

## HSLA-100강 용착금속에 저온균열이 미치는 미세조직의 영향

### Microstructural Effect on Weld Metal Cold Cracking of HSLA-100 Steel

\*서준석, \*\*김희진, \*\*유희수

\*한국기술교육대학교, 한국생산기술연구원

\*\*한국생산기술연구원

## 1. 서 론

1970년대 구조용강의 경량화를 위해 합금 원소를 많이 첨가해 미세조직을 강화시킨 고강도강(high-yield)을 많이 사용했다. 하지만 탄소량의 증가로 저수소계 용접봉을 사용하고 예열과 후열처리 때문에 강재의 용접성과 생산성이 떨어졌다. 최근에는 용접 생산성을 향상시키기 위해 플럭스코어드(flux-cored)와이어를 사용하는데, 확산성 수소량의 증가로 저온균열 발생률이 높아졌다. 이런 문제를 해결하기 위해 HSLA강이 등장하였지만, HY강에 사용하던 용접재료를 그대로 사용하여 저온균열이 빈번히 발생했다. 따라서 새로운 용접재료의 필요성이 대두되었고, n263의 새로운 용접재료로 용접후 용착금속의 미세조직과 저온균열에 관해 알아보았다.

이번 실험은 HSLA-100강에 n236 용접재료로 서브머지드아크 다층 용접하였다. 이때 용접부에서 발생하는 수소유기균열을 저온균열(cold crack)이라하는데, 이 저온균열의 발생기구는 수소취성의 특성인 확산성 수소, 인장 잔류응력, 미세조직이 동시에 작용하여 발생한다. 위 세 가지 요소 중 확산성 수소와 인장 잔류응력은 정량화하고 제어할 수 있다. 또한 이것이 적을수록 저온균열 감소하는 것은 이미 알려져다. 그러나 다층용접에서 재열부가 발생하여 위치에 따라 미세경도 및 미세조직의 변화가 심하므로 저온균열을 예측하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 HSLA-100강의 용접부에 대하여 저온균열에 미치는 미세경도 및 미세조직의 상관관계를 알아보았으며, 정확한 미세조직을 분석하기 위하여 다양한 에칭 솔루션을 사용하였다.

## 2. 용접부 미세조직

### 2.1 용접부 미세조직 특성

다층용접에 의한 용접부 조직은 열영향을 받은 용접금속(heat-affected weld metal-HA)과 열영향을 받지 않은 용접금속(as-deposited weld metal-AD)으로 나눈다. AD는 주상정 결정립으로 존재하는데 이는 결정립의 조대화로 취약하게 된다. 하지만 HA는 다층용접에 의해 열영향을 받아 AD 보다 조직이 미세하고 여러 종류의 조직으로 변한다. 용융선에 근접한 부분은 1400℃까지 가열 되어 조대화된 재결정립으로 성장하고, 용융선에 멀어질수록 가열온도는 감소하여 약 700℃가열부분에 Tempered band가 생긴다. 이 부분은 화이트밴드(white band)로 나타나는데, 경도 감소 위치와 일치하였다. 그림 1은 모재 HSLA-100강에 용접재료 n263, 예열온도 75℃, SAW 다층 용접한 것을 sulfonate 용액으로 에칭한 것이다. 미세경도(Hv)는 0.5mm 간격으로 측정하여 마크로 사진에 오버랩 하였다. 열영향을 받은 템퍼드밴드는 흰색의 띠로 보이며, 경도가 낮은 것을 알 수 있다.

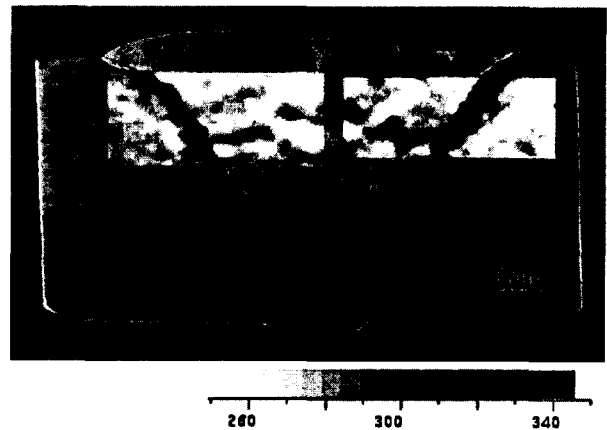


그림 1. 화이트밴드와 미세경도 오버랩

## 2.2 용접부 미세조직의 변화

2.1에서 말했듯이 다층용접의 용접 금속조직은 열영향을 받기 때문에 복잡하고 다양화 되어있다. 용융부(fusion line)의 바로 아래는 퀴칭의 효과로 재결정 되고, 이 영역을 약간 벗어나면 입계에 재결정되어 입계가 포도송이처럼 생기게 되는데 이를 이하 포도송이라 칭한다. 포도송이의 정도는 용착금속에서 최대 값을 나타낸다. 포도송이 영역을 벗어나 템퍼링 영역인 화이트밴드 영역에서는 용착금속에서 최소 값의 경도를 나타내었다. 용접금속의 대표조직으로는 침상형 페라이트, 입계 페라이트, 위드멘스텐 페라이트, 베이나이트등이 있는데 이들 미세조직은 용접부의 기계적 성질과 저온균열에 영향을 미친다.

다음 그림 2, 3, 4는 sulfonate 용액으로 에칭후 용접금속 미세조직을 관찰한 것이다. 그림 2는 용융선 바로 아래에서 짧은 시간에 고온(1400℃)으로 가열되어 재결정을 하였다. 그림 3은 위 영역과 화이트밴드 사이 미세조직으로 입계 주위로 재결정된 포도송이가 보이며, 정도가 최대이다. 그림 4는 키드에 의해 약 700℃로 가열되어 템퍼링된 부분으로 화이트밴드 부분이며 정도가 낮다.

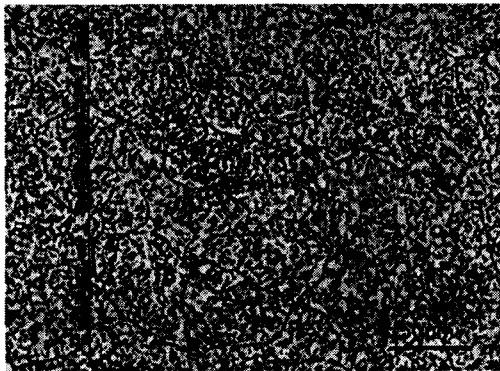


그림 2. 재결정

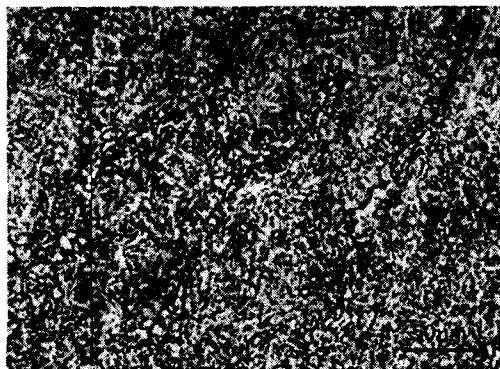


그림 3. 포도송이

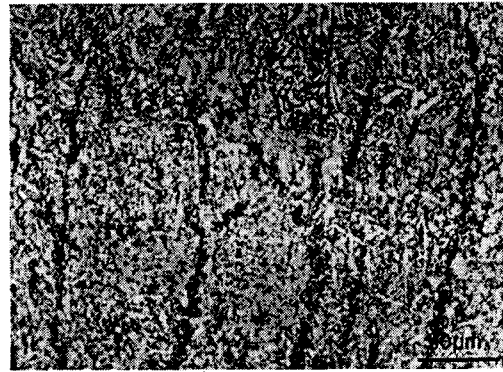


그림 4. 화이트밴드(white band)

## 3. 저온균열

### 3.1 저온균열의 발생

저온균열은 수소유기균열(hydrogen induced-cracking)으로 용접부에 나타나게 되면 저온균열이라 부른다. 발생원인은 수소유기균열에 취약한 미세조직, 용접시 용접부에 유입되는 수소, 용접이음부에서 발생하는 인장 잔류응력이다. 이 세 요소가 갖추어지면 고장력강에서는 저온균열이 발생한다. 세 가지 요소 중 미세조직은 정량적 수치로 나타내지 못했기 때문에 지금까지는 미세경도가 높은 부분이 취약할 것이라 생각해 이부분에서 다른 두 조건을 만족시켜주면 저온균열이 발생한다고 생각했다. 하지만 이번 실험에서 SAM(scanning acoustic microscope) 이미지와 마크로 사진을 오버랩 시켜본 결과 최소의 경도를 나타낸 화이트밴드에서 결함이 발생하였다. 이는 저온균열이 미세조직의 기준이었던 높은 경도와, 템퍼드 밴드의 탄화물과 저온균열과 관계가 있음을 보여주었다. 또한 저온균열의 위치를 보면 아랫부분 용착금속과 최종 패스-(AD)사이에 위치한 것을 볼 수 있었다. 이는 용접 층수가 증가할수록 수소농도는 증가하며, 중간층에서 최대치에 이르러 저온균열을 유발한다.

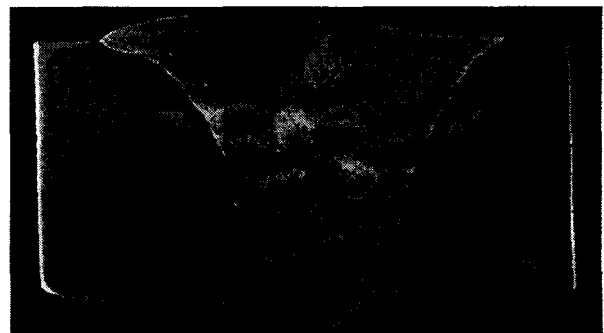


그림 5.저온균열 오버랩

3.2 저온균열의 전파

후 기

저온균열은 입계를 따라 전파한다고 알려져 있었으나, 본 연구에서는 입내에서도 관찰되었다. 그림 6의 화이트밴드 부분에서 시작된 크랙은 포도송이를 따라 진행하였으며, 재결정 부분(용융부 바로전)에서 멈추는 것을 볼 수 있었다. 화이트밴드의 경도는 최저치이며, 재결정 부분에서 경도가 증가하여 포도송이 부분에서 최대를 나타내었다.

이 연구는 생기반 수출중소기업 생산기술지원사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드리며, 실험을 도와준 김영삼군과 서윤석군에게 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Healy and J. Billingham: Increased use of high strength steels in offshore engineering, *Welding & Metal Fabrication*, 61-6(1993), 265
2. C. J. Billington: Application of high strength steels in design of fixed offshore structure, IBC Conference on Safe Design and Fabrication of Offshore Structures, London, Sept. 1993
3. E. J. Czyryca, et. al.: Development and Certification of HSLA-100 steel for naval ship construction, *Naval Eng. J.*, -5(1990), 63
4. A. Satoh: Research project on innovative steels in Japan(STX-21 project), *Proc. of Int. Workshop on the Innovative Structural materials for Infrastructure in 21st Century*, Jan. 2000, NRIM, Tsukuba, Japan
5. N. Okuda, et. al: Hydrogen induced cracking susceptibility in high strength steel weld metal, *Welding Journal*, 66-5(1987), 141s



그림6.용접금속 수직 수평매치

4. 결 론

1) sulfonate 에칭으로 용착부의 미세조직을 명확히 구분할 수 있었다.

2) SAM 이미지를 마크로 조직과 오버랩시켜 저온균열의 위치를 파악한 결과 전파 범위는 이전 비드의 용융선을 넘지 않았으며, 경도가 높은 부분뿐만 아니라 낮은 부분에서도 저온균열이 발생하였다.