[논문] 한국소성가공학회지(2000), 제9권 제6호
Transactions of Materials Processing **Vol. 9, No. 6, (2000)**

매쉬심 용접판재의 성형 특성에 관한 실험적 연구

이명호* · 신외경* · 금영탁** · 황보원*** · 유동열***

(2000년 9월 7일 접수)

An Experimental Study for Forming Characteristics of Mash Seam Welding Sheets

M. H. Rhee, W. G. Shin, Y. T. Keum, B. W. Hwang and D. Y. Yoo

Abstract

In recent automotive industry, vehicle weight can be reduced by one-step forming of tailored blanks welded with two or more sheets of metal blanks. Mash seam welding shows an overlap joint, a much wider welding area, and heat affected zone(HAZ) than a laser welding. This paper deals with the forming characteristics of mash seam welded tailored blanks. Mash seam welded blanks of same or different thickness combinations were prepared, and tensile, hardness, erichsen, and dome stretching tests were done.

Key Words : Mash Seam Welding, Tailored Blank, Dome Test, Erichsen Test, FLD(Forming Limit Diagram)

1. 서 론

최근 자동차 업계에서 관심을 갖고 연구하고 있는 것이 차량의 고성능, 고속화, 안전성, 편리성 등이며, 자동차에 쓰이는 부품도 소형화, 경량화에 초점을 맞추고 있다. 이 중 차량 경량화를 위해 사용되고 있는 방법이 합체박판을 이용하여 차체 중량을 줄이는 것이다. 합체박판이란 둘 또는 그 이상의 동종 또는 이종재질이나 두께를 갖는 박판재를 일체화하여 만든 것으로 필요한 부분에 강도를 보강해 주고, 정밀도를 높일 수 있을 뿐 아니라 성형공정 시 금형개수, 생산시간 등을 줄일 수 있어 생산성을 높일 수 있는 장점이 있다.

자동차 차체는 대부분 성형된 판재로 이루어져 있고 강도가 필요한 부분에 보강재를 사용하게 되는데, 이 과정에서 금형개수, 노동력, 생산시간 증가 등의 부담이 생기게 된다. 그러나, 합체박판을 사용함으로써 강도 및 정밀도는 높이고 중량은 감소시키면서 단일판재를 사용함으로써 생기는 단점을 보완할 수 있게 되므로 향후 자동차 산업 전반에 걸쳐 사용이 크게 증대될 것으로 기대된다.

* 자동차부품연구원 경량소재실
** 한양대학교 기계공학부
*** 한양대학교 대학원

박판 성형공정 시 공정변수를 효과적으로 결정하기 위해서는 재료에 관한 물성치를 구하는 것은 필수적이다. 그 중 성형한계도는 성형의 성공여부를 판단하는 기준을 제시해 주므로 성형한계도에 대한 실험적, 이론적 연구가 절실히 필요하다. 이런 상황에서 합체박판에 대한 성형한계도는 자동차 업체 등 그 수요가 증가하고 있는 것에 반해 체계적인 데이터가 부족한 실정이고, 또한 합체박판의 성형한계도를 도출하는 방법으로 일반적인 모재의 성형한계도를 도출하는 방법을 사용하고 있어 많은 오차가 발생할 여지를 남기고 있는 상태이다.

합체박판에 대한 연구로는 Shi 등[1] 이 레이저 합체박판과 매쉬심 합체박판에 대하여 기본적 물성치인 인장강도, 항복강도 등을 구하였고, Marciniak 컵 실험을 통해 각 부위별 변형률을 측정하여 성형한계를 도출해 냈다. 그밖에 Siegert 등[2] 은 두께가 다른 세 종류로 구성된 합체박판에 대하여 성형한계도를 도출하였으며, Kusuda 등[3] 은 레이저 합체박판에 대하여 성형한계를 도출하여 자동차 도어인너 패널에 적용하였다. 국내에서는 허 훈 등[4] 이 비대칭 시편을 제작하여 딥드로잉 시험과 스트레치 시험으로 구한 성형한계도를 비교하였으며, 허영무 등[5] 은 자동차용 강판재료에 대하여 동종재료-동종두께, 동종재료-이종두께, 이종재료-이종두께 등의 조합으로 된 레이저 및 매쉬심 합체박판에 대하여 일반판재의 성형한계 실험방법을 이용하여 성형한계 실험을 수행하였고, 금영탁 등[6] 은 레이저 합체박판에 대하여 용접부와 모재의 성형한계선을 하나의 성형한계도에 나타내는 새로운 합체박판 성형한계도를 제안하였다.

본 연구는 모재와 동종두께 및 이종두께의 매쉬심 합체박판에 대한 용접부 특성을 알아보기 위해 인장, 경도, 에릭션 시험을 실시하였고 성형성 평가를 위해 시편 폭을 달리하면서 돔 장출 실험을 실시하여 모재와 합체박판 용접부에 대해 성형한계도를 구하였다. 또한 실험으로부터 도출된 자료를 이용하여 매쉬심 합체박판의 용접부 특성을 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1 재료 및 용접조건

재료는 자동차 차체 성형용 압연강판을 사용하였으며 실험에 사용한 강판의 두께는 0.8mm와 1.4mm이고 이들 합체박판의 용접조건은 Table. 1과 같이 3종류의 두께조합으로 준비하였으며 동종두께의 강판과 이종두께의 강판을 매쉬심 용접하여 시편을 제작하였다. 동종두께의 합체박판은 각각 0.8mm와 1.4mm모재를 매쉬심 용접하여 제작하였으며 이종두께의 합체박판은 0.8mm와 1.4mm모재를 매쉬심 용접하여 제작하였다.

Table 1 Welding parameters for tailored blank specimens

	Pressure (kN)	Ampere (kA)	Velocity (m/min)
0.8mm-0.8mm	10	18	6
0.8mm-1.4mm	10	20	6
1.4mm-1.4mm	12	22	6

2.2 기계적 특성 시험

성형한계 실험에 앞서 합체박판의 용접부의 특성을 알아보기 위해 용접부의 경도를 측정하였으며 경도값은 Micro Vickers 경도계로, 측정간격 0.5mm, 측정하중 100g 을 적용하여 용접비드를 중심으로 하는 횡단면의 경도를 측정하였으며 이를 통하여 용접부의 폭은 대략 3mm정도임을 알 수 있었다.

인장시험은 시편의 폭이 6mm이고 표점거리(gage length)는 26mm인 ASTM 370A 규격에 따른 Subsize tension specimen으로 용접선 수직방향과 용접선 평행방향으로 시편을 준비하여 시험하였으며 인장속도는 5mm/min 으로 하였다.

2.3 에릭션 시험

용접부의 용접성을 알아보기 위하여 에릭션 시험을 실시하였다. 에릭션 시험은 용접부을 중심에 위치시키고 플랜지 부위를 가압하여 고정시킨 후 ϕ25.4mm의 ball을 전진하여 파단의 양상을 관찰하였으며 파단시의 파단강도와 파단높이 값을 구할 수 있었다. 에릭션 실험에 사용된 장치형상은 Fig. 1과 같다.

2.4 성형한계 시험

본 실험의 돔 장출실험에 사용한 펀치와 다이의 형상은 Fig. 2와 같다. 합체박판의 성형한계도를 구하기 위해 Table 1의 두께조합으로 용접하여 시편을 제작하였고 용접부 성형한계도와 비교할 목적으로 두께가 0.8mm와 1.4mm인 모재도 준비하였다. 합체박판 시편의 크기는 동종두께의 합체박판의 경우 180mm×30mm, 180mm×80mm, 180mm×110mm, 180mm×130mm, 180mm×180mm이고, 이종두께의 합체박판의 경우 180mm×30mm, 180mm×110mm, 180mm×120mm, 180mm×

180mm이며, 모재의 경우에는 180mm×30mm, 180mm×80mm,180mm×130mm,180mm×180mm이다. 이종두께의 합체박판의 경우 두께가 얇은 모재에서의 파단 발생을 억제하고 합체박판의 용접부에서의 파단을 유도하기 위해 180mm×180mm의 크기의 시편에 대해 두꺼운 모재의 폭을 잘라내어 비대칭 시편을 만들었다. 비대칭 시편의 형상은 Fig. 3과 같다.

모든 시편의 표면에는 돔 장출실험 후 변형률을 측정하기 위하여 2mm크기의 정사각형 그리드를 에칭해 놓았다. 특히 합체박판의 경우 용접부의 성형특성을 평가하기 위하여 두 모재가 겹쳐진 부분을 용접부라 정의하고 이 부분에 정사각형 그리드를 에칭 하였다.

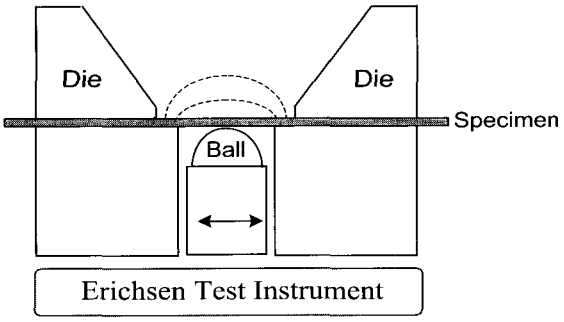


Fig. 1 Schematic view of experimental apparatus for Erichsen test

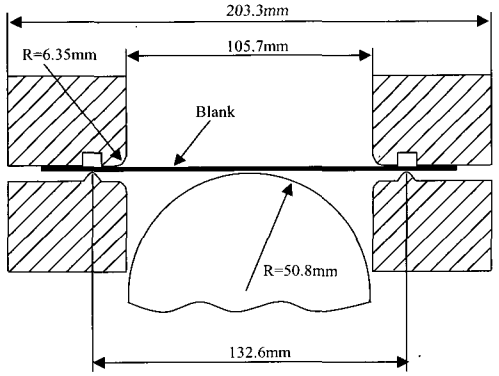


Fig. 2 Schematic view of experimental apparatus for hemispherical dome test

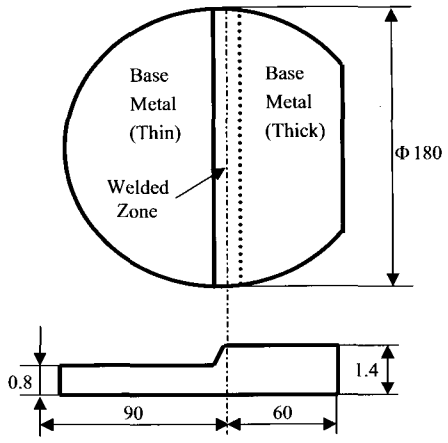


Fig. 3 Schematic view of an asymmetric specimen

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기계적 특성 시험 결과

용접부 특성을 알아보기 위하여 용접부의 경도를 측정하였으며 Fig. 4와 같다. 용접비드의 폭은 두 모재를 겹쳐 놓은 부분의 넓이와 같다. 레이저 용접의 경우 용접부의 경도는 고장력강판의 경우는 모재 강판의 2배, 그리고 극저탄소강의 경우는 모재의 2.5-3배에 다다른다고 알려져 있다. 이에 비해 매쉬심 합체박판의 경우 용접부의 경도값은 모재강도에 비해 약 2배 정도이지만 용접부의 열영향부의 범위가 레이저 보다 넓다는 것을 알 수 있었다. 또한 모재 및 합체박판의 인장시험결과는 Table 2와 Fig. 5, 6에 나타내고 있다. 용접부의 용접상태를 확인하기 위하여 용접부 수직방향으로 인장시험한 결과 용접부가 아닌 변형저항이 작은 소재에서 파단이 발생하였다. Fig. 6은 용접된 합체박판과 모재강판의 연신율을 나타낸 것으로서 용접선 양측의 변형저항차가 커질수록 연신율이 작아지는 것을 알 수 있으며 같은 두께 강판의 경우에도 연신율이 저하하였다. 이러한 이유는 용접부 좌우에서 인장시편의 변형집중은 비록 같은 두께의 강판일지라도 파단은 한쪽에서만 발생하며 다른 쪽에서는 균일 연신까지만 변형하기 때문이다.

두께가 달라지면 두꺼운 쪽은 거의 변형이 없어진다. 따라서 표점거리 안에서의 평균적인 연신율은 모재강도에 비하여 어느 경우에나 작아지며 실험에서도 확인 할 수 있었다.

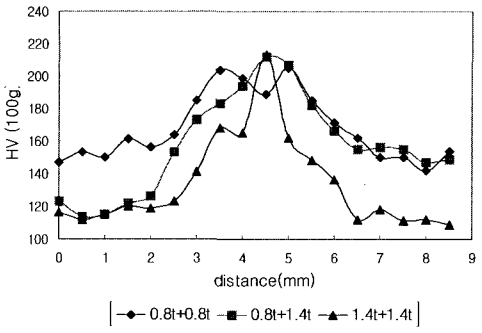


Fig. 4 Hardness of welded zone

Table 2 Mechanical properties of tailored blanks and base metals

	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
0.8t	213.9	306.0	43.8
1.4t	166.5	284.7	53.1
0.8t-0.8t	504.3	607.8	27.3
0.8t-1.4t	543.5	684.1	33.8
1.4t-1.4t	410.0	468.7	31.9

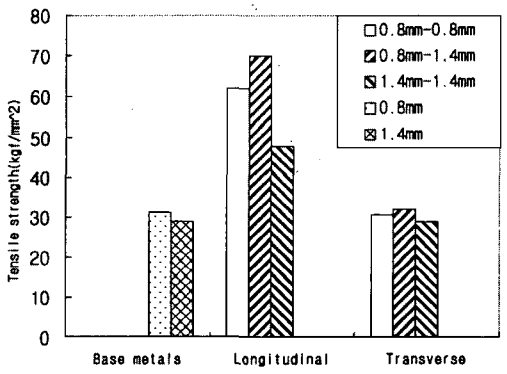


Fig. 5 Comparison of tensile strength for base metals and tailored blanks

용접부 수직방향의 인장시험은 기계적 특성으로는 고려할 수는 없지만 용접상태의 문제점을 확인할 수 있었다.

용접부 방향에 평행한 인장시험의 경우 소재의 연신율은 모재와 용접부위 연신율에 영향을 받으며 이들의 연신율은 용접부와 모재 각각의 경도에 의하여 결정된다고 한다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 모재와 용접판재의 연신율을 검토해보면 용접판재의 연신율은 모재의 연신율의 60-80%에 해당됨을 알 수 있었다.

3.2 에릭션 시험결과

매쉬심 합체박판과 모재의 에릭션 실험 후의 형상을 나타낸 것으로 Fig. 7과 같다. 모재의 경우 중심으로부터 약간 벗어난 부위에서 최대 변형률을 나타내며 이는 용접시편에서도 같은 형상을 보이고 있다. 용접시편에서는같은 두께의 경우 용접비드에 수직하게 파단이 두께의 경우 용접비드에 수직하게 파단이 일어났으며 이종두께의 경우 용접부가 아닌 변형저항이 작은 소재에서 용접부와 평행방향으로 열영향부(HAZ 부) 근처에서 파단이 일어났다. 일반적으로 용접비드에서는 인장 잔류응력이 존재하므로 성형시에 인장응력과 중첩되어 파단이 일어날 수 있으며 최대 변형률이 존재하는 영역에서 파괴가 일어난다.

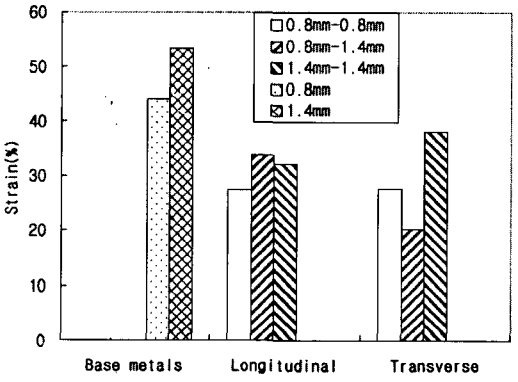
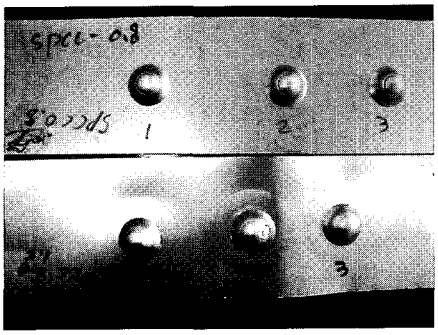
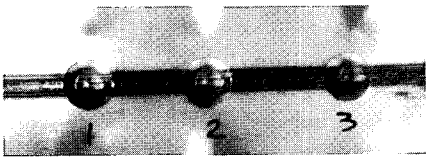


Fig. 6 Comparison of strain for base metals and tailored blanks

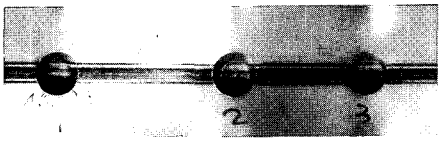
이러한 실험관찰로 용접부위의 기계적 특성은 양호하다고 판단되며 Fig. 8은 합체박판의 파단높이비와 파단강도비를 나타낸 것이다. 이는 에릭션시험을 하였을 때 파단이 일어난 높이와 강도를 모재에서 실험하였을 때 파단이 일어난 높이와 강도의 비율로 나타낸 것으로 두께 및 강도가 다른 판재에 대해서는 얇은 판재 또는 강도가 낮은 판재에 대한 비율로 나타내었다. 합체박판의 최대변형높이 및 강도값으로 합체박판의 성형성은 모재의 90%이상임을 확인하였다.



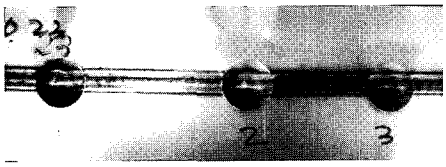
(a) Base metals (0.8mm, 1.4mm)



(b) Tailored blank (0.8mm-0.8mm)



(c) Tailored blank (1.4mm-1.4mm)



(d) Tailored blank (0.8mm-1.4mm)

Fig. 7 Formed shapes of base metals and tailored blanks after erichen test

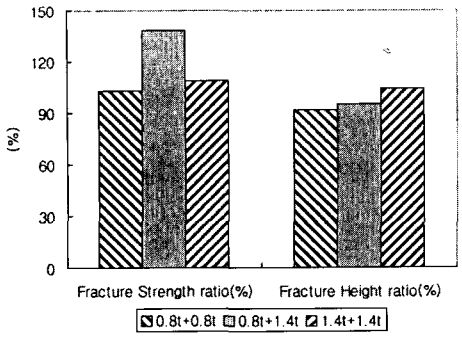
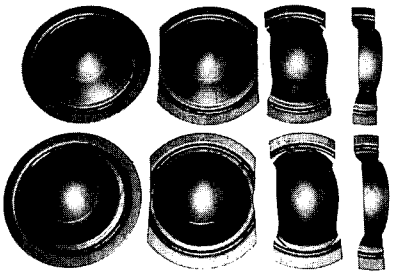


Fig. 8 Fracture strength ratio and fracture height ratio of tailored blanks

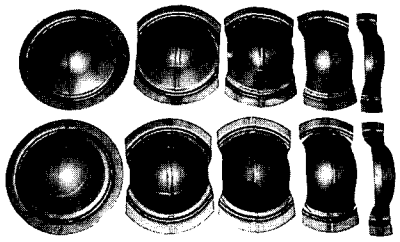
3.3 성형한계 시험 결과

성형한계 실험은 펀치를 상승시켜 시편이 변형을 일으켜 파단이 일어날 때까지 실시하였다. 합체박판의 경우 용접선을 중앙에 위치시켜 무윤활로 실험하였다. 두 모재가 겹쳐진 부위를 용접부라 정의하고 주인장 방향은 용접부방향과 동일하다. 용접부에 에칭된 정사각형 그리드를 변형 후 측정하여 장축의 주변형률과 단축의 부변형률을 구하였다. 성형한계도를 구하기 위해 파단 주변부의 변형률을 다음과 같이 3가지로 구분하여 측정하였다.

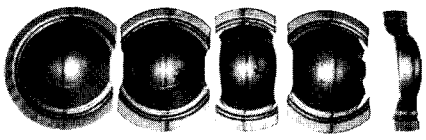
- 안전 : 용접부에 에칭된 그리드 중 파단이나 넥킹이 일어난 그리드에서 가장 근접해 있는 안정 된 그리드
- 넥킹 : 넥킹이 발생한 부분의 그리드
- 파단 : 파단이 일어난 부분의 그리드



(a) Base metals (0.8mm, 1.4mm)



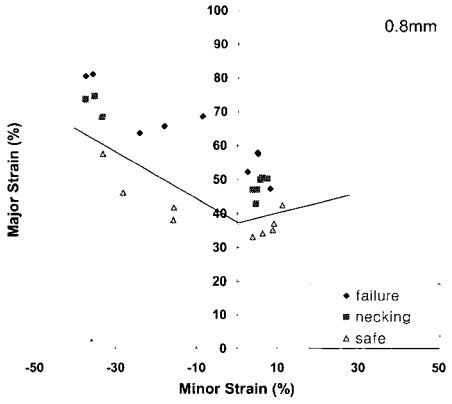
(b) Tailored blanks (0.8mm-0.8mm, 1.4mm-1.4mm)



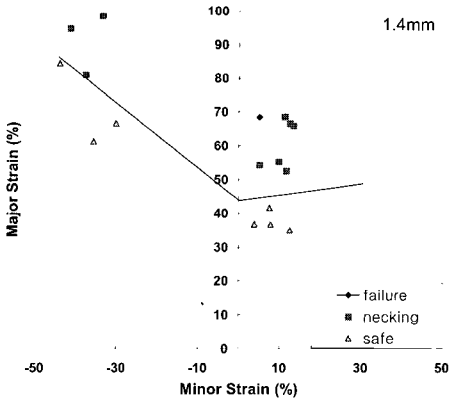
(c) Tailored blanks (0.8mm-1.4mm)

Fig. 9 Formed shapes of base metals and tailored blanks after dome test

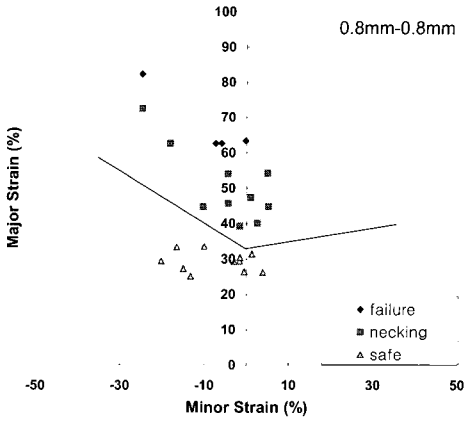
보다 정확한 변형률을 측정하기 위해 자동변형률 측정 시스템인 GPA(Grid Pattern Analyser)를 사용하였다. 성형실험이 끝난 후의 사진을 Fig. 9(a),(b),(c)에서 보여주고 있다. Fig. 10(a),(b)는 각각 두께 0.8mm와 1.4mm 모재에 대한 성형한계도를 보여주고 있고, Fig. 10(c),(d),(e)는 각각 동종두께 및 이종두께 합체박판의 용접부에 대한 성형한계도를 보여주고 있다.



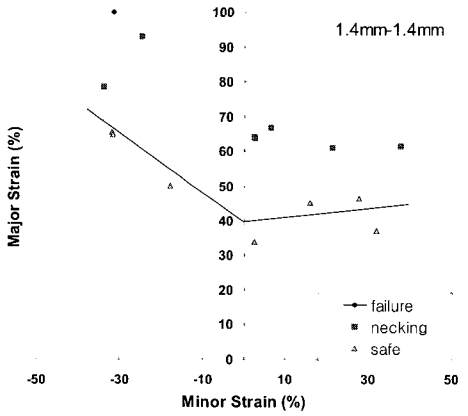
(a) FLD of base metal (0.8mm)



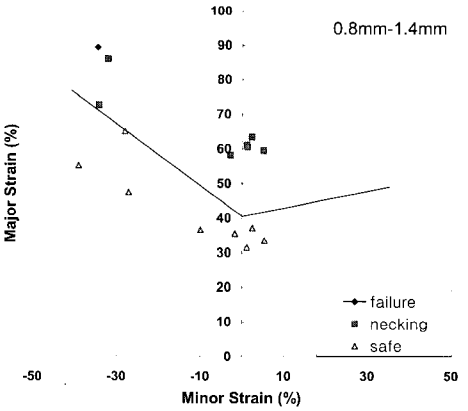
(b) Base metal (1.4mm)



(c) Tailored blank (0.8mm-0.8mm)



(d) Tailored blank (1.4mm-1.4mm)



(e) Tailored blank (0.8mm-1.4mm)

Fig. 10 FLD(Forming limit diagram) of each materials

위에서 도출된 성형한계도에서 보는 바와 같이 모재의 성형한계점(FLC_0)은 0.8mm 모재에 대하여 약 37%이고, 1.4mm 모재는 약 44%로 측정되었다. 합체박판의 용접부에 대해서는 0.8mm-0.8mm 합체박판의 경우 약 33%, 1.4mm-1.4mm 합체박판의 경우는 약 40%, 이종두께의 0.8mm-1.4mm 합체박판의 경우는 약 41%의 값이 측정되었다. 이상에서 보는 바와 같이 두 모재를 비교해 보면 두꺼운 재료가 성형성이 좋다는 것을 알 수 있고, 모재와 동종두께 합체박판의 용접부의 성형성을 비교해 볼 때 동종두께 합체박판의 용접부는 각각 같은 두께의 모재에 비해 약 5%정도 성형성이 좋지 않은 것을 볼 수 있다. 또한 이종두께 합체박판의 경우 0.8mm-0.8mm 합체박판 보다는 성형성이 좋고, 1.4mm-1.4mm 합체박판과는 성형성에 있어 큰 차이가 없음을 볼 수 있다

이상과 같이 이종두께 0.8mm-1.4mm 합체박판은 동종두께1.4mm-1.4mm 합체박판에 비해서 가벼운 중량을 가지면서도 거의 비슷한 성형성을 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차 차체분야에서 많이 사용하고 있는 일반 냉연강판으로 구성된 매쉬심 용접 합체박판에 대한 용접부 성형특성을 실험을 통해 알아보았다. 매쉬심 합체박판과 모재에 대해 경도, 인장, 에릭션 실험을 통하여 용접성을 확인할 수 있었고 매쉬심 합체박판과 모재의 성형한계도를 실험을 통해 도출하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 용접부 수직방향의 인장시험에서 용접부가 아닌 변형저항이 작은 소재에서 파단이 발생하였으며, 용접부 강도가 모재에 비해 강하며 용접상태가 양호함을 알 수 있었고, 용접부 평행방향의 인장시험에서 합체 박판의 연신율은 모재 연신율의 60~70%정도에 해당 되었다.

(2) 에릭션시험 결과로 용접부의 파단 형상을 관찰할 수 있었고 용접부의 파단강도 및 돔 높이 비율에 의해 합체박판의 성형성이 모재의 90%이상이 됨을 알 수 있었다.

(3) 돔장출 실험에 의해 도출된 성형한계도에 의하면 동종두께 합체박판의 용접부는 각각 같은 두께의 모재의 경우에 비해 성형성이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

(4) 이종두께 합체박판은 1.4mm-1.4mm 합체박판과 비교해 볼 때 중량은 가볍지만 성형성에 있어 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 강성이 요구되는 부분에서도 성형성은 떨어지지 않는다는 것을 간접적으로 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 중기거점기술개발과제에 의한 것이다.

참 고 문 헌

(1) Ming F. Shi , Ken M. Pickett, 1993, "Formability Issues in the Appliction of Tailor Welded Blank Sheets", SAE Technical Paper Series No.930278.

(2) Klaus Siegert , Edgar Knabe, 1995, "Fundamental Research and Draw die Concepts for Deep Drawing of Tailored Blanks", SAE Technical Paper Series, No.950921.

(3) Hisashi Kusuda, Toshiyuki Takasago, Fumiaki Natsumi, 1995, "Formability of tailored blanks", Journal of Materials Processng Technology 71, pp. 134~141.

(4) 허 훈, 이충호, 정재웅, 1998, "비대칭 시편의 딥드로잉 실험에 의한 박판금속의 성형한계도", 한국소성가공학회지, 제7권, 제1호, pp. 81~93.

(5) 허영무, 김형목, 서대교, 1999, "용접판재의 성형한계에 관한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제8권 제5호, pp. 429~436.

(6) 금영탁, 구본영, 박승우, 유석종, 이경남, 2000, "레이저 용접 합체박판의 성형한계도와 스템핑 금형 성형해석에 적용", 한국소성가공학회지, 제9권, 제1호, pp. 3~9.

(7) Wolfgang Bleck, Zhi Deng, Kostas Papamntellos, 1998, "Christopher Oliver Gusek, A comparative study of the forming-limit diagram models for sheet steels", Journal of Materials Processing Technology 83 pp. 223~230.

(8) D.J.Lewison, D.Lee, 1999, "Assesment of Experimental Methods for Determination of Forming Limits", NUMISHEET '99, pp. 401~406.

(9) 김헌영, 신용승, 김관회, 조원석, 1998, "레이저 용접차체의 성형해석과 금형설계", 한국소성가공학회지, 제7권 제4호, pp. 382~392.

(10) 김정오, 서정, 한유희, 김하영, 1998, "자동차용 강판의 레이저 용접 및 성형성에 관한 연구", 한국자동

차공학회 논문집, 제4권, 제5호, pp. 59~69.
(11) 백승준, 구본영, 금영탁, 강수영, 이호기, 1997, "차체성형기술의 개발 현황과 전망", 자동차공학회, Vol.19, No.1, pp. 3~10.
(12) T. Nguyen Nhat, R.Arrieux, 1995, "Off-.axes forming-limit stress diagrams of an anisotropic steel sheet", Journal of Materials Processing Technology 54, pp. 193~198.
(13) 홍주표, 김헌영, 오수익, 1997, "레이저 용접 판재의 정사각 컵 드로잉 성형성 연구", 한국소성가공학회지, 제6권, 제1호, pp. 68~80.