

TMCP강 용접부 파괴특성 연구

포항공과대학 이 성학, 김 병천
창원대학교 권 동일

일반적으로 TMCP(thermo-mechanical controlled process)강의 대입열 용접 후 열영향부(heat affected zone; HAZ)의 조직은 재료의 화학성분, 용접조건, 최고 가열온도 등 많은 인자의 영향을 받는다. 주로 HAZ의 조립역에서 생성되는 국부취화영역(local brittle zone; LBZ)은 소재, 용접조건에 따라 그 취화 정도와 생성량이 다르며, LBZ가 쉽게 생성되는 조건에서는 LBZ가 용접부 충격인성에 치명적인 영향을 미치게 된다. 이 부위의 파괴인성 확보 및 그의 정량적인 평가는 구조물의 안정성 측면에서 매우 중요하며, 선박, 기타 강구조물에 고장력강을 적용하는 경우에 반드시 검토되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 제조조건이 상이한 normalized강과 TMCP로 제조된 강을 비교 조사하여 용접 열영향부의 파괴인성에 영향을 미치는 미세조직학적 인자의 고찰과 용접부 취화 현상의 원인을 규명하였다.

Table 1. Chemical Composition of the HALA steels investigated. (wt.%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	Cu	Ni	Ceq	Supplier
N-Steel	0.13	0.40	1.43	.019	.001	.065	.017	.021	0.30	0.22	.41	POSCO
A-Steel	0.08	0.29	1.40	.008	.002	.035	.007	.014	—	—	.325	Sumitomo
B-Steel	0.15	0.29	1.08	.014	.006	.040	—	—	—	—	.342	POSCO
C-Steel	0.16	0.24	1.11	.015	.006	.043	.016	—	—	—	.355	POSCO
D-Steel	0.11	0.28	1.39	.018	.004	.030	.015	—	—	—	.353	POSCO

본 연구에 사용된 강재는 인장강도 50 kg/mm² 급 고장력강이며, 기본적인 강재의 조성 및 제조회사는 표 1에 나타나 있다. 편의상 normalized강은 N강, 그리고 4 가지 서로 상이한 조성을 가진 TMCP강을 각각 A, B, C, D강으로 표기하기로 한다. N강은 탄소당량이 0.41이고 입자를 미세화하기 위하여 Ti, Nb 등을 소량 첨가한 것이다. 가속냉각형 TMCP강인 A, B, C, D강은 낮은 탄소당량을 가지면서 제어압연 및 가속냉각에 의해 강도 및 성능을 확보한 강으로 A강은 결정립 미세화를 위하여 Nb를 소량 첨가한 강이며, B, C, D강은 Ti, Mn의 효과를 조사하기 위하여 조성을 변화시킨 강들이다.

다층 용접 열영향부의 조직들은 고주파유도가열방식에 의한 열cycle 재현장치(metal thermal cycle simulator; MTCS)를 이용하여 재현하였다. 열cycle 부여조건은 1차 최고가열온도(first peak temperature; T_p')를 1350 °C로부터 900 °C까지 변화시키며 급속가열을 한 다음 5 ~ 10 초간 그 온도에서 유지시키고, 800 °C에서 500 °C까지의 냉각시간(Δt_{cs})을 제어하였다. 용접 열재현부에 대한 충격시편은 용접 열cycle이 부가된 영역이 노치부 전체를 포함하도록 하고, -80 °C와 상온 사이의 온도범위에서 충격시험을 실시하였다. 용접재현 시편의 미세조직은 TEM과 광학현미경으로 관찰되었고, 특히 도상 마르텐사이트 조직의 관찰을 위하여 이단전해 에칭을 한 후 SEM으로 관찰하였다.

이상과 같은 실험방법으로 TMCP강 용접 열영향부의 파괴인성에 영향을 미치는 미세조직학적 인자들을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접 열영향부의 충격시험결과 전반적으로 N강이 가장 낮은 충격에너지값을 나타내며, TMCP강중에서는 B강, C강, D강 그리고 A강의 순으로 높은 인성을 보여 준다. Ti이 첨가되지 않은 B TMCP강은 낮은 인성값을 보이고 있는데, 이는 다른 TMCP강에 비하여 결정립이 크기 때문이다.
- 2) 모든 강종에서의 극부취화영역은 ($\alpha + \gamma$) 2상 영역으로 재가열된 결정립 조대화 열영향부 즉 ICRCG HAZ이며, 이 영역의 파괴인성은 도상 마르텐사이트의 양에 크게 영향을 받는다. 특히 A TMCP강은 전반적으로 가장 높은 인성값을 나타내지만, Nb의 첨가로 인하여 많은 양의 도상 마르텐사이트가 생성됨에 따라 ICRCG HAZ에서 급격하게 인성이 감소한다. 따라서 고장력강의 용접부 인성을 개선하기 위하여는 C, Nb 등의 함량을 줄임으로써 도상 마르텐사이트의 양을 감소시켜야 할 것이다.
- 3) B, C, D TMCP강의 ICRCG HAZ에서는 도상 마르텐사이트가 거의 없이 주로 upper 베이나이트와 함께 많은 양의 미세한 페라이트가 관찰되고, 이에 따라 2상 영역으로 재가열시에도 파괴인성은 급격하게 감소하지 않는다. 이는 N강보다 낮은 탄소당량과 경화능으로 인하여 비교적 느린 냉각속도 범위 즉 높은 입열량 범위에서는 탄화물로의 분해로 인한 도상 마르텐사이트 양이 크게 감소되기 때문이다.