

490MPa급 강재에 대한 RCR제조법 적용과 용접성

Application of RCR process on 490MPa grade Steel and its weldability

김충명

포항종합제철(주) 기술연구소

1. 서론

최근 수요가 증가하고 있는 TMCP강의 저온인성 확보를 위해서는 제조 공정상 압연 종료 온도가 800°C 이하로 되어야 하며, 이와 같은 저온압연의 실시는 압연 공장의 생산성 측면에서 매우 불리하게 작용하고 있다. TMCP 제조법의 생산성 저하 문제에 대응하여 최근 개발된 것이 재결정 제어압연 (RCR; Recrystallization Controlled Rolling) 기술이다. RCR 기술은 합금원소의 적절한 설계를 통하여 slab 재가열 및 고온 압연시의 결정립 성장 억제, 압연중의 정적 재결정에 의한 결정립의 미세화, $\gamma \rightarrow \alpha$ 변태시 탄질화물 석출에 의한 ferrite 결정립의 미세화 및 석출 강화를 이용하여 FRT 온도가 증가하여도 충분한 강도와 인성을 확보할 수 있는 기술이다. 본 연구에서는 RCR 제조법으로 생산된 490MPa급 강재의 충분한 강도와 충격인성 확보 및 실 구조물 적용 가능성을 검토하기 위하여 RCR 제조법으로 생산된 후판재에 대한 적정 화학 조성 및 용접부 제특성을 고찰하였다.

2. 시험재 및 실험 방법

시험재는 RCR 제조법으로 생산한 490N/mm²급 선급재 및 해양구조용강을 목표로 하여 생산한 강재로서 판 두께가 30mm이다. 여러 조건의 화학 조성을 검토하여 적정 화학 조성을 도출하였으며, 실 용접부 특성을 고찰하기 위하여 사용된 모재의 화학 조성은 Table 1에, 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다. 용접 이음부에 대한 성능 평가를 위한 용접 조건은 해양구조용 강재에 가장 보편적으로 사용되는 3.1kJ/mm 입열량의 SAW를 적용하였으며, 대입열용접 적용 가능성을 검토를 위하여 입열량을 13.0kJ/mm으로 증가시킨 SAW 용접부에 대해서도 평가하였다. 시험에 사용된 용접 재료는 AWS A5.17 F7A8-EH14 grade에 상당하는 인장 강도 490N/mm²급 SAW 용접 재료를 적용하였다.

3. 실험 결과

20°C 상온을 기준으로 할 때 30mm 두께를 가진 RCR강의 용접열영향부 저온 균열 발생 방지를 위한 예열은 생략할 수 있는 것으로 나타났다. Fig.1은 용접 입열량의 변화에 따른 냉각 시간의 차이에 의하여 나타나는 미시 조직 변태 특성을 파악하기 위하여 정리한 SH-CCT diagram이다. 가장 빠른 냉각 조건에서도 일부 bainite가 석출하는 것으로 관찰되었으며, grain boundary ferrite 변태는 $\Delta t_{800-500}=60\text{sec}$ 조건

에서부터 관찰되기 시작하였다.

용접이음부 특성중 13.0kJ/mm의 입열량을 적용한 SAW 용접부에 용접 입열량의 증가에 따라 용접열영향부 연화 현상이 관찰되었으나, 연화 폭이 작고 연화 영역의 경도 수준 또한 통상의 490N/mm²급 강재의 열영향부와 거의 유사한 수준으로서 용접 이음부의 강도 저하는 크게 나타나지 않을 것으로 예상할 수 있다. 즉 RCR 제조법으로 제조된 490N/mm²급 강재의 용접이음부 인장 시험 결과는 Table 3과 같이 나타나서 두 가지 용접 조건 모두 인장 강도와 항복 강도가 적용 대상 규격의 요구치를 충분히 만족시켰다. 따라서 본 시험에서 사용한 시험재 모두 구조 설계를 위한 강도 측면에서 충분한 기능을 가진 것으로 판단된다.

Fig.2는 두 가지 용접 조건에 대한 열영향부 충격인성을 관찰한 것으로서, 입열량 3.1kJ/mm 조건의 용접부 fusion line의 충격인성은 -20°C의 시험 온도에서 평균 211joule, -40°C에서는 평균 169joule로 나타났다. 또한 Fusion line의 충격 흡수 에너지 천이 온도는 약 -55°C 정도로 나타나고 있다. 이러한 충격인성은 EH36강은 물론 API-2W Gr.50강의 요구치까지도 충분히 만족시키는 매우 우수한 수준이다. 한편 13.0kJ/mm 입열량의 SAW 용접부 fusion line의 충격인성은 -20°C 시험 온도에서 평균 58joule, -40°C 시험 온도에서는 평균 65joule의 충격 값을 보이고 있어 3.1kJ/mm 입열량 조건의 충격인성에 비하여 크게 낮아지는 것으로 나타났으나, 일단 적용 대상 강종에 요구되는 규격 상의 요구치를 만족시키고 있다.

Fig.3은 RCR강 용접부에 대한 3점 굽힘 COD시험 결과로서, 두 가지 용접 조건 모두 3개의 시험편 중에서 2개는 clip gauge 변위 한계를 초과할 때까지 파괴 발생이 없었으며 1개의 시험편에서는 각각 0.667mm 및 0.624mm의 한계 CTOD값을 나타냈다. 이러한 값들은 기존의 해양 구조물에서 요구되었던 한계 CTOD값과 비교할 때 매우 양호한 수준으로 평가할 수 있으며, 따라서 13.0kJ/mm의 대입열용접에서도 취성 파괴 발생에 대한 저항성은 우수한 것으로 판단된다.

Table 1 Chemical compositions of materials used.

Grade (N/mm ²)	(wt.%)												
	C	Si	Mn	P	S	Sol-Al	Ni	Nb	Cu	Ti	N (ppm)	Ceq	Pcm
490	0.094	0.24	1.38	.019	.005	0.027	0.13	0.015	0.14	0.014	40	0.333	0.180

* Ceq = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 (%) [IIW]

* Pcm = C + Si/30 + (Mn+Cu+Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B (%)

Table 2 Mechanical properties of materials used.

Materials Used	Thick. (mm)	T.S (N/mm ²)	Y.S (N/mm ²)	El. (%)	vE _{40°C} (Joule)
API-2W Gr.50	-	490~640	355 ≤	20 ≤	41 ≤
RCR Steel	30	548.8	437.1	22	237.8

Table 3 Tensile properties of welded joint of materials used.

Materials	RCR Steel							
	3.1				13.0			
	1	2	3	Avg.	1	2	3	Avg.
T. S. (N/mm ²)	557	561	559	559	591	591	578	587
Y. S. (N/mm ²)	480	478	469	476	475	470	462	469

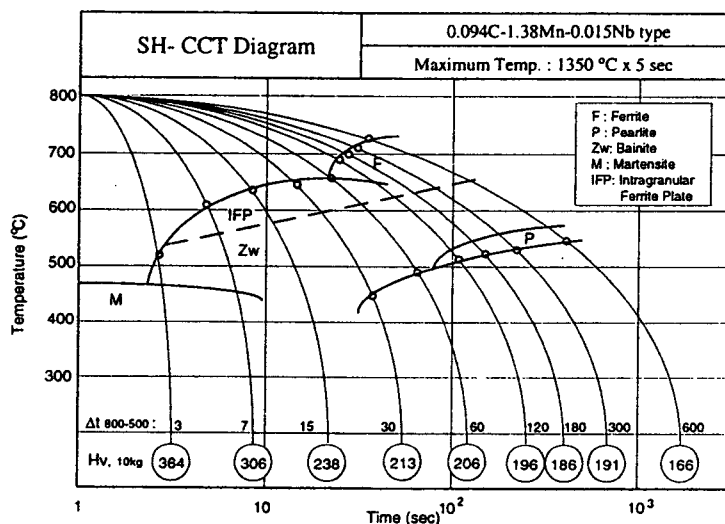


Fig.1 Synthetic heat affected zone-continuous cooling transformation diagram.

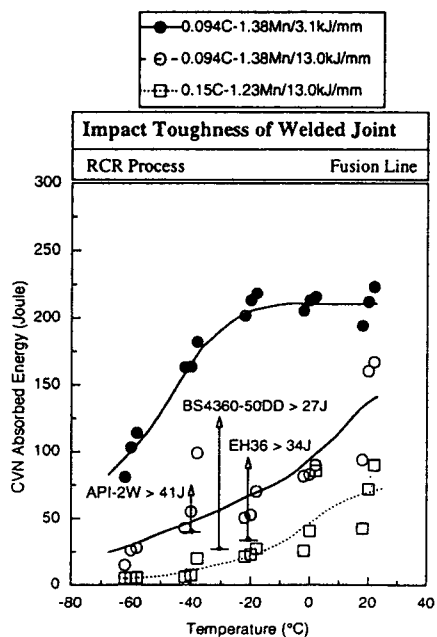


Fig.2 Comparison of impact toughness of fusion line in SAW welded joint.

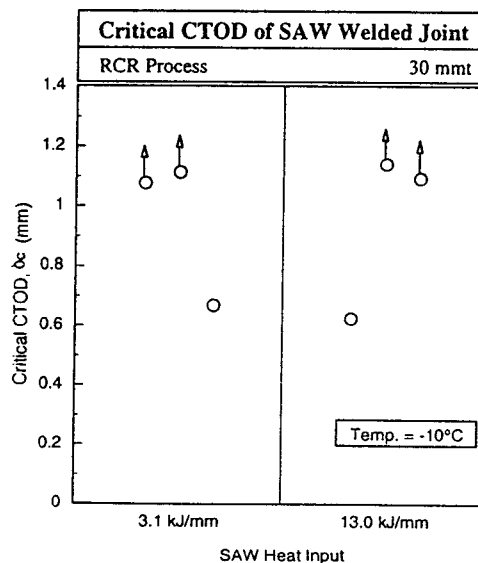


Fig.3 Critical CTOD values of SAW welded joint of RCR steel.