

600MPa급 Ti-B계 QT강의 용접부 미세조직과 인성

HAZ Microstructures and Toughness of Ti-B Bearing 600MPa QT Steel Plates

장 응성*, 소 문섭**

* 포항산업과학연구원 접합가공연구팀, 경북 포항시

** 포항종합제철 품질기술부, 경북 포항시

1. 서론

최근 저장탱크, 압력용기 등 용접구조물의 대형화, 경량화 추세에 따라서 고장력강의 적용 비율이 점차 확대되고 있으나 강재의 강도 수준이 높아질수록 용접부 인성의 저하나 용접시 균열 발생의 위험이 증대되는 문제를 수반하게 된다. 이러한 추세에 따라 국내에서도 1980년대 후반부터 담금질과 뜨임(Quenching & Tempering, 이하 QT) 공정에 의해 생산되는 인장강도 600MPa급 이상 고장력강판의 용접성을 개선시키기 위한 일련의 연구개발 및 현장적용시험이 진행되어 왔으며 특히 미량합금원소인 Ti, B 등의 효과를 극대화하는 재료설계 사상을 도입하여 모재의 기계적 성질을 일정 수준으로 유지하면서 용접성을 현저히 개선시키는 방안을 집중적으로 검토하였다. 따라서 본 연구는 인장강도 600MPa급 QT강(JIS SPV490급)을 대상으로 실험실적 강재를 이용하여 모재 및 용접부 인성에 미치는 미량합금원소, 특히 Ti, B, 및 N의 영향을 조사하고 이들의 최적 활용조건을 종합적으로 정리하였다.

2. 실험방법

Table 1 및 2는 모재 및 용접부 인성에 미치는 미량합금원소의 영향을 조사하기 위해 Ti 및 B를 복합첨가하고 강재의 C_{eq} 수준을 변화시킨 합금계(Table 1)와 일정 수준의 C_{eq} 수준을 유지하면서 Ti, B 첨가 조건을 변화시킨 합금계(Table 2)의 화학성분을 나타낸다. 용해작업은 진공유도용해로를 이용하였으며 열간압연 및 열처리하는 통상의 인장강도 600MPa급 고장력강의 현장 제조조건에 따랐다. 즉, 열간압연은 슬래브를 1150°C로 가열하여 Austenitizing한 후 재결정온도 이상에서 압연을 마무리하여 공냉한 후 930°C로 재가열하여 15°C/sec의 냉각속도로 담금질하고 650°C에서 60분 뜨임처리를 행하였다.

미량원소 첨가조건에 따른 용접부 조직 변태특성과 기계적성질의 관련성을 검토하기 위해 용접열사이클 재현장치(Metal Thermal Cycle Simulator, 이하 MTCS)를 이용하여 단층 조립역 열영향부를 재현한 후 미세조직 관찰과 충격인성 평가를 실시하였다. 이 때 용접열사이클은 최고 가열온도를 1350°C로 하고 800°C에서 500°C까지의 냉각시간(이하 $\Delta t_{8/5}$)을 5초에서 150초 범위에서 다양하게 변화시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

용접부 취화방지를 위한 지금까지의 강 제조방법은 강재의 강도수준에 따라서 구분할 수 있다. 우선 500MPa급 이하의 고장력강은 모재 및 용접부에 요구되는 강도 수준이 비교적 낮으므로 최근 개발된 가공열처리 기술을 적용하여 강도를 확보하고 저C, 저 C_{eq} (또는 저 P_{cm})화와 동시에 Ti, REM, B 등의 석출물 형성원소를 활용하여 고능률용접시 페라이트 주체의 조직변태 및 결정립 미세화를 도모한다. 이에 비해 800MPa급 이상의 고장력강의 경우 모재의 강도확보와 용접

부 인성 향상을 위해서는 극미량 첨가된 B의 경화성을 극대화하고 경화성원소를 일정 수준이상으로 첨가하여 담금질과 뜨임 처리에 의해 적절한 강도와 인성의 조화를 이루고 용접부 조직은 모재의 담금질조직과 마찬가지로 마르텐사이트 또는 하부베이나이트와 같은 저온변태조직이 형성되도록 설계되어야 한다. 한편 상기 두 강종에 비해 인장강도 600MPa급 고장력강의 경우 800MPa급 강재와 같이 QT처리에 의해 제조되므로 적절한 경화성이 모재 열처리 시에 확보되어야 하며 이 강재의 용접시 800MPa급 강재에서와 같이 경화성을 증대시켜 용접부 인성을 얻기 위해서는 지나친 합금성분의 첨가가 불가피해지므로 용접시 균열감수성이 급격히 높아지고 동시에 강의 경제적 제조 측면에서도 매우 불리해진다. 따라서 이 경우 용접부 인성 향상 대책은 오히려 500MPa급 강재에 적용되는 조직변태 및 결정립 미세화 효과를 활용하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 이러한 관점에서 Ti, B를 복합 첨가한 실험실적 제조 강에 있어서 적정 경화성 수준을 강의 Ceq값을 기준으로 평가하였다.

고농률용접시 취화정도를 평가하는 용접부 인성은 C보다 강화원소들의 영향이 크게 반영된 Ceq값과 양호한 상관관계를 나타내며 지금까지는 용접성 개선을 위해 Ceq값 상한만을 규제하여 왔으나 저온균열감수성과는 달리 용접부 인성은 Fig. 1에 나타난바와 같이 0.32% 미만이나 0.38% 초과시 급격한 취화현상이 발생하므로 적정 수준을 유지하는 것이 필요하다. 이러한 적정 Ceq수준은 통상의 인장강도 600MPa급 고장력강의 Ceq 수준인 0.40~0.45%에 비해 매우 낮은 값으로서 Ti-B 복합첨가에 의해 용접부 인성 개선과 함께 통상강에 비해 용접시 발생 가능한 저온균열에 대한 저항능이 훨씬 높아질 수 있음을 알 수 있다.

이와 같이 설정된 적정 Ceq 수준을 유지한 강에 있어서 Ti, B 첨가 효과를 극대화하기 위한 조건을 주로 Ti, B, N 함량을 변화시켜 Ti/N 및 B/N비의 영향을 검토하였다. Fig. 2에 나타난바와 같이 Ti/N비의 경우 Ti/N비가 증가할수록 용접부 저온 인성이 저하됨을 알 수 있다. 본 실험재와 같이 Ti를 B와 복합 첨가시 지금까지 Ti 단독 첨가에 의해 조직미세화를 도모하는 강재에 적용되는 적정 첨가기준인 Ti/N=3.4(Ti와 N의 화학양론적비)에 비해 매우 낮은 수준에서 Ti 첨가 효과가 높게 나타남을 알 수 있다.

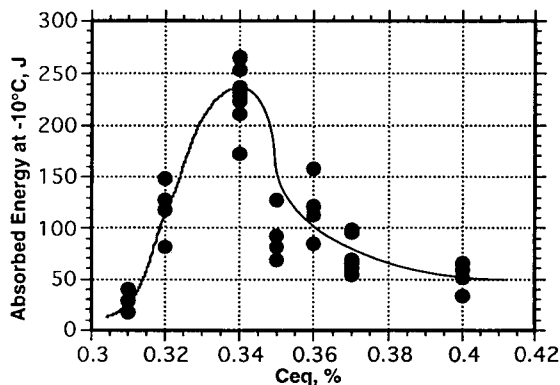


Figure 1 Optimum Ceq range for obtaining good HAZ toughness of 600MPa QT Steels

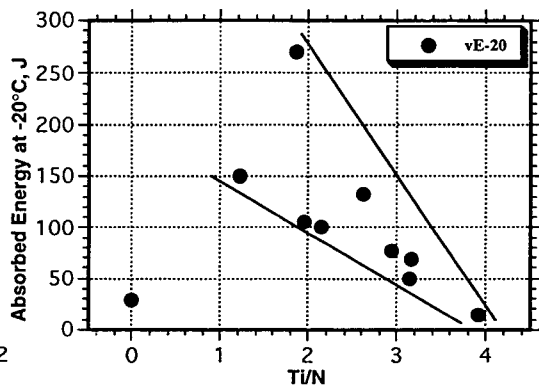


Figure 2 Effect of Ti/N on HAZ Toughness of 600MPa QT Steels

Table 1 Chemical compositions of Ti-B type QT steels with different Ceq values

Steel	C	Si	Mn	Cu	Ni	Mo	V	Al	Ceq*	Pcm**
1	0.08	0.24	1.35	-	-	0.13	0.045	0.06	0.35	0.18
2	0.10	0.24	1.43	-	-	0.11	0.044	0.07	0.37	0.20
3	0.12	0.24	1.39	-	-	0.13	0.045	0.06	0.40	0.23
4	0.10	0.23	1.17	0.16	0.21	-	-	0.06	0.31	0.19
5	0.10	0.24	1.36	0.16	0.20	-	-	0.07	0.34	0.20
6	0.10	0.23	1.54	0.17	0.20	-	-	0.07	0.37	0.21
7	0.09	0.23	1.34	0.16	-	-	0.040	0.07	0.32	0.19
8	0.09	0.24	1.36	0.17	-	0.12	-	0.07	0.36	0.19
9	0.09	0.24	1.40	-	0.20	-	0.044	0.07	0.34	0.19

Base Compositions: 0.014Ti-0.0020B-0.0060N

Table 2 Chemical compositions of Ti-B type QT steels with different Ti/N ratio.

Steel	Al	Ti	B	N	Ti/N	Ceq*	Pcm**
H1	0.04	0.014	0.0011	0.0110	1.27	0.35	0.20
H2	0.04	0.016	0.0012	0.0087	1.84	0.34	0.20
H2	0.04	0.016	0.0011	0.0112	1.43	0.35	0.20
H4	0.04	0.015	0.0011	0.0112	1.34	0.35	0.20
M1	0.05	0.005	0.0013	0.0040	1.25	0.34	0.20
M2	0.04	0.012	0.0012	0.0065	1.85	0.34	0.20
M3	0.04	0.013	0.0012	0.0109	1.19	0.34	0.20
M4	0.04	0.016	0.0012	0.0087	1.84	0.34	0.20
M5	0.04	0.021	0.0011	0.0112	1.88	0.34	0.20
M6	0.07	0.022	0.0013	0.0067	3.28	0.34	0.20
M7	0.04	0.021	0.0012	0.0135	1.56	0.34	0.20

Base Compositions: 0.10C-0.30Si-1.40Mn-0.15Cu-0.20Ni-0.04V

$$*Ceq(WES) = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$$

$$**Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B(\%)$$