겹치기 용접 후 핫프레스 포밍된 보론강 용접부의 부식성 평가

강 민 정^{*,**} · 김 철 희^{*,†}

^{*}한국생산기술연구원 용접접합그룹

^{**}서울대학교 재료공학부

Corrosion Assessment for Boron Steel Weldments Prepared by Overlap Welding and Successive Hot Press Forming Processes

Minjung Kang^{*,**}, and Cheolhee Kim^{*,†}

^{*}Joining R&D group, Korea institute of industrial technology, Incheon, 21999, Korea

^{**}Dept. of materials science and engineering, Seoul national university, Seoul, 08826, Korea

[†]Corresponding author : chkim@kitech.re.kr

(Received August 11, 2017 ; Revised September 13, 2017 ; Accepted September 27, 2017)

Abstract

The hot press forming process for steel forming has been widely applied in the body-in-white structure of automobiles. Usibor™ 1500P is a representative hot press forming (HPF) steel which has a tensile strength of 1.5 GPa after the hot stamping process. The HPF steel undergoes austenization inside a heating oven at a high temperature of 900~950℃ for a few minutes and then it is quenched for martensitic transformation. Therefore, the HPF steel sheet is often coated with an AlSi or Zn layer to avoid surface oxidation during the high-temperature process. For some cases, as like forming of the tailor-welded blanks or patched parts, the welding process is required prior to the HPF process and the coating layer is damaged near the welding heat source, which can detrimentally affect the corrosion resistance. In this study, corrosion characteristics were examined on the overlap-welded and subsequently hot pressed specimens. The welding processes selected were laser and resistance spot welding. Salt spray test was implemented up to 1000 hours. Tensile strength was measured and the cross-section was analyzed to investigate the effect of corrosion due to loss of the coating layer.

Key Words : Welding, Hot press forming, Boron steel, Corrosion, Salt spray test, Crevice corrosion

1. 서 론

자동차 차체는 차량 중량의 30%를 차지하고 있으며, 경량화에 대한 시대적 요구를 만족시키기 위하여 차체에 적용되는 소재가 점차 고강도화되는 추세에 있다. 특히 센터필러는 차체 측면에 위치하여 차량 측면 충돌 및 전복할 경우의 충격과 하중으로부터 승객을 안전하게 보호하는 중요한 역할을 하는 부품으로 높은 강도 및 충돌흡수능이 요구된다. 때문에 고강도 보론강을 적용하여 센터필러를 성형제작하고, 보강재를 내부 조립하여 측면 충돌에 대응하고 있다¹⁾.

패치워크 기술은 하나의 금형을 이용하여 여러 개의 부품을 동시에 성형함으로써 개별 성형 후 조립하는 공정에 비해 생산성 및 원가 경쟁력이 우수한 성형 공법이다²⁾. 여러 종류의 패치워크 방법이 존재하지만 자동차 센터필러 부품에 적용하기 위해 저항점용접으로 겹치기 용접 후 핫프레스성형하는 방법을 고려하고 있다. 이 경우에는 핫프레스성형 후 용접 시 발생하는 열연화부가 발생하지 않는 장점을 가지고 있다.

그러나 패치워크 기술의 적용을 위해서는 부식성 평가 등의 신뢰성 평가가 수반되어야 한다. 핫프레스포밍 공정의 경우 상변태온도 이상의 고온까지 가열 후 성형과 냉각을 동시에 수행하기 때문에 고온 분위기에서 부

식을 지연 또는 방지하기 위하여 보론강의 표면을 도금 처리하지만 용접 중 모재의 용점까지 가열되므로 용접 부 및 용접부의 주변에서는 도금층이 제거되어 내식성이 저하된다.

틈부식은 용액이 그대로 정체하고 있는 장소에 생기는 부식으로 구멍들, 개스킷의 표면, 표면위의 침전물, 볼트나 리벳 머리부분 아래의 틈 사이에 등에 쉽게 형성된다³⁻⁸⁾. 겹치기 이음부에는 판재와 판재사이에 미세한 틈이 형성되어 틈부식 환경이 조성되고 부식이 진행된다면 기계적 강도와 같은 물성이 크게 저하된다. 특히 두께가 얇은 자동차용 강판의 경우, 두께손실 및 결합부 손실에 의한 물성저하가 클 것을 쉽게 예상할 수 있기 때문에 부식특성에 대한 평가는 반드시 수행되어야 한다.

본 연구에서는 센터필러의 패치워크 적용을 고려하여 초고강도 겹치기 용접부의 부식성을 평가하고자 하였다. 부품을 모사하기 위하여 열처리 전 판재를 겹치어 먼저 용접한 후 핫프레스성형과 동일한 열처리를 실시하였다. 다양한 용접과 실링을 감안하기 위해 여러 가지 조건의 시험편을 제작하였다. 부식성을 비교평가하기 위한 방법으로 부식환경 노출시간에 따른 접합부 강도를 측정하고 단면검사를 통한 접합부 부식 진행을 확인하였다.

2. 실험방법

보론을 소량 포함하고 있는 핫스탬핑강을 실험에 적용하였으며 적용 소재의 화학적 성분 및 기계적 특성은 Table 1과 같다. 소재는 240 mm × 350 mm × 1.2 mm, 180 mm × 190 mm × 1.2 mm 크기로 각각 채단하여 넓은 판을 하판으로 배치시키어 겹치기 용접을 수행하였다.

제작한 시험편의 종류를 Fig. 1에 나타내었다. 0번 시험편의 경우 자동차 조립 시 일반적으로 사용되는 저

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of base material

Chemical composition (wt.%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
Boron alloy	0.24	0.30	1.21	0.014	0.003	0.20	Bal.

Mechanical properties						
Properties	Before hot press forming			After hot press forming		
	YS (MPa)	UTS (MPa)	El. (%)	YS (MPa)	UTS (MPa)	El. (%)
Boron alloy	427	607	22.28	1057	1535	7.37

(a) Case 0 - resistance spot welding without sealing
(b) Case I - laser sealing welding
(c) Case II - laser circle welding and laser sealing welding
(d) Case III - resistance spot welding and laser sealing welding
(e) Case IV - resistance spot welding and adhesive sealing

Fig. 1 Specimen preparation

항 점용접을 적용한 경우로 다른 조건과의 비교를 위하여 제작하였다. 1번 시험편의 경우 레이저 용접선을 외곽에 배치시킨 것으로서 레이저 용입을 통해 내부의 용접점이 부식환경에 노출되지 않도록 밀폐하기 위한 방안의 일환으로 선정되었으며 레이저 단독으로 적용한 경우 나타나는 현상을 확인하기 위하여 선정하였다. 2~4번 시험편은 조립공정을 복합하여 적용한 시험편들로 용접부를 부식 환경으로부터 보호함과 동시에 넓은 접합면적을 확보하여 강성의 증대효과를 나타낼 수 있을 것으로 예측하여 제작하였다. 2번 시험편은 레이저 용접을 사용하여 내부의 용접타점 및 가장자리에 용접선을 넣은 것이며, 3번은 내부에는 저항 점용접 공정을 적용하여 이음부를 형성하고 가장자리에는 레이저를 사용하여 용접선을 넣은 것이다. 4번 시험편은 0번 시험편에서 언급하였던 저항 점용접을 적용하여 내부에 용접을 수행하고 차체에 적용되는 구조용 접착제를 사용하여 틈새를 실링하였다. 실험에 적용한 구조용 접착제는 MS 9360(Teroson 社) 으로, 전착도장 공정 중에 고상화될 수 있는 제품을 선택하여 적용하였다.

염수가 이음부로 전파되는데 있어 외부환경과 용접선까지의 거리가 중요하기 때문에 용접선으로부터 30 mm의 플랜지를 형성시킬 수 있도록 설계하였다. 실험에 적용한 시험편의 모식도를 Fig. 2에 나타내었다. 시료당 4개의 인장시험편을 채취할 수 있도록 설계하였으며, 강도값은 4회 실험의 평균값을 구하여 나타내었다.

시험편은 Yb:YAG를 사용하여 제작하였으며, 450 mm의 초점거리를 가지고 있는 광학계를 적용하였다. 레이저 출력은 3 kW로 고정하여 공급하였으며, 공정점의

Fig. 2 Dimension of salt spray test sample (unit: mm)

위치에 따라 용접속도에는 다소 차이를 두었다. 겹치기 용접부는 3 m/min의 용접속도를 적용하였으며, 실링을 위한 필렛 용접부는 6 m/min의 용접속도 조건에서 제작하였다. 모든 용접조건에서 빔의 초점은 시험편의 표면에 맞추고 수행하였다. 별도의 보호가스는 적용하지 않았다. 사전실험 결과, 폐곡선을 형성하는 레이저 실링용접의 끝점에서 크레이터가 과하게 발생되었다. 이를 방지하기 위하여 용접 끝점 근처에서 용접출력을 서서히 감소시키도록 설정하여 끝점에서의 크레이터를 최소화 할 수 있도록 하였다. 이때 끝점에서의 레이저 출력은 초기 설정 출력 3 kW의 60 %인 1.8 kW로 설정하였다. 2번 시험편의 제작 시에는 저항 점 용접에서 사용하는 전극 팁직경과 같은 6 mm 직경의 원을 스캐너 광학계를 사용하여 형성시켰다. 저항 점용접은 사전 실험을 통해 300 kgf/mm²의 가압력, 8.5 kA의 용접전류 그리고 200 ms의 통전시간 조건에서 수행하였다.

용접한 시험편은 패치워크 제품을 모사하기 위하여 평판금형을 사용하여 핫스탬핑 처리하였다. 이후 전착도장을 수행한 후 염수분무시험을 실시하였다. Table 2에 염수분무 시험 조건을 나타내었다. 부식시험은 KS

D 9502:2009 (염수분무시험방법 - 중성, 아세트산 및 캐스 분무시험)과 ISO 9227:2006 (Corrosion tests in artificial atmosphere - Salt spray test)의거하여 진행되었다. 부식환경의 실내온도는 35 ℃이며, 시간당 분무량은 2 ml로 유지하였다. 염수 환경 노출시간에 따른 영향을 분석하기 위하여 노출 시간은 0, 250, 500, 1000 시간으로 설정하였으며, 각각의 조건에서 강도평가 및 단면검사를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 시험편의 외관사진을 Fig. 3에 나타내었다. 4번 시험편의 구조용 접착제는 열처리가 된 시험편에 처리하였으며 전착도장 과정 중에 경화시키었다. 부식 현상이 확인된 영역을 노란색 화살표를 사용하여 나타내었다. 염수 노출이 250 시간이 지난 경우, 저항 점 용접조건(0번)과 레이저 용접 적용한 조건(2 번)에서 부식 현상이 확인되었다. 이러한 부식현상은 염수 노출시간이 지남에 따라 가속화되며, 1000 시간이 지난 경우 모든 조건에서 부식현상이 관찰되었다.

저항점 용접을 적용한 시험편의 경우 표면에서의 부식은 확인되지 않고, 접합계면에서의 부식만이 진행되었다. 그러나 레이저 용접을 적용한 경우 Fig. 4(a)와 같이 용융선을 따라 부식이 진행되는 것이 확인되었다. 제작된 시험편은 ISO/DIS 8501-3, "Preparation of steel substrates before the application of paints and related products"를 기준으로, 브러싱을 사용하여 표면의 오염물질을 제거하고 전착도장을 실시하여 준비하였다. 부식시험 전 육안검사 결과에서는 비드 전체 표면이 빈틈없이 도장된 것으로 확인되었으나, 부식시험 후의 비드 표면을 확인해 본 결과 용융선을 따라 부식이 시작되는 것이 확인되어 도장이 부분적으로 완벽히 밀착되지 못하였음을 예측할 수 있었다. 구조적 이유로 용접부 주변에 형성된 오염이 완벽히 제거되지 못하여 도장이 완벽히 밀착되지 못하고 들뜸으로써 틈부식 환경이 조성되었기 때문으로 판단된다. 그러나 양산과정에서는 산세 등의 보다 다양한 방법을 적용하여 용접부 주변의 오염을 정리하기 때문에, 실제 제작과정에서는 비드를 따라 발생하는 부식정도가 감소할 것으로 예측된다.

틈부식은 금속의 용해에 의해 틈 내부에 금속이온이 농축되어 틈 내외의 이온농도차에 의하여 형성되는 부식작용으로 처음 부식이 발생하면 틈 내부에서는 양극반응($M \rightarrow M^+ + e^-$)과 음극반응($O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$)이 진행된다. 부식이 더욱 진행됨에 따라 산소는 고갈

Table 2 Salt Spray test conditions

Operating temperature	35 ℃
Relative humidity	95 %
Average collection rate for a horizontal collecting area of 80 cm ²	2 ml/hr
Concentration of sodium chloride	5 w/v%
pH	pH 7

Fig. 3 Specimens after salt spray test

(a) case 2 (b) case 4

Fig. 4 Specimens after 1000-hour test

되고 음극반응이 억제되어 OH⁻의 생성이 감소되므로 전기적 중성이 유지될 때까지 Cl⁻이온이 틈 내부로 유입된다. Cl⁻이온은 금속과 결합하여 금속염(M⁺Cl⁻)을 형성하고 이 염이 가수분해하여 MCl+H₂O→HCl 반응을 통해 HCl을 형성하면서 pH가 저하되므로 이로 인해 부동태피막 파괴에 이르게 된다⁹⁾.

이러한 틈부식을 방지하고자 구조용 접착제를 사용하여 용접부를 밀폐시켰음에도 Fig. 4(b)와 같이 부식의 증거가 확인되어, 구조용 접착제로 외부 대기와의 완벽한 차단은 불가능함을 확인하였다.

3.1 염수분무 노출시간 증가에 따른 시험편의 강도 평가

염수 분무시험을 실시한 각 시험편에 전단인장시험을 실시하였다. Fig. 5와 같이 각 경우에는 접합면적 및 구속조건이 상이하므로 하중의 모드가 동일하지는 않다.

전단인장시험을 통해 측정된 강도값을 Fig. 6에 나타내었다. 시험을 통해 측정된 저항점 용접부(0 번)의 전단인장강도는 염수분무 노출시간과 상관없이 KS B 0850-B grade에서 요구하는 9.258 kN 보다 높은 강도를 나타내었다. 최저강도는 레이저 용접을 단독으로 시행한 시험편(1 번)에서 측정이 되었는데 레이저 용접에 의해 접합면적이 좁게 형성되었고 계면파단이 발생하면서 강도가 낮게 측정되었다. 복합공정을 적용한 경우에서 상대적으로 높은 강도가 측정되었으며 이것은 앞서 언급한 바와 마찬가지로 보다 넓은 면적이 구속되었기 때문으로 판단된다. 시험결과에서 1000시간까지

Fig. 5 Schematic diagram of prepared tensile test specimens

Fig. 6 Tensile-shear strength of corrosion test sample depend on exposure time in corrosion environment

염수에 노출시켰음에도 강도저하는 크지 않았다.

또한 구조용 접착제를 사용하여 밀폐시켰음에도 1000 시간이 지난 후에는 부식 흔적이 확인되어 구조용 접착제로 외부 대기와와의 완벽한 차단은 불가능함을 확인하였다.

3.2 염수분무 노출시간별 이음부 단면 검사

조건별 단면을 채취하여 Fig. 7에 나타내었다. 이 때 0, 3, 4번 시험편에서는 저항점용접부에서 시험편을 채취하였으며, 1번과 2번 시험편에서는 레이저 용접부에서 시험편을 채취하였다. 외부와의 접촉을 레이저 용접 또는 구조용 접착제 등으로 차단하였을 때, 내부의 용접부가 영향을 받았는지를 분석하기 위함이다.

단면분석 결과, case 0번 시험편에서는 염수 노출시간이 250 시간이 지난 이후부터 계면 주변에 부식의 흔적이 나타남을 확인할 수 있었다. 용접 또는 열처리 후

Fig. 7 Macro-section of the welds. Arrows indicate the corruptions during the salt spray test

발생한 변형으로 인해 판재 사이에 들뜸이 발생하여 염수가 접근할 수 있는 틈이 형성되었기 때문에 판단된다. 부식이 진행된 위치는 용융부 주변으로서 앞서 언급한 Fig. 2의 위치와 같다. 틈부식이 발생하기 위해서는 틈이 염수가 침투할 수 있을 정도로 넓어야 하고 염수가 정체 될 수 있을 정도로 좁아야 하는데, 레이저 용접 시험편의 경우, 저항점 용접 시험편과 유사하게 외부환경과 접촉할 가능성이 있으나 판재 사이의 틈이 좁아 250시간에서는 부식흔적이 발견되지 않았다. 그러나 그림에서와 같이 노출시간이 길어지면서 계면에서 부식이 진행을 확인할 수 있다. 실험에서 계면 부식부의 길이는 0.2 ~ 0.3 mm로 저항 점 용접 또는 레이저 용접으로 형성되는 접합계면 너비에 비해서는 충분히 작기 때문에 강도에 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다. 레이저 실링 용접을 수행한 경우 내부에 위치한 용접부에서 부식이 진행되지 않았다. 즉, 레이저 실링 용접을 수행할 경우 내부 용접부의 부식으로 인한 접합강도저하를 방지할 수 있었다.

4. 결 론

핫스탬핑 패치워크 부품의 경우 중량과 단가 절감에 유리하나 성형 중 용접계면 파단 등 문제가 발생한 사례가 있다. 본 연구에서는 핫스탬핑강을 대상으로 패치 용접을 모사하기 위한 여러 조건의 접치기 용접부를 구

성하고 염수분무 실험을 실시하여 조건별 부식특성을 비교 분석하였다.

1) 저항점 용접 또는 레이저 용접의 단독공정보다 레이저 실링 용접과 분용접을 복합적으로 적용한 조건에서 높은 전단인장강도가 측정되었다. 이는 접합면적이 넓기 때문이다.

2) 염수환경에서 노출시간이 1000시간까지 증가할 경우에도 전단인장강도 저하는 뚜렷이 나타나지 않았다. 염수분무시험에 의해 계면에 부식이 발생하나 두께 또는 비드계면에 비하여 상대적으로 작은 영역에서 부식이 형성되었기 때문에 판단된다.

References

1. S. Kim, H. Kong, Development of reinforcement side outer using TWB hot stamping process, *J. of Welding and Joining*, 33(6) (2015), 36-41 (in Korean)
2. M. Merklein, M. Johannes, M. Lechner and A. Kuppert, A review on tailored blanks-production, applications and evaluation, *Journal of Materials Processing Technology*, 214(2) (2014), 151-164
3. A. Betts and L. Boulton, Crevice corrosion: review of mechanisms, modelling, and mitigation, *British corrosion journal*, 28(4) (1993), 279-296
4. Q. Hu, G. Zhang, Y. Qiu and X. Guo, The crevice corrosion behaviour of stainless steel in sodium chloride solution, *Corrosion Science*, 53(12) (2011), 4065-4072
5. G. F. Kennell and R. W. Evitts, Crevice corrosion cathodic reactions and crevice scaling laws, *Electrochimica Acta*, 54(20) (2009), 4696-4703
6. J. D. Kwon, W. H. Lee, K. S. Kim, S. S. Jang and Y. J. Jin, Corrosion Behavior Analysis of the Weld Joint between Stainless Steel and Carbon Steel, *Journal of KWS*, 17(3) (1999), 66-70 (in Korean)
7. N. Laycock, J. Stewart and R. Newman, The initiation of crevice corrosion in stainless steels, *Corrosion Science*, 39(10-11) (1997), 1791-1809
8. J. Walton, G. Cragolino and S. Kalandros, A numerical model of crevice corrosion for passive and active metals, *Corrosion Science*, 38(1) (1996), 1-18
9. S.-Y. Baek and E.-Y. Na, A study on the Mechanism of crevice corrosion for 430 stainless steel, *Journal of the Korean Society of Marine Engineers*, 27(3) (2003), 447-452