

◎ 論 文

## 후판 용접부의 횡균열 발생 방지에 관한 연구(I)<sup>+</sup>

정호신\* · 엄동석\*\* · 이해우\*\*\*

(99년 4월 30일 접수)

### A Study on Prevention of Weld Transverse Crack for Thick Plate(I)

H. S. Jeong\* · D. S. Um\*\* · H. W. Lee\*\*\*

**Key Words** : Diffusible Hydrogen Content(확산성 수소 함유량), Weld Metal Transverse Crack(용접금속 횡균열), 3 Point Bending Type Crack Test(3점 굽힘형 균열 시험), Transverse Crack Sensitivity(횡균열 감수성), Restraint(구속도)

#### Abstract

Welding is a reliable process and is mainly adopted for fabricating heavy structures. Recently, transverse cracks in the weld metal is serious problem, and they affect cost, efficiency, safety and joint reliability for various welded structures.

In this view of point, this study investigated the potential factors for weld metal transverse crack.

The main results obtained are as follows;

- 1) The content of diffusible hydrogen in the commercial flux cored arc welding wire was remarkable change by manufacturer.
- 2) The diffusible hydrogen content was the main factor for weld metal transverse cracks.
- 3) Weld metal was immune to transverse cracking under the condition of low diffusible hydrogen content in spite of high restraint condition.
- 4) The factors for weld metal transverse crack would be the content of diffusible hydrogen and restraint of weld joint.

+ 본 연구는 한국과학재단으로부터 연구비를 지원받아 수행한 연구과제번호 KOSEF 95-2-09-01-02-2로서 한국과학재단의 지원에 감사드립니다.

\* 정회원, 부경대학교

\*\* 정회원, 부산대학교

\*\*\* 삼성 중공업

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

각종 설비의 대형화와 사용 환경의 가혹화에 따라 용접 구조물에 요구되는 maintenance free, defect free와 같은 조건이 엄격하게 적용되고 있다. 이러한 각종의 규제는 용접구조부재의 파괴가 전체 구조물의 파괴를 유발하여 대형사고에 이르게 될 가능성을 전제로 하고 있다. 이러한 측면에서 용접구조물의 용접 열영향부에 발생하는 저온균열의 발생을 방지하기 위하여 강재의 탄소함유량과 탄소당량을 낮추어 용접부의 경화를 방지하는 것이 일반적인 대책으로 인식되어 왔다. 이와 같은 용접구조용 재료의 저탄소화에 의해 용접열영향부의 경화 및 확산성수소에 기인하는 지연균열은 효과적으로 방지<sup>1~4)</sup>되고 있다. 그러나 이와 같은 용접열영향부에 발생하는 저온균열 방지 측면에서 모재 및 용접금속의 탄소 함유량을 0.1% 이하로 제어하므로써 극저탄소화합에 따라 용접열영향부의 균열 대신에 용접금속부에서 횡균열이 많이 발생하고 있고, 이와 같은 미소한 결함은 구조물 사용중에 성장하여 복해 원유 시추 oil platform, 각종 압력용기 원주용접부 및 대형 box 구조물 등의 중대형 구조물의 경우 초음파 탐상과 같은 비파괴 시험을 실시할 경우, 미세한 횡균열이나 chevron 균열 형태의 각종 결함이 존재하는 경우가 많다. 이와 같은 경우에는 미소한 각종의 결함이 대형 파괴 사고를 유발할 우려가 많지만, 이러한 횡균열의 발생 원인과 메카니즘이 정립되어 있지 않다. 이와 같이 용접구조용강의 극저탄소화에 따라 발생되고 있는 용접금속중의 횡균열 발생 원인에 대해서 연구된 결과는 그다지 많지 않다.

이와 같은 균열 발생의 원인으로는 용접시의 구속도<sup>5~6)</sup>, 용접시의 확산성수소<sup>7~8)</sup>, 잔류응력<sup>10)</sup>, 용접후 냉각과정중의 소성변형 스트레인<sup>11)</sup>이라는 등 그 원인이 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 이와 같은 연구 결과들은 대부분이 현재 사용되고 있는 강재와는 화학성분과 기계적인 특성이 다르며 또한 경화능이 상당히 큰 재료로서 현재 사용되고 있는 재료와의 상관성이 적다. 또 용접시의 균열 발생 원인은 하나의 특정한 원인에 의해 발생될 수는 없고 역학적인 인자와 야금학적인 인자가 복합적으로 작용하여야 발

생하기 때문에 종합적인 관점에서 균열 발생 원인을 검토하여야 할 것이다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 용접금속중에 발생하는 균열이 미세하고 또한 전형적인 Chevron 형태의 균열 양상을 나타내고 있다는 점에 주목하여 각종 구조물의 맞대기 용접부에 존재하는 확산성 수소 함유량과 구속도 및 구속응력의 관점에서 균열 발생 원인 및 발생 방지 대책을 검토하고자 하였다. 이와 같은 연구 결과를 통하여 기존의 균열 발생에 대한 연구 결과와 대비하여 본 연구에서는 이와 같은 관점에서 용접금속에 발생하는 횡균열의 발생 원인과 그 방지 대책을 검토하기 위하여 일련의 연구를 수행하고 그 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용접부의 확산성 수소 함유량

후판의 용접성에 미치는 확산성 수소 함유량의 영향을 검토하기 위하여 현재 시판되고 있는 탄산 가스 아크 용접용의 솔리드 와이어와 각종의 플렉스 코어드 아크 와이어에 대하여 확산성 수소 함유량을 측정하였다.

강중의 전체 수소량을 단시간에 측정하기 위해서는 진공중이나 반송 가스중에서 650℃~800℃의 고온으로 가열하여 추출하는 방법이 사용되고 있으며, 상온에서 확산성 수소를 측정하기 위한 방법으로는 KS 및 JIS의 글리세린법이나 IIW의 수은법이 사용되고 있다.

본 연구에서는 확산성 수소 함유량을 측정하기 위하여 KS에 규정되어 있는 글리세린법을 채택하였으며 확산성 수소 함유량의 측정에 사용한 용접 와이어는 솔리드 와이어 및 플렉스 코어드 와이어 7종류로서 용접전류 230A, 용접전압 29V, 용접속도 25cm/min의 표준조건하에서 용접재료에 따른 확산성 수소 함유량을 조사하였다.

또한 확산성 수소 함유량에 미치는 예열 및 후열 처리의 영향을 고찰하기 위하여 예열온도를 100℃, 150℃, 200℃, 300℃로 변화시켰고, 후열처리의 경우에는 후열처리 온도를 100℃, 150℃, 200℃로 하였다. 또한 횡균열 감수성 시험시에는 확산성 수소 함유량을 변화시키기 위하여 Ar+H<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>의 혼합 가

Table 1 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	0.002	0.002	52.8	42.0	31.0
weld metal	0.04	0.29	1.03	0.013	0.016	0.31	0.03	0.02	0.018	66.3	61.4	23.4

스를 혼합비를 조절하여 시험하였고, 이 경우에도 혼합비에 따른 확산성 수소 함유량을 측정하였다.

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℃에서 1시간 이상 건조시켜 재료 내부에 존재할 수 있는 수소를 제거한 후, 확산성 수소함유량 측정 시험에 사용하였다. 용접시에는 예열하지 않고 상온에서 용접하였으며 용접 비드의 길이는 약 170mm로 하였고 시험재 양쪽의 엔드 탭(run-on tab 및 run-off tab)은 용접 길이가 각각 약 35mm가 되도록 용접하였다.

확산성 수소 함유량은 글리세린 치환법에 의하여 아래의 (1)식에 의거하여 용착금속 100g당의 확산성 수소량으로 환산하였다.

KS의 확산성 수소 함유량 측정시에 적용되는 식은 아래의 식 (2)와 같다.

$$H_{DM} = \frac{H_{GL} + 1.73}{0.79} \quad (1)$$

여기서  $H_{DM}$  : 용착금속 100g당의 수소량(ml/100g)

$H_{GL}$  : 글리세린 치환법에 의해 구한 용착금속 100g 당의 수소량(ml/100g)이다.

또한 용착금속 100g당의 수소량  $H_{GL}$ 은 (2)식에 의해 산출하였으며 이 때의 칭량 정밀도는 0.01g으로 하였다. 이렇게 하여 측정된 확산성 수소의 양을 아래의 식에 의해 용접부의 확산성 수소 함유량으로 환산할 수 있다.

$$H_{GL} = \frac{V_{GL}}{W_D} \times 100 \quad (2)$$

여기서  $V_{GL}$  : 글리세린 치환법에 의해 측정된 수

소량을 0℃, 1기압에서의 용량으로 환산한 값

$W_D$  : 용착금속의 질량(g)

## 2.2 모재 및 실험재료

본 연구에 사용한 강재는 선급용의 두께 50mm의 강재로서 화학성분과 기계적인 특성을 Table 1에 나타낸다. 또한 이 표 중의 용접금속은 서브머지드 아크 용접한 후의 전용착금속의 화학성분을 나타내고 있다.

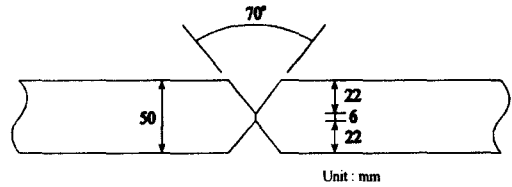


Fig. 1 Joint design for thick steel plate submerged arc welding

평균열 재현을 위한 시험재료는 Fig. 1과 같이 두께 50mm의 강판을 이 그림에 나타난 형상으로 홈가공하고 홈의 각도는 70°로 하였다.

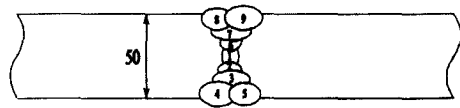


Fig. 2 Welding procedure of SAW

서브머지드 아크 용접(SAW) 및 플럭스 코어드 아크 용접(FCAW)시에는 Fig. 2와 같은 적층 순서로 용접하였고, 이 용접재로부터 경도 시험편을 채취하였다. 또 이와 같은 용접재를 두께 방향으로 슬라이스하여 이 시료를 밀링가공하였다. 평균열 시험편의 두께는 2종류로 하였고, 두께 8mm의 시료는 개량형 3점 굽힘 균열 시험편으로, 또 3점 굽힘형 균열시험편의 경우에는 가능한 한 용접 잔류응력을 배제하기 위하여 최종적으로 두께 3mm로 하였다.

이렇게 하여 만든 용접금속을 포함하는 시험편을 서브머지드 아크 용접시에 잔류할 수 있는 용접부중의 확산성 수소를 제거하기 위하여 진공로중에서 400℃에서 2시간 가열하여 용접에 기인하는 수소를 제거하여 균열 시험에 사용하였다.

### 2.3 용접부의 경도 분포

용접부는 용접열의 작용에 의한 경화에 기인하는 경도 상승에 의해 용접부의 균열 발생 가능성이 커지게 되기 때문에 SAW 용접부의 경도를 측정하여 용접금속, 용접열영향부 및 모재를 포함하는 부분의 경도를 측정하여 그 분포 상태와 경화 정도를 조사하였다. 경도 측정시에는 Vickers 미소 경도 시험기를 사용하여 경도를 측정하였다.

또한 경도의 측정은 SAW 용접한 경우와 FCAW 용접한 경우에 대하여 실시하여 용접법 및 용접재료에 따른 경도값의 변화를 고찰하였다.

### 2.4 용접금속의 평균열 감수성 시험

맞대기 용접시의 용접금속의 평균열을 재현하기 위하여 두께 3mm의 박판의 경우에는 Fig. 3과 같이 3점 굽힘형 균열시험 장치를, 두께가 두꺼운 재료의 평균열 감수성의 측정에는 Fig. 4의 개량형 3점 굽힘 시험 장치를 자체적으로 설계, 제작하였으며 이 시험 방법은 소형 시험편을 사용하여 용접부에 굽힘 스트레인을 부가하므로써 구속도와 용접금속의 확산성 수소 함유량의 변화에 따른 평균열 감수성을 평가하기 위하여 고안된 것이다.

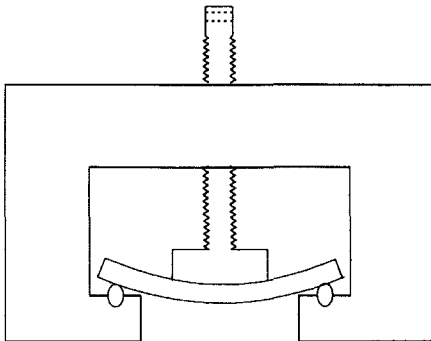


Fig. 3 Crack testing result of 3 point bending type crack testing jig

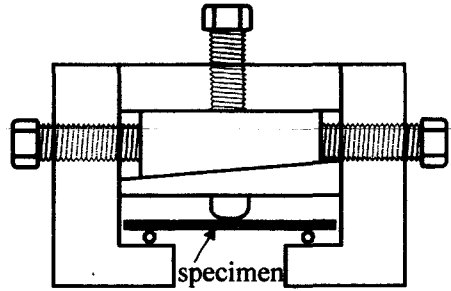


Fig. 4 Modified 3 point bending type crack testing jig

이 시험기의 원리로서 3점 굽힘형의 경우, 보의 이론에 입각하여 굽힘 block의 직경을 20~80mm로 변화시킴으로써 시험편에 부가되는 augmented strain, 즉 구속 스트레인 값<sup>2~3)</sup>은 아래의 식에 의해 쉽게 구할 수 있기 때문에 구속응력과 확산성 수소 함유량 및 균열 감수성과의 상관 관계를 구할 수 있다. 즉

$$\epsilon = \frac{t}{2R} \times 100 \quad (3)$$

여기서  $\epsilon$  : 시험편에 부가되는 스트레인

t : 시험편의 두께 (mm)

R : 굽힘 block의 반경

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

또한 3점 굽힘형 및 개량형 3점 굽힘 균열 시험시에는 SAW 용접금속이 시험편의 중앙에 위치하도록 하였으며, 이 시험편에 수소를 첨가하기 위하여 GTA 용접을 실시하였다. GTA 용접시에는 Ar가스와 수소 가스의 혼합가스를 사용하였고 이 혼합 가스의 혼합비를 조절하여 용접부의 확산성 수소 함유량을 조절하였다.

GTA 용접 직후 시험편을 가능한 한 30초 내에 균열 시험 시험장치에 장착하였다.

3점 굽힘형 균열 시험의 경우, 굽힘 block의 직경을 변화시킴으로써 구속응력을 조절하였고, 균열의

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

개량형 3점 굽힘시험의 경우에는 3점 굽힘형에 비해 용접균열 시험용 시험편의 크기와 두께를 크게 하여 시험하였고 용접은 탄산 가스 아크 용접법을 채용하였으며, 용접부의 확산성 수소 함유량을 변화시키기 위하여 차폐 가스로서 100% 탄산 가스와 수소 가스의 혼합 가스를 사용하므로써 용접금속에 잔류하는 수소의 함유량을 변화시켰다.

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

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 후판의 용접시의 확산성 수소 함유량

Table 2 Diffusible hydrogen content of several welding wires.

Wire	H <sub>DM</sub> (ml/100g)	Remark
A	3.375	Severe Fume
B	3.342	
C	6.482	
D	5.276	
E	6.167	
F	4.200	
G	5.114	
* Welding Condition : Welding Current:230A, Welding Voltage; 29V, Travel Speed; 25cm/min * 1atm, 45℃		

Table 2에 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 용접재료 제조회사에 따라 확산성 수소 함유량에 상당한 차이가 존재함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 용접와이어중의 플럭스의 종류가 다르기 때문에 확산성 수소 함유량에 차이가 생기는 것으로 사료되며, 이와 같은 경향은 Nishio 등<sup>12)</sup>의 피복 아크 용접봉중의 확산성 수소 함유량 측

정 결과에서도 공통적으로 확인된 것이다. 따라서 실제의 용접 시공시에는 확산성 수소 함유량을 측정하여 확산성 함유량이 가장 적은 용접재료를 사용하거나 용접전에 예열하여 확산성 수소가 최소화되는 예열온도를 선정하여 용접시공하여야 할 것이다.

최근에는 용접열영향부의 경화에 기인하는 용접부의 저온균열의 발생을 방지하기 위하여 강재의 탄소 함유량과 탄소 당량을 매우 낮추었기 때문에 용접시에는 확산성 수소 함유량이 종래의 경우에 비해 엄격하게 제어되지 못하는 경향이 있기 때문에 용접부의 확산성 수소에 대한 보다 엄격하고 철저한 관리가 요구된다고 사료된다.

1기압의 수소 가스압 하에서 순철의 수소 평균 용해도는 400℃에서 약 0.3ml/100g, 상온에서는 0.0005 ml/100g의 극소량이다. 그러나 철강재료 용접부의 수소 함유량은 상온에서 수ml~수십ml 되기 때문에 과잉의 수소는 과포화된 원자상 수소와 결정내의 결합 및 결정립계에 집적된 분자상 수소의 두 가지 상태로 존재한다고 생각되고 있다. 실험에 의하면 원자상 수소는 상온에서 시간의 경과와 더불어 강중을 확산하여 강의 표면을 통하여 배출되지만 분자상 수소는 대부분 그 상태로 잔류하게 된다. 그러나 이 경우에도 200℃ 이상의 고온으로 가열하면 다시 원자상의 수소로 되어 표면에서 방출된다.

한편 예열과 후열처리한 경우에는 글리세린 범으로는 검출이 불가능할 정도로 확산성 수소함유량이 적었고, 이에 따라 용접부에 잔류하는 확산성 수소는 이와 같은 처리에 의해 대폭적으로 감소됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Nishio 등<sup>12)</sup>의 연구 결과와도 일치하는 것으로 이와 같이 확산성 수소 함유량이 적어지게 되면 용접금속의 황균열 발생 가능성이 매우 적어질 것이기 때문에 실제의 용접시공시에는 가능한 한 예열과 후열하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

#### 3.2 용접부의 경도 시험

예열 및 층간온도를 제어하지 않은 경우의 FCAW 용접한 용접부의 경도 측정 결과를 Fig. 5에 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 용접부의 경도는 용접열영향부의 경우 175~225 Hv이며 용접금속측은 190~215 Hv의 범위에, 모재의 경우는 160~

175 Hv의 범위에 있다. 즉 용접부의 최고경도값은 225 Hv이다.

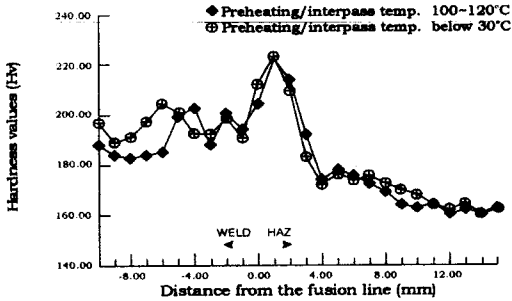


Fig. 5 Hardness distribution of FCAW welded joint

한편 예열온도 및 층간온도를 100~120°C로 한 경우에는 모재부 및 용접열영향부의 경도에는 거의 차이가 없지만 용접금속부의 경도는 대체적으로 더욱더 낮아지는 경향을 확인할 수 있다. 즉 예열온도와 층간온도를 높임으로써 용접부의 냉각속도가 늦어지는 결과 용접부의 경도가 저하하는 경향을 확인할 수 있다.

Fig. 6에는 예열온도를 70°C로 하고 층간온도를 100~120°C 및 상온으로 한 경우의 SAW 용접부의 경도 분포를 나타낸다. 이 경우에도 FCAW 용접한 경우와 같이 층간온도가 높아질수록 용접금속 및 용접열영향부의 경도가 낮아짐을 알 수 있다. 특기할 사항은 SAW 용접의 경우에는 입열량이 많은 용접 방법이기 때문에 냉각속도가 늦어지므로 FCAW에 비해 전반적으로 경도값이 낮고 최고경도값은 195 Hv 정도이다.

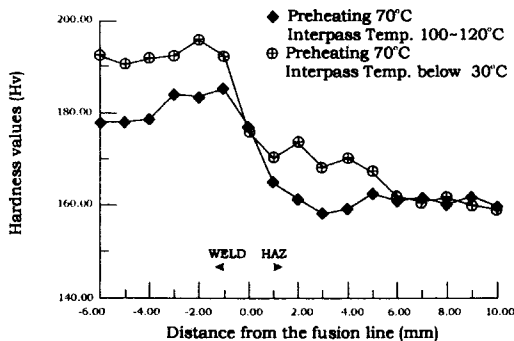


Fig. 6 Hardness distribution of SAW welded joint

일반적으로 용접열영향부의 저온균열은 용접부의 최고 경도값으로서 발생 여부를 판단할 수 있을 정도로 많은 연구 결과가 얻어져 있고, 그 결과에 의하면 최고경도값 325 Hv 이상일 경우에 발생하는 것으로 알려져 있다. 또한 강재의 화학성분으로부터 용접열영향부의 최고경도값을 환산할 수 있는 식<sup>13)</sup>도 만들어져 있다. 이와 같이 FCAW 및 SAW 용접부의 최고경도값과 현미경조직 관찰 결과 마르텐사이트 조직의 생성이 없었다는 점 등으로부터 판단하는 한 용접에 의한 경화도는 매우 적고 이 정도의 경도값으로는 경화에 기인하는 저온균열의 발생 가능성은 거의 전무하다고 할 수 있다. 따라서 후판 용접시에 발생하는 용접금속중의 황균열은 경화 이외의 다른 원인에 의해 발생된다고 할 수 있다.

### 3.3 용접금속의 황균열 감수성 시험

후판의 경우 용접시에 변형을 억제하기 위하여 강하게 구속한 상태에서 용접하게 되므로 용접부에는 큰 구속응력이 작용하게 된다. 이러한 구속응력은 용접선에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 용접시에는 가능한 한 구속응력을 작게 하거나 구속을 피할 수 없을 경우에는 용접부에 각종의 결함이 존재하지 않게 하여야 한다. 이러한 구속 조건하에서 확산성 수소가 존재하면 용접부에 용접균열이 발생하게 된다. 이와 같이 확산성 수소가 존재하고 또한 용접부에 큰 구속이 작용하는 실제의 용접구조물의 경우를 상정하여 확산성 수소 함유량 및 구속도가 황균열 감수성에 미치는 영향을 조사한 결과를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타낸다.

Fig. 7은 시험편의 두께가 8mm인 시험편에 대한 개량형 3점 굽힘형 균열 시험 결과를 나타낸 것으로 이 시험 결과로부터 확산성 수소가 첨가되지 않은 경우 및 함유량이 적은 경우에는 큰 구속응력이 작용하더라도 균열이 발생하지 않았으며, 확산성 수소가 용접부에 존재하여야 균열이 발생함을 알 수 있었다. 따라서 황균열의 발생은 이와 같은 결과로부터 확산성 수소가 큰 원인이 됨을 알 수 있었다.

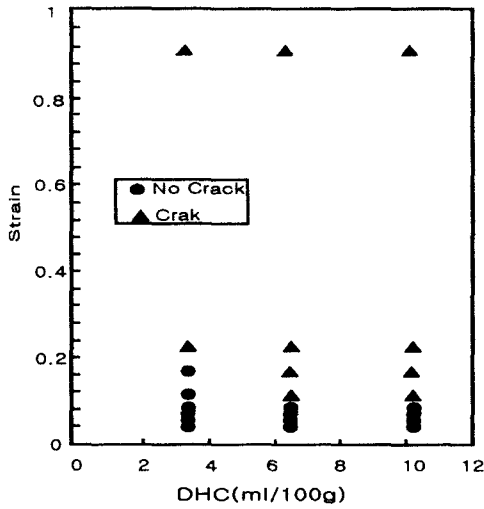


Fig. 7 Result of Modified 3 Point Bending Type Crack Test

이와 같이 3점 굽힘형 균열시험이나 개량형 3점 굽힘형 균열 시험 결과에 큰 차이가 없다는 점으로부터 시험편의 두께 차이에 기인하는 인자는 용접금속의 횡균열에 크게 영향을 끼치지 못한다는 것을 의미하고, 이에 따라 용접부에 존재하는 잔류응력은 그다지 영향을 끼치지 못한다는 것을 알 수 있다. 왜냐 하면 두께 3mm인 경우에는 잔류응력을 거의 무시할 수 있는 반면, 두께가 두꺼워지면 잔류응력의 영향을 전적으로 배제할 수 없기 때문이다.

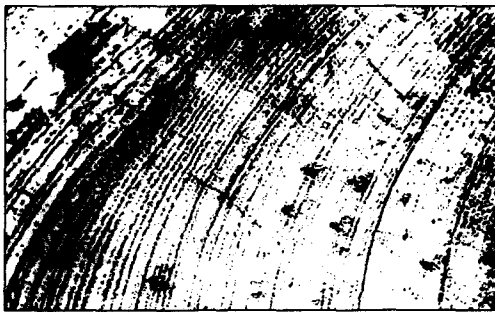


Fig. 8 Typical weld metal microcrack

Fig. 8은 횡균열 시험 결과 발생된 균열의 사진으로서 횡균열이 주로 용착금속의 ripple 선에 수직방향으로, 즉 chevron type의 균열과 횡균열이 혼재하

는 양상을 나타내었고, 확산성 수소 함유량이 더욱 증가하고 구속도가 큰 경우, 균열은 용접선에 직각 방향으로 발생하는 균열이 주류를 이루고 있었다.

이와 같은 횡균열의 발생 경향으로부터 횡균열 발생 기구는 Fig. 9와 같은 모식도로부터 설명할 수 있을 것이다. 용접금속중에는 용접과정중에 국부용융 영역이 존재하거나 또는 용질원소가 농축된 solute band가 존재하게 되는 데, 이와 같은 용질원소가 농축된 부분은 다른 부분보다 국부적으로 자유 에너지가 높은 상태가 되며 이에 따라 이러한 부분에 용접과정중에 용접열에 의해 해리되어 용접금속에 잔류한 원자상의 수소가 국부적으로 집적되어 에너지를 얻게 되므로 안정화되어 분자상의 수소로 변하게 되고 분자상의 수소로 변한 수소의 경우에는 trap되어 더 이상 이동이 불가능하게 되므로 이러한 solute band부나 응고조직의 계면에서 수소 분압이 높아지고 이 부분에 응력이 작용하게 되어 횡균열이 발생 되는 것으로 사료된다.

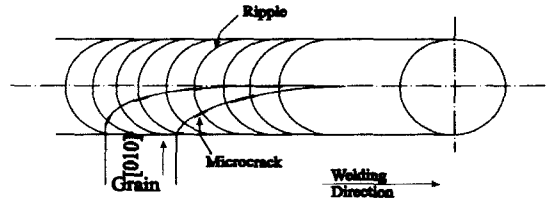


Fig. 9 Suggested mechanism of hypothetical grain growth and weld metal transverse cracking

이상과 같은 횡균열 시험 결과로부터 부가되는 스트레인값이 클수록, 확산성 수소 함유량이 많을수록 균열이 발생되기 쉬움을 알 수 있었다. 또한 이 시험의 경우에도 소형 시험편을 사용한 3점 굽힘의 경우와 유사한 결과가 얻어져 용접부에 존재하는 잔류응력은 횡균열에 큰 영향을 끼치지 못함을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

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

- (1) 용접금속에 잔류하는 확산성 수소 함유량은 용

접재료의 종류에 따라 현저한 양적인 차이가 존재하였다. 따라서 용접금속부의 황균열의 발생 방지뿐만 아니라 용접성 향상 측면에서 확산성 수소 함유량을 줄이기 위한 방안이 매우 중요하다.

- (2) 용접부를 예열 또는 후열처리하면 확산성 수소 함유량은 현저하게 감소되고, 글리세린법으로는 검출하기 어려울 정도의 미소량이 잔류하였다.
- (3) 3점 굽힘형 및 개량형 3점 굽힘 시험 장치에 의하여 용접금속의 황균열 감수성을 시험한 결과, 이 방법은 용접금속의 황균열 감수성을 조사하는 데에 매우 유용함을 알 수 있었다.
- (4) 3점 굽힘형 및 개량형 3점 굽힘 시험 장치에 의한 황균열 감수성 시험 결과, 용접금속의 황균열은 확산성 수소 함유량과 구속도에 크게 의존함을 알 수 있었다. 즉 확산성 수소 함유량이 많을수록 황균열 감수성이 커지는 경향이었으며, 또한 구속도의 증가에 따라 황균열 감수성이 커지기 때문에 황균열 발생을 방지하기 위해서는 역학적인 인자인 이음부의 구속도와 용접부에 잔류하는 확산성 수소 함유량을 제어하여야 함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- 1) Savage et al, "Hydrogen Induced Cracking during Implant Testing of Alloy Steels," Welding J. Vol. 55-12, 400s~407s, 1976
- 2) Savage et al, "Hydrogen Induced Cracking in HY-80 Steel Weldment", Weld. J., Vol. 55-11, pp.368-s~376-s, 1976
- 3) Savage et al, "Hydrogen Induced Cracking in HY-130 Steel Weldment", Weld. J., Vol. 57-4, pp.118-s~126-s, 1978
- 4) Sawhill, J.M. et al, "Hydrogen-Assisted Cracking in High-Strength Pipeline Steels", Weld. J., Vol. 65-7, 175-s~183-s, 1986
- 5) Davenport, J. A. et al, "Ferrite vein Cracking in Electroslag Welds", Weld. J., Vol. 60-12, pp.175-s~183-s, 1981
- 6) 日本溶接學會, "溶接冶金(レビュー)上", pp.203~220, 1978.8
- 7) Watanabe, T., I. Okane, "Association of Partial Melting and Hydrogen - Assisted Cracking in Weld Heat - Affected Zone of High Strength Steel(Part 1), J. of JWS, Vol. 50-7, pp.657~663, 1981
- 8) Takahasi, E. et al, "Correlation between Hydrogen Concentration and Practical Welding Condition", J. of JWS, Vol. 49~2, pp.129-136, 1980
- 9) Terasaki, T. et al, "Effect of Welding Conditions on Hydrogen Concentration Distribution in Multipass Welded Joint", J. of JWS, Vol. 48-9, pp.678-683, 1979
- 10) Takahasi, E., K. Iwai, "Relations between Occurrence of the Transverse Cracks and Parameters of Residual Stress and Diffusible Hydrogen Concentration", J. of JWS, Vol. 48 - 10, pp.865-872, 1979
- 11) Hirai, Y., J. Tsuboi, "On the Cracking in HT 100 Weldments(1st Report)", J. of JWS, Vol. 43-4, pp.366~376, 1974
- 12) Nishio, Y. et al, "Study on Prevention of Weld Cracking in Thick Weldment", J. of JWS, Vol. 44-4, pp.345~350, 1975
- 13) Suzuki, H., "A New Formula for Estimating HAZ Maximum Hardness in Welded Steel", IIW Doc. IX-1351-85, pp.1~15, 1985