레이저용접을 이용한 핫프레스포밍강의 맞춤식 재단 용접강판에서 용접공정변수에 따른 기계적 특성 및 비드형상

강민정[*,**], 김철희[*,⊠], 서종덕[***], 임창용[***]
[*]한국생산기술연구원 용접접합그룹, [**]서울대학교 재료공학부, [***](주)신영 기술연구소

Mechanical characteristics and bead geometry according to laser welding parameters for tailor-welded-branks of hot press forming steel

Minjung Kang[*,], Cheolhee Kim[*,⊠], Jong Dock Seo[***], Chang Young Lim[***]**
[*]Welding and joining R&D group, Korea Institute of Industrial Technology
[**]Department of Materials Science and Engineering, Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University
[***]R&D group, Shin young Co.

Abstract

A tailor welded blank (TWB) is a welded blank comprised of two or more sheets with different properties - thickness, strengths or formabilities. TWBs are applied to the body panels to reduce weight and cost of the part. In this research, ultra high strength steel and high ductility steel were joined and laser tailor welded blanks were implemented. Yb:YAG laser welding tests were conducted with various welding conditions, and mechanical and geometrical characteristics of weldments were evaluated.

Keywords: Laser welding(레이저 용접), Tailor welded blank(맞춤식 재단 용접강판), Dissimilar material(이종재료), Mechanical properties(기계적 물성), Bead geometry(비드 형상)

1. 서 론

자동차의 연비규제에 대응하기 위해 자동차 차체의 경량화가 진행되고 있으며, 이에 따라 고강도강의 사용이 증가하고 있다. 고강도강 적용과 더불어 경량화 효율을 극대화하기 위해 재질이나 두께가 다른 소재를 레이저 용접해서 맞춤식 재단 용접강판(TWB)에 대한 연구가 진행되고 있다.[1,2]

고강도강에 레이저 용접을 적용할 경우 용접열영향부에 연화가 나타나지만,[3,7] 핫프레스포밍(HPF)강의 경우 TWB 제작 후 오스테나이트 상변태온도 이상의 고온에서 HPF공정을 거치므로 열영향부의 연화부가 제거될 수 있다. 오히려 HPF강의 경우 고온에서 내식성을 향상시키기 위해 강판위에 도금된 AlSi층이 TWB 용접 시 용접부로 혼입되어 용접부의 물성을 저하시킬 수 있어 용접전 도금층의 제거나 특별한 처리를 통해 물성 저하의 방지가 필요하다.[8,9]

HPF강의 경우 1.5GPa 이상의 고강도 달성이 가능하나 상대적으로 충돌흡수능이 낮기 때문에 센터필라 등의 부품에 적용 시에는 충돌흡수능이 높은 저강도소재를 TWB로 이용하고 있다.[10] 본 연구에서는 고강도소재와 저강도소재의 TWB 레이저용접을 실시하고 HPF공정 이후 용접강도 및 비드형상을 측정하여 레이저용접 공정변수의 영향을 검토하고자 한다.

2. 실험방법

TWB 용접실험을 위해 본 연구에서는 아르셀로미탈사에서 공급하고 있는 HPF공정용 고강도소재 Usibor®와 저강도소재 Ductibor® 소재를 사용하였다. 이 소재의 화학적 성분 및 기계적 특성을 Table 1과 같이 나타내었다. 두 소재는 모두 용접 후

투고일 : 2015년 6월 20일 심사완료일 : 2015년 6월 22일
게재승인일 : 2015년 6월 26일
교신저자 : 김철희 ⊠ chkim@kitech.re.kr

HPF을 적용하기 위해 제작되어진 강판으로서 Usibor 소재의 경우 열처리 전 약 700MPa, 열처리 후 약 1,500MPa의 최대강도를 갖는다. 반면에 Ductibor 소재의 경우, 열처리 전 약 600MPa, 열처리 후 약 700MPa의 최대강도를 갖는 특징을 가지고 있다. 시험을 위해 시편의 폭, 길이, 두께를 각각 150mm, 120mm, 1mm로 절단하였으며, 맞대기 용접을 위하여 용접면은 밀링 가공하였다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of materials used

Chemical composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
Usibor	0.24	0.30	1.21	0.014	0.003	0.20	Bal.
Ductibor	0.078	0.034	1.64	0.017	0.004	-	Bal.

Properties	before HPF			After HPF		
	YS	UTS	El.	YS	UTS	El.
Usibor	427	607	22.28	1057	1535	7.37
Ductibor	511	589	23.20	556	694	13.31

Table 2 Laser welding parameters

No.	Welding speed (m/min)	Gap (mm)	High-low offset (mm)	Focal position (mm)	Remarks
1	8	0.0	0.0	0.0	Variable: welding speed
2	6				
3	7				
4	9				
5	10				
6	8	0.1	0.0	0.0	Variable: gap
7		0.2			
8	8	0.0	0.3	0.0	Variable: high-low offset
9			0.5		
10	8	0.0	0.0	-2	Variable: focal position
11				-4	

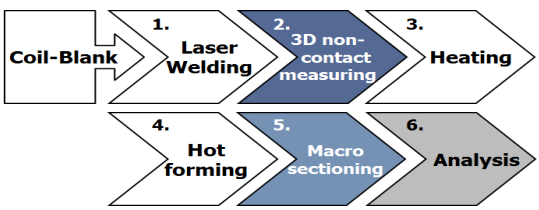


Fig. 1 Schematic diagram of process.

실험에 적용한 레이저는 최대출력 4kW급 Yb:YAG 레이저로 6축 로봇으로 광학계를 이송하였다. 레이저 빔은 시험편 위에 수직으로 조사되었으며, 시험편의 표면 위에 초점을 위치시켰다. 시험편은 4kW 고정 출력에서 초점거리가 560mm인 광학계를 사용하여 제작되었다. 실험변수로는 용접속도, 갭, 단차, 초점을 선정하였으며, 용접을 수행함에 있어서 보호가스는 적용하지 않았다. Table 2에 실험에 적용한 실험 조건을 나타내었다.

용접변수가 용접비드의 형상에 미치는 영향을 분석하고자 제작된 시험편의 열처리 전/후 비드 형상을 비접촉 3차원 형상측정기와 광학현미경을 활용하여 측정하였다. 열처리 전의 비드형상은 비접촉 3차원 측정기를 활용하여 임의의 3곳에서 측정하여 수치화하였으며, 열처리 후의 용접부 형상은 임의의 4곳에서 단면을 채취하고, 광학현미경을 통해 촬영하여 데이터를 산출하였다. 인장시험편은 950℃에서 6분 동안 열처리 한 후 금형 냉각한 용접시험편을 대상으로 KS 규격에 따라 채취하여 시행하였다. 용접 공정 및 열처리 공정 순서에 대한 모식도를 Fig. 1과 같이 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

TWB 레이저 용접시 용접공정변수가 물성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 용접속도, 초점거리, 갭, 높이단차 등을 변화시키며 실험을 수행하였다. 특히 열처리 시에는 변형이 가능하므로 열처리 전후의 비드형상을 각각 측정하여 공정변수의 영향을 검토하였다.

3.1 용접속도에 따른 TWB 용접특성

레이저 출력을 고정한 상태에서 용접속도를 바꾸어가며 실험을 수행하고 HPF 공정 전후의 비드 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 9m/min의 용접속도까지 완전용입이 달성되었으며 그 이상의 속도에서는 입열이 부족하여 부분용입이 형성되었다. 용접속도가 낮은 경우에는 과입열로 인하여 언더필 또는 루트부에 오목비드가 형성됨을 비드표면의 Fig. 2(a)의 비접촉 측정결과를 통해 확인할 수 있다.

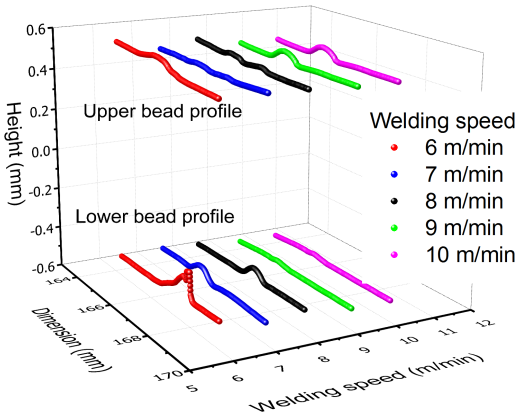
인장시험을 수행한 후 측정한 강도를 Fig. 3에 나타내었다. 인장시험에서 파단은 모두 Ductibor 쪽

의 모재쪽에서 발생하였다. 특히 용접속도가 10m/min의 경우에는 용입깊이가 전체 두께의 88% 정도 밖에 되지 않지만 용접부의 강도가 충분히 높아 모재파단이 발생하였다.

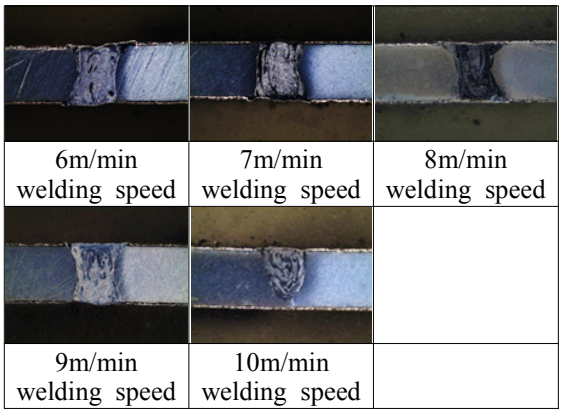
3.2 갭에 따른 TWB 용접특성

열원의 크기가 작은 레이저 용접에 있어서 용접부의 갭은 용접품질에 큰 영향을 준다. 용접부에 갭을 0.1mm와 0.2mm 조성한 후 레이저용접을 수행한 결과 Fig. 4와 같이 갭이 0.1mm인 경우에는 전체 두께의 85%의 깊이로 용입이 형성되고 갭이 0.2mm인 경우에는 65%의 깊이로 용입이 형성된다.

갭으로 인한 용접부의 두께 손실은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 용접부 강도를 하락시키는 주요 원인으로 작용하며 이를 통해 TWB 맞대기 용접을 수행함에 있어서 이음부 갭에 대한 관리가 엄격히 요구됨을 확인할 수 있다.



(a) Bead profiles before HPF



(b) Macro section after HPF

Fig. 2 Effect of welding speed parameter on bead shape.

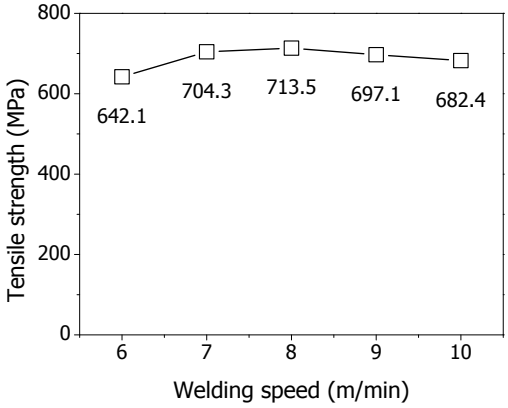
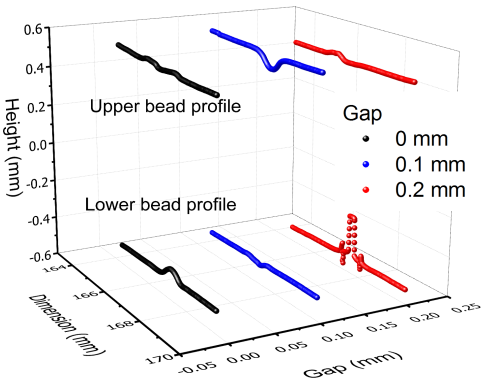
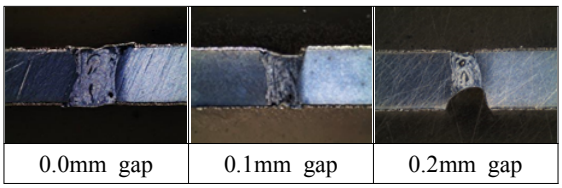


Fig. 3 Tensile test results according to welding speed.



(a) Bead profiles before HPF



(b) Macro section after HPF

Fig. 4 Effect of joint gap on bead shape.

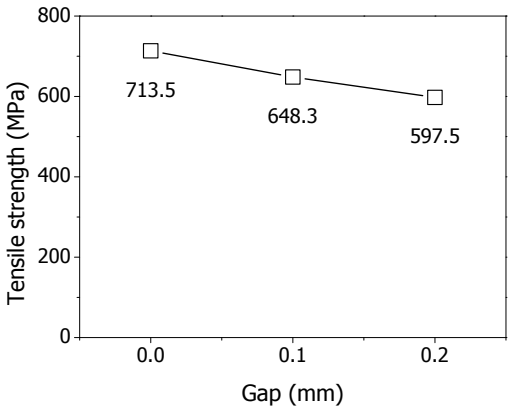


Fig. 5 Tensile test results according to joint gap.

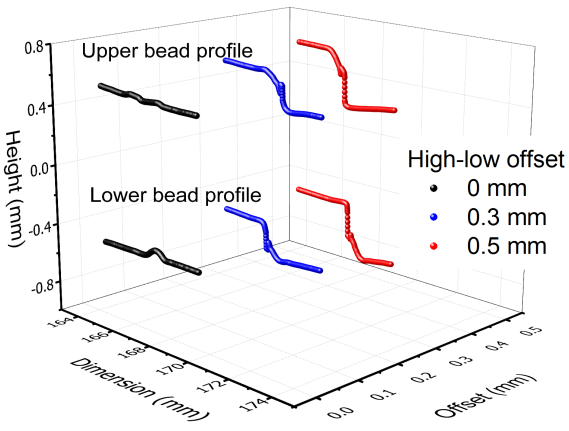
3.3 높이단차에 따른 TWB 용접특성

높이단차에 따른 TWB 용접특성을 확인하기 위하여 두께의 30%, 50%에 해당되는 좌우 높이 단차를 가진 시험편을 각각 제작하였다. Fig. 6(a)에 제작한 시험편의 비드 형상 측정 그래프를 나타내었다. 이를 통해 제작된 시험편이 목표대로 만들어 졌음을 확인 할 수 있다.

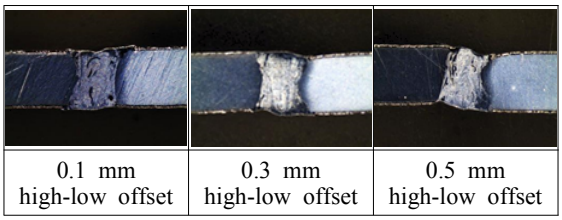
제작된 용접시험편은 950℃ 고온의 열처리와 금형 냉각을 거치게 되는데, 열처리 후의 시험편의 단면사진을 Fig. 6(b)에 나타내었다. 열처리된 시험편의 형상을 분석한 결과 두께의 30% 단차 조건으로 제작한 시험편은 열처리 후 약 5%의 높이차가 형성되어 있었다. 또한, 두께의 50% 단차 조건으로 제작한 시험편은 열처리 후 약 10%의 높이차가 형성되어 있음을 확인하였다. 이를 통해 열처리 전에 형성되어 있던 이음부 단차에 기인한 형상결함은 HPF공정을 통해 개선될 수 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 Fig. 7과 같이 TWB용접 시 좌우 높이단차의 존재에도 불구하고 용접부의 강도는 크게 하락하지 않는 것을 확인할 수 있다.

3.4 초점위치에 따른 TWB 용접특성

초점위치가 시험편의 표면으로부터 멀어지게 되면 빔의 단위면적당 에너지 밀도는 줄어들게 된다. 이로 인해 얕은 용입과 넓은 비드의 형성, 스패터 저감이 가능한 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 초점위치에 따른 TWB 용접특성을 확인하기 위하여 초점위치 0, 2, 4mm에서 레이저 용접을 수행하였으며, 빔프로파일을 측정한 결과 각 위치에서 빔의 직경은 각각 0.54, 0.55, 0.60mm 이었다.



(a) Bead profiles before HPF



(b) Macro section after HPF

Fig. 6 Effect of high-low offset on bead shape

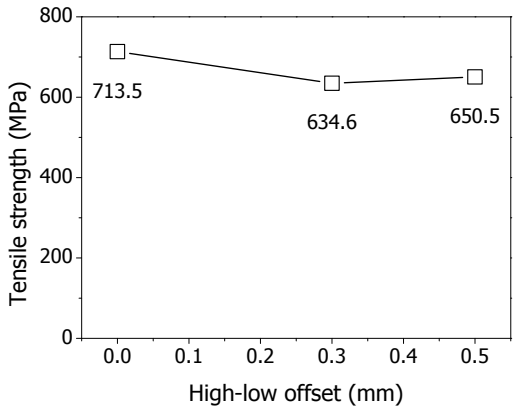
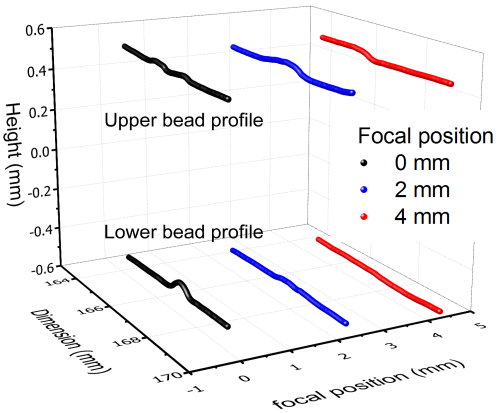
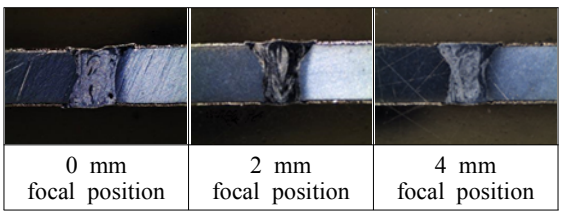


Fig. 7 Tensile test results according to high-low offset.



(a) Bead profiles before HPF



(b) Macro section after HPF

Fig. 8 Effect of focal position on bead shape

Fig. 8에서 확인할 수 있는 것과 같이 선정한 시험조건에서 부분용입은 달성되지 않았다. Fig.

8(a)의 열처리 전의 비드형상 측정결과를 통해, 초점위치가 0mm인 경우에 비해 2와 4mm의 초점위치에서 비드표면이 보다 완만하게 형성되었음을 확인 할 수 있다. 초점거리가 길어질수록 입열의 부족으로 I 형상의 비드가 아닌 와인컵 형상의 비드가 형성되며, 모든 조건에서 비드의 높이차가 미미하여 양호한 비드형상을 가지고 있음을 확인하였다. 모든 조건에서 완전용입이 달성되었으며, 내부 결함이 존재하지 않아 모든 경우에서 모재부 파단이 발생하였으며 인장강도는 Fig. 9과 같다.

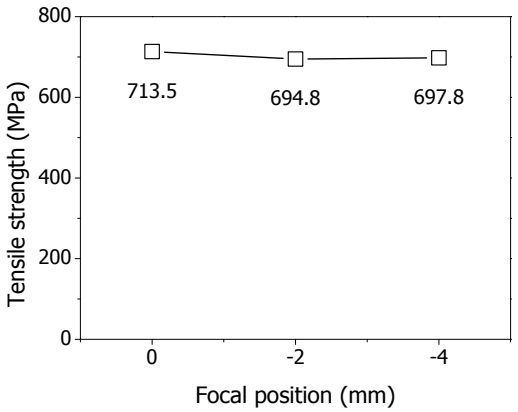


Fig. 9 Tensile test results according to focal position.

4. 결 론

본 연구에서는 고강도의 Usibor 소재와 고연성의 Ductibor 소재의 이종소재 TWB 레이저 용접을 수행하였다. 용접된 시험편은 HPF 공정을 모사하고자 열처리 후 금형냉각하였으며 각각의 실험변수에서의 따른 비드형상 특성 및 기계적 특성을 비교 분석하였다.

1) 용접속도를 이용하여 입열을 변화시킨 결과 고입열에서 언더필이 나타나며 저입열에서 부분용입이 형성되었다. 언더필은 HPF공정을 거치면서 완화되었으며, 용접부의 강도가 고연성소재의 강도에 비해 충분히 높기 때문에 일부 부분용입에서도 용접강도 유지가 가능하다.
2) 맞대기 용접부의 갭은 용접부 이음부의 형상 및 강도에 큰 영향을 주기 때문에 용접부의 갭은 0.1mm 이내로 관리되어야 한다.
3) 열처리 전 형성되어 있는 이음부 단차에 의한 비드 형상의 좌우비대칭은 HPF과정에서 완화됨을 확인하였다.
4) 초점위치가 0mm가 아닌 경우 비드표면 형상이 개선되는 것을 확인하였으며, 본 실험에서 가변한 초점위치에서는 용접강도의 저하가 발생하지 않았다.

References

1) M. Ono, A. Yoshitake, M. Ohmura, “Laser weldability of high strength steel sheets in fabrication of tailor welded blanks,” NKK Technical Review, No. 86, pp. 13-18, 2002.
2) N. Sreenivasan, M. Xia, Y. Zhou, “Effect of laser welding on formability of DP980 steel”, Journal of engineering materials and technology, Vol. 130, pp. 041004, 2008.
3) J. Choi, M. Kang, J. Cho, C. Kim, “Laser welding characteristics of ultra high strength steel for automotive application,” Journal of Korean Welding and Joining Society, Vol. 27, No. 5, pp. 471-474, 2009.
4) C.-H. Kim, J.-K. Choi, M.-J. Kang, Y.-D. Park, “A study on the CO_2 laser welding characteristics of high strength steel up to 1500 MPa for automotive application,” Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 39, No. 1, pp. 79-86, 2010.
5) J. Choi, J. Kim, S. Shin, C. Kim, S. Rhee, “A study on laser welding characteristics of 1500MPa grade ultra high strength steel for automotive application,” Journal of Korean Society of Laser Processing, Vol. 13, No. 3, pp. 19-26, 2010.
6) C. Kim, M. Kang, Y.-N. Ahn, “Laser welding technology platform for automotive industry,” Journal of Korean Society of Laser Processing, Vol. 14, No. 1, pp. 6-13, 2011.
7) C. Kim, M. J. Kang, Y. D. Park, “Laser welding of Al-Si coated hot stamping steel, Engineering Procedia,” Vol. 10, pp. 2226-2231, 2011.
8) Y. Kim, K. Y. Park, B. Y. Lee, “A Study on Laser Weldability of Al-Si Coated 22MnB5

Steel for TWB Hot Stamping," Journal of KWJS, Vol. 31, No. 2, pp. 114-120, 2013.
9) M. Kang, C. Kim, S.M. Bae, "Laser tailor-welded blanks for hot-press-forming steel with arc pretreatment," International Journal of Automotive Technology, Vol. 16, No. 2, pp. 279-283, 2015.
10) M. Kang, C. Kim, "Laser welding for hot stamped tailor welded blanks with high strength steel/ high energy absorption steel," Journal of laser application, Vol. 26, No. 3, pp. 032007-1~6, 2014.