

## STS 304 극박판의 TIG 용접성에 관한 연구

정 호 신\*, 성 상 철\*\*, 박 영 대\*\*\*

\* 부경대학교, \*\* 부경대학교 대학원, \*\*\*고려제강

The study on the weldability of STS 304 thin sheet by GTAW process

H.S. JEONG, S.C. SEONG, Y.D. PARK

**Key Words** :  $\delta$ -ferrite(델타 페라이트), Penetration depth(용입), Bead Width(비드 폭)  
Hot Cracking (고온 균열), Heat Input(입열량), Erichsen test(에릭슨 시험)

### Abstract

The purpose of this paper is to investigate optimum welding conditions of STS 304 thin sheet by GTA welding and control  $\delta$ -ferrite which is harmful in mechanical processing, corrosion problem and can be formed brittle  $\sigma$ -phase in using long term at high temperature.

One series of automatic welds was made using argon plus 10, 20, 30 % nitrogen to ensure a fully austenite deposit. Results obtained were summarized as follows:

- 1)  $\delta$ -ferrite content in the weld metals is influenced largely by the nitrogen content.
- 2) Additions of nitrogen to the shielding gas can significantly reduce the amount of retained delta ferrite and result in an increase in hot cracking.
- 3) Bead width was increased when Ar + N<sub>2</sub> shielding gas was used and travel speed was increased.
- 4) Ar+N<sub>2</sub> shielding gas made weld metal ductile and reduce  $\delta$ -ferrite.

### 1. 서론

오스테나이트계 스테인리스강은 저온환경과 고온환경에서 좋은 기계적인 물성을 가지며 부식 저항성이 우수하다. 따라서 각종의 용기와 부식환경하에서 광범위하게 사용되고 있다.

오스테나이트계 스테인리스강의 용접시 델타 페라이트가 생성될 수 있고 이 델타페라이트가 존재하게 되면 고온에서 사용시 취약한  $\sigma$ 상을 형성하며 또한 부식적인 측면에서도 아주 유해한 것으로 알려져 있다. 반면에 초정의  $\delta$  페라이트가 약 5~10% 이상 생성되면  $\delta$  페라이트는 S, P와 같은 저융점 형성 원소의 고용도가 크기 때문에 고온균열의 방지 측면에서 유효한 것으로 알려져 있으며

소량의 페라이트는 미세균열(microfissuring) 방지 외에도 강도와 내부식성을 향상시킨다<sup>1)</sup>. 그러므로 이론적으로 보면 페라이트 양이 많은 용가재(filler metal)를 사용하면 강도와 내부식성이 결과적으로 우수할 것 같으나 페라이트 양이 12~15% 이상이면 오히려 내부식성과 고온 기계적 성질이 저하된다<sup>2)</sup>.

한편 페라이트양의 증가는 고온 특성, 내식성, 저온에 있어서 인성의 열화에 극히 큰 영향을 준다. 따라서 용접에 있어서는 용접 금속 중의 페라이트 함유량의 조정이 행해지고 있다. 이 용접금속 중의 페라이트 양의 측정에는 현재 주로 자기적 측정방법 혹은 화학성분으로부터 조직도를 이용하는 방법에 의해 행하여지고 있다<sup>3)</sup>. 그러나 페라이트의 불균일한 분포, 입자 크기의 차이 등이 측정

값에 영향을 주는 것 및 측정 방법에 의해서도 그 값이 다른 것을 시사하고 있다. 또 AWS에서는 자기식 피막계법을 이용해서 Ferrite Number로 페라이트를 표시하는 방법에 대해서 규격화 하고 있다.

### 1.2 페라이트양에 미치는 질소의 영향

용착 금속 중의 FN의 값을 좌우하는 성분으로서 Ni 및 Cr 외에 용접의 경우는 오스

성도 직선적으로 감소하는 경향을 나타낸다<sup>8)</sup>. 두께 1mm 이하인 스테인리스강 박판의 델타 페라이트와 적정 용접 조건에 대한 보고는 거의 없는 실정이며, 이 극박판을 용접하여 냉간 가공할 경우 가공시 용접부에서 tearing의 발생과 가공성이 저하되는 경우가 있다. 본 연구는 두께 1mm 이하의 박판의 GTA 용접조건을 설정하고, 델타 페라이트의 양을 제어하여 STS 304의 박판용접부의 냉간가공성을 높이고 질소를 Ar shielding

Table 1. Various Nickel Equivalents

DeLong <sup>4)</sup>	$Ni_{eq} = Ni + 0.5Mn + 30C + 30N$
Hull <sup>5)</sup>	$Ni_{eq} = Ni + 0.11Mn - 0.086Mn^2 + 24.5C + 18.4N + 0.44Cu + 0.41Co$
Hammar <sup>6)</sup>	$Ni_{eq} = Ni + 0.31Mn + 22C + 14.2N + Cu$
Espy <sup>7)</sup>	$Ni_{eq} = Ni + 0.87$ for $Mn + 30C + (N - 0.045) \times 22$ when $N.21/.25$ or $20$ when $N.26/.35$

테나이트계 안정화 원소로서 특히 N량의 변동이 주목되고 있다.

용접금속의 잔류 델타 페라이트의 예측가능성은 용접금속의 성분설계, 용접성 예측의 측면에서 중요하고 이 때문에 여러 가지 당량식이 보고되고 있으며 Table 1은 여러 사람들에 의해 만들어진 Ni 당량식을 나타내고 있으며 질소는 중요한 오스테나이트 안정화 원소임을 알 수 있다.

용접부에 형성된 페라이트는 강도의 증가에 유효한 것이지만 반면 연신율을 저하시키는

gas와 혼합하여 용접금속 중의 질소의 침입형 고용강화 효과로 항복비의 상승과 오스테나이트안정화 작용으로 인한 냉간가공성을 높이고자 하였다

### 2. 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 1000×2000×0.5mm의 STS 304를 전단기를 이용하여 40×10×0.5mm의 크기로 절단하고 이용하여 고정시키고 교류 GTA용접기를 사용하여 아

Table 2. Welding Conditions of STS 304 GTAW

Travel speed	Arc voltage(V)	Welding current(A)	ThO <sub>2</sub> (2 %)-W electrode(mm)	Shielding gas (15 l/min)
1m/min	20±1	70, 75, 80 85, 90, 95	2.6	Pure Ar
2m/min	20±1	100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140	2.6	Pure Ar
1m/min	20±1	40, 50, 60, 70	2.6	Ar+(10,20,30%)N <sub>2</sub>

A.C GTAW machine, Arc length : 3mm

것으로 보고되고 있다. 22.0% 이상의 Cr을 함유하는 스테인리스강에서 강도의 증가는 Cr의 함량과 직선적으로 증가하지만 δ-ferrite의 양에 따라 강도의 상승과 함께 연

래 보기 자세로 bead-on plate 용접 행하였다. 시험편을 지그에 장착하기 전에 용접할 표면의 유기물을 제거할 목적으로 아세톤으로 세척하였다. 용접 속도는 1m/min와 2

m/min으로 텅스텐 전극의 직경은 2.6mm ThO<sub>2</sub>(2%)-W 전극 봉을 사용하였으며 텅스텐 전극 경사각은 30°로 하였으며 용가재는 사용하지 않았다. 용접 조건은 Table 2에 나타내었다.

이 용접조건에 따라 용접한 뒤 확대경을 사용하여 표면 비드와 백 비드의 외관을 관찰하고 연속적이고 균일한 비드형상을 나타낸 용접부만을 선정하였고 이것을 전단기를 이용하여 전단해서 비드의 폭과 용입 깊이를 측정하였다. 또한 광학 현미경을 사용하여 미시조직의 관찰과 페라이트의 양을 현미경 영상 분석장치를 이용하여 분석하였다.

2 m/min, 135A의 용접조건에서는 고온 균열의 발생으로 인하여 1m/min에서 GTA용접한 것만 다시 질소 10, 20, 30, 100% 첨가하여 적절한 용접조건을 구하였다. 이렇게 만들어진 시험편의 표면 비드와 단면부의 조직을 관찰하였으며 투영기를 사용하여 표면과 백 비드의 폭을 측정하였다. 그리고 에칭시켜 영상분석장치를 이용하여 입열량에 따른 델타 페라이트의 양을 분석하였으며 냉간 가공성을 평가하기 위하여 에릭슨 시험을 행하였다.

고 있다. 그 이유는 용접속도가 증가되면 주위의 전도에 의해서 소실되는 열량이 감소되기 때문에 용융 면적이 증가하는 것이다. 따라서 용접속도를 빠르게 할 경우 열효율적인 측면에서는 유리한 것으로 생각된다. 또한 N<sub>2</sub>를 Ar 실딩 가스에 첨가하여도 질소의 함량에 따라 증가하는 경향이 나타나며 surface와 bottom의 비가 질소의 첨가량이 증가함에 따라서 차이가 없어지는 경향이 나타난다. 이는 O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>와 같이 상온에서 다원자상의 기체 입자는 고온에서 열해리해서 원자로 된다. 질소는 N<sub>2</sub>→N+N로 해리되고 해리 에너지는 e·Volt의 단위로 타내면 1 mol 중의 입자수는 N<sub>L</sub>=6.02×10<sup>23</sup>개이고 전하는 e=1.60×10<sup>-19</sup> coulomb이기 때문에 1 e·Volt의 에너지는 1mol에 대해서 0.24×1.60×10<sup>-19</sup>×6.02×10<sup>23</sup>=23,000cal/mol/Volt이다. 해리 에너지는 분자의 전리 에너지보다 낮기 때문에 기체중의 아크에서는 분자는 먼저 원자로 해리하고 이 해리한 원자는 전리된다. 대기중의 산소, 질소 분자는 아크 기둥에서 O<sub>2</sub>↔2O N<sub>2</sub>↔2N 과 같이 열해리를 한다고 생각되지만 온도가 높을수록 당연 해리정도가 많아진다. 온도가 6000° K을 초월

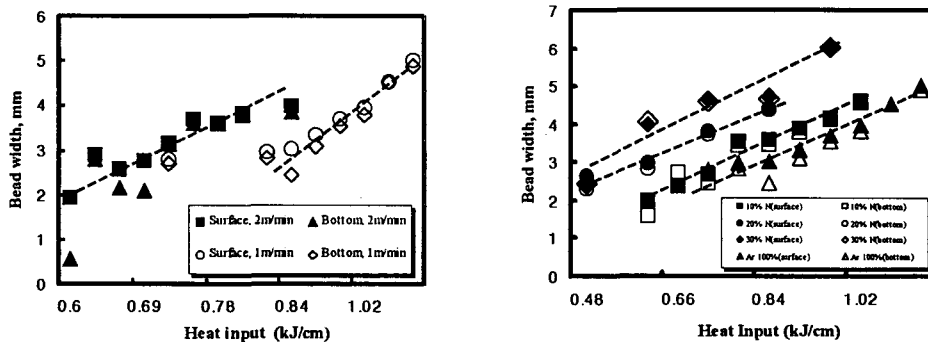


Fig. 1 Relationship between Bead Width and Heat Input

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 용접부의 비드 폭 측정

Fig. 1은 입열량과 속도, 질소함량에 따른 비드폭의 변화를 나타낸다. 여기서 보듯이 같은 입열량의 상태에서 속도가 빠른 쪽의 경우가 비드의 폭이 증가하는 경향을 나타내

하면 거의 원자상으로 해리되어 있다.<sup>11)</sup> 따라서 이와 같이 N<sub>2</sub>는 아크 열에 의해서 해리되면서 열 해리 에너지를 발생하기 하기 때문에 질소의 첨가에 의해서 비드 폭이 증가하는 경향이 나타난다. 따라서 속도를 빠르게 하고 shielding gas에 질소를 첨가하므로써 열효율을 대폭적으로 상승시킬 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.2 용접부의 미시 조직 관찰 및 $\delta$ -ferrite 양 측정

#### 3.2.1 용접부의 미시조직

본 실험에서 사용한 STS 304 용접부는 초정  $\delta$ -ferrite로 응고할 때 형성되는 vermicular, lathy  $\delta$ -ferrite를 볼 수 있으며 초정 오스테나이트로 응고하는 조직은 거의 관찰할 수가 없었다. lathy 조직은 비드의 중앙부 근처에 형성되는 것을 볼 수 있다.

다. 여기서 보듯이 델타 페라이트는 입열량에는 큰 차이가 보이지 않는 반면 용접속도가 증가할수록 델타 페라이트는 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 Hoffmeister의 23.0% Cr, 7.6%N의 오스테나이트의 변태 CCT도로부터 냉각 속도가 빠를수록 상온에서 잔류하는 페라이트 양이 많아진다는 것과 일치한다<sup>10)</sup>.

비드의 전면에 걸친  $\delta$ -ferrite의 분포는 Fig. 2와 같이 대체적으로 비드의 중앙부로 갈수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

Table 3.  $\delta$ -ferrite Content(%) in Conditions of Various Weld Currents

weld current (A)	70	75	80	85	90	95			
$\delta$ -ferrite content(%)	24.38	23.1	20.6	23.6	23.4	21.9			
weld current (A)	100	105	110	115	120	125	130	135	140
$\delta$ ferrite content(%)	22.46	26.2	25.3	23.9	24.9	26.4	25.9	23.7	25.2

모재와 용접부의 근처에는 모재부에 소량의  $\delta$ -ferrite가 입계를 따라 석출된 것을 볼 수 있으며 모재부 근접에는 lathy와 vermicular  $\delta$ -ferrite는 형성되지 않았으며 입열량이 증가함에 따라서 이 폭은 작어지는 경향이 나타났다. 또한 이 같은 페라이트는 입열량이 낮은 경우, 즉 입열량이 0.6 kJ/cm(100A, 2m/min)일 때의 소량의 lathy와 vermicular 페라이트가 관찰 되었다.

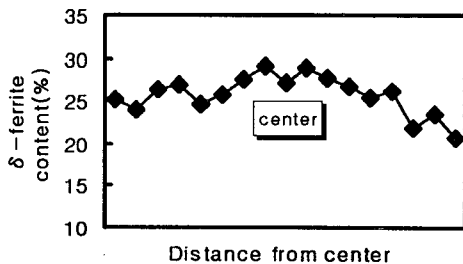


Fig. 2  $\delta$ -ferrite Content(125A, 2m/min)

질소가 10, 20, 30%첨가 됨에 따라서 응고 모드는 AF(Austenitic-Ferrite solidification mode)로 초정  $\delta$ -ferrite 대신에 초정 오스테나이트로 응고하는 것을 알 수 있었다.

질소를 100% 첨가하였을 경우 완전한 오스테나이트 조직으로 되었다. Table 3에서는 속도에 따른  $\delta$ -ferrite의 양을 나타내고 있

### 3.3 용접부의 고온 균열

2m/min, 135A, 100% Ar shielding gas의 조건으로 GTA용접한 경우 비드의 중앙부에 고온 균열이 발생하였다.

1m/min의 용접 속도에서는 이와 같은 고온 균열이 관찰 되지 않았다. 또한 shielding gas로 100% 질소로서 용접한 경우(50A, 1m/min)에도 고온 균열이 발생했으며 이에 대한 원인은 질소의 오스테나이트 안정화로 인하여 저용점형성원소를 많이 함유할 수 있는 델타 페라이트의 소실로 인한 것으로 추정된다<sup>11)</sup>.

### 3.4 에릭슨 시험

Fig. 3은 shielding gas 중의 질소의 함량을 달리한 경우의 에릭슨 값을 비교한 것이다. 이 시험은 KS B 0812에 준하여 행하였으며 편치의 누르는 속도는 12mm/min로 하였다. 시험편은 2호시험편의 형상으로 만들어 시험하였다. Fig. 3에서 보듯이 질소가 약 10% 정도 아르곤 가스에 첨가되었을 경우 모재에 근접한 정도의 양호한 값을 나타내고 있으며 그 이상일 경우 에릭슨 값은 감소함을 알 수 있다. 또한 입열량이 증가할 경우에 모두 감소하는 경향이 보이며 100% Ar gas를 사용한 경우, 입열량이 증가할수록 급격히 저하하고 있는 것을 볼 수 있다.

또한 파잉의 질소는 결정립계를 따라서 질

## 5. 참고 문헌

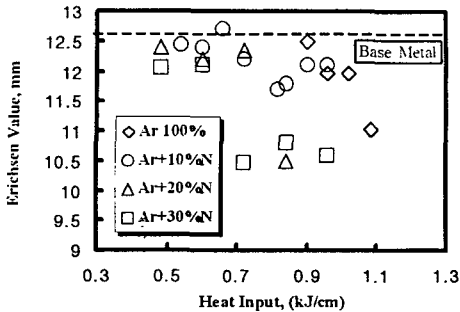


Fig. 3 Relationship between Erichsen value and Heat Input at Various Shielding Gases

화물의 형태로 석출하거나 편석되면 입계 취성 파괴를 발생시킬 수 있으며 충격특성 및 기계적 물성을 저하 시키는 것으로 보고 되고 있다<sup>12)</sup>.

## 4. 결론

STS 304를 GTA용접하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 입열량은 페라이트의 함유량에 중요한 영향을 끼치지 못하며 페라이트의 형상과 크기 분배의 차이를 유발시키며 용접속도가 증가함에 따라서 페라이트의 양은 조금 증가하는 경향이 보였다.
2. 질소를 아르곤 보호가스와 함께 사용했을 경우와 용접속도를 빠르게 할 경우 열효율적인 측면에서는 유리하다.
3. 용접속도가 2m/min 이상일 경우 비드 중앙부에 고온 균열이 발생하기 때문에 이 이상의 속도에서는 가능한 한 용접을 피하고 용접을 할 경우에 고주파 펄스를 주거나 다른 방도를 강구해야한다.
4. 질소를 많이 첨가하면 고온 균열의 감수성이 높아진다. 따라서 보호가스인 아르곤과 함께 사용시 적정량 이상 사용하지 않아야 한다.
5. 에릭슨 시험결과 질소를 첨가한 경우가 소성가공능이 우수하였다.

- 1) Lundin CD, DeLong WT and Spond DF: Weld J 1975 54 (8) 241s-246s
- 2) structure and properties of engineering alloys, second edition smith pp298-317
- 3) ASME Section III NB-2433(1975), 18-19
- 4) W.T.Delong et.al.; Weld.J.,35(11), 1956 ,pp84s-148s
- 5) F.C.Hull; Weld.J.,52(5), 1973, pp193s-203s
- 6) O.Hammar and U.Svensson; Solidification and Casting of Metals, The Metal Society, London, 1979, pp 401-410
- 7) R.H.Espy; weld.J.,61(5), 1982, pp149s-156s
- 8) WELDING RESEARCH SUPPLEMEN -T, JULY 1974(274s-275s)
- 9) 溶接アーグ 現想 中島 宏, P17-21
- 10) H. Hoffmeister und R.M. Hamburg; Untersuchungen zum Einfluss der Schweißparameter und der Legierungszusammensetzung auf den Deltaferritgehalt, Schw. u. schn., 30-6(1978), 214-218
- 11) M.J.Cieslak et.al.; Weld.J.,61(1), 198 2, pp1s-8s)
- 12) H.Kitagawa and R.Koderazawa, "Fractography" Baifukan, (1977), P.47,52(5), 1973, pp193s-203s