

TMCP강 용접부의 파괴강도에 미치는 용접후 열처리 효과

- The Effect of PWHT on Fracture Strength in Weld Joint of TMCP Steel -

*유 호 선, 장 원 상 (전북대 대학원), 정 희 돈 (산기연),
유 대 영 (전주공전), 정 세 희 (전북대)

1. 서 론

열간제어 압연과 제어 냉각의 공정을 합리적으로 결합하여 압연 완료시에는 매우 우수한 재료 특성을 부여하는 새로운 제어압연 공법에 의해 제조된 TMCP(Thermo-Mechanical Control Process)강은 인성이 우수하고 낮은 탄소당량(C_{eq})에 의해 용접성이 우수하다. 그러나 이런 TMCP강제에 대한 대 입열 용접시 발생하는 용접 열영향부(Heat Affected Zone:HAZ)의 강도는 모재의 강도보다 훨씬 저하되는 연화현상이 발생된다. 이러한 TMCP 강제의 연화현상은 용접부의 구조강도를 저하시키게 되어 구조물의 안정성을 위협하게 되므로 이에 대한 평가가 요구 되어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 AH 36급 가속 냉각형 TMCP 강에 있어서의 SP시험법을 통해 용접 열영향부의 연화역에 대한 기계적 특성을 알아보고, 용접 후 열처리(Post Welded Heat Treatment:PWHT)를 행하여 용접부 각 조직에서의 인성의 변화를 as welded 조직과 비교 평가하여 TMCP강 용접부의 연화현상을 제거 할 수 있는지의 여부를 검토하였다. 또 TMCP강의 가속냉각 효과를 종래의 인장강도 50Kg 급 고장력강인 SM50YB강제와 비교하여 알아보았다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 두께 25mm의 AH36급 가속냉각형 TMCP강제와 SM50YB강으로 화학 성분 및 기계적 성질은 Table.1과 같으며, 또 TMCP강 용접부는 Table.2와 같은 조건으로 용접하였다.

SP 시험편은 확인된 용접부 조직에서 시험대상이 되는 미세조직 부위에서 SP 시험편의 규격인 10×10× 0.5mm 로 가공하였다. Fig.1은 SP시험에 사용된 장치를 나타낸 그림이다.

SP시험은 펀치 선단에 Hrc62-67의 경도를 갖는 강구를 개재시켜, 시험편의 상면에 부하속도(Cross Head Speed) 0.2 mm/min로 하중을 가하였다. 시험 온도는 -196℃~+20℃의 범위로 하였다.

SP에너지 Esp는 SP 시험법에 따라 하중-변위 곡선하의 면적으로 부터 구하였으

며, 또 SP에너지와 온도와의 의존곡선으로부터 연-취성전이온도 (Ductile Brittle Transition Temperature: DBTT_{sp})를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.2와 Fig3은 TMCP강의 가속냉각 효과를 알아보기 위해 TMCP강과 SM50YB강의 모재조직을 대상으로 S.T.L세 방향에 있어서 SP시험에 의한 방향의존성을 검토한 결과이다. 그림으로 부터 SP에너지 온도의존곡선은 SM50YB강의 경우에 S.T.L, TMCP강재의 경우 T.S.L 방향의 순으로 고온측으로 이동하고 있으나 SM50YB강에 비해 TMCP강재에 있어서는 각 방향에 따른 파괴강도치의 저하가 매우 적음을 알 수 있으며, 또한 TMCP강재의 경우 S,T,L방향의 SP에너지 온도의존곡선들은 그 값이 큰 차이를 보이지 않고 있어서 TMCP강의 가속 냉각효과의 우수성을 확인 할 수 있다. 이들 두 시험의 연-취성전이온도(DBTT)의 결과치들을 Table.3에 나타내었다. 각 방향에 따른 TMCP강의 (DBTT)_{sp}는 SM50YB강의 경우보다 월등히 저온측에 위치하고 있어 TMCP강의 가속냉각 효과의 우수성을 재 확인 할 수 있었다. 이는 TMCP강의 모재부위에서의 조직이 변태점 Ar₃ ~ Ar₁ 에서의 가속냉각효과에 의한 기지(matrix)에 ferrite의 핵 생성처를 증가시킴으로써 얻어지는 미세한 bainite조직으로 구성되어 있음에 기인 한다.

Fig.4는 가속냉각형 TMCP강 용접부에 있어서의 경도 분포이다. 그림으로 부터 용접열영향부의 연화현상을 확인 할 수 있었고, 그 연화폭 또한 거의 25mm이상 이었는데 이는 용접열에 의해 가속냉각효과가 소실되었음을 알 수 있다.

TMCP강 용접부의 각조직에 대한 SP 에너지를 시험온도에 대응시킨 SP에너지 온도의존곡선들을 Fig.5에 나타내었다. SP 에너지 온도의존곡선은 모재, HAZ, F.L, 용착금속의 순으로 고온측에 위치하고 있어서, 용접열사이클에 의해 용접부 각 조직의 파괴강도가 모재조직에 비해 저하하였음을 알 수 있다. 특히 HAZ의 경우 upper shelf 에서의 SP에너지값이 모재의 upper shelf 에서의 SP에너지 값에 비해 현저히 낮은 값을 보이고 있어서 HAZ에서의 연화현상에 의한 파괴강도의 저하가 나타나고 있음을 알 수 있다.

이같은 TMCP강 용접시 용접열에 의해 발생한 연화현상의 제거와 인성의 향상을 위해 PWHT를 실시하였다. 본 실험의 PWHT의 조건은 Table.4와 같으며, 850℃에서 1초수냉을 실시한 PWHT의 조건은 용접열에 의해 소실된 가속 냉각에 의한 기지강화 효과를 복원하기 위해서 TMCP강 제조 당시의 환경을 고려하여 설정하였다.

Fig.6은 앞서 설정한 여러 PWHT후 연화부의 경도 분포가 as received 상태의 모재 수준으로 회복되어진 600℃에서의 수냉, 720℃에서의 공냉, 850℃에서의 공냉과 1초 수냉시의 경도 분포이다. 이들의 열처리 조건에 따른 인성의 변화를 파악하기 위해 PWHT를 행한 용접부 각 조직에 대해 SP시험을 실시하여, 그들중에

서 850°C 1초수냉시의 SP에너지 온도의존곡선을 Fig. 7에 도시 하였고, Fig. 6의 열처리 조건들에서의 온도에 따른 SP시험 후 연-취성전이온도(DBTT_{SP})의 결과들을 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 각 PWHT 조건중 850°C 1초동안 수냉 후 공냉한 경우의 (DBTT)_{SP}거동은 각 조직에 있어 모재조직과 거의 같은 경향을 보이고 있어서 우수한 인성의 향상을 보이고 있으며, 모든 부위의 각 조직은 공히 미세한 bainite 조직이 얻어졌다.

4. 결론

1. SP 시험에 의해 TMCP강 모재조직의 각 방향에 따른 파괴강도치의 저하는 SM50YB강 보다 적게 나타났는데, 이는 TMCP강의 기계적 특성이 우수함을 입증하고 있다.
2. As welded의 용접부에 있어서 SP 에너지 온도의존곡선과 (DBTT)_{SP}의 결과로부터 모재에 비해 HAZ, Fusion Line, 용착급속 순으로 고온측으로 이동되었음을 알 수 있었고, 또 HAZ조직의 SP에너지 온도의존곡선에서 uppershef 에너지는 모재에 비해 월등히 낮아 HAZ부에서는 연화에 의한 낮은 강도치가 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.
3. 여러 PWHT 조건중 850°C 1초수냉한 용접부 각조직의 SP 연성-취성 전이 온도(Ductile-Brittle Transition Temperature : DBTT_{SP})가 as received의 모재조직 수준으로 향상되어져 PWHT에 의해 연화부의 회복이 가능함을 알았다.

(Table 1. Mechanical Properties and Chemical composition)

Mechanical Properties (room temperature)								
	σ_r (kgf/mm ²)	σ_{TMS} (kgf/mm ²)	Elongation(%)					
TMCP	38	52	26					
SM50YB	45	57	25					

Chemical composition (Wt %)								
	C	Si	Mn	P	S	Al	V	Ti
SM50YB	0.17	0.34	1.2	0.016	0.008	0.042	0.048	-
TMCP	0.15	0.25	1.1	0.016	0.003	0.035	-	0.018

(Table 3. Ductile-Brittle Transition Temperature by SP test and COO test in TMCP and SM50YB steels)

Steel	orientation	(DBTT) _{SP} , °C	(DBTT) _{COO} , °C
SM50YB	S/LS	-174	-152
	T/LT	-155	-125
	L/TL	-147	-150
TMCP	S/LS	-190	-156
	T/LT	-190	-155
	L/TL	-182	-150

(Table 2. Welding Condition)

	Heat Input (kJ/cm)	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (cm/min)
TMCP	80	930	36	25

(Table 4. PWHT Condition)

시편	가열속도	가열온도	유지시간	냉각방법
A1, B1 A2, B2	480°C/hr	600°C	1/4hr	공냉 연속 수냉
A4, B4 A5, B5	480°C/hr	720°C	1/4hr	공냉 연속 수냉
A7, B7	480°C/hr	850°C	1/4hr	공냉
A9, B9	"	"	"	연속 수냉
A10, B10	"	"	"	1초간 수냉

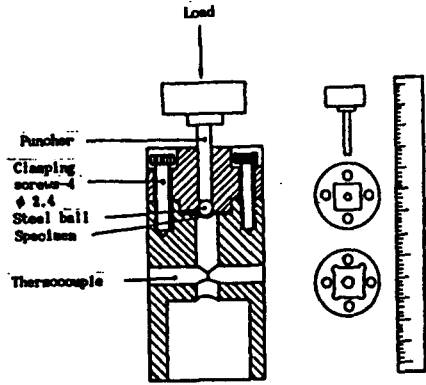


Fig.1 Schematic diagram of SP test.

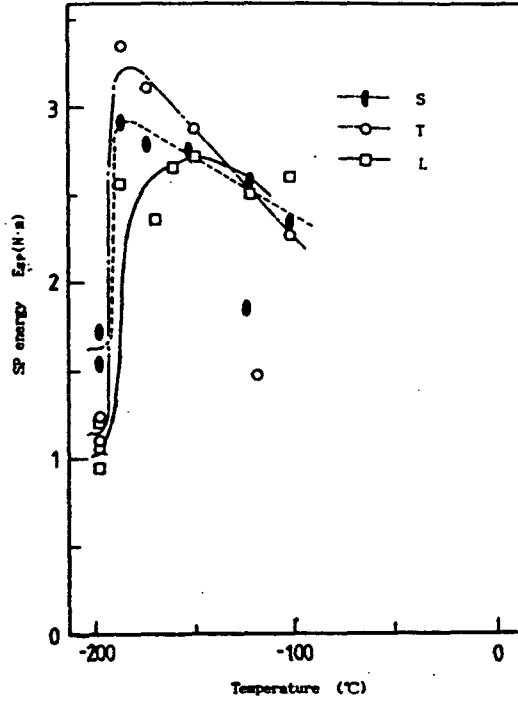


Fig.3 SP energy transition behavior as a function of test temperature for TMCP parent material tested in three perpendicular directions.

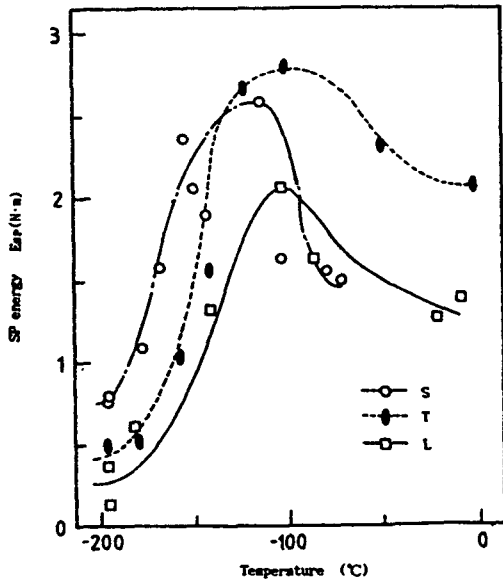


Fig.2 SP energy transition behavior as a function of test temperature for SM50YB parent material tested in three perpendicular directions.

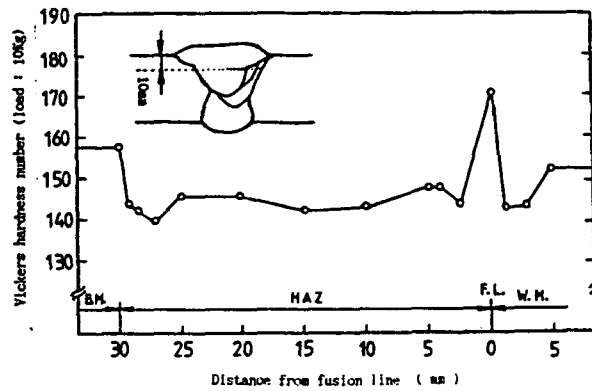


Fig.4 Vickers hardness distribution of weld joint in TMCP steel.

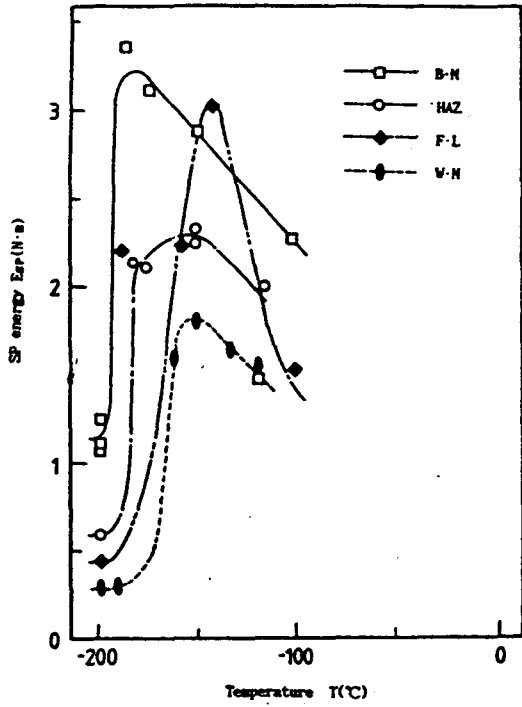


Fig. 5 SP energy transition behavior for weld joint in TMCP steel.

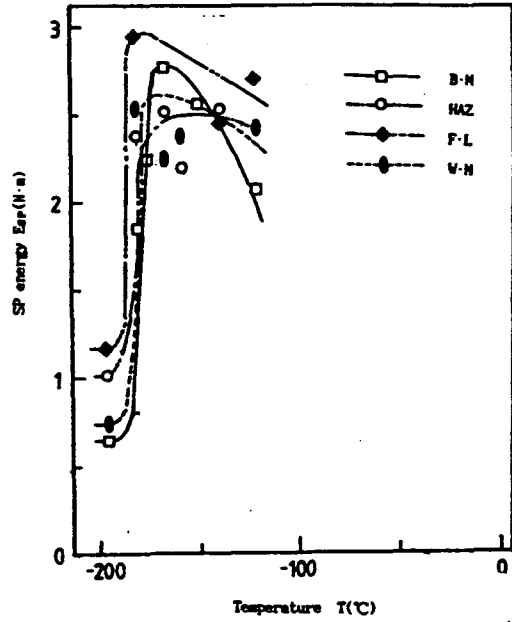


Fig. 7 SP energy transition behavior for weld joint in TMCP steel after PWHT. (1sec. water cooling, holding time at 850°C:15min).

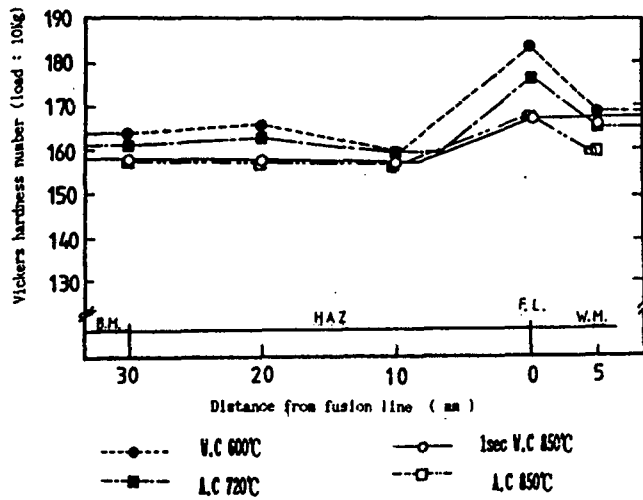


Fig. 6 Vickers hardness distribution after PWHT in weld joint of TMCP steel.

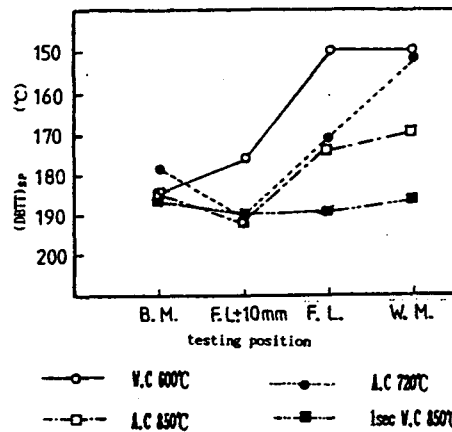


Fig. 8 SP energy Ductile-Brittle Transition Temperature (DBTT)_{sp} of weld joint in TMCP steel after PWHT.