

# Step Cooling 에 의한 1.25 Cr-0.5 Mo 강 용접부의 취화 (Temper) Embrittlement of 1.25 Cr-0.5 Mo Steel Welds after Step Cooling

최 준태\*, 윤 중근  
현대중공업 (주) 종합연구소

## 1. 서 론

열교환기 나 화학정유 등 고온 고압 및 수소 분위기에서 사용되는 압력용기 용 재료는 반드시 고온강도는 물론 부식, 내수소균열성이나 산화에 대한 저항성을 가져야 하는데, 이에 합당한 재료로는 Cr-Mo 계 합금강재이다. 고온용 압력용기 중 350~600°C 인 온도 범위에서 조업되는 경우 Cr-Mo 계 합금강재 및 용접부는 조업중에 종종 취화가 발생되는데, 이를 Temper Embrittlement 라 한다. 이를 실험실적으로 재현하기 위하여 일반적으로 약 590°C 에서 470°C의 온도범위에 온도 단계별 열처리 즉, step cooling 열처리를 실시한 후 충격시험을 저온에서 수행하여 평가한다.

Temper Embrittlement 에 대한 원인은 주로 P, Sb, Sn 및 As 등의 불순물이 조업중에 결정립계를 따라 편석되어 결정립계의 결합력을 약화시키기 때문이다. 이와 같은 불순물의 영향을 고려하고자 "  $X = (10 P + 5 Sb + 4 Sn + As)/100$ , ppm" 이라는 인자를 제안하였다. 즉, X 값이 클수록 강재 및 용접부의 취화는 쉽게 발생된다. 따라서 강재 및 용접재료의 선정시 X 값이 적은것을 선택하여야 하며, 불순물의 입계 편석을 촉진한다고 알려진 Si 및 Mn의 양이 적은 것을 선정하여야 한다.

본 연구에서는 1.25 Cr-0.5 Mo 합금 강재의 GTAW 와 SAW 용접부에 대한 Step Cooling 후의 취화거동을 평가하고자 하였으며, 이에 대한 파괴 기구를 파면 및 미세조직 측면에서 정립하고자 하였다.

## 2. 실 험

본 연구에 사용된 강재는 A387 으로 규정된 1.25 Cr-0.5 Mo 계 합금강재로

써 두께는 약 60mm 이었다. 용접은 약 12~15 KJ/Cm 의 저입열 GTAW 와 약 30 KJ/Cm 의 대입열 SAW 기법으로 실시 하였다. 용접후 후열처리는 690℃ 에서 9시간 실시하였으며, Temper Embrittlement 평가를 위하여 후열처리 후 재차 593℃ 에서 1시간, 538℃에서 15시간 등의 Step Cooling을 468℃ 까지 실시하였다. Temper Embrittlement 는 후열처리 및 Step Cooling 된 후 용접부에서 각기 시편을 채취하여 저온에서 충격시험을 실시하였다.

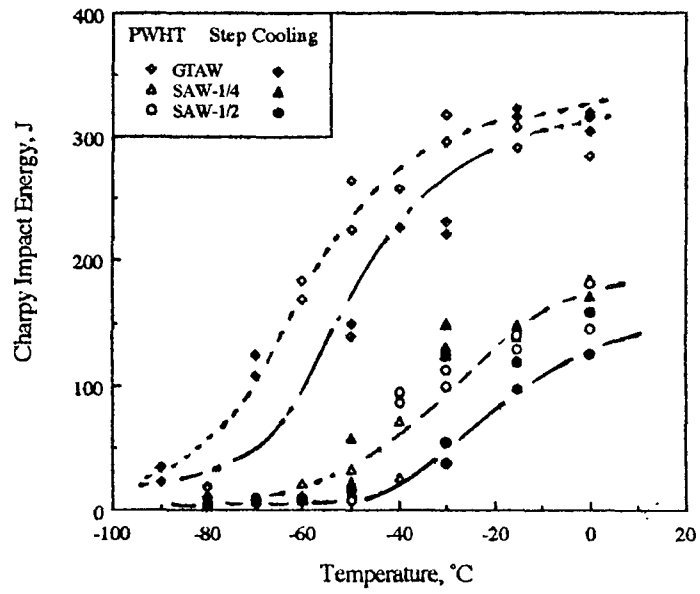
### 3. 결과 및 고찰

그림 1에 PWHT 및 Step Cooling 후에 얻어진 양 용접부의 온도에 따른 충격시험 결과를 도시하였다. 양 용착금속 모두 Step Cooling 후의 DBTT가 상승하였으므로 Step Cooling 에 의한 Temper Embrittlement 가 발생되었다. GTAW 용착금속은 후열처리나 Step Cooling 에 관계 없이 SAW 용착금속에 비하여 높은 인성을 가지고 있다. 이는 조직이 미세하며 Equiaxed 형태의 Ferrite로 구성되었기 때문에 균열전파시 많은 에너지가 필요하기 때문이다.

GTAW 용착금속의 파괴는 Upper Shelf Energy 영역에서는 Step Cooling 에 관계없이 연성파괴였으며, 온도가 저하됨에 따라 취성 파괴면이 증가되는 양상을 보이고 있다. Step Cooling 후의 저온파괴는 불순물이 입계에 편석됨에 따라 형성된 Intergranular Fracture 로 발생된 것이 아니고 그림 2 (a)에서 보여주듯이 Transgranular Cleavage Facet 에 의하여 파괴가 개시 및 전파되었다. SAW 용착금속의 경우에도 파괴 양상이 GTAW 용착부와 유사하나 몇몇 시편에서 그림 2 (b)에 나타낸 바와 같이 Intergranular Fracture Facet 이 취성파괴를 야기한 것으로 관찰되었다. 이처럼 Step Cooling 후에 발생한 용착금속의 파괴양상이 주로 Transgranular Cleavage Fracture 로 형성된 것은 용접재료의 선정시 Temper Embrittlement 를 고려하여 X 인자값이 극히 낮은것을 선정하였기 때문이다. 또한 Step Cooling 에 의하여 용착금속의 결정립계에는 탄화물이 석출되기 때문에 파괴는 결정립계의 탄화물에서 개시됨에 기인된다.

### 4. 결 론

- 1) Step Cooling 후 GTAW 및 SAW 용착금속은 취화된다.
- 2) Step Cooling 후 발생한 용착금속의 취성파괴는 주로 transgranular cleavage fracture 양상으로 발생되며, 종종 Intergranular fracture facet 이 시편 전체의 취성파괴를 야기하기도 한다. 이는 본 연구에서 고려된 용착금속의 "X" 인자 값이 낮음에 기인된다.



그 립 1 Step cooling 후 용착금속의 충격인성 변화



(a) x 500



(b) x 1000

그 립 2 Step cooling 후 용착금속의 취성파괴의 개시영역 : (a) GTAW, (b) SAW