

HSB600강 용접에서 입열량, 보호가스, 용접후 열처리가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향

주동휘*, 임영민*, 김남훈*, 고진현*

*한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학과

e-mail : jhkoh@kut.ac.kr

The effect of Heat input, Shielding Gas(Ar80% + CO₂20%), PWHT on the mechanical properties of HSB600 steel Weldments

Dong-Hwi Ju*, Young-Min Lim*, Nam-Hoon Kim*, Jin-Hyun koh*

*School of Energy · Materials · Chemical, Korea University of Technology and Education

Abstract

The effects of heat input(1.4~3.2kJ/mm), shielding gas(Ar80%+CO₂20%) and postweld heat treatment(PWHT, 600°C, 40hr.) on the TMCP HSB600 steel weldments made by GMAW process were investigated. The tensile strength and CVN impact energy of as-welded specimens decreased with increasing heat input. The fine-grained acicular ferrite was mainly formed in the low heat input while polygonal and side plate ferrites were dominated in the high inputs. High performance steel for bridges requires higher performance in tensile and yield strength, toughness, weldability, etc. Thus, the purpose of the experiment is to study HSB 600 in GMAW.

1. 서론

미국, 유럽등 선진국에서는 중요구조물인 강교량, 초고층 건물등에 요구되는 경제성, 내구성, 사용성 등을 저렴한 비용으로 실현하기 위해 기존의 강재 대비 뿐만 아니라 용접성능, 인성 등을 종합적으로 개선한 이른바 교량 맞춤형 강재(High Performance Steel for Bridges)의 연구·개발이 진행되어 왔다. 국내에서도 교량 및 건물이 대형화 되고 있는 상황 이어서 교량 맞춤형 강재의 수요가 증가와 연구·개발이 활발히 진행되고 있다¹⁾.

HSB600강의 가장 큰 특징은 기존 강재에서 나타나는 고강도, 낮은 인성으로 취성파괴가 쉽게 일어나고, 용접성이 떨어지는 단점을 개선하였으며 품질 안정성 측면에서 유리한 TMCP(Thermo Mechanical Control Process) 제조법을 적용하여 강도를 확보함으로써 동일 강도의 일반강재에 비해 탄소당량(Ceq)이나 용접균열감응도 (Pcm)를 낮출 수 있기 때문에 대입열 용접이 가능하며 판 두께 100mm까지 항복 강도가 일정하고, 충격흡수에너지가 -20에서 47J 이상으로 향상되었으며, 용접 예열 조건을 대폭 완화할 수 있는 등 용접성이 매우 우수한 강재이다. 일

반적으로 강재가 극후화되면 강도 확보를 위해서 다량의 합금이 첨가되어 제조되는데 이로인해 탄소당량이 높아져서 용접성이 저하되는 현상이 발생한다. TMCP 강재는 합금원소 첨가량을 늘이는 대신에 적절한 제어압연과 가속냉각을 이용하여 강도를 확보함으로써 내후성, 인성, 용접성등을 개선한 강이다.

본 연구에서는 교량용 구조용 강재인 HSB 600 강에서 보호가스를 사용하여 용접하고, 보호가스와 입열량이 용접(As-welded)에 미치는 영향과 용접 후열처리(PWHT)가 용접부의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 실험방법

본 연구에서 사용된 시험재료는 교량 구조용 압연 강재 HSB600강으로 다층패스 용접을 위하여 두께 20mm, 폭 150mm, 길이 500mm의 시험편과 동일한 재질의 밀면 막이판(backing plate)을 가접해서 붙이고 루트간격을 3mm로 띄워 용접 시작 및 종료되는 위치에 앤드탭(end tap)을 가접하였고 홈 각도는 50

도, V홈 맞대기 용접을 할 수 있도록 시험편을 제작하였다.

실험조건 설정은 Table.1과 같으며 실험에 사용된 용접기는 500A 인버터(inverter)용접기를 사용하여 V홈 맞대기 이음으로 아래보기자세(1G)에 와이어는 직경이 1.4mm인 Supercored(AWS규격:E 81T1-Ni1)를 사용하였고, 패스 간 층간온도는 100℃ 이하로 유지하였다. 보호가스는 Ar 80% + CO₂ 20% 가스 분위기에서 GMAW 용접하였으며 입열량은 2.1kJ/mm를 기준으로 입열량이 작은 조건은 1.4kJ/mm, 입열량이 높은 조건은 3.2kJ/mm로 설정하였으며, 용접 후 600℃에서 40시간 동안 용접 후 열처리 후 공냉을 실시하였다.

[Table.1] Welding parameters

Current (A)	Volts (V)	Travel speed (cm/min)	Heat input (kJ/mm)	Pass numbers	PWHT
280	30	36	1.4	11	600℃ 40hrs
280	30	24	2.1	7	
300	36	20	3.2	7	

2.2 미세조직 및 기계적 시험

용접이 완료된 시편을 용접방향에 횡방향으로 시편을 절단, 채취하였다. 절단한 미세조직 시편을 연삭, 연마 후 4% Nital용액으로 부식한 시편을 주사전자 현미경으로 미세조직을 관찰하였다.

경도시험은 마이크로 비커즈 경도시험기를 사용하며 경도시험위치는 용접부 표면으로부터 2mm를 연직으로 하여 1kgf의 사용하중으로 압입시간은 10초로 측정하였다. 인장시험은 KS B 0833 1호에 따라 환봉형 인장 시험편을 제작하였으며, 50ton 만능 인장시험기를 사용하여 크로스헤드 속도 5 mm/min로 수행하였다.

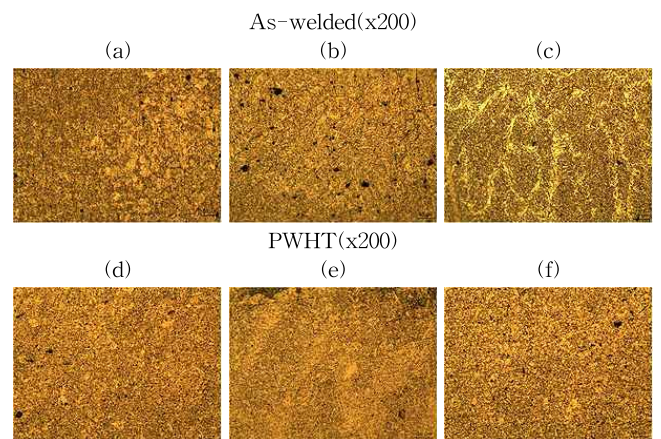
충격시험편은 용착부의 인성을 조사하기 위하여 ASTM E 23~83에 따라 표준형태의 충격시편(10x10x55mm)을 용접부 표면으로부터 2mm 깊이에서 V형 노치를 가공한 시편을 입열량별로 Fig.2와 같이 12개씩 채취하였으며, 시험 온도 연성-취성 천이 곡선을 구하기 위하여 -60℃로부터 0℃ 범위에서 메틸알콜과 드라이아이스와의 혼합물을 사용하여 실험을 실시하였다. 그리고 파단된 충격시편의 단면을 주사전자 현미경을 사용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig.1은 용접 후 열처리전의 상태(이하 As-welded라고 함)와 용접 후 열처리를 마친 상태(이하 PWHT라고 함)의 미세조직을 200배율로 나타내고 있다. Fig.3(a), 3(b), 3(c)는 용접 입열량이 각각 1.4, 2.1, 3.2 kJ/mm의 용접 단면 조직으로 용접 상부비드의 조직이다. 저 입열인 Fig.3(a)는 용접패스수가 많고 급랭되어 베이나이트조직이 많고, 3(b)에서는 다각형페라이트와 입계페라이트가 혼합되어 있으며 3(c)에서는 래드가 방향성을 가지고 있으며 아시클러 페라이트가 다량 생성되어 있다.

Fig.1(d), 3(e), 3(f)에서 PWHT의 조직사진 관찰 결과에서는 As-welded에 조직보다 더 넓고 좀 더 모서리가 둥근 모양으로 변화되었다는 것을 알 수 있다. PWHT를 통해 결정립의 조대화가 이루어진 것이다. 이에 따라 PWHT를 통해 잔류응력이 완화되어 용접부 경도값은 저하되고 충격 흡수 에너지는 상승하는 결과에 영향을 미친 것으로 보인다.



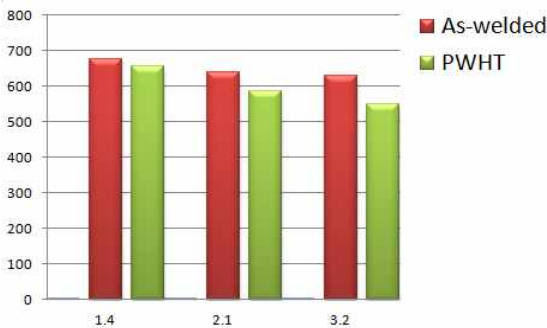
[Fig.1] Microstructures of As-welded and PWHT specimens(X200) with heat inputs(kJ/mm)

As-welded: (a) 1.4, (b) 2.1, (c) 3.2, PWHT: (d) 1.4, (e) 2.1, (f) 3.2

3.2 인장시험

Fig.2는 As-welded와 PWHT의 입열량에 따른 인장시험 결과인 인장강도의 변화를 나타내고 있다. As-welded 용접부의 인장강도는 627~675 MPa, PWHT 용접부는 549~656MPa 범위이고, 연신율은 As-weldeds는 32~44%, PWHT는 37~48%로 열처리 전과 후 모두 30%이상을 상회하였으며 PWHT가 As-welded보다 연신율이 3~4% 상승하였다. 이

결과는 PWHT에 의한 템퍼링 효과로 인해 용접부의 잔류응력이 완화되과 동시에 용접부의 인성 및 연성을 향상시키는 결과를 가져온 것으로 사료된다.



[Fig.2] Tensile strength of As-welded & PWHT specimens

3.3 경도시험

Table.2는 As-welded와 PWHT의 용접시편을 세로 방향으로 절단하여 모재부, 열영향부, 용접부의 미세경도 시험결과를 나타낸 것이다. 입열량을 1.4, 2.2와 3.2 kJ/mm로 As-welded와 PWHT후에 용접부의 경도변화를 조사한 것이다. As-welded에서 모재의 경도는 219~240 Hv 범위이고, 열영향부의 경도는 입열량 1.4, 2.2와 3.2에서 각각 274~297 Hv, 249~283 Hv와 230~277 Hv 범위이고, 용접부의 경도는 각각 279~286 Hv, 267~280 Hv와 259~270 Hv 범위이다.

또한 PWHT에서 모재의 경도는 177~219 Hv 범위이고, 열영향부의 경도는 입열량 1.4, 2.1과 3.2에서 각각 214~240 Hv, 196~229Hv와 190~219 Hv 범위이고, 용접부의 경도는 각각 230~240 Hv, 221~235 Hv와 203~211 Hv 범위이다.

이상에서와 같이 열영향부의 경도가 모재 보다 높은 결과를 나타내었다. 이는 열영향부의 미세조직이 경한 마르텐사이트로 생성되었기 때문이다.

용접열영향부의 경도값은 입열량이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있으며, 도로교 표준시방서(2005)에 따르면 용접부 최고경도값은 370 Hv 이하로 규정하고 있어 시험재의 용접열영향부 경화성은 양호한 것으로 사료된다.

[Table.2] The Hardness of specimens

condition	heat input	WM(Hv)	HAZ(Hv)	BM(Hv)
As-welded	1.4	279~286	274~297	219~240
	2.1	267~280	249~283	
	3.2	259~270	230~277	
PWHT	1.4	230~240	214~240	177~219
	2.1	221~235	196~229	
	3.2	203~211	190~219	

3.4 충격시험 및 SEM

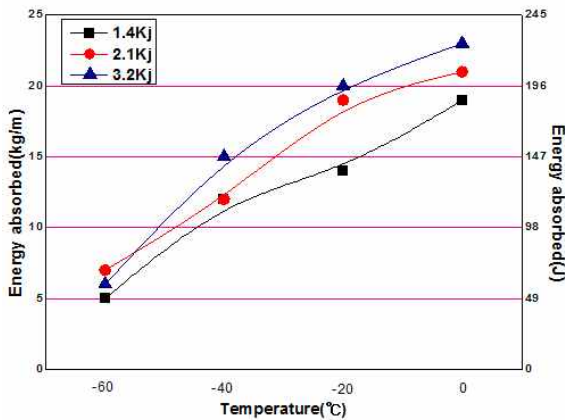
Fig.3과 Fig.4는 입열량 1.4, 2.1와 3.2 kJ/mm로 As-welded와 PWHT후를 규격에 따라 가공된 샤프피 V노치 충격시편을 0℃에서 -60℃까지 시험된 충격흡수에너지이다.

Fig.3에 나타난 As-welded에서 충격시험 결과를 보면 낮은 실험 온도(-60℃)에서는 충격 흡수 에너지가 미세한 차이는 보였지만 상대적으로 우위를 보일 정도의 차이는 아니었고, -20℃에서 차이를 보였다. 또한 0℃에서는 입열량 3.2kJ/mm에서 가장 높은 충격 흡수에너지를, 입열량이 1.4kJ/mm에서 가장 낮은 충격에너지를 보여주고 있다.

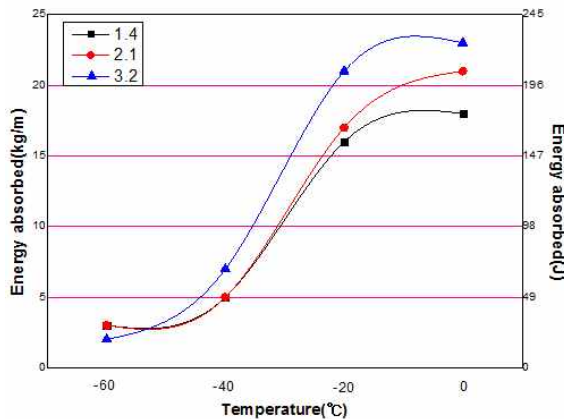
PWHT 후 충격 흡수에너지는 열처리 전 결과와 -20℃까지의 충격 흡수 에너지는 비슷한 흡수 에너지 값을 보였고, -40℃, -60℃에서 차이를 보였다. -40℃에서 PWHT의 값이 열처리전에 비하여 61J~84J정도의 낮은 값을, -60℃에서는 24J~36J 의 낮은 값을 나타내었다. 이는 시험편 가공시 경도가 높은 열영향부에서 시험편을 채취해서 충격값이 낮게 나온 것으로 사료된다.

입열량 3.2kJ/mm에서 가장 높은 충격 흡수에너지를 보였고, PWHT를 통해 조직의 안정화와 잔류응력 감소로 충격 흡수 에너지가 증가된 것으로 사료된다. 그리고 충격인성 값은 모재 규격기준인 47J(-5℃, 도로교 품질기준)과 PWHT를 통한 시험에서 40J(-20℃, 고속철도교 품질기준)을 모두 상회하는 용접이음부의 충격흡수에너지를 보여주고 있다.

두 가지 조건 모두(0℃, -20℃) 입열량 3.2kJ/mm에서 흡수에너지가 가장 높고, 입열량 1.4kJ/mm에서 가장 낮은 흡수에너지를 보여주고 있으며, 입열량 2.2kJ/mm에서 흡수에너지는 앞의 두 곡선사이의 흡수 에너지를 보여주고 있다.



[Fig.3] Impact test of As-welded specimens



[Fig.4] impact test of PWHT specimens

4. 결론

본 연구에서 교량 구조용 압연 강재인 HSB 600 강을 V형 가공하여 다층패스로 혼합가스(Ar80% + CO₂20%) 분위기에서 GMAW(Gas Metal Arc welding) 용접하였다. 보호가스 분위기에서 용접부의 입열량과 PWHT가 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 입열량을 1.4 kJ/mm, 2.1 kJ/mm, 3.2 kJ/mm로 변화시켜 용접한 용접시편을 600°C에서 40시간 PWHT 하였다. 그리고 용접부가 미세조직과 인장강도, 경도 및 충격흡수에너지에 미치는 영향을 조사하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 용접부의 미세조직은 As-welded와 PWHT에서 가장 높은 입열량인 3.2kJ/mm에서 AF가 가장 많이 생성되었으며, PWHT를 통해 결정립이 구형화, 조대화 되었다.
- 2) PWHT를 통해 잔류응력감소와 결정립의 구형화로 경도와 인장강도가 저하되었고, 충격시험에서는 PWHT를 통해서 충격흡수에너지 증가를 보였으며 교량품질의 규격 기준을 상회하였으며, 입열량

- 3.2kJ/mm에서 가장 높은 충격흡수값을 나타내었다.
- 3) 교량품질 규격 기준 47J이상으로 As-welded와 PWHT 조건에서 충격값이 미세한 차이를 보이기 때문에 HSB600강은 PWHT가 반드시 필요한 것은 아닌걸로 판단된다.
- 4) 충격흡수에너지 값(-60°C, 0°C)에서 As-welded값이 PWHT값보다 높게 나온 것은 충격시험편 가공시 열영향부에 가깝게 채취된 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 이종관외, 인장강도 600MPa급 교량 맞춤형 고성능 강재 HSB600 개발, RIST, 연구논문, vol.22, 2007, pp118-120
- [2] 정홍철외. HSB600강의 FCAW 및 SAW 용접부 기계적 특성, 포스코기술연구소, KWJS 2007-Autumm, pp. 118-120
- [3] Jin-Hyun Koh, Jung-Han Kook, A Study on the Effect of Heat Input on the Microstructure and Toughness of Weldments Made by Domestic Flux Cored Wires. KWJS, vol.11. 1993, pp.164-176
- [4] Yun-Seok Seo, Jin-Hyun Koh, Nam-Hoon Nam, Se-Yong Oh and Kee-Nam Choo, Effect of Heat Input on the Mechanical Properties of SA508 class 3 steel Weldments with Submerged Arc Welding. KWJS, vol22, 2004, pp.38-45
- [5] Jin-Hyun Koh, Gwang-Su Kim, A Characteristic of microstructural evolution , microhardness and tensile properties in CrMoV rotor steel weldment experienced by the cyclic thermal aging heat treatment, KSHT, vol.15, No.4, pp.303-312
- [6] 김종락외. 600MPa 급 강재의 소재 및 용접특성에 관한 연구, 한국강구조학회, V.20, 2008, pp.773-782
- [7] 김동규외. TMCP 강재의 용접특성에 관한 연구, 대한건축학회, vol.16, 1996
- [8] Ka-Hee Kim, Hee-Jin Kim, Hoi-Soo Ryoo, Verification of Quantitative Evaluation Method for Ferritic Weld Metal Microstructure. KWJS, vol4, 2005, pp.337-343