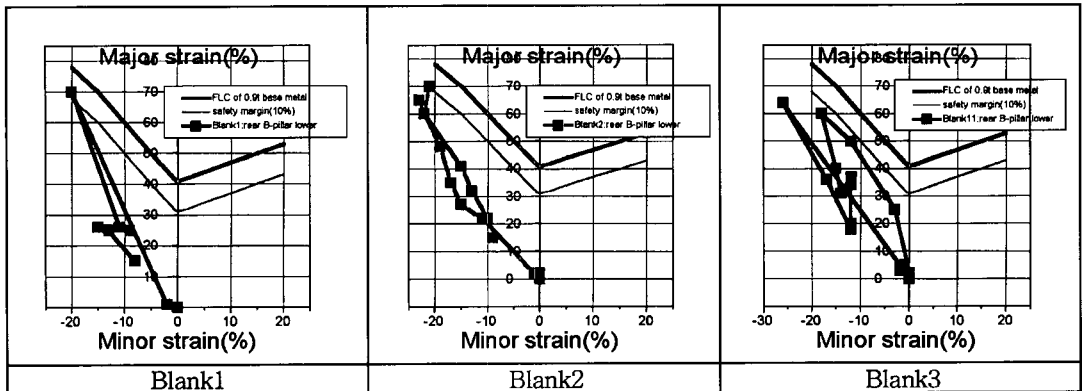


Fig. 8 Deformation signature of rear B-pillar part(Forming Limit Diagram) -different thickness T.B

요하지만 이와 관련된 다른 부분의 형상 및 드로오비드의 조정 또한 매우 중요함을 알 수 있었다.

3. 결 론

동중두께와 이중두께 side panel T.B.를 개발하기 위해 금형제작, 단차가공 및 성형실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Tailored Blank된 이중두께 side panel을 개발하였다.

(2) 이중두께 T.B. 성형시에는 블랭크의 설계, 용접선의 설계, 금형조건의 설정등으로 후판부의 변형을 유도하기 위한 모든인자의 고려가 필수적이다. 즉 b-pillar 하단부의 영역은 신장 플랜지 영역이므로 용접선의 설정은 위쪽으로 설정될수록 성형시 유리하다.

(3) 이중두께 T.B.의 A-pillar성형시 주름이 발생하나 이는 용접선을 뒤쪽으로 이동시키면, 즉 수축플랜지 영역을 벗어나게 하면 주름의 양도 줄어든다.

(4) 동중두께 성형으로 용접선 이동, 변형률등을 파악하고 성형해석을 통한 결과를 이용해 이중두께의 성형을 위한 금형의 단차를 설계하여 이중두께 T.B. side panel 성형용 금형을 완성하였다.

(5) 동중두께 T.B.와 용접선이 없는 경우 판재의 성형을 비교하여 보면 용접선의 존재로 인한 성형차이는 없다. 다만 용접선을 최대 변형률 발생부분을 피해 설정하여야 한다.

후 기

이 연구는 통상산업부의 97년도 공업기반기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 실험에 협조하여 주신 대우자동차 공기부의 김백희공장님 및 직장님들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Jean-Martin Van der Hoeven., 1994, "Stamping of tailor made blank", IBEC 94, pp.52~59.
- (2) Hisashi Kusuda, Toshiyuki Takasago and Fumiaki Natsumi., 1997, "Formability of tailored blanks" Journal of Materials Processing Technology, Vol.71, pp.134~140.
- (3) Norihiko Nakagawa, Shin Ikura, Fumiaki Natsumi and Noritoshi Iwata., 1993, "Finite Element Simulation of stamping a Laser-Welded Blank, SAE paper No.930522,pp.189~197.
- (4) 최이천, 유동진, 전기찬., 1996, "테일러드 블랭크를 이용한 도어인너 개발에 관한 연구", 한국자동차공학회 1996년도 추계학술대회, 1996, pp. 545~550.
- (5) 박기철, 한수식, 김광선, 권오준, 1997, "레이저 용접 테일러드 블랭크의 기본특성 II: 신장플랜지 성형특성", 한국소성가공학회지, Vol.7, No.1, pp.36~48.
- (6) 김현영, 신용승, 김관희, 조원석, 1998, "레이저 용접 차체의 성형해석과 금형설계", 한국소성가공학회지, Vol.7, No.4, pp.382~392.
- (7) J. K. Baysore., 1995, "Laser Beam welding and formability of Tailored Blanks", Welding research supplement, pp. 345~352.
- (8) Andy P. Lee, Erick Feltham and Jon Van Devente, "Tailored welded blank technology for automotive applications", 1996, SAE paper No.960817, pp.91~102.
- (9) M.F.Shi, K.M. Pickett and K.K.Bhatt,1993, "Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets", SAE Technical paper series, No.930278.