

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
第6卷, 第2號, 1988年 6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 6, No. 2, Jun., 1988

Al-7020의 Pulse-GMA 용접에 관한 연구(1)

—용접변수가 용접부형상에 미치는 영향—

김재웅* · 허장욱* · 나석주** · 이용연***

A Study on Pulse-GMA Welding of Al-7020(1)

—Influence of Welding Variables on The Weld Shape—

J. W. Kim*, J. W. Hur*, S. J. Na**, and Y. Y. Lee***

Key Words : Pulse-GMAW(펄스가스 메탈 아아크 용접), Welding Variable(용접변수),
Bead Width(비드폭), Reinforcement Height(비드 높이), Penetration(용입),
Reantrance Angle(비드 접촉각)

Abstract

This paper reports on a study of the influence of welding variables on the weld shape of Al-7020 in pulse-GMA welding. Five variables, i.e., wire feed rate, peak pulse current, welding speed, welding voltage, and pulse frequency were investigated for their effects on the weld shape.

From the results of the 2^{n-1} fractional factorial design, quantitative effects of each variable and the interaction of two variables were obtained, and consequently wire feed rate, welding voltage, and welding speed were determined as the main welding variables. Supplementary experiment was performed for investigating the detailed relationship between the main variables and the weld shape. In this experiment, the penetration of the weldment increased when the wire feed rate was raised, and the bead width increased when the welding voltage was raised or the welding speed was reduced.

1. 서 론

용접을 수행할 때 용접변수를 잘못 선정하면 용입 불량(lack of penetration)이나 용합부족(incomplete

fusion)과 같은 용접결함이 발생한다¹⁾. 특히 알루미늄의 열전도도는 매우 높기 때문에 원하는 용접비이드 형상을 얻기 위해서는 용접변수 선정에 매우 유의하여야 한다. 이와 같은 불완전 용입의 결함이

* 한국과학기술원 생산공학과

** 정회원, 한국과학기술원 생산공학과

*** 대전 기계창

발생되면 하중전달에 대한 유효단면적이 감소하여 허용하중이 저하될 뿐만 아니라 동적하중 하에서는 응력집중 효과가 첨가되어 더욱 심각한 결과를 가져올 수 있다. 이 밖에도 비드축적각, 비드 높이, 어긋남(angular and linear misalignment) 등에 따라 작용하중 하에서 응력집중 혹은 굽힘 모우멘트를 유발하기 때문에 구조물의 수명을 저하시킨다. 이와 같이 알루미늄합금의 용접에 있어서 용접부의 기계적 성질 및 안전성은 용접변수들에 의해 크게 영향을 받으므로 최적의 용접조건을 찾기 위해서는 용접변수에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

알루미늄 합금을 용접할 때는 GTA용접이나 GMA 용접이 자주 이용되는데, 4mm 이상의 두께를 갖는 판재에 대해서는 이 중에서도 GMA용접법이 효과적으로 적용될 수 있다. 특히 최근에는 균일한 용접전류 대신에 펄스파형의 전류를 중점시킨 전원을 이용하는 Pulse-GMA 용접법이 개발되어 사용되고 있는데, 이 방법은 Fig.1과 같이 용접전원을 제어되는 펄스형태로 공급하여 여용적(droplet)의 이행이 분무이행(spray transfer)형태가 되도록 하는 용접법이다. 펄스분무이행은 기본전류(background current)에서 용적이 성장하여 와이어직경보다 크게 성장하기 전에 피크펄스 전류(peak pulse current)에 의한 전자기력에 의해 용적이 분리되는 이행형태이다³⁾. 기존의 GMA 용접에서는 알루미늄 용접의 경우 저전류에서는 용적의 단락이행(short circuit transfer)이 일어나고 전류를 증가시키면 분무 이행이 성립되는데 이 분기점을 천이전류(transition current)라 하며 와이어직경이 1.6mm일 때 천이전류는 약 190A 이다³⁾. 따라서 pulse-GMA 용접의 피크펄스전류는 천이전류보다 높은 전류가 선정되어야 한다. 분무이행에 의한 용접에서는 용접 비드 모양이 좋고 스패터(spatter)의 양이 적은 것이 특징이다⁴⁾. 그러므로 pulse-GMA

용접은 박판의 용접과 같은 저전류 용접에서 분무이행이 가능하여 좋은 용접결과를 얻을 수 있고 전자세 용접이 용이하며 용입이 좋은 특성도 있다. 또한 전원 제어기술의 발달과 함께 pulse-GMA 용접의 활용이 넓어지고 있는 추세이다.

Pulse-GMA 용접의 공정변수로는 펄스주파수, 피크펄스전류, 기본전류, 피크펄스 유지시간, 용접전압과 와이어 송급속도 등을 들 수 있다. 여기서 펄스당 하나의 용적이 이행되기 위한 조건은 주로 피크펄스 전류와 피크펄스 유지시간에 의해 결정되며 용적의 크기는 와이어 송급속도와 펄스주파수에 의해 결정된다. 또한 아아크의 안정성은 기본전류에 의해 영향을 받으므로 저한계치를 고려하여 선정해야 한다. 상술한 변수들의에도 보호가스, 팁-모계간거리 등에 의한 영향을 용접조건 선정시 고려해야 한다.

2. 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법에 의한 용접변수들의 해석

2.1 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법의 개요

A1-7020의 pulse-GMA용접시 와이어 송급속도, 피크펄스전류, 용접속도, 용접전압 및 펄스주파수가 용접부 형상에 미치는 영향을 조사하기 위해 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법⁵⁾을 적용하였다. 변수들이 결과에 미치는 영향을 알아 보기 위한 방법으로 Plackett-Burman 모델을 적용하는 방법⁶⁾도 있는데 이는 변수와 결과의 상관관계를 구하여 각 변수의 영향력을 알아내는 것이다. 그러나 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법은 각 변수와 2개 변수 상호작용(2-factor interaction)에 대한 영향력도 구할 수 있으며 필요에 따라 실험결과를 예측할 수 있는 수식을 유도할 수도 있어 본 연구에 적용하게 되었다. 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법은 n개의 변수에 대한 영향력을 알기 위해 2ⁿ⁻¹개의 실험조건을 적용하는 실험방법이다. 5개의 변수에 대한 각 실험조건은 Table 1과 같으며 여기서 X12, X13, X14, ...X45는 2개 변수 상호작용을 나타내는 것으로 가상적인 변수도 볼 수 있다. 따라서 실험시 적용 조건은 X1-X5에 따라 결정되며, 2개 변수 상호작용의 조건은 그 영향력을 조사할 때 이용되는 것으로 그 값은 다음의 예와 같이 결정된다.

$$X12 = (X1)(X2) = (-1)(-1) = 1$$

각 변수의 실험결과를 H라 할 때 그 영향력 E는 다음과 같이 계산되며 변수 X1에 대한 영향 E1을 예로 들면 다음과 같다.

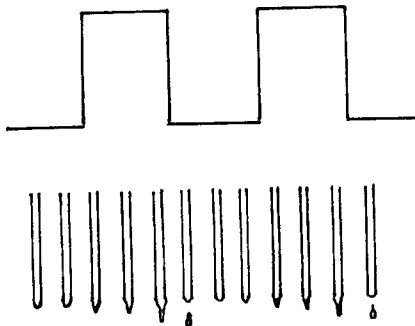


Fig. 1. Schematic representation of metal transfer made in pulse-GMAW.

Table 1. 2¹⁶-1 fractional factorial design

| Trial No. | Order | Standardized variables | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X12 | X13 | X14 | X15 | X23 | X24 | X25 | X34 | X35 | X45 |
| 1 | 12 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 2 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 6 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| 5 | 15 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 6 | 8 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 7 | 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 8 | 4 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 9 | 11 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 10 | 14 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 11 | 3 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| 12 | 16 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| 13 | 13 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 10 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| 15 | 5 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| 16 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

$$E1 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{16} (X_i \cdot H^i)$$

변수의 영향력 E는 그 절대값이 큰 것이 영향력이 크며, 그 부호는 +일 때 변수값이 증가함에 따라 결과치가 증가함을 나타내고, -일 때는 감소함을 나타낸다.

2.2 2¹⁶-1 factorial 실험법에 의한 실험방법

와이어 송급속도, 용접속도, 피크펄스전류, 용접 전압 및 펄스주파수의 대변수(standardized variable)을 Table 2에 나타내었다. 용접 실험결과로서 비드 폭, 비드높이, 용입깊이 및 비드 접촉각을 선택하였으며 이들을 각 H1, H2, H3, H4로 Table 3과 같이 표현하였다. 용접조건 중 고정된 용접조건은 Table 4와 같이 하였으며 28mm 두께 모재 및 4mm 두께 모재에 대한 적용용접조건을 Table 5에 나타내었다. 4mm 두께 모재에 대한 조건의 중간값들은 용접기계제작사측이 제공한 추천용접조건을 참조하였으며 28mm 두께 모재

Table 2. Standardized variables of experimental variables

| Experimental variables | Standardized variables |
|------------------------|------------------------|
| Wire feed rate | X1 |
| Welding speed | X2 |
| Peak pulse current | X3 |
| Welding voltage | X4 |
| Pulse frequency | X5 |

Table 3. Experimental result, H

| | |
|----|---------------------------|
| H1 | Bead width (mm) |
| H2 | Reinforcement height (mm) |
| H3 | Penetration depth (mm) |
| H4 | Reentrance angle (degree) |

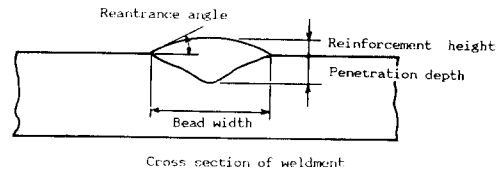


Table 4. Fixed welding condition for preliminary experiment

| Parameter | Condition |
|---------------------------|--|
| Polarity | Reversed |
| Filler wire | Al 5356 dia. = 1.6mm φ |
| Shield gas | Ar 25% + He 75% 60CFH |
| Welding position | d on plate-flat |
| Tip to workpiece distance | 23mm(28mm thick workpiece) 20mm(4 mm thick workpiece) |

에 대한 용접조건은 펄스의 영향력이 나타나는 것을 기대하여 천이전류에 근접하는 조건을 선정하였다. 용접순서가 용접결과에 미치는 영향을 피하기 위하여 불규칙(random)한 순서로 용접하였으며 그 순서는 Table 1에 나타내었다. 본 연구의 용접실험에 적용

Table 5. Selected welding condition for preliminary experiment

| Thickness | 28mm | | 4mm | |
|-----------------------|------|-----|-----|-----|
| | + | - | + | - |
| Parameter | | | | |
| Wire feed rate(ipm) | 180 | 150 | 125 | 115 |
| Welding speed(mm/min) | 405 | 300 | 690 | 600 |
| Peak pulse current(A) | 300 | 250 | 250 | 240 |
| Welding voltage(V) | 30 | 27 | 25 | 23 |
| Pulse frequency(pps) | 120 | 60 | 120 | 60 |

한 Al-7020은 압출재이며 그 화학적 조성은 Table 6에 나타내었다. 용접 장치의 사양은 다음과 같다.

용접 전류: 450A, 100% 사용율

용접 전압: 14-38V

출력 펄스수: 60PPS, 120PPS

입력 용량: 28KVA

용접속도를 일정하게 유지시키기 위해 DC step motor 구동원과 ball screw 감속에 의한 직교형 2축 주행장치(moving arm)를 이용하였다.

2.3 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법에 의한 실험결과 및 고찰

용접부 형상의 크기는 한 용접선에서 3위치의 단면을 취하여 측정하였으며 각 단면을 연마(polishing)한 후 Keller's에칭액(etchant)으로 약 10분간 에칭하여 용융부를 나타내게 하였다. 크기의 측정은 optical projector를 이용하여 20배 확대하여 보면서 0.001mm의 정밀도로 나타나는 측정결과를 기록하였으며, 하나의 용접조건에 대하여 측정된 결과들을 평균하여 사용하였다. 이 결과로부터 각 변수들의 영향력을 계산하여 Table 7과 Table 8에 나타내었다.

Table 7은 28mm 두께 모재에 대한 실험에서 변수들의 영향력을 나타낸 것으로 비드폭에 영향을 많이 미치는 변수의 순서는 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도의 순으로 나타났다. 비드높이에 영향을 크게 미치는 순서는 용접속도, 용접전압, 와이어 송급속도 순이고, 용입 깊이에 영향을 크게 미치는 변수의 순서는 와이어 송급속도, 용접전압, 피크펄스전류 순이며, 비드접촉각은 2개 변수 상호작용의

Table 6. Chemical composition of workpiece (Al 7020)

| Chemical component | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti+Zr | Zr | Al |
|--------------------|-------|-------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| Specification | <0.35 | <0.40 | <0.15 | 0.05— 0.50 | 1.00— 1.30 | 0.10— 0.35 | 4.00— 5.00 | 0.08— 0.25 | 0.08— 0.20 | remain |
| Workpiece | 0.06 | 0.14 | 0.04 | 0.19 | 1.16 | 0.14 | 4.58 | 0.13 | 0.12 | " |

Table 7. Variable effects (28 mm thickness)

| Effect | Bead Width | | Reinforcement Height | | Penetration Depth | | Reantrance Angle | |
|--------|------------|------|----------------------|------|-------------------|------|------------------|------|
| | Magn. | Rank | Magn. | Rank | Magn. | Rank | Magn. | Rank |
| E 1 | 1.504 | 1 | 0.184 | 3 | 0.401 | 1 | -3.688 | 8 |
| E 2 | -0.779 | 3 | -0.579 | 1 | -0.031 | 8 | -6.383 | 3 |
| E 3 | 0.069 | 14 | 0.034 | 9 | -0.106 | 3 | 5.338 | 6 |
| E 4 | 0.966 | 2 | -0.224 | 2 | -0.274 | 2 | -1.688 | 12 |
| E 5 | -0.101 | 11 | 0.031 | 11 | 0.024 | 10 | 1.763 | 11 |
| E 12 | 0.081 | 12 | -0.116 | 4 | 0.051 | 6 | -0.413 | 15 |
| E 13 | -0.266 | 6 | -0.034 | 10 | -0.009 | 15 | 7.138 | 1 |
| E 14 | 0.446 | 4 | 0.024 | 12 | 0.099 | 4 | -5.438 | 5 |
| E 15 | 0.074 | 13 | -0.106 | 5 | 0.016 | 12 | 1.363 | 13 |
| E 23 | 0.046 | 15 | -0.041 | 7 | -0.031 | 9 | 6.113 | 4 |
| E 24 | -0.186 | 8 | -0.009 | 14 | 0.011 | 13 | 2.788 | 9 |
| E 25 | -0.159 | 9 | -0.009 | 15 | 0.024 | 11 | 3.788 | 7 |
| E 34 | -0.384 | 5 | 0.064 | 6 | 0.081 | 5 | 2.238 | 10 |
| E 35 | -0.216 | 7 | 0.039 | 8 | 0.009 | 14 | 0.488 | 14 |
| E 45 | -0.119 | 10 | 0.011 | 13 | -0.039 | 7 | 6.563 | 2 |

Table 8. Variable effects (4mm thickness)

| Effect | Bead Width | | Reinforcement Height | | Penetration Depth | | Reantrance Angle | |
|--------|------------|------|----------------------|------|-------------------|------|------------------|------|
| | Magn. | Rank | Magn. | Rank | Magn. | Rank | Magn. | Rank |
| E 1 | 0.838 | 2 | -0.091 | 5 | 0.407 | 1 | -2.788 | 6 |
| E 2 | -0.490 | 4 | -0.044 | 9 | -0.210 | 9 | 2.013 | 8 |
| E 3 | -0.015 | 15 | -0.026 | 12 | -0.253 | 6 | -2.438 | 7 |
| E 4 | 0.860 | 1 | -0.214 | 1 | 0.063 | 15 | -8.788 | 1 |
| E 5 | -0.785 | 3 | 0.121 | 3 | -0.093 | 13 | 6.788 | 2 |
| E12 | -0.415 | 5 | -0.026 | 13 | -0.318 | 4 | -1.513 | 10 |
| E13 | -0.205 | 10 | 0.031 | 11 | -0.355 | 2 | 0.388 | 13 |
| E14 | 0.140 | 13 | 0.009 | 15 | 0.225 | 8 | 0.188 | 15 |
| E15 | 0.160 | 12 | -0.081 | 6 | 0.140 | 11 | -6.038 | 3 |
| E23 | 0.173 | 11 | -0.076 | 7 | 0.265 | 5 | -0.463 | 12 |
| E24 | -0.368 | 7 | -0.019 | 14 | -0.320 | 3 | 1.738 | 9 |
| E25 | 0.073 | 14 | -0.039 | 10 | 0.065 | 14 | -0.938 | 11 |
| E34 | -0.273 | 8 | 0.069 | 8 | -0.233 | 7 | 0.338 | 14 |
| E35 | 0.213 | 9 | 0.104 | 4 | 0.173 | 10 | -3.488 | 4 |
| E45 | -0.408 | 6 | 0.141 | 2 | -0.098 | 12 | 2.963 | 5 |

영향을 많이 받아 와이어 송급속도+피크펄스전류, 용접전압+펄스주파수, 용접속도의 순으로 나타났다. 실험결과 비드접촉각의 값은 용접선에서 채워진 단면들 간의 값의 차이가 심해 평균 값의 의미가 적은 것을 알 수 있었다.

여기서 주요 변수로서 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도를 일컬을 수 있으며 그 외에 피크펄스전류가 용입깊이에 대체로 큰 영향력을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 펄스주파수는 영향력이 다섯개의 독립변수 중 가장 작은 것을 알 수 있다.

Table 8로부터 4mm 두께 모재에 대한 각 변수들의 영향력을 알 수 있는데 28mm 두께 모재에 대한 결과와 다른 것으로 나타났다. 비드폭에 영향력이 큰 순서는 용접전압, 와이어 송급속도, 펄스주파수이며, 비드높이에 대하여는 용접전압, 용접전압+펄스주파수 펄스주파수의 순이다. 용입깊이에 대한 영향력이 큰 순서는 와이어 송급속도, 와이어 송급속도+피크펄스전류, 용접속도+용접전압이며 비드접촉각에 대해서는 용접전압, 펄스주파수, 와이어 송급속도+펄스주파수로 나타나 주요변수는 용접전압, 와이어 송급속도, 펄스주파수임을 알 수 있었다. 이러한 결과의 차이는 모재 두께의 영향과 함께 용접조건의 상·하한치 차이값의 절대적 기준이 없다는 것이 그 원인으로 사료된다. 따라서 2ⁿ⁻¹ factorial 실험법에 의해 선정된 주요변수들에 대해서 더욱 구체적인 변수의 영향을 조사하는 것이 필요하다.

3. 주요 용접변수에 대한 용접실험 및 결과

3.1 주요 용접변수에 대한 실험방법

2ⁿ⁻¹ factorial 실험법에 의하여 분석된 결과로서 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도를 주요변수로 선정하였으며 이들의 변화에 따른 용접부 형상에 대해 실험하였다. 고정용접조건은 전 실험과 마찬가지로 Table 4에 표시된 조건을 적용하였으며 4mm 두께 모재와 28mm 두께 모재에 대한 실험조건들은 Table 9에 나타내었다. 여기서 각 조건들은 변화되는 하나의 변수값과 나머지 변수에 대해서는 중앙값에 표시한 값을 적용하여 독자적인 변수값의 변화에 대한 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

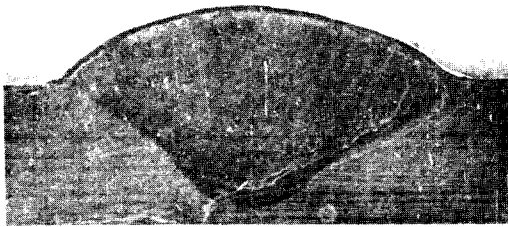
28mm 두께 모재에 대한 용접조건의 선정시 AWS Welding Handbook V.4, 6.ed에서 추천하는 용접조건을 기초로 하였으며 모든 조건이 분무이행이 형성되는 천이전류 이상에 해당하는 와이어 송급속도이므로 펄스전원을 적용하지 않았다.

3.2 주요 용접변수에 대한 실험결과 및 고찰

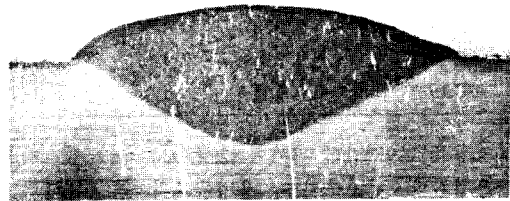
28mm 두께 모재에 대한 결과는 Fig.2, Fig.3과 Fig.4에 나타내었다. Figure 2는 용접 조건중 와이어 송급속도를 증가시키면서 용접한 시편의 단면사진으로 와이어 송급속도가 증가할수록 비드 높이

Table 9. Welding Conditions of Experiment for Main Parameters

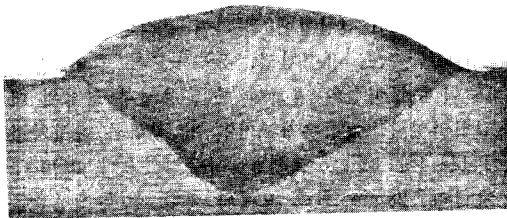
| Parameter | Thickness (mm) | Conditions | | | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----|-----|----------|-----------------|--|
| | | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | |
| Wire feed rate (ipm) | 4 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | |
| | 28 | 380 | 350 | 320 | 290 | 260 | |
| Welding speed (mm/min) | 4 | 755 | 690 | 655 | 600 | 555 | |
| | 28 | 690 | 655 | 600 | 555 | 500 450 405 350 | |
| Welding voltage (V) | 4 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | |
| | 28 | | 36 | 34 | 32 | 30 28 | |
| Peak pulse current(A) | 4 | | | 245 | | | |
| | 28 | | | | no pulse | | |
| Pulse frequency (pps) | 4 | | | | 120 | | |
| | 28 | | | | no pulse | | |



(a) wire feed rate: 380ipm.



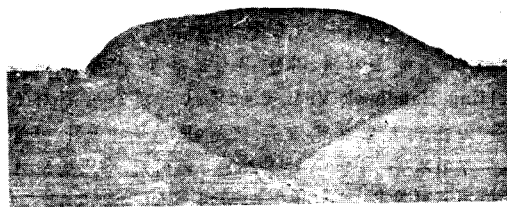
(d) wire feed rate: 290ipm



(b) wire feed rate: 350ipm.



(e) wire feed rate: 260ipm.



(c) wire feed rate: 320ipm

Fig. 2. Weld pool shape variation with increasing wire feed rate (28mm thick., welding voltage:32V, welding speed:600mm/min).

와 용입깊이가 증가함을 보이고 있다. Figure 3은 Fig. 2에 나타낸 단면들을 측정된 결과로 비드 폭도 와이어 송급속도가 증가할수록 커지는 경향을 보인다. 용접조건 중용접전압의 변화에 따라 실험결과로서 용접전압이 증가할수록 비드폭은 증가하고 비드

높이는 감소하였다. Figure 4는 용접속도의 변화에 대한 실험결과로서 용접속도가 증가할수록 비드폭, 비드높이가 대체로 감소함을 알 수 있다. 전체적인 결과로서 와이어 송급속도가 용입깊이에 특별하게 영향력이 있는것을 알 수 있었다.

4mm 두께 모재에 대한 용접 실험결과는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7에 나타내었으며 Fig. 5로부터 와이어 송급속도가 증가할수록 비드폭과 용입깊이가 증가함을 알 수 있다. Figure 6은 Fig. 5에 나타낸 단면들을 측정된 결과로 비드높이가 와이어 송급속도에 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. Figure 7에서는

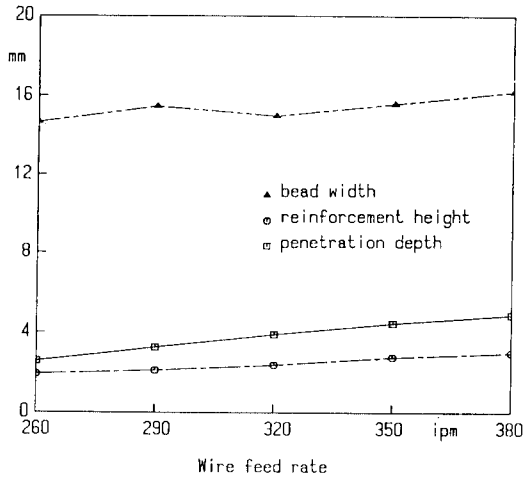


Fig. 3. Weld pool size variation with increasing wire feed rate (28mm thick., welding voltage: 32V, welding speed: 600mm/min).

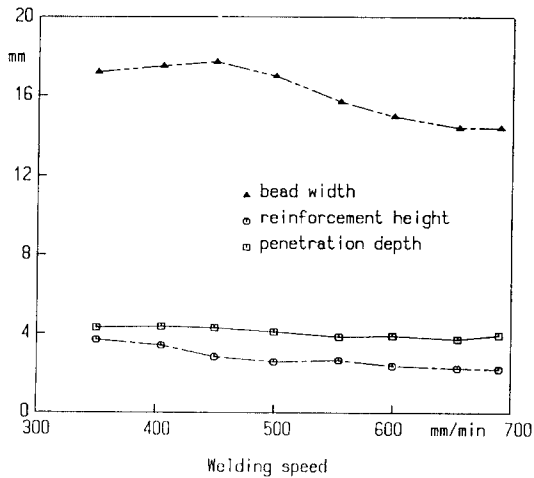
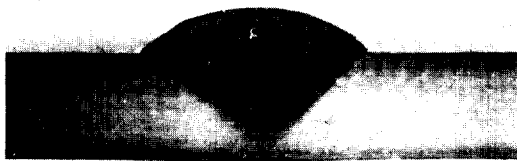


Fig. 4. Weld pool size variation with increasing welding speed (28mm thick., wire feed rate: 320ipm, welding voltage: 32V).



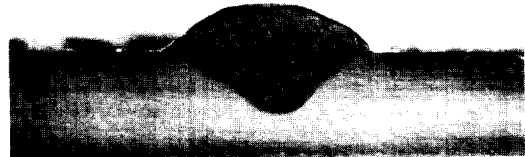
(a) wire feed rate: 135ipm.



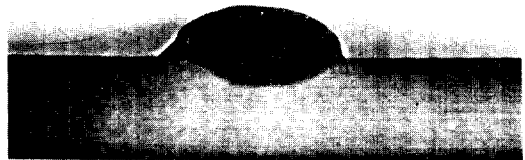
(b) wire feed rate: 130ipm



(c) wire feed rate: 125ipm



(d) wire feed rate: 120ipm



(e) wire feed rate: 115ipm

Fig. 5. Weld pool shape variation with increasing wire feed rate (4mm thick., welding voltage: 24V, welding speed: 655mm/min, peak pulse current: 245A, pulse frequency: 120 PPS).

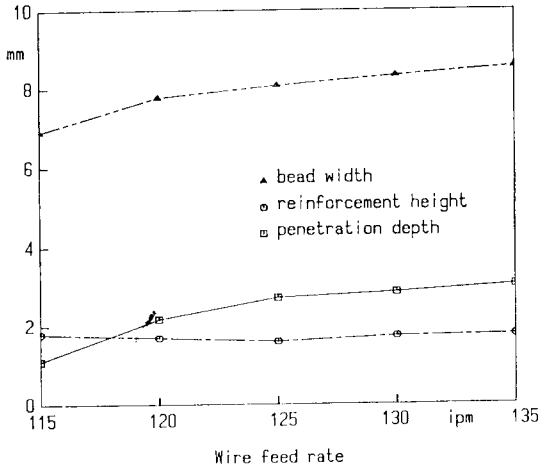


Fig. 6. Weld pool size variation with increasing wire feed rate (4mm thick., welding voltage:24V, welding speed:655mm/min, peak pulse current: 245A, pulse frequency : 120pps).

용접전압이 증가할수록 비드폭이 증가 함을 나타내며, 용접조건중 용접속도를 증가시켰을때 비드폭과 용입깊이가 각각 감소하였다. 여기서 각 변수가 비드높이에 거의 영향이 없는 것이 28mm 두께 모재에 대한 실험결과와 다르게 나타난 점이다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 Al-7020의 pulse-GMA용접시 용접공정변수가 용접부 형상에 미치는 영향력을 2ⁿ-1 factorial 실험법을 적용하여 조사하였으며, 그 결과로부터 주요 용접변수를 선정하여 용접실험을 함으로써 이들 변수가 용접부 형상의 크기에 미치는 영향을 자세히 알아 보았다. 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 28mm 두께 모재에 대한 표면용접(bead-on-plate)에서 펄스전원을 적용하였을 때 용접부 형상에 영향이 큰 용접변수는 와이어 송급속도, 용접전압과 용접속도이다.
- (2) 4mm 두께 모재에 대한 표면용접에서 펄스전원을 적용하였을 때 용접부 형상에 영향이 큰 용접변수는 용접전압, 와이어 송급속도와 펄스주파수이다.
- (3) 위의 결과로 와이어 송급속도, 용접전압과 용접속도를 주요 용접변수로 선정하였으며, 이에 대한 실험결과 28mm 두께 모재에 대해서는 와이어 송급속도가 증가할수록 용입깊이와 비드높이는 증가하였

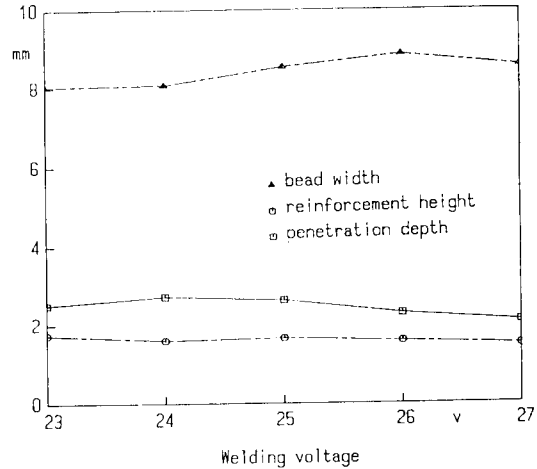


Fig. 7. Weld pool size variation with increasing voltage (4mm thick., wire feed rate: 125 ipm, welding speed: 655 mm/min, peak pulse current: 245A, pulse frequency: 120 pps).

으며 용접전압이 증가할수록 비드폭이 크게 나타났습니다. 또한 용접속도가 증가할수록 비드폭이 작아지는 것을 알 수 있었다.

(4) 4mm 두께 모재에 대한 주요 용접변수실험을 통하여 와이어 송급속도가 증가할수록 비드폭과 용입깊이가 증가하였으며 용접전압이 증가할수록 비드폭이 증가하였고 용접속도가 증가할수록 비드폭이 작아졌다.

실제의 용접작업은 용접 주요변수 이외에도 용접장비의 특성, 용접물의 청결도, 작업자의 숙련도 등에 따라 용접구조물의 품질이 크게 좌우되는 작업이다. 따라서 본 연구의 결과를 실제과정에 적용하는데 있어서 주위환경에 대한 보완이 있어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Liptak, "Techniques for Welding 7039 Aluminum with Various Inert Gas Process", *Welding Journal, Res. Suppl.*, 45, 1966, pp. 561s-568s.
- [2] 정재필 외, "아크 용접시 금속이행 연구에 대하여", *대한용접학회지*, 제4권 제1호, 1986년 3월 pp. 1-15.
- [3] "Gas Metal Arc Welding-Wire Feed Speed vs. Current Relationship", *Welding Journal*, Apr. 1984, pp. 56.

- [4] "Welding Technique Data: Pulsed MIG Welding", Welding and Metal Fabrication, Jan./Feb. 1985, pp.24-30.
- [5] D. A. J. Stegner, et al., "Prediction of Heat Input for Welding", Welding Journal, Res.

- Suppl., Mar. 1967, pp.122s-128s.
- [6] 문영훈 외, "Plackett-Burman model을 이용한 Cu-Ni 합금의 Pulse-MIG 용접변수해석", 대한용접학회지, 제5권 제4호, 1987년 12월 pp.47-53.

용접에 관한 국제행사 案內(1988)

| SUBJECT | DATE | PLACE & COUNTRY | LANGUAGE (S) | ADDRESS OF PROMOTOR |
|---|------------|-------------------------|-------------------|--|
| Seminar on "Lasers in production operations" | 4-6/OCT. | Toronto CANADA | English | Soc. Manufacturing Engineers(S. M. E.) One SME Drive-P. O. Box 930-Dearborn- MI 48128-USA |
| Seminar "Weld repair" | 11/OCT. | Glasgow UK | English | The Welding Institute Abington Hall, Abing- ton-Cambridge-CB 1 6 AL-UK |
| International Conference "Computer aided Techniques in Inspection & Testing" | 11-13/OCT. | Essen F. R. G. | English French | Eurotest Conference Secretariat-Rue du Commerce 20-22 Bte 7-B-1040 Brussels- BELGIUM |
| "Fabricating, Welding & Metal Removal Equipment" Expo | 11-14/OCT. | Toronto CANADA | | Welding Institute of Canada-391 Burnharmthorpe Rd. E. - Oakville-Ontario L 6 J GC 9-CANADA |
| Seminar "Methods of dealing with random loading in fatigue" | 12/OCT. | Glasgow UK | English | The Welding Institute Abington Hall, Abing- ton-Cambridge-CB 1 6 AL-UK |
| ECLAT '88-European Conference on Laser- material bearbeitung (Laser Treatment of Materials) | 13-14/OCT. | Bad Nauheim F. R. G. | English German | Deutscher Verband fuer Schweisstechnik(D. V. S.)- Postfach 2725-D 4000 Duesseldorf 1-F. R. G. |