

용접재료의 저온균열 감수성 평가기법 개발 Development of Evaluation Method for Cold Crack Susceptibility of Welding Consumable

김희진, 서준석, 유희수
한국생산기술연구원

1. 서 론

과거 고강도강 용접부에서 발생하는 저온균열은 주로 용접열영향부에서 발생하였는데, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 강재 메이커들은 고강도강의 용접성을 향상시키고자 노력하였다. 이러한 노력의 결과로 TMCP강, HSLA강 등이 개발되었고 이들 강재는 예열온도를 저하시킬 수 있다는 장점 때문에 보편화되었다. 그런데 이러한 강재를 용접함에 있어 모재를 기준으로 선정된 예열온도를 적용하게 되면 용착금속부에서 저온균열이 발생하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이제는 용접재료의 용접성, 즉 용접재료의 저온균열 저항성을 평가할 수 있는 기법이 요구되고 있는 것이다.

모재의 용접성, 즉 용접열영향부에서 발생하는 저온균열 감수성을 평가하는 방법으로는 여러 가지 방법이 제안되어 있는데, 그 중에서도 y-groove cracking test는 규격화되어 있을 뿐만 아니라 데이터도 많이 축적되어 있어서 강재의 용접성을 개선하는 과정에서 크게 기여하였다. 그러나 용접재료의 저온균열 저항성을 평가하는 방법으로는 G-BOP방법이 제안되어 있을 뿐이다. 그나마 G-BOP방법은 용접재료를 비드온프레이트 용접으로 평가하는 방법인 관계로 다층용접을 실시하는 용접부에 적용하기에는 한계가 있는 것으로 인식되어 보편화되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다층용접에서 용접재료의 저온균열 저항성을 평가할 수 있는 기법을 제안하고, 제안된 방법의 실용성을 평가하고자 하였다.

2. 실험 방법

150×300mm 크기의 강판을 V-개선 가공하고, 이를 횡방향으로 절단하여 절단면에는 Fig. 1과 같이 폭 1mm의 틈새(gap)를 가공하였다. 가공된 시편을 볼트 체결한 상태에서 틈새를 제외한 모든 부분을 용접한 다음 H-형 지그에 완전 구속시켰다. 용접이 완료된 시편은 구속된 상태에서 72시간 이상 방치한 다음 틈새 부위를 횡방향으로 절단하여 3개의 시편을 채취하였다. 이들 시편에 대해 초음파 스캔 장비를 이용하여 저온균열 발생 여부를 확인하고 균열이 발생된 것이 확인되면 균열발생 정도를 면적비로 정량화 하였다. 이와 같은 실험 방법을 본 연구에서는 Gapped Bead-on-Groove(G-BOG)시험이라고 칭하였다. G-BOG 실험에 있어서 시험변수는 틈새의 폭, 용착금속의 높이, 예열온도 등이 될 수 있는데 본 연구에서는 틈새의 폭을 1mm로 고정하고, 나머지 두 변수에 대한 평가만을 실시하였다.

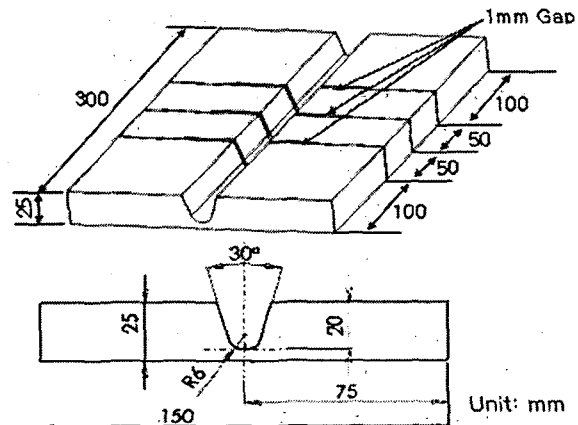


Fig. 1 Geometry of G-BOG specimen.

3. 시험 결과

3.1 예열온도의 영향

모재를 25mm 두께의 HSLA-100강으로 하고 AWS ER 120S규격의 솔리드와이어(직경 1.2mm)를 사용하여 20mm 깊이로 가공된 그루브에 다층용접을 실시하였다. 예열온도는 75, 100, 125℃로 변화를 주었으며, 보호 가스는 모두 Ar+20% CO₂로 하였다.

Fig. 2는 75℃ 예열온도에서 용접한 G-BOG시편의 분석 결과를 보여 주는 사진이다. Fig. 2(a)는 초음파장비를 이용하여 확인된 균열 부위를 보여주는 사진이며, Fig. 2(b)는 동일한 시편을 액체질소 온도로 냉각한 다음 균열부를 파단 시켜 얻어진 전체 파면을 보여 주는 사진이다. 시편을 파단하기 전에 350℃로 가열하여 저온균열 부위를 산화시켰기 때문에 Fig. 2(b)에서 검게 나타난 부위는 실제 저온균열이 발생한 부위이다. 이를 초음파 스캔으로 얻어진 결과와 비교하여 보면 초음파에서 얻어진 결과와 실제 균열부위가 온전히 일치하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과에 근거하여 초음파 스캔한 결과로부터 균열부 면적을 측정하고, 다음의 수식에 의해 저온균열 발생 정도를 균열발생률(cracking ratio)로 정량화하였다.

$$\text{균열발생률(\%)} = (\text{저온균열 면적} / \text{용착금속 면적}) \times 100$$

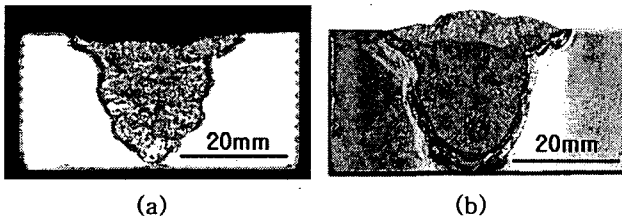


Fig. 2 Cold crack area determined on the 25mm thick G-BOG specimen by UT scanning(a) and by mechanical opening(b).

Fig. 3은 예열온도에 따른 균열발생률의 변화를 보여 주는 결과이다. 각각의 데이터는 3개의 시편에서 얻어진 균열발생률을 평균한 값이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 예열온도가 상승함에 따

라 균열발생률이 저하함을 알 수 있는데, 75℃의 예열온도에서 80% 정도 이었던 균열발생률이 100℃예열에서는 30% 이하로 급격히 감소하였다.

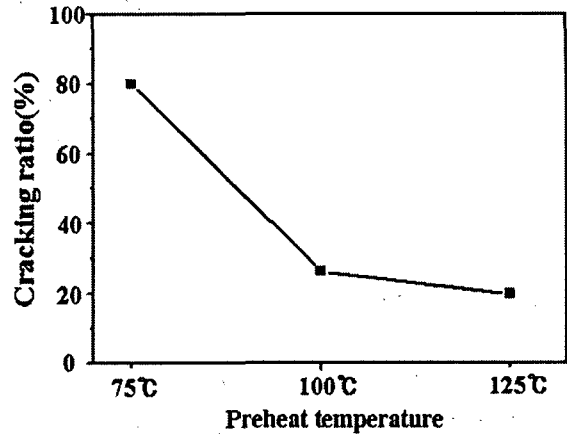


Fig. 3 Result of G-BOG Test.

G-BOG시편의 특징은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 용접선에 수직인 방향으로 틈새를 주어 응력이 집중되도록 하였다는 것이다. 따라서 G-BOG시험은 일반적인 용접시공 조건 보다 매우 가혹한 조건에서 저온균열 감수성을 평가할 수 있는 것이다. G-BOG시편의 가혹정도를 평가하기 위하여 틈새가 없는 시편을 제작하여 동일한 구속 및 용접조건에서 용접을 실시하고 저온균열 발생 여부를 확인 하였는데, 어디에서도 균열은 확인 되지 않았다. 이러한 결과로부터 G-BOG시험이 용접재료의 저온균열 감수성을 평가함에 있어 매우 유용함을 확인할 수 있었다.

3.2 두께의 영향

용착금속의 두께가 저온균열 감수성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 50mm 두께의 HSLA-100에 40mm 깊이의 그루브를 가공하여 G-BOG시험을 실시하였다. 예열온도는 75℃로 하였는데, 저온균열이 표면에 까지 전파하여 균열발생률은 거의 100%에 도달하였다. Fig. 4는 초음파 스캔 결과와 균열부를 파단시킨 파단면의 사진을 보여 주고 있다.

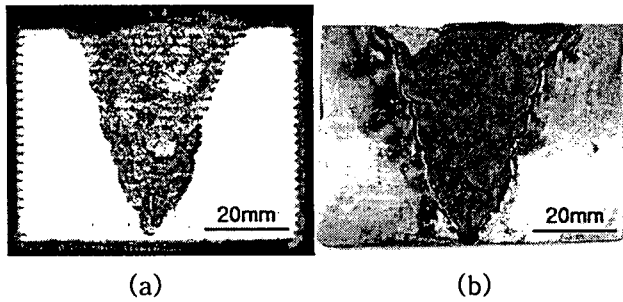


Fig. 4 Cold crack area determined on the 50mm thick G-BOG specimen by UT scanning(a) and by mechanical opening(b).

Fig. 4에서 보여 주었듯이 그루브의 깊이가 20mm 인 경우에는 균열발생률이 80% 이었던 것이 그루브 깊이가 40mm로 증가함에 따라 100%로 증가한 것이다. 이러한 결과를 종합하여 보면 동일한 용접재료라고 하더라도 강재의 두께가 증가하게 되면 용착금속부는 저온균열에 보다 취약해 진다는 사실이 확인되었다. 그렇기 때문에 예열온도는 두께가 증가함에 따라 보다 높게 설정되어야 하는 것이다.

4. 결 론

다층용접에서 고강도 용접재료의 저온균열 감수성을 평가할 목적으로 G-GOG 시험방법을 개발하고, AWS ER 120S 솔리드 와이어를 사용하여 개발된 시험방법의 실용성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) G-BOG시험은 틈새를 활용함에 따라 용접재료의 저온균열 감수성을 보다 가혹한 조건에서 평가할 수 있는 시험방법이다.
- 2) 용착금속부의 저온균열 발생률은 예열온도 뿐만 아니라 용착금속부 두께에 의해서도 크게 영향을 받는다.
- 3) 동일한 용접재료라고 하더라도 용착금속의 두께가 두꺼워 지면 저온균열에 취약하여 지기 때문에 보다 높은 온도의 예열이 필요하다.

후 기

본 연구는 민군겸용기술개발 사업의 일환으로 수행되었고 이에 감사드립니다.