

위보기 및 경사상진자세의 TIG 용접에서 비드 성형기의 물리적 힘에 의한 용융지 제어

함효식* · 하중문* · 이병우** · 조상명**,[†]

*부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

**부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공

Control of Molten Pool by Physical Force of Bead Former in TIG Welding of Overhead and Inclined-up Position

Hyo-Sik Ham*, Jong-Moon Ha*, Byung-Woo Lee** and Sang-Myung Cho**,[†]

*Dept. of Materials Processing Eng., Graduate School, Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

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

[†]Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received December 28, 2009 ; Revised January 26, 2010 ; Accepted October 25, 2010)

Abstract

Due to excellent weld quality, orbital welding with TIG is widely applied to pipe welding. But concave back bead is formed easily in overhead and inclined-up position of butt orbital welding. It is difficult to find a paper to overcome this problem. In this study, in order to make convex back bead in overhead and inclined-up position of pipe 5G welding, control method of molten pool was actively investigated. Melt run welds were conducted on thickness 4.0mm SS400 with overhead and inclined-up position and was observed the variation of bead shape after welding with the bead former developed. The height of back bead showed the trend of increase as the distance from molten pool to the bead former was decreased. Also, there is no trend in the bead width of front and back as welding position was changed or the distance from molten pool to the bead former was decreased.

Key Words : TIG welding, Orbital welding, Overhead position, Inclined-up position, 5G welding, Convex back bead, Concave back bead, Bead former, Distance from molten pool to the bead former

1. 서 론

선박이나 산업 플랜트의 파이프 용접 시 안정적인 이면비드 형성은 매우 중요하다¹⁻³⁾. 대부분의 현장에서 파이프류의 맞대기 용접부 초층의 이면 비드를 용접하기 위해 TIG용접을 사용하며, 전 자세 용접이 가능하고, 높은 아크 안정성, 용접부 품질이 우수하다는 장점이 있다⁴⁻⁹⁾.

그러나 오비탈 TIG 용접의 용접 위치에 따른 용접 자세를 나타낸 Fig. 1의 위보기자세(Overhead position)

인 P06:00시와 그 이후의 경사상진자세(Inclined-up position)에서는 용융 금속량이 많아지면 용융 금속이 아래로 처져 표면비드가 불량해지거나 이면비드가 함몰되어 왔었다.

이러한 문제 때문에 5G에 대한 Fig. 2과 같은 기존의 오비탈 TIG 용접 그루브의 경우 초층 용접 시 루트면이 1.5mm이하로 제한된다.

KIM 등¹⁰⁾은 플라즈마를 이용한 오비탈 용접에서 경사상진자세에서의 이면비드 형성에 대한 연구에서 실드 가스의 유량을 증가시키면 볼록한 이면비드 형성이 가

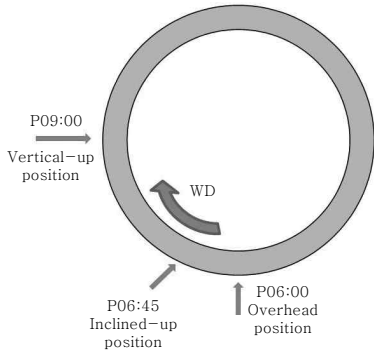


Fig. 1 Welding position in 5G pipe welding

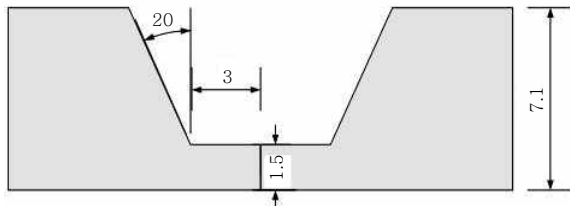


Fig. 2 Shape of existing groove

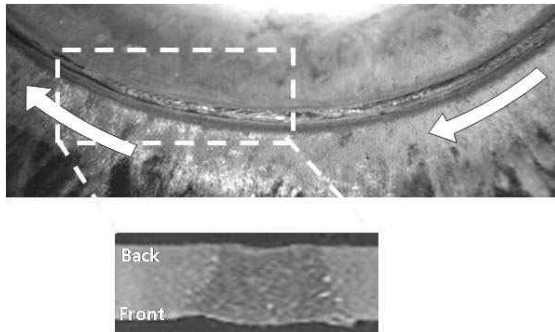


Fig. 3 Back bead shape of TIG orbital welds around P06:00 (root face 3mm, butt joint)

능하다고 밝혔으나 이 연구는 플라즈마 키홀 용접에 의한 것이므로, TIG 용접과는 차이점이 있다.

Fig. 3은 루트면 3mm인 파이프의 TIG 맞대기 오비탈 용접 시 P06:00 이후의 구간에서 이면비드의 함몰 현상을 보여준다.

따라서 루트면을 키워서 Fig. 1에서의 용착량을 줄여 생산성을 향상시킬 수 있는 TIG 용접 공정 개발이 필요하다.

본 연구는 오비탈 TIG 용접의 위보기 및 경사상진자세에서 불룩한 이면비드의 형성 및 표면비드의 치짐을 방지하는 것을 목적으로 이면비드의 함몰정도가 크고, 표면비드 치짐 현상이 큰 위보기자세인 P06:00 위치와 경사상진자세인 P06:45 위치에서 4mm 두께의 연강판에 용융주행용접을 수행하여 이면비드의 높이와 비

드폭을 관찰하였다.

2.1 사용재료

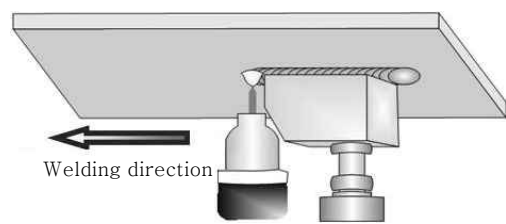
본 연구에서는 루트부 만을 고려하여 평판용접을 하기위해 폭 100mm, 길이 150mm, 두께 4mm의 SS400을 사용하였고, 파워웰 500EP DC 펄스 TIG(Tungsten Inert Gas)를 이용하여 용융주행용접을 실시하였다.

2.2 실험방법

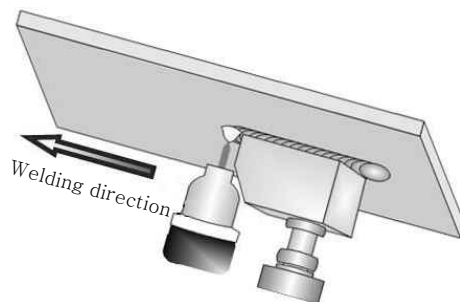
본 연구의 용융주행용접은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 P06:00에 해당하는 위보기자세와 P06:45에 해당하는 경사상진자세를 모식화하여 실험하였다. Fig 4는 그에 따른 위보기 및 경사상진자세의 용접 모식도이다. 시편을 고정시키고 TIG 토치를 로봇에 물려 13cpm의 용접 속도로 용융주행용접을 수행하였다. TIG 토치에 후행하는 비드 성형기를 장착하여 텅스텐 전극과 비드 성형기사이의 거리(D_{TF})와 액체비드와 접촉하는 비드 성형기 폭(B_{BF})을 변경하여 실험을 진행하였고, D_{TF} 와 B_{BF} 은 Fig. 5, 6에 정의하였다.

Table 1은 본 실험에서 사용된 실험조건을 나타낸 것이다. 용접전류는 평균 155A(I_p : 210A, I_b : 100A), 펄스 주파수는 3Hz, 용접속도는 13cpm, 실드가스 유량은 25l/min, 아크길이는 2mm, 실드가스컵 내경은 7.8mm, 비드 성형기가 액체비드를 밀어주는 힘은 2.4kgf로 모든 실험에 적용하였다.

Exp.1에서의 조건은 B_{BF} 가 3.5mm일 때, D_{TF} 를 4.7mm에서 7.7mm로 증가시켰고, Exp.2는 B_{BF} 가



(a) Schematic of overhead position



(b) Schematic of inclined-up position

Fig. 4 Schematic of welding position

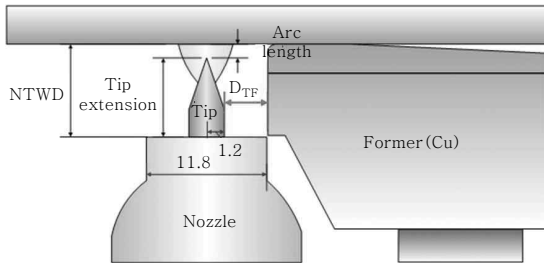


Fig. 5 Definition of D_{TF}

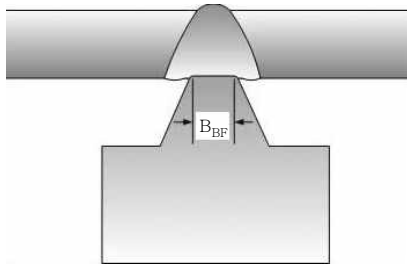


Fig. 6 Definition of contact B_{BF}

Table 1 Experimental conditions

Fixed	Welding current	I_p	210A
		I_b	100A
	Welding speed	13cpm	
	Frequency	3Hz	
	Shield gas flow rate	25 l/min	
	Tip extension	5mm	
	Arc length	2mm	
	Specimen	150*100*4t	
	Gas cup indiameter	7.8mm	
Pushing force	2.4kgf		
Exp.1	B_{BF} 3.5mm	D_{TF} 4.7, 5.7, 6.7, 7.7	
Exp.2	B_{BF} 6.0mm	D_{TF} 4.7, 5.7, 6.7, 7.7	

6.0mm일 때, D_{TF} 를 4.7mm에서 7.7mm로 증가시켜 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 위보기 및 경사상진자세의 비드 성형기 적용 실험결과

Table 2와 3은 B_{BF} 3.5mm일 때 각기 다른 용접 자세에서 D_{TF} 변경에 따른 비드외관 및 횡단면을 나타내었고, 이면비드 높이를 Fig. 7에 나타내었다. D_{TF} 가

Table 2 Bead appearance and cross section in overhead position(3.5mm)

TTFD	Front side	Back side	Cross
4.7mm			
5.7mm			
6.7mm			
7.7mm			

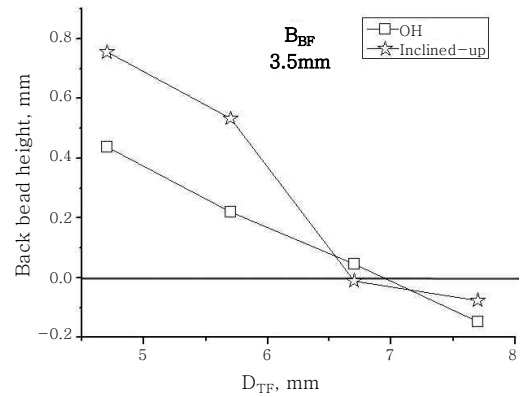


Fig. 7 Comparison of the height of back bead in each position (B_{BF} 3.5mm)

Table 3 Bead appearance and cross section in inclined-up position(3.5mm)

TTFD	Front side	Back side	Cross
4.7mm			
5.7mm			
6.7mm			
7.7mm			

4.7mm에서 7.7mm로 증가할수록 위보기자세의 경우 이면비드높이가 0.42mm에서 -0.18mm로 경사상진자세의 경우 0.78mm에서 0.07mm로 감소하는 것을 확인 하였다.

마찬가지로 Table 4와 5에 B_{BF} 6.0mm일 때 각기 다른 용접 자세에서 D_{TF} 변경에 따른 비드외관 및 횡단면을 나타내었고, 그에 따른 이면비드 높이를 Fig. 8에 나타내었다. B_{BF} 3.5mm에서의 결과와 유사하게 D_{TF} 가 4.7mm에서 7.7mm로 증가할수록 위보기 및 경사상진자세 모두에서 이면비드높이가 감소하는 것을 확인 하였다.

B_{BF} 가 3.5mm 일 때와 B_{BF} 가 6.0mm 일 때의 위보기 및 경사상진 자세에서 D_{TF} 별 표면비드와 이면비드 폭을 측정해 그 결과를 Fig. 9와 10에 나타내었다. 표면비드, 이면비드 폭은 용접자세나 B_{BF} 의 변화에 따른

Table 4 Bead appearance and cross section in overhead position(6.0mm)

TTFD	Front side	Back side	Cross
4.7mm			
5.7mm			
6.7mm			
7.7mm			

Table 5 Bead appearance and cross section in inclined-up position(6.0mm)

TTFD	Front side	Back side	Cross
4.7mm			
5.7mm			
6.7mm			
7.7mm			

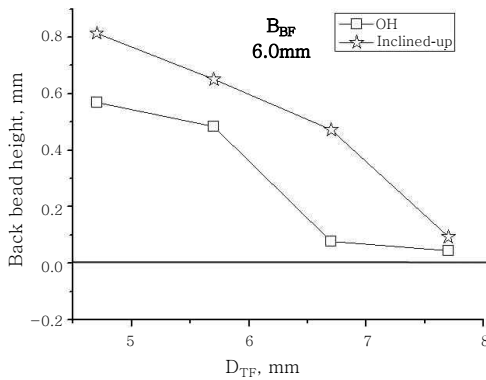


Fig. 8 Comparison of the height of back bead in each position (B_{BF} 6.0mm)

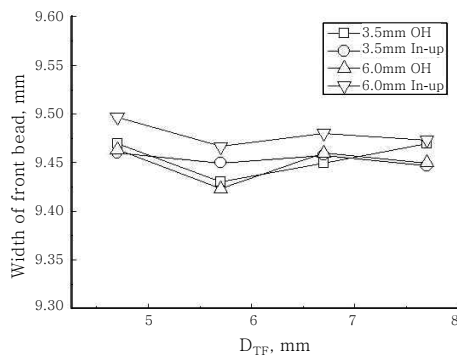


Fig. 9 Comparison of the width of front bead

증가하거나 감소하는 경향이 나타나지 않아 용접자세와 B_{BF} 가 지배인자는 아닐 것으로 사료된다. 따라서 표면비드 및 이면비드 폭은 아크직하 용융시에 결정되어지므로 아크길이, 입열량이 지배적으로 작용한 것으로 판단된다.

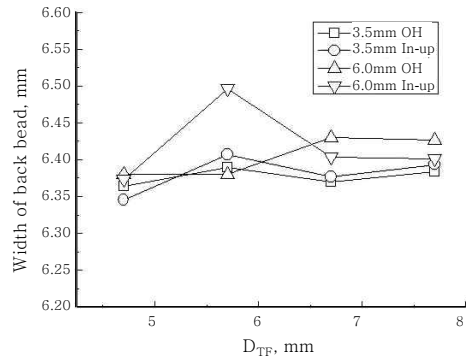


Fig. 10 Comparison of the width of back bead

3.2 용접자세가 이면비드 형성에 미치는 영향

비드 성형기를 사용할 때 Fig. 7에 나타난 바와 같이 보면 B_{BF} 가 3.5mm일 때 D_{TF} 가 증가함에 따라서 위보기자세보다 경사상진자세에서 이면비드 높이가 더 불룩해지는 경향을 보였다. 또한 Fig. 8의 B_{BF} 6.0mm의 경우에도 3.5mm와 마찬가지로 경사상진자세일 때 이면비드 높이가 더 불룩한 경향을 보였다.

이러한 경향은 기존의 오비탈 TIG 용접에서 나타나는 경사상진자세 일 때 위보기자세 보다 이면비드의 함몰이 더 큰 현상과는 반대의 경향을 보여준다.

먼저 Fig. 11에는 일반적인 오비탈 TIG 용접에서 위보기자세(a)와 경사상진자세(b)의 용융지 거동과 비드처짐을 나타내었다. (a)의 경우에는 아크력이 용융지

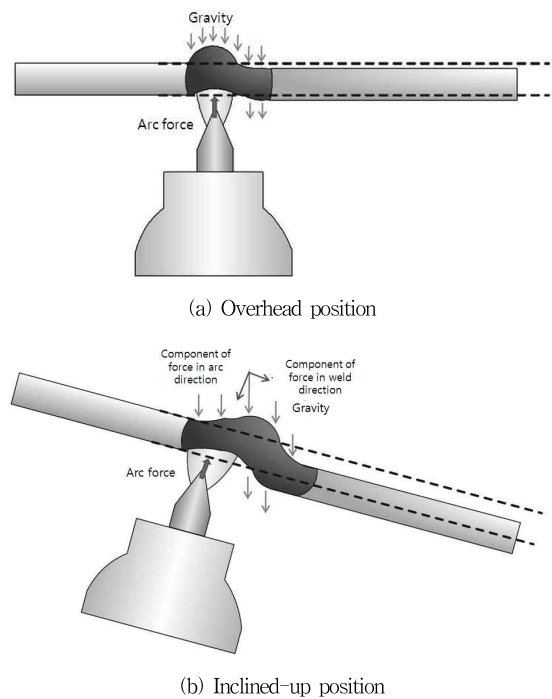


Fig. 11 Comparison of molten metal flow in each position

를 이면으로 밀어 올려주고, 분력이 발생하지 않은 중력은 반대로 용융지를 오로지 아래쪽으로 처지게 하는 것을 나타내고 있다. 아크력이 작용하지 않는 아크 후방은 처짐이 발생하지만, 응고가 빠르게 진행되면서 처짐은 종료된다. 그러나 경사상진자세에서는 아크력 방향 분력과 용접선 후방 분력이 발생된다. 중력의 분력이 발생하면 아크력 방향 분력의 크기가 작아져서 비드 함몰이 더 감소된다고 예상 되지만 오히려 더 함몰되는 이유는 용접선 후방 분력으로 생각할 수 있다. 이 용접선 후방 분력에 의해 용융지의 용접선 후방으로의 유동이 일어나게 되어 아크 이면 쪽의 용융속이 작아지게 된다. 그러나 용접선 후방에는 밀려난 뜨거운 용융지가 계속적으로 공급되기 때문에 위보기자세에 비해 상대적으로 늦게 응고하여 완전히 응고되지 않은 영역이 생기고, 완전 응고 시까지 비드 처짐 정도는 증가하게 되어 이면비드가 더 함몰되는 경향을 나타낸다.

Fig. 12에는 비드 성형기를 사용하였을 때, 위보기자세(a)와 경사상진자세(b)에서의 용융지 거동과 비드 처짐을 나타내었다.

위보기자세에서는 비드 성형기를 사용하지 않았을 때와 같이 중력에 의해 처진 용융지를 비드 성형기로 이면쪽으로 밀어주지만, 응고가 빠르게 진행되어 밀려 올려지는 정도가 적다. 그러나 경사상진자세에서는 용접선 후방 분력에 의해 밀려온 용융지를 비드 성형기가

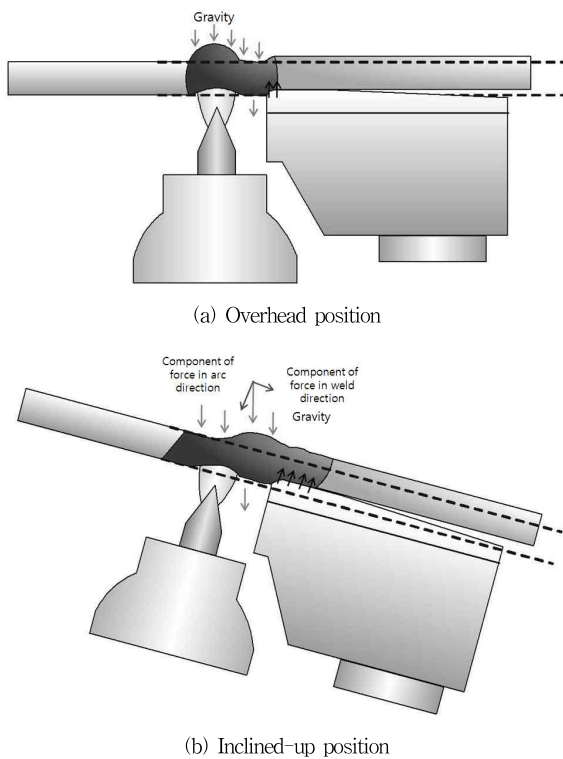


Fig. 12 Comparison of molten metal flow when bead former was used in each position

땀 역할을 하며 처짐을 방지하면서 위쪽으로 밀어 올려 준다. 이 때 용접선 후방으로 계속적으로 공급되는 뜨거운 용융지에 의해 응고가 늦게 진행되고, 완전히 응고되지 않은 영역이 비드 성형기에 의해 계속적으로 밀려 올려진다. 이러한 현상으로 비드 성형기를 사용하여 용접을 했을 때는 위보기자세보다 경사상진자세의 경우가 비드처짐이 감소하여 이면비드가 더 높았을 것으로 판단된다. 경사상진자세의 이면비드 높이가 위보기자세보다 높다는 결과는 실드가스력을 사용하여 볼록한 이면비드를 형성시킨 Ham등¹¹⁾의 연구에서도 검토된 바 있다.

3.3 비드 성형기 접촉부 폭이 이면비드 형성에 미치는 영향

본 연구에서 이면 비드 기준높이는 0.3mm로 정의하였다.

Fig. 13, 14와 같이 위보기자세와 경사상진자세에서 B_{BF} 가 3.5mm에서 6.0mm로 증가할 경우 이면비드의

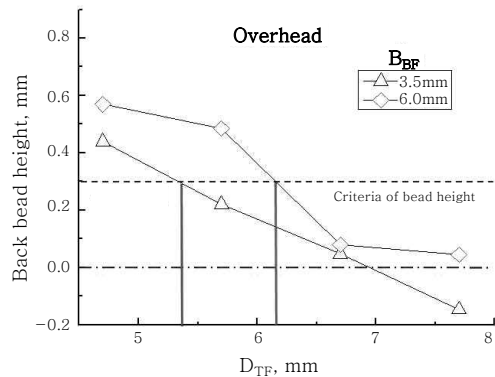


Fig. 13 Comparison of the height of back bead in each B_{BF} (OH)

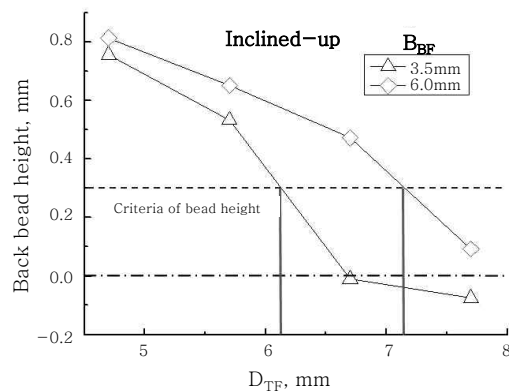


Fig. 14 Comparison of the height of back bead in each B_{BF} (Inclined-up)

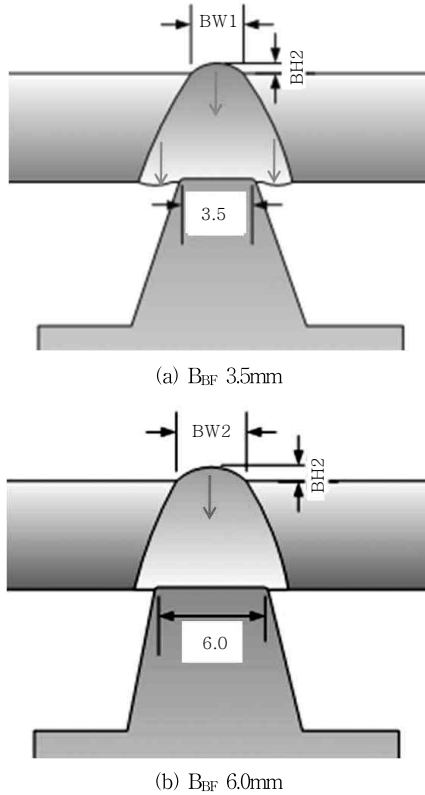


Fig. 15 Schematic of the height of back bead and width of back bead in each B_{BF}

높이가 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 15에 이러한 B_{BF} 에 따른 이면비드 높이가 차이는 것에 대한 고찰을 나타내었다.

액체 비드는 접촉 후에도 완전히 응고하기 전까지 아래로 처지므로 B_{BF} 가 좁은 3.5mm의 경우 접촉되지 않은 쪽으로 비드가 처지면서, 이면비드 높이가 감소하지만, 6.0mm의 경우에는 접촉면이 넓어 아래로 처지지 않게되어 더욱 볼록한 이면비드 형성이 가능하였을 것이라 판단하였다.

Fig. 13에서 B_{BF} 6.0mm의 경우 D_{TF} 6.2mm에서도 본 연구에서 선정한 이면비드 기준높이인 0.3mm를 만족하여 B_{BF} 3.5mm보다 강건하였다.

Fig. 14의 경사상진자세에서도 B_{BF} 6.0mm의 경우가 D_{TF} 를 7.1mm로 더 멀리 허용할 수 있어 보다 강건한 용접 공정이 개발되었다.

3.4 비드 성형기와 가스력을 이용한 이면비드 성형에 관한 비교 고찰

생산성 향상을 위한 2mm이상의 루트면을 가지는 오비탈 TIG 용접에서 안정적인 이면비드의 형성을 위한 기존의 연구들이 있다. Kim등¹⁰⁾은 6mm 두께의 연강

판에 플라즈마 용융주행 킷을 용접했을 때, 실드가스 유량을 높게 하면 이면비드의 볼록 정도가 증가한다는 결과를 얻었고, J.M.HA등¹²⁾은 3mm 및 4mm 평판 용융주행 TIG 용접 시에 위보기 및 경사상진자세에서 실드가스압력을 증가시켜서 가스력을 이용하여 용융금속을 밀어 올려주면 볼록한 이면비드를 얻을 수 있다고 하였다. 그러나 실드가스를 이용한 방법의 경우 가스소모가 심하고, 가스 토출량이 증가하여 과다하게 가스력이 높아지면, 난류에 의한 실드불량으로 기공 등의 결함 또한 발생할 수 있다.

그러나 비드 성형기를 사용할 경우 기존의 가스력을 이용한 것에 비해 가스소모를 실드가스 유량을 사용할 수 있으므로 가스소모를 줄일 수 있고, 가스 토출량 과다에 따른 용접불량도 방지할 수 있어 훨씬 효율적이라고 판단된다.

본 연구결과에 의하면 몇 가지 개선할 사항도 발견되었다. 즉, 용접 후 표면비드의 산화가 발생하였고, 실제 파이프 오비탈 TIG 용접시 용접시간이 길어지면, 비드 성형기의 손상이 심해지므로 이에 대한 대책이 요구된다.

아래보기자세 및 경사하진자세 등 본 연구에서 다루지 않은 용접자세에 대한 실험을 통해 각 용접자세에서 비드 성형기 사용 시의 문제점과 개선방안이 도출되고 수정된다면, 비드 성형기를 보다 적극적으로 파이프 오비탈 TIG 용접에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

4. 결 론

평판 4mm 두께의 SS400 시편에 비드 성형기가 TIG 토치를 후행하는 용융주행용접을 위보기 및 경사상진자세에서 실시한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 이면비드 높이는 용접자세, 비드 성형기의 사용에 의해 변동함을 확인하였으나, 표면비드 폭과 이면비드 폭은 변동하지 않았다. 따라서 표면비드와 이면비드 폭 아크 직하 용융시에 결정되어지므로 비드 성형기에 영향을 받지 않고, 아크길이와 입열량에 지배를 받는 것으로 판단된다.

2) 비드 성형기가 아크와 가까운 거리에서 멀어질수록 이면비드 높이는 높아졌다. 그러나 너무 가까우면 비드 성형기가 손상을 입을 수 있고, 너무 멀어지면 이면비드 함몰현상이 발생하게 되어 비드 성형기의 적용 효과가 없어진다.

3) 평판 두께 4mm판에 대해 용융주행 TIG 용접하

여 표면비드 폭 9.46mm, 이면비드 폭 6.39mm가 얻어졌고, 이 경우 비드 성형기 접촉부 폭은 3.5mm 보다 6.0mm가 더 효과적이고 강건하게 이면비드를 볼록하게 성형할 수 있었다.

4) 평판 두께 4mm의 시편을 위보기, 경사상진자세에서 비드 성형기를 사용하면 볼록한 이면비드를 얻을 수 있었기 때문에 기존의 오비탈 TIG 용접의 U그루브에서의 루트면 1.5mm보다 2배 이상의 루트면을 가지 고도 양호한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Ki-Joung Kim, Jin-Woo Kim, Youn-Bae Kang, Sang-Myung Cho : Heat transfer simulation and temperature measurement for heat input control in orbital welding, Proceedings of 2003 Spring Annual Meeting of KWS, 40 (2003), 155-158 (in Korean)
2. Jin-Woo Kim, Sang-Myung Cho : The effect of the arc pressure variation on the penetration by the filler wire feed rate in pulsed TIG welding, Journal of KWS, 22-1 (2004), 71-76 (in Korean)
3. Ki-Joung Kim, Jin-Woo Kim, Youn-Bae Kang, Sang-Myung Cho : Heat input control in orbital GTA welding to stainless steel and mild steel pipes, Journal of KSME, (2002. 11), 2881-2885 (in Korean)
4. Patrcio F. Mendez, Krista L. Niece and Tomas W. Eagar : Humping Formation High Current GTA Welding, ASM International, In proceedings International Conference on Joining of Advanced and Speciality Materials II, (Materials Solutions Conference and Exposition), OH, (ASM International), November 1999
5. R. T. C Choo, J. Szekeley and R. C. Westhoff : Modeling of High-Current Arcs with Emphasis on Free Surface Phenomena in the Weld Pool, Welding Journal, AWS, 69(9), 1990, 346s~361s
6. J. F. Lancaster : The Physics of Welding, Pergamon Press, England, 1984
7. M. Satou : Fundamentals of Welding, Arc Phenomenon, Journal of the Japan Welding Engineering Society, 45-9, 149-153. (in Japanese)
8. N. S. Tsai, : Heat Distribution and Weld Geometry in Arc Welding, Doctor of Philosophy, MIT, 1983
9. Sang-Myung Cho and Sang-Goun Seo : The Effect of Configuration and Surface Polishing in Tungsten Electrode Tip for Gas Tungsten Arc Welding on the Arc Characteristics, Journal of KWS, 19-1 (2001), 33-39 (in Korean)
10. Hyo-won Kim, Sang-Myung Cho : A Study on Back Bead Formation in Inclined-up Position of Plasma Arc Orbital Welding, Journal of KWJS, 27-1 (2009), 71-78 (in Korean)
11. Hyo-Sik Ham, Jong-Moon Ha, Sung-Bin Im, Dong-Soo Oh, Sang-Myung Cho : Measurement and Application of Arc pressure & Shield gas pressure effect on surface of weldpool in TIG welding, Abstracts of 2009 Spring Annual Meeting of KWJS, 51 (2009). 61-61 (in Korean)
12. Jong-Moon Ha, Hyo-Sik Ham, Sung-Bin Im, Dong-Soo Oh, Sang-Myung Cho : The Effect of Surface Shield Gas on Back Bead at Overhead and Vertical Up Position in TIG Welding, Abstracts of 2009 Spring Annual Meeting of KWJS, 52 (2009). Journal of KWJS, KWJS 2009-Autumn (2009). 23-23 (in Korean)