

아연도금강관의 GMAW에서 용접변수가 비드형상과 미세조직과 경도에 미치는 영향

임영민¹, 이완규², 김세철³, 고진현^{1*}
¹한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부
²한국기계산업진흥회 기술교육원
³전문건설공제조합 기술교육원

Effect of Welding Parameters on Bead Shape, Microstructure and Hardness of Galvanized Steel Pipe Welds with GMAW

Young-Min Lim¹, Wan Kyu Lee², Se-Cheol Kim³ and Jin-Hyun Koh^{1*}

¹School of Energy·Materials·Chemical, Korea University of Technology and Education

²Korea Association of Machinery Industry

³Korea Specialty Contractor Financial Cooperative

요 약 본 연구에서는 아연도금강관 용접에 용접 전류, 전압과 보호가스가 용접 비드 형상과 미세조직과 경도에 미치는 영향을 조사하였다. 전압, 전류와 보호가스 종류 및 조성의 변화가 용접 비드의 높이와 너비, 용입깊이에 영향을 미침을 확인하였다. 비드높이에는 보호가스 Ar 가스, 용입에는 CO₂ 가스, 그리고 비드너비에는 Ar+O₂ 가스가 가장 큰 영향을 미쳤다. 용접부의 경도에서는 Ar+10% O₂ 와 Ar+20% CO₂ 가스 사용 시 결정립계 페라이트와 다각형 페라이트가 생성되어 낮았으며, Ar+2% O₂ 가스를 사용했을 때는 아시쿨러 페라이트와 베이나이트적 페라이트와 사이드플레이트 페라이트가 생성되어 경도가 높았다.

Abstract The present study was carried out to investigate the effects of welding parameters such as current, voltage and shielding gases on the bead shape, microstructures and hardness. It was confirmed that bead height was lowered and bead depth was increased with increasing voltages while height, depth and width of beads increased with welding currents. The hardness of weld metals with Ar+10% O₂ and Ar+20% CO₂ was low due to the formation of grain boundary and polygonal ferrites while that of weld metals with Ar+2% O₂ was high due to the presence of acicular, bainitic and sideplate ferrites.

Key Words : Zinc coated steel pipes, Welding parameter, Bead shape, Shielding gas

1. 서론

용융아연도금강관은 부식 방지를 위해 아연(Zn)을 강재 표면에 코팅한 것으로 각종 구조물과 건축물에 많이 사용되고 있다. 또한 기존에 사용되는 동관 등에 비해 가격이 싸고, 경제적이다. 하지만 용접 시 코팅된 아연이 아크열에 증발되어 기공이 발생하고 용접부 균열 생성 등 용접결합 발생을 초래하여 생산성을 떨어뜨리고 제품의

불량률을 높인다.

강의 용접 시 주요 1차 용접변수는 용접속도, 아크전류, 아크전압, 보호가스 등이 있다. 이 변수들은 용접부 비드의 너비, 높이(덧살)와 용입과 용접부 형상에 직접 영향을 미치고 용착률, 아크 안정성 그리고 스파터 발생 등에도 영향을 미친다. 2차 용접변수로는 전극와이어, 노즐 각도 그리고 모재와 팁간의 전극돌출길이 등이 있다. 이 변수들은 비드형성에 직접적으로 영향을 미치지 않

*Corresponding Author : Jin-Hyun Koh (Korea University of Technology and Education)

Tel: +82-10-5406-4027 email: jhkoh@hananet.net

Received October 31, 2012 Revised December 7, 2012 Accepted February 6, 2013

며, 측정하거나 정확히 조절하기가 어렵다.[1]

용접비드형상에서 비드 덧살이 지나치게 크면 모재 표면과 용접비드사이의 접촉각이 커져 하중 부하 시 응력 집중 장소로서 역할을 할 수 있으므로 구조물의 용도에 따라 절삭가공이 요구되는 경우도 있어 경제적으로 바람직하지 않다. 따라서 최적의 용접비드 형상을 얻을 수 있는 용접기술을 확보하기 위해서는 비드형상에 영향을 미치는 용접조건들을 조사할 필요가 있다.

본 연구에서는 아연도금강관 용접 시 용접전류, 용접 전압, 보호가스 등 변수가 아연도금강관 용접 비드형상과 미세조직 및 경도 등에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 용접조건 및 시편용접

AWS ER 70S-6 규격의 Table 1과 같은 화학성분을 가진 솔리드와이어(직경 1.2 mm)를 사용하여 두께 3.65 mm, 외부직경 60.5 mm인 아연도금강관(KS규격 :KS D 3507)에 비드-온-파이프(Bead-on-Pipe) 단일 패스(One-pass)용접을 실시하였다. 용접에 사용된 변수들은 Table 2와 같이 총 8가지의 보호가스 Ar, CO₂, Ar+5% CO₂, Ar+10% CO₂, Ar+20% CO₂, Ar+2% O₂, Ar+5% O₂, Ar+10% O₂와 Table 2(a)에서 보듯이 용접 시 전류를 150A로 고정하고, 전압은 16~24V 범위에서 용접을 실시하였다. 그리고 Table 2(b)와 같이 전압을 20V로 하고 전류를 130, 150, 180A로 변화시켜 용접하였다. 콘택트-모재 사이거리는 16 mm, 용접속도는 33.5 cm/min였다. 본 실험에서 강관시편은 반자동 가스메탈아크용접장치로 회전하면서 원주방향으로 용접하였다.

[Table 1] Chemical composition of wire (wt.%)

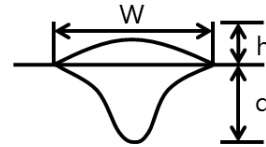
C	Si	Mn	P	S
0.07	0.86	1.53	0.012	0.007

[Table 2] Welding parameters

보호 가스	Ar	CO ₂	Ar+ 5%CO ₂	Ar+ 10%CO ₂
	Ar+ 20%CO ₂	Ar+ 2%O ₂	Ar+ 5%O ₂	Ar+ 10%O ₂
(a)	전압(V)	16~24		
	전류(A)	150		
(b)	전압(V)	20		
	전류(A)	130, 150, 180		

2.2 비드형성 및 경도 측정

용접 후 비드단면을 분석하기 위해 각 실험조건마다 24개 용접단면을 미세연마하고 5% 나이탈로 에칭한 후 매크로현미경 및 마이크로현미경을 이용하여 Fig. 1과 같이 비드높이(Height, h), 비드깊이(Depth, d), 비드너비(Width, w)를 조사하였다. 경도는 마이크로 비커즈 경도 시험기를 사용하였고, 용접부 표면으로부터 2 mm이하에서 표면에 평행하게 9.8 kgf의 하중으로 압입시간 10초로 측정하였다.



[Fig. 1] Bead shape measurement

3. 결과 및 고찰

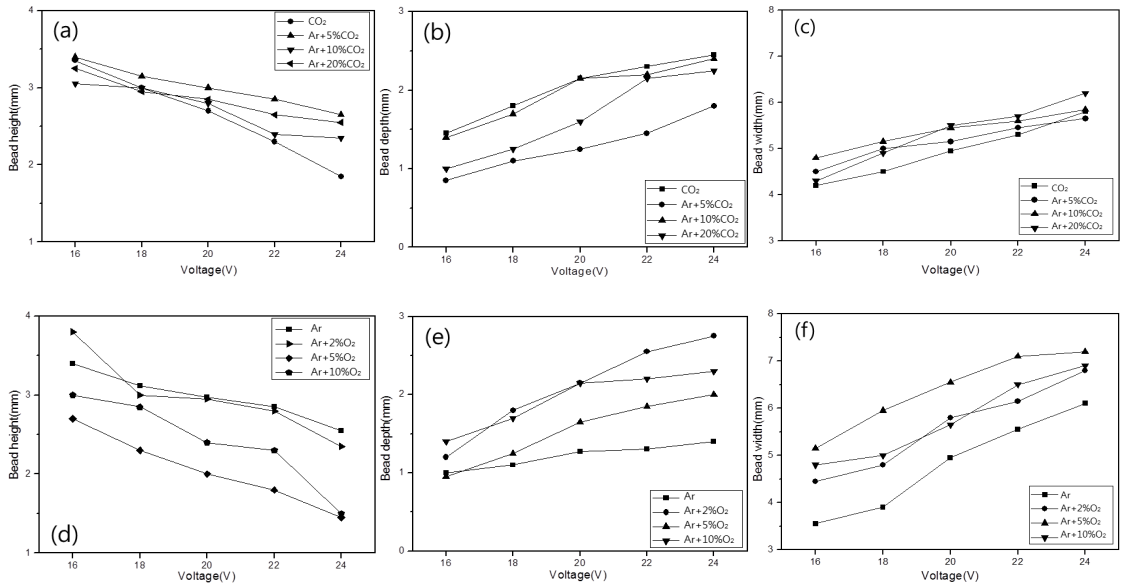
3.1 보호가스, 전압에 따른 비드형성

Fig. 2는 Ar, CO₂, Ar+5% CO₂, Ar+10% CO₂, Ar+20% CO₂, Ar+2% O₂, Ar+5% O₂, Ar+10% O₂ 가스를 사용하여 전압을 16~24V로 용접한 비드의 높이, 깊이, 너비를 나타낸 그림이다. Fig. 3(a)는 Ar+10% CO₂, (b)는 Ar+5% O₂ 가스를 사용하여 용접한 비드단면의 사진을 나타낸 것이다.

Fig. 2(a), (d)와 같이 전압이 증가함에 따라 비드 높이는 낮아졌다. 이 중 Ar 가스 사용 시 비드높이가 가장 높았으며, Ar+5% O₂ 가스의 경우 가장 낮았다. 또한 Fig. 2(b), (e) 와 Fig. 3과 같이 전압이 증가하면 비드 깊이가 커지는 것을 볼 수 있었다. CO₂ 가스의 경우 비드 깊이가 가장 깊었고, Ar 가스의 경우 가장 얇았다.

Fig. 2(c), (f)와 Fig. 3과 같이 전압이 증가함에 따라 비드 너비는 커졌다. Ar+5% O₂ 가스의 경우 비드가 가장 넓었고, Ar 가스의 경우 가장 좁았다.

전압에 따른 비드 형상을 보면, 비드 깊이는 용접 전압이 증가됨에 따라 증가하였다. Fig. 2에서 용접 전압과 용입 관계는 거의 직선적이므로 전압은 모든 보호가스에서 용입깊이의 용접 특성을 조절하는데 아주 효과적이므로 용입 변화가 요구될 때 가장 먼저 고려되는 요소라고 할 수 있다. 이는 용접 시 전압이 증가함에 따라 입열량이 증대되므로 용융부의 깊이가 깊어지고, 높이는 낮아지기 때문이다.[3]



[Fig. 2] Bead height, depth and width with the variation of voltages and shielding gases

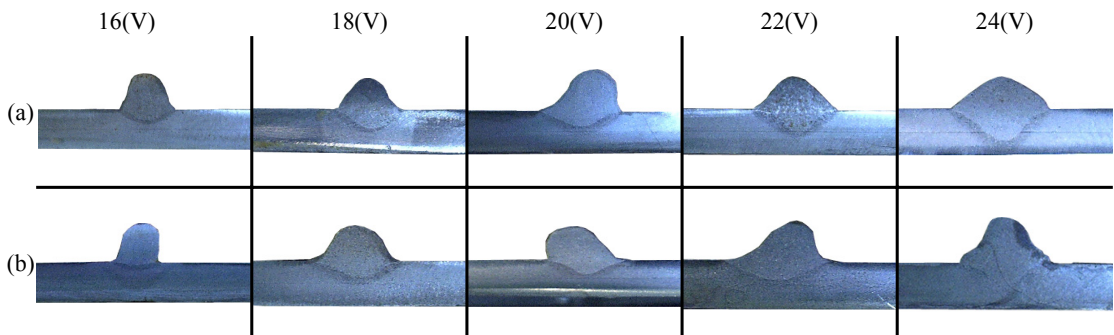
Fig. 2(c), (f)에서와 같이, 용접 너비 또한 용접 전압과 직선 관계이며, 용접 전압의 상승에 따라 용접부 높이는 감소하게 된다. 역으로 아크 전압을 감소하면 비드폭이 감소하고, 비드 높이는 증가하게 된다.

이어 보호가스에 따른 비드의 높이, 깊이, 너비를 살펴 보면, Ar 가스가 가장 높은 비드와 좁은 비드를 형성하였는데, 이는 보호가스로 Ar 가스 사용 시 철원소의 표면장력이 커지기 때문이다. 반면 보호가스로 Ar가스에 O₂ 가스를 첨가하면 용융철의 표면장력이 작아지고 젖음성이 양호해져 가장 낮은 비드높이와 넓은 비드너비를 나타내었다고 사료된다.[4]

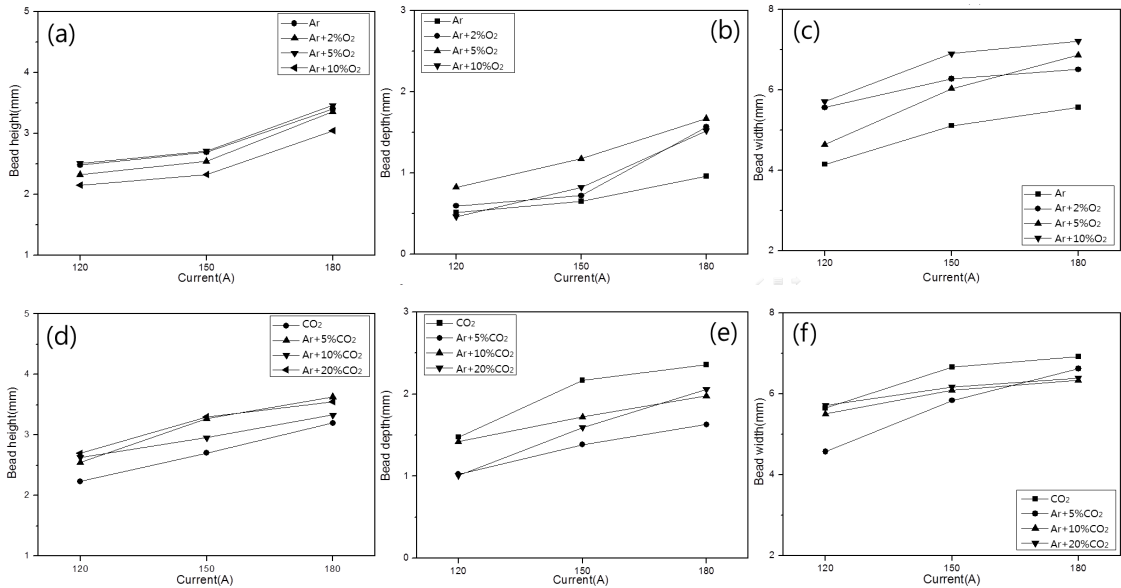
비드 깊이는 CO₂ 가스가 가장 깊었는데, CO₂의 경우

활성가스로 산화 퍼텐셜이 증가됨으로써 높은 아크 에너지를 가진 결과 깊은 용입을 나타내며 Ar가스의 경우 불활성 가스로서 낮은 아크에너지를 가지므로, 낮은 용입을 나타낸 것으로 사료된다.[5]

이와 같은 결과는 각 가스 특성에 따른 비드 형태가 다르다는 것을 나타낸다. 또한 비드의 퍼짐성이 좋아 비드 높이가 낮고 평탄한 너비가 형성되면 용접 와이어의 사용량도 줄일 수 있어, 현장에서 원자재를 절감할 수 있는 좋은 요소로 작용될 수 있다. 또한 용접 비드의 젖음성이 좋으면 언더컷 발생이 줄어들므로써 좋은 용접품질을 얻을 수 있을 것이다.



[Fig. 3] Bead cross-section with the variation of voltages and shielding gases
(a) Ar+10%CO₂, (b) Ar+5%O₂



[Fig. 4] Bead height, depth and width with the variation of currents and shielding gases

3.2 보호가스, 전류에 따른 비드형성

Fig. 4(a), (d)를 보면 전류가 높아짐에 따라 비드 높이는 증가했으며, Ar 가스가 가장 큰 비드 높이를 나타내었고, Ar+10% O₂ 가스 사용 시 가장 낮은 비드 높이를 나타내었다. Fig. 4(b), (e)와 같이 전류가 증가함에 따라 비드 깊이가 커지는 것을 볼 수 있었으며, CO₂ 가스의 경우 비드 깊이가 가장 깊었으며, Ar가스의 경우 비드 깊이가 가장 얇았다.

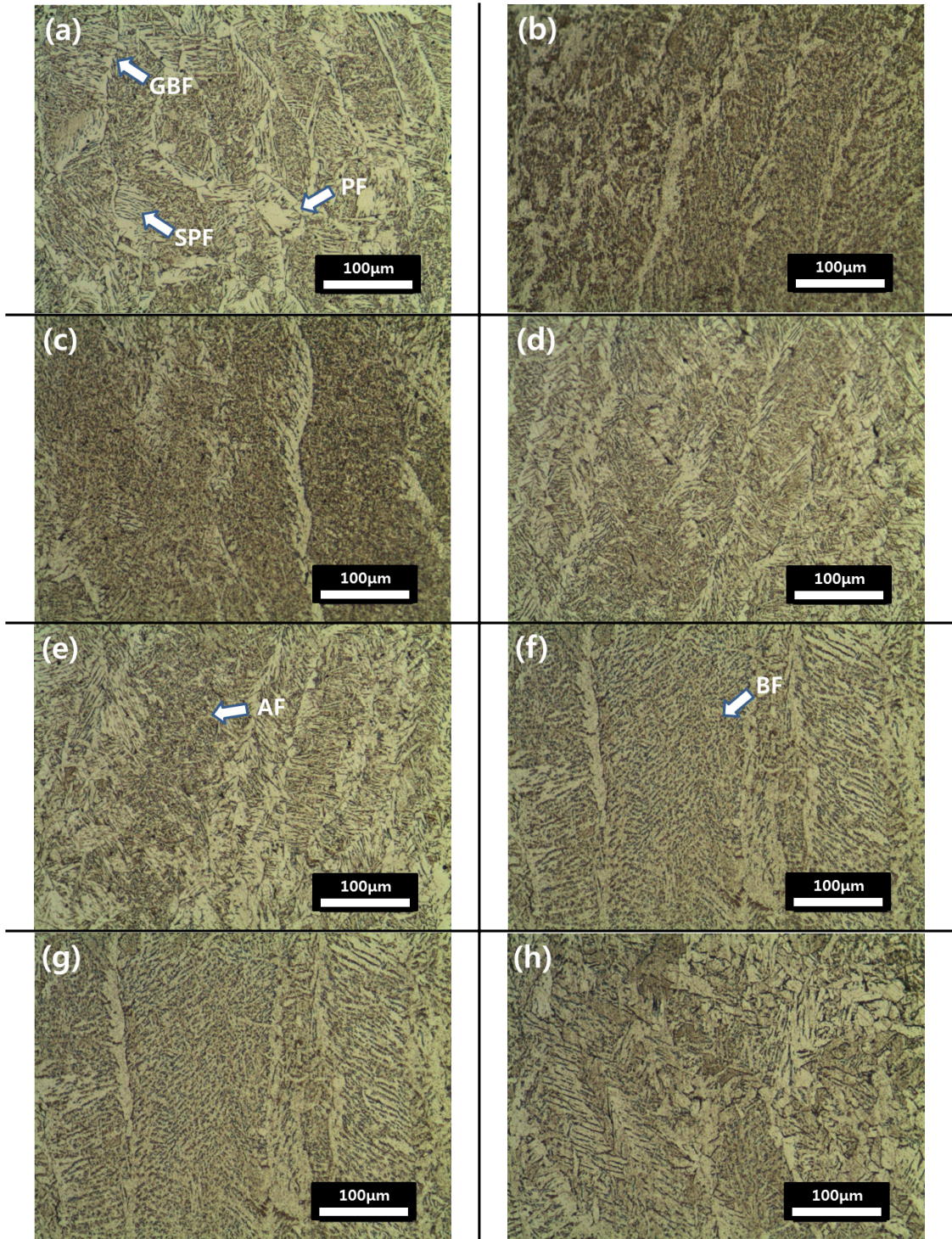
Fig. 4(c), (f)와 같이 전류가 증가함에 따라 비드 너비는 증가하였으며, Ar+10% O₂ 가스의 경우 가장 비드가 넓었고, Ar 가스의 경우 가장 작았다.

전류에 따른 비드 형상은 용접 시 전류가 높은 경우 와이어 피딩속도가 증가하므로 전체 용적량이 증가하여 비드의 높이, 깊이, 너비가 증가함을 보였다. 그리고 용접 전류가 증가할수록 표준편차가 크게 나타났는데 이는 강관의 회전식 용접으로 중력에 의한 영향을 받고, 용접 전류가 높을수록 총 용적량이 많아짐으로 중력의 영향을 더 많이 받았기 때문이다. 그 결과 용융지가 흘러내리는 현상이 많아지게 된다. 따라서 높은 전류에서 불규칙한 비드 외관을 나타내며, 이는 용접 품질을 떨어뜨리는 요인이 된다.[6]

보호가스의 특성은 앞서 3.1에서 언급된 특성과 동일하였다.

3.3 보호가스, 전압에 따른 미세조직 및 경도

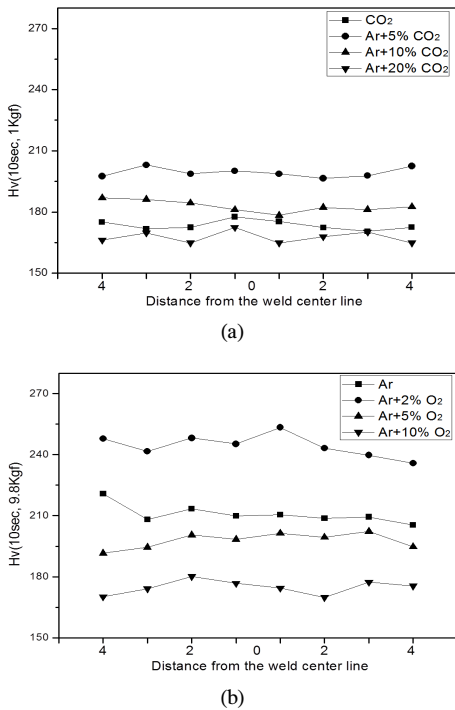
Fig. 5는 전압 20V에서 보호가스를 사용하여 용접한 용접비드의 미세조직 사진이다. Fig. 5(a)는 Ar가스를 사용하여 용접한 미세조직으로 구오스테나이트 결정립계 (Prior austenite grain boundary)를 따라 입계페라이트 (Grain Boundary Ferrite, GBF)가 형성되었고, 오스테나이트입계에서 입내로 비드만스테텐페라이트라고도 하는 사이드플레이트페라이트(Side Plate Ferrite, SPF)가 형성되었고, 일부 다각형 페라이트(Polygonal Ferrite, PF)가 형성된 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 6(b)는 CO₂ 가스 분위기에서는 전형적인 용접금속의 응고조직인 주상정 조직과 PF와 GBF가 생성되었고, Fig. 5(c)는 Ar+5% CO₂ 가스 분위기에서 형성된 주상정조직과 GBF와 PF가 생성되었으며, 내부에는 탄화물이 높은 베이나이트적 페라이트 (Bainitic Ferrite, BF) 미세조직이 생성되었다. Fig. 5(d)는 Ar+5% CO₂ 가스를 이용하여 용접된 용접부로서 구오스테나이트 결정입내에 SPF와 침상형 페라이트(Acicular Ferrite, AF)가 생성되었다. Fig. 5(e)는 Ar+20% CO₂ 가스에 의한 용접부 미세조직으로 GBF와 PF, SPF와 AF가 생성되었다. Fig. 5(f)는 Ar+2% O₂ 가스를 사용한 경우로 소량의 GBF, PF와 다량의 BF의 생성을 관찰할 수 있었으며, Fig. 5(g)의 Ar+5% O₂ 가스에서는 PF가 다량 생성되었으며, BF와 미량의 AF가 생성되었다. 마지막으로 Fig. 5(h) Ar+10% O₂ 가스에서는 다량의 PF와 BF가 생성되었다.



[Fig. 5] Weld microstructures with the variation of shielding gases at 20V
(a) Ar, (b) CO₂, (c) Ar+5%CO₂, (d) Ar+10%CO₂, (e) Ar+20%CO₂, (f) Ar+2%O₂, (g) Ar+5%O₂, (h) Ar+10%O₂

Fig. 6은 보호가스에 따른 용접부의 경도값으로 Fig. 6(a)에서 Ar+5% CO₂ 가스의 경우 Fig. 5(c)에서 고찰된 바와 같이 입내 탄화물을 함유한 BF 미세조직이 생성되어 경도가 높게 나타났으며, Ar+10% CO₂ 가스의 경우 GBF와 PF가 적게 생성되고, SPF의 생성(Fig. 5(d))이 많아 다소 높은 경도를 나타내었다. CO₂ 가스의 경우 GBF가 다량 생성 되었고(Fig. 5(b)), Ar+20% CO₂ 가스의 경우 GBF와 PF가 다량 생성되어(Fig. 5(e)) 낮은 경도를 나타낸 것으로 사료된다.

Fig. 6(b)의 Ar+2% O₂ 가스에서는 Fig. 5(f)와 같이 GBF와 PF 생성량이 적고 BF가 다량 생성되어 가장 높은 경도를 나타냈으며, Ar 가스의 경우 SPF가 많이 생성되었고 PF의 생성이 적어(Fig. 5(a)) 경도가 높았다. Ar+5% O₂, Ar+10% O₂ 가스에서는 PF가 다량 생성되어(Fig. 5(g), (h)), 낮은 경도를 나타내었다. 이는 GBF와 PF조직이 다량 생성되면 경도가 감소되는 반면 SPF와 BF와 AF가 생성되면 경도가 상승하는 결과로 사료된다.



[Fig. 6] Hardness of welds with the variation of shielding gases

4. 결론

본 연구에서는 아연도금강판 용접 시 용접전류, 용접

전압, 보호가스 등의 변수가 용접 비드형상과 미세조직과 경도에 미치는 영향을 조사하였다.

- 1) 전압이 증가함에 따라 비드 높이는 낮아지고, 비드 깊이는 깊어지고, 비드 너비는 넓어졌다. 그리고 전류가 증가함에 따라 비드 높이, 깊이, 너비는 증가하였다.
- 2) Ar 가스 사용 시 가장 높고 좁은 비드, 얇은 비드 깊이를 나타냈으며, CO₂ 가스의 경우 비드 깊이가 가장 컸고, Ar+10% O₂ 가스의 경우 가장 낮고 넓은 비드가 생성되었다.
- 3) 용접 미세조직에서 결정립계 페라이트와 다각형 페라이트를 많이 생성하는 Ar+10% O₂ 가스와 Ar+20% CO₂ 가스에서 경도가 낮았고, 베이나이트적 페라이트와 사이트플레이트 페라이트와 아시쿨러 페라이트를 다량생성하고 결정립계 페라이트와 다각형 페라이트를 적게 생성하는 조건인 Ar+2% O₂ 가스와 Ar 가스에서 경도가 높았다.

References

- [1] S. M. Cho, K. J. Kim and B. W. Lee, 'The Waveform Control and Blowhole Generation in the Wave Pulse MIG Welding for the Galvanized Steel Sheets', KWJS, Vol. 23, No. 1, pp. 69-76, February, 2005.
- [2] H. Y. Park, S. H. Lee, G. W. Eum, 'A Study of Weld Pool Flow Considering the Molten Droplets Effect in GMAW', KWJS, Vol 16, No. 2, pp.40-47, 1998.
- [3] J. H. Koh, G. S. Kim, J. H. kim, G. S. Bang, Y. M. Yun, B. Y. Lee, S. Y. Lee, 'Modern Welding Technology', Fifth Edition, (2002), 192-205
- [4] J. H. Koh, H. G. Park, S. S. Kim, Y. H. Hwang, Y. S. Seo, 'Irradiation Behavior of Reactor Pressure Vessel SA508 class 3 Steel Weld Metals', KWJS, Vol 28, No. 5, pp.69-74, 2010.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2010.28.5.069>
- [5] H. S. Jung, 'Fundamental of Fusion Welding - Shielding Gases for Arc Welding', KWJS, Vol 19, No. 2, pp.138-141, 2001.
- [6] S. H. Lee, J. Y. Lee, J. S. Kim, and B. Y. Lee, 'The Effect of External Electromagnetic Force in GMAW', KSME, pp. 1741-1745. 2003.
- [7] J. Y. Choi, 'Hand Book on the Strength of Weld Joints', Gold Publishing Co., No. 4, pp. 35-40, 1997.
- [8] K. D. Kyung, H. J. Chon, J. H. Lee, B. Y. Kang and H. J. Kim, 'Effect of Shielding gas Composition on Arc

Stability and Transfer Mode of High Deposition GMA Welding', KWJS, Vol. 15, No. 1. pp. 64-70, 1997.

- [9] J. W. Lee, W. H. Song, D. H. Seo, J. S. Lee, 'Effect of Heat Input on Girth Welds Properties of High Strain Steel Pipe', KWJS, Vol. 27, No. 6. pp. 25-30, 2009. DOI : <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2009.27.6.025>

임 영 민(Young-Min Lim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부 석사과정

<관심분야>
용접야금, 용접재료

이 완 규(Wan-Kyu Lee)

[정회원]



- 1999년 8월 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 ~ 현재 : 한국기계산업진흥회 기술교육원 팀장

<관심분야>
용접야금, 용접설계

김 세 철(Se-Cheol Kim)

[정회원]



- 2003년 8월 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 전문건설공제조합 기술교육원 교수

<관심분야>
플랜트용접, 기계공학

고 진 현(Jin-Hyun Koh)

[정회원]



- 1985년 1월 : Lehigh University 재료공학과 (공학석사)
- 1987년 1월 : Lehigh University 재료공학과 (공학박사)
- 1987년 5월 ~ 1991년 2월 : 한국원자력연구소
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부 교수

<관심분야>
용접야금, 마이크로접합, 원자력재료