

후판 용접부의 횡균열 발생 방지에 관한 연구

정 호 신*, 성 상 철**, 이 해 우***

* 부경대학교, ** 부경대학교 대학원, *** 삼성 중공업

Study on Prevention of Weld Transverse Crack for Thick Plate

H.S. JEONG, S.C. SEONG, H.W. LEE

1. 서론

1.1 실험 배경 및 목적

각종 설비의 대형화와 사용 환경의 가혹화에 따라 용접 구조물에 요구되는 maintenance free, defect free의 전제 조건이 엄격하게 적용되고 있다. 이러한 각종의 규제는 용접구조체의 파괴가 전체 구조물의 파괴를 유발하여 대형사고에 이르게 될 가능성을 전제로 하고 있다. 이러한 측면에서 용접구조물의 용접 열 영향부에 발생하는 저온균열의 방지를 위하여 강재의 탄소함유량과 탄소당량을 낮추어 용접부의 경화를 방지하고 있다. 이와 같은 저탄소화에 의해 용접열영향부의 균열은 방지되고 있으나 용접금속부에서 횡균열이 많이 발생하고 있고 이의 발생원인의 규명과 방지 대책이 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 관점에서 용접금속에 발생하는 횡균열에 대하여 연구를 수행하고 그 결과를 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 용접부의 확산성 수소 함유량

후판의 용접성 향상을 위하여 현재 시판되고 있는 탄산 가스 아크 용접용의 솔리드 와이어와 각종의 플럭스 코어드 아크 와이어에 대하여 확산성 수소 함유량을 측정하였다.

확산성 수소 함유량의 측정은 KS에 규정되어 있는 글리세린법을 채택하였으며 확산성 수소 함유량의 측정에 사용한 용접 와이어는 솔리드 와이어와 플럭스 코어드 와이어 7종으로서 용접전류 230A, 용접전압 29V, 용접속도 25cm/min의 표준조건하에서 용접재료에 따른 확산성 수소 함유량을 조사하였다.

2.2 용접금속의 횡균열 감수성 시험

용접금속의 횡균열을 재현하기 위하여 3점 굽힘형 균열시험 장치와 개량형 3점 굽힘 시험 장치(Fig. 1)를 자체 제작하였으며 이 시험 방법은 소형 시험편을 사용하여 용접부에 굽힘

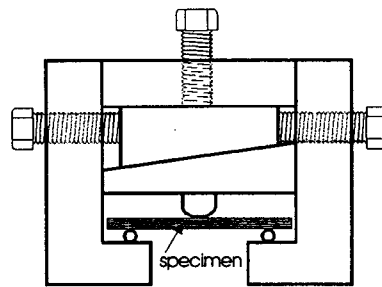


Fig. 1 Modified 3 point bending type crack testing jig

스트레인을 부가하므로써 구속도와 용접금속의 확산성 수소 함유량의 변화에 따른 횡균열 감

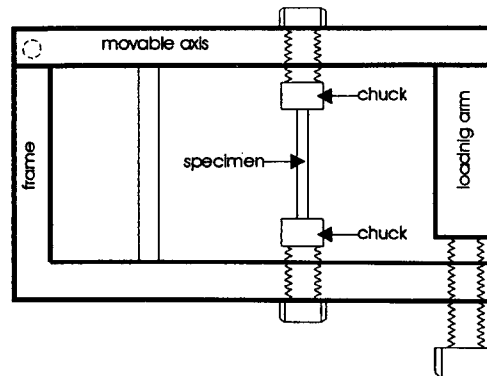


Fig. 2 Cantilever-type crack testing apparatus

수성을 평가하기 위하여 고안된 것이다.

또한 용접금속에 작용하는 인장응력의 변화에 따른 횡균열 감수성을 조사하기 위하여 자체적으로 설계, 제작한 횡형 인장 횡균열 시험 장치를 이용하여 확산성 수소 함유량, 구속도의 변화에 따른 횡균열 감수성을 조사하였다.

한편 횡형 인장형 시험기의 경우에는 loading arm으로 변위를 부가하여 지렛대의 원리에 의해 시험편에 응력이 작용하도록 하여, 시험편에 부가되는 응력값을 조절하여 응력, 확산성 수소량과 균열 감수성과의 관계를 구할 수 있게 고안된 것이다(Fig. 2).

2.3 Controlled Thermal Severity 시험

본 시험에서는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 상부판과 하부판을 탄산 가스 아크 용접에 의해 다층용접하여 구속용접(anchor weld)한 후 상온까지 충분히 냉각시킨 후 Bithermal부를 용접하였다. Bithermal부의 용접이 끝난 후 역시 상온까지 냉각시킨 후 Trithermal부를 용접하였다.

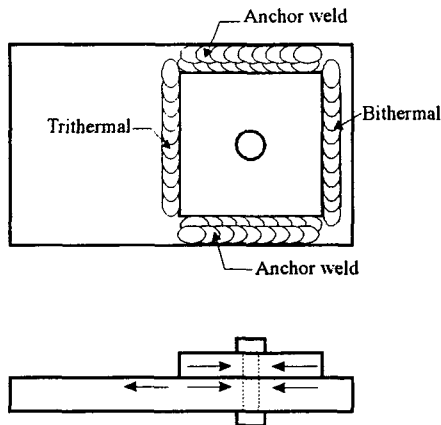


Fig. 3 CTS testing method(Position of anchor weld, bithermal, and trithermal welding)

시험 용접부인 Bithermal부와 Trithermal부의 용접시에는 용접전압 24V, 용접전류 240A, 용접속도 120mm/min의 조건으로 용접하였다. Thermal severity number를 변화시켰다. 이와 같이 판 두께에 따라 열적 구속도가 변하게 되는 데 TSN은 Bithermal의 경우에는 6.4~16.0, Trithermal의 경우에는 9.6~24.0의 범위이었다. 또한 용접시, 확산성 수소 함유량은 3.4, 6.5 및 10.2ml/100g의 3 범위로 변화시켰다. 한편 용접중의 냉각속도의 영향을 조사하기 위하여 용접후 공랭한 경우와 CTS시험편 하부판의 일단을 수중에 침지하여 용접하여 급랭시킨 경우의 두 가지로 변

화시켰다.

본 CTS 시험에 사용한 강판의 두께는 상부판과 하부판 모두 20, 30, 50mm로서 강판의 두께를 변화시킴으로써 열적 구속도, TSN CTS 시험편 상부판 치수를 75×75mm, 130×130mm으로 하고 하부판의 치수를 100×180mm, 170×300mm으로 하고 드릴로 구멍을 뚫은 부분의 직경은 14mm로 균일하게 하였다. CTS시험 종료후 48시간 경과한 뒤 용접금속의 균열 유무를 판정하기 위하여 용접 비드부를 기계 절단하여 조음과 검사하므로써 균열 발생 여부를 조사하였다.

3. 실험 결과

3.1 후판의 용접성 측면에서의 확산성 수소 함유량

확산성 수소 함유량 측정용의 시험편은 규격에 의거하여 길이 100mm, 폭 30mm 및 두께 10mm의 용접구조용 압연 강재를 사용하였다. 또한 엔드 탭(end tab) 재료는 길이 45mm, 폭 30mm 및 두께 10mm로 하였다. 이 시험재와 엔드 탭을 엔드 탭, 시험재, 엔드 탭의 순으로 길이 방향으로 배열하여 단층 용접하였다. 이 시험재와 엔드 탭은 시험 실시전에 건조로에서 400℃, 1시간 이상 건조시켜 재료 내부에 존재할 수 있는 수소를 제거한 후 용접에 사용하였다.

Table 1. Diffusible hydrogen of several wires tested by JIS glycerin method

wire	H _{DM} (ml/100g)	Remark
A	3.375	Severe fume
B	3.342	
C	6.482	
D	5.276	
E	6.167	
F	4.2	
G	5.114	

*welding condition : welding current(230 A)
welding voltage(29 V)
welding speed(25 cm/min)

*1 atm, 45 ℃

용접시에는 탄산 가스를 차폐 가스로 사용하였으며 가스의 유량은 25ml/min로 하였다. 용접은 예열하지 않고 상온에서 실시하였으며 용접 비드의 길이는 약 170mm로 하였고 시험재 양쪽의 엔드 탭은 용접 길이가 각각 약 35mm가 되도록 용접하였다.

Table 1에 확산성 수소 함유량 측정 결과를 나타낸다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 확산성 수소 함유량은 확산성 수소 함유량이 가장 적은 3.34ml에서 최대 6.48ml까지로서 용접

재료에 따라 확산성 수소 함유량이 상당히 달라짐을 알 수 있다.

3.2 용접금속의 평균열 감수성 시험

시험편은 두께 50mm의 강판으로서 Table 2과 같은 화학조성과 기계적인 특성을 갖는 재료이다. 이 강판을 SAW 용접한 후 기계 가공에 의해 소정의 치수로 가공한 뒤 SAW 용접금속에 잔류되어 있는 수소를 제거하기 위하여 400℃에서 2시간 이상 수소 제거 처리하였다. 또한 3점 굽힘형 및 횡형 인장형 및 개량형 3점 굽힘 균열 시험시에는 SAW 용접금속이 시험편의 중앙에 위치하도록 하였으며 이 시험편에 수소를 첨가하기 위한 방법으로 GTA 용접을 실시하였다. GTA 용접시에는 Ar가스와 수소 가스의 혼합가스를 사용하였고 이 혼합가스의 혼합비를 조절하여 용접부의 확산성 수소 함유량을 조절하였다.

GTA 용접 직후 시험편을 가능한 한 30초 내에 3점 굽힘형 균열 시험 jig와 횡형 인장 균열 시험장치에 장착하였다.

3점 굽힘형 균열 시험의 경우, 굽힘 block을 변화시킴으로써 구속응력을 조절하였고, 횡형 인장 균열 시험장치의 경우에는 loading arm의 변위량을 조절함으로써 용접부에 부가되는 구속응력을 변화시켰다.

균열의 발생 여부는 용접 종료후 시험편을 시험기에 장착하여 48시간 경과한 후의 균열 발생 유무를 현미경과 확대기로 조사하여 판정하였다.

ripple 선에 수직방향으로, 즉 chevron type의 균열과 횡균열이 혼재하는 양상을 나타내었고, 확산성 수소 함유량이 더욱 증가하고 구속도가 큰 경우, 균열은 용접선에 직각 방향으로 발생하는 균열이 주류를 이루고 있었다.

3.3 개량형 3점 굽힘 평균열 시험

용접은 탄산 가스 아크 용접법을 채용하였고, 용접부의 확산성 수소 함유량을 변화시키기 위하여 차폐 가스로서 100% 탄산 가스와 수소 가스의 혼합 가스를 사용함으로써 용접금속에 잔류하는 수소의 함유량을 3단계로 변화시켰다.

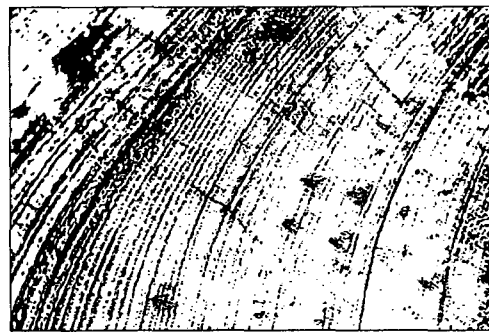


Fig. 4 Weld metal microcrack

또한 굽힘 블록의 반경을 20, 30, 50, 80mm의 4가지로 변화시킴으로써 용접금속에 부가되는 변형률을 변화시켰다.

Table 2. Chemical composition and mechanical properties of base and weld metal

element	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	T.S	Y.S	El.	
base metal	0.09	0.38	1.35	0.015	0.005	0.03	0.03	0.02	0.002	52.8	42.0	31.0	
weld metal	A	0.04	0.29	1.03	0.013	0.016	0.31	0.03	0.02	0.018	66.3	61.4	23.4
	B	0.04	0.29	1.05	0.012	0.017	1.32	0.03	0.02	0.017	69.4	63.7	22.8

시험 결과로부터 확산성 수소가 첨가되지 않은 경우 및 함유량이 아주 적은 경우에는 큰 구속응력이 작용하더라도 균열이 발생하지 않았으며, 확산성 수소가 용접부에 존재하여야 균열이 발생함을 알 수 있었다. 따라서 횡균열의 발생 원인은 이와 같은 현상으로부터 확산성 수소가 큰 원인이 됨을 알 수 있었다.

한편 횡균열의 발생 상황은 확산성 수소 함유량에 따라 균열의 발생 위치에 뚜렷한 차이가 존재함을 알 수 있었다.

Fig.4는 수소 첨가량이 2.5ml/100g의 경우에 대한 것으로 균열이 주로 용착금속의

는 변형률을 변화시켰다. 용접 방법은 용접용 시험편을 바이스에 고정 후 자동 용접하고 용접 종료 직후 이 시험편을 빙수중에 급랭하고 시험편이 완전히 냉각된 후 횡균열 시험 장치에 세트한 후 48시간 경과 후 확대경으로 시험편의 외측 표면부를 확대경으로 조사하여 균열 발생 유무를 조사하였다.

이 시험 결과로부터 부가되는 스트레인값이 클수록, 확산성 수소 함유량이 많을수록 균열이 발생되기 쉬움을 알 수 있다

3.4 Controlled Thermal Severity 시험

이 시험에서의 열적 구속도는 아래와 같은 식에 의해 구할 수 있다.

$$N_B = 4(t+b)/25$$

$$N_T = 4(t+2b)/25$$

로 주어지며 이 식에서 N_B 와 N_T 는 각각 Bithermal 및 Trithermal에 대한 열적 구속도의 값이며, t 와 b 는 각각 상부판과 하부판의 두께이다.

4. 결론

용접금속의 평균열 발생을 방지하기 위하여 수행한 일련의 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용접금속에 잔류하는 확산성 수소 함유량은 용접재료의 종류에 따라 현저한 양적인 차이가 존재하였다. 따라서 용접금속부의 평균열의 발생 방지뿐 만 아니라 용접성 향상 측면에서 확산성 수소 함유량을 줄이기 위한 방안이 매우 중요하다.
2. 용접부를 예열과 후열처리하면 확산성 수소 함유량은 현저하게 감소되고, 글리세린법으로는 검출하기 어려운 정도의 미소량이 잔류하였다.
3. SAW 용접부의 냉각속도를 측정된 결과, 예열하면 냉각속도를 줄일 수 있고 이에 따라 용접부에 형성되는 열응력을 줄일 수 있을 뿐 아니라 각종의 야금화적인 문제의 발생도 방지할 수 있다.
4. 3점 굽힘형, 개량형 3점 굽힘 및 횡형 인장형 평균열 시험 장치의 개발에 의하여 용접금속의 평균열 감수성 시험 결과, 이 방법은 용접금속의 평균열 감수성을 조사하는 데 매우 유용함을 알 수 있었다.
5. 3점 굽힘형, 개량형 3점 굽힘 및 횡형 인장형 평균열 시험 장치에 의한 평균열 감수성 시험 결과, 용접금속의 평균열은 확산성 수소 함유량과 구속도에 크게 의존함을 알 수 있었다. 확산성 수소 함유량이 많을수록 평균열 감수성이 커지는 경향이었으며, 또한 구속도의 증가에 따라 평균열 감수성이 커지기 때문에 평균열 발생을 방지하기 위해서는 역학적인 인자인 이음부의 구속도와 용접잔류응력이 작아지도록 하여야 함을 알 수 있었다.
6. CTS 시험 결과, 열적 구속도가 커질수록 평균열이 발생되기 쉬워짐을 알 수 있었고, 또한 확산성 수소 함유량이 많을수록 평균열 감수성이 커지는 경향이였다. 따라서 용접금속의 평균열을 방지하기 위해서는 이음부의 구속도와 용접부의 잔류응력과 같은 역학적인 인자를 낮추는 것이 매우 중요함을 알 수 있었다.

5. 참고 문헌

1. I. L. Stern, R. Quattrone, "A Multiple test approach to the prediction of weldment cracking", Weld. J. vol. 46-5(1967), 203s-216-s
2. H. Granjon, "Report on the use of the controlled thermal severity(CTS) test in different Laboratories", British Weld. J.(1963.2), 3-9
3. N. Bailey, "Establishment of safe welding procedures for steels", Weld. J., vol.51-4(1972), 169-s-177-s
4. T. Boniszewski, "CTS weldability tests of ½%Mo-B experimental steels", British Weld. J., (1965), 593-612
5. C.L.M. Cottrell, "Controlled thermal severity cracking test simulates practical welded joints", Welding research council, Weld. J., vol.32-6 (1953), 257-s-272-s
6. H.G. Vaughan et al, "Hydrogen embrittlement of steel and its relation to weld metal cracking", Brit. Weld. J.(1957.2), 40-61
7. C.D. Beachem, "A new model for hydrogen-assisted cracking(hydrogen embrittlement)", Metal. Trans., vol.3(1972-2), 437-451
8. 日本溶接學會, 溶接冶金(レビュー)上, 日本溶接學會 溶接冶金研究委員會編, 1978.8, 240-251
9. T. Okumura et al, "Studies on weld cracking in HT-80 steel weldments under the humid atmosphere", J. of JWS(Japan Welding Society), vol.42-12(1973), 1210-1222