

50kg/mm²급 TMCP강의 용접특성에 미치는 Ti 및 N의 영향

(Effects of Ti and N contents on welding characteristics
in 50kg/mm² grade TMCP steels)

산업과기연 용접연구센타 한재광* 이종섭 장래옹
포항제철(주) 품질관리부 곽정균

서 론 강재의 특성은 제조공정과 합금원소의 첨가에 따라 크게 좌우되며, 특히 용접에의 해 제조공정에서 얻어질 수 있는 효과가 크게 손상을 받게 되므로, 합금원소의 첨가양상이 강재의 용접특성에 미치는 영향은 매우 크다. 강중에 함유되는 원소들의 영향은 매우 복잡하여 그 야금학적 거동이 아직 불분명한 부분이 많으며, 그 중에서도 일반 탄소강 제조시에 항상 하향 관리되고 있는 N은 타 합금원소와의 반응효과와 함께 그 거동의 해석이 매우 어렵다. 또한 Ti는 강력한 질화물 생성원소로서 강중에 첨가되면 TiN을 생성하여, 용접부 인성에 유해한 고용 N의 저감 효과를 나타내기 때문에 강재의 용접특성과 밀접한 관계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 용접부 인성 개선의 관점에서 Ti의 첨가효과를 검토하였으며, Ti과 N함량이 용접부 인성 및 조직에 미치는 영향을 분석하여 50kg/mm²급 TMCP강의 용접부 인성을 최대로 할 수 있는 Ti/N비의 적정 범위를 도출하고자 하였다.

실험 방법 Table 1은 사용한 시험강재의 화학조성 및 기계적 성질을 나타낸 것으로, 시험재는 시판의 조선용 TMCP강인 AH32판재로 Ti와 N의 함량이 각각 다른 5강종을 선택하였다.

Ti 및 N의 변화에 따른 용접부의 충격특성 및 조직변화를 조사하기 위해서 열 cycle재현 시험을 행하였다. 재현시험 조건은 시험편을 1350°C로 가열하여 5초간 유지한 후, 550°C/sec의 냉각속도로 800°C까지 냉각하여 800°C에서 500°C까지의 변태온도구간의 냉각 시간($\Delta t_{8/5}$)을 5.5, 40, 140, 400sec로 4수준 변화시켰다. 이 각각의 냉각속도는 본 시험에서의 목표 입열량인 17, 45, 100, 180kJ/cm²에 상당하는 것이다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of materials used

mark	Chemical compositions(wt.%)					Mechanical properties			
	C	Si	Mn	Ti	N(ppm)	YP(kg/mm ²)	TS(kg/mm ²)	E1(*)	vE-20(J)
A	0.15	0.25	1.10	0.019	44	41.0	54.3	20	160
B	0.16	0.26	1.04	0.017	30	41.9	54.4	21	181
C	0.16	0.22	1.04	0.012	46	38.7	51.9	24	172
D	0.15	0.25	1.08	0.014	62	38.3	51.8	26	175
E	0.15	0.26	1.10	0.018	55	39.4	52.3	25	183

실험 결과 및 고찰 시험재의 모재 특성은 Table 1에서 나타낸 바와 같이 Ti, N의 함량이나 Ti/N비에 따른 재질상의 차이는 크지 않다. 그러나 용접열cycle재현HAZ의 경우에는 모재와 상이하여 Ti 및 N과 Ti/N비의 변화에 따라 충격인성 값이 큰 차이를 보인다.

Fig. 1~6은 Ti 및 N의 함량과 Ti/N비에 따른 시험강재의 충격인성 변화를 나타낸 것으로서 Fig. 1, 3, 5는 모재의 충격인성 변화를 나타낸 것이며, Fig. 2, 4, 6은 $\Delta t_{8/5}=400\text{sec}$ 로 하여 대입열용접을 재현한 경우의 충격인성 변화를 나타낸 것이다. Fig. 1, 2는 N함량이 44ppm, 46ppm으로 비슷하고 Ti함량이 0.019%와 0.012%로 시험재 중 가장 큰 차이를 보이고 있는 두 강재의 충격인성을 비교한 것으로, 모재의 경우에서는 차이가 뚜렷하지 않은데 반해서 재현 HAZ에서는 Ti함량이 낮은 경우에 충격인성 값이 크게 나타나고 있다. 한편 Ti함량이 0.018%, 0.017%로 비슷하고 N함량이 각각 30ppm, 55ppm인 강재의 충격인성을 나타낸 Fig. 3, 4에서도 모재의 경우에는 충격인성이 전온도 구간에서 유사하게 나타나고 있으나, 재현HAZ의 충격인성은 현저한 차이를 보이고 있다. 즉 N함량이 많을 경우에 높은 충격 값을 나타내고 있다. Fig. 5, 6은 Ti/N비가 5.67로 가장 큰 강재와 2.26으로 가장 작은 강재의 충격 시험 결과를 나타낸 것으로서, 전술한 결과와 마찬가지로 재현HAZ의 충격인성에서만 현저한 차이를 보이고 있으며, Ti/N비가 클 때 보다는 작을 때에 충격치가 높은 값을 나타내고 있다.

위의 결과를 종합해보면, Ti/N비가 크거나 Ti함량이 많은 경우 보다는 Ti/N비가 작거나 N함량이 많은 경우에 높은 충격인성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 Ti/N비가 크거나 Ti함량이 많은 경우는 그 반대의 경우보다 고용Ti가 증가하여 강재의 소입성이 향상되므로, 용접 열cycle후 낮은 냉각속도에서도 취성이 큰 입계 ferrite와 상부 bainite의 혼합조직이 생성되기 때문이라고 생각된다. 한편 투과전자현미경 관찰결과, TiN은 용접입열량이 증가함에 따라 그 크기가 급격히 커짐이 확인되어 입열량 180kJ/cm정도의 대입열 용접에서는 충격인성에 아무런 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다.

일반적인 현상과 달리 N함량이 많은 경우에 높은 HAZ 충격인성을 나타내는 이유는, TiN을 형성한 후 잔류 N은 강중에 0.035%정도 함유되어 있는 Al과 반응하여 질화물을 형성할 수 있기 때문에 고용되는 N이 적어지기 때문이라고 볼 수 있다.

Ti가 첨가된 50kg/mm²급 TMCP강의 생산관리 범위 내에서는 N함량이 많을수록 대입열 용접열영향부에서의 충격인성이 높게 나타났으며, 통상적으로 제강시에 얻어지는 N의 함량에서는 Ti의 첨가량이 0.015%보다 작은 경우가 HAZ의 인성 개선에 효율적이라고 할 수 있다.

- 결론
1. 시험대상 범위내에서 Ti/N비는 작을수록 높은 HAZ충격인성을 나타내었으며, Ti/N비의 적정 범위는 2.2 ~ 2.6 이다.
 2. 대입열 용접부 HAZ의 인성은 TiN보다는 Ti와 N의 unbalance에의한 고용원소에의해서 더 큰 영향을 받는다.

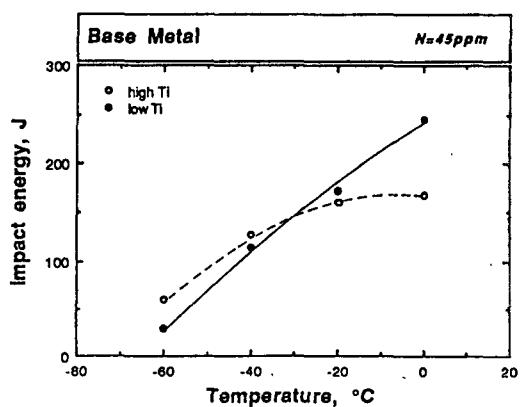


Fig.1 Charpy impact energies of base metal of the steel A and C

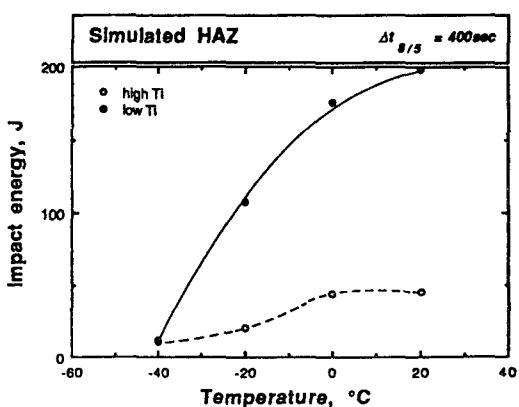


Fig.2 Charpy impact energies of simulated HAZ of the steel A and C

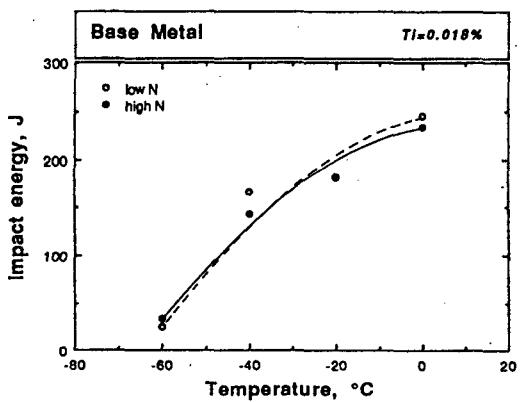


Fig.3 Charpy impact energies of base metal of the steel B and E

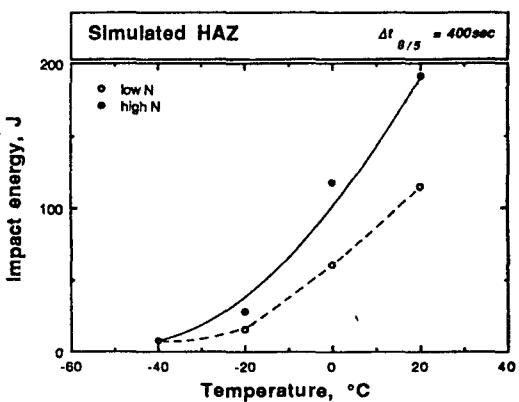


Fig.4 Charpy impact energies of simulated HAZ of the steel B and E

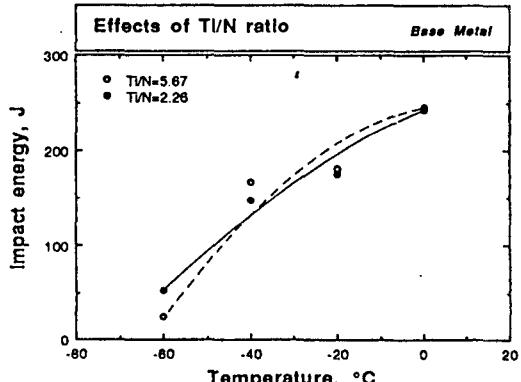


Fig.5 Charpy impact energies of base metal of the steel B and D

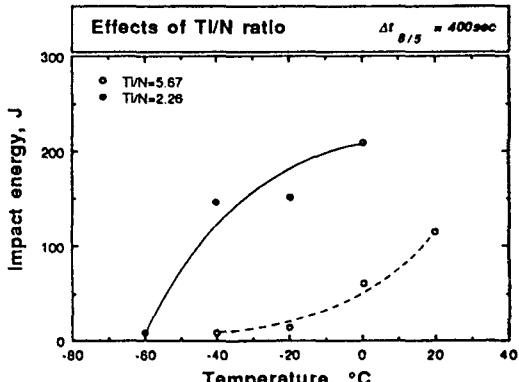


Fig.6 Charpy impact energies of simulated HAZ of the steel B and D