

자동차용 핫스탬핑 고강도강 판재의 겹치기 레이저용접

김용[✉], 박기영, 이경돈

고등기술연구원

Lap joint Laser Welding of Hot Stamped Ultra High Strength Steel for Automotive Application

Yong Kim, Ki-young Park, Kyoung-don Lee

Institute for Advanced Engineering

Abstract

Recently ultra high strength steels(UHSS) has been widely applied to the structural or safety components in the automotive industry. Specially, hot stamping boron steel 22MnB5 has shown the crash-resistant characteristics when applying to bumpers and pillars. Lap joint Laser welding of the hot stamped and die quenched sheets of Boron steel was carried out using 3kW Nd/YAG laser. The appropriate Lap joint laser welding conditions were founded separately for four lap joint combinations. The lower sheet is a hot stamped sheet in common and the upper sheet is selected among the hot stamped steel and high strength steels such as SPCC, 370MPa, and 590MPa grade high strength steels. Cross bead sections and local hardening and softening were observed as well as tensile-shear test results.

Keywords: Laser welding(레이저 용접), Lap joint(겹치기 이음), UHSS(초고강도강판), Hot stamping(핫스탬핑), Automotive body(차체)

1. 서론

최근 유가상승에 따른 연비절감 및 CO₂ 감축 등의 요구로 인해 자동차 업계에서 차체 경량화에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 차체 경량화는 전기자동차나 연료전지 자동차와 같은 미래형 자동차의 효율 향상을 위해서도 더욱 절실히 요구된다. 그러나 차량 경량화는 안전성이라는 중요한 요구사항을 동시에 만족하여야 하므로 차량 경량화는 안전성이라는 한계를 극복하기 어려운 경우가 자주 발생한다.

최근 자동차 업계는 기존 적용되는 고강도강(HSS, high strength steel)에 비해 동일 두께에서 강도 및 성형성이 우수한 새로운 고강도강(AHSS, advanced high strength steel)을 개발하였으며 이 중 700MPa 이상의 초 고강도강판(UHSS)으로 핫스탬핑(Hot stamping)강이 새롭게 주목을 받고 있다.^{1,2}

핫스탬핑강은 경화능이 우수한 보론(boron)강판을 900℃ 이상의 고온에서 열간성형을 실시하기 때문에 성형할 때 강도는 400~700MPa 정도로서 낮으나, 금형 안에서 급속냉각을 병행하여 1,500MPa 급의 강도를 최종 제품으로 얻을 수 있다. 이 기술은 차체 부품업체인 “Arcelor”에서 공법이 개발된 뒤 독일의 “ThyssenKrupp”와 설비 협력을 통해 전세계에 점차 기술보급이 되고 있는 추세이다.^{3,4,5}

이에 따라 본 연구에서는 최근 차체에 적용되고 있는 핫스탬핑 강에 대한 겹치기 레이저용접특성을 알아보고자 Nd:YAG 레이저 용접을 네 개의 겹치기 조건에 대하여 실시하고 용접비드의 단면, 경도 및 인장-전단 강도를 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 레이저는 빔 직경이 600 μ m, 초점거리 200mm인 최대 3kW의 CW Nd:YAG로 모든 용접 조건에서 초점위치는 재료 상부표면을

투고일 : 2012년 2월 20일 심사완료일 : 2012년 3월 7일
 게재승인일 : 2012년 3월 12일
 교신저자 : 김용 ✉ welding@iae.re.kr

기준으로 하였다. 실험에 사용한 소재는 22MnB5 보론강을 핫스탬핑 시킨 1,470MPa의 인장강도를 갖는 강(SABC1470)을 기본으로 사용하였으며, 소재의 두께는 1.2mm이다. 핫스탬핑강과의 조합에 따른 용접성을 확인하기 위하여 자동차용강재로 흔히 사용되는 590DP강, 370SAPH, SPCC 강을 각각 조합하여 사용하였다. 핫스탬핑강 판재의 양면에는 보론강 상태에서 존재하던 Al-Si 코팅층이 고온의 열처리를 거치면서 Fe-Al-Si 도금층으로 변태되어 존재한다. SPFH590DP 판재의 두께는 1.4mm, SPCC는 0.7mm, SAPH370은 2.0mm를 사용하였다. 각 재질의 소재 조성은 Table 1과 같다. 실험에서는 레이저 출력을 최대로 하고 용접속도 2.0mm/min으로 조절하였으며 아르곤 가스를 보호가스로 분당 16리터를 사용하였다. 이 때 판재 사이의 간격은 0.2mm 이내로 하였다.

한편 겹치기 용접의 경우 레이저용접과 Spot 용접 시편의 강도를 비교하고자 인장-전단시험을 실시하였다. 인장-전단 시험의 경우 KS B 0851에 의하여 실시하였으며 금속조직 평가를 위해서 2%-Nital 용액을 사용, 수초 간 부식 후 관찰하였다. 마지막으로 경도는 비커스 경도시험기를 사용하였으며, 압입하중은 1kgf로 10초간 인가하였다.

Table 1 Chemical composition of material

Element (wt%)	C	Si	Mn	Mo	P	S	Fe
22MnB5	0.21	0.30	1.27	-	0.017	0.004	Bal.
590DP	0.78	0.36	1.81	-	0.16	0.014	Bal.
SAPH370	0.09	0.20	0.47	-	0.012	0.006	Bal.
SPCC	0.10	0.24	0.50	-	0.04	0.042	Bal.

Table 2 Welding test parameters

	Power (kW)	Speed (m/min)	Shielding (l/min)	combination
1	3.0	2.0	Ar 16	SABC1470/SABC1470
2				590DP/SABC1470
3				370SAPH/SABC1470
4				SPCC/SABC1470
		>2.0		

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접부 단면

Fig. 1은 핫스탬핑 판재에 대한 겹치기 용접 후의 용접부 단면이다. 핫스탬핑 판재의 양쪽 표면은 Al-Fe-Si 조성의 도금층이 있어 초기 핫스탬핑 공정에서 산화 및 탈탄을 방지한다. 핫스탬핑 공정 후 일부 도금층은 Al-Fe 조성이 되며 도금층의 표면은 Al-Si 형태로 존재한다. 비드 형상은 전형적으로 상하의 비드 폭이 비슷한 형상으로 모재의 열영향부에는 모재의 마르텐사이트 템퍼링에 의해 나타나는 하얀 띠를 관찰할 수 있다. 모재의 미세조직은 마르텐사이트로 다이 칭을 통해 형성된 급속냉각조직이다⁶.

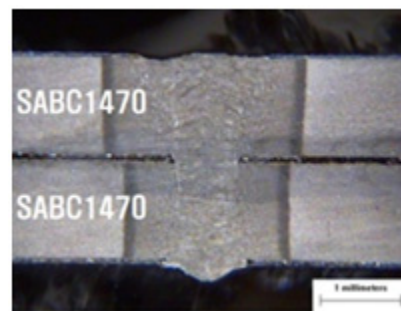


Fig. 1 Cross section of boron steel combination.

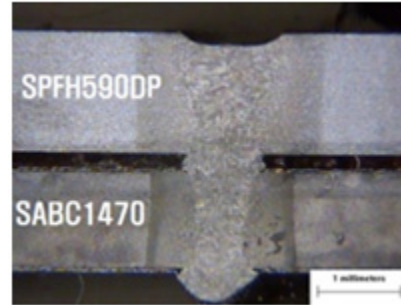


Fig. 2 Cross section of 590DP to SABC1470 steel combination.

Fig 2에는 핫스탬핑 판재와 590DP판재의 겹치기 용접의 용접단면을 보여준다. 핫스탬핑강의 단면에서 위와 마찬가지로 모재의 열영향부에 관찰되는 마르텐사이트 템퍼링에 의해 나타나는 열영향부 영역을 관찰할 수 있다. 판재의 겹 사이로 용융부가 좀 넓어진 것을 관찰 할 수 있다.

Fig. 3은 상부에 2.0mm의 SAPH370 판재와 하부에 1.2mm 핫스탬핑 판재를 결합하여 레이저용접한 용접 단면부를 보여준다. 상부의 두꺼운 판재의 함몰이 관찰되며 하부의 핫스탬핑강은 다른 결합 조건과 마찬가지로 핫스탬핑 용접 단면의 특징을 동일하게 보여준다.

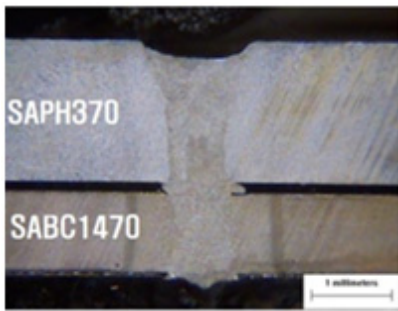


Fig. 3 Cross section of SAPH370 to SABC1470 combination.



Fig. 4 Cross section of 590DP to SABC1470 combination.

Fig. 4는 1.2mm의 핫스탬핑 판재 위에 0.7mm의 SPCC강의 겹치기 하여 레이저 용접한 용접부 단면을 보여준다. 마찬가지로 용접부 단면에서의 요철이나 기공 등의 결함은 관찰되지 않았다.

3.2 용접 단면의 경도

비커스 마이크로 경도기를 이용하여 용접부 경도를 측정하였다. 단면의 용융부의 중심에서 좌우의 모재 방향으로 0.2mm의 간격으로 진행하였다.

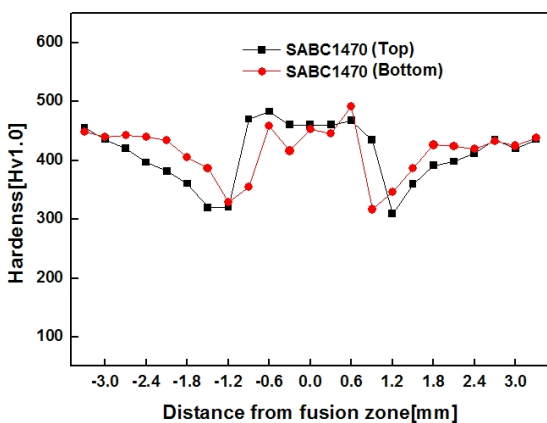


Fig. 5 Vickers hardness distribution of hot stamping steel combination.

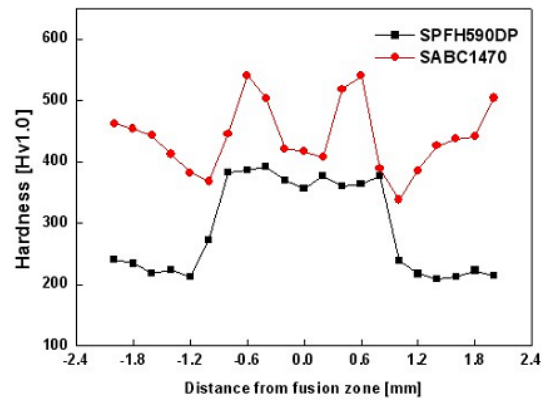


Fig. 6 Vickers hardness distribution of 590DP to hot stamping steel combination.

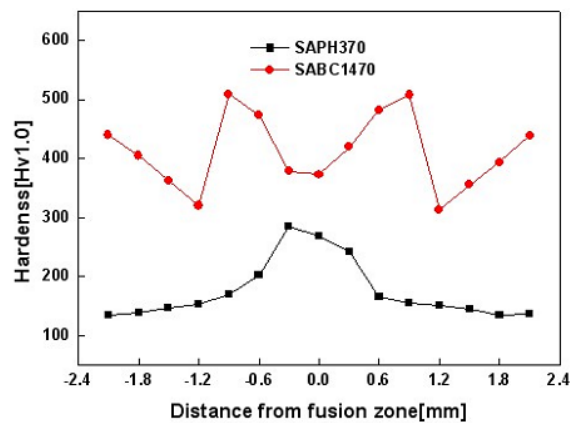


Fig. 7 Vickers hardness distribution of SAPH370 to hot stamping steel combination.

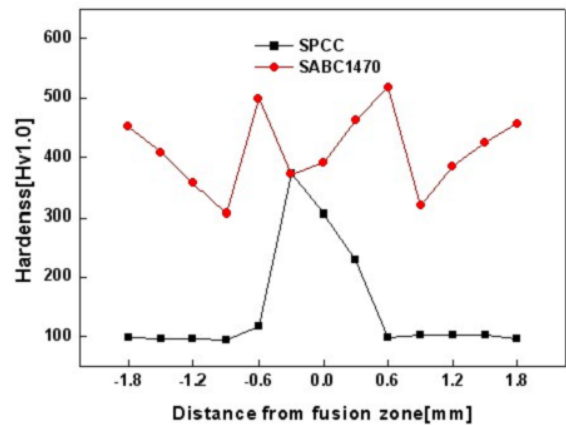


Fig. 8 Vickers hardness distribution of SPCC to hot stamping steel combination.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 핫스탬핑 판재의 겹치기 레이저용접에서 상하 판재는 유사한 경도 분포를 보인다. 즉, 최고 가열온도가 A3 상변태온도 보다 낮은 열영향부에서는 모재 보다 경도가 감소하는 연화현상을 보이는 반면, 용융온도이상으로 가열

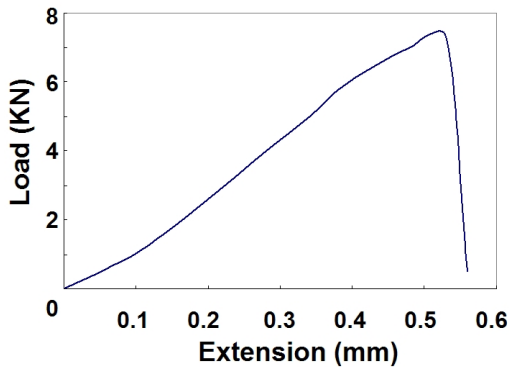


Fig. 9 Tensile-shear strength of hot stamping steel combination.

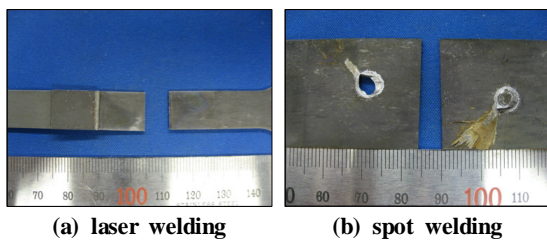


Fig. 10 Fracture location of tensile-shear test specimen according to welding methods.

되는 용접부에서는 다소 경화되었다. 핫스탬핑 판재는 모재에 보론이 다량 첨가되는데, 강중의 보론은 급냉시 경화능을 증가시키므로 냉각속도에 비례하여 경도가 상승한다. 그러나 최고 가열온도가 A3 상변태 온도보다 낮은 경우에는 상변태는 일어나지 않고, 마르텐사이트의 템퍼링에 의하여 오히려 연화 현상이 발생하게 된다.

Fig. 6-8에는 핫스탬핑 판재를 각각 590DP, SAPH 370 및 SPCC강과 각각 겹치기 용접한 단면의 마이크로 비커스 경도를 보여준다. 핫스탬핑강과 다른 강과 용접된 경우에서 핫스탬핑강의 경도 분포는 핫스탬핑강끼리 겹치기 용접한 경도 분포와 비교했을 때 용융부의 경도 값은 현저히 낮다. 이는 상부의 이중 판재와 용융 시 혼합되어 나타나는 결과로 사료된다.

3.3 인장-전단파단 특성

핫스탬핑강끼리 겹치기 레이저용접된 시험편을 KS B 0851에 따라 시험편 폭 12.5mm로 제작 후 레이저 용접부에 대한 인장-전단 강도 특성을 평가하였다. 실험결과로부터 얻은 하중-변위 선도는 Fig. 9와 같다. 이때 파단 위치는 Fig. 10과 같이 모재와 인접한 최저 경도를 갖는 템퍼링 된 마르텐사이트 지역

에서 파단이 발생하였다. 파단은 소성변형을 거의 일으키지 않은 취성파단 경향을 나타냈으며 파단 하중은 7,283N으로 단위길이 당 하중으로 환산 시 582.6N/mm의 값으로 표현할 수 있다.

한편 핫스탬핑강 1.2mm 두께를 Spot 용접한 경우 한 점당 강도는 16,648N이 나왔으며 이 경우 또한 취약한 열영향부를 경계로 플러그 파단(plug fracture) 형태로 파단이 일어났다.

4. 결론

3kW Nd:YAG 레이저를 이용하여 핫스탬핑강과 핫스탬핑강 및 세 개의 이중강과 겹치기용접을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 핫스탬핑강의 겹치기용접에서 용접속도 2.0m/min 일 때 완전용입된 적절한 비드를 얻을 수 있다. 그 단면에서 함몰이나 기공 등의 결함은 육안으로 발견되지 않았다.
- 2) 핫스탬핑강에는 열영향부 연화가 발생하며, 최저 경도를 보여준다. 용융부와의 경계에서 최대 경도를 보이거나 이중재질과 완전용입이 일어난 용융부 중앙은 낮은 경도를 보인다.
- 3) 인장-전단 시험에서 용접부는 취성파괴 형태로 최저 경도 지역에서 파단된다.

후 기

본 연구는 동남광역경제권선도사업의 일환으로 수행된 결과이며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Jin-Young Jang, etc on., "Effect of welding speed on mechanical properties and formability in Nd:YAG laser welds of 1,000MPa Grade DP steel," Journal of KWJS. Vol. 27, No. 2, 2009, 187-193 (in Korean)
- 2) J. Choi, M. Kang, J. Cho and C. Kim, "Laser welding characteristic of ultra high strength

- steel for automotive application,” Journal of KWS, 27-5 (2009), 471-474 (in Korean)
- 3) Taylan Altan., “Hot-stamping boron-alloyed steels for automotive parts, Part 1 : Process method and uses,” Stamping Journal, December 2006.
 - 4) H. Karbasian and A. E. Tekkaya, “A review on hot stamping,” Journal of Mater. Proc. Technology, 210 (2010), 2103-2118.
 - 5) Y. Kim etc on., “Laser Welding Characteristics of 1.5GPa Grade Hot Stamping Steel for Automotive,” Journal of KWJS, Vol. 28, No. 6, 2010, 612-617 (in Korean)
 - 6) Y. Kim etc on., “Evaluation of Laser Welding Characteristics of 1.5GPa Grade UHSS for Automotive Application.” Journal of KLPS, Vol. 13, No. 4, 2010, 1-6 (in Korean)