Al 6082-T6 MIG 용접에서 기공방지를 위한 용접공정 개발

백상엽* · 정연호** · 김원일*** · 조상명****,†

*한국폴리텍VII대학 산업설비자동화과

** (주)세정 기술연구소

***경남대학교 기계자동화공학부

****부경대학교 신소재공학부

The Development of Welding Process to Prevent Porosity in MIG Welding of Al 6082-T6

Sang-Yeub Baek*, Yon-Ho Jung**, Won-Il Kim*** and Sang-Myung Cho****,†

*Div. of Industrial Facility Automation Engineering., Korea Polytechnic VII, Changwon 641-772, Korea

**Engineering R&D Institute, SEJUNG Co.,LTD., Chungnam 336-873, Korea

***The school of Mechanical Engineering and Automation., Kyungnam University, Changwon 631-701, Korea

****Div. of Advanced Materials Sci. and Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

†Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received January 25, 2010 ; Revised May 24, 2010 ; Accepted October 27, 2010)

Abstract

This paper was described on investigation to prevent porosity in high speed MIG Welding of Al 6082-T6. Porosity measurement was carried out by using image analysis of micrographs with the help of an analysis software. The main parameter was arc length and torch progressive angle. The porosity ratio was increased as arc length was increased. The arc length was increased depending upon the output voltage. By proper selection of pulse waveform parameter, the stable arc of one pulse one drop was generated. The porosity ratio of optimum condition in one pulse one drop was lower than high voltage condition. When torch progressive angle was an angle of advance 10°, porosity ratio was minimum.

Key Words : Pulse GMAW, MIG welding, Aluminium welding, High speed welding, Al6082-T6, Bead on plate, Al-Mg-Si Al alloy, Welding Porosity, Arc length, Arc voltage, Welding speed, Progressive angle, Comparative arc length, Pulse energy, One pulse one drop

1. 서 론

알루미늄 합금 Al 6082-T6는 최근에 개발되어 북유럽 등의 선진국에서는 그 뛰어난 해양 내식성과 우수한 강도로 인하여 해양구조물의 헬리덱(Helideck), 타워 갱웨이(Tower gangway), 알루미늄 피팅류(Aluminium fitting)등의 해양구조물과 플랫폼(Platform), 알루미늄 래더(Aluminium ladder)등의 선박부품, 차량, 기계부품 분야에서 전 세계적으로 널리 사용되기 시작하였다.

그러나 전통적으로 용접금속의 기공은 결함으로 분류되고, Rakesh Kumar¹⁾ 등의 논문에서 따르면 용접 시 용접금속 내에 발생되어진 미세기공이 기계적 성질에 악영향²⁾을 미치는 것으로 보고되어졌다. 따라서 용접금속 내에 발생하는 기공을 방지하는 용접공정 개발이 반드시 필요하다.

본 연구의 목적은 Al 6082-T6 고속 MIG용접에서 기공방지를 위한 용접공정을 개발하는 것이다.

Al 6082-T6의 7t 플레이트에 Al 5356 와이어로 아크길이를 변경하여 실험하였고, 용접속도 120cpm의

고속 MIG용접에서 토치 진행각을 변경하여 실험을 진행하였다. 용접공정 파라미터 변경에 따른 기공률 측정은 이미지 분석 소프트웨어를 사용하여 정량적으로 측정, 분석하였다.

2. 사용 재료 및 실험 방법

2.1 사용 재료

본 실험에서는 길이 150mm × 폭 50mm × 두께 7t의 Al 6082-T6에 $\Phi 1.2$ mm Al 5356 wire (ER5356)로 인버터 제어 방식의 용접기를 사용하여 펄스 미그 용접을 실시하였다.

2.2 실험 방법

6축 다관절 로봇을 사용하여 용접속도 120cpm, 비드 온 플레이트 용접을 하였고, 보호가스로는 Ar 100%를 사용하였다.

2.2.1 아크길이 변경에 따른 실험

Table 1은 아크길이 변경 실험 조건을 나타낸 것이다. Fig. 1은 인버터 펄스 미그 용접기에서 아크길이를 제어하는 펄스 파라미터 ALR(Arc Length Ratio)을 정의한 것이다. ALR을 증가시키면 아크길이는 길어지게 되고, 감소시키면 아크길이는 짧아진다. 변경 범위는 Default 값에서 ± 30 까지 가능하다.

2.2.2 펄스 파라미터 변경에 따른 최적 펄스파형 실험

(1) 원펄스 윈드롭 완전 스프레이 이행의 펄스파형 결정

Table 1 Experimental condition of varied arc length

Welding machine	Inverter Pulse MIG
Base metal	Al 6082-T6
Filler wire	Al 5356 wire $\Phi 1.2$ (ER 5356)
Joint type	Bead on plate
Shielding gas	100% Ar (20 ℓ /min)
Welding speed	120cpm
Wire feed rate & Setting current	1550cpm (250A)
CTWD	20mm
Temp. & humidity	23°C, 39%
RPC (Relative peak current)	Default
ALR (Arc length ratio)	+7, +12, +17, +22, +27

Fig. 1 Schematic of Arc length ratio

본 실험은 D.M.Kim, S.M.Cho³⁾등의 선행연구를 참고로 하여 수행되었다. RPC와 ALR 변경하여, 단락 시간 비 10%인 영역을 설정한 후 단락 주파수비, 펄스 주기의 표준편차, 단락위치(Tps)의 표준편차를 검토한 후, ALR만 변경하여 단락시간 비 0.03%이하인 조건을 선택하였다.

Table 2는 펄스 파라미터 변경에 따른 최적 펄스파형 실험 조건을 나타낸 것이다. CTWD는 15mm로 하였고 다른 조건은 2.2.1의 실험조건과 동일하며 RPC와 ALR을 변경하였다. Fig. 2는 인버터 펄스 미그 용접기에서 펄스파형 전류 및 펄스시간의 상대적 크기를

Table 2 Experimental condition of decision one pulse one drop

Shielding gas	100% Ar (20 ℓ /min)
Welding speed	120cpm
Wire feed rate & Setting current	1550cpm (250A)
CTWD	15mm
Temp. & humidity	23°C, 39%
RPC (varied)	Min -5 ~ Max +5
ALR (varied)	Min -30 ~ Max +30

Fig. 2 Schematic of relative peak current

제어하는 펄스 파라미터인 상대적 피크전류(RPC)를 정의한 것이다. RPC가 증가하면 피크전류의 크기와 시간은 증가하게 되고, RPC가 감소하면 피크전류의 크기와 시간은 감소하게 된다. 변경 범위는 Default 값에서 ± 5 까지 가능하고 용적 분리 위치를 조절 할 수 있다.

(2) 원펄스 윈드롭 완전 스프레이 이행에서 아크길이 변경 실험

원펄스 윈드롭 완전 스프레이 이행 (RPC: +4, ALR: -2)에서 ALR을 -5씩 5단계로 감소시켜 기공률을 정량적으로 측정 분석하였다.

2.2.3 진행각 변경실험

2.2.2 실험을 통하여 도출된 최적 펄스 조건을 사용하여 토치 진행각 변경실험을 수행하였다. Table 3은 진행각 변경실험 조건을 나타낸 것이다. Fig. 3은 토치 진행각 모식도를 나타내었다.

2.2.4 기공률 측정 방법

Rakesh Kumar⁴⁾ 등에 의해 연구되었던 Al 6082-T6 MIG 용접부의 인장 시험결과, 모든 시편이 용접금속 속에서 파단이 발생하였고, 이는 15~50 μ m 크기를 가지는 기공이 모든 용접부에 0.33~11.59% 까지 존재한 결과였다.

Table 3 Experimental condition of varied progressive angle

Shielding gas	100% Ar (20 ℓ /min)
Welding speed	120cpm
Wire feed rate & Setting current	1550cpm (250A)
CTWD	15mm
Temp. & Humidity	23 $^{\circ}$ C, 39%
RPC	+4
ALR	-12
Progressive angle	-10 $^{\circ}$, 0 $^{\circ}$, +10 $^{\circ}$

Fig. 3 Schematic of progressive angle

용접부의 방사선 투과 시험(JISZ3105)의 평가 방법의 경우 모재두께 20mm이하의 조건에서는 400 μ m이하의 미세기공은 판별 할 수 없기 때문에 본 연구에서는 현미경 50배 배율로 시편 당 10장의 기공사진을 획득하여 Leica사의 이미지 분석 소프트웨어(Qwin)를 사용하여, 각 시험조건 당 2개의 시험편을 분석하였고 그 평균값을 사용하여 데이터 처리하였다. 또한 Fig. 4의 Gubicza J⁵⁾ 등은 마이크로조직에서 기공을 분석하기 위해 Keller시약을 부식액으로 사용하였으나, Mg₂Si 등의 석출상과 비교하기가 힘들어 본 연구에서는 Fig. 5에서와 같이 부식하지 않고, 연마 후 현미경 사진관찰을 통하여 기공을 판별 하고 Fig. 6에서 정확히 기공들만 구별하여 이미지 분석을 수행할 수 있었다. 또한 본

Fig. 4 Porosity detecting method of Gubicza J

Fig. 5 Porosity detecting method in this study

Fig. 6 Porosity detecting using Image analyzing software

연구에서 기공률은 용접금속의 면적에서 기공이 차지하는 면적의 백분율을 기공률로 정의하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 아크길이 실험 결과

Fig. 8에 이미지 분석 소프트웨어를 사용하여 측정되어진, 상대적 아크길이 변동에 따른 용접금속의 기공률이 나타나 있다. Fig. 7에는 아크길이가 증가 할수록 출력 전압이 증가하였고, Fig. 9 와 Table 4에는 전압이 증가 할수록 비드폭이 증가하는 그래프와 단면사진이 나타나 있다. 기공이 가장 적게 발생한 23.22V는 스프레이 이행 최소 전압이었다. 아크 길이가 길어지면 더 큰 용융지가 형성되어 수소가 흡수 될 수 있는 면적이 증가하기 때문에 기공이 많이 발생하게 된다.

Woods⁶⁾ 와 C.H.Lee⁷⁾의 연구에서는 TIG 용접 시 아크길이가 0.5mm 에서 2.0mm로 증가하면 용접 금속 내 수소함량이 0.7(ml/100g)에서 1.5(ml/100g)으로 증가하는 현상이 나타났으며, Welding technology⁸⁾에서는 알루미늄이 아닌 연강에서도 아크 전압이 32V

Fig. 7 Relationship between ALR and output voltage

Fig. 8 Relationship between output voltage and porosity ratio

Fig. 9 Relationship between ALR(arc length) and bead width

Table 4 Cross section and porosity with ALR

ALR	Cross Section	Porosity(x10)
7
17
27

에서 35V로 증가함에 따라 용접금속 내 질소 함량이 20ppm에서 100ppm으로 증가하는 결과가 나타났다. 따라서 기공을 방지하기 위해서는 아크길이 즉 아크전압을 낮게 용접하는 것이 바람직하다.

3.2 펄스 파라미터 변경에 따른 최적 펄스파형 실험결과

3.2.1 펄스 파라미터 정의

펄스 파형 파라미터를 아래와 같이 정의하였다.

- 1) T : 펄스 주기 (ms)
- 2) 단락 시간비 : 단락시간 / 용접시간 x 100 (%)
- 3) Ip : 피크 전류 (A)
- 4) Tp : 전압파형에서 피크전압이 걸리는 시간 (ms)
- 5) Tps : Ip 위치에서 단락 개시 위치까지 시간 (ms)

Fig. 10에는 Tps(msec)를 정의하였고, Fig. 11는 단락시간 비 10%조건에서 RPC에 따른 단락주파수 비를 나타낸 그래프이다.

단락주파수 비식은 아래와 같다.

$$\text{단락주파수 비} = \frac{\text{단락 주파수 (Hz)}}{\text{펄스 주파수 (Hz)}}$$

Fig. 10 Definition of Tps

3.2.2 실험결과

각 RPC에서 ALR을 변경하여 단락시간비가 10%의 파형을 분석한 결과, RPC가 -5에서 +5로 증가할수록 규칙적인 단락이 발생하여 원펄스 윈드롭 파형에 가까워졌다. 그래프에서 단락주파수 비의 원펄스 윈드롭 이행영역은 1.0 ± 0.1 로 판단하였다.

Fig. 12, Fig. 13은 단락시간 비 약10%인 조건에서 RPC에 따른 펄스주기(msec)의 표준편차 및 Tps(msec)의 표준편차를 나타낸 그래프이다.

원펄스 윈드롭 이행 영역은 각각 0.1이하 0.4이하로 판단하였다.

단락주파수 비, 펄스주기 표준편차, Tps표준편차의 조건을 모두 만족할 때 원펄스 윈드롭 이행 조건이 실현됨을 알 수 있었다.

원펄스 윈드롭 이행이 실현되는 RPC +3, +4, +5

Fig. 11 Short circuit frequency ratio to RPC

Fig. 12 Standard deviation of period to RPC

Fig. 13 Standard deviation of Tps to RPC

에서 아크길이를 증가시켜 단락시간비 0.03%이하가 되는 최소전압은 펄스 에너지 +4에서 24.64V로 가장 낮게 형성 되었다.

따라서, 본 연구에서는 원펄스 윈드롭 완전 스프레이 이행 최적 조건으로 RPC +4, ALR -2로 판단하였다.

3.3 원펄스 윈드롭 완전 스프레이 이행에서 아크길이 변경 실험

Fig. 14, 15, 16, 17은 이미지 분석 소프트웨어를 이용하여 측정된, ALR변동에 따른 용접금속의 기공률

Fig. 14 Relationship between ALR and porosity ratio

Fig. 15 Porosity of ALR -22

Fig. 16 Porosity of ALR -12

Fig. 17 Porosity of ALR -2

Fig. 18 Relationship between ALR and short circuit frequency ratio

을 나타내고 있다. ALR이 -22에서 -2로 증가 할수록 기공률이 증가하는 경향을 보였다. 하지만 ALR -12미만에서는 큰 스파터가 발생하였다.

Fig. 18에는 ALR에 따른 단락시간 비 그래프로써, ALR -12미만에서 단락시간 비가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 단락시간 비가 증가하면 단락을 많이 하게 되어, 아크 재 점호 시 발생하는 스파터^{9,10,11)}가 다량 발생한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 설정전류 250A에서 기공방지를 위한 최적 펄스 파형 조건은 RPC +4, ALR -12로 판단하였다.

또한 3.1에서는 스프레이 이행 구현 최소전압에서 기공률의 최소값은 0.43%으로 나타났으나, 1펄스 1드롭 이행 최적조건은 0.32%로써 안정적인 1펄스 1드롭 이 기공 방지에 효과적인 것으로 판단된다.

3.3 진행각 변경 실험 결과

Fig. 19은 토치 진행각 변경에 따른 기공률을 나타내었다. 120cpm의 고속 용접에서 기공률은 전진각 10°에서 최소값을 나타내었다. 이는 120cpm의 고속 용접 시 용접방향 뒤쪽으로 보호가스 날림이 발생하기 때문이다. 그러므로 진행각 0°의 경우 보호가스가 용접 진행반대방향으로 날려 기공이 발생할 수 있고, 전진각의

Fig. 19 Relationship between porosity ratio and progressive angle

Fig. 20 Porosity of progressive angle -10°

Fig. 21 Porosity of progressive angle 0°

Fig. 22 Porosity of progressive angle +10°

경우 실드가스가 용접진행반대방향으로 날려 실드가스가 용융풀에 적절히 분사되어 기공발생이 줄어들게 된다. 또한 후진각의 경우 실드가스가 더 많이 뒤로 날리기 때문에 기공이 다량 발생하게 된다.

J.H.Kim, D.H.Park¹²⁾ 등의 연구에서는 80cpm의 용접속도에서 전진각 10°의 경우가 기공이 가장 적게 발생하였다. 따라서 용접속도 120cpm의 고속 용접은 전진각을 적용하여 용접하는 것이 기공방지에 효과적인 것으로 판단된다.

4. 결 론

1) 400 μ m이하의 미세기공을 판별하기 위하여 시험편을 부식하지 않고 연마만 한 상태에서 현미경 조직사진을 이미지 분석 소프트웨어로 분석하여 최소기공사이즈 10 μ m까지의 기공을 판별하여, 기공률을 정량적으로 측정 분석하였다.

2) 아크길이 즉 아크전압이 증가할 수록 기공률은 증가하였다. 아크길이, 아크전압이 증가하면 더 큰 용융지가 형성되어 수소가 흡수 될 수 있는 면적이 증가하기 때문이다.

3) Al6082-T6고속 MIG용접에서 RPC와 ALR을 조절하여, 최적 원펄스 윈드롭 펄스 파형을 결정하였고, 250A기준 RPC +4에서 ALR -12인 조건이었다.

4) 최적 원펄스 윈드롭 조건에서 기공률은 0.32%였고, 원펄스 윈드롭이 아닌 조건에서는 0.44%이었다. 따라서, 안정적인 원펄스 윈드롭 이행은 기공방지에 효과적이다.

5) 120cpm의 고속 MIG용접에서는 실드가스가 용접진행방향 뒤로 날리기 때문에 후진각 및 진행각 0°에서는 실딩불량에 의한 기공이 발생하였다. 이를 방지하기 위해서 전진각을 적용하는 것이 기공방지에 효과적이다.

참 고 문 헌

1. Rakesh Kumar, Ulrich Diltthey, D.K. Dwivedi, P.K. Gosh : Thin sheet of Al6082 alloy by Ac pulse-GMA and Ac wave pulse-GMA welding, Materials and Design **30** (2009) 306-313
2. Praveen P, Yarlagadda PKDV (2005) Metting challenges in welding of aluminium alloys through pulse gas metal arc welding. J Mater Process Technol **164-165**, 1106-1112
3. D.M. Kim, S.M. Cho : A decision method of the pulse waveform for perfect spray transfer with 1 pulse 1 drop in MIG welding of stainless steel, Proceedings of KWS, **45** (2005), 258~261 (in Korean)
4. Rakesh Kumar, Ulrich Diltthey, D.K. Dwivedi, S.P. Sharmar P.K. Gosh : Welding of thin sheet Al alloy (6082) by using Vario wire DC P-GMAW, Int'l J Adv Manuf Technol **42** (2009), 102-117
5. Gubicza J, Krallics Gy, Schiller I, Malgin D (2005) Evolution of the microstructure of Al 6082 alloy during equal-channel angular pressing, Mat Sci Forum **473-474**, 453-458
6. Woods R: Welding Journal, **53**, 1974, P.93s
7. C.H.Lee, R.W.Chang : Weldability of Al alloys, Part 1 : Cracking and Porosity, Journal of KWS, **10-3** (1992), 1-16 (in Korean)
8. Welding technology Vol. **57** (2009), 45-50
9. H.J.,Kim, C.H.Lee : The characteristics of Power Source on the Spatter Generation Rate in CO₂ Arc Welding, Journal of KWS, **17-4** (1999), 27-34 (in Korean)
10. J.H.Choi, J.Y.Lee, C.D.Yoo : Dynamic Behavior in a GMAW System, Journal of KWS, **18-5** (2000), 41-48 (in Korean)
11. M.J.HERMANS, G.DEN OUDEN : Process Behavior and Stability in Short Circuit Gas Metal Arc Welding **98** (1999), 137-141
12. J.H.Kim, D.H.Park : Porosity in Thick Aluminium Alloy Welds (Causes and Prevention), Journal of KWS, **12** (1994), 7-15 (in Korean)