

저탄소강 용접열영향부에서의 M-A상 분포와 항복비의 상관관계

Correlation between M-A constituent and yield ratio in low carbon steel weld HAZ

이윤기*, 문준오*, 주성민**, 장웅성**, 이창희*

*한양대학교 신소재공학부

** 포항산업과학연구원 용접센터

1. 서 론

건축 구조용 강관재의 경우 높은 항복강도와 인장 강도 및 낮은 항복비를 요구 한다. 이에 적합하게 설계된 모재에도 불구하고 용접 공정 중에 발생하는 용접 열영향부는 모재의 기계적 특성을 저하시킨다는 많은 연구 결과가 보고되고있다.⁽¹⁾ 그동안의 연구는 ICCGHAZ (Intercritical Coarse Grained Heat Affected Zone) 에서의 충격인성에 미치는 M-A 상이 주를 이루었다. 그러나 M-A 상이 항복비에 미치는 영향에 관한 연구는 아직 미비하다.^(2,3)

따라서 본 연구에서는 M-A 상이 항복 강도와 인장 강도, 항복비에 각각 미치는 영향을 알아보기 위하여 ICCGHAZ의 second cycle의 peak temperature를 달리하여 M-A 상을 제어하였고 각 조건에 대한 기계적 특성 평가를 실시하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 구조용 강관재로 개발된 저탄소 합금강을 이용하였으며, 합금의 화학 성분은 Table 1 과 같다.

Table 1 Chemical composition of experimental steel (w%)

| C | Si | Mn | S | P | Other elements | Ceq |
|------|------|------|------|-------|-------------------|------|
| 0.04 | 0.15 | 1.55 | 0.01 | 0.005 | Ni, Cr, Mo, Ti, B | 0.36 |

ICCGHAZ의 재현을 위하여 DSI사의 Gleeble-1500을 이용하여 Fig. 1과 같이 열처리를 하였다. M-A 상 관찰을 위하여 2단 전해 에칭을 실시하였으며, SEM을 통하여 미세조직을

관찰하였으며, image analyzer를 사용하여 M-A 상의 크기와 분율을 측정하였다. 전해 에칭 조건은 다음의 Table 2와 같다.

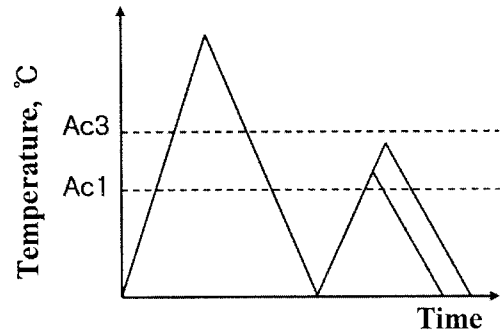


Fig. 1 Schematic illustration of the heat treatments.

Table 2 2-stage electrolytic etching method^[4]

| | |
|---------|---|
| 1 stage | Solution A : Na ₂ S ₂ O ₅ 1g + distilled water |
| | Solution B : picric acid 4g + 100ml ethanol • 1:1 proportion of mixing just before etching |
| 2 stage | NaOH 25g + picric acid 5g + distilled water 100ml |

인장강도의 경우 ZWICK 사의 UTM을 사용하여 측정하였으며, 0.2% offset을 통하여 항복강도를 구하였다.

3. 실험결과

3.1 항복비

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 Base metal 에 비하여 CGHAZ에서의 항복비는 증가하였는데 이는 인장강도와 항복강도가 모두 증가하였기 때문이다. 이는 빠른 냉각 속도로 인해 생성되는 경질상인 베이나이트와 마르텐사이트 등의 저온 상 때문으로

로 판단된다.

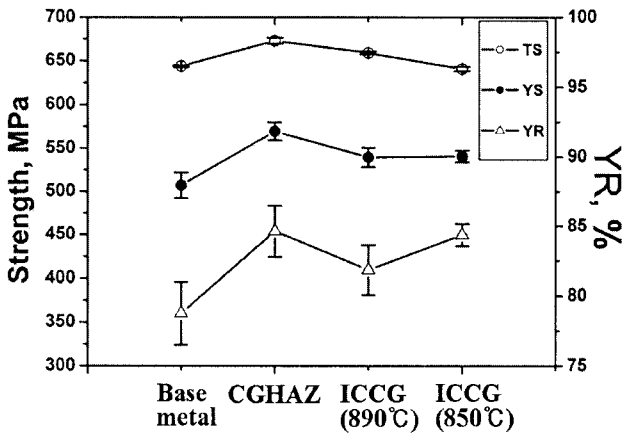


Fig. 2 Mechanical properties of HAZ

850°C ICCGHAZ와 890°C ICCGHAZ의 경우도 모재에 비하여 항복비가 증가한 것을 볼 수 있다. 그러나 890°C ICCGHAZ에 비하여 850°C ICCGHAZ에서 항복비가 더 큰 것을 알 수 있다. 특히 두 ICCGHAZ의 경우 항복강도는 거의 같은데 비하여 890°C ICCGHAZ의 인장강도가 높아 항복강도가 낮음을 알 수 있다.

3.2 인장강도

인장강도와 항복강도에 각각 미치는 M-A 상의 영향을 알아보기 위하여 앞서 M-A 상을 조절한 850°C ICCGHAZ와 890°C ICCGHAZ의 M-A 상의 분포형태를 Table 1과 Fig. 3에 나타내었다.

Table 3 Distribution of M-A constituent in the ICCGHAZ

| second peak Temp.(°C) | 분율(%) | Size(μm) |
|-----------------------|-------|----------|
| 850 | 11.1 | 2.4 |
| 890 | 9.9 | 1.4 |

인장강도는 850°C ICCGHAZ에 비하여 890°C ICCGHAZ에서 증가하였는데 주변의 Matrix에 비하여 경질상인 M-A상이 hard second phase로 작용한 것으로 예상된다. M-A 상의 precipitation hardening 효과를 알아보기 위하여 Orowan eq.에 대입해보면⁽⁵⁾,

$$\tau = \frac{G \cdot b}{\lambda}$$

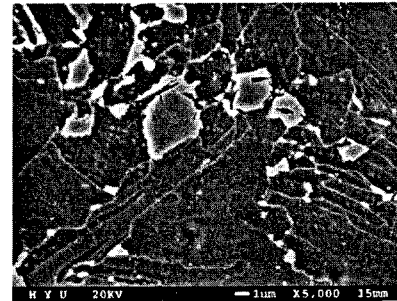
(1)

G는 matrix의 shear modulus 이고 b는 Burgers

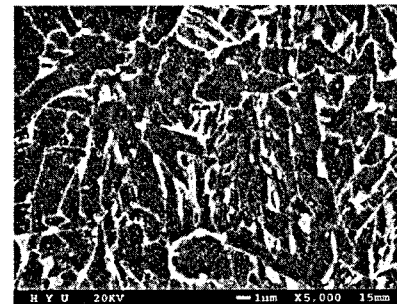
vector이다. 여기서 Interparticle spacing λ 는⁽⁶⁾

$$\lambda = \frac{4(1-f) \cdot r}{3f} \quad (2)$$

여기서 f와 r은 precipitate volume fraction과 precipitate size이며 식 (2)를 이용해서 식 (1)의 $1/\lambda$ 를 계산하면 890°C의 $1/\lambda$ 은 $0.06\mu\text{m}^{-1}$ 로써 850°C의 $1/\lambda$ 은 $0.04\mu\text{m}^{-1}$ 에 비하여 인장강도를 증가 시킴을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 3 The distribution of M-A constituent in ICCGHAZ
(a) ICCGHAZ (850°C) (b) ICCGHAZ (890°C)

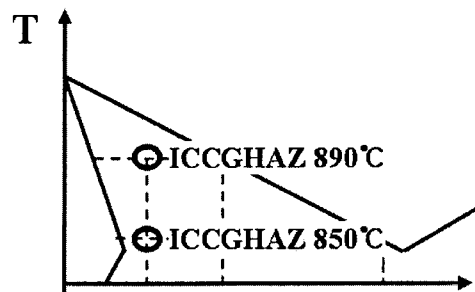


Fig. 4 Phase diagram of inter critical region

잘 알려진 바와 같이 M-A 상의 형성은 CGHAZ를 경험한 후 이상영역으로의 급격한 가열로 인하여 탄소와 망간 등이 불완전한 재분배를 하게 된다. 이들 원소가 집적된 부분에서 오스테나이트에서 페라이트로의 변태가 억제되고 이후 이상영역보다 저온에서 M-A상이 형성된다. 따라서 M-A 상의 형성에 관계되는 인자는 M-A 상으로 변태 가능한 오스테나이트의 분율과 탄소, 망간

등의 diffusion이 좌우하게 된다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 890°C ICCGHAZ의 경우 850°C ICCGHAZ에 비하여 오스테나이트 자체의 분율은 높으나 850°C 보다 고온으로 탄소, 망간 등의 diffusion이 활발하여 생성되는 M-A상의 분율은 850°C와 비교하여 비슷하거나 오히려 적은 것으로 관찰되었다. 또한 오스테나이트 자체의 높은 분율로 인하여 850°C에 비하여 그 size가 작은 M-A상이 넓게 분포함을 Fig. 3에서 알 수 있다.

3.3 항복 강도

연질 상의 모재에 경한 2차상이 생성될 경우 그 주변부에 생성된 dislocation이 항복강도를 낮추고 그 2차상의 분율에 항복강도는 의존한다고 보고되고 있다. (2,7,8,9,10)

실험 결과에서는 항복강도는 ICCGHAZ에서 peak Temp.에 관계없이 큰 차이를 보이지 않았다.

본 연구에서는 M-A 상이 경한 2차상으로 작용해 dislocation 밀도를 증가시킨 것으로 판단된다. 하지만 Table 3에서 알 수 있듯이 M-A상의 분율은 second peak Temp.에 따라 큰 차이를 보이지 않고 항복강도 역시 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 second peak Temp.의 변화에 따라 M-A상의 분율이 거의 변하지 않았기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

1) ICCGHAZ에서 인장강도의 경우 M-A 상의 분율 뿐 아니라 그 크기와 distribution에 의한 precipitation hardening에 의해 결정된다.

2) 항복강도의 경우 M-A 상에 의해 생성되는 dislocation에 의하여 감소하게 되고, 이는 M-A 상의 분율에 의해 결정된다.

3) ICCGHAZ의 항복비의 경우 second peak가 고온일 때 M-A상의 분율 대비 distribution이 좋아 인장강도의 증가로 인해 항복비가 낮게 나타났다.

후 기

본 연구는 산업 자원부 “중기거점 기술개발사업”의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Fukuhisa Matsuda, Yasuto Fukada, Hitoshi Okada, Chiaki Shiga, Kenji Ikeuchi, Yukuhiko Horii, Toyooki Shiwaku and Shinichi Suzuki: Transactions of JWRI 24(1) (1995), 1-24
2. Nobuo SHIKANAI, Hiroyuki KAGAWA and Masayoshi KURIHARA : ISIJ International, Vol.32 (1992), No. 3, 335-342
3. Y. M. KIM, S. K. KIM, Y. J. LIM and N. J. KIM : ISIJ International, Vol. 42 (2002), No. 12, 1571-1577
4. F. S. Lepera: Metallography 12 (1979), 263-268
5. E. Orowan : Symposium on International Stresses, Inst. of Metal, London (1947), 451
6. M. Y. Liu, J. Shi, C. Wang, S. K. Ji, X. Cai and H.W. Song, Mater. Lett. 57 (2003), 2798
7. N. J. Kim, G. Thomson : Metallurgical Transactions A, Vol. 12A (1981), 483-489
8. J. Daigne, M. Guttman and J. P. Naylor : Materials Science and Engineering, 56 (1982), 1-10
9. Z. Li and D. Wu, Materials Science and Engineering A, 452-453 (2007), 142-148
10. P.C.M. Rodrigues, E.V. Pereloma and D.B. Santos : Materials Science and Engineering A, 283 (2000), 136-143