단락제어에 따른 입향상진 피복아크 용접 특성에 관한 연구

이 경 훈^{*,***} · 유 회 수^{**,†} · 현 승 균^{***}

^{*}월드웰 기술연구소

^{**}한국생산기술연구원 용접접합그룹

^{***}인하대학교 재료공정융합전공

A Study of Characteristics of Vertical-up SMA Welding by Short Circuit Control

Kyung-Hun Lee^{*,***}, Hoi-Soo Ryoo^{**,†}, and Soong-Keun Hyun^{***}

^{*}R&D Institute, Worldwel Company, Incheon, 22534, Korea

^{**}Joining R&D Group, KITECH, Incheon, 21999, Korea

^{***}School of Program in Materials Process Engineering, Inha University, Incheon, 22534, Korea

[†]Corresponding author : hsryoo@kitech.re.kr

(Received June 1, 2017 ; Revised July 12, 2017 ; Accepted July 17, 2017)

Abstract

SMAW can be used all position mode and anywhere. The weldability of SMAW depends on the skill of the welder. Especially, the welding of horizontal and vertical-up position is very difficult for beginners to weld. The E4316 (low hydrogen type) electrode is more difficult to weld than other electrodes due to frequent sticking at low current welding. In this study, it is considered that the weldability of E4316 was improved in the case of short-circuit control at vertical-up welding. The characteristics was evaluated by short-circuit control and compare with flat welding. The SMA welding power source with short-circuit control function was used. The waveform measurement was performed to analyze the characteristics of short-circuit control. As a result, the difficulty of vertical-up welding at low current is due to the low frequency of short-circuit and the long short-circuit period. The short-circuit control is increase weldability of vertical-up by suppressed long short-circuit. So, it is possible to easily weld vertical-up welding by using a short-circuit-controlled SMA welding power source.

Key Words : SMAW(shielded metal arc welding), Vertical-up, Short-circuit, Short-circuit control

1. 서 론

소모성 전극을 사용하는 피복아크용접(SMAW : shielded metal arc welding)은 심선에 도포되어 있는 피복제 성분에 의하여 보호가스가 필요 없고, 이동성이 용이하여 장소에 구애받지 않고, 전 자세 용접이 가능하여 널리 사용되고 있다. 2007년부터 5년간 세계 용접재료 수요량 통계에 의하면 피복아크용접봉이 44%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 국내는 약 33%로 솔리드와이어 다음으로 높은 비중을 차지하고 있다¹⁾. 즉 용접자동화의 증가에도 불구하고 피복아크용접의 의존도

는 높은 편임을 알 수 있다.

피복아크용접은 수동으로 용접하기 때문에 작업자의 기능에 따라 좌우되며, 특히 수평필렛 및 입향상진(vertical-up) 자세에서 높은 기능이 필요하다²⁾. 입향상진 용접시 용접전류가 높을 경우 용적이 흘러내리기 때문에 낮은 전류와 짧은 아크 길이를 유지하며 용접한다. 용접전류가 낮을 경우 단락에 의한 용착 또는 아크 끊김과 같은 용접 공정의 문제점이 발생한다. 특히 저수소계 용접봉은 저전류 용접시 용접봉이 모재에 용착되는 현상이 자주 발생하기 때문에 용접의 난이도가 높다. 이러한 이유는 이행되는 용적이 다른 용접봉보다 큰 특징

이 있어, 단락이 발생할 경우 단락해소가 어렵기 때문이다³⁻⁵⁾.

최근 Yang⁶⁾은 단락제어형 SMA 용접전원을 개발하여 용접봉의 용착을 억제하고 저전류 용접성을 향상시킨 용접전원을 개발하였다. 아래보기(flat) 용접에 대하여 상용용접전원 보다 10A 낮은 전류에서 용접이 가능하였다. 따라서 단락제어 용접전원은 입향상진 용접의 문제점인 저전류에서의 용착을 억제할 수 있어 용접성이 우수할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 용접 난이도가 높은 입향상진 용접에서 단락제어 시 용접성이 향상될 것으로 판단되어, 단락제어 유무에 따른 입향상진 용접성을 평가하였으며, 아래보기 용접과 비교하였다.

2. 실험 방법

2.1 단락제어용 용접전원 구성

단락제어에 따른 입향상진 용접시험을 위하여 단락제어 기능이 적용된 SMA 용접전원을 사용하였다⁶⁾. 용접전원의 구조는 Fig. 1에 보인바와 같이 풀브리지(full-bridge) 인버터 전원이며, 설정전류에 따라 전력을 제어하는 아날로그 제어 PCB 그리고 용접시퀀스와 용접전류설정 및 단락과형제어 기능을 갖는 디지털 제어 PCB로 구성되었다.

일반적인 GMA 용접전원은 전압제어모드를 사용하기 때문에 단락발생시 전류가 상승되지만, 상용 SMA 용접전원은 전류제어모드를 사용하기 때문에 단락이 발생하여도 전류의 상승 없이 용접전류로 유지된다. 단락제어용 용접전원은 Fig. 2에 보인 바와 같이 단락이 발생하

Fig. 1 SMA welding power source for short-circuit waveform control⁶⁾

Fig. 2 Schematic of waveform control for short-circuit

면 급격한 전압감소를 감지하여 단락피크전류까지 일정한 기울기로 전류를 상승시킨다. 순간단락을 방지하기 위하여 단락발생 후 0.7msec 동안 설정전류로 유지시킨 후 단락피크전류까지 상승시키며, 단락이 해소될 때까지 단락피크전류를 유지하고 단락이 해소되면 일정한 기울기로 용접전류까지 하강시킨다. 하강기울기도 단락제어시 중요한 요소이며, 아크재생 후 용접전류보다 높은 전류를 인가하기 때문에 용접봉의 용융속도를 높여 빠른 아크길이를 유지하도록 한다.

단락피크전류 설정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 가변 볼륨으로 설정하도록 되어있으며, 단락피크전류는 용접 설정전류+단락설정전류가 된다. 예를 들면 용접설정전류가 100A이고 단락설정전류가 50A라면 단락피크전류는 150A가 된다. 또한 단락설정전류가 0A이면 기존 상용용접전원과 동일한 용접특성을 보인다.

2.2 단락제어에 따른 피복아크 용접성 평가

단락제어에 따른 입향상진과 아래보기 용접성을 비교 평가하기 위하여 저수소계(3.2 ϕ , KS E4316) 용접봉을 사용하여 비드온 플레이트(bead-on-plate, BOP) 용접을 실시하였다. 모재는 연강용 판재를 사용하였다. Table 1은 용접을 위한 전류 및 단락제어전류 시험조

Table 1 Conditions of flat and vertical-up welding

Welding current (A)	Short circuit control current (A)	Short circuit peak current (A)
90	0	90
	50	140
	100	190
110	0	110
	50	160
	100	210

견을 나타내었다. 용접전류는 90A와 110A에서 수행하였고, 용접전류에 대하여 단락제어전류는 각각 0A(단락제어 무)와 50A, 100A 조건으로 용접을 실시하였다. 이때 용접속도는 약 2.7mm/s 이었으며, 비드 길이는 8cm 이었다. 단락 무제어의 경우 아래보기 자세에서 용접전류 80A 이하에서 용접이 불가능하기 때문에 용접이 가능한 90A로 전류를 선정하였다⁶⁾.

용접비드와 용접파형을 측정하여 단락특성을 분석하였으며, 20kHz의 샘플링 속도로 용접전류와 전압을 계측하였다.

3. 실험 결과

3.1 단락제어에 따른 용접 용이성 평가

Table 2는 단락제어에 따른 아래보기와 입향상진 용접성을 나타내었으며, 'X'는 용접이 불가능한 경우, '△'는 용접 진행이 어려운 경우, 'O'는 용접이 용이한 경우를 나타내었다. 아래보기 용접은 설정전류 90A에서 단락제어 없이도 용접이 용이하였으나 90A이하에서 단락제어 없이는 용접이 불가능하였다. 반면에 입향상진 용접에서는 설정전류 90A에서 단락제어가 없을 경우 용접이 불가능하였고, 단락제어 전류가 100A일 때 용접이 용이하였다. 또한 설정전류가 110A일 경우 단락제어 전류가 50A에서 용접이 용이하였다. 즉, 용접전류가 높을 경우 단락제어전류가 낮아도 용접이 가능하였으며, 단락피크전류가 160A 이상이면 용접이 용이함을 알 수 있었다. 따라서 같은 저전류에서 아래보기 용접보다 입향상진 용접이 어려움을 알 수 있었다.

3.2 단락제어에 따른 아래보기 용접성

Yang⁶⁾의 실험에 의하면 3.2 ϕ 저수소계 용접봉을 단락제어 없이 용접할 경우 80A에서 용접이 어려우며, 90A에서는 용접이 용이하였다. 본 연구에서도 마찬가지로 90A이상에서 용접이 용이하였다. 90A에서 단락

제어에 따른 용접 비드결과를 Fig. 3에 나타내었다. 높은 단락제어전류에서 비드모양은 큰 변화가 없었으나, 단락제어전류가 너무 높을 경우 단락이 해소되면서 재아크시 다량의 스파터가 발생하였다.

Fig. 3(a)에 해당하는 단락 무제어시 용접파형을 Fig. 4에 나타내었다. 측정된 평균전류는 86A 이었으며, 용접전압은 19.5V로 용접전압파형이 규칙적으로 유지됨을 볼 수 있었다. 이는 아크길이가 일정하게 유지되는 것을 의미하는 것이다.

Fig. 5는 90A와 110A 용접시 측정된 용접파형으로부터 단락발생빈도를 분석하였으며, 이중 단락 20개를 분석하여 평균단락기간을 Fig. 6에 나타내었다. 단락 무제어의 경우 90A에서 단락빈도수는 5.6/sec 이었으며, 110A에서는 6.8/sec 이었다. 용접전류가 높아질수록 단락빈도수는 증가하였다. 또한 단락제어전류가 높아질수록 단락빈도수는 증가하였다. 이러한 이유는 용접전류가 증가할수록 용접봉의 용융속도가 증가하여 단락이 쉽게 발생할 수 있는 용적 크기로 빨리 도달할 수 있기

Fig. 3 Bead of flat position welding by short-circuit control current at welding current 90A

Fig. 4 Waveform of without short-circuit control at welding current 90A

Table 2 Weldability of flat and vertical-up welding

Welding current (A)	Short circuit control current (A)	Measured short circuit peak current (A)	Weldability	
			Flat (1G)	Vertical-up (3G)
90	0	87	O	X
	50	138	O	△
	100	182	O	O
110	0	108	O	△
	50	158	O	O
	100	209	O	O

* O: easy, △: hard, X: impossible

Fig. 5 Short-circuit number of flat position welding by short circuit control current

Fig. 6 Average short-circuit time by short circuit control at flat welding

때문으로 판단된다. 이러한 현상은 소모성 전극 용접에서도 전류의 증가에 따라서 단락발생율이 높아진다⁷⁾.

단락제어 전류의 증가에 따라 평균단락시간이 감소하였으며, 이는 단락기간이 10msec 이상의 장기단락이 감소와, 높은 전류에 의한 핀치력 증가⁷⁾로 단락을 빨리 해소하기 때문이다.

3.3 단락제어에 따른 입향상진 용접성

아래보기 용접성과 비교하기 위하여 같은 전류인 90A에서 입향상진 용접을 실시하였으며, 단락제어에 따른 용접 비드결과를 Fig. 7에 나타내었다. 또한 각각에 대한 용접파형 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7(a)에 보인바와 같이 90A로 입향상진 용접에서 단락제어가 없을 경우 용착으로 인하여 용접이 불가능하였다. Fig 8(a)의 용접파형에서 보는 바와 같이 2, 3, 4초 구간에서 100ms 이상의 장기단락이 발생하였으며, 이로 인하여 용접시 일정한 아크길이를 유지하

Fig. 7 Bead of vertical-up position welding by short-circuit control current at welding current 90A

Fig. 8 Waveform of short-circuit control at vertical-up position welding and 90A

Fig. 9 Average short-circuit time by short-circuit control at vertical-up welding and 90A

Fig. 11 Short circuit number/s by short-circuit control at flat and vertical-up welding

(a) 50A

(b) 100A

Fig. 10 Histograms of short-circuit time by short-circuit control at vertical-up welding

기 어려웠다. 약 7.7초에서 단락이 발생하여 약 1초 동안 아크가 재 발생되지 않았으며, 이후 용접전원에서 장가아크로 감지하여 전류를 감소시킨 파형을 보였다.

같은 전류 90A에서 단락제어전류를 50A와 100A로 설정하여 용접시 Fig. 7(b)와 (c)에 보인 바와 같이 양호한 비드를 보였으며, 단락제어전류가 50A 보다 100A에서 더 용접이 용이하였다. 이러한 이유는 Fig. 9에

보인 바와 같이 단락제어전류가 높을수록 단락에 작용하는 펀치력 증가로 인하여 단락해소를 촉진시켰기 때문이다.

Fig. 10은 설정전류 90A에서 단락제어전류별 단락 30개를 분석하여 단락시간에 따른 히스토그램으로 나타내었다. 단락제어전류가 높은 100A의 경우가 50A보다 평균 단락시간이 감소하였을 뿐만 아니라 10ms 이상의 장기단락이 줄고 표준편차도 감소하였다.

Fig. 11에 보인 바와 같이 입향상진 용접과 아래보기 용접에서 단락제어전류가 증가할수록 초당 단락횟수도 증가하였다. 이는 단락제어전류의 증가로 인하여 단락시 가해지는 펀치력 상승으로 단락이 빠르게 해소되며, 재 아크시 평균용접전류의 증가로 용접봉의 용융속도가 빨라지기 때문에 초당 단락횟수가 증가한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 단락제어에 따른 입향상진 용접성을 분석하기 위하여 아래보기 용접성과 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 입향상진 용접은 아래보기 용접보다 단락발생이 어렵다.
- 2) 입향상진 용접은 아래보기 용접보다 단락시간이 길었다.
- 3) 입향상진 용접은 단락제어가 없을 경우 용접가능한 최저전류는 아래보기 용접보다 높았다.
- 4) 입향상진 용접은 아래보기 용접보다 저전류에서 단락제어전류를 높게 설정하여야 한다.
- 5) 단락제어는 장기단락을 억제하여 입향상진 용접성을 용이하게 하였다.

References

1. C. Kim, D. Moon and S. Moon, Statistical Analysis of World Welding Consumables Market, *Journal of KWJS*, 30(5) (2012), 398-402 (in Korean)
2. S.M. Cho, A study on the quantitative evaluation of arc stability in AC SMAW, *Journal of KWJS*, 16(4) (1998), 125-391 (in Korean)
3. Van Adrichem, Metal Transfer, *IIW DOC*, 212-171-69, (1969)
4. X. Xu, S. Liu and K.S. Bang, Comparison of metal transfer behavior in electrodes for shielded metal arc welding, *International Journal of KWS*, 4(2) (2004), 15-22
5. H.M. Yang, H.S. Ryoo, The current control characteristic evaluation of welding power source for SMA welding, *Abstracts of JWJS*, 59 (2013), 163 (in Korean)
6. H.M. Yang, H.S. Ryoo and S.K. Hyun, Short circuit waveform control type SMAW welding power source development and characteristic evaluation, *J. of Welding and Joining*, 34(3) (2016), 236-242 (in Korean)
7. Y.S. Kim and T.W. Eagar, Analysis of metal transfer in gas metal arc welding, *Welding J.*, 72 (1993), 269-278