용접 구조용강 CG HAZ의 조직 및 기계적 특성 예측 모델링

(The Modeling of Microstructure and Mechanical Properties of the Structural Steel Weld CG HAZ)

조 일 영*, 이 창 희, *박 부 근, *이 종 현
한양대학교 금속공학과, * 국립 기술 품질원

1. 서론

구조용강의 접합시 가장 널리 쓰이는 것은 용접인데, 용접을 하게되면 순간적인 가열 및 냉각등 재료에 극심한 열사이클이 가해지게 된다. 이러한 열사이클로 인한 재료의 재질 변화는 재료의 변형 및 잔류 응력에 영향을 미치고 용접부에서 발생하는 결함인 저온 균열 (Hydrogen Assisted Cracking), 응력 부식 균열 등의 원인이 된다. 특히 CG HAZ는 가장 많은 결함이 발생하는 부위로서 용접후 CG HAZ 의 조직 및 기계적 성질의 변화를 정확하게 예측한다면 이를 토대로하여 결함 및 보수 용접의 시기 및 조건 등을 예측할 수 있을 것이다.

2. 실험 방법

연속냉각변태의 변태분율을 나타낸 Avrami 방정식, $X=1-\exp(-K(T)\cdot t^n)$ 의 수식화를 위하여 Transformation Dilatometer를 이용하여 각 등온변태에서의 잠복기값을 구하고 Additivity Rule을 이용하여 연속냉각 변태시의 변태분율을 구한다. Additivity Rule 이란 연속냉각을 Fig. 1 과 같이 T_{i-1}, T_i, T_{i+1} …에서 t_{i-1}, t_i, t_{i+1} … 의 짧은 시간동안 등온 유지시키면서 냉각시키는 것으로 생각하여 각 온도 T_{i-1}, T_i, T_{i+1} … 에서의 잠복기 τ_{i-1}, τ_i, τ_{i+1} … 에 대한 등온유지시간의 비율의 합이 1 이 될 때를 잠복기를 전부 소비하는 것으로 하여 연속냉각시의 변태개시 온도를 계산하는 방법이다. K(T) 및 n 값은 Avrami 변태방정식을 식. 1 과 같이 변형시킨 다음, 등온변태 실험에서 얻은 시간과 변태분율의 관계를 $\ln(\ln\frac{1}{(1-X)})$ 와 lnt 로 Graph를 그리면, 직선의 형태를 띠게 되므로 그때의 기울기는 n, 절편의 값은 lnK 가 된다.

$$\ln(\ln\frac{1}{(1-X)}) = \ln K + n\ln t \quad \text{식. 1}$$

위와 같은 계산으로 도출된 변태분율 계산식을 이용하여 Fig. 2 에 나타낸 Flow Chart 에 의하여 CG HAZ에서 주어진 입열량에 의한 열사이클로써 최종 변태되는 각 상(Phase)들의 분율을 계산하고, 계산된 결과를 이용하여 CCT 곡선을 그리고, 최종 혼합상들의 기계적 성질을 혼합법칙을 사용하여 계산, 기계적 성질(경도, 강도)의 변화를 예측하였다.

실제적인 실험 결과와 비교하기 위하여 Gleeble Thermomechanical Simulator를 사용하여 CG HAZ 에서의 Peak 온도 및 냉각속도별 조직 재현 실험을 하였으며 Dilatometer를 사용하여 변태 온도 및 시간을 측정하여 CCT 곡선을 작성하고, 미세조직의 현미경 관찰, 상분율의 Image Analyzer 측정, 경도 및 인장 강도를 측정하고 이를 비교 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

등온변태 및 연속냉각변태식을 통하여 CG HAZ에서의 각 상들의 잠복기, 최종 변태 분율 등을 계산하여 냉각속도별 CCT 곡선을 예측할 수 있었으며, 각 상들의 고유의 기계적 성질을 통하여 혼합상의 기계적 성질을 예측하는 것이 가능하였다.

4. 참고 문헌

1. E. B. Hawbolt, B. Chau and J. K. Brimacombe, *"Kinetics of Austenite-Pearlite Transformation in Eutectoid Carbon Steel"*, Metallurgical Trans., 1983, **14A**, 1803

2. D. F. Watt, M. Bibby, J. Goldak, *"An Algorithm for Modeling Microstructural Develoment in Weld HAZ"*, Acta Metall., 1988, **36**(11), 3029

3. J. W. Christian, "The Thoery of Transformations in Metals and Alloys", 2nd edit., Pergamon, Hungary, (1975)

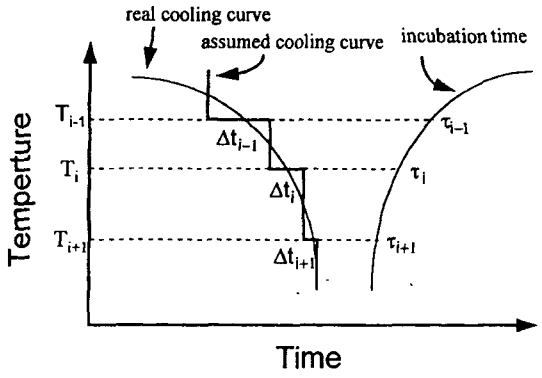

Fig. 1 Schematic diagram of additive rule for incubation time.

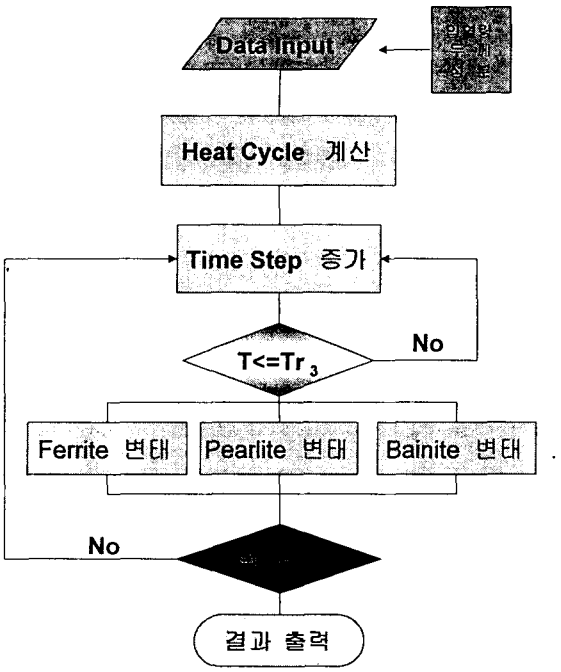

Fig. 2 Flow Chart of Volume Fraction Calculation.