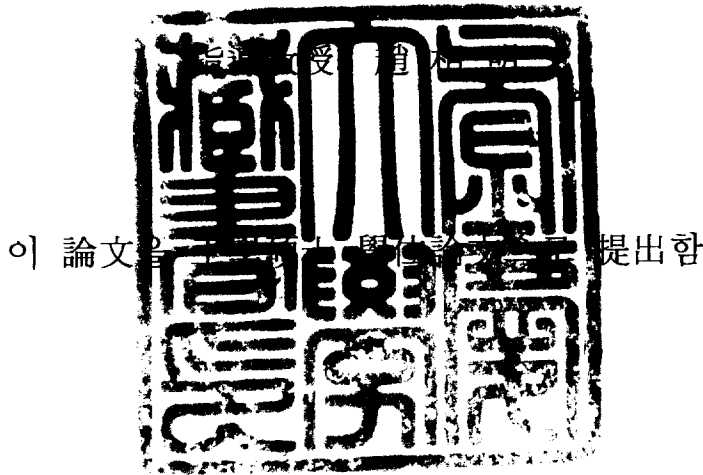


工學碩士 學位論文

아연도금강판의 Plasma arc 용접
특성에 미치는 실드가스중 산소의 영향



2005年 2月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

趙 晟 佑

趙晟佑의 工學碩士 學位論文을 認准함

2004年 12月

主 審 工學博士 金 雨 烈 (印)

委 員 工學博士 徐 源 贊 (印)

委 員 工學博士 趙 相 明 (印)

목 차

Abstract	1
제 1 장 서 론	2
1.1 연구배경 및 필요성	2
1.2 연구목적 및 개요	3
제 2 장 이론적 배경	4
2.1 Plasma용접의 원리	4
2.1.1 Plasma 용접의 정의	4
2.1.2 Plasma arc의 형식	6
2.1.3 Plasma arc 용접의 장단점	7
2.1.4 Plasma arc 용접의 특징	8
2.1.5 용접 방식	9
2.1.6 Plasma 아크용접(PWA)의 용접 결함	11
2.1.7 Plasma 용접과 TIG 용접의 비교	11
2.2 Plasma 용접의 주요 공정 변수	14
2.2.1 Plasma 전류	14
2.2.2 노즐의 직경과 형상	16
2.2.3 전극팁의 형상	16

제 3 장 지그개선을 통한 아연도금강판의 폭발개선 실험 --	18
3.1 서언 -----	18
3.2 실험 재료 및 방법 -----	18
3.2.1 실험 재료 -----	18
3.2.2 실험 방법 -----	19
3.3 실험 결과 및 고찰 -----	21
3.4 결론 -----	24
 제 4 장 GA강판 용접시 발생하는 Spatter 원인 분석 -----	25
4.1 서언 -----	25
4.2 실험 방법 -----	25
4.3 실험 결과 및 고찰 -----	26
4.4 결론 -----	27
 제5 장 GA강판의 Plasma 아크 용접 특성에 미치는 실드 가스 중 산소의 영향 -----	28
5.1 서 언 -----	28
5.2 이론적 배경 -----	29
5.3 실험 방법 -----	30
5.4 실험 결과 및 고찰 -----	33
5.5 결론 -----	44
 제 6 장 결론 -----	45
 참고 문헌 -----	47

The effect of O₂ gas added to shield gas on plasma arc welding for galvanized steel

Sung-woo, Cho

*Department of Materials Processing Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

GA(Galvanized steel) is very well-known and useful material in automobile industry because it has more advanced weldability and paintability than GI(Galvanized steel). However, the weldability is still main problems for GA. Explosions and spatters formed by zinc gas of coating layer make electrode tips and nozzles contaminated. Therefore, the life of torch is shortened by explosion of zinc gas. In this study, the phenomenon of zinc explosion and the way to solve the problems were investigated in plasma arc welding. We used open-backing jig and mixed oxygen gas(1, 2, 4, 6%) to shield gas(Ar) to avoid explosion and spatters, respectively. Ar 98% + O₂ 1~2% mixed shield gas was the most optimal for GA.

Key Words: GA, Galvanized steel, Plasma arc welding, Oxygen gas, Ar gas, Nozzle, Electrode tip, Pilot arc, Orifice gas, Shield gas,

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

GA(Galvannealed steel)강판은 현재 수출용 자동차에 주로 사용되고 있으며, 앞으로 내수용 자동차 전반에도 널리 사용될 것으로 전망된다. 일반적으로 TIG 용접이 GA 강판 용접에 주로 사용되고 있다. 그러나 강판 표면의 아연 증기로 인한 전극 수명 단축 등의 문제로 최근에는 Plasma용접이 점차 보급되고 있는 추세이다. TIG 용접용 전극 팁은 외부로 돌출되어 있기 때문에 아연 증기로 인한 폭발이나 스파터가 발생 하면 전극에 쉽게 부착되어 아크 스타트 특성이 나빠진다. 따라서 전극 팁의 교체등으로 작업 시간이 많이 지연된다. 하지만 플라즈마 아크 용접의 경우는 전극이 노즐 내부에 있기 때문에 이런 영향에 크지 않다. 따라서 아크 스타트 특성이 뛰어나며 작업 시간이 늘어난다. 그러나 플라즈마 용접시에도 아연 증기로 인해 노즐의 손상이 문제시 되고 있는 현실이다. 아연 증기로 인한 문제를 해결하기 위해 GMA용접에서는 산소를 첨가하는 방식으로 많은 연구가 이루어진 상태이다. 그러나 아직 플라즈마 용접에서는 산소 첨가에 따른 영향성을 검토한 연구가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 플라즈마 용접시의 아연 증기로 인한 문제점을 해결하기 위해 실드가스에 소량의 산소를 첨가하여 그 영향을 검토하였다.

1.2 연구 목적 및 개요

GA강판 용접시의 아연 증기에 의해 토치수명 및 에릭슨 값이 감소되는 문제점이 발생한다. 따라서 본 실험에서는 이런 아연 증기에 의한 토치수명 및 에릭슨 값 감소의 문제점을 해결하기 위한 연구를 실시하였다. 여러 가지 방법이 있지만, 본 연구에서는 플라즈마 용접 실드 가스에 일정량의 산소를 첨가하여 아연 증기의 문제점을 개선하는 실험을 실시하였다. 참고로, TIG용접시에는 산소를 첨가하면 산소에 의해 전극팁이 쉽게 산화되지만, Plasma arc 용접에서는 내부의 Orifice가스가 전극 팁의 산화를 막아준다. 따라서 본 실험이 가능할 수 있었다.

제 2 장 이론적 배경

2. 1 Plasma 용접의 원리

2.1.1 Plasma 용접의 정의

(1) **Plasma의 원리** : 기체를 높은 온도로 가열하면 가스원자가 양이온의 원자핵과 음이온의 전자로 해리되어 혼합된 상태를 'Plasma'라고 부른다. 일반 아크용접에서 아크기동도 일종의 Plasma 상태이다. 텅스텐 전극과 수냉동합금 노즐 선단 사이 혹은 모재 사이에 아크를 발생시키고 전극 주위에 Ar, N₂, H₂, He 등의 동작가스를 선회기류로 공급하면 노즐 내부에서 고온의 아크열로 가열되어 팽창된 고온의 가스(Plasma)가 단면수축노즐을 통해 고속으로 분출하는 Plasma Jet를 이용한 용접법이다. (Fig. 2.1 참조)

수축노즐을 통하여 아크를 수축시키면 전류밀도가 증가하며 온도가 증가하여, 아크 Plasma의 온도는 10,000 ~ 18,000℃의 고온의 기체가 되는데 여기에는 Arc의 열적 핀치(조임)효과와 자기적 핀치 효과에 기인하는데 '**열적 Pinch Effect**'는 Arc Plasma의 주위를 동작가스로 냉각하면 Plasma의 열 손실을 최소화하므로 그 단면을 수축시킨다. 이로 인해 전류밀도가 커지므로 Arc전압이 증가하며 고 에너지 밀도의 고온의 Arc Plasma가 얻어진다

또 '**자기적 Pinch Effect**'는 고 전류밀도의 Plasma Arc 주위에는 자기장이 형성되며 Arc에 흐르는 전류와의 상호작용으로 Arc 단면이 수축하여 전류밀도는 증가하지만 이와 같은 Magnetic Pinch Effect의 영향은 Thermal Pinch Effect 보다 크지 않다. 이 효과는 대전류 일수록 크게 발생한다.

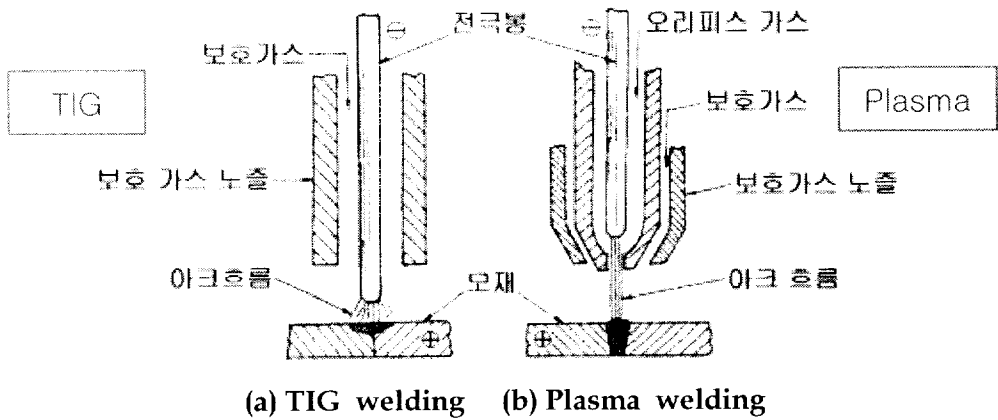


Fig. 2.1 Schematic of TIG welding and Plasma welding

(2) 정의

Arc Plasma를 좁은 틈으로 고속도로 분출시킴으로써 생기는 고온의 불꽃을 이용하여 용접하는 방법이다.

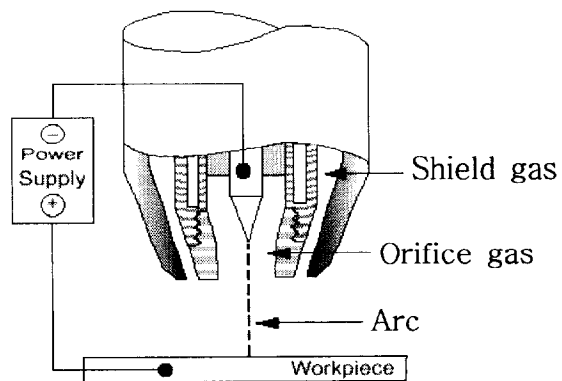


Fig. 2.2 Schematic of Plasma torch

2.1.2 Plasma arc 형식

(1) 이행형 아크(Transferred Arc)

전기 전도체인 모재를 (+)극으로 접속하고 텅스텐 전극을 (-)극으로 한 직류 정극성 방식으로 에너지가 높아 주로 용접에 많이 사용한다. 전도체 용접 및 절단에 사용한다.

(2) 비이행형 아크(Nontransferred Arc)

수냉합금 노즐의 선단을 (+)극으로 하고 텅스텐 전극을 (-)극으로 한 용접 방식으로 비이행형은 모재쪽에 전기접속이 필요치 않아 비금속물질 즉 내화물, 암석, 콘크리트나 주철, 비철, 스테인레스강 등의 절단 및 용사에 주로 사용한다.

비전도체 절단 또는 용접모재에 용접 가열량을 최소화시킨 상태에서 용접 시 사용한다.

동작가스는 Arc기둥의 냉각작용과 전극을 보호하며 Ar이나 N₂, H₂ 를 소량 혼입하면 수소는 Ar, N₂ 보다 열전도도가 커서 열적 핀치효과가 촉진되어 가스의 분출속도가 증가된다. 또한 해리된 수소는 모재와의 충돌시 냉각되어 분자상의 수소로 변할 때 발열반응을 요하므로 모재의 입열량이 증가한다.

그리하여 용접속도가 빨라진다. 그러나 과대한 수소의 혼합은 기공과 균열을 초래하는 경향이 있다.

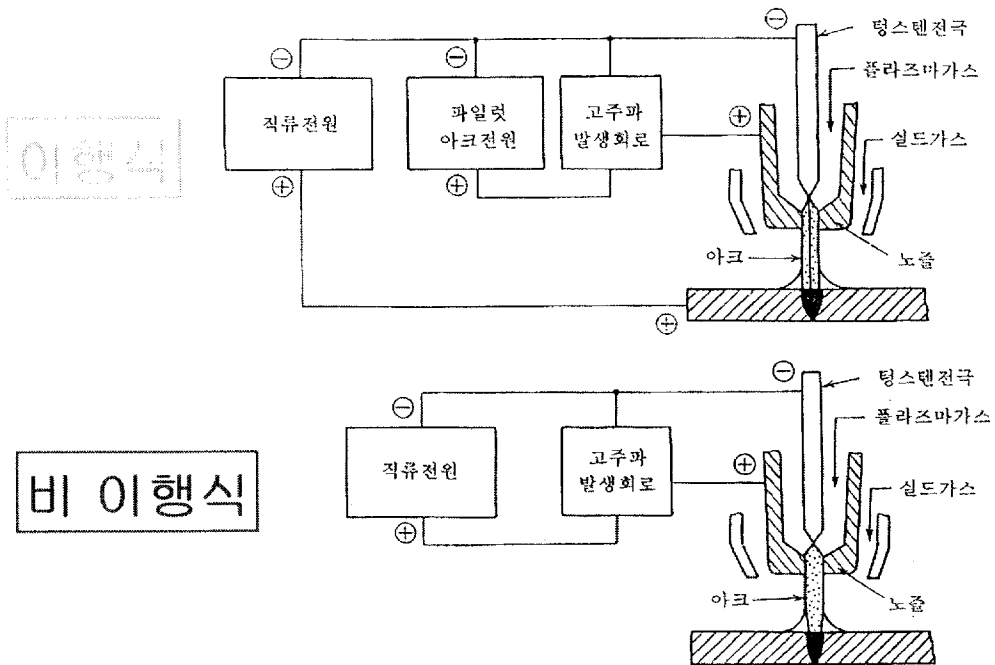


Fig. 2.3 Generation methods of plasma

2.1.3 Plasma 아크 용접의 장단점

(1) 장점

- ① Arc형태가 원통형, 지향성이 좋다. -> Arc길이 변화에도 용접부 영향 無
- ② 용접부에 텅스텐오염 염려가 없다.(용접봉이 노즐안쪽 위치)
- ③ 대부분 I형 용접(빠른 Plasma가스 흐름), Keyhole현상
- ④ 열에너지 집중 양호 -> 용입이 깊다, 용접이음부 변형 감소(비드폭:깊이 = 1:1, 수축응력 일정)
- ⑤ 가공비 절약(용접개선 없이 I형 이음)
- ⑥ GTAW보다 훨씬 빠른 속도로 용접이 된다.

- ⑦ 용접표면이 매우 깨끗하여 뒷손질이 필요하다.
- ⑧ 용접시 용접토치와 모재간의 거리가 넓기 때문에 용접도중에 용접사가 용접상태를 확인하기가 용이하다.

(2) 단점

- ① 맞대기용접 두께 25t이하로 제한된다.
- ② 수동(전자세용접), 자동(아래보기,수평자세)로 제한된다.
- ③ 토치가 복잡, 작업자 많은 지식필요(Orifice크기, Orifice가스, Shield가스 유량결정등)
- ④ GTAW에 비해 초기 장비값이 비싸다.

2.1.4 Plasma arc 용접의 특징

Arc가 매우 안정되고 고에너지밀도(열적, 자기적 편치효과에 의해) 이므로 Bead 폭이 좁고 용입이 깊으며 용접속도가 빨라서 냉각속도가 타 Arc용접에 비해 빠르다.

용접변형도 적으며 저전류(10A 이하)를 이용하여 Micro-Plasma 용접을 하면 초박판 용접을 정밀하게 할 수 있다.

그러나 표면청정 상태가 불량하면 Plasma Arc의 상태가 변하여 Bead 외관이 불량하고 용접결함이 생기기 쉽다. 그러므로 화학용제로 청정해야 한다.

- (1) Bead 폭과 용입깊이 즉, 용입율이 타 아크용접법에 비해 크다.(타용접법에 비해 10 ~ 100배 에너지 밀도가 크다.)
- (2) Keyhole의 마감처리는 용접전류와 가스유량을 감소시킨다.
- (3) 모재두께 6t 까지는 Square Groove로 1층용접이 가능, 그 이상의 두께는 V Type, U Type Groove에 Root Pass는 No Filler Metal로 용접할 수 있다.
- (4) Plasma Torch 내부에 텅스텐 전극이 들어있어 Filler 와의 직접적인 접촉이 없어 전극의 오염이 되지 않아 Tungsten Inclusion의 결함을 방지할 수 있다.
- (5) 아크길이의 변화에 대한 Sensitivity가 둔감하여 별도의 아크전압 제어장치가 보통 필요하지 않다.

(6) H₂의 혼합율은 모재두께가 얇을수록 최대 15% 까지 가능하고 고속도 용접이 가능하다.

(7) 10A 이하의 극저전류로 가는 Wire, Wire Mesh Screen 및 얇은 Bellows 용접 및 절단이 가능하다.

(8) Plasma Gas와 Shielding Gas는 보통 동일종류의 Gas를 사용한다.

(9) Arc가 매우 안정되고 에너지밀도가 높으며 농축된 고온고속의 Arc를 이용하여 정밀절단 및 용접을 할 수 있다.

2.1.5 용접 방식

(1) 용융용접

용접전류와 Orifice가스의 유속이 낮을 때 나타나며 재래식 용융용접법과 같이 Plasma에 의해 모재로 전달된 열이 모재의 전도에 의해 확산되며 이때 용융온도 이상까지 가열된 부분이 녹아 용접이 이루어진다.

(2) Keyhole 용접

Orifice 가스의 유속, 용접전류 및 용접속도를 잘 선정하면 모재를 관통하는 구멍(Keyhole)주위의 좁은 구역만이 용융되면서 용접이 진행되는 것을 말하며 Keyhole은 용융금속이 Plasma Jet의 앞에서 모재가 녹게 되고 이 녹은 금속은 Plasma Jet의 뒷쪽으로 이동하여 그곳에서 응고하는데 용융금속의 유동시에 불순물이나 가스가 제거되기 때문에 용접결함을 감소시킬수 있다. 이때 Keyhole 주변에 유지되는 용융금속의 크기는 용융금속의 표면장력과 Orifice Gas의 유속에 의해 결정되며 Plasma 절단인 경우는 Orifice Gas의 유속을 크게하여 용융금속을 제거시켜야 하지만 용접의 경우는 용융금속의 표면장력에 의해 용융금속이 유지되어야 하므로 Orifice 가스의 유속을 낮게하여 일정하게 유지시켜야 한다.

직각으로 용접 이음면을 가공한 금속을 루트간격(Root Gap) 없이 맞댄 상태에서 PAW의 플라즈마 아크를 용접이음부위에 관통시키면서 용접하는 방법.

용접이 끝난 부위에는 항상 조그만 구멍이 생겨서 열쇠구멍과 같다고 'Keyhole Welding'이란 명칭이 생겼다.

용접이 진행되면 Plasma Arc의 열에 의해 용접 이음부의 금속이 녹았다가 Arc가 진행됨에 따라 다시 응고되면서 2개의 금속이 접합된다.

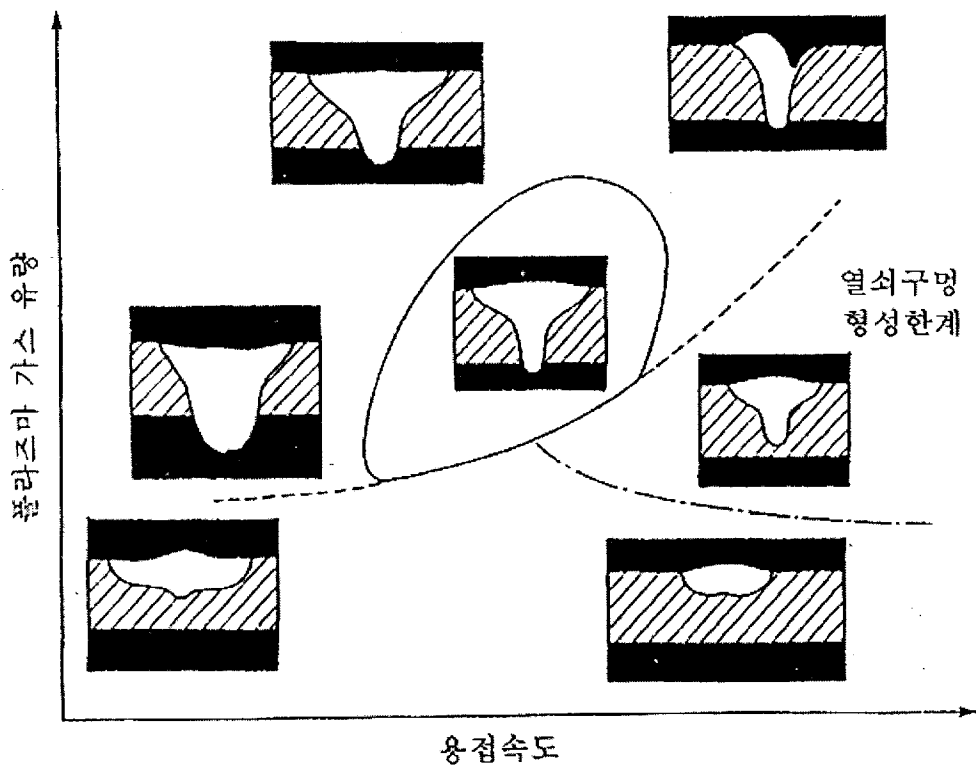


Fig. 2.4 Relationship of plasma gas flow rate and welding method

2.1.6 Plasma 아크 용접(PWA)의 용접 결함

(1) 텅스텐 개재물(Tungsten Inclusion)

과도한 용접전류를 사용함에 따라 텅스텐 전극이 녹아서 생긴다. 구리로 된 오리피스도 녹아서 용접금속에 포함되는 경우도 발생한다.

(2) Tunneling

PAW용접을 너무 빨리 진행하면 용융금속이 Keyhole을 미처 채우지 못한 상태에서 용접이 진행됨에 따라 원통형의 기공(Void)을 용접부위에 남겨놓는 결함이다.

(3) 용융부족(Incomplete Fusion)

PAW의 Arc의 폭이 매우 좁기 때문에 용접시 용접이음부를 약간 비켜갈 때 발생하는 결함이다.

2.1.7 Plasma 용접과 TIG 용접의 비교

PLASMA 용접은 비소모성 텅스텐봉과 모재사이에서 발생하는 점이 TIG용접과 유사하다. 하지만, 플라즈마 용접은 TIG 용접에 비해 용입이 깊고, 그루브(GROOVE) 준비 작업이 적고, 열 용입량으로 인해 열 변형이 적다는 장점이 있다.

(1) 플라즈마 용접의 장점

GTAW와는 매우 유사한 특성을 나타내나, PAW는 수축된 아크를 사용하기 때문에 GTAW에 비하여 다음과 같은 장점을 지닌다.

- ① 아크의 지향성과 Stiffeners가 향상되기 때문에 모재로의 용접입열의 제어

가 용이하다. (비교적 정밀용접이 가능)

② 아크의 길이가 길어서 큰 아크길이의 변화가 허용되면 아크길이가 변하여도 용융금속의 양에는 큰 차이가 없어서 균일한 용접부를 얻을 수 있다.

③ Keyhole 용접법을 사용하면 용접깊이를 제어할 수 있고 T형 용접이음을 사용하므로 용접준비가 간단하다.

④ 용접부의 Mismatch나 Fit-up이 약간 불량해도 무방하다. (TIG 용접에 비해)

⑤ 고밀도 에너지를 전달하므로 높은 용접속도를 얻을 수 있다.

⑥ Arc가 매우 안정하고 자장에 의한 영향이 적어 곧게 진행하는 지향성이 있다.

(2) 플라즈마 용접의 단점

PAW는 GTAW에 비하여 다음과 같은 단점이 있다.

① 장비구입 및 관리유지, 보수비용이 높다.

② Plasma Arc Torch가 무겁고 커서 모서리용접 등 좁은 공간에서의 용접이 불리하다.

③ Keyhole 용접시 Undercut이 발생하기 쉽다.

④ Keyhole 용접과 용융용접을 복합적으로 적용하는 다층용접에서는 용접 변수의 변화가 큰 결점이 있다.

(3) PAW와 GTAW의 차이점

① 가스

- GTAW ; 차폐가스(Shielding Gas) 사용

- PAW ; 차폐가스 외에 오리피스 가스를 사용하여 Arc Plasma를 발생시켜 농축된 Arc를 사용하여 용접

② Arc

PAW의 Arc는 GTAW의 Arc보다 더욱 농축된 형태. Arc 의 용입깊이도 깊고 폭은 좁다.

③ 전극봉

PAW는 GTAW와 같이 텅스텐을 전극 사용하여 Arc를 발생. 세라믹 노즐 안에 구리로 만든 오리피스스가 있어 Arc 로 발생된 Plasma 가스를 더욱 압축시키는 효과.

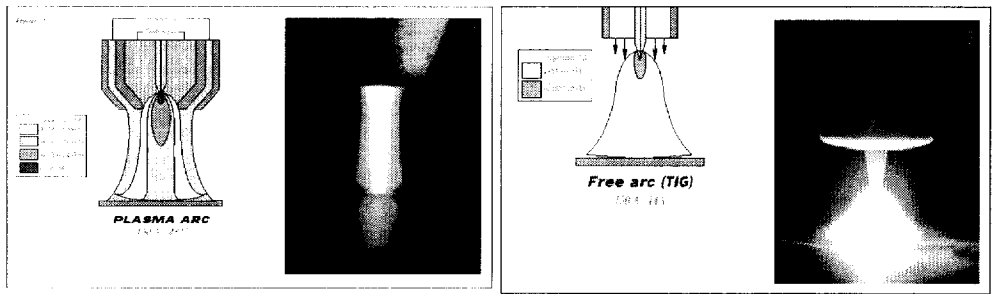


Fig. 2.5 Plasma arc and TIG arc

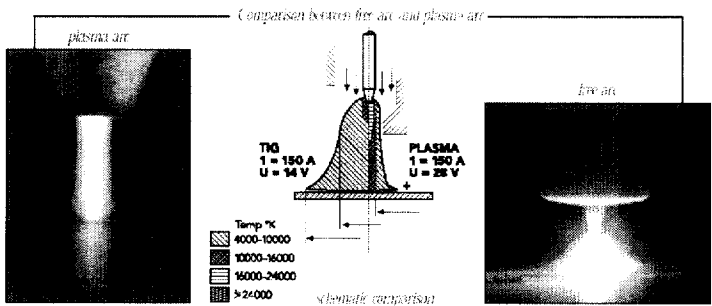


Fig. 2.6 Comparison between free arc and plasma arc

Table2.1 Comparative table of TIG welding and Plasma welding

NO	항목	TIG 용접기	PLASMA 용접기
1	선반적인 평가	일반 장비	TIG와 레이저의 중간
2	부품 소모성	많음 (텅스텐봉 가공) 5 ~ 8회/일	적음 (텅스텐봉 가공) 2회/1일
3	가스 소모성	실드 : 10리터/분	Pilot : 0.3리터/분 실드 : 10리터/분
4	장비 사용의 편리성	사용이 편리함	용접 조건 셋팅과정이 어려움. 관리 철저 및 청결 유지
5	용접 속도	낮다	빠르다 (TIG의 2배 이상)
6	용입성	최대: 6mm	최대 : 9mm
7	용접 ARC 각도	30도	6 ~ 15도
8	불량률 (용접 조건 셋팅 완료 후)	5% 이내	1%이내
9	용접조건 셋팅	간단	복잡
10	장비 구성 요소	본체/토치/알곤 가스	본체/토치/수냉/가스/부품, 약세서리
11	장비 금액	싸다	비싸다

2.2 Plasma 용접의 주요 공정변수

2.2.1 Plasma 전류

- (1) 0.2 ~ 10A ; 0.8mm 이하의 박판 용접에 적용.
- (2) 10 ~ 100A ; 0.8 ~ 2.5mm 두께 용접에 적용.
- (3) 100 ~ 300A ; 2.5mm 이상의 후판 용접에 적용.

▶ 전류에 의한 불량 유형

- ① 전류가 높은 경우 : 용락 발생(Fig. 2.3), 노즐의 손상
대책 : 전류 감소
- ② 전류가 낮은 경우 : 용입부족(Fig. 2.4), 에릭슨 시험시 종크랙 발생우려.
대책 : 전류 증가

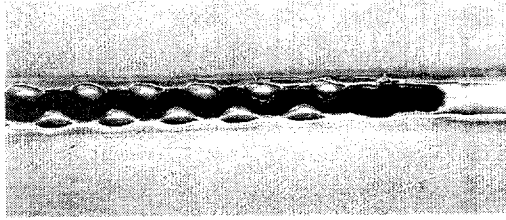


Fig. 2.7 Burn-through by high current

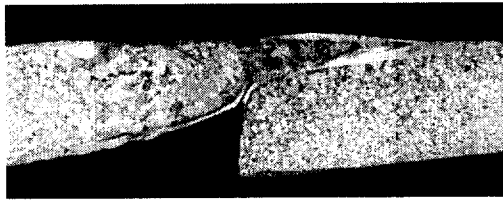


Fig. 2.8 Macro section of incomplete penetration

Table2.2 New nozzle and deformed nozzles

New	Nozzles after welding with high current for long time
	

2.2.2 노즐의 직경과 형상

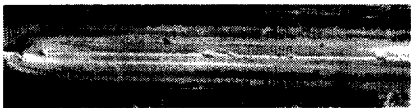
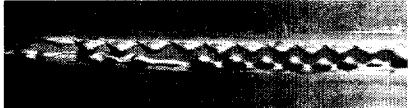
▶ 노즐의 역할

- (1) Arc를 수축시키는 작용.
- (2) Plasma Jet의 흐름이 Nozzle의 길이방향으로 곧게 되도록 유지.
- (3) 노즐의 직경이 작고 길이가 길수록 Arc의 수축률이 증가하며 온도가 높아지고 Plasma경로가 균일하게 되며 에너지 밀도가 커짐.

▶ 노즐 직경과 형상 변화에 불량 유형

- ① 노즐 직경이 작아질 경우 : Arc 수축에 의해 아크력이 높아져 용락 발생.
대책 : 노즐의 정기적인 교체.
- ② 노즐 직경이 커질 경우 : Arc 직경 감소로 인한 아크력 감소. 용입부족 발생.
대책 : 노즐의 정기적인 교체.

Table2.3 Relationship between nozzle diameter and bead

	New	Small diameter nozzle
Nozzle		
Surface bead		

2.2.3 전극팁의 형상

▶ 전극팁의 역할

- (1) Arc를 발생 시키는 역할.
- (2) 전류 범위에 따라 전극 가공 각도 달라짐.

Table2.4 Relationship between nozzle diameter and bead

Welding current	Electrode tip diameter
Below 50A	30°
Below 100A	40 °
Below 100A	Over 40 °

▶ 전극 팁 형상 변화에 따른 불량 유형

* 전극 팁이 형상이 변한 경우 : Arc 쏠림 발생. 노즐 수명 단축

대책 : 전극 팁의 정기적인 교체.

제 3 장 지그 개선을 통한 아연 도금 강판의 폭발 개선 실험

3.1 서언

일반적으로 GA 강판 용접시에는 표면층의 아연이 용융/증발하기 때문에 아크가 불안정 해지고 스파터나 폭발이 발생할 수 있다. 증기가 된 일부 아연은 지그의 형태에 따라 용융 금속 내부에 침투하게 되며, 이것이 용융금속 외부로 빠져 나올때, 스파터나 폭발을 유발시키는 것이다.

본 연구에서는 아연 증기에 의한 폭발을 확인하기 위해 2종류의 지그를 사용하여 용접을 하였고, 초당 30 프레임의 디지털 캠코더와 용융지 폭발 확인 여부를 평가한 후 각 시편에 따른 전극 팁, 노즐, 비드등을 관찰하였다.

3.2 실험 재료 및 방법

3.2.1 실험 재료

Fig. 3.1은 GA강판의 단면을 나타낸 것이다. 사용된 시편의 두께는 0.6mm 였다. Fig 3.2와 같이 시편의 길이는 200mm였고, 폭은 30mm였다.

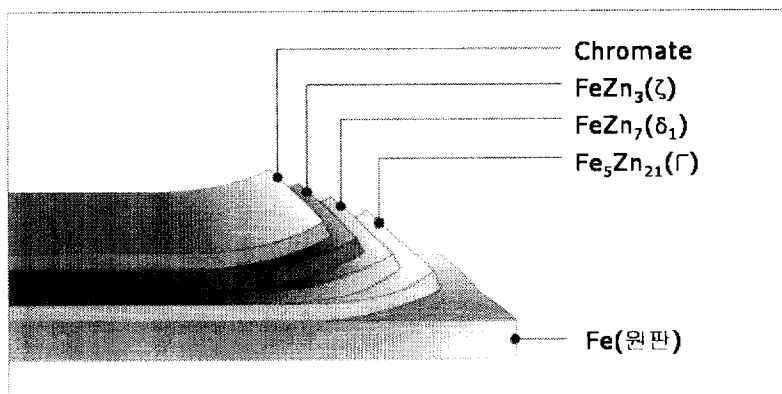


Fig. 3.1 Section of GA steel sheet (t0.6)

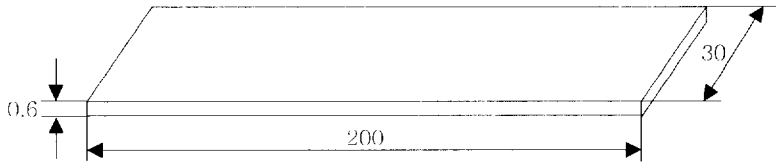


Fig. 3.2 Configuration of base metal

3.2.2 실험 방법

Fig. 3.3은 실험 모식도를 나타낸 것이다. 그림 3.4는 실험에 사용된 지그의 모식도이다. 그림 a)의 close jig는 시편 하부에서 아연 증기가 발생하면 빠져 나갈 공간이 없다. 따라서 아연 증기는 용융풀 내부를 통해 밖으로 빠져 나갈 수밖에 없는 형태이다. 그림 b)는 Open jig로써 아연 증기가 발생하면 쉽게 외부로 빠져 나갈 수 있는 형태이다.

그림 3.4와 같이 맞대기 용접을 하였으며, 전류는 30A를 사용하였다. 용접하는 동안의 폭발 현상을 관찰하기 위해서 초당 30프레임의 디지털 캠코더를 사용하였다. 폭발 실험후의 비드 상태, 전극팁 및 노즐의 상태를 비교 분석하였다.

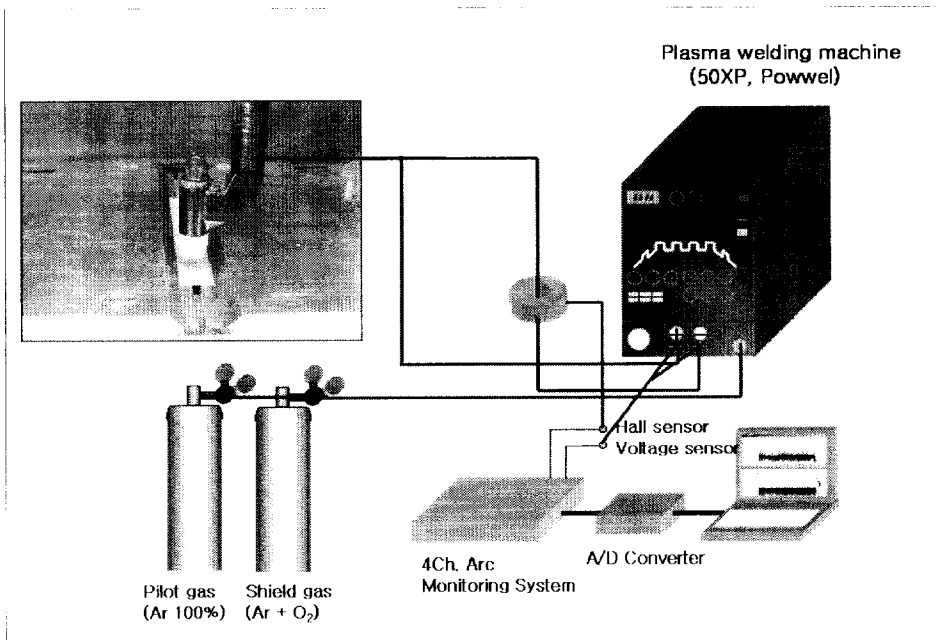


Fig. 3.3 Schematic of the experiment

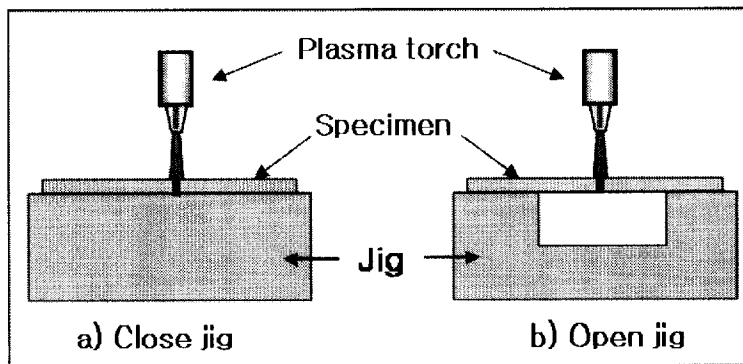


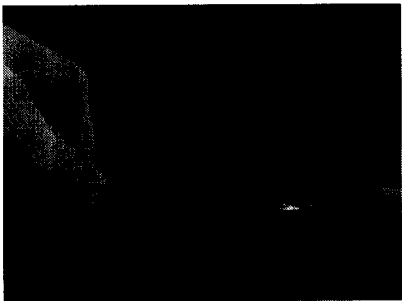
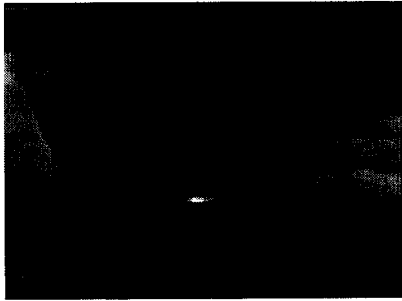
Fig. 3.4 Schematics of close jig & open jig

3.3 실험 결과 및 고찰

3.3.1 폭발 동영상 관찰 결과

Table 3.1은 지그 형상과 폭발의 관계를 나타낸 동영상의 일부분을 캡처한 것이고, Close 지그를 사용한 경우는 폭발이 발생하였고, Open 지그를 사용한 경우는 폭발이 발생하지 않았다.

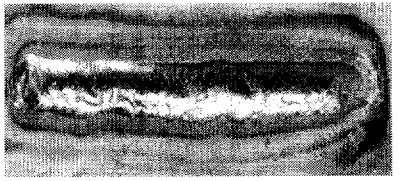
Table 3.1 Relationship between explosion and jig styles

Close jig	Open jig
	
Explosion	No explosion
Welding mode : Non-pulse Specimen : GA steel Welding current : 30A Arc length : 2mm	

3.3.2 표면 비드 비교

Table 3.2는 Open jig와 Close jig를 사용하여 용접한 후의 표면 비드를 나타낸 것이다. 실험 결과 Table 3.2와 같이 Open jig로 용접한 경우는 표면비드가 양호했고, 폭발도 발생하지 않았다. 그러나, Close jig로 용접한 경우는 폭발이 발생하여 비드에 큰 구멍이 발생하였다. Close jig를 사용한 경우는 폭발부의 주변에 다량의 spatter가 발생하여 시편에 부착되었다.

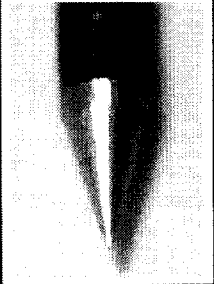
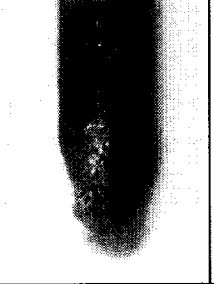
Table 3.2 Surface bead after welding

Close jig		Explosion
Open jig		No Explosion

3.3.3 전극 팁의 오염상태 비교

Table 3.3은 폭발 발생 유무에 따른 전극팁 상태의 외관을 나타내었다. open jig를 사용한 경우는 폭발이 발생하지 않아 전극 팁에 이물질이 거의 부착되지 않았다. 하지만 close jig를 사용한 경우는 폭발이 발생해 이물질이 전극 팁 표면에 많이 부착되었다. 이런 경우는 전극 팁 표면의 이물질에 의해 전자 방출이 어려워 아크 스타트 특성이 나빠질 수 있다.

Table 3.3 Condition of electrode tips after welding

New	Close jig (Explosion)	Open jig (No explosion)
		

3.3.4 노즐의 오염상태 비교

Table 3.4는 폭발 유무와 노즐과의 관계를 보이고 있다. Open jig를 사용한 경우는 폭발이 발생하지 않아 노즐에 탄화 흔적은 남아있지만 이물질이 거의 부착되지 않았다. 하지만 Close jig를 사용한 경우는 폭발이 발생해 이물질이 노즐에 많이 부착되었다. 이런 경우는 상대적으로 노즐 직경이 좁아져 아크가 불안정해지고 아크력을 증가시켜 용락을 유발시킬 수 있다.

Table 3.4 Conditions of nozzles after welding

New	Close jig (Explosion)	Open jig (No explosion)
		

3.4 결론

지그 개선을 통한 아연 도금 강판의 폭발 개선 실험을 한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) Close jig와 Open jig를 이용하여 GA 강판을 용접한 결과 Close 지그의 용융지에서 폭발이 발생하였다. 이것은 이면의 아연층이 용융 증발하여 용융 금속으로 통과해서 외부로 유출될 때 발생하는 것으로 판단된다.
- 2) 용융지 폭발 후의 전극 팁과 노즐을 비교한 결과, Open jig를 사용한 경우는 전극팁과 노즐의 변화가 거의 없었다. 하지만, Close jig를 사용한 경우는 전극팁이 심하게 오염되었고, 노즐에도 스패터가 많이 부착되어 직경이 좁아졌다.
- 3) 결론적으로 GA 용접시는 아연 증기가 외부로 빠져 나갈수 있는 Open Jig 형상으로 설계하여야 할 것으로 판단된다.

제 4 장 GA 강판 용접시 발생하는 Spatter 원인 분석

4.1 서언

일반적으로 GA 강판용접시에는 표면층의 아연이 용융/증발하기 때문에 아크가 불안정 해지고 스파터나 폭발이 발생할 수 있다. 제 3장에서 증기가 된 일부 아연은 지그의 형태에 따라 용융 금속 내부에 침투하게 되며, 이것이 용융 금속 외부로 빠져 나올때, 스파터나 폭발을 유발시키는 것을 확인 하였다.

본 연구에서는 GA 용접시에 발생하는 스파터의 발생 원인을 분석하였다.

4.2 실험 방법

스패터 발생지가 표면의 Zn 코팅층인지 이면의 Zn 코팅층인지를 확인 하기 위하여 Fig. 4.1과 같이 시편을 제작하여 실험을 실시 하였다.

a)는 코팅층이 상부에만 존재하는 시편이고, b)는 코팅층이 하부에만 존재하는 시편이고, c)는 Zn코팅층을 완전히 제거한 시편이다. 3개의 시편을 각각 30A로 용접하는 동안 디지털 캠코더를 이용하여 스파터 발생 여부를 관찰하였다.

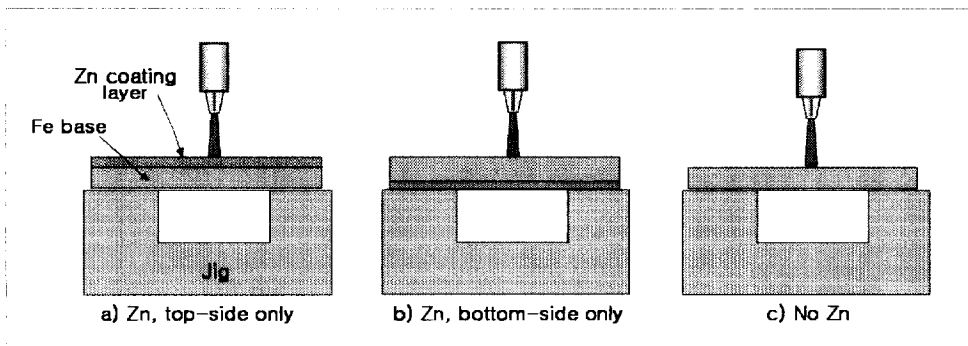


Fig. 4.1 Specimens for experiment

4.3 실험 결과 및 고찰

4.3.1 동영상 관찰 결과

Fig. 4.2는 시편에 따른 스패터 발생 여부 관찰 실험 결과이다. Fig. 4.2 a)는 표면층에만 Zn층이 존재하는 시편이며, 동영상 관찰 결과 용접하는 동안 스패터가 지속적으로 발생하였다. Fig. 4.2 b)는 이면층에만 Zn층이 존재하는 시편이며, 동영상 관찰 결과 용접하는 동안 스패터가 발생하지 않았다. Fig. 4.2 c)는 표면/이면층 모두 Zn층이 존재하지 않는 시편이며, 동영상 관찰 결과 용접하는 동안 스패터가 발생하지 않았다. 따라서 스패터의 발생 원인은 표면의 Zn층에 의한 것으로 판단된다.

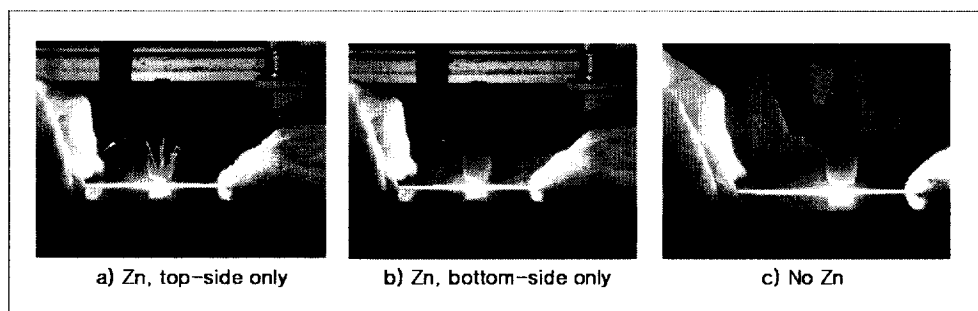


Fig. 4.2 Captured photos from each specimen

4.3.2 Spatter의 EDX분석 결과

Table 4.1은 용접시 발생하는 스패터의 일부를 포집하여 EDX 분석을 한 결과이다. 결과에서 보듯이 87.16%가 Zn임을 확인 할 수 있었다. 즉, 표면에서 발생하는 스패터의 원인은 표면층의 아연이 가장 큰 영향을 미침을 확인하였다.

Table 4.1 EDX analysis of spatters

Unit : wt %

Component	Zn	Fe	Mn	O
Content	87.16	1.99	2.81	8.03

4.4 결론

GA 용접시에 발생하는 스파터의 발생 원인과 발생 근원지 확인 실험 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- 1) 동영상 관찰 결과 Zn층이 존재하지 않는 두 종류의 시편 - 하부에만 Zn층 존재 시편, Zn층이 상하부 모두 존재하지 않는 시편, 에서는 Spatter가 발생하지 않았다.
- 2) 동영상 관찰 결과 Zn층이 상부에만 존재하는 시편에서 spatter가 지속적으로 발생하였다. 따라서 Open jig를 사용할 경우는 표면층의 Zn층에 의해 spatter가 발생함을 확인 할 수 있었다.
- 3) 용접시 발생하는 Spatter를 포집하여 EDX 성분 분석을 한 결과, 87.16%가 Zn임을 확인 할 수 있었다. 따라서 표면층의 Zn층이 spatter의 근본적인 원인임을 확인하였다.

제 5장 GA강판의 Plasma 아크 용접 특성에 미치는 실드가중 산소의 영향

5.1 서언

앞 장에서 GA 강판 용접시에 아연 증기로 인해 스파터 또는 폭발 현상이 발생함을 확인 할 수 있었다. 관련 문헌에 따르면 이런 문제를 해결하기 위해 최적의 용접 조건외에 강판 사이의 갭 설정, 표면 평활도 증가, 실드가스에 O_2 첨가, 용융지의 진동, Pulse 용접법등을 사용한다고 알려져있다.

따라서 실드가에 산소 첨가 방법을 플라즈마 용접에 적용하였고, 적정 산소 첨가량을 찾기 위한 연구를 하였다. 본 연구에서는 GA 강판 용접시 아연 증기의 영향을 감소시키기 위해 플라즈마 용접 실드 가스에 산소를 1~6%정도 첨가하여 산소의 영향을 검토하였다.

5.2 이론적 배경

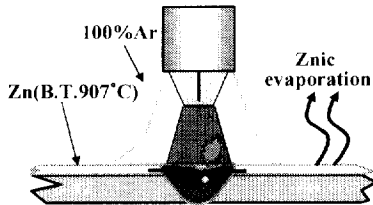
아연 도금 강판을 아크 용접시 도금층의 용융 및 증발에 따라 아연이 기화하여 용융지 중에서 기포를 형성하여 기공(Blow hole)이나 피트(Pit)가 발생하기 쉽고 심한 경우에는 용융지에서 폭발이 발생하기도 한다. 또 아연 가스는 아크를 불안정하게하고 스파터(Spatter)나 아연 흠(Fume)이 증가하는 요인이 된다. 이중 특히 기공 결함은 그 양이 20%이상으로 많을때는 용접이음부의 강도부족이나 비드 외관을 해치기 때문에 큰 문제가 된다. 기공 발생의 가장 큰 원인은 아연이 가장 일반적이며, 용접시 방출이 지연된 아연은 비점(약 906℃)이 용융지 온도보다 훨씬 낮아 증발, 기화되어 기공이 되고, 냉각과정에서 기공내벽에 냉각되어 응고 부착된다. 특히 고속용접에서는 용융지 전면에서 온도구배가 급하므로 아연이 용융배제될 수 있는 시간이 짧아지고, 또 제거되지 않고 잔존된 아연 도금층에 용융지가 피복되어 용융지의 저부로부터 아연이 증발되어 기공이 되며, 이것이 표면까지 개구되어 응고되면 피트(Pit)가 된다.

이와 같이 피트나 기공의 발생 원인은 강판 사이의 아연 도금층으로, 아연 증기가 아크 발전 형상이나 용접의 이행 형상에도 영향을 주나 역시 기공은 강판 사이의 아연이 용융지의 저부에서 증발하는 것이 주요 요건이 되므로 아연의 기화를 촉진시켜 아크 직하로부터 아연을 배제 시키는 것이 요구된다. 이를 위해 최적의 용접 조건외에 강판 사이의 갭 설정, 표면 평활도 증가, 실드가스에 O₂첨가, 용융지의 진동, Pulse 용접법 등이 추진되고 있다.

Fig. 5.1은 실드가스중에 산소 첨가 영향을 나타낸 그림이다. 그림 (a)는 실드가스를 100% Ar gas를 사용했을때의 용접부의 원리를 나타낸것이고, 그림 (b)는 실드가스에 산소를 첨가했을때의 용접부의 원리를 나타낸 것이다.

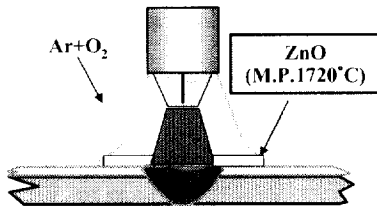
그림 (a)에서 아연은 419℃에서 용융을 시작하고 907℃에서 증발을 시작한다. 증발시에 아연이 용융풀속으로 일부 녹아 들어가게 되고, 기공이 되거나, 폭발을 일으킨다. 그러나 그림 (b)와 같이 실드가스에 산소를 첨가하게 되면 아연과 산소가 반응을 일으켜 아연 산화물이 형성된다. 아연 산화물인 ZnO는 녹는점이 1720℃이므로 상당히 높은 까지 용융되지 않는다. 따라서 상대적으로 아연이 용융풀로 녹아 들어갈 수 있는 양이 줄게 들게 되는 것이다.

How does O_2 gas work in the weld ?



(a) 100%Ar gas

Zinc melting (419°C) → Zinc evaporation (907°C) → explosion on weld pool



(b) Ar+ O_2 gas

Reaction of $Zn+O_2$ → Formation of ZnO oxide → No explosion on weld pool

Fig. 5.1 Mechanism for the effect of O_2 gas

5.3 실험 방법

Fig. 5.2는 실험 모식도를 나타내었다. Fig. 5.2과 같이 아연 증기의 원활한 이동을 위하여 Open jig를 사용하였다. Open jig 위에 0.5t의 GA 강판을 올려서 Bead on plate 방법으로 맞대기 용접을 실시하였으며 시편당 용접 길이는 140mm였으며, 총 5회를 실시하였다.

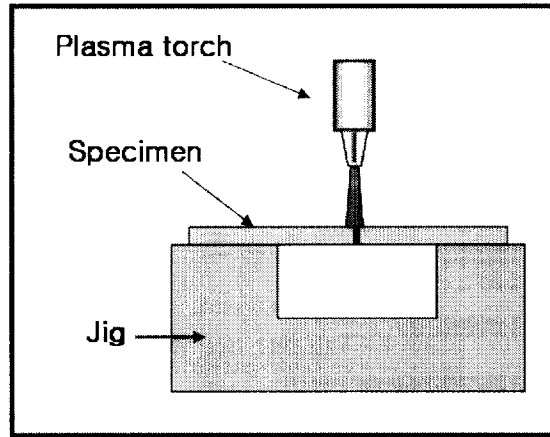


Fig. 5.2 Schematic of experiment

실드가스 중의 산소 영향을 검토하기 위해 산소 첨가량은 1, 2, 4, 6%씩 각각 첨가 하였다. 그후 표면 비드, 이면비드, 전극팁, 노즐, 기공, 에릭슨 값등을 각각 측정하였다. 기공 관찰을 위해 용접부의 종단면을 절단하여 관찰하였다.

Fig. 5.3은 실드가스와 오리피스스의 흐름 모식도이며, 내부에 오리피스스가 흐르며 외부에 실드가스가 흐른다. 플라즈마 용접시 실드가스에 산소를 첨가가 가능한 이유는 내부에 오리피스스가 흘러 전극의 산화를 방지하기 때문이다.

실험은 Table 5.1으로 조건으로 실시하였다.

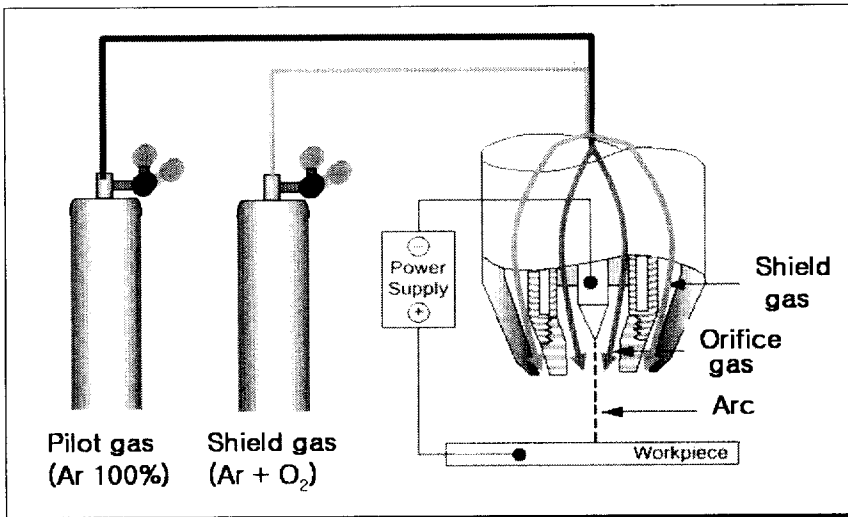


Fig. 5.3 Schematic of Shield/orifice gas flow direction

Table 5.1 Experimental conditions

Parameters	Variation
Current	18A
welding speed	12cpm
Welding mode	Non-pulse
Arc length	2mm
Electrode tip Dia.	1.5mm
Nozzle Dia.	1.8mm
Orifice gas	Ar 100%
Shield gas	Ar 100%
	Ar 99%+ O ₂ 1%,
	Ar 98%+ O ₂ 2%,
	Ar 96%+ O ₂ 4%,
	Ar 94%+ O ₂ 6%

5.4 실험 결과 및 고찰

5.4.1 표면 비드 및 이면 비드 비교

(1) 표면 비드 비교

Table 5.2와 5.3은 실드 가스중 산소 첨가량에 따른 표면 비드의 변화를 나타낸 것이다. 산소를 첨가함에 따라 비드 표면의 검정색 탄화자국이 감소됨을 확인할 수 있었다. Table 5.4는 Ar 100%로 용접한 시편과 Ar에 산소를 1% 첨가해 용접한 시편의 표면 비드 사진을 확대한 것이다. Ar 100%를 사용한 경우는 비드 가장자리가 검은색으로 탄화되지만, 산소를 첨가한 경우는 ZnO의 형성으로 인해 표면이 흰색으로 산화되었다.

(2) 이면 비드 비교

Table 5.5와 5.6은 실드 가스중 산소 첨가량에 따른 이면 비드의 변화를 나타낸 것이다. 산소를 첨가해도 이면 비드의 변화는 거의 없음을 확인 할 수 있었다.

Table 5.2 Relationship between surface bead
and welding time (70~210sec)

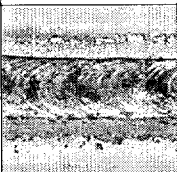
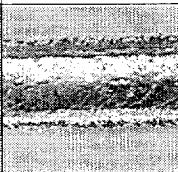
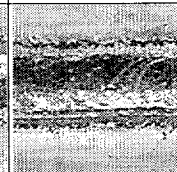
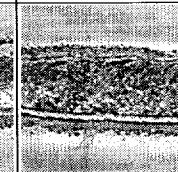
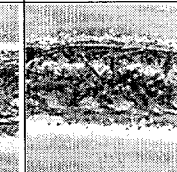
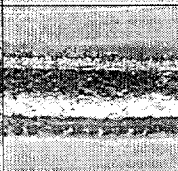
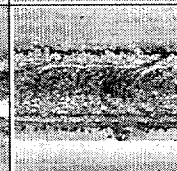
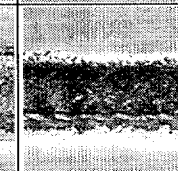
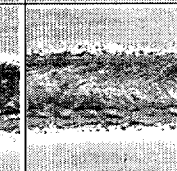
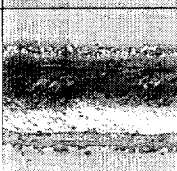
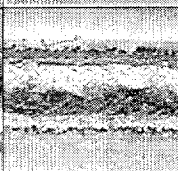
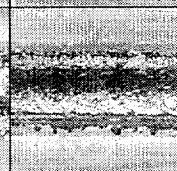
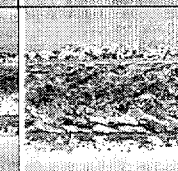
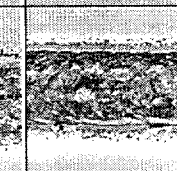
	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
70 sec					
140 sec					
210 sec					

Table 5.3 Relationship between surface bead
and welding time (280~350sec)

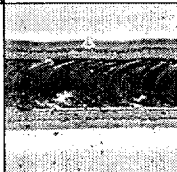
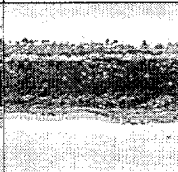
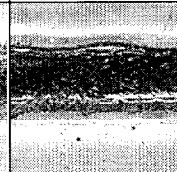
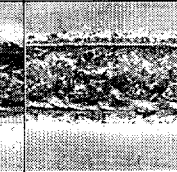
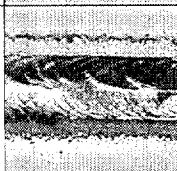
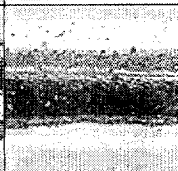
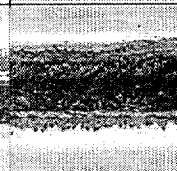
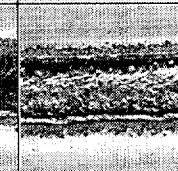
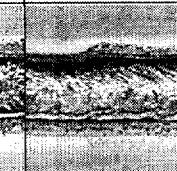
	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
280 sec					
350 sec					

Table 5.4 Comparison of surface bead

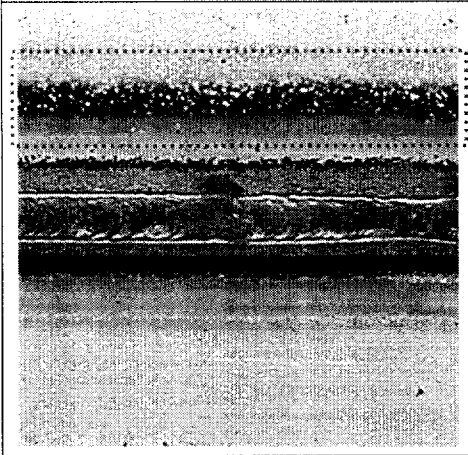
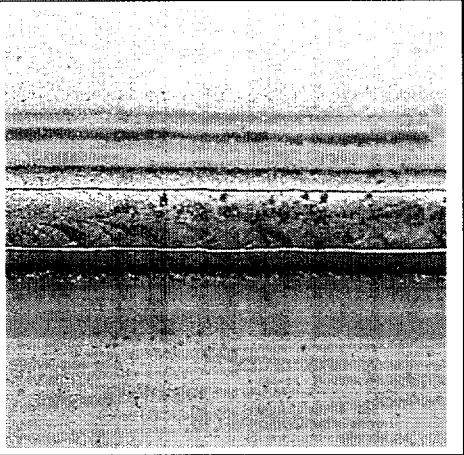
Ar 100%	Ar 99% + O ₂ 1%
	

Table 5.5 Relationship between back bead
and welding time (70~210sec)

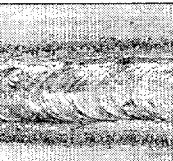
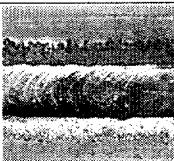
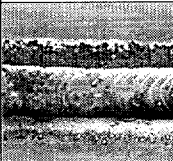
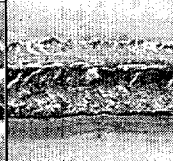
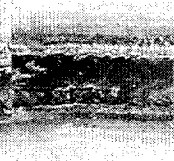
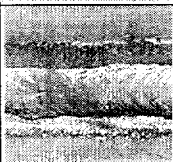
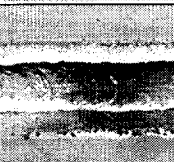
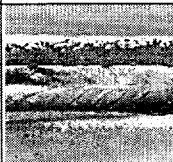
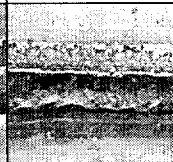
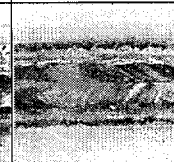
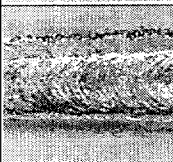
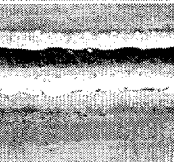
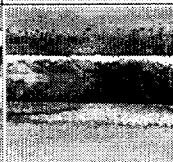
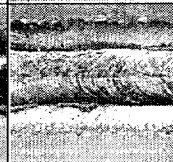
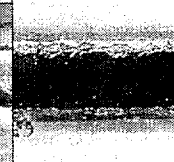
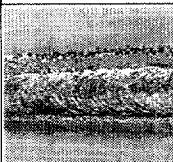
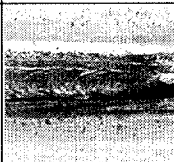
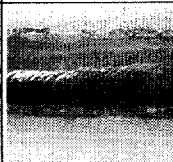
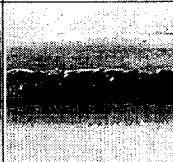
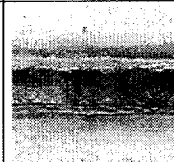
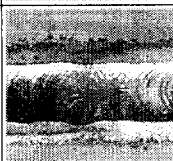
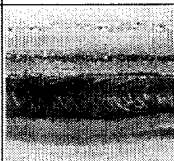
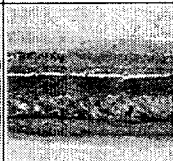
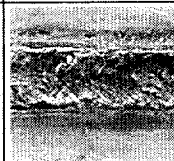
	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
70 sec					
140 sec					
210 sec					

Table 5.6 Relationship between back bead
and welding time (280~350sec)

	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
280 sec					
350 sec					

5.4.2 플라즈마 용접 토치의 오염 비교

플라즈마 아크 용접에서 전극 팁과 노즐상태는 아크력에 직접적으로 영향을 미치므로 상당히 중요한 요소이다. 전극 팁의 심한 산화와 변형은 아크 스타트 불량 문제를 일으킬 수 있고, 스패터의 부착으로 인한 노즐 직경의 감소는 아크력을 증가시켜 용락 등의 문제를 일으킬 수 있다.

(1) 전극팁의 오염상태 비교

Table 5.7과 5.8은 산소 첨가량에 따른 전극팁의 변화를 나타내었다. 총 5회 용접 실시 후에도 전극팁의 외관 형상은 거의 일정하게 유지되었다. 이것은 플라즈마 용접의 특징으로 노즐이 전극 팁을 보호하고 있기 때문이라 판단된다.

Table 5.7 Relationship between electrode tip contamination and welding time (70~210sec)

	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
70 sec					
140 sec					
210 sec					

Table 5.8 Relationship between electrode tip contamination and welding time (280~350sec)

	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
280 sec					
350 sec					

(2) 노즐의 오염상태 비교

Table 5.9와 5.10은 실드가스중 산소 첨가량에 따른 전극 팁의 변화를 나타내었다. Ar 100%를 사용한 경우는 노즐에 다량의 스파터가 부착되었다. 하지만 O₂ 1, 2, 4, 6%를 사용한 경우는 노즐의 변화가 거의 없었다. 노즐의 직경 감소는 아크력을 강하게 하여, 용접부에 용락을 초래할 수 있다. 따라서 용접부의 안정성과 노즐보호를 위해서 실드가스에 O₂ 1~6%를 첨가하는 것이 가장 적절한 것으로 판단된다.

Table 5.9 Relationship between nozzle contamination
and welding time (70~210sec)

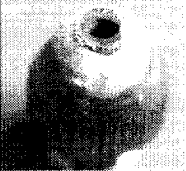
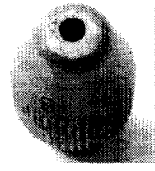
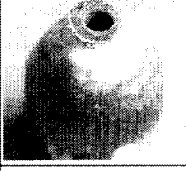
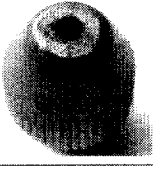
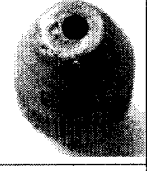
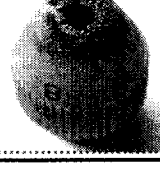
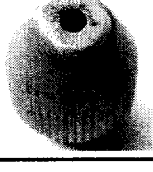
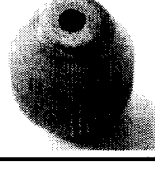
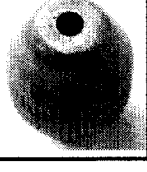
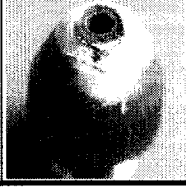
	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
70 sec					
140 sec					
210 sec					

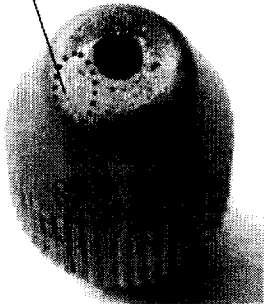
Table 5.10 Relationship between nozzle contamination
and welding time (280~350sec)

	O ₂ 0%	O ₂ 1%	O ₂ 2%	O ₂ 4%	O ₂ 6%
280 sec					
350 sec					

(3) 노즐에 부착된 Spatter의 EDX분석

Table 5.11은 노즐에 부착된 Spatter의 성분분석 결과를 나타낸 것이다. 실드가스로 Ar 100%를 사용한 경우에는 다량의 스패터가 발생했고, 산소를 2% 첨가했을 경우에는 소량의 스패터가 발생했다. 스패터의 성분을 분석하기 위해 노즐의 스패터의 성분 분석을 한 결과 Ar 100%를 사용하여 용접한 노즐의 Spatter 대부분은 Fe였고, 산소를 2%첨가하여 용접한 노즐의 Spatter 대부분은 Zn이었다.

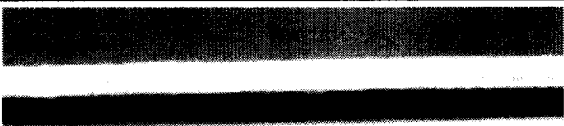
Table 5.11 EDX results for spatters of nozzles

	Ar 100%	Ar 98% + O ₂ 2%
Nozzle appearance	Fe spatter 	ZnO 
EDX analysis result (wt%)	Zn : 1.23 Fe : 91.52 O : 7.25	Zn : 69.31 Fe : 5.94 O : 24.75

5.4.3 용접부 기공 비교

Table 5.12은 실드가중의 산소 첨가량에 따른 용접부의 기공을 검토한 결과이다. 용접부 기공을 비교한 결과 Ar 100%, Ar 99% +O₂ 1% 와 Ar 98%+O₂ 2% 의 경우는 기공이 2개 이하였고, 산소를 4% 이상 첨가한 경우는 기공이 급격히 증가하여 10개 이상 발생했다. 따라서 산소 첨가량이 1~2%정도 첨가할 경우는 기공에 의한 문제점은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

Table 5.12 Longitudinal sections of welds after 140mm(70s) welding

Mixed ratio	Longitudinal sections of welds	The number of porosity (700mm)
Ar 100%		2
Ar99% + O ₂ 1%		0
Ar98% + O ₂ 2%		1
Ar96% + O ₂ 4%		Over 10
Ar94% + O ₂ 6%		Over 10

5.4.4 용접부의 에릭슨 값 비교

Fig. 5.4는 실드가스중의 산소 첨가량과 에릭슨 값과의 관계를 나타낸 것이다. 그림을 보면 산소를 첨가 할수록 기공은 증가하는 경향을 보였다. 하지만 산소 2%정도 첨가시까지는 에릭슨 값이 서서히 감소 하지만 4%부터는 에릭슨 값이 급격히 감소하였다. 따라서 노즐의 오염 상태(Table 5. 8~9)와 연관시켜 볼때, 노즐 보호를 위해서는 2% 산소 첨가가 가장 적절하고, 용접부의 소성 가공도를 향상 시키기 위해서는 1% 산소 첨가가 가장 적절한 것으로 판단된다.

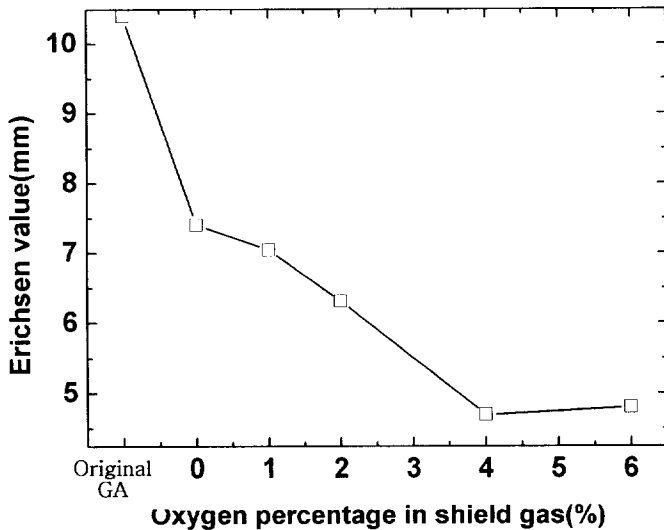


Fig. 5.4 Relationship between O₂ percentage in shield gas and Erichsen value

5.5 결론

GA강판의 Plasma 아크 용접 특성에 미치는 실드가스중 산소의 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) GA 강판의 플라즈마 용접성에 미치는 산소의 영향을 검토한 결과, 산소를 첨가하여도 전극팁에는 큰 변화가 발생하지 않았다. 그러나 산소를 첨가함에 따라 Cu노즐의 오염은 현저히 감소되었다. 따라서 플라즈마 토치 수명 연장을 위해서는 소량의 산소를 첨가하는 것이 효과적인 것이라 판단된다.

2) 에릭슨 값을 비교한 결과 실드가스중 산소의 양이 2%를 초과할 경우는 에릭슨 값이 현저히 낮아졌다. 따라서 에릭슨 값 안정을 위해 일정량 이상의 산소 첨가는 피해야 할 것으로 판단된다.

3) GA강판의 플라즈마 용접 시에는 Open jig를 사용하고, 실드가스 Ar에 O_2 1~2% 혼합가스를 사용하는 것이 토치 수명 연장과 에릭슨 값 저하 방지를 위해 가장 효과적인 방법이라고 판단된다.

제 6장 결론

1) Close jig와 Open jig를 이용하여 GA 강판을 용접한 결과 Close 지그의 용융지에서 폭발이 발생하였다. 이것은 이면의 아연층이 용융 증발하여 용융 금속을 통과해서 외부로 유출될 때 발생하는 것으로 판단된다.

2) 동영상 관찰 결과 Zn층이 존재하지 않는 두 종류의 시편 (하부에만 Zn층 존재 시편, Zn층이 상하부 모두 존재하지 않는 시편)에서는 Spatter가 발생하지 않았고, Zn층이 상부에만 존재하는 시편에서 spatter가 지속적으로 발생하였다. 따라서 Open jig를 사용할 경우는 표면층의 Zn층의 일부 아연 증기가 용융지로 침투해 spatter가 발생함을 확인 할 수 있었다.

3) 용접시 발생하는 Spatter를 포집하여 EDX 성분 분석을 한 결과, 87.16%가 Zn임을 확인 할 수 있었다. 따라서 표면층의 Zn층이 spatter의 근본적인 원인임을 확인하였다.

4) GA 강판 용접시에 Close jig를 사용하면 폭발이 발생하였고, 전극팁과 Cu노즐이 오염되어 Plasma 용접 토치의 수명이 단축되었지만, Open jig를 사용할 경우는 폭발이 발생하지 않아 토치 수명이 현저히 증가하였다.

5) GA 강판의 플라즈마 용접성에 미치는 산소의 영향을 검토한 결과, 산소를 첨가하여도 전극팁에는 큰 변화가 발생하지 않았다. 그러나 산소를 첨가함에 따라 Cu노즐의 오염은 현저히 감소되었다. 따라서 플라즈마 토치 수명 연장을 위해서는 소량의 산소를 첨가하는 것이 효과적인 것이라 판단된다.

6) 에릭슨 값을 비교한 결과 실드가스중 산소의 양이 2%를 초과할 경우는 에릭슨 값이 현저히 낮아졌다. 따라서 에릭슨 값 안정을 위해 일정량

이상의 산소 첨가는 피해야 할 것으로 판단된다.

7) GA강판의 플라즈마 용접 시에는 Open jig를 사용하고, 실드가스 Ar에 O_2 1~2% 혼합가스를 사용하는 것이 토치 수명 연장과 에릭슨 값 저하방지를 위해 가장 효과적인 방법이라고 판단된다.

참고문헌

1. H. Matsui, S. Shionoya : 亞鉛めっき鋼板のアーカ溶接における溶融池振動による氣孔の低減, 溶接學會論文集, 16-1(1998), p.45-50
2. M. Uchihara, T. Taka, H. Miyazaki : 亞鉛めっき鋼板のアーカ溶接性に及ぼす溶接施工條件とシールドガス組成の影響, 溶接學會, June, 1995, II-105-109
3. 益木 功, 松田 一夫, 長谷川正義 : 亞鉛めっき鋼板のアーカ溶接, 溶接學會誌, 42-12, 1973, 1223-1236
4. K.Yasuda, S.Nakano, T.Yamaguchi, T.Komatsu and T.Nakajima : Avoidance of Blowhole in Arc Welding of Galvanized Steel Sheets, The 5th International Symposium of the Japan Welding Society, April, Tokyo, 1990, 785-790
5. 亞鉛めっき鋼板の溶接手引作成委員會 : 亞鉛めっき鋼板の溶接手引, (社) 鋼材俱樂部(1977)
6. E.N.Gregory : Welding zinc coated steel, Welding Coated Steel, TWI, 5-12
7. 山田忠昭, 小林實 : パルスMAG溶接におけるブローホールについて, 溶接學會論文集, 3-4, 1985, 822-830
8. 松井仁志 等 : 溶融亞鉛めっき薄鋼板のアーカ溶接施工法に関する基礎檢討, 溶接學會論文集, 15-3(1997), p.484-493
9. 란카스타 : 溶接아크의 물리, 溶接學會, 溶接아크物理研究委員會, 1990, 129-156(in Japanese)
10. 대한용접학회편 : 용접-접합편람, 대한용접학회, 1998 (in Korean)
11. 대한용접학회 : 용접-접합 용어사전, 2001(in Korean)
12. 向井喜彦, 西村新 : 亞鉛めっき鋼板のCO₂溶接關する研究, 溶接學會論文集, 7-1, 1989, 70-75

감사의 글

2002년 8월경 부푼 꿈을 안고 용접 IT 연구실에 들어와 많은 것을 배웠고, 많은 것을 느꼈고, 많은 발전을 이루었다고 생각합니다. 제 인생에서 또 한번의 큰 변환점이 되었습니다. 2005년 1월 현재 이 글을 쓰며 지난 대학원 생활을 돌이켜 보니 감회가 새롭습니다.

가장 먼저 고개 숙여 감사의 말씀을 전하고 싶은 분은 바로 저희 지도교수이신 조 상명 교수님이십니다. 텃병대고, 논리적이지 못했던 저였기에 교수님으로부터 꾸지람도 많이 들었지만, 달라진 제 모습을 볼 때면 그 이유를 새삼 느낄수가 있습니다.

학부, 대학원 과정동안 많은 지도를 해주신 김우열 교수님, 박홍일 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님들께도 감사의 말씀을 올립니다. 논문 완성을 위해 많은 조언을 해주신 김우열 교수님, 서원찬 교수님께도 다시 한번 감사드립니다.

처음 연구실에 들어온 제게 많은 도움을 주셨던 조호재, 박찬우, 김진우, 공현상, 김선희, 박금기, 박대규, 탁정수, 김기정 선배님들께 고마움을 전하고 싶습니다. 그리고 항상 주경야독 하시던 감병오 박사님, 오동수, 황동수, 지정민, 고명훈 박사과정 선배님들께도 많은 도움을 받았습니다. 감사합니다. 같이 공부하고, 연구했던 박덕조님, 유광선님께도 고마움을 전하고 싶습니다. 요즘 몸이 좀 안좋은 박사과정 고미혜양에게도 빨리 건강을 회복하길 기원하고, 고마움을 전하고 싶습니다. 마지막으로 항상 열심히 노력하는 후배들, 조진안, 김영주, 김인태, 김대만, 윤승중, 김진욱, 함효식, 배광무, 황규민님들에게 감사의 말을 전하고 싶습니다.

또한 제가 무슨 일을 하던 항상 묵묵히 지원해 주신 양가 부모님들, 항상 절 걱정해 주는 저의 아내 김영임, 한달전 태어난 저의 이쁜 공주 조연서에게도 감사의 마음을 전하며 본 논문을 마칩니다.