

수퍼 이상 스테인리스강 용접부의 최적 열간 성형온도
및 용체화 열처리 온도에 관한 연구
(Study on the optimum hot forming temperature and solution heat
treatment temperature for the super duplex stainless steel weld)

지 춘호*, 최 준태**, 김 대순***

* 현대 중공업 용접연구실

** 현대 중공업 용접연구실

*** 현대 중공업 용접연구실

ABSTRACT In order to establish the optimum hot forming temperature and solution heat treatment temperature for 25% chromium super duplex stainless steel weld, a commercial 25%Cr-10%Ni-4%Mo weld metal for super duplex stainless steel(UNS S32750) with different solution heat treatment conditions at 1100°C, 1050°C, 1025°C and 1000°C for 1.5 hours has been investigated by means of optical metallography, and estimated mechanical properties.

It is found that exposure to elevated temperatures at 1050°C, 1025°C and 1000°C except 1100°C brings partial decomposition of ferrite to austenite and sigma phase, which deteriorates their properties and heat treatment at 1100°C shows acceptable mechanical properties.

1. 서 론

이상 스테인리스강(Duplex stainless steel)은 전통적으로 사용되고 있는 300시리즈 오스테나이트계 스테인리스강(Austenite stainless steel)에 비해 기계적 성질이 우수하고, Cl 분위기에서 응력부식균열(Stress corrosion cracking) 및 공식(Pitting corrosion)에 대한 저항성이 우수하여 해양구조물, 화학 플랜트 분야에 있어 그 사용량이 점차 증가되고 있는 추세이다.

일반적으로 해양구조물에 적용되고 있는 이상 스테인리스강은 22%Cr-5%Ni (UNS S31803)계 범용 이상스테인리스 강과 25%Cr-7%Ni (UNS S32750, S32760)계 수퍼 이상 스테인리스강으로 구분되며, 25%Cr계 수퍼 스테인리스강에는 모재에 비하여 Ni함량이 높은 25%Cr-10%Ni계 용접재료가 적용되고 있다.

지금까지 알려진 바에 의하면 이상 스테인리스강이 고온에 노출될 경우 준안정(Metastable) 상태의 페라이트가 이차 오스테나이트(Secondary austenite)와 시그마(Sigma) 상으로 분해되며, 이러한 시그마 상 석출이 용접부의 인성 및 부식에

대한 저항성을 현저히 떨어뜨리는 것으로 알려져 왔다.

본 연구는 25% Cr 이상 스테인리스강에 일반적으로 적용되고 있는 25%Cr-10%Ni-4%Mo 용접부에 대하여 최적 열간 성형온도 및 최적 열처리 온도를 정립하기 위하여 1100°C, 1050°C, 1025°C, 1000°C에서 인치당 1시간 유지 후 급냉함으로써 열처리 온도에 따른 용접부 및 모재의 미세조직의 변화 특히, 시그마 상의 석출 및 그에 따른 기계적 성질에 대하여 평가하였다.

2. 시험 방법

시험 방법은 다음과 같다.

2.1 시험 모재 및 용접재료

시험에 사용된 모재는 25%Cr-7%Ni 수퍼 이상스테인리스 강(UNS S32750) 35mmt로 화학성분은 [표.1]과 같으며, 1100°C에서 용체화 열처리

후 공급되었다. 용접재료는 25%Cr-10%Ni-4Mo 계 solid 와이어로 화학성분은 [표 1]에 나타내었다.

[표. 1] 모재 및 용접재료 화학성분

	weight [%]					
	C	Cr	Ni	Mo	Cu	N
모재	0.017	24.89	6.98	3.81	0.27	0.28
용접재료	0.012	25.09	9.35	3.94	0.10	0.239

2.2 시험 용접 및 열처리 조건

시험 용접은 [표 3]과 같은 조건으로 1~3 패스까지 GTAW, 나머지는 SAW 기법으로 용접을 실시하였으며, ASTM에서 요구하고 있는 모재 (UNS32750)의 열처리 온도 범위가 1025°C ~ 1125°C이므로, 용접부의 열처리 유지온도를 1100°C, 1050°C, 1025°C 1000°C로 나누어 1시간 30분 (인치당 1시간) 유지 후 퀴칭(water quenching)을 실시하였다.

[표. 2] 시험 용접조건

패스	용접 기법	전류 [A]	전압 [V]	입열 [kJ/cm]	충간 온도 [°C]
1~3	GT	120~180	11~13	11.2~13.9	14~48
4~33	SA	420	34	17.1	21~150

2.3 실험 내용

각각의 열처리 온도에 대하여 용접부 및 모재에 대하여 다음과 같은 실험을 진행하였다.

2.3.1 미세조직 관찰

열처리 후 용접부 기계적 성질과 밀접한 관계가 있는 시그마 상을 관찰하기 위하여 시그마 상과 탄화물을 선택적으로 보여주는 Groesbeck 에칭액을 사용하여 55°C~65°C에서 3~5분 유지 후 미세조직을 관찰하였다.

2.3.2 기계시험

열처리 온도별 모재 및 용접부 각각에 대하여

여 -46°C에서 CVN 충격시험 및 인장시험, 경도시험을 수행하였다.

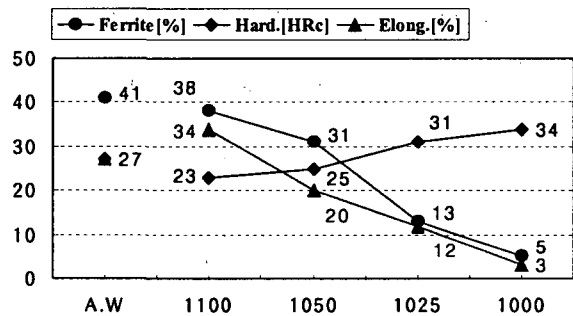
2.3.3 페라이트량 측정

Ferrite scope를 사용해 열처리 후 페라이트량을 측정함으로써 열처리 온도에 따른 페라이트량의 변화를 정량적으로 측정하였다.

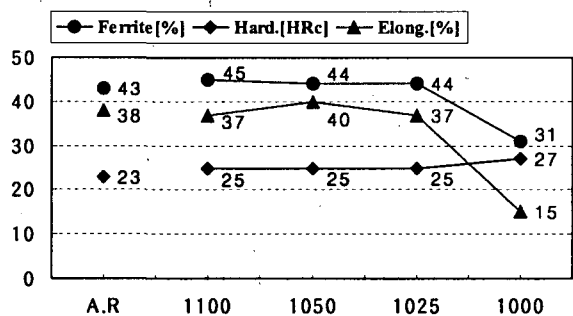
3. 실험 결과 및 고찰

열처리 온도에 따른 용접부 및 모재의 기계시험 결과는 그림3과 그림4와 같이 나타났다.

[그림3] 용접부 인장 및 경도시험 결과



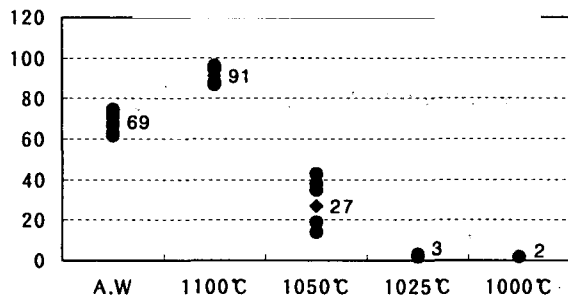
[그림4] 모재 인장 및 경도시험 결과



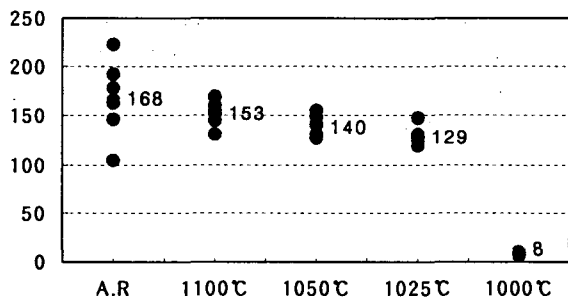
시험 결과 그림3, 4에서 보여주는 바와 같이 모재의 경우 열처리 온도가 1100°C~1025°C 범위에서 페라이트량 및 경도, 연신율에 있어 큰 차이는 없었으나, 용접부의 경우 1050°C부터 페라이트량과 연신율은 감소하기 시작하였으며, 경도는 증가하는 경향을 보여주었다.

그림5와 그림6은 각각 용접부 및 모재에 대하여 -46°C에서 CVN 충격시험 결과를 나타낸 것이다.

[그림 4] 용접부 충격시험 결과



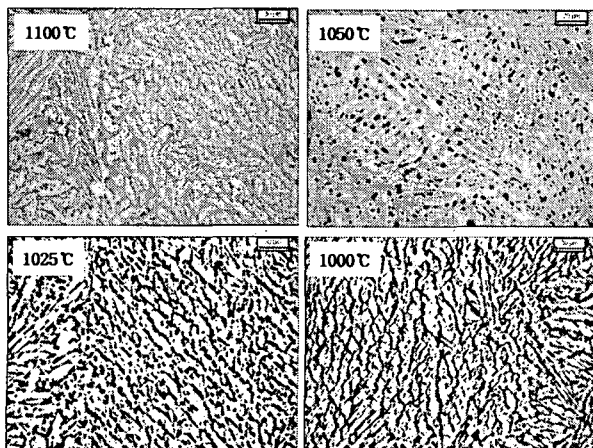
[그림 5] 모재 충격시험 결과



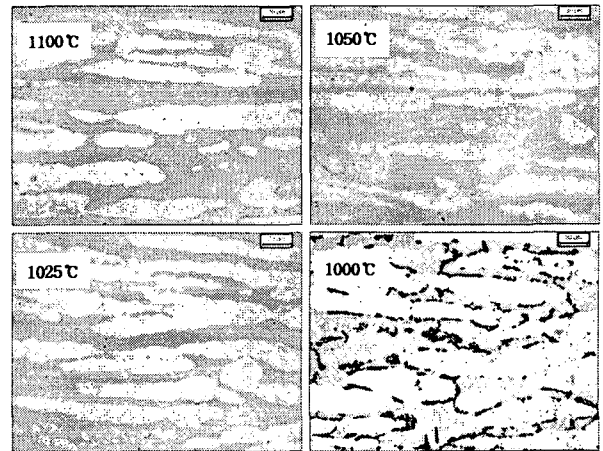
위의 시험결과에서 알 수 있듯이 모재의 경우 1025°C~1100°C 온도 구간에서 충격치의 큰 차이를 보여주지 않았으나, 용접부의 경우 1100°C를 제외하고 충격치의 급격한 감소를 보여주었다.

이것은 용접부 및 모재의 미세조직(그림6, 7)에서 알 수 있듯 용접부의 경우 1050°C에서 시그마 상의 석출이 시작됨에 따라 용접부내 페라이트량이 감소하기 시작하였으며, 경도상승, 연신을 저하 및 충격 인상 급감의 결과를 초래한 것으로 보여진다. 반면에 모재의 경우 ASTM에서 요구하는 1025°C~1100°C 범위 내에서 시그마 상은 석출되지 않았다.

[그림6] 열처리 온도별 용접부 미세조직



[그림6] 열처리 온도별 모재 미세조직



4. 결 론

열처리 온도별 기계 시험 및 미세조직 관찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기계시험 결과 모재의 경우 1025°C~1100°C 열처리 온도 구간에서 기계적 성질의 저하는 거의 없었으나, 용접부의 경우 1050°C 이하의 열처리 온도에서 연신을 및 충격치의 급격한 감소를 보여 주었다.
- 2) 미세조직 관찰 결과 모재는 1000°C에서, 용접부는 1050°C 이하의 온도에서 σ 상이 석출되었으며, 이러한 σ 상의 석출이 모재와 용접부의 기계적 성질 저하를 야기한 것으로 보여진다.
- 3) 모재와 용접부의 σ 상 석출 온도가 상이한 것은 모재와 용접부의 화학성분 차이에 의한 것으로 특히, 모재에 비해 용접부에 오스테나이트 안정화 원소인 Ni 함량 높음으로 인하여 시그마 상 석출온도가 용접부에서 더 높은 것으로 판단된다.
- 4) 따라서, 슈퍼 이상스테인리스 강의 25%Cr-10%Ni 용접부의 최적 열처리 온도는 σ 상 석출이 없는 1100°C가 적합하다.

참 고 문 헌

1. The effect of isothermal treatment of SAF 2205 duplex stainless steel on migration of δ/σ interface boundary and growth of austenite.
2. The effect of high temperature exposure on the microstructural stability and toughness property in a 2205 duplex stainless steel.