

조립 열영향부 인성에 미치는 질소의 영향

Effect of Nitrogen content on the HAZ toughness

김 병철, 방 국수
부경대학교 재료공학부

1. 서론

현재 국내외에서 연강의 성분만으로 인장강도 800MPa급을 가지는 미세립 구조용 고강도 강 (이하 세립강)의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 세립강을 용접하게 되면 조립 열영향부에서의 오스테나이트 결정립 조대화 및 상부베이나이트의 성장으로 인해 인성이 급격하게 저하하여 강 구조물의 안전성에 문제가 된다. 조립 HAZ 인성개선에 대해 소량의 Ti를 첨가하여 TiN을 형성시키면 HAZ의 결정립 조대화 방지와 페라이트 변태 촉진으로 인성이 상당히 개선되는 것으로 알려져 있다.¹⁾

본 연구에서는 Ti를 미량 첨가한 세립강에 질소의 양을 변화시켜 조립 HAZ 인성에 미치는 TiN의 영향을 조직개선의 효과와 고용질소의 효과로 종합하여 해석해 보았다.

2. 실험방법

시험재는 0.1C-1.5Mn-0.01Ti-(0.0002~0.0011)B를 기본성분으로 N을 30~240ppm으로 변화시켜 진공용해/압연한 두께 12mm로 제조된 강으로 Table 1에 화학조성을 나타내었다. 석출물의 종류와 분포를 확인하기 위하여 추출 레플리카를 이용한 STEM관찰을 행하였다. 석출물의 정량분석은 정전위 전해법 (SPEED)으로 TiN, AlN, BN을 추출분리한 후 유도결합 플라즈마 원자방출분광법 (ICP-AES)으로 행하였다. 추출분리를 위한 전해액은 10%AA- 1%TMAC-MeOH 용액을 사용하였다.

HAZ 충격인성 시험은 최고가열온도 1100~1400°C, 800에서 500°C까지의 냉각시간 (Δt) 60s로 HAZ를 재현한 후 폭 7.5mm의 subsize Charpy V-notch 충격시험편을 가공하여 -20°C에서 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Ti 첨가에 의한 TiN 석출물의 형성을 관찰하기 위하여 A, B, C 세 강종을 선택하여 STEM 관찰 결과 모든 시험재는 TiN, AlN 등의 석출물이 존재하였다. 전해추출에 의한 정량분석 결과 N이 증가할수록 석출량이 증가하며 100ppm 이상의 경우 첨가된 Ti는 100% 모두, Al은 10~40%가 각각의 질화물을 형성하고 있음을 나타내었다.

Table 2에 최고가열온도에 따른 재현 HAZ 충격시험 결과를 나타내었다. 1100°C 경우 168~191J을 나타내어 모재보다 높으나 1350, 1400°C 경우에는 모재보다 낮은 강이 존재한다. 흡수에너지와 조직과의 연관성을 조사한 결과 흡수에너지의 변화는 조직과 일치하지 않고, 1350, 1400°C에서 다른 강들에 비해 베이나이트를 다량 함유하고 있는 A, E4가 오히려 높은 인성을 나타내었다. 강 중에 존재하는 질소의 영향을 알아보기 위해 Fig. 1에 1350°C의 흡수энер지를 질소량의 변화에 따라 나타내었다. 전 강종에서 흡수에너지는 조직에 상관없이 질소의 증가에 비례하여 저하하고 있음을 나타낸다.

각 조건으로 재현한 HAZ에서 석출물을 정량분석 한 후 모재와 비교하여 용접에 의한 석출물의 용해를 조사한 결과 TiN의 경우 1100°C에서는 용해가 일어나지 않으나 1350, 1400°C에서 강종에 따라 10~50%가 용해되었다. 따라서 고온으로 가열되는 HAZ의 인성을 해석하기 위해서는 조직과 동시에 soluble N의 영향을 고려할 필요가 있다.

Fig. 2에 R. Habu 등이²⁾ Al-B 복합첨가강 재가열소입 시 사용한 soluble B의 열역학적 예측모델을 근간으로 본 시험재에서 AlN, TiN, BN 등의 석출/용해를 예측하였다. 각 강종을 최고가열온도 1100~1400°C로 가열한 경우의 TiN으로서의 Ti의 계산값과 측정값을 비교한 결과 그림에서 보는 바와 같이 두 값은 거의 일치하여 본 모델이 HAZ의 석출/용해 예측에 적용 가능함을 나타낸다.

한편 B는 냉각과정 중 BN을 석출하여 최고가열온도에서 soluble N 중 냉각과정에 B에 의해 고정되는 질소를 제외한 것만이 인성에 유해하다. 고온에서 용해된 B가 모두 BN으로 재석출한다고 가정

하면 인성에 악영향을 미치는 유효 고용질소는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Effective [M] = [M]_{total} - \frac{14}{10.8} [B]_{total}$$

Fig. 3에 이렇게 계산한 유효 고용질소량에 따른 흡수에너지 변화를 나타내었다.

이상 검토결과 Ti-B 첨가강 HAZ 인성은 TiN에 의한 오스테나이트 결정립 성장 억제 및 페라이트 변태 촉진과 같은 조직적인 요인과 고온에서 용해되어 존재하는 고용질소의 요인이 함께 영향을 미친다고 생각된다. TiN 효과와 고용질소 효과를 비교하기 위하여 최고가열온도에서 흡수에너지 변화를 다중회귀분석한 결과는 다음과 같다.

$$v E_{-20} (J) = 152 + 472 \times Insol. Ti - 6520 \times [M]_{effective}$$

식에서 보는 바와 같이 본 실험에서는 TiN의 조직적인 영향보다 고용질소의 영향이 훨씬 큼을 알 수 있다. Fig. 4에 상기 식을 사용하여 계산한 값과 측정된 값을 비교하여 나타내었다.

4. 결론

1) HAZ 고용질소는 평형 열역학모델을 이용하여 계산 가능하며, 냉각과정 중 BN의 재석출을 고려한 경우 다음과 같이 주어진다.

$$Effective [M] = [M]_{total} - \frac{14}{10.8} [B]_{total}$$

2) 다중 회귀분석결과 HAZ 인성은 TiN에 의한 조직개선 효과보다 고용질소에 의한 기지 취화 효과가 더욱 커 1350℃의 경우 다음 식으로 주어진다.

$$v E_{-20} (J) = 152 + 472 \times Insol. Ti - 6520 \times [M]_{effective}$$

5. 참고문헌

- 1) Y. Kasamatsu *et al*, *Tetsu-to-Hagane*, 65(1979) 1232
- 2) R. Habu *et al.*, *Tetsu-to-Hagane*, 60(1974), 1470174

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

steel	C	Mn	Al	Ti	B	N
A	0.11	1.49	0.031	0.013	0.0002	0.0030
B	0.11	1.51	0.044	0.015	0.0005	0.0100
C	0.12	1.53	0.045	0.016	0.0011	0.0140
E1	0.09	1.51	0.035	0.015	0.0005	0.0200
E2	0.09	1.51	0.042	0.015	0.0004	0.0240
E3	0.09	1.50	0.041	0.011	-	0.0140
E4	0.10	1.51	0.018	0.009	-	0.0046
E5	0.10	1.47	0.027	0.009	-	0.0100

Table 2. Comparison of impact absorbed energy of HAZ. (J)

	P _T , 1400 °C	P _T , 1350 °C	P _T , 1100 °C	Base metal
A	157.4	153.4	191.6	130
B	104.1	156.2	175.8	109
C	129.8	124.3	168.1	113
E1	64.8	88.4	-	115
E2	37.7	50.6	-	120
E3	73.3	108.4	-	105
E4	129.3	150.1	-	141
E5	92.0	124.6	-	140

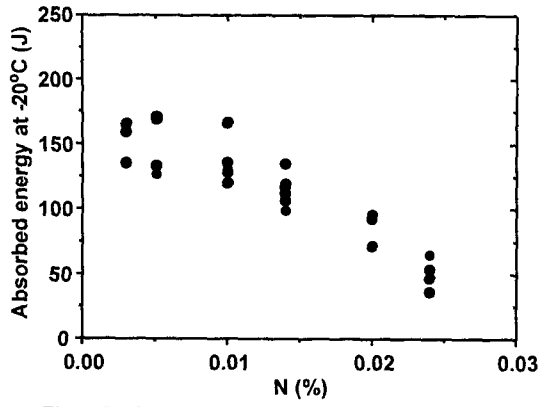


Fig. 1. Variation of impact absorbed energy of HAZ with calculated effective soluble nitrogen. (peak temperature, 1350°C)

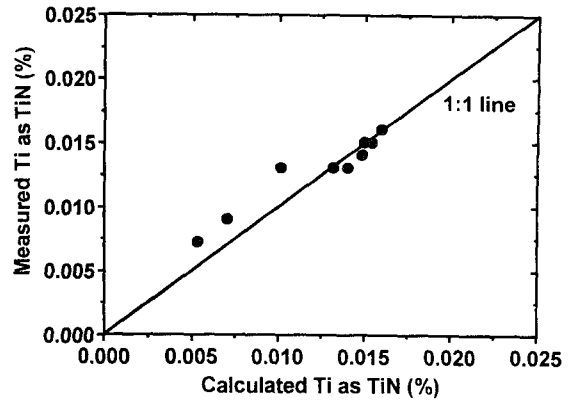


Fig. 2. Comparison between calculated and measured amount of Ti as TiN.

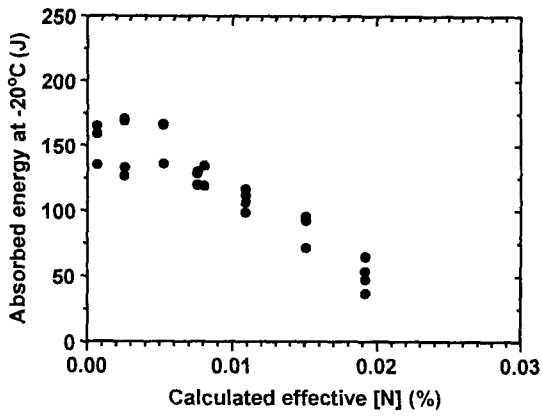


Fig. 3. Variation of impact absorbed energy of HAZ with calculated effective soluble nitrogen. (peak temperature, 1350°C)

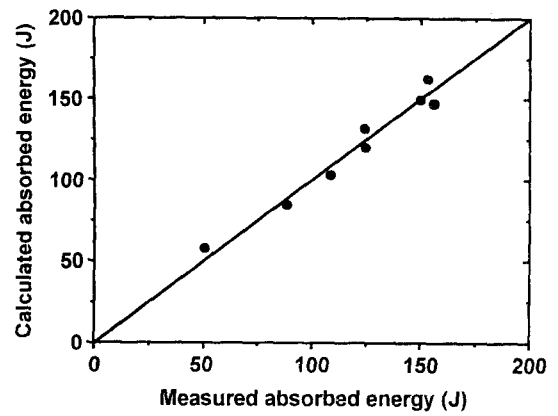


Fig. 4. Comparison of calculated and measured impact absorbed energy. (peak temperature, 1350°C)