

2상 스테인리스강의 용접 응고균열 감수성에 미치는 N 및 Mo의 영향

Effect of Nitrogen and Molybdenum on Weld Solidification Crack Susceptibility in Duplex Stainless Steel

산업과학기술연구소 이 종봉*, 안 상곤, 한 재광

1. 서론

내식성을 저하시키지 않고 용접 응고균열 감수성만이 낮은 2상 스테인리스강 (STS)의 개발을 위해, SUS329J2L의 조성을 기본 성분계로 하고 N 및 Mo함유량을 변화시킨 재료에 대하여 응고균열 감수성 및 내식성에 대한 검토를 행했다.

2. 실험방법

사용한 재료는 진공용해후 단조, 압연하여 제조한 두께 3mm의 시험재 11종과 시판의 2상 STS 모재로서, 이들의 화학조성 및 용접후 상온에서 잔류하는 Ferrite (δ)량을 Table 1에 나타냈다.

응고균열 감수성의 평가에는 소형의 Trans-Varestraint 시험기를 이용했다. 부가 변형량은 2.0%로 하고, Bead 표면에 발생한 최대균열 길이 및 총균열 길이를 측정했다.

내식성은 공식전위의 측정으로 평가했으며, 시험용액은 0.5M NaCl 수용액으로서 용액온도는 353K로 했다.

3. 실험결과

먼저 N함유량을 저감시켰을 때, δ / γ 의 비가 거의 일정하도록 Ni함유량을 증가시킨 경우의 응고균열 감수성을 검토했다. Fig. 1은 이러한 Group II 재료의

Trans-Varestraint 시험후의 Bead 외관을 나타낸 것으로, 모든 시험편에서 응고균열만을 볼 수 있고 연성 저하균열은 발생하지 않았다. 또 N함유량의 저하와 함께 균열수의 감소뿐만 아니라 그 길이도 작아짐을 볼 수 있다. 동시에 균열 폭도 작아짐에 따라 균열의 형성에 필요한 최저 연성치도 높음을 알 수 있다. Fig. 2는 이러한 시험편 및 상Balance를 고려하지 않고 N함유량만을 변화시킨 Group I의 시험편에 대한 최대균열 길이 및 총균열 길이의 변화를 나타낸 것으로, N함유량의 감소에 따라 이들 균열 길이는 감소함을 알 수 있다.

저N화에 따른 내식성의 저하는 Mo함유량을 증가시켜 보완하고자 했다. 따라서 N함유량을 약 0.03%로 저감시킨 재료를 기준으로 Mo함유량을 증가시킨 Group III 시험재에 대해 먼저 응고균열 감수성을 조사했다. Fig. 3은 이들에 대한 Trans-Varestraint 시험후의 Bead 외관을 나타낸 것으로, 응고균열수, 길이 및 폭이 Mo함유량과 거의 무관하게 일정함을 볼 수 있다. Fig. 4는 이 시험편들의 최대균열 길이 및 총균열 길이를 정리한 것이다. 즉 이들은 Mo함유량이 약 4.5%까지는 거의 일정치를 보이지만, Mo함유량이 5.0%정도로 되면 조금 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 따라서 저N재료에 있어서 약 4.5%까지의 Mo 첨가는 응고균열 감수성에 거의 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

한편 Fig. 5에 나타낸 바와 같이, N함유량을 약 0.03%로 일정하게 하고 Mo함유량을 증가시킨 재료의 용접금속에서는, Mo함유량의 증가와 함께 공식전위가 명확히 상승하고 있다. 또 사용한 범위의 N 및 Mo함유량에 대한 공식 전위는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 Pitting Index에 대하여 양호한 상관성을 가지고 있다.

이상의 결과들로부터 Mo은 내공식성의 향상에 극히 유효하고, 또 저N재료도 Mo함유량을 약 4.5~5.0%로 증가시킴으로써, 시판의 2상 STS의 용접금속과 동일한 정도의 내식성을 갖도록 하는 것이 가능함을 알았다. 즉 내식성의 저하없이 응고균열 감수성도 낮은 2상 STS는, N함유량을 약 0.03%로 저감시킴과 동시에 약 4.0~4.5%의 Mo를 첨가시킴으로써 가능하다고 판단된다.

Table 1 Chemical compositions and ferrite contents of tentative and commercial duplex stainless steels used

| Tentative material | | Chemical composition (wt.%) | | | | | | | | | | Ferrite ^a |
|--------------------|------|-----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----------------------|
| Group | Mark | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | O | N | (%) |
| I | VA1 | 0.003 | 0.48 | 1.53 | 0.022 | 0.001 | 22.07 | 5.47 | 2.93 | 0.009 | 0.002 | 100 |
| | VA2 | 0.002 | 0.47 | 1.54 | 0.022 | 0.002 | 22.32 | 5.54 | 3.07 | 0.011 | 0.03 | 100 |
| | VA3 | 0.005 | 0.47 | 1.53 | 0.021 | 0.002 | 22.32 | 5.49 | 2.98 | 0.011 | 0.14 | 78 |
| II | VB1 | 0.018 | 0.55 | 1.23 | 0.025 | 0.002 | 23.97 | 10.35 | 3.04 | 0.014 | 0.002 | 89 |
| | VB2 | 0.020 | 0.53 | 1.22 | 0.019 | 0.002 | 23.75 | 9.01 | 2.85 | 0.011 | 0.03 | 88 |
| | VB3 | 0.020 | 0.53 | 1.18 | 0.020 | 0.001 | 24.03 | 5.75 | 2.84 | 0.011 | 0.17 | 84 |
| | VB4 | 0.023 | 0.53 | 1.22 | 0.019 | 0.002 | 24.05 | 1.22 | 2.78 | 0.009 | 0.29 | 86 |
| III | VC1 | 0.019 | 0.52 | 1.23 | 0.021 | 0.001 | 23.84 | 9.26 | 3.51 | 0.012 | 0.029 | 89 |
| | VC2 | 0.023 | 0.54 | 1.18 | 0.020 | 0.001 | 23.89 | 9.09 | 3.90 | 0.014 | 0.031 | 92 |
| | VC3 | 0.021 | 0.50 | 1.20 | 0.019 | 0.003 | 23.48 | 8.93 | 4.30 | 0.011 | 0.027 | 94 |
| | VC4 | 0.019 | 0.56 | 1.25 | 0.019 | 0.003 | 24.23 | 9.22 | 4.93 | 0.015 | 0.029 | 97 |

I : 22Cr-5.5Ni-3Mo-N, II : 24Cr-Ni-3Mo-N, III : 24Cr-9Ni-Mo-0.03N

| Commercial material | | Chemical composition (wt.%) | | | | | | | | | | Ferrite ^a |
|---------------------|--------------|-----------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|--------------------|------|----------------------|
| Group | Mark | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | O | N | (%) |
| | SUS329J2L(A) | 0.011 | 0.65 | 0.87 | 0.026 | 0.001 | 24.95 | 7.28 | 3.23 | Cu:0.49 W:0.032 | 0.13 | 75 |

^a : After GTA welding (Point count method : ASTM E562)

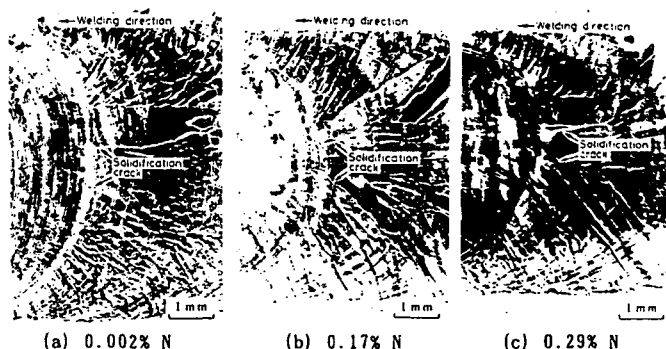


Fig.1 Typical appearance of cracks on surface of Group II material after Trans-Varestraint test

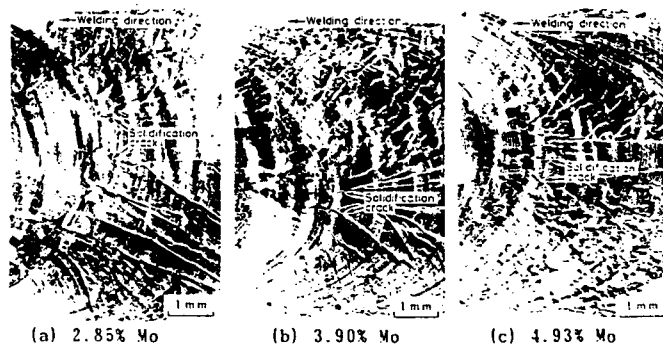


Fig.3 Typical appearance of cracks on surface of Group III material after Trans-Varestraint test

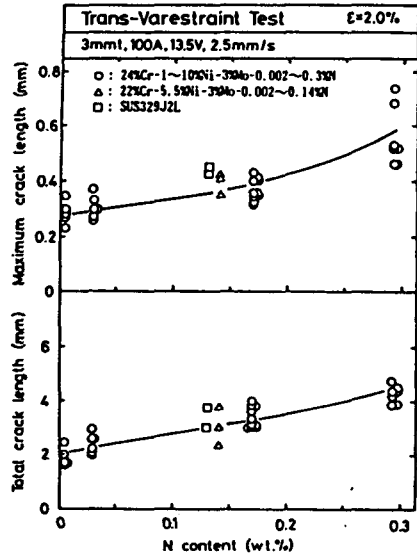


Fig. 2 Effect of N content on maximum and total crack lengths

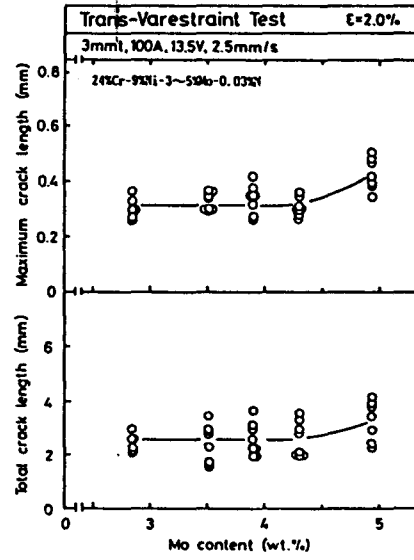


Fig. 4 Effect of Mo content on maximum and total crack lengths

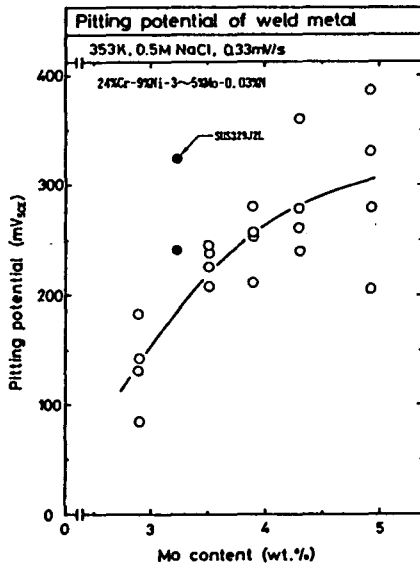


Fig. 5 Effect of Mo content on pitting potential

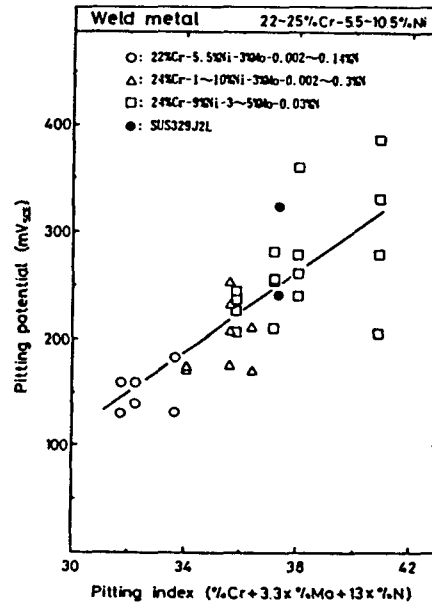


Fig. 6 Relation between Pitting Index and pitting potential for tentative weld metals