

Mash seam 용접과 Laser 용접을 이용한 Tailored Blank의 특성비교

최정영 · 이창희

Comparison of Characteristics of Mash Seam Welding and Laser Welding Tailored Blank

Jeong-Young Choi and Chang Hee Lee

1. 서 론

자동차의 한 부품은 여러 개의 구성요소로 구성되는데 일반적으로 부품을 구성하는 방법으로는 부품분할방법과 부품일체화방법(part consolidation)이 있다¹⁻⁸⁾. 부품분할방법은 부품 각각의 구성요소를 미리 성형한 후 접용접을 통하여 원하는 형태의 부품을 제작하는 방법이며 부품일체화방법은 구성요소를 분리하여 조립하지 않고 한 장의 판재를 성형하여 한 부품을 제작하는 방법이다.

부품분할방법의 장점은 재료를 선택할 수 있는 영역이 넓다는데 있다(재료의 강도, 코팅의 유무, 재료의 두께등). 차체는 각각의 구성요소별로 요구되는 강도가 다른데, 부품전체를 상향조건의 단일한 판재로 사용하는 것보다 필요한 구성요소에 두께 및 강도가 높은 재료를 선택하여 사용하므로 차체중량을 감소시키며 각각의 구성요소에 적절한 코팅 형태 및 두께의 판재를 사용하여 생산비를 절감할 수 있다. 단점으로는 부품일체화방법에 비하여 많은 금형이 필요하며 각각 구성요소의 조립비용이 추가적으로 사용되고 성형시 구성요소간의 정밀한 제어(fit-up)가 요구되어 성형성의 문제를 야기할 수 있으며, 접용접시 접침부위에 의하여 차체중량을 증가시킬 수 있다. 이와는 반대로 부품일체화방법은 동종, 동두께 판재를 성형하므로 필요하지 않은 부위까지 두께를 유지하므로 무게증가의 요인이 될 수 있으며 성형성의 문제를 일으킬 수 있다.

이러한 문제의 해결을 위하여 제시된 방법이 테일러드 블랭크(이하 TB) 용접이다. TB 용접은 어휘가 의미하는 바와 같이 판재를 재단한다는 의미로 동일 소재를 사용하는 것이 아니고 2개 이상의 이종소재를 이용하여 용접한 후 성형하여 하나의 부품을 만드는 것

이다. 두께 및 강도가 다른 재료를 사용하므로 전체구조를 단순화할 수 있고 강화재를 사용하지 않아 차체중량을 감소시킬 수 있으며, 부품 제작시 생성되는 스크랩 양이 적고 재사용할 수 있다²⁻⁸⁾.

현재 TB 용접방법은 매쉬심 용접을 이용하는 방법과 레이저용접을 사용하는 방법이 있다. 레이저를 이용한 TB는 곡선용접이 용이하고, 용접속도가 빠르며 두께증가가 없고 미려한 외관을 보여주지만,^{9,10)} 장치 구성에 많은 경비가 소요되며, 미소한 정도의 부적절한 절단면도 제품불량으로 연결되는 단점이 있다. 이에 비하여 매쉬심을 이용한 TB는 판재를 겹쳐 용접하기 때문에 용접부두께 증가로 외판재사용에 제한을 받고 곡선용접이 어렵다는 단점이 있으나 낮은 장치비로 시스템구성이 가능하고 같은 저항용접인 점용접에 익숙한 국내 자동차회사 관계자들에게 작업친숙도가 높기 때문에 작업유지관리가 편리한 장점이 있으며 TB 적용초기인 국내에서는 낮은 투자비로도 적절한 TB 적용효과를 얻을 수 있다.

현재 국내는 TB의 적용초기이며 따라서 본 연구에서는 TB의 이해를 돕고자 매쉬심 TB와 레이저 TB의 특성 및 적용분야에 대하여 비교 고찰하고 매쉬심 TB의 특성에 영향을 미치는 변수들에 대하여 서술해 나가하고자한다.

2. Laser 용접에 의한 TB와 Mash seam 용접에 의한 TB 비교

2.1. Mash seam TB와 Laser TB의 특성비교

현재 TB에 적용되고 있는 매쉬심 용접과 레이저용접의 장단점을 Table 1에 나타냈다. 매쉬심 용접의 특징은 장치설치 및 유지보수가 쉽고 작업자의 숙련요

Table 1 Comparison mash seam TB and laser TB

	Mash seam TB	Laser TB
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 저가의 장비 · 작은 부품에 유리 · 요구되는 절단면의 직선도 낮다. · 요구되는 절단면의 수직도 낮다 · 요구되는 판재편평도 낮다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 용접속도빠름 · 곡선용접 가능함 · 용접부가 좁다 · 두께증가 없어 외판에 사용 가능함 · 대면적 넓은 부품에 유리
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 곡선용접어려움 · 용접부의 두께증가에 의하여 성형성 문제 · Planishing시 용접부경도증가하여 성형성 저하-경우에 따라 PWHT필요 · 용접부가 넓다 	<ul style="list-style-type: none"> · Laser beam focusing 요구 · 접합부의 clear한 단면필요(edge straightness) · 도금강판용접시 Zn에 의한 렌즈 손상 · 판재의 정밀한 flatness요구 · Undercut(고열, 용접속도 큰 경우) · Critical joint parallelism · Critical edge straightness

구도가 레이저 용접에 비하여 낮다는 데 있다^{4,9)}. 그러나 용접부 결함에 의하여 용접부의 두께가 증가하고, 플래니싱에 의하여 용접부 경도가 증가하여 성형시 문제점을 야기할 수 있다. 레이저 용접은 매쉬심 용접과 비교하여 용접속도가 빠르며 용접부의 폭이 좁고 곡선 용접이 가능한 장점을 가지는 반면^{11,16)}, 정밀한 빔포커스가 요구되어^{2,9)} 작업판재에 대하여 정밀성이 요구된다^{17,18)}. 따라서 허용되는 편평도, 직선도를 만족하지 못하거나 장비의 정렬(alignment)등이 정확하지 않은 경우 용접불량으로 연결될 수 있다.

2.1.1 경도비교

매쉬심 용접과 레이저 용접으로 TB한 판재의 미세 경도 변화의 한 예를 Fig. 1,2에 나타냈다. 매쉬심 용접의 경우 용접부가 레이저 용접에 비교하여 넓은 용접부를 지니지만 용접부 냉각속도가 낮기 때문에 용접부 내부 최고 경도값이 레이저 용접부 보다 낮은 값을 나타낸다^{1,9)}.

Fig.2는 레이저 용접과 매쉬심 용접하였을 때의 탄

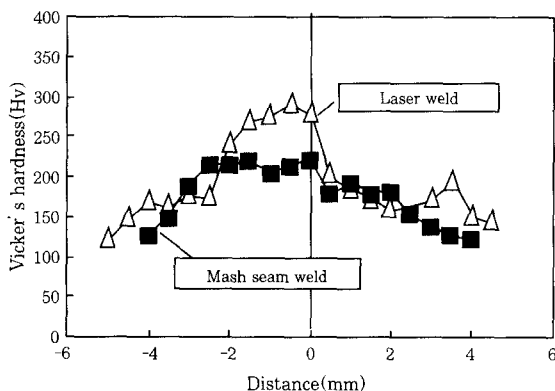


Fig. 1 Microhardness distribution in the laser and mash seam welded blank sheet^{1,19)}

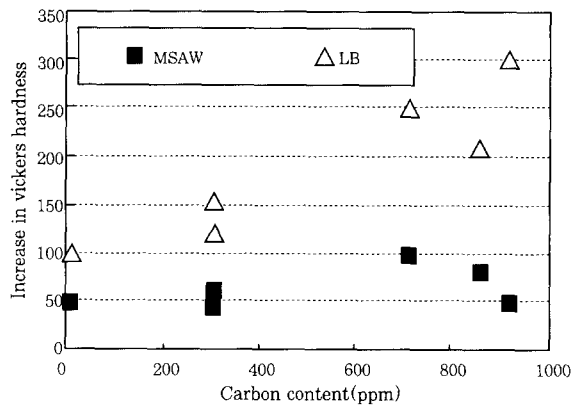


Fig. 2 Effect of welding processes on the increase in weld microhardness¹⁹⁾ (Hv of weld metal-Hv of base metal)

소 함량에 따른 최고 경도값과 모재경도값의 차이를 보여주는 그래프이다. 레이저 용접한 경우 탄소함량이 커질수록 용접부 최고 경도와 모재경도의 차이가 커지므로 성형성에 영향을 미치게 된다¹⁹⁾.

2.1.2 성형성 비교

Fig. 3은 1.6mm로 두께가 같은 판재를 매쉬심 용접과 레이저 용접으로 용접하였을 때 모재강도에 따른 성형성의 차이를 보여주는 그래프이다(130MPa : 0.002C-0.1Mn 강, 240Mpa : 0.09C-0.36Mn 강, 406MPa : 0.07C-0.72Mn steel). 일반적으로 모재강도가 높을수록 연신율이 감소하므로 모재강도 증가할수록 파단이 발생하는 dome높이가 낮아져 성형성이 저하되는 경향을 보였다¹⁹⁾. 용접부가 있는 경우 모재만으로 dome실험한 경우에 비교하여 낮은 성형성을 보였으며 레이저 용접한 경우가 매쉬심용접한 경우보다 dome실험에서 더욱 낮은 성형성을 보였다.

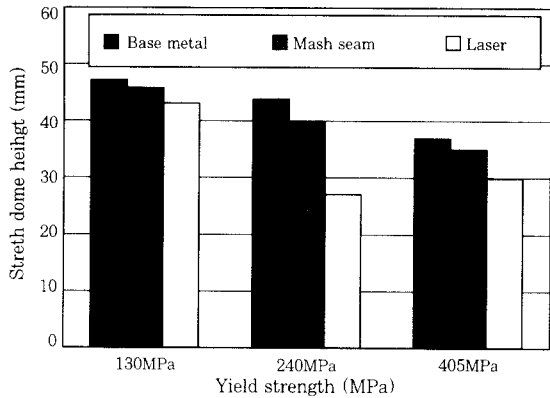


Fig. 3 Effect of welding Processes on stretch dome height¹⁹⁾

Fig. 4는 확공실험한 결과로 모재만을 용접한 경우와 비교하여 용접부가 있는 경우 성형성 감소비율이 dome 실험결과인 2~25%보다 높은 50~60%로 나타났다. dome 실험과는 반대로 매쉬심용접을 확공실험한 경우가 가장 낮은 성형성을 보였다. Fig. 5는 플래니싱과 용접방법을 달리하였을 때 dome 실험결과를 나타낸 것으로 모재만을 실험한 경우와 비교하여 그 차이를 백분율로 나타냈다. 플래니싱이 없는 상태의 매쉬심 용접(MSAW)한 경우가 가장 높은 성형성을 보

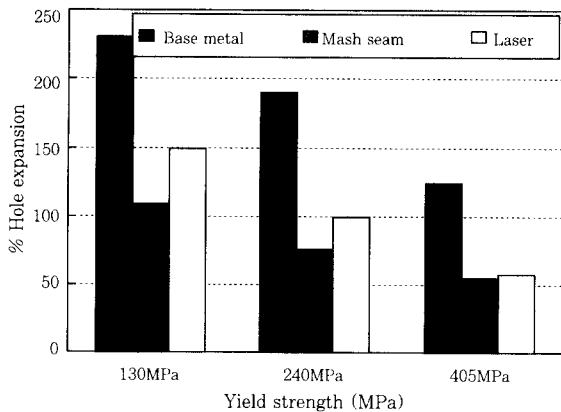


Fig. 4 Effect of welding processes on percent hole expansion¹⁹⁾

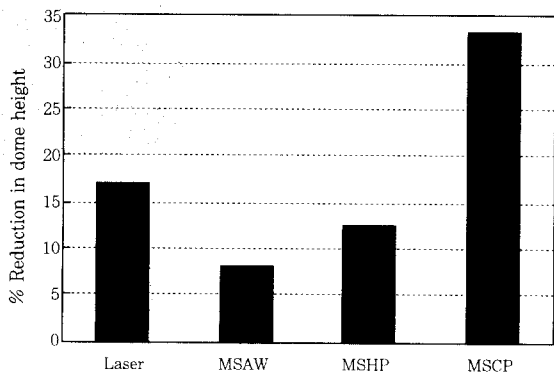


Fig. 5 Effect of welding processes on stretch dome test^{19, 20)}

여주나, 플래니싱을 하게되면 성형성이 낮아진다¹⁹⁻²¹⁾. 플래니싱 온도가 낮을수록(MSHP-Mash Seam Hot Planished → MSCP-Mash Seam Cold Planished), 용접부 잔류응력이 증가하여, 성형성의 감소폭이 커지므로 플래니싱을 하게되는 경우 플래니싱 시 롤은 가급적 전극에 근접시켜 위치시키는 경우 높은 성형성을 유지할 수 있다. Fig. 6의 확공실험한 경우 플래니싱의 온도 및 유무가 성형성에 미치는 영향은 작은 것으로 나타났다.

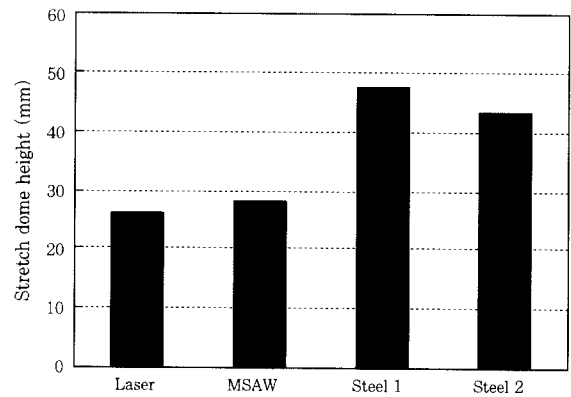


Fig. 6 Effect of welding processes on the hole expansion test¹⁹⁾

Fig. 7은 0.7mm, 1.6mm로 두께를 달리하였을 때 dome 실험한 경우로(steel 1 : 0.7mm 0.0027C 강, steel 2 : 1.6mm 0.0025C 강) 동종에서의 경우보다 dome의 높이 감소가 크게^{18,22)} 나타난다. 이와 같은 이유로는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 용접부심과 두꺼운 판재의 구속응력에 의하여 용접부에 근접한 얇은 판재부위에 변형이 집중되므로 dome의 높이가 낮게 나타난다^{1,23)}.

2.1.3 피로시험비교

Fig. 9는 피로시험 비교결과로 10⁷ cycle까지의 응력 level을 측정된 결과이다. 레이저 용접한 경우가 매쉬

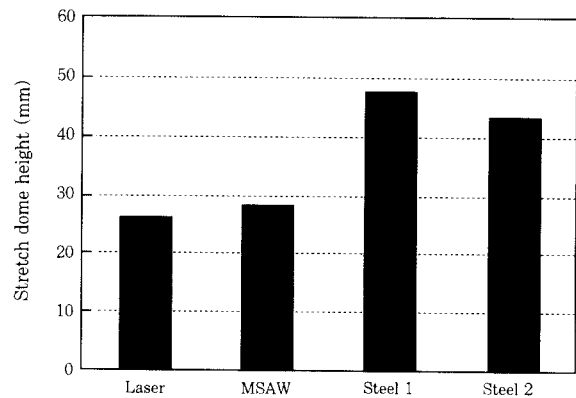


Fig. 7 Effect of differential thickness on stretch dome height(0.7mm and 1.6mm steel)^{19,22)}

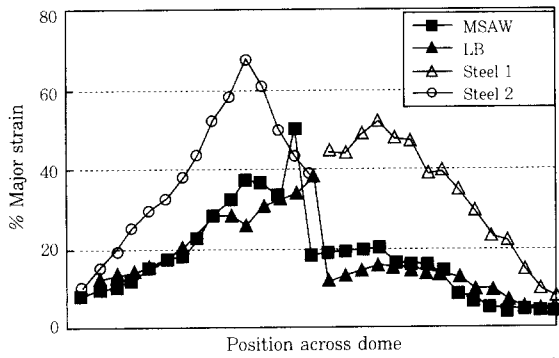


Fig. 8 Strain distribution across a stretch dome¹⁹⁾

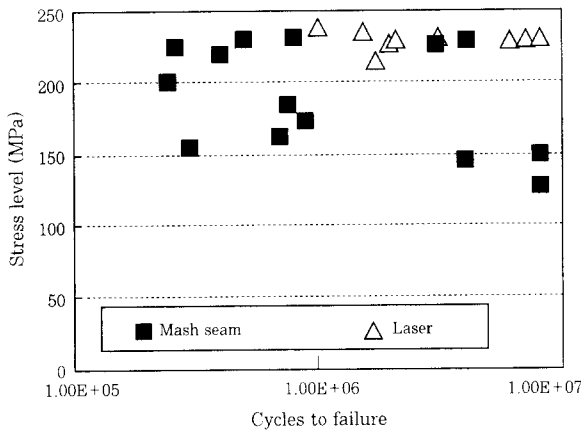


Fig. 9 Effect of welding processes on fatigue^{1,23)}

심 용접한 경우보다 높은 stress level을 보여준다. 레이저 용접과 비교하여 매쉬심용접은 용접부 계면의 응력집중 효과(notch effect)가 크고 따라서 낮은 피로 강도를 보여준다. 매쉬심 용접의 경우 파단위치는 열 영향 부위이며 레이저 용접은 모재와 열영향부에서 파단이 발생한다.

2.1.4 내식성 비교

Fig. 10은 아연도금강판을 레이저 용접과 매쉬심 용접하였을 때의 내식성을 측정된 자료이다. 온도 40℃, 습도 100%의 Kosternich humidity cabinet 안에서 7시간을 유지 후 건조시켜 용접부 비드 전체면적에 대한 부식된 비드의 면적의 백분율을 측정하였고 이것을 1 cycle로 하여 총 17 cycle에 걸쳐 실험하였다. 실험결과 레이저 용접한 경우가 매쉬심 용접보다 높은 내식성을 지녔다. 레이저 용접의 경우 매쉬심 용접에 비교하여 용접부의 폭이 좁기 때문에(laser butt-0.8mm, mash seam-3.4mm) 아연도금층이 효과적으로 내식성을 보인 것으로 사료된다.

2.2 Mash seam 용접변수의 영향

TB에서 우선 선결되어야 하는 부분은 양호한 용접

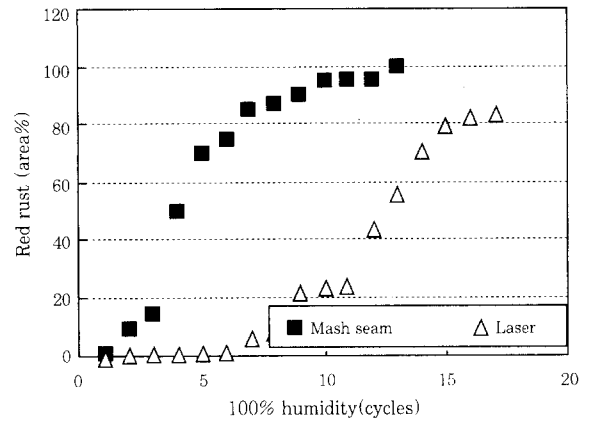


Fig. 10 Effect of welding processes on corrosion protection(%red rust on weld bead)¹⁹⁾

성을 확보해야 한다는 점이다. 매쉬심의 용접변수는 전류, 용접속도, 판재접침, 가압력이며 변수 변화에 따른 용접성변화에 대하여 기술해 나가고자 한다.

2.2.1 전류의 영향

매쉬심 용접에서 용접에 기인하는 발열량은 주울의 법칙($Q=i^2Rt$)을 따르며²⁴⁾, 전류는 발생하는 저항열에 가장 큰 영향을 미치는 변수이다. Fig. 11, 12는 인장 실험 및 Erichsen 실험결과로 저전류에서는 충분한 용입이 되지않아 용접부계면에서 파단이 발생하여 낮은 인장강도 및 파단높이를 보여주며 전류를 증가시키면 양호한 용접조건을 얻을 수 있다²⁵⁾. 그러나 고전류에서는 전극과 접촉하는 판재부위에 용융이 발생하거나 expulsion이 발생된다²⁶⁾. 따라서 적절한 용접범위는 양호한 용접특성을 보이는 하한 전류치에서 expulsion이 발생하지 않는 범위로 설정해야한다.

2.2.2 가압력의 영향

전극에 의한 가압력은 매쉬심 용접부의 두께를 감소시키며 용접부의 발열량을 감소시킨다. 가압력 증가에 따른 용접부의 두께감소는 가압력이 낮은 경우에 비교

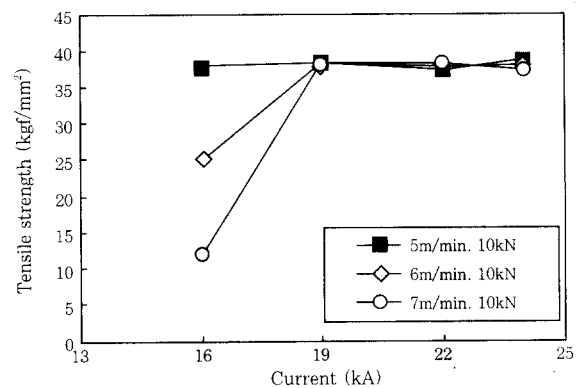


Fig. 11 Effect of current on tensile strength (SPRC 0.8t×1.6t)²⁵⁾

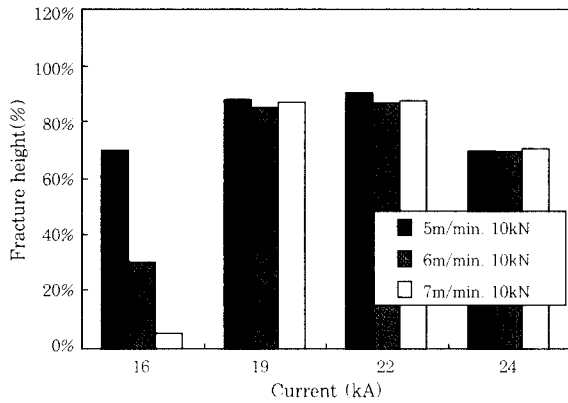


Fig. 12 Effect of current on formability (SPRC 0.8t × 1.6t)²⁵⁾

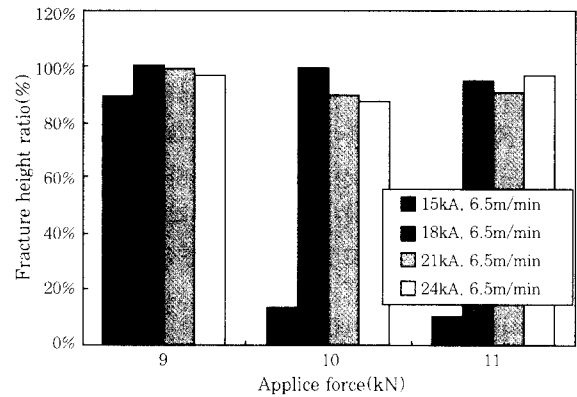


Fig. 14 Effect of applied force on formability (SPRC 1.2t × 1.2t)²⁵⁾

하여 같은 양의 재료에 응력증가에 따른 변형량 증가에 의하여 설명될 수 있으며 발열량 감소에 대해서는 3가지 요인으로 설명될 수 있다. 첫째로는 판재사이의 접촉저항¹⁶⁾의 감소이고, 둘째로는 접합부위의 소성 변형에 의하여 전류의 통전면적이 증가하는 요인이며, 셋째로는 강제냉각을 유도하는 전극과 판재표면과의 밀착성이 좋아져 전극을 통한 열전달이 원활하기 때문이다.

Fig. 13, 14는 용접속도등을 고정하고 가압력을 변화하였을 때의 용접부의 강도 및 Erichsen 실험결과를 보여주는 그래프이다. 가압력 증가에 따라 크게 영향을 받지 않다가 어느 임계이하의 입열량(즉 임계이상의 가압력)에서 계면(interface) 파단이 일어나 급격한 강도 및 파단높이의 감소를 보였다. 가압력은 용접부 두께에 영향을 미치는 인자로 허용되는 용접부 두께를 얻기 위해서는 가압력을 증가시켜야 되는데, 가압력 증가시 계면파단이 발생하는 경우 입열량을 증가시키면(전류 ↑, 용접속도 ↓) 양호한 용접부 특성을 얻을 수 있다. 그러나 과도한 가압력 상승은 전극의 mushroom에 의한 전극수명 감소를 유발할 수 있다.

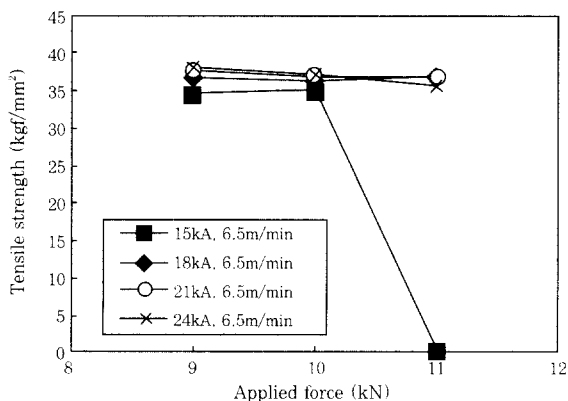


Fig. 13 Effect of applied force on tensile strength (SPRC 1.2t × 1.2t)²⁵⁾

2.2.3 판재의 Overlap

Fig. 15는 동일한 가압력하에서 판재접침 정도에 따른 용접부 특성을 나타낸 결과로 판재접침이 커지면 소성변형이 발생하는 부위의 면적이 증가하므로 응력의 감소가 발생하여 판재접침이 작은 경우보다 용접부 두께가 크다. 접침이 작은 경우 접침부위가 아닌 판재로의 전류 shunting에 의하여 발열량이 감소하며, 불충분한 너깃형성 즉 불충분한 용접부면적에 의하여 적정범위 이하의 낮은 인장강도를 가지게 된다. 따라서 적정강도를 유지하며 허용범위내의 용접부두께를 가지는 판재 접침조건을 설정해야 한다²⁷⁾. 통상 접침은 두 판재의 합이(t1+t2) 1.5~3mm인 경우 판재합의 80~100%로 하며 3~5mm인 경우 판재합의 60~80%범위에서 접침을 설정하는 것이 가장 적절한 것으로 알려져 있다²⁸⁾.

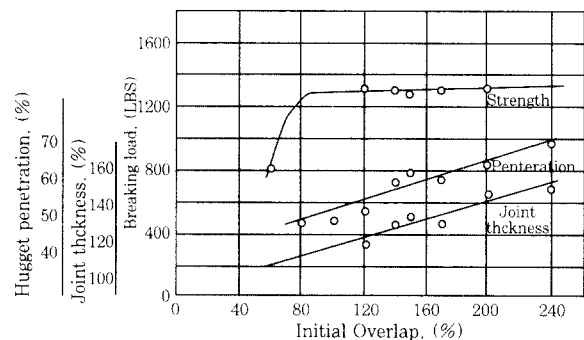


Fig. 15 Effect of Initial overlap on Geometry and Strength⁷⁾: low carbon steel, current-13kA, welding speed-130ipm(≈3.3mm/min), applied force : 900 lbf, thickness-0.31 inch(0.8mm)

2.2.4 용접속도의 영향

용접속도는 재료의 두께 및 표면상태 등에 의하여 결정되며 높은 전류일지라도 과도한 용접속도는 불충분한 너깃형성에 의하여 판재간 용접강도를 저하시키며

로 유의해야 한다. 용접 속도 증가시 충분한 열량을 확보하기 위하여 전류도 함께 증가시켜야한다. 하지만 너무 높은 전류에서는 전극과 모재사이에 arcing이 발생하기 쉽고 전극표면이 불량해 질 확률이 높으므로 용접속도변화는 어느 정도 한계를 가져야 한다.

Fig. 16,17은 용접속도에 따른 용접부의 특성을 나타내는 그래프이다. 고전류에서는 용접속도에 영향이 거의 나타나지 않았다. 그러나 낮은 전류인 경우 용접속도증가에 따라 용접부강도 및 파단높이가 급격히 감소하는 현상을 나타낸다.

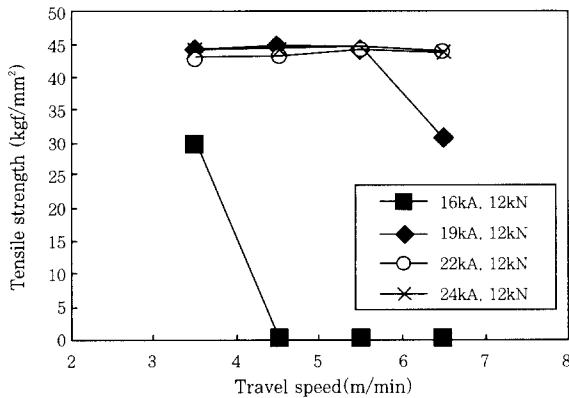


Fig. 16 Effect of travel speed on tensile strength (SPRC 2t × 2t)²⁵⁾

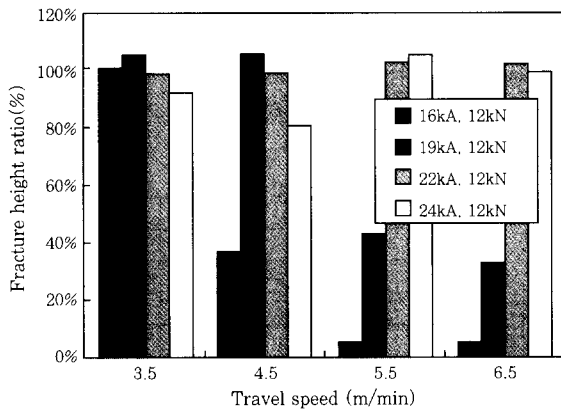


Fig. 17 Effect of travel speed on formability (SPRC 2t × 2t)²⁵⁾

3. 결 론

이제까지 레이저 TB와 매쉬심 TB의 비교설명과 TB특성에 미치는 용접변수의 영향에 대하여 나열해 보았다. 국내에 TB가 처음 도입된 시기는 1990년대 후반이며 레이저를 이용하여 TB를 제작하였다. 주된 연구방향도 레이저의 우수한 용접특성을 이용하여 TB를 제작하려는 추세이다. 그러나 해외 연구사례를 보면 레이저 TB가 도입된 이후에도 매쉬심 TB와 공존

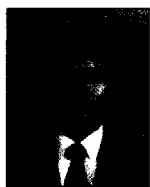
하는 양상을 보여주고 있으며 국내에서도 적절한 용접성과 성형성을 확보하여 현재 매쉬심 TB가 생산되고 있다. 매쉬심 TB의 경우 동급기준으로 할 때 레이저 TB에 비하여 설치비 및 장치유지비가 낮은 장점을 가지고 있으므로 적용하고자 하는 부품에 따라 경제성과 허용치를 판단기준으로 하여 결정하여야겠다.

참 고 문 헌

- Ming F. Shi et al : Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets, SAE 930278 (1993) pp.345
- Bob Irving : Welding Tailored Blanks Is Hot Issue For Automakers, Welding Journal, August(1995), pp.49
- Diane L. Hanllum : What's New in Welding of Sheet-Metal Assemblies, Welding design & Fabrication April (1993), pp.62
- Jay S. Baron : Mash Seam Resistance Welding Fight It Out with The Laser Beam, Welding Journal, July(1994), pp.33
- Jay S. Baron : A Cost Comparison of Weld Technologies for Tailor Welded Blanks, Welding Journal, October(1997), pp.39
- Bob Irving : Blank Welding Forces Automakers to Sit Up and Take Notice, Welding Journal, September(1991), pp.39
- E.J.funk et al : Electrical and Metallurgical Characteristics of Mash Seam Welds, Welding research, June(1956), pp.265
- 서정, 한유희 : 자동차산업에서의 레이저 용접, 대한용접학회지, 제12권 2호(1994), pp.49
- 정봉근, 이창희 : 새로운 개념의 Tailored Blank 레이저 용접성 평가 방법에 관한 연구, 레이저가공학회지 2권 1호 (1999) pp.61
- BK Chung, C.H.Lee : The effect of shielding gas types on CO₂ laser tailored blank weldability of low carbon automotive galvanized, Materials science and engineering A272, (1999), pp.357
- H.B.Kim, C.H.Lee : Effect of Nd-YAG laser pulse shape on welding characteristics of STS 301S stainless steel, Science and Technology of Welding and Joining, Vol.4, No.1, (1999), pp.51
- 김재용 : 박판의 이중빔 레이저 용접에서 열유동 해석에 관한 연구, 대한용접학회지 제15권 4호(1997), pp.99
- 김기철, 이기호, 이복영 : TB용 박판강재의 레이저 용접성, 대한용접학회지, 제16권 1호(1998), pp.77
- 서 정, 방세운, 한유희, 윤충섭 : 아연도금강판의 CW CO₂ 레이저 용접 및 성형성 대한용접학회지, 제13권, 1호(1995), pp.145
- 서 정, 한유희, 김정오, 이영신 : 이중두께 강판의 CO₂ 레이저 용접 및 성형성 대한용접학회지 제14권, 1호(1996), pp.82-

91

16. 김기철, 이기호, 최광, 윤의박 : 레이저를 이용한 자동차구조용 강판의 맞대기용접 특성, 대한금속학회지 1992 v.30, n.7, pp.848
17. 유병길, 이경돈 : TB 용접을 위한 전단 공정 연구, 대한용접학회지, 제17권 2호 (1999), pp.128
18. 정경훈, 노재홍, 고광문 : 자동차 차체 공정기술 개발, 대한용접학회지, 제 17권 6호(1999), pp.4
19. Andy P. Lee : Tailor Welded Blank Technology for Automotive Applications, SAE 960817(1996), pp.91
20. J.L Milian et al : Formability of Tailored Blanks for Automotive Applications, 34th MWSP PROC., ISS-AIME XXX.(1993), pp.83
21. K. K. Bhatt et al : Formability of mash seam Welded Blanks : Effects of Welding Set-up conditions, SAE 950923(1995), pp.183
22. Klaus Siegert et al : Fundamental Research and Draw Die Concepts for Deep Drawing of Tailored Blanks, SAE 950921(1995) pp.159
23. Kiyoyuki Fukui et al : Formability, Fatigue Performance and Corrosion Resistance of Tailor Welded Blanks, Materials&Body Testing IBEC' 96(1996), pp.100
24. American welding society : Welding handbook vol2, 8th Ed.(1991), pp.532
25. 최정영, 이창희 : 산업기술기반과제 중간보고서(1999)
26. 김기철, 이기호, 이목영 : 용접조건이 소형 용기용 Sn 도금 강재의 와이어 심 용접성에 미치는 영향, 대한용접학회지, 제15권 5호(1997), pp.74
27. Thomas J. Geiermann et al : Tailored Blank Welding by the Resistance Mash Seam Process, Material&Body testing IBEC' 95(1995) pp.108
28. Soudronic Co. : Soudronic training book-chapter 3. Seam thickening, with and without planishing after welding, pp.16



- 최정영(崔程英)
- 1970년생
- 한양대학교 재료공학부
- 저항용접, 용접야금
- e-mail : youngkis@hanmail.net



- 이창희(李昌禧)
- 1956년생
- 한양대학교 재료공학부
- 용접야금
- e-mail : chlee@email.hanyang.ac.kr