

研 究 論 文

大韓熔接學會
第4卷, 第3號, 1986年12月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 4, No. 3, Dec., 1986

二相系 스테인레스 鋼 용접부의 靱성과 耐蝕性 거동

백 광 기* · 김 희 진* · 안 상 곤*

Property Differences between GTAW and SMAW Duplex Stainless Steel Weld Metal

K. K. Baek*, H. J. Kim*, S. K. Ahn*

Key words : Duplex stainless steel(이상계 스테인레스강), GTAW, SMAW, Impact toughness(충격인성), Corrosion resistance(내식성)

Abstract

Mechanical and corrosion property of duplex stainless steel weldments made by the GTAW and SMAW process were studied. Fracture toughness, general and local corrosion resistance of GTAW and SMAW weldments were evaluated in terms of Charpy V notch impact test, anodic polarization diagram, pitting corrosion rate, respectively. SMA weld metal showed much lower impact toughness and higher ductile-brittle transition temperature than GTA weld metal. Fractographic and EDX analysis on fracture surface of SMA weld metal demonstrated the existence of (Si, Ti) oxide in large amounts. Potentiodynamic anodic polarization diagram of GMA weld metal showed much lower passive current density than SMA weld metal in 4% H₂SO₄ solution. And pitting corrosion rate test showed the same tendency. Relating the microstructure, chemistry and property, it can be concluded that GTA weld metal gives better toughness due to lower oxygen content, i. e. lower inclusion content, and better corrosion resistance due to higher Pitting Index (PI) than SMA weld metal.

1. 緒 論

천연 자원의 광범위한 수요와 그에 대응하는 原油와 천연 가스 등의 資源 채굴량의 증가는 보다 가혹한 腐蝕 분위기하에서의 操業을 요구하게 된다. 이러한 腐蝕환경은 대개 상당량의 이산화 탄소(CO₂), 황화수소(H₂S), 그리고 높은 농도의 염화이온 등을

함유하게 되어 原油나 천연 가스를 생산하기 위한 諸般 금속 구조용 재료는 상당히 가혹한 腐蝕 조건하에 노출되게 된다. 그러나 일반 鋼材들은 높은 부식률 뿐만 아니라 sulfide stress corrosion cracking (SSCC) 등으로 인해 사용할 수가 없으므로 高合金材 料인 二相系 스테인레스 鋼이나, 高 Ni 스테인레스 鋼 또는 Ni-base 합금등이 가능한 재료로 선택 되어

* 정회원, 현대중공업

왔다. 특히 비교적 최근에 그 開發이 활발히 進行되고 있거나 완료된 二相系 스테인레스 鋼은 뛰어난 耐腐蝕性 이외에도 여러가지 장점을 지닌 재료로 평가되어 관심을 끌고있다.

최초로 개발되었던 二相系 스테인레스 鋼은(AISI 329 ; 0.08C-26Cr-4.15Ni-1.5Mo) ferrite의 量이 75~80%를 차지하고 있어서 熔接性和 粒界腐蝕에 대한 저항성이 아주 빈약하였다. 그 뒤 1960년대에는 Cr과 Ni의 成分 元素를 조절하여 ferrite/austenite의 組成比를 50 : 50으로 유지함으로써 이를 개선하였으나 실제 熔接 時에 熔接 熱影響部에서의 ferrite 量이 급격히 증가하여 熔接部의 기계적 성질과 耐蝕性を 弱化시키는 단점이 발견되었다. 그 이후 1970년대와 1980년대 초에는 이른바 第三世代 二相系 스테인레스 鋼으로 불리우는 질소 함유 二相系 스테인레스 鋼이 開發되었다.¹⁾ 질소는 二相系 스테인레스 鋼의 熔接에 있어서 매우 중요한데, 이는 熔接後 急冷되는 동안에 ferrite가 austenite로 신속히 變態할 수 있도록 해주기 때문이다.²⁾

이와같이 二相系 스테인레스 鋼은 그 성분 원소와 ferrite/austenite 組成比의 조절로 인하여 기존의 300 系列 스테인레스 鋼에 비하여 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking ; SCC)에 대한 저항성이 극히 우수하고 pitting 부식과 crevice 부식에 대한 저항성이 뛰어나다. 아울러 인장강도의 경우에도 300 系列의 스테인레스 鋼에 비해 2배 가량의 높은 값을 갖는 장점이 있다.³⁻⁶⁾ 그러나 이러한 二相系 스테인레스 鋼을 실제 구조물의 제작을 위해 사용할 경우에는 반드시 熔接을 하게 되는바, 이때 熔接部, 즉 熔着

部와 熱影響部의 재반 성질은 상당히 변화될 것으로 예상되며,⁷⁾ 특히 二相系 스테인레스 鋼의 기존 특성을 나타내는데 필요한 ferrite/austenite 組成比와 성분 원소의 함량에 영향을 미치는 因子들은 충분히 研究되어야 할 것이다.

따라서 본 研究에서는 熔接部의 성질이 우수한 GTAW와 실제 생산과정에 그 사용빈도가 높은 SMAW 기법을 각각 적용하여 二相系 스테인레스 鋼을 熔接한 후 각 熔接部의 파괴 靱性和 耐蝕性を 비교·평가하고자 하였다.

2. 實驗方法

2.1. 試片의 제작

本 研究에 사용된 재료는 초기에 개발된 二相系 스테인레스 鋼의 단점을 보완한, 이른바 第三世代 二相系 스테인레스 鋼으로 알려진 SAF 2205(Sandvik Co.)이며 그 組成과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 나타낸 바와 같다.

또한 그 미세조직은 Photo. 1 에서 보는 바와 같이 ferrite 基地가운데에 austenite가 섬모양으로 존재하고 있는 形狀으로서 각각의 相은 50 : 50의 비율로 존재하고 있다.

이와같은 組成과 미세조직의 배합으로 인해 二相系 스테인레스 鋼은 緒論에서 밝힌 바와 같은 특성을 띄게 된다. 熔接 시편의 제작은 GTAW와 SMAW 를 각각 적용하였으며 熔接조건은 Table 3에 나타낸 것과 같다.

사용된 板材는 600×300×12mm이며, 熔接재료로는

Table 1. Chemical composition of duplex stainless steel(SAF 2205) and filler metals (wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Remark
Base Metal	0.028	0.64	1.82	0.021	0.019	22.21	5.52	3.11	0.13	
TGS-0.017	0.017	0.38	1.03	0.016	0.001	24.3	8.98	3.19	—	for GTAW
22.9.3LR	0.019	0.92	0.98	0.20	0.012	22.4	8.94	3.08	0.1	for SMAW

Table 2. Mechanical properties of duplex stainless steel and filler metals

	Yield Strength 0.2% offset N/mm ² (ksi)	Tensile Strength N/mm ² (ksi)	Elongation %
Base Metal	567(82.2)	767(111.2)	35
GTAW	595(84.8)	828(120.0)	23
SMAW	652(94.5)	892(129.3)	28.8

Table 3. Welding condition of GTAW and SMAW

Process	Voltage (V)	Current (A)	Travel Speed (cm/min)	Heat Input (KJ/cm)	Backing
GTAW	10	120-145	7.5-11	7.5-13	Ar(15L/min)
SMAW	21-23	63-75	8-25	6.5-11	—

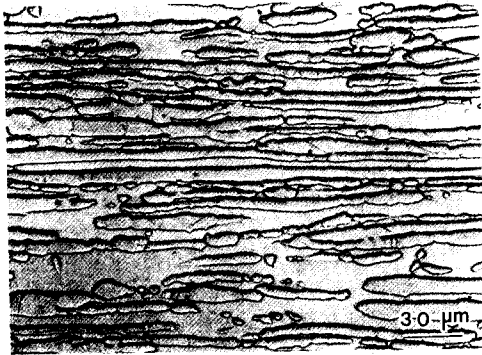


Photo. 1. Typical microstructure of duplex stainless steel (etchant; oxalic acid)

용착부에서의 austenite 량을 母材와 유사한 정도로 유지하기 위하여 Ni함량이 모재에 비해 많은 TGS-329M (Kobe Co.)와 22.9.3 LR (Sandvik Co.)를 GTAW와 SMAW에 각각 사용하였다. 이들 용접재료의組成과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 나타나있다.

용접이 끝난 시편은 용착부의 성분 분석을 실시하였고, 각 부위별의 ferrite량을 ferrite-scope(Fisher Co.)를 이용하여 각각 측정하였다. 또한 光學顯微鏡을 통해 각 용접에 따른 미세조직의 변화와 介在物의 분포 상태를 관찰하였다.

2.2. 衝擊試驗

용접부의 기계적 성질을 평가하기 위한 각 온도별 샤피 충격 시험 시편의 채취는 Fig.1에서 나타낸 바와 같다.

노치 위치를 각각 母材(Base Metal; BM), 용착境界部(Fusion Line; FL), 그리고 용착部(Weld Metal; WM)로 구분하였고, 시험 온도는 常溫에서 -196°C 까지 선정하였다. 衝擊시험이 끝난 시편은 走査電子顯微鏡(SEM)과 Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX)를 통해 破面을 조사·분석하여 각 부위의 충격 靱性値에 영향을 주는 因子들을 파악하고자 하였다.

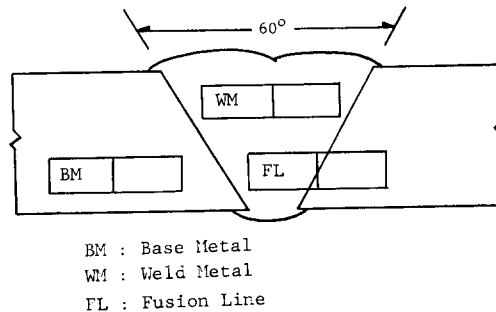


Fig. 1. Location of impact specimen taken in the welded plate

2.3. 腐蝕試驗

二相系 스테인레스 鋼 용접부의 耐蝕性を 평가하기 위해서 一般腐蝕(general corrosion)과 아울러 局部腐蝕(local corrosion)의 하나인 pitting부식 실험을 각각 실시했다. 먼저 각 용접부의 一般腐蝕 舉動을 파악하기 위하여 potentiostat를 이용하여 4% H_2SO_4 용액에서의 陽極 分極 曲線(anodic polarization curve)을 구하였다. Potentiostat를 이용한 potentiodynamic polarization 시험은 Fig.2에 나타낸 것과 같은 回路로 연결되어진 腐蝕電池(corrosion cell)를 통해 얻었으며 이때 試片은 working electrode로 작용한다. 얻어진 陽分極曲線을 통해 해당 부식 분위기에 대한 각 시편의 부식 거동을 파악하게 되는 바, 腐蝕量은 potentiostat를 통해 측정되는 電流密度(A/m^2)로써

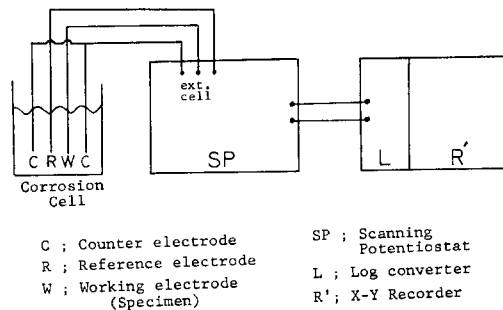


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus for potentiodynamic anodic polarization test

나타난다. 0.5 μ m까지 研磨된 각 시편은 tefron tape 와 silicon rubber를 이용하여 1cm²만 노출시킨 뒤 시편을 장입하여 15분이 경과한 후 일정한 속도로(0.5 mV/sec) 電位差를 陽極 分極시켰으며 실험 결과치는 X-log Y recorder에 동시에 기록하였다. 또한 각 시편의 一般 腐蝕 舉動을 기존의 austenite系列의 스테인레스 鋼과 비교하기 위하여 AISI 304 스테인레스 鋼의 陽極分極曲線을 추가로 구하였다.

Cl⁻이온을 함유하는 분위기 하에서 주로 발생하는 pitting 부식에 대한 각 熔接部의 저항성을 평가하기 위하여, 본 재료의 臨界 pitting 온도(Critical Pitting Temperature ; CPT)인 45°C에서의 pitting 부식량을 측정하였다.⁷⁾ 사용된 용액은 10% FeCl₃·6H₂O이며

24시간 裝入 후의 무게 감량을 단위 표면적의 값으로 나타내었다. 아울러 다수의 austenite系列 스테인레스 鋼 熔着部를 함께 측정하여 평가 기준으로 삼고자 했다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 熔接部の 微細組織

二相系 스테인레스 鋼의 組織은, 一般적으로 잘 알려진 바와 같이 70% Fe-Cr-Ni系에 대한 相態圖에서 알 수 있듯이, 온도에 따라 ferrite와 austenite의 組成比가 변하게 된다. 따라서 常溫에서 관찰되는 母材의 조직은 熔接에 의한 熱 사이클을 받을 경우

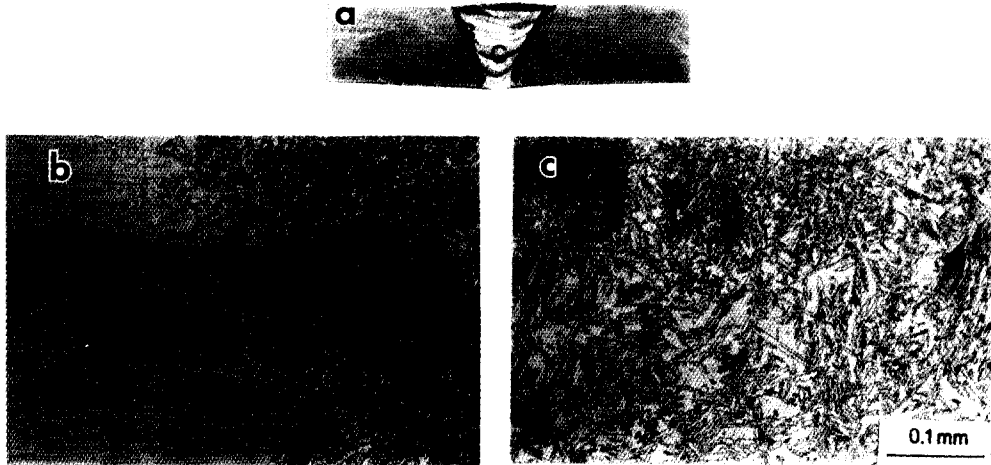


Photo. 2. Macrostructure (a) and microstructure (b: HAZ, c: weld metal) of GTA weldment, whereas (b), (c) are magnified photos of B, C region in (a) (etchant; oxalic acid)

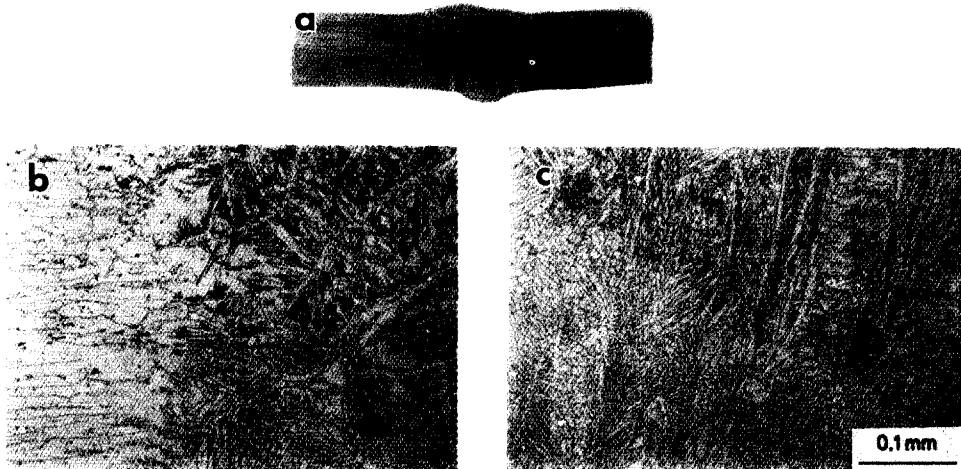


Photo. 2. Macrostructure (a) and microstructure (b: HAZ, c: weld metal) of SMA weldment, whereas (b), (c) are magnified photos of B, C region in (a) (etchant; oxalic acid)

상당히 변화하게 되고 이러한 용접부와 열영향부에서의 조직 변화는 peak 온도, 냉각 속도, 용착부 성분 조성에 따라 결정된다.²⁾ 먼저 GTAW 용접부의 경우, 용접부 단면의 macro-및 microstructure를 보게 되면(Photo. 2-a, b, c), ferrite와 austenite가 母材와는 전혀 다른 組織을 나타내고 있으며, 특히 용착부 積層내의 경우는 각 pass에 의해 바로 밑의 bead 일부가 다시 열영향을 받아서 austenite가 局部的으로 증가한 것을 알 수가 있다.

한편 SMAW 용접부의 경우는 Photo. 3에서 알 수 있듯이 GTAW와는 달리 많은 介在物을 확인할 수가 있다. 이러한 介在物에 대한 분석 및 용접부의 衝擊韌性值에 미치는 영향은 이어서 자세하게 논하게 되는 바, SMAW 용접부의 제반 성질을 약화시키는 결정적 요인으로 판단된다.

二相系 스테인레스 鋼의 기계적 성질 및 耐蝕性에 영향을 미치는 ferrite량은 GTAW의 경우 약 34%, SMAW의 경우 약 23%로 측정되었다. 특히 SMAW의 경우 ferrite 량의 감소는 용접부의 化學組成에 의한 효과로 판단된다. 용접부의 化學組成을 보면 Table 4에서와 같이 GTAW의 경우는 Cr과 Mo가 더 많고 SMAW의 경우는 그 반대로 Si, Ti, O의 농도가 훨씬 증가한 것이 나타나 있다.

이러한 Si, Ti, O 성분은 介在物의 원인이 되는 成分인바, 각 용착부의 개재물의 분포를 살펴보면 Photo. 4에서 알 수 있듯이 SMAW의 경우 비교적 큰

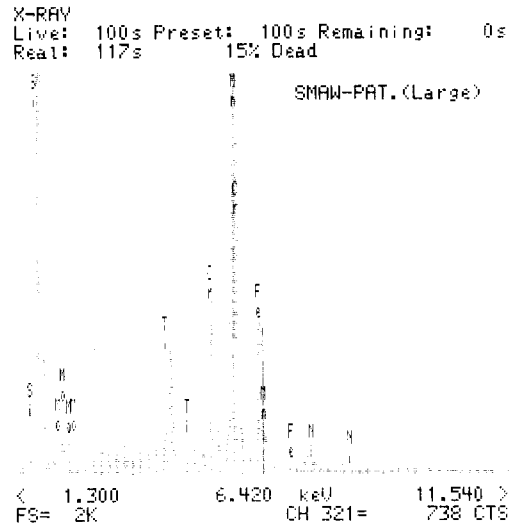


Fig. 3. Energy dispersive X-ray spectrometer(EDX) spectrum obtained from inclusion in SMA weld metal (inclusion is marked by an arrow in photo. 4)

介在物이 다량 존재함을 보여주고 있다. EDX를 통해 이러한 介在物을 분석해 본 결과(photo. 4의 화살표) Fig. 3에서와 같이 Si와 Ti이 다량으로 나타나고 있고, 용存 산소의 경우도 앞서 살펴 본 성분 분석 결과에서와 같이 GTAW의 80ppm에 비해 10배나 높은 800ppm 이상의 수준을 유지하고 있는 것을 알 수

Table 4. Chemical composition of GTA and SMA weld metal

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	N	O
GTAW	0.02	0.38	1.00	0.018	0.001	24.4	8.41	3.60	—	0.11	0.008
SMAW	0.03	1.05	0.89	0.026	0.013	22.4	8.38	3.13	0.01	0.16	0.084

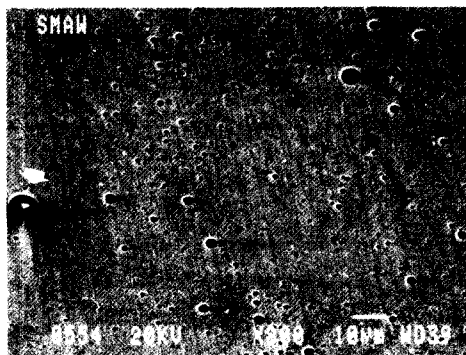
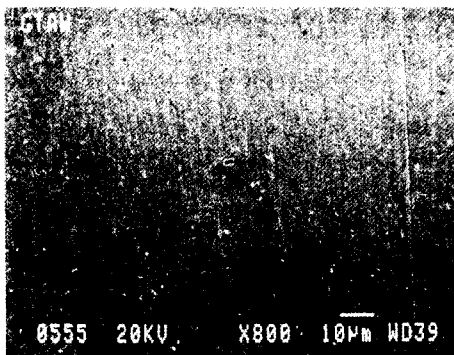


Photo. 4. Inclusion distribution in GMAW and SMA weld metal

있었다. 따라서 SMAW 熔着部에서 발견되는 다량의 非金屬 介在物들은 熔接시, flux의 환원 및 불완전한 shielding 효과등에 의해 산소가 混入되어 용접부 피복재에 함유되어 있던 Si과 Ti등과 함께 산화물의 형태로 용착부내에 존재하게 된 것으로 판단된다.

3.2. 衝擊 靱性値의 變化

각 試片에 대한 衝擊시험 결과는 Fig. 4와 5에 나타내었다. GTAW의 경우는 비교적 母材와 유사한 衝擊 에너지 값을 유지하고 있으나, SMAW의 경우는 熔着部(W.M)와 熔着境界部(F.L)에서 상당히 낮은 衝擊에너지 값을 나타내고 있어 靱性의 현저한 저하를 보여 주고 있다.

이러한 용접 기법에 따른 대조적인 충격 인성치의 차이는 다음과 같이 해석되어 진다.

즉, 일반적으로 二相系 스테인레스 鋼의 靱성은 鐵, austenite와 ferrite의 組成比에 따라서 결정되는 바, 이는 비교적 brittle한 ferrite의 비율이 증가할수록 靱성이 떨어지는 것을 의미한다. 둘째로는 용착부의 消淨度, 즉 介在物의 크기와 량에 따라 靱성이 변화하게 되는데 이는 용접시의 shielding의 정도에 따라 좌우된다고 할 수 있다. 따라서 본 실험의 결과로 볼 때 용착부의 ferrite량이 가장 적은 SMAW 용접부의 급격한 충격 인성치 저하는 다량의 산화 개재물에 의한 것으로 판단된다.⁸⁾

한편 Fig. 4와 5에서 알 수 있듯이 二相系 스테인

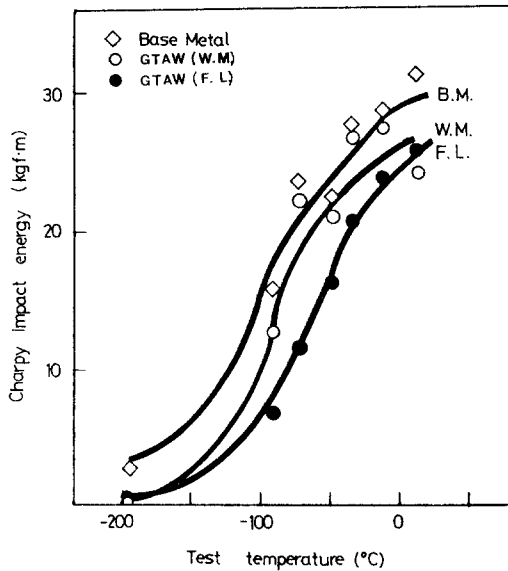


Fig. 4. Charpy V notch impact energy of base metal, HAZ (Fusion line) and weld metal of GTA weldment

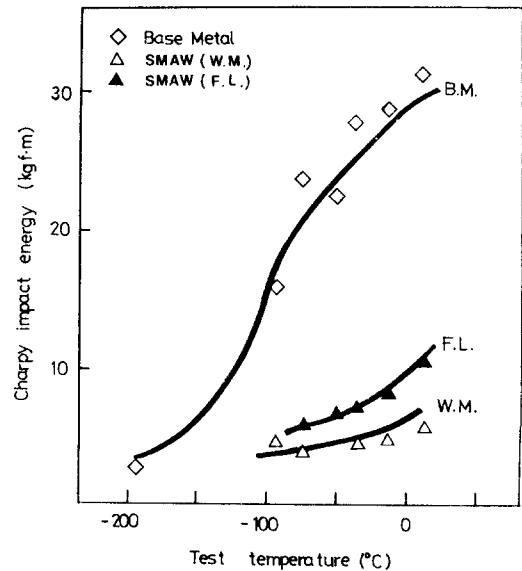


Fig. 5. Charpy V notch impact energy of base metal, HAZ (Fusion line) and weld metal of SMA weldment

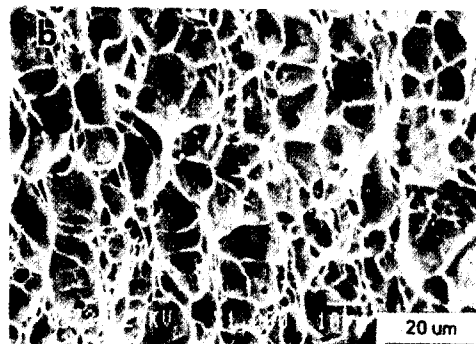


Photo 5. SEM fractographs of base metal impact specimen tested at -196°C (a) and the magnified fractograph of ductile region in photo a (b), whereas notch tip is located at the upper part of each photo.

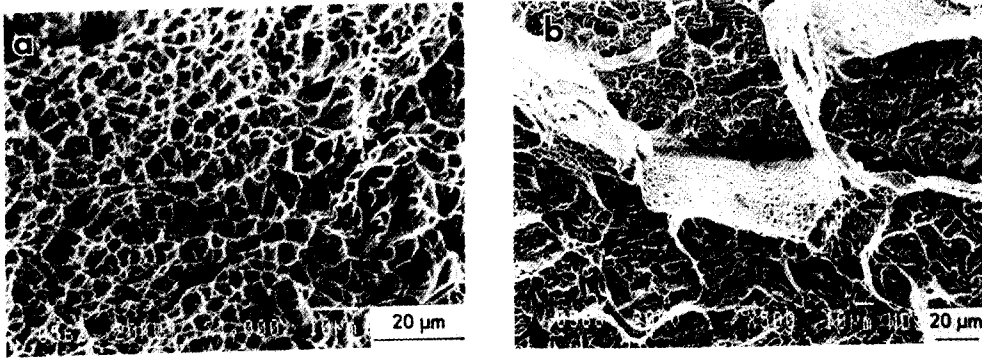


Photo. 6. SEM fractographs of GTAW impact specimens having their notches at weld metal and tested at -90°C (a) and -196°C (b), whereas notch tip is located at the upper part of each photo

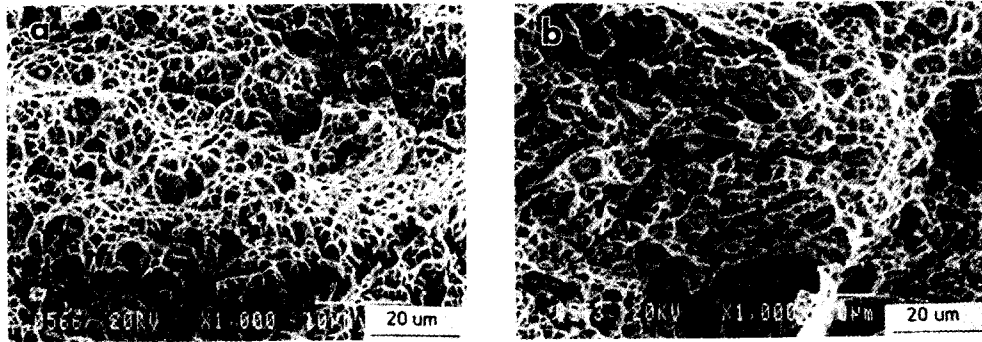


Photo. 7. SEM fractographs of SMAW impact specimens having their notches at weld metal and tested at 10°C (a) and -90°C (b), whereas notch tip is located at the upper part of each photo

레스 鋼의 경우, 기존 austenite 系列 스테인레스 鋼과는 달리 온도에 따른 軟性-脆性 遷移 現象이 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 각 시편을 SEM을 통해 그 破面을 관찰해 본 결과 먼저 높은 충격 인성치를 나타낸 母材의 경우에는 -196°C 에서 軟性-脆性 遷移가 나타나는데 이는 photo.5에 나타난 split 형태의 파면을 통해 알 수 있다.

GTAW 용착부의 충격 시험 파면은 Photo.6에서 보듯이 -90°C 까지는 dimple 형태의 완전한 軟性 파괴가 진행되고 있으며, -196°C 에서는 quasi-cleavage와 軟性 파괴가 동시에 나타나는 混合 형태를 나타내고 있다. 한편 상당히 낮은 충격 인성치를 보인 SMAW의 경우는 Photo.7에서와 같이 常溫에서는 軟性 파괴가 발생하나, -90°C 에서 이미 脆性形 파괴를 부분적으로 관찰할 수 있다.

이러한 결과로부터 GTAW에 비하여 SMAW의 경우 상당히 높은 軟性-脆性 遷移 溫度 (Ductile Brittle

Transition Temperature : DBTT)를 유지하고 있음을 알 수 있다. 아울러 용착부내 介在物의 존재에 의해 파괴 진행시에 생성되는 dimple의 크기가 粗大化되어 충격 인성치를 더욱 낮추는 것을 알 수 있다.

3.3. 熔接部の 腐蝕 舉動

3.3.1. 一般 腐蝕

Fig.6에서는 二相系 스테인레스 鋼의 母材, GTAW 및 SMAW 용착부의 一般 腐蝕 舉動을 나타내는 陽極 分極 曲線을 304 스테인레스 鋼과 비교하여 함께 도시하였다.

일반적으로 陽極 分極 曲線을 통해 나타나는 不動態 영역(passive region)에서의 전류밀도인 不動態 전류 밀도가 해당 재료의 腐蝕 特性을 나타내는 바, 각 재료의 不動態 영역인 0 mV_{SCE} 에서 $800\text{ mV}_{\text{SCE}}$ 구간에서의 臨界 전류 밀도는 母材, GTAW, SMAW의 順

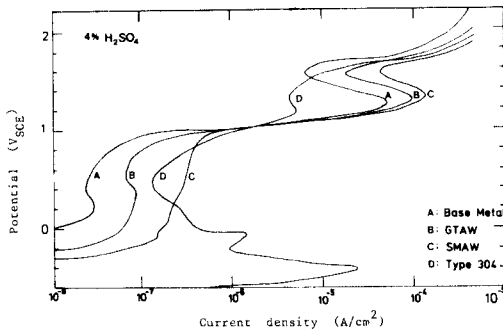


Fig. 6. Anodic polarization curves tested in an aerated 4% H₂SO₄ solution

으로 증가하고 있으므로 SMAW 용접부는 특히 낮은 耐蝕性을 갖고 있음을 알 수 있다. 이와같이 묽은 황산 용액에서의 一般 腐蝕 저항성이 낮은 것은 SMAW의 경우 앞서 언급한 바와 같이 다량의 非金屬 介在物의 존재로 인하여 局部 腐蝕 電池 (local corrosion cell) 回路가 介在物과 주변 基地 金屬간에 생성됨으로 인한 것으로 판단된다. 즉, 局部 電池에서 陽極化된 SMAW 용접부가 우선적으로 腐蝕당하여 높은 臨界 전류를 띄게 되는 것으로 여겨지는 것이다.⁹⁾

3.3.2. Pitting 腐蝕

Cl⁻이온 분위기하에서의 Pitting 부식 현상은, 一般 蝕腐 현상과는 달리 부식 매질에 노출된 전체 표면중에서 局部的으로, 집중적인 부식이 발생하게 되는 局部 腐蝕의 일종으로서 해당 재료의 수명을 급격히 감소시키는 원인이 된다. Fig.7 에서는 10% FeCl₃·6H₂O 용액에서의 pitting 腐蝕量을 각 시편별로 나타내었는데, 二相系 스테인레스 鋼의 母材가 가장 높은 耐蝕性을 갖고 이어서 GTAW, SMAW 그리고 austenite 스테인레스 鋼 용착부의 순서로 감소함을 보여 준다.

일반적으로 pitting 부식에 대한 저항성은 Cr과 Mo, N 원소의 함량에 의존하고 있는 것으로 보고되고 있다.²⁾ 따라서 이를 pitting 부식에 대한 저항성 指數인 Pitting Index(PI=Cr+3.3Mo+16N, %)로 나타낼 수 있는데 본 실험의 결과를 PI값으로 나타내면 Fig.8과 같으며, 이러한 경향은 앞의 Fig.7의 결과와 잘 일치함을 보여주고 있다.

따라서 재료의 pitting 부식에 대한 저항성은 成分元素에 지배되는 것을 알 수 있다. 그러나 母材의 경우 비교적 낮은 PI 값에도 불구하고 용접부보다 우수한

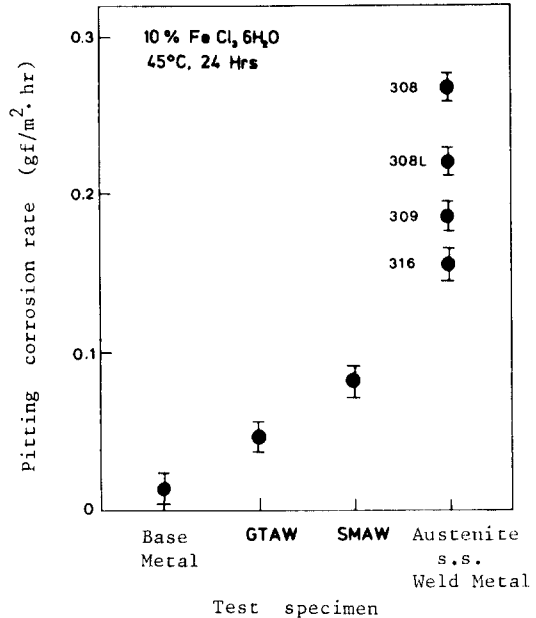


Fig. 7. Pitting corrosion rate of duplex stainless steel base metal, GTA, SMA weld metals in 10% FeCl₃·6H₂O at 45°C

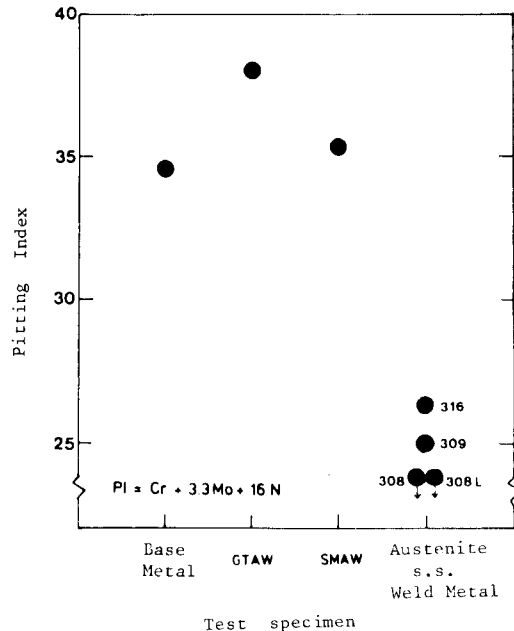


Fig. 8. Pitting index value of each specimen of which pitting corrosion rate is shown in Fig. 7

耐蝕性을 갖는 것은 용접의 응고 조직이 樹枝狀의 형태를 띄고 그 결과 Cr과 Mo등의 주요 元素들이 불균일하게 분포되기 때문이다. 즉, 樹枝狀 조직의

核心部(dendrite core)에는 이러한 원소들의 결핍층이 형성되어 우선적으로 不動態 被膜이 파괴되어 pitting의 발생이 쉽게 일어나는 것이다.¹⁰⁾

4. 結 論

二相系 스테인레스 鋼의 熔接部の 기계적 성질과 耐蝕性을 평가하기 위하여 용접부의 성질이 우수한 GTAW와 실제 그 적용범위가 넓은 SMAW 기법을 각각 이용하여 각 용접부의 파괴 인성과 耐蝕性을 실험을 통하여 비교·고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 二相系 스테인레스 鋼의 용접부는 母材에 비하여 파괴 인성치와 耐蝕性이 약화된 성질을 나타내었다.

2) GTAW 용접부는 SMAW 용접부보다 높은 충격인성치와 낮은 연성-취성 전이온도를 가지며, 이는 SMAW의 경우 용착부내의 높은 산소농도 즉, 다량의 산화개재물의 존재에 의해 파괴인성의 감소를 초래한 것으로 판단된다.

3) GTAW 용접부는 SMAW 용접부보다 훨씬 낮은 不動態 전류밀도를 나타내고 또한 적은 pitting 부식량을 나타내어 一般腐蝕 및 pitting부식에 대해 보다 좋은 저항성을 보였다. 이는 SMAW의 경우 개재물의 존재에 의한 국부전지의 형성, 내식성을 유지하는데 요구되는 Cr과 Mo 성분 원소의 감소에 의한 것으로 판단된다.

References

1. B. Larsson and B. Lundqvist, *Fabricating ferritic-austenitic stainless steel*, Sandvik Steel, Stockholm, (1984), pp.1-3.
2. H. Tsuge, Y. Tarutani and T. Kudo, *Corrosion resistance of duplex stainless steel weldments in wet CO₂ and H₂S environments*, Proc. of Conf. on Corrosion/86, NACE, Houston, (1986), pp. 156/1-156/14.
3. S. Mukai, H. Okamoto, T. Kudo and A. Ikeda, *Corrosion behaviour of 25 pct duplex stainless steel in CO₂-H₂S-Cl⁻ environments*, Jr. of Materials for Energy Systems, ASM, vol. 5, No. 1, (1983), pp.59-66.
4. H. Miyuki, J. Murayama, T. Kudo, and T. Morioishi, *Localized corrosion of duplex stainless steels in CO₂-H₂S-Cl⁻ environments at elevated temperatures*, Proc. of Conf. on Corrosion/84, NACE, New Orleans, (1984), pp.293/1-293/17.
5. N. Sridhar, J. Kolts and L. H. Flasche, *A duplex stainless steel for chloride environment*, Jr. of Metals, vol. 37, No. 3, (1985), pp.31-35.
6. A. Ikeda, M. Miura, S. Mukai, M. Ueda and K. Koso, *Corrosion behaviour of duplex stainless steel for wet CO₂ environment*, Proc. of Conf. on Corrosion/86, NACE, Houston, (1986), pp. 333/1-333/17.
7. 백광기, 최기영, Duplex stainless steel의 heat tint와 용접부 표면 조건이 pitting corrosion 저항성에 미치는 영향, 춘계 학술발표 초록집, 대한 용접학회, (1986), pp. 73-75.
8. T. H. North, H. B. Bell, A. Nowicki, and I. Craig, *Slag/metal interaction, oxygen and toughness in SAW*, Welding Jr., Vol. 57, No. 3, (1978), pp. 63s-75s.
9. G. Wranglen, *An Introduction to Corrosion and Protection of Metals*, Halsted Press, London, (1972), pp. 57.
10. A. Garner, *Pitting corrosion of high alloy stainless steel weldments in oxidizing environments*, Welding Jr., vol. 62, No. 1, (1983), pp.27-34.