

## 용접부의 균열 및 그 방지(II)

### - 균열의 종류 및 고온균열(I) -

박 화 순

### Cracking in Welds and Its Prevention(II)

#### - Cracks in Welds and Hot Cracking(I) -

Hwa-Soon Park

전 호에서는 용접부와 밀접한 관계가 있는 가스의 성질 및 가스가 용접부에 미치는 영향에 대하여 서술하였다. 본 호에서는 용접부의 균열 및 그 방지에 대하여, 먼저 용접부에서 발생하는 균열의 종류와 고온균열 중의 일부를 소개하기로 한다. 고온균열은 응고균열, 연성저하균열, 액화균열로 크게 나눌 수 있으며, 총 3회에 나누어 서술한다.

#### 1. 용접부에서 발생하는 균열의 종류

용접 시 용접부에서 발생하는 주된 결함으로는, 비드의 형상불량(또는 형상결함), 내부결함, 용접균열 등을 들 수 있다. 여기서 용접균열은 용접구조물의 손상 및 파괴로 연결되는 가장 중요한 결함이라고 할 수 있으므로, 용접균열을 방지하는 것은 용접구조물의 설계, 시공상 가장 중요한 문제이다. 그러므로 용접부에서 발생하는 균열에 대한 종류 및 발생기구를 이해한다는 것은 균열발생의 방지라는 관점에서 기초적으로 대단히 중요하다.

용접부에서 발생하는 균열에 대한 가장 우선적이며 기초적인 접근은 무엇보다도 균열의 종류를 파악하는 것이다. 균열의 종류를 안다는 것은, 균열 현상에 대한 이해를 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라, 균열 방지 대책을 세울 수 있는 시작 단계로서 대단히 중요한 의미를 가진다. 그러므로 균열은 그 종류가 무엇인지 신중하게 확인하는 과정을 거쳐야 하며, 선부른 판단은 금물이다.

용접부에서 발생하는 균열은 대단히 복잡하며 다양한 형태로 나타나기 때문에 여러 가지 분류방법이 있다. 균열은 발생장소, 발생방향, 발생온도, 발생형태, 발생원인 등에 의하여 구분할 수 있으며, 그 예를 들면 다

음과 같다.

- 발생장소: 용접금속(용접비드)균열, 열영향부(HAZ) 균열 및 모재균열
- 발생방향(비드 또는 용접선의 방향): 종균열(용접선과 평행한 방향)과 횡균열(용접선과 수직 방향)
- 발생온도: 고온균열, 저온(냉간)균열(라멜라 테어링(lamellar tearing) 포함) 및 재열균열(일부, SR 균열)
- 크기: 매크로(macro)균열과 미세균열
- 조직: 입내균열과 입계균열
- 원인: 재료의 조성, 조직, 용접조건에 따른 균열, 구속응력/변형에 의한 균열, 확산성수소에 의한 균열, 불순물에 의한 균열 등

표 1<sup>1)</sup>은 각종 실용재료의 용접 시에 발생한 균열의 종류를 정리한 것이다. 고온균열은 스테인리스강, 내열합금, 비철합금 및 특수합금강 등에서 주로 발생한다. 저온균열은 저, 중합금 고장력강, 중, 고탄소강 및 중, 고탄소 저합금강 등에서 주로 발생한다. 시판되고 있는 구조용강재는 일반 탄소강, 저합금 고장력강 등이 대부분이기 때문에, 이러한 재료들의 용접균열은 주로 저온균열, 특히 수소에 의한 지연(delayed)균열이 많다. 따라서 구조용강의 용접균열은 일반적으로 저온 지연균열이라고 생각할 수 있으며, 중, 고탄소 저합금강에서는 수소에 의한 지연균열 뿐만 아니라, 마르텐사이트 변태에 기인하는 퀵칭균열형 저온균열이 발생하는 경우도 많다. 그러나 저탄소강 및 고장력강 등에서도 서브머지드아크용접(SAW)부의 종단균열, CO<sub>2</sub> 용접부의 배(梨)형균열 등은 고온균열이다. 따라서 균열은 그 모재 및 용접재료의 종류만으로 균열의 종류를 선별리 판단하는 것은 대단히 위험한 일이다.

표 1 각종 재료와 균열감수성

| 재 료              | 고온균열        | 저온균열          |                      |                  | 재열균열 (SR균열) |
|------------------|-------------|---------------|----------------------|------------------|-------------|
|                  |             | Delayed crack | Quenching crack type | Lamellar tearing |             |
| 저탄소강             | S<0.01%     | △             |                      | △                |             |
|                  | S>0.01%     | △             |                      | ○                |             |
| 중탄소강, 중탄소저합금강    | △           | ○             | ○                    |                  | ○           |
| 고탄소(저합금)강, 주철    |             | △             | ○                    |                  |             |
| 저합금고장력강          |             | ○             |                      |                  | ○           |
| 중합금고장력강          | △           | ○             |                      |                  | △           |
| 고합금강             | ○           |               |                      |                  | △           |
| Cr-Mo강           |             | ○             |                      |                  | ○           |
| Ni, Fe, Co기 내열합금 | ○           |               |                      |                  | △           |
| 스테인리스강           | Martensite계 | △             | ○                    | △                |             |
|                  | Ferrite계    | ○             |                      |                  |             |
|                  | Austenite계  | ○             |                      |                  | △           |
| Al, Al 합금        | ○           |               |                      | △                |             |
| Cu, Cu 합금        | ○           |               |                      |                  | △           |
| Ni, Ni 합금        | ○           |               |                      |                  |             |
| Ti, Zr 및 그 합금    | △           |               |                      |                  |             |
| Mo               | ○           |               |                      |                  |             |

※ ○ : 발생 가능성 大, △ : 발생 가능성 中

## 2. 고온균열(Hot Cracking)

### 2.1 고온균열의 분류 및 특징

고온균열은 용접 중 혹은 용접 직후의 고온(일반적으로  $T_{m.p.}/2$  이상의 온도,  $T_{m.p.}$ : 용점(K))에서 용접부의 자기(自己)수축 및 외부변형 등에 의한 인장 스트레인에 의하여 주로 발생한다. 고온균열을 크게 분류하면, 고상선온도 이상(super-solidus)과 그 이하(sub-solidus)에서 발생하는 것으로 나눌 수 있다. 전자는 주로 고상선 부근의 온도에서 입계에 잔류하는 액체의 거동에 의한 것이며, 후자는 입계에서 고상의 성분편석, 석출물 및 전위 등의 거동에 기인하는 것이다. 또 고상선 이하의 균열이라도, 균열부에 저융점화합물에 의한 용액이 존재하는 재료에서는, 공칭고상선(bulk solidus) 이하에서 발생하였다 하더라도 고상선 이상의 균열이라고 보아야 한다. 그리고 그러한 경우의 고상선온도라는 것은 저융점화합물의 최종 응고온도가 진(眞)고상선온도(잔류하고 있는 저융점상이 완전히 응고하는 온도, true solidus)가 된다. 따라서 고상선온도는 공칭고상선온도

와 진고상선온도로 나누어서 생각해야 하며, 고온균열을 취급하는 경우는 진고상선온도를 고상선온도로 보는 것이 중요하다.

용융·응고와 관련한 용접금속에서의 고온균열은, 금속의 응고 중 및 응고 후의 연성곡선을 나타낸 그림 1을 이용하여 고온균열을 표 2와 같이 분류할 수 있다. 즉 응고취성온도범위(solidification Brittleness Temper-

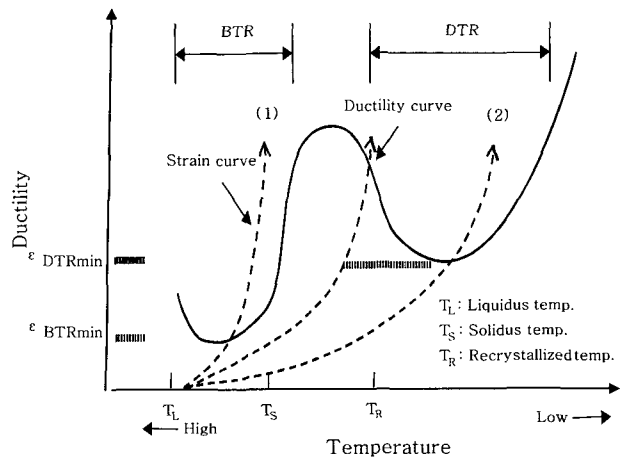


그림 1 연성과 관련한 고온균열의 발생

표 2 고온균열의 분류

|                                       |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 편석균열, Type I형<br>(입계의 편석막에 기인)        | 용접금속의 응고균열                      |
|                                       | HAZ의 액화균열                       |
|                                       | 용접금속의 액화균열                      |
| 연성저하균열, Type II형<br>(신결정립계의 연성저하에 기인) | 용접금속의 연성저하균열                    |
|                                       | HAZ의 연성저하균열                     |
|                                       | 용접금속의 연성저하균열<br>(다층 용접에서의 재가열부) |

ature Range, BTR)에서 입계의 편석막에 기인하는 Type I형 "편석균열(응고균열, 이하 응고균열로 부름)"과, 고상선 이하에서 재결정에 따른 새로운 결정립계의 연성저하온도범위(Ductility-dip Temperature Range, DTR)에서 발생하는 Type II형 "연성저하균열"로 분류할 수 있다.



- 박화순(朴和淳)
- 1955년생
- 부경대학교 재료공학부
- 용접결합, 용접금속학, 표면개질학
- e-mail: parkhs@pknu.ac.kr

고온균열의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- ① 균열은, 일반적으로 결정립계에서 발생하는 입계균열이다. 응고균열은 수지상정의 입계이며, 파면은 덴드라이트(dendrite)상의 형태를 나타낸다. 또 연성저하균열은 응고 후의 입계 이동이나 재결정에 의해서 새롭게 형성된 입계에서 발생하며, 파면은 비교적 평탄한 입계파면을 나타낸다.
- ② 균열의 끝 부분은 일반적으로 직선형이 아닌 곡선형을 띠고 있는 것이 많다.
- ③ 균열은, 표면에 노출된 것은 대기에 의하여 산화되어 색을 띠고 있는 것이 많다. 그러나 노출되지 않은 것은 산화되지 않고 은백색을 띤다.

참 고 문 헌

1. 佐藤邦彦編: 溶接強度ハンドブック, 理工學社(1988), 3-4