

## 고장력강 용접열영향부 소입성에 미치는 Boron 영향의 특이성

Peculiarity of the Effect of Boron on the Hardenability  
of HAZ in High-Strength steels

산업과학기술연구소 방국수\* 안영호 이종봉

### 1. 서론

소입성 증대 원소의 하나인 B은 Ti, Al 등 강력한 질화물형성 원소들과 함께 첨가되면 소입 온도에서 소입성을 결정하는 soluble B의 량이 이들 원소의 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 Ti, Al 등과 복합첨가시 소입성에 미치는 B의 영향을 열역학적 평형을 가정한 모델을 사용하여 해석하였고, 특히 용접열영향부에서의 영향을 모재에서의 영향과 비교하여 그 특이성에 대하여 고찰하였다.

### 2. 실험방법

실험에 사용한 강재는 진공용해한 총 11종류의 인장강도 60kg/mm<sup>2</sup>급 강으로서 Table 1에 화학성분을 나타내었다. 구조된 강괴는 1200°C로 재가열하여 950°C에서 두께 15mm로 마무리 압연한 후 920°C에서 소입속도 8°C/s~46°C/s로 직접소입처리 (Direct Quenching)를 하였다. 압연된 강재는 640°C에서 소려처리를 한 후 ASTM E8 sub-size 인장시험편과 표준 Charpy 충격 시험편을 채취하여 모재의 기계적시험에 사용하였다. 용접부는 용접열싸이클 재현장치를 이용하여 충격시험에 최고가열온도 1350°C로 가열한 후 800°C~500°C 냉각시간을 92초로 냉각하여 용접열영향부를 재현하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

모재의 충격인성에 미치는 강재의 total B량과 소입속도의 영향을 Figure 1에 나타내었는데 뚜렷한 경향을 나타내고 있지 않아 소입처리시 소입성을 지배하는 B의 영향은 단순히 강 total B량에 의존하지 않음을 보여주고 있다. 따라서 B 첨가강에서 소입성을 예측하기 위하여서는 total B가 아닌 소입온도에서 유효한 soluble B의 량을 알 필요가 있다. 하지만 이때 또 다른 질화물 형성원소들인 Ti, Al이 동시에 첨가되면 소입에 유효한 B은 이들 원소의 영향을 받을 것임을 예측할 수 있다. 따라서 이들 원소 복합첨가시의 유효한 soluble B의 량을 Ti-Al-B-N 4원계의 열역학적 평형을 가정하여 계산하였다. Figure 2에 모재의 충격인성에 미치는 소입온도에서의 soluble B의 량과 소입속도의 영향을 나타내었다. Figure 1과는 달리 충격인성은 뚜렷한 경향을 보여주고 있는데 흡수에너지가 100~150J인 영역, 20~80J인 영역 그리고 200~250J인 세 영역으로 대별되어진다. 각각의 영역은 페라이트와 퍼얼라이트가 주체인 조직, 베이나이트가 주체인 조직 그리고 마르텐사이트가 주체인 조직을 나타낸다. 따라서 Ti-Al-B-N 4원계 강재의 소입성은 열역학적인 평형을 가정하여 계산한 soluble B량에 의하여 예측 가능함을 나타내고 있다.

용접열영향부에서의 소입성을 예측하기 위하여 최고가열온도 1350°C에서의 soluble B의 량과 충격 흡수에너지의 관계를 조사한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 모재에서의 결과와는 달리 흡수에너지는 soluble B의 량과 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않고 있다. Figure 4에는 최고가열온도에서의 soluble B와 soluble N의 비와 흡수에너지의 변화를 나타내었는데 아주 양호한 상관관계를 나타내고 있다. 조직검사 결과 [B]/[N]이 0.2 이하의 경우에는 페라이트와 퍼얼라이트 주체의 조직이, 그 이상에서는 베이나이트 주체의 조직을 나타내고 있어 용접열영향부, 특히 본드부에 상응하는 온도로 가열된 부분의 소입성은 모재와 달리 단순히 그 온도에서의 soluble B의 량에 의하지 않고 soluble N의 영향을 함께 받음을 나타내고 있다.

#### 4. 결론

Ti-Al-B-N계의 강에서 소입성은 열역학적 평형을 가정하여 계산한 소입온도에서의 soluble B으로 예측 가능하다. 하지만 최고가열온도 1350°C로 가열되는 용접열영향부의 소입성은 단순히 soluble B 뿐만 아니라 soluble N에 의하여 영향을 받아 소입성은 [B]/[N]의 비로써 결정되어 진다.

Table 1. Chemical composition of steels used (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Ni	Mo	V	Ti	B	N
0.06	0.3	1.4	0.01	0.006	0.3	0.023	0.3	0.04	0.013	0.0015	0.0020	
0.08	0.3	1.4	0.01	0.006		0.028	0.3	0.01	0.012	0.0013	0.0034	
0.06	0.3	1.4	0.01	0.006		0.023	0.3	0.3	0.04	0.013	0.0016	0.0062
0.08	0.3	1.4	0.01	0.006		0.023	0.3	0.3	0.04	0.012	0.0013	0.0054
0.06	0.3	1.4	0.01	0.006		0.023	0.3	0.3	0.04	0.013	0.0006	0.0088
0.07	0.3	1.4	0.01	0.006		0.033	0.3	0.3	0.04	0.012	0.0018	0.0140
0.05	0.3	1.4	0.01	0.006	0.3	0.040	0.3	0.04	0.014	0.0018	0.0049	
0.06	0.3	1.4	0.01	0.005		0.027	0.3	0.3	0.04	0.014	0.0014	0.0062
0.06	0.3	1.4	0.01	0.004		0.030	0.3	0.3	0.04	0.014	0.0005	0.0092
0.06	0.3	1.4	0.01	0.004		0.025	0.3	0.3	0.04	0.014	0.0020	0.0064
0.06	0.3	1.4	0.01	0.004		0.024	0.3	0.3	0.04	0.013		0.0082

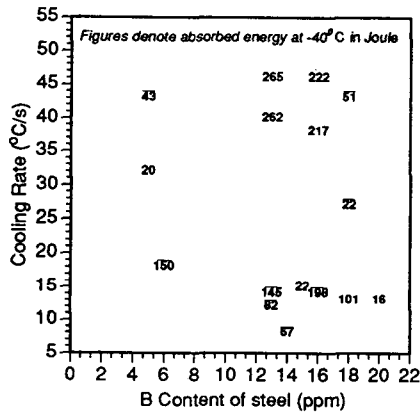


Fig. 1 Charpy impact absorbed energy change with boron content of steel and cooling rate

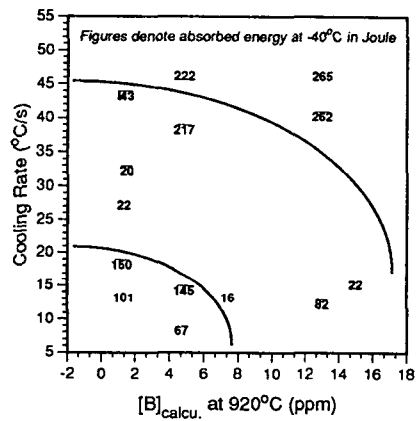


Fig. 2 Charpy impact absorbed energy change with soluble boron content at quenching temperature and cooling rate

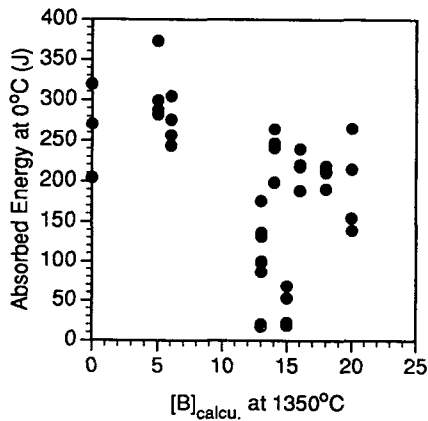


Fig. 3 Variation of Charpy impact absorbed energy of HAZ with soluble boron content at peak temperature.

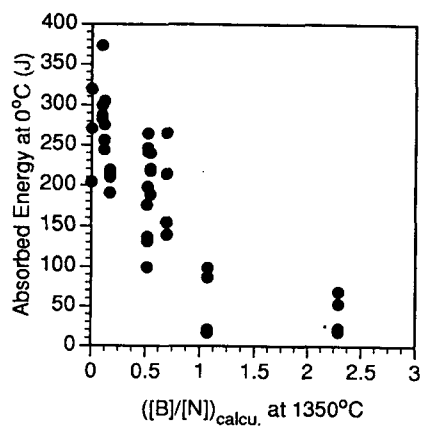


Fig. 4 Variation of Charpy impact absorbed energy of HAZ with [B]/[N] ratio at peak temperature.