벨로우즈 용접부의 품질확보를 위한 비드형상 S/N비에 관한 실험적 연구

이종표* · 김일수*.[†] · 박민호* · 진병주* · 김인주** · 김지선**

*목포대학교 기계공학과

**한국생산기술연구원 그린가공공정그룹

An Experiment Study for S/N Ratio of Bead Geometry for Guaranteeing the Welding Quality in Bellows Weld Joint

Jong-Pyo Lee*, Ill-Soo Kim*.[†], Min-Ho Park*, Byeong-Ju Jin*, In-Ju Kim** and Ji-Sun Kim**

*Department of Mechanical Engineering, Mokpo University, Mokpo 58554, Korea

**Green Manufacturing Process R&D Center, Korea Institute of Industrial Technology, Gwang-ju 61012, Korea

[†]Corresponding author : ilsookim@mokpo.ac.kr

(Received September 8, 2016 ; Revised October 7, 2016 ; Accepted January 31, 2017)

Abstract

The automatic welding systems, have received much attention in recent years, because they are highly suitable not only to increase the quality and productivity, but also to decrease manufacturing time and cost for a given product. Automatic welding work in semiconductor or space industry to be carried out in pipe line and butt joint mostly and plasma arc welding(PAW) is actively applied. To get the desired quality welds in automated welding system is challenging, a mathematical model is needed that has complete control over the relevant process parameters in order to obtain the required mechanical properties. However, In various industries the welding process mathematical model is not fully formulated for the process parameter and on the welding conditions, therefore only partial variables can be predicted. Therefore, this paper investigates the interaction between the welding parameters and mechanical properties for predicting the weld bead geometry by analyzing the S/N ratio.

Key Words : Plasma welding, Full factorial design, S/N ratio, Optimization, Vacuum bellows, Tension test

1. 서 론

용접·접합산업은 국가 기간산업인 조선, 자동차, 중공업, 건설, 전기/전자, 반도체 등의 산업에 필요한 기기 및 재료를 공급하기 때문에 이들 기간산업의 국가경쟁력을 좌우하는 생산기반산업이며, 첨단기술과의 융·복합을 통해 명품 제조업의 탄생을 견인한 국가기간산업의 핵심기반 기술이다^{1,2)}. 고도화되고 집적화된 현대 산업에 발맞추어 소형화된 부품과 자동화된 공정에서 초소형부품에 대한 접합기술의 수요가 날로 증가하고 있으며, 소형화된 부품으로 인하여 실제 접합하기 위한 모재의 크기는 수십um로 작아지고 있는 실정이다. 따

라서, 적용하고자 하는 초정밀 접합 공정은 국부적으로 용융시키거나 낮은 온도에서 접합부를 형성하므로 열변형이나 잔류응력을 최소화시키고 생산성을 높일 수 있는 특징을 가지고 있으므로 미세 용접 및 접합은 고부가가치의 부품에 적용되며 활용범위가 점차 확대되는 추세이다. 현재 미국은 고부가 창출이 가능한 첨단 용접접합 원천기술의 개발에 주력하고 있으며, 노동집약적 산업에서 기술집약형 산업으로 진화하고 있다. 또한 용접부 성능향상이 가능한 고부가, 고품질 용접재료의 개발 및 실용화를 시도하고 있으며, 용접기 개발관련 Lincoln사 등의 기업들은 IT 기반 용접 DB를 구축한 용접시스템을 개발하여 보급하고 있다³⁻⁵⁾. 국내의 경우 선진국과 격차가 점점 커지고 있어 이러한 초정밀 접합공정

기술개발은 시급한 실정이며, 이 기술은 전력전자 기술, 자동제어 기술, 용접현상 분석기술, 금속재료기술 등 다양한 분야의 기술이 요구된다. 더구나 박판 소재의 플라즈마 용접의 경우 용접 속도, 전류 등의 많은 조건 변화에서 용접 결함이 발생할 수 있기 때문에 대량 생산 라인에 많은 불량 발생 할 수 있다. 주로 과도한 입열량으로 인한 용융금속이 밑으로 떨어지는 용락현상과 입열량 감소에 따른 미용접 구간이 발생하는 문제가 대두되고 있다. 이러한 용접부의 품질을 개선하기 위해 용접 결함을 제어하는 것이 필요하며, 박판 STS 재질에 대한 비드형상 및 공정변수를 예측하여 용접부 품질을 최적화하기 위한 연구가 매우 시급한 실정이다⁶⁻⁸⁾. 따라서, 본 연구에서는 플라즈마 용접공정을 적용하여 박판 벨로우즈 용접부의 기계적 특성을 획득하고 S/N비를 분석함으로써, 각 모재 규격에 따른 최적의 비드형상을 제시하고자 하였다.

2. 벨로우즈 플라즈마 용접실험

벨로우즈 플라즈마 용접공정에서 초정밀 용접 특성상 품질확보가 어려운 문제를 해결하고자 다양한 모재규격에 따른 용접 D/B 구축을 목표로 하였다. 최적 공정변수 선정을 위해 초정밀 용접 자동화시스템을 사용하였으며, 플라즈마 용접기, 벨로우즈 JIG, 회전부, 토치 구동부로 구성하여 Fig. 1에 나타내었다.

용접품질 분석하기 위해 용접전류와 아크전압은 모니터링 시스템(WTS-100A, Weld Q System)을 사용하여 실시간으로 수집되도록 하였으며, Fig. 2에 본 벨로우즈 용접실험에 대한 개략도를 나타내고 있다. 본 실험에 사용된 용접 시험편의 기계적 성질은 Table 1에 나타내었으며, 시험편의 화학적 성질은 Table 2에 각각 나타내었다.

Fig. 1 Experimental setup for bellows plasma welding

Fig. 2 A schematic diagram for bellows plasma welding

Table 1 Mechanical properties of base metal

Material	STS 314
Yield strength(MPa)	505
Yield Point(MPa)	215
Elongation(%)	70
Charpy Impact(J)	325
Hardness(HV)	129

Table 2 Chemical properties of base metal

Material	STS 314
C	0.08
Cr	18
Fe	66.345
Mn	2
Ni	8
P	0.045
Si	1
S	0.03

용접실험의 실험계획은 일반적으로 알려진 완전요인 실험으로 구성하였으며, 다양한 용접모재 규격과 용접 전류를 공정변수로 선정하였다. 선정한 용접전류는 단계별로 증가시켜가며, 총 10단계(10A~19A)로 계획하였다. 하지만 벨로우즈 규격중 32 ϕ , 40 ϕ 에서 시험편과 플라즈마 용접 토치간의 접촉으로 인한 간섭이 발생한 것을 확인하였으며, 고정변수로 용접부와 토치끝단의 간격은 20 ϕ , 25 ϕ 는 2.5mm로 32 ϕ , 40 ϕ 는 3mm로 선정하여 본 벨로우즈 용접실험을 수행하였다. 따라서, 각 공정변수에 대한 수준과 한계를 Table 3과 Table 4에 나타내었으며, Fig. 3에 본 실험에 사용된 벨로우즈 용접 시험편의 규격을 나타내고 있다.

Table 3 Bellows plasma welding parameters and their levels

Welding parameter	Unit	Level
Bellows diameter	∅	20, 25, 32, 40
Bellows thickness	mm	0.15
Welding current	Amp.	10~19 (10, 11, 12...19)
Arc voltage	Vol.	12.25
Welding speed	CPM(cm/min)	16.50
Shield gas flow ratio	l/min	2
Torch gap	mm	2.5~3.0

Table 4 Design of conditions employed in bellows welding

Test No.	Bellows Diameter (∅)	Welding Current (A)	Test No.	Bellows Diameter (∅)	Welding Current (A)
1	20	10	21	32	10
2	20	11	22	32	11
3	20	12	23	32	12
4	20	13	24	32	13
5	20	14	25	32	14
6	20	15	26	32	15
7	20	16	27	32	16
8	20	17	28	32	17
9	20	18	29	32	18
10	20	19	30	32	19
11	25	10	31	40	10
12	25	11	32	40	11
13	25	12	33	40	12
14	25	13	34	40	13
15	25	14	35	40	14
16	25	15	36	40	15
17	25	16	37	40	16
18	25	17	38	40	17
19	25	18	39	40	18
20	25	19	40	40	19

3. 벨로우즈 플라즈마 용접실험 결과

3.1 벨로우즈 용접부 단면형상 분석

벨로우즈 용접실험 후 단면분석 결과, 전반적으로 플라즈마 아크가 안정적이고 양호한 비드를 형성하였으나,

Fig. 3 Geometry of plasma welding specimen **Fig. 4** Weld defects of bellows weldment

32∅, 40∅에서 저전류 범위에서 벨로우즈 시험편과 용접토치간의 간섭으로 인해 발생하는 용접불량을 확인하고 Fig. 4에 나타내었다⁹⁻¹⁰⁾. 용접불량이 발생된 벨로우즈 용접시험편 외에 모든 시험편에서는 양호한 비드가 형성됨을 확인하였으며, 공정변수에 따른 용융부의 정밀한 형상을 확인하기 위해 단면형상(Macro)을 촬영하였다. 용접부의 단면형상을 측정하기 위하여 용접이 완료된 시험편의 가로축 중간부분을 절단하였으며, 각 공정변수에 따른 대표적인 단면 비드형상과 측정 결과 값을 Table 5에 나타내었다.

3.2 벨로우즈 용접부 인장 및 경도 시험

벨로우즈 용접공정에 따라 충분한 용접성을 확보하였는지 확인하기 위해 각각의 샘플에 대하여 인장 및 경도시험을 수행하였으며, 파단위치를 확인하고 소재의 강도에 대한 용접부 강도의 적정성을 평가하였다. 벨로우즈 용접부 인장시험은 KS 규격에서 벨로우즈에 관한 인장시험항목이 존재하지 않기 때문에 일반적인 금속재료 인장시험편에 대한 규격인 KS B 0801의 기준으로 관형태의 인장시험편을 가공하였다. 총 36개의 벨로우즈 시험편에 대하여 인장시험을 수행하였으며, Fig. 5는 벨로우즈 용접부 인장시험을 위한 시험장비 및 인장시험 모습을 나타내고 있다.

Table 5 Results of bellows welding experiment

Test No.	Bead width(mm)	Bead height(mm)
1	2.54	1.11
2	2.50	1.04
3	1.53	0.95
4	0.93	2.03
5	1.10	2.20
6	0.97	1.58
7	1.44	0.88
8	0.92	1.38
9	1.40	0.87
10	1.01	2.00
Bead geometry of typical($\varnothing 20$)
11	1.01	1.86
12	0.86	1.53
13	1.00	1.79
14	0.90	1.73
15	0.83	1.61
16	0.73	1.08
17	0.84	2.30
18	0.74	1.15
19	0.82	1.20
20	0.60	0.98
Bead geometry of typical($\varnothing 25$)
21	Weld defects	
22	Weld defects	
23	1.12	1.62
24	1.16	1.86
25	1.16	2.02
26	1.03	1.36
27	0.98	1.29
28	1.02	1.39
29	1.04	1.57
30	0.65	0.65
Bead geometry of typical($\varnothing 32$)
31	Weld defects	
32	Weld defects	
33	0.93	2.11
34	0.95	1.54
35	0.70	1.56
36	0.74	1.42
37	0.71	1.20
38	0.78	1.20
39	0.68	0.86
40	0.64	1.34
Bead geometry of typical($\varnothing 40$)

Fig. 5 Experimental system for the tensile strength**Table 6** Results of tensile strength

Test No.	Tensile strength (MPa)	Fracture position	Test No.	Tensile strength (MPa)	Fracture position
1	353	Weld Zone	21	×	
2	399	Weld Zone	22	×	
3	384	Weld Zone	23	249	Weld Zone
4	445	Weld Zone	24	341	Weld Zone
5	521	Base Metal	25	508	Base Metal
6	510	Base Metal	26	516	Base Metal
7	534	Base Metal	27	541	Base Metal
8	516	Base Metal	28	558	Base Metal
9	539	Base Metal	29	516	Base Metal
10	546	Base Metal	30	514	Base Metal
11	446	Weld Zone	31	×	
12	356	Weld Zone	32	×	
13	342	Weld Zone	33	484	Weld Zone
14	294	Weld Zone	34	519	Base Metal
15	546	Base Metal	35	552	Base Metal
16	536	Base Metal	36	524	Base Metal
17	557	Base Metal	37	515	Base Metal
18	524	Base Metal	38	567	Base Metal
19	544	Base Metal	39	537	Base Metal
20	553	Base Metal	40	539	Base Metal

Fig. 6 Appearance of tensile specimens

Fig. 7 Variation of tensile strength for welding conditions

벨로우즈 용접부의 인장시험 결과를 Table 6에 나타내었으며, 인장시험 결과는 최대 인장하중, 시험편 파단위치를 제시하여 적정수준의 용접전류 범위를 확인하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 20 ϕ , 25 ϕ 의 벨로우즈 인장 시험편은 대략 14A아래 범위에서의 모두 용접부에서 파단이 발생하였으며, 32 ϕ , 40 ϕ 의 벨로우즈 인장시험편은 전반적으로 모재에서 파단이 발생하는 것으로 확인되었다. 이는 10A~13A 범위의 용접전류에서 벨로우즈 용접이 표면비드는 정상적으로 형성을 하지만 내부의 모재가 용융되지 않아 완전한 반원모형의 비드가 형성되지 않는 것을 확인하였다. 본 연구에서 수행하는 벨로우즈의 인장시험의 경우 용접시 발생할 수 있는 크랙, 기공, 용착량 미흡등 다양한 용접불량이 추후 진공도 저하를 초래할 수 있기 때문에 Fig.

7과 같이 각 모재별로 적정수준의 용접전류 범위를 제시하고자 하였다.

벨로우즈 용접부의 강도저하 또는 상승의 가능성 등을 알아보기 위하여 공정변수에 따라 용접을 수행한 시험편을 절단(10mm $\times$ 10mm)하여 경도시험을 실시하였다. 벨로우즈 용접부 단면에는 용접부와 열영향부가 포함되어 있으며, 용접부 경도가 인장파단에 영향이 미쳤는지를 확인하기 위해 Fig. 8에 비커스경도계(Shimadzu社)를 사용하여 경도시험을 수행하였다. 경도시험에 사용된 하중은 0.5N로 선정하고 경도측정의 정확성을 향상시키기 위하여 중앙부와 양쪽을 0.1mm간격으로 3회씩 용접부 경도를 측정하였으며, 이러한 간격은 경도 측정시 발생하는 미세표시에 의한 상대 경도들에 영향을 주지 않는 최적의 범위를 적용하였다. 이와 같은 방법으로 용접부와 열영향부의 측정 위치를 Fig. 9에 나타내었으며, Table 7에 벨로우즈 용접부의 경도시험 결과를 나타내고 있다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이 모재부의 경도는 129HV의 경도값을 나타내고 열영향부는 129~167HV 사이의 값을 나타내고 있으며, 용접부는 101~168HV의 값을 나타내었다. 이는 벨로우즈 용접부 및 열영향부의 경도값이 모재 기준인 129HV경도에 못미치는 결과값이 도출되었으며, 이는 저전류 범위의 10A~13A 에서 용접된 시험편인 것으로 확인되었다. 진공시험 및 비파괴시험에서 충분한 진공이 형성되고 비파괴 검사에서 누설형태가 확인되지 않았지만 인장시험 결과에서 용접

Fig. 8 Vickers hardness test

Fig. 9 Measured location of hardness

Table 7 Results of hardness tests

Test No.	Weld zone hardness (HV)	HAZ zone hardness (HV)	Test No.	Weld zone hardness (HV)	HAZ zone hardness (HV)
1	111	141	21	×	×
2	108	132	22	×	×
3	114	129	23	101	138
4	105	142	24	112	154
5	138	157	25	132	149
6	147	136	26	151	156
7	158	141	27	161	138
8	151	145	28	163	141
9	137	141	29	132	142
10	168	136	30	151	164
11	101	152	31	×	×
12	109	161	32	×	×
13	103	147	33	118	136
14	112	157	34	142	140
15	158	167	35	146	141
16	141	153	36	162	137
17	133	148	37	151	140
18	141	147	38	167	139
19	134	162	39	152	143
20	156	147	40	153	138

Fig. 10 Variation of hardness for welding conditions

부에서 파단이 발생하는 근본적인 원인임을 확인하였다. 초정밀 용접 특성상 용가재가 사용되지 않고 모재의 용융만으로 용접이 진행되기 때문에 저전류 범위에서의 용접이 수행될 경우 비교적 낮은 온도에서 용접부 용융의 시작과 응고가 진행되기 때문에 입자성장에 영향을 미치기 때문에 용접부의 경도가 모재부의 경도보다 낮은 것으로 확인되었다. 14A 이상의 용접전류에서

수행된 용접시험편의 경우 용접부가 모재보다 높은 경도값을 나타냄으로써, 용접부의 안정성을 확보하였다.

4. S/N비를 이용한 벨로우즈 용접부 분석

본 연구에서는 완전요인 실험계획법으로 총 36회 벨로우즈 용접실험 결과값을 바탕으로 기계적 특성을 분석하였다. 이를 위하여 인장 강도값과 경도값을 측정하고, 각 비드형상에 대한 기계적 특성을 확인하였다. 따라서 2가지(비드 폭, 비드 높이) 조건에 대하여 S/N비를 분석하였으며, 기계적 특성은 식 (1)과 같은 망소 특성의 S/N비 공식으로 표현하였다.

$$n_{ij} = -10 \log y_{ij}^2 \quad (1)$$

여기서, n_{ij} 는 j번째 실험조건의 i번째 구간에 대한 기계적 특성의 S/N비, y_{ij}^2 는 j번째 실험조건의 i번째 구간에 대한 기계적 특성을 의미한다. 즉, Signal에 인장강도 및 경도를 입력하고 Noise에 비드형상의 값으로 선정하였다. 망소특성의 경우 최소값을 취하지 않고 작을수록 좋은 경향이 망소특성이며, 망소특성의 목표값은 제로이므로 특성값 y 와 목표값과의 차이의 제곱은 y^2 이다. 망소특성에서 목표값과 차이의 제곱인 y^2 의 평균을 σ^2 으로 나타내면 식 (2)와 같은 함수가 표현된다. 품질공학에서는 σ^2 의 역수를 S/N비라고 정의하고 실용적으로는 이 값에 대수를 취하고 10배 한 것을 Decibel 단위로 S/N비라고 하며, 기호 η 로 나타내므로, 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$\sigma^2 = (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)/n \quad (2)$$

$$\eta = 10 \log(1/\sigma^2) \quad (3)$$

$$= -10 \log \sigma^2$$

$$= -10 \log (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)/n$$

망소특성치는 평균치가 작아지면 변동도 작아지는 경향이 있으므로, 평균치의 해석이라는 관점에서도 타당하다고 볼 수 있다. 그러나 평균치는 같아도 변동이 작거나 큰 것이 있으므로, 이 S/N비로 변환하여 해석하는 쪽이 합리적이다. 이러한 망소특성에 대한 분석방법을 기반으로 2가지 조건에 따른 기계적 특성에 대한 S/N비를 분석한 그래프를 Figs. 11~12에 나타내었다. Tables 8~9는 S/N비를 이용하여 비드형상과 기계적 특성간의 관계를 망소특성으로 분석하여 산출한 결과를 나타내고 있다.

(a) S/N ratio for bead width and tensile strength

(b) S/N ratio for bead height and tensile strength

Fig. 11 Analysis of S/N ratio for bead geometry and tensile strength

(a) S/N ratio for bead width and hardness

(b) S/N ratio for bead height and hardness

Fig. 12 Analysis of S/N ratio for bead geometry and hardness**Table 8** S/N response of weldment hardness for bead geometry

Bead width (mm)	S/N ratio	Bead height (mm)	S/N ratio
0.60	-54.855	0.65	-54.219
0.64	-54.632	0.86	-54.600
0.65	-54.219	0.87	-54.632
0.68	-54.600	0.88	-54.551
0.70	-54.839	0.95	-51.687
0.71	-54.236	0.98	-54.855
0.73	-54.583	1.04	-52.020
0.74	-54.387	1.08	-54.583
0.74	-54.387	1.11	-50.956
0.78	-55.072	1.15	-54.387
0.82	-54.712	1.20	-54.236
0.83	-54.744	1.20	-55.072
0.84	-54.917	1.20	-54.712
0.86	-54.029	1.29	-54.664
0.90	-54.367	1.34	-54.632
0.92	-54.253	1.36	-54.253
0.93	-52.967	1.38	-54.253
0.93	-53.697	1.39	-54.933
0.95	-54.303	1.42	-54.387
0.97	-54.151	1.53	-51.029
0.98	-54.664	1.54	-54.303
1.00	-50.681	1.56	-54.839
1.01	-54.744	1.57	-54.253
1.01	-52.987	1.58	-54.151
1.02	-54.933	1.61	-54.744
1.03	-54.253	1.62	-47.924
1.04	-54.253	1.73	-49.367
1.10	-54.337	1.79	-50.681
1.12	-47.924	1.86	-52.987
1.16	-50.655	1.86	-50.655
1.16	-54.117	2.00	-54.744
1.40	-54.632	2.02	-54.117
1.44	-54.551	2.03	-52.967
1.53	-51.687	2.11	-53.697
2.50	-52.020	2.20	-54.337
2.54	-50.956	2.30	-54.917

Table 9 S/N response of tensile strength for bead geometry

Bead width (mm)	S/N ratio	Bead height (mm)	S/N ratio
0.60	-43.863	0.65	-43.580
0.64	-43.694	0.86	-43.637
0.65	-43.580	0.87	-42.734
0.68	-43.637	0.88	-43.973
0.70	-43.287	0.95	-41.138
0.71	-43.580	0.98	-43.863
0.73	-42.984	1.04	-40.669
0.74	-42.984	1.08	-42.984
0.74	-44.190	1.11	-40.907
0.78	-44.454	1.15	-42.984
0.82	-42.542	1.20	-43.580
0.83	-43.973	1.20	-44.454
0.84	-42.477	1.20	-42.542
0.86	-40.749	1.29	-44.137
0.90	-40.984	1.34	-43.694
0.92	-43.580	1.36	-43.580
0.93	-40.424	1.38	-43.580
0.93	-41.438	1.39	-44.244
0.95	-43.046	1.42	-44.190
0.97	-43.346	1.53	-40.749
0.98	-44.137	1.54	-43.046
1.00	-40.257	1.56	-43.287
1.01	-44.506	1.57	-42.412
1.01	-40.086	1.58	-43.346
1.02	-44.244	1.61	-43.973
1.03	-43.580	1.62	-40.086
1.04	-42.412	1.73	-40.984
1.10	-42.798	1.79	-40.257
1.12	-40.086	1.86	-40.086
1.16	-40.984	1.86	-40.984
1.16	-42.412	2.00	-44.506
1.40	-42.734	2.02	-42.412
1.44	-43.973	2.03	-40.424
1.53	-41.138	2.11	-41.438
2.50	-40.669	2.20	-42.798
2.54	-40.907	2.30	-42.477

S/N비를 망소특성으로 분석한 결과, 2가지 조건에 따른 인장강도의 신호잡음대비는 비드 폭이 가장 영향력이 큰 인자임을 확인하였으며, 2순위는 비드 높이로

나타났다. 또한 비드 폭이 0.6mm~0.84mm의 범위에서 신호대 잡음비가 예측이 좋은 것으로 확인되어 가장 뛰어난 인장강도의 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 용접부 경도의 신호잡음대비 또한 비드 폭의 영향력이 가장 큰 것을 확인하였다. 이는 벨로우즈 용접부의 기계적 특성이 비드 폭의 형상에 따라 인장강도가 변화함을 나타내며, 0.6mm~0.94mm의 범위에서 신호대 잡음비 예측이 가장 좋은 것으로 확인되었다. 따라서 벨로우즈 용접시 1.0mm 이내의 비드 폭을 도출하는 것이 가장 안정적인 기계적 강도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 플라즈마 용접공정을 적용하여 박판 벨로우즈 용접부의 기계적 특성을 확보하고 S/N비를 분석하였다. 이에 따라 각 모재 규격에 따른 최적의 비드형상을 제시하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 박판 벨로우즈 플라즈마 용접실험을 수행하였으며, 벨로우즈 단면분석 결과 전반적으로 플라즈마 아크가 안정적이고 양호한 비드가 형성됨을 확인하였다. 하지만 벨로우즈 규격중 32 $\emptyset$, 40 $\emptyset$ 에서 저전류인 10A~11A의 범위에서는 벨로우즈 시험편과 토치간의 접촉으로 인한 용접부 불량을 확인하였다.

2) 벨로우즈 용접부 인장시험의 경우 최대 인장하중, 시험편 파단위치를 확인하여 적정수준의 용접변류 범위를 확인한 결과, 20 $\emptyset$, 25 $\emptyset$ 의 벨로우즈 인장 시험편은 대략 14A아래 범위에서 모두 용접부에서 파단이 발생하였다. 이는 32 $\emptyset$, 40 $\emptyset$ 의 벨로우즈 인장시험편은 전반적으로 모재에서 파단이 발생하는 것으로 확인되었다.

3) 공정변수에 따른 벨로우즈 용접부의 경도시험은 모재부에서 129HV의 경도값을 나타내고 열영향부의 경도는 129~167HV 사이의 값을 나타내고 있다. 마지막으로 벨로우즈 용접부에서는 101~168HV의 경도값을 나타내었다. 이는 벨로우즈 용접부 및 열영향부의 경도값이 모재 기준인 129HV경도에 못미치는 결과값이 도출되었으며, 이는 저전류 범위의 10A~13A 에서 용접된 시험편인 것으로 확인되었다.

4) S/N비를 이용하여 벨로우즈 용접부를 분석하고자 비드형상과 기계적 특성을 분석하였으며, 인장강도 및 경도의 신호잡음대비는 비드 폭이 가장 영향력이 큰 인자임을 확인하였다. 이는 모든 전류 범위에서 벨로우즈 용접부의 인장강도 및 경도가 비드 폭이 변화함에 따라

가장 신호성분의 반응이 높음을 나타낸다. 이는 비드 폭 0.6mm~0.94mm의 범위에서 가장 안정적인 기계적 강도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2015R1D1A3A01020246)

References

1. K. Pal and S. K. Pal, Soft computing methods used for the modelling and optimisation of gas metal arc welding, *International Journal of Manufacturing Research*, 6-1 (2011), 15-29
2. N. Murugan and R. S. Parmar, Effects of MIG process parameters on the geometry of the bead in the automatic surfacing of stainless steel, *Journal of Materials Processing*, 41-4 (1994), 381-398
3. I. S. Kim, A. Basu and E. Siores, Mathematical models for control of weld bead penetration in the GMAW process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12-6 (1996), 393-401
4. P. S. Rao, O. P. Gupta, S. N. Murty, and A. B. Rao, Effect of process parameters and mathematical model for the prediction of bead geometry in pulsed GMA welding, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45-5 (2009), 496-505
5. David E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, *Addison-Wesley*, (1989)
6. H. S. Park, T. H. Kim, and S. H. Rhee, Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding of TRIP Steel Using Response Surface Methodology, *Journal of KWS*, 21(2) (2003), 76-81 (in Korean)
7. J. Y. Lee, J. W. Kim, and C. H. Kim, A study on the selection of fillet weld conditions by considering the tack welds, *Journal of KWS*, 24(5) (2006), 377-384, (in Korean)
8. T. S. Li, C. T. Su, T. L. Chiang, Applying robust multi-response quality engineering for parameter selection using a novel neural-genetic algorithm, *Computers in Industry*, 50-1 (2003), 113-122
9. H. Nomura, J. E. Middle, Development and Application of Arc Sensor Control with a High Speed Rotating Arc Process, *Sensors and Control Systems in Arc Welding*, 28(1994), 247-256
10. Dong-Chul Kim, Tae-Won Chang, Dong-Ryeol Yoon, Tae-Wuk Woo, Chang-Gook Park, Tandem Electrode Gas Welding of Higher-strength Hull Structural Steel, *Proceeding of KWJS*, (2006) 75-76 (in Korean)