

## 용접부의 파괴인성 평가

전북대 공대 정 세 희

### 1. 머리말

용접부와 같이 材質이 複合化 된 재료는 일반적으로 脆性적인 특성을 나타내는 경우가 많고, 이러한 不連續部의 破壞強度가 재료의 強度를 결정하는 경우가 많다. 이러한 의미에서 不均質材에 대한 破壞特性을 소상히 파악하는 것이 필요하다.

本 講演에서는 용접부에서 특히 不均質材로 알려진 熱影響部(HAZ)에 주목하여 저자의 연구를 중심으로 破壞靱性の 評價에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 용접 熱影響部の 미시조직구배와 破壞靱性

고장력강 용접 열영향부의 파괴인성은 그 미시조직에 크게 의존하고 있음이 알려져 있다. 1) 여기서는 다층용접의 최종 비-드를 모의하여 90° V홈을 준 고장력강(SA 533B/1)평판 위에 1층 용접을 하고, HAZ부에서 파괴인성이 가장 낮은 곳으로 알려진 지단 열영향부(toe HAZ)粗粒域에 주목하여 소형급힘 COD 파괴인성 시험을 한 다음, notch 전방에 존재하는 미시조직의 열 사이클 의존성과 파괴인성과의 상관관계를 검토하였다.

fig. 1은 용접판으로 부터의 시험편 채취방법과 notch 설정위치를 도시한 것으로 이때 용접입열량은 10, 20, 30KJ/cm로 하였다. 이렇게 준비된 각종 시험편에 대한 COD 파괴인성시험의 결과는 fig. 2와 같다. 이 그림으로 부터 toe HAZ의 파괴인성은 복잡한 열사이클과 더불어 notch선단 근방의 조직의 형태에 의해서 결정되고 있음을 보여주고 있다. 여기서 파괴인성에 영향을 미치는 인자를 고려한다면 다음을 들 수 있다.

- 1) 미시조직의 勾配
- 2) 결정 입경의 勾配
- 3) notch 선단 반경의 크기

먼저, 미시조직의 영향을 살펴보기로 한다. fig. 3은 notch先端 전방에서의 미소경도 측정의 일 예 이다. 이것은 입열량 20KJ/cm의 경우로, 강재의 최고경도, 즉 100% 마르텐사이트 조직의 평균경도(Hv)<sub>M</sub>을 기준으로 해서 구한 硬度比를 용융 경계(fusion line)로 부터의 거리에 대해서 표시한것이다. 경도의 분포는 용융선으로 부터 어느영역까지는 거의 일정한 값을 유지하고, 그 이상에서는 점차로 저하하며 모재의 경도에 접근해가고 있다. 따라서, 미시조직과 강도의 상관관계<sup>2)</sup>로 미루어 notch선단으로부터 일정영역은 미시조직의 구성이 거의 일정한 조직으로 퍼져있음을 알 수 가있다. 이와 같은 “一定組織의 퍼짐”은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{L_c}{X_A} \cdot \frac{H_v}{(H_v)_M} \quad (1) \quad \begin{array}{l} L_c : \text{경도 일정영역의 길이} \\ X_A : \text{용융경계로부터 } A_1 \text{ 변태점까지의 거리} \\ H_v / (H_v)_M : \text{경도비} \end{array}$$

또한 상술한 COD 굽힘 시험으로부터 延脆性전이온도  $T_{tr}$  는 위의 조직의 퍼짐 량에 의존하고 있음이 밝혀졌다. 한편, HAZ조직의 파괴인성에 미치는 구 오스테 나이트의 결정입경의 영향은 결정입경이 크게됨에 따라 파괴인성은 저하되고 있 음을 알고있다. 3), 4) 그러나 fig. 4에 도시한바와 같이,  $L_c$  영역에서의 입경의 분포는 연속적으로 변화하고 있어서, 입경구배를 고려한 유효입경

$$d_{eff} = \frac{d_{max}^2}{L_c} \quad (2)$$

으로 결정입경과 파괴인성의 관계를 살펴보는것이 보다 합리적이라고 생각한다.

이상의 두 관찰에 notch선단 반경의 영향을 고려하여 toe HAZ의 인성을 평가하 는 다음과 같은 새로운 parameter를 제안하였다.

$$PHT = \sqrt{\rho} \cdot \frac{1}{\sqrt{d_{max}}} \cdot \sqrt{\frac{X_{A1}}{L_c}} \cdot \frac{H_v}{(H_v)_M} \quad (3)$$

여기서  $\rho$  : notch선단 반경

$d_{max}$ : HAZ 조립역에서 구 오스테나이트 결정입의 평균최대 입경

다시말하여 이 parameter는 용접열사이클에 의해서 형성되는 HAZ조직의 모든 야 금학적 인자를 표현한것으로

$\frac{1}{\sqrt{d_{max}}}$  은 최고가열온도,  $\sqrt{\frac{X_{A1}}{L_c}}$  는 HAZ의 퍼짐,  $\frac{H_v}{(H_v)_M}$  은 냉각속도 를 나타낸 것이다. fig. 5는 위에서 구한 PHT 와 COD 굽힘시험에서 얻은 연취성 천이 온도와의 관계를 도시한 것으로, 앞에서 든 3因子를 고려한 韌性 parameter 로 HAZ조직의 固有韌性を 一義的으로 표시할 수 있음을 알 수 있다.

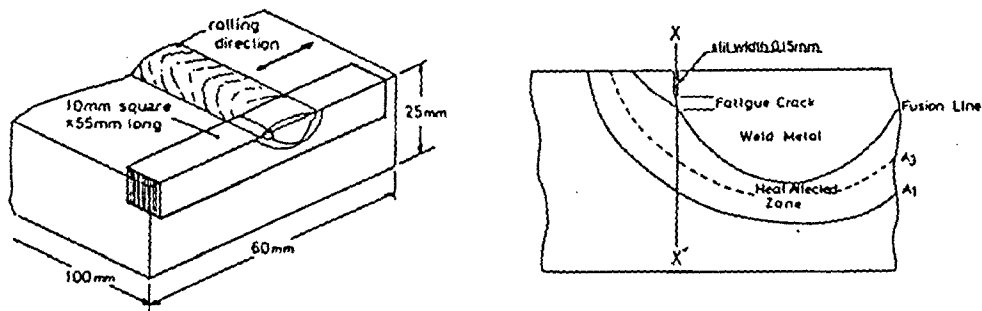


fig.1 Specimen design and schematic illustration of notch location in toe HAZ

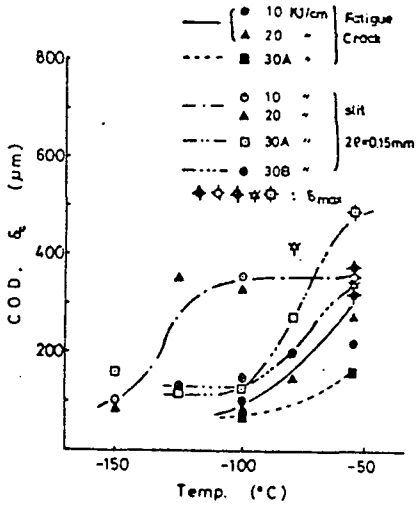


fig.2 Critical COD vs. test temperature

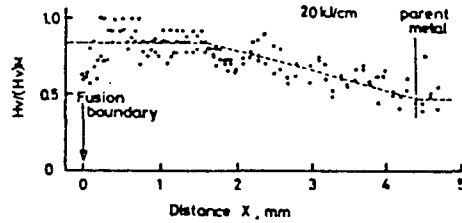


fig.3 Variation of hardness ratio in toe HAZ region

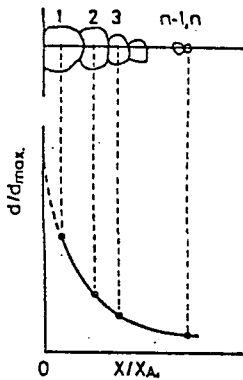


fig.4 Normalized variation of prior austenite grain size

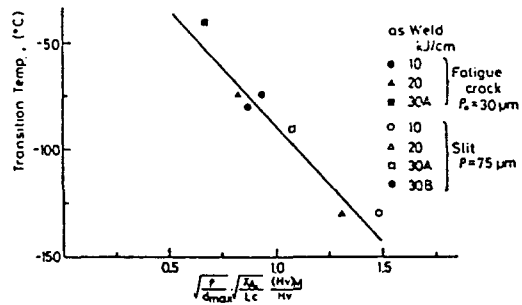


fig.5 Relation between T<sub>tr</sub> and parameter P<sub>HTT</sub>

### 3. 미소시험편에 의한 파괴인성평가

압력용기 등 대부분의 용접구조물을 제조상 제외할 수 없는 공정의 하나로 中間플림과 최종 플림을 들 수 있다. 이러한 열처리에 의해서 본래의 目的인 殘留應力은 제거되나 동시에 tempering 취화 효과에 의해서 HAZ의 연성이 저하하는 것으로 알려져 있다.

鈴木<sup>1)</sup> 등은 일련의 연구에서 熔接殘留應力의 破壞韌性에의 영향을 다음과 같이 표현하였다.

$$K_r = K_c - K\sigma$$

K<sub>r</sub> : 3축성 잔류응력에 의한 韌性値의 저하

K<sub>c</sub> : 組織固有의 파괴인성치

Kσ : 외력에 의한 파괴시의 應力擴大係數

이 식에서 알 수 있는바와 같이 용접조직 고유의 파괴인성을 안다는 것은 그 중요도가 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 종래의 시험방법으로는 시험편의 크기와 채취방법등의 어려움때문에 조직의 인성을 정확하게 평가하기 곤란하였다.

근래 새로이 제안된 방법으로, 크기가 10 x 10 x 0.5 mm 정도의 소형시험편을 이용하는 SP시험법(Small Punch Test)<sup>7)</sup>을 응용, fig.6 에서와 같이 용접 각부에서 시험편을 채취 미세조직의 인성을 평가하였다.

fig.7은 그 결과로 측정치에 약간의 퍼짐은 있으나 3점굽힘 COD파괴인성시험치와 SP시험법에 의해서 구한 시험치 사이에는 材料, 組織에 의존하지 않고 하나의 直線인 관계가 성립되고 있어서 미소시험편을 사용하는 SP시험법은 용접부 미세조직의 파괴인성을 정확하게 평가하는 하나의 새로운 방법으로 발전할 수 있으리라 본다.

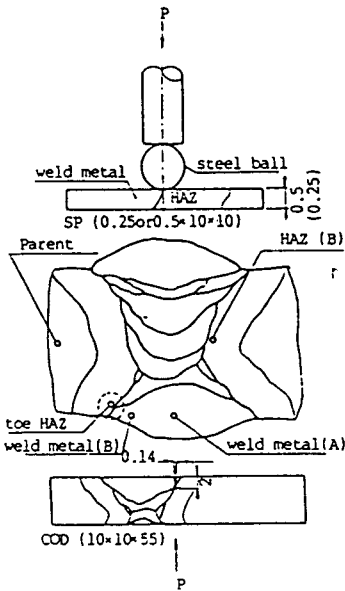


fig.6 Schematic illustration showing the extracted position and dimension of SP and COD test specimen in HT80 welded block

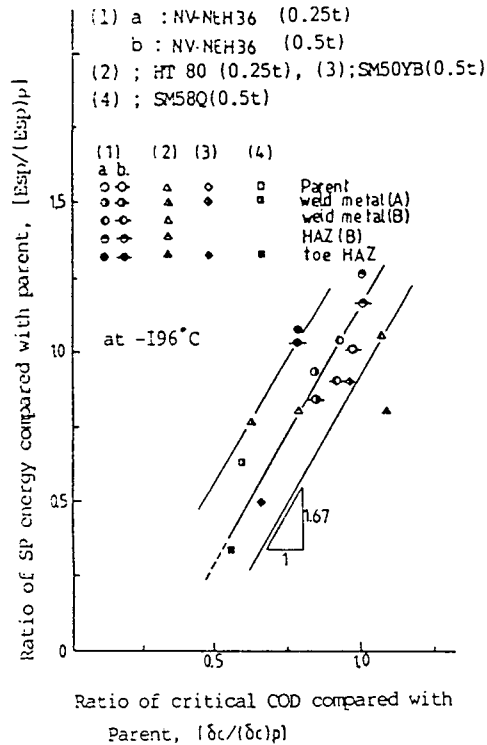


fig.7 Relation between SP energy ratio and critical COD ratio of each weld structure compared with parent material for various steels at -196°C

참고문헌

- 1) 鈴木 외 ; 日本溶接學會誌, 45권 6호 (1976)
- 2) 정세희 외 ; 전북대학교 논문집, 21집 (1979) 1
- 3) J.Kameda et al, ; IIW Doc.No.X-800-76 (1976)
- 4) R.E.Dolby, J.F.Knott; JISI Vol.210-11(1972) 857
- 5) S.H Chung et al, ; Welding in the World, Vol.16-11/12(1978) 248
- 6) M.Suzuki et al, ; IIW Doc. No.X-801-76
- 7) 유대영 외, 대한용접학회 제7권 4호 (1989)