

분말 용가재판을 사용한 광폭 오버레이용 트윈토치 GMAW 공정개발

황규민* · 김성덕* · 정병호** · 조상명**

*부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

**부경대학교 신소재공학부

Development of GMAW Process with Twin Torch for Wide Overlay using Compound Filler Plate

Kyu-Min Hwang*, Sung-Deok Kim*, Byung-Ho Jung** and Sang-Myung Cho**

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

**Division of Materials Science & Engineering, Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

*Corresponding author ; pnwcho@pknu.ac.kr

(Received May 2, 2008 ; Revised June 23, 2008 ; Accepted July 11, 2008)

Abstract

Generally, wear plate is steel plate having improved surface contact strength and impact strength by surface hardening which is welded using materials with good corrosion resistance, wear resistance and thermal resistance property. CFP GMAW(Compound Filler Plate Gas Metal Arc Welding) is the cladding method using GMAW with the CFP, which is bound with waterglass, on the substrate. It has advantages of reducing compound powder loss, uniform penetration, and preventing hardness decrease. To develop mass production technique of CFP GMAW process for production of high quality wear plate, the method for controlling shallow penetration and increasing productivity is required. In this study, twin torch method applied to CFP GMAW process for increasing productivity. And the method was developed by controlling penetration control, CFP dry time, gas formation flux and water glass concentration. As a result, applying twin torch method to CFP GMAW process was possible and high quality wide bead could be made without overlap joint.

Key Words : CFP(Compound Filler Plate), Overlay, Cladding, Twin torch GMAW, Penetration control, Wide bead

1. 서 론

일반적으로 내마모판은 연성이 우수한 모재 위에 내식, 내마모성 또는 내열성이 우수한 재료를 용접하여 표면을 경화시켜 표면의 접촉강도와 충격강도를 개선시킨 강판재로서, 발전소나 시멘트, 제지, 화학산업 등의 호퍼, 덕트, 분쇄기 등 내열, 내마모성을 많이 요구하는 환경에 주로 사용된다¹⁾.

현재까지는 오버레이용 분말(Powder)을 송급하여 용접하는 CMAW(Compound Metal Arc Welding)

법이 주로 사용되고 있는데²⁾, 이 방법은 고가인 오버레이용 분말의 손실이 많고 용입 깊이가 깊어 회석에 의한 경도 감소 및 균열에 의한 제품의 파단이 생길 수 있다. 그러나 최근 개발된 CFP GMAW(Compound Filler Plate Gas Metal Arc Welding)법^{3,4)}은 기판(Substrate) 위에 물유리(Water glass)를 사용하여 결합시켜 제작한 CFP(Compound Filler Plate), 즉 내마모판을 놓고 GMAW(Gas Metal Arc Welding)법으로 클래딩(Cladding)하는 방법으로, 사용 컴파운드 분말(Compound powder)의 손실을 줄일 뿐 아니라 용입을 균일하고 얇게하여 회석에 의한 경도 감소를

줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 최근 개발된 CFP GMAW 법의 양산 기술 개발을 위해서는 이 방법의 단점으로 대두된 얇은 용입과 좁은 비드폭을 개선하는 비드형상 제어 기법의 생산성 향상 기술이 필수적이다. 일반적으로 CFP GMAW 법의 생산성 향상을 위한 기법으로는 대전류를 사용하여 고속용접을 하는 방법⁵⁾과 두 개의 전극을 사용하는 방법⁶⁾ 및 비드폭을 크게하여 패스(Pass) 수를 줄이는 방법 등이 있으며, 또 양호한 비드 제작을 위한 개선 방향으로 토치의 정속 운봉(Weaving)을 실시하여 용입 및 비드표면 형상을 균일하게 하고 패스 수를 줄여 비드 이음부를 최소화시키는 방법, 그리고 대전류를 사용하여 용입을 적정하게 유지하는 방법⁷⁾ 등 여러 가지를 고려할 수 있지만 어떤 공정이 실효적인지는 명확치 않다. 따라서 본 연구에서는 생산성을 향상시키기 위한 방법으로 두 개의 토치, 즉 CFP GMAW 법에 트윈토치(Twin torch)를 적용하여 비드 폭을 광폭으로 넓게하고 또 패스(Pass) 수를 줄일 수 있도록 두 개의 토치로 하나의 용융 풀(Molten pool)을 형성시켜⁸⁾ 비드 이음부가 없는 양호한 비드 외관을 가질 수 있는 공정 확립과 더불어 중요 단점으로 대두된 용입 깊이의 증가를 위한 공정을 동시에 개발하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 아크 전류를 증가시키는 용입 제어 기능의 적용 및 CFP의 건조 조건, 가스 생성 플럭스(flux)의 사용 및 몰유리 농도의 제어를 통한 용입 깊이의 제어 공정들을 개발하고자 하였으며, 또 Cu와 세라믹 댐(Dam)의 사용도 같이 적용시켜 용융 풀의 형상 제어를 통한 비드 사이드(Bead side)의 형상 개선과 스패터 부착이 없는 건전한 용접부가 형성될 수 있는 공정도 아울러 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 트윈토치 CFP GMAW 장치 및 광폭 오버레이부의 예비 제작

CFP GMAW법은 연강 기판 위에 Cr-C 계의 컴파운드 분말을 몰유리를 이용하여 판상으로 경화시켜 만든 CFP, 즉 분말 용가재판(Compound filler plate)을 올려놓고 GMAW법으로 오실레이션(Oscillation) 용접하여 육성시키는 방법⁹⁾이다. 그러므로 이러한 CFP GMAW법에 두 개의 토치를 사용하면 단위 시간 당 용착량이 두 배가 되어 광폭의 비드를 형성시킬 수 있을 뿐 아니라 자동용접 시 패스 수를 줄여 생산성을 증가시킬 수 있으며, 또 하나의 용융 풀을 형성시킬 수 있도록 두 개의 토치 간격을 잘 조절하여 용접을 실시하

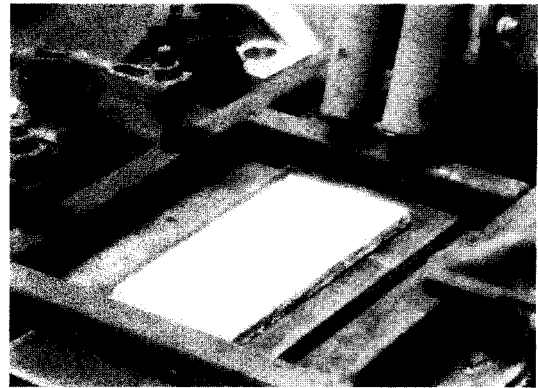


Fig. 1 CFP GMAW equipped with twin torch

면 비드 연결부가 없는 우수한 비드 외관을 얻을 수 있음이 예비 실험을 통하여 확인되었다. Fig. 1은 이러한 트윈토치 CFP GMAW법을 적용할 경우, 실 용접을 위한 준비 상태를 나타낸다.

Fig. 2에는 Single torch와 Twin torch CFP GMAW법을 각각 적용 시 예비 제작된 오버레이 용접부의 횡단면 매크로 사진과 비드 폭의 크기를 비교하여 나타내었다. 비드 폭은 Twin torch CFP의 경우가 약 80 mm로 Single torch를 사용한 경우에 비해 약 2배 정도 큰 광폭이 얻어짐이 확인되었으며, 이에 따라 용입 깊이를 제어할 수 있는 용접조건과 그 외의 조건들을 각각 설정하였다.

2.2 용접 조건

본 실험에 사용한 Inverter 500A 용접기는 용입 제어 기능을 보유하고 있다. 이것은 CTWD(Contact tip to workpiece distance)가 증가하여도 아크 전류가 저하되지 않게 제어하는 기능으로, 긴 CTWD에서 오히려 용입 깊이를 깊게 유지할 수 있는 특징을 가진다. 따라서 분말용가재판을 사용한 트윈토치 GMAW법에서 광폭 용접 비드 형성을 위하여 용접기가 보유한 용입 제어용 "On" 과 "Of" 기능을 사용, 용입 깊이의 증가 효

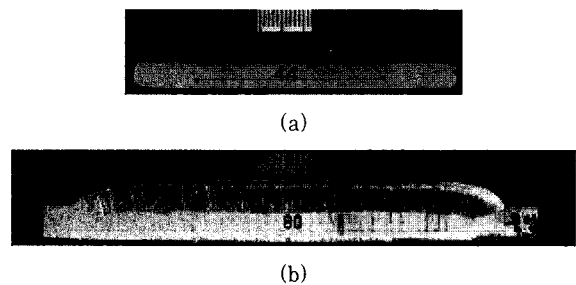


Fig. 2 Cross section features welded with single (a) and twin(b) torch CFP GMAW

Table 1 Welding condition for the penetration depth control

Power source	Inverter 500A welder
Substrate size(mm)	200 × 100 × 6t(SS 41)
CFP size(mm)	135 × 67 × 7t
Wire diameter	Φ 1.6(YGW 12)
Set current/Voltage	500A / 45V
Welding speed	20 cpm
CTWD/Torch distance	40 mm/35 mm
Oscillation width/Lead	35 mm/5 mm
Substrate cooling	Cu plate cooled by water
Shield gas(Flow rate)	CO ₂ 100%(20 l /min.)

과를 조사하고자 하였다. Table 1은 용입 깊이 제어를 위한 용접조건을 나타낸다.

2.3 CFP 건조시간 및 가스 생성 플럭스 첨가

Table 2는 가스 생성 플럭스가 첨가된 경우와 첨가되지 않은 경우에 CFP 건조시간에 따른 용입 깊이가 변화의 효과를 각각 조사하기 위한 조건이며, 건조 시간은 6시간까지 변화시켰다. 특히 가스 생성 플럭스는 SMAW 용접봉에 사용되는 가스 발생재와 같이 아크열에 의해 연소되면 차폐가스를 발생시키는 성분으로, 기존의 CMAW 법에 사용하는 것을 그대로 사용하였다.

2.4 물유리 농도 및 종류

Table 3은 용입 깊이에 미치는 물유리 종류 및 농도의 효과를 조사하기 위한 조건이다. 사용된 물유리는 주조 시 CO₂ 조형에서 사용하는 물유리(Type A)와 용접봉을 제작할 때 사용하는 물유리(Type B)의 2가지를 각각 사용하였으며, 물유리의 농도는 증류수를 사용하여 60~100% 까지 변화시켰다.

2.5 Cu 댄 및 세라믹 댄의 적용

Cu 댄 및 세라믹 댄은 CFP 양 측 옆에 설치하여 용

Table 2 Condition for the variation of CFP dry time

Gas formation flux	With				Without			
CFP dry time, day	0	2	4	6	0	2	4	6

Table 3 Variation of water glass concentration

Water glass type	Type A			Type B		
Concentration, Wt.%	100	80	60	100	80	60

접 시 비드 사이드의 형상을 개선하기 위한 것으로, 댄은 용융 풀이 밖으로 흐르지 않고 그대로 응고되어 비드 사이드 형상이 잘 이루어지도록 하는 역할을 한다. 본 실험에서 Cu 댄은 Cu bar를 150 × 25 × 25mm의 크기, 그리고 세라믹 댄은 용접용 Backing bar를 150 × 25 × 5mm의 크기로 가공하여 각각 사용하였다.

2.6 미세조직 관찰 및 경도 측정

오버레이층의 단면 미세조직은 연마 후 부식액(피크린산 1g + 염산 10~20ml + 에틸알콜 100ml)으로 약수 초간 에칭하고 SEM으로 관찰하였다. 그리고 오버레이층 단면의 경도는 마이크로 비커스 경도기로 모재 기지에서 연속 측정하였으며, 형성된 크롬 탄화물들의 확인은 전체 추출 후 CU-Kα를 이용하여 XRD 분석을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접부의 단면조직 및 경도 분포

Fig. 3은 트윈토치 CFP GMAW법으로 제작된 광폭 오버레이부의 횡단면 미세조직을 나타낸다. 오버레이층은 전형적인 아공정 응고조직을 보이고 있으며¹⁰⁾, 먼저 응고된 초정 수지상정 기지에 나중에 공정반응으로 생성된 그물망(Network) 모양의 공정탄화물의 혼합조직으로 구성되어 있다. 또한 오버레이층은 기지와 야금학적인 결합을 잘 이루고 있으며, 수지상정 형태로 응고가 처음 시작된 모재와의 계면에서 오버레이층 측으로 큰 과냉에 의해 형성된 평면 응고조직과 오버레이층의 중앙부와 표면 근방에 형성된 셀룰라 수지상정의 조직이 잘 나타나 있음을 알 수 있다. Fig. 4는 오버레이층의 생성 탄화물들¹¹⁾을 XRD로 분석한 결과인데, 생성 탄화물들은 주로 M₇C₃형의 (Cr,Fe)₇C₃ 탄화물임을 알

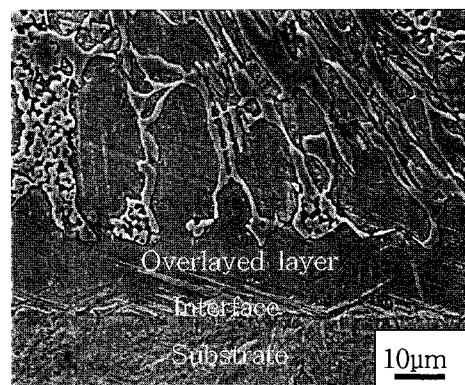


Fig. 3 Crosssection microstructure of the deposit welded with twin torch CFP GMAW

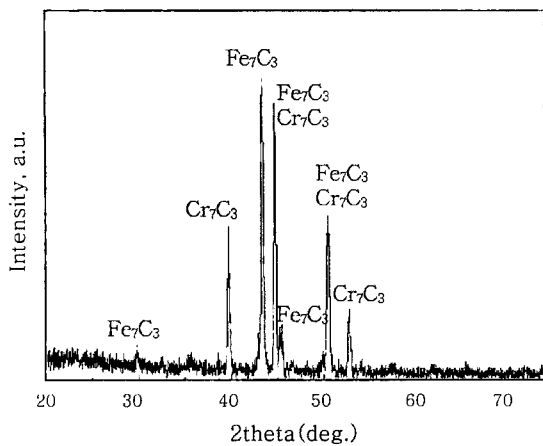


Fig. 4 XRD result of an overlaid deposit

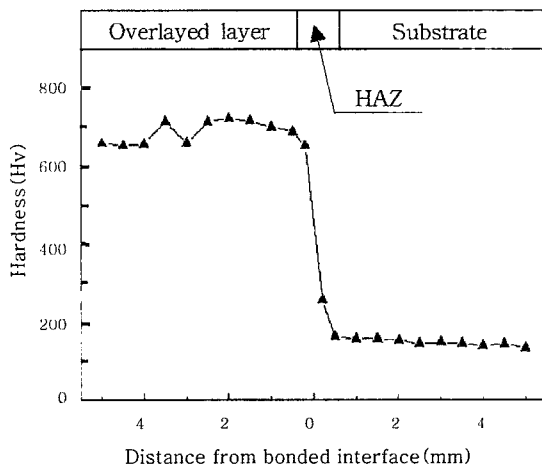


Fig. 5 Crosssection microhardness profile of the weldment

수 있다. Fig. 5는 오버레이부의 단면 경도 분포를 나타낸 것이다. 오버레이층의 평균 경도 값은 약 700 Hv로 균일한 경화층을 구성하고 있으며, 또 열영향부의 폭도 크지 않아 매우 건전한 용접 이음부를 이루고 있음을 알 수 있다.

3.2 용입제어에 의한 용입 깊이 증가 효과

용접기의 용입제어 기능은 이를 적용시켰을 경우, CTWD가 증가하여도 출력 전류를 유지하여 아크 발열량을 일정하게 해 주는 기능이다. Fig. 6은 설정 전류 500A, CTWD 35mm에서 용입제어 기능을 사용한 파형을 나타낸다. Fig. 6의 (a)는 용입제어를 적용하지 않은 경우로, 출력 전류가 442A로 많이 저하된 것을 보이고 있는 반면, (b)는 용입제어 기능을 적용시킨 경우로 출력 전류가 488A로 거의 저하되지 않고 와이어 송급 속도가 증가되었다고 볼 수 있다. 따라서 동일 설정 용

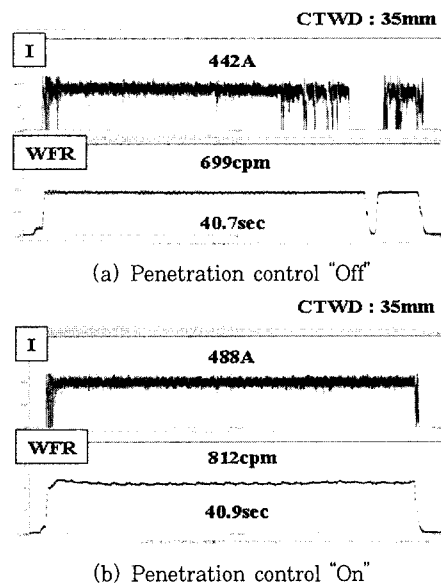


Fig. 6 The welding waveform with penetration control

접조건에서 훨씬 더 증가된 용입 깊이를 얻을 수 있었다. Fig. 7은 용입제어의 적용 여부에 따른 용접 비드의 매크로 횡단면을 나타낸 것이며, Fig. 8은 이 때의 용입 깊이와 비드 높이를 CAD digitizing 방법을 사용하여 3mm 간격으로 측정된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 8에서와 같이 용입제어 기능을 적용하였을 때의

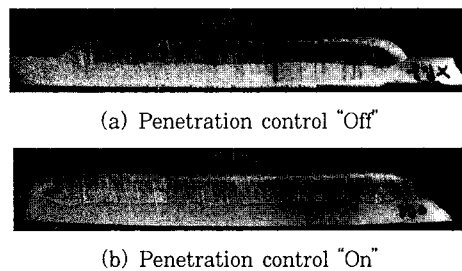


Fig. 7 Cross section features by penetration control

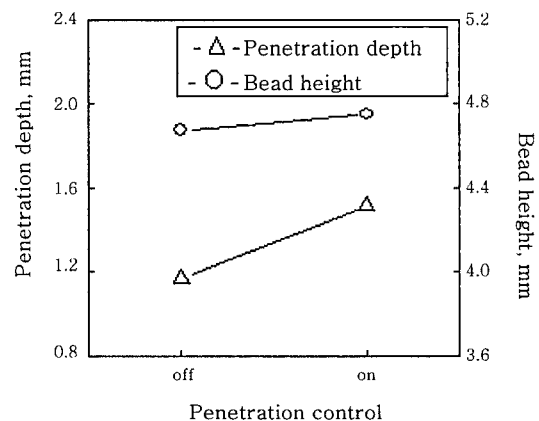


Fig. 8 The effect of penetration control on and off on penetration depth and bead height

용입 깊이는 약 0.34mm 정도 더 증가함을 알 수 있으며, 이 때 비드 높이의 증가는 약 0.08mm 정도로 매우 적게 나타났다.

3.3 CFP 건조시간 및 가스 생성 플럭스의 첨가에 의한 용입 깊이의 증가 효과

Fig. 9는 CFP 건조시간 및 가스 생성 플럭스의 첨가 유무에 따른 용입 깊이의 변화를 나타낸다. Fig. 9에서와 같이 CFP의 건조시간이 길수록 용입 깊이는 대체적으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 플럭스가 첨가된 경우가 첨가되지 않은 경우에 비해 용입 깊이가 더 큰 것을 알 수 있다. CFP의 건조시간이 길수록 용입 깊이가 감소되는 것은 CFP의 건조시간이 길수록 아크 전방의 CFP의 용융이 미리 일어나 CFP의 형상이 완만해지기 때문이다. Fig. 11은 Fig. 10의 CFP 건조시간에 따른 용입 형성 기구를 나타내며, 이것은 다음과 같이 설명된다.

즉, Fig. 11의 (a)는 CFP 건조시간이 긴 경우로, CFP의 충분한 건조에 따라 아크가 CFP에 닿기 전에 미리 용융되어 아크 직하에 깔리게 되므로 아크력이 직접 모재 기판에 작용하지 않게 된다. 따라서 용입이 얇게 유지되는 경우가 된다. 반면 Fig. 11의 (b)는

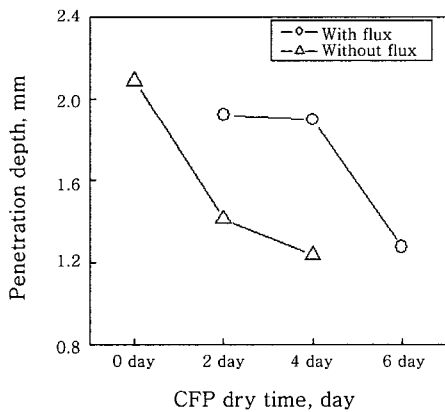


Fig. 9 Variation of penetration depth with the CFP dry time and gas formation flux

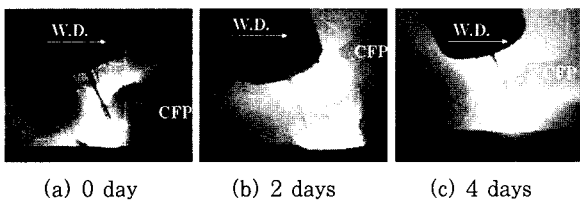


Fig. 10 Observation of penetration formation with the CFP dry time

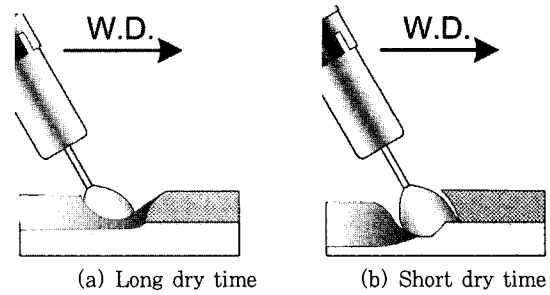


Fig. 11 The mechanism modeling of penetration formation with the CFP dry time

CFP 건조시간이 짧은 경우로, CFP 내부의 잔류 수분에 의해 아크가 CFP에 직접 닿기 전에는 CFP의 용융이 충분히 일어나지 않는다. 따라서 아크 직하에 용융 풀이 충분히 형성되지 않아 모재 기판에 직접 아크력이 작용하게 되고 이로 인해 용입 깊이가 더 증가된다는 기구이다.

3.4 물유리 농도 및 종류에 의한 용입 깊이의 증가 효과

Fig. 12는 분말용가재판 제작 시 사용된 물유리 농도 및 물유리 종류에 따른 용입 깊이의 변화를 나타낸다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 물유리 농도가 낮을수록 용입 깊이가 증가됨을 알 수 있다. 이것은 물유리의 농도가 낮아질수록 건조 후의 CFP는 결합력이 작고 공극이 많아 CFP의 용융이 잘 되기 때문으로 생각된다. 특히 주물사의 결합제로 사용되는 Type A의 물유리는 용접 시 저항체로 작용하고, 또 고융점의 물유리 불을 형성하여 아크의 불안정 및 용입 깊이를 감소시킬 뿐 아니라 비드 외관도 Type B에 비해 좋지 않게 나타났다.

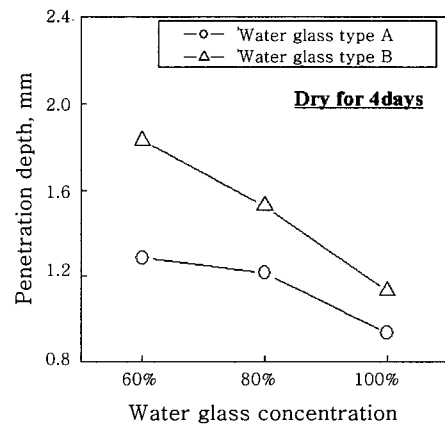
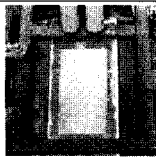
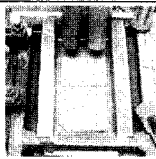
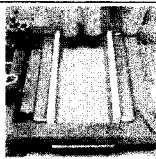

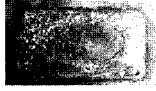
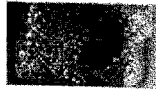







Fig. 12 The effect of water glass concentration and water glass type on penetration depth

Table 4 Experimental results of applications using Cu dam and ceramic dam

	No dam	Cu dam	Ceramic dam
Setting			
Bead surface			
Cross section			
Dam after welding	N/A		

3.5 비드 형상 개선을 위한 Cu 댐 및 세라믹 댐 사용 효과

Table 4는 Cu 댐 및 세라믹 댐을 설치하였을 때의 모양과 비드 표면 및 비드 횡단면을 같이 나타내었다. 댐을 사용한 두 경우, 모두 댐의 형상에 따라 비드 사이드 형상이 개선되었고, 또 모재 기판 위에 스패터도 부착되지 않았다. 이와 같이 댐의 사용은 분말 용가재판을 사용할 때, 광폭 오버레이를 위한 트윈토치 GMAW 공정에서 매우 효과적인 공정으로 확인되었다.

4. 결 론

분말 용가재판을 사용 시 광폭 오버레이를 위한 트윈토치 GMAW 공정개발에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

- 1) CFP GMAW 공정에 트윈토치를 적용하는 공정이 개발되었으며, 이 공정을 적용한 결과, 오버레이부는 비드 연결부가 없고 또 모재 기판과 야금학적 결합을 잘 이루는 고품질의 광폭 비드 제작이 이루어졌다.
- 2) Inverter 500A 용접기에서 용접제어 기능을 사용 시 동일 용접 조건에서도 용입 깊이가 약 0.34mm 증가 하였다. 그러나 비드 높이의 증가는 매우 작았다.
- 3) CFP 건조시간이 짧을수록 아크가 모재에 직접 작용하여 용입 깊이가 더 깊어졌으며, 또 플럭스가 첨가된 CFP의 경우가 더 깊은 용입을 나타내었다.
- 4) 분말용가재판 제작 시 물유리의 농도가 낮을수록 용입 깊이는 증가하였다.

5) Cu 댐 및 세라믹 댐을 CFP GMAW 공정에 같이 적용하여 용접한 경우, 비드 사이드 형상이 댐의 형상과 같이 유지되었으며 또 모재 기판 위에 스패터의 부착도 없었다.

참 고 문 헌

1. E.R.Baek, S.H.Ahn, J.K.Kim : Welding characteristics of the hardfacing high chromium iron alloys by the self-shielded flux cored arc welding process, Proceedings of the 1992 Spring Annual Meeting of Korean Welding and Joining Society, 1 (1992), 69-71 (in Korean)
2. J.I.Kang : Development of Twin torch Compound Metal Arc Welding process for forming wide hardfacing bead of wear plate, Proceedings of the 2007 Autumn Annual Meeting of Korean Welding and Joining Society, 48 (2007), 91-93 (in Korean)
3. S.S.Kang : Development of GMAW process with twin torch for wide hardfacing using compound filler plate, Proceedings of the 2007 Autumn Annual Meeting of Korean Welding and Joining Society, 48 (2007), 70-72 (in Korean)
4. S.J.Lee : Method of Making Wear Resistant Welding Clad Plate, The Korean Intellectual Property Office, 10-2007-0002454 (2007)
5. H.S.Ryoo : Study of Waveform Control in the High Speed CO₂ Welding, Proceedings of the 2004 Spring Annual Meeting of Korean Welding and Joining Society, 1 (2004), 57-59 (in Korean)
6. R.S.Chandel : Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds, Journal of Materials Processing Technology, 72 (1997), 124-128
7. C.S.Ko : The effect of heat input at turning point on penetration in the wide oscillation overlay welding, Proceedings of the 2006 Autumn Annual Meeting of Korean Welding and Joining Society, 47 (2006), 265-267 (in Korean)
8. T.W.Jang : High Speed Welding Present and Future in Shipbuilding Assembly Stage, Journal of KWS, 22-6 (2004), 14-18 (in Korean)
9. Chieh Fan : Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys, Surface & Coatings Technology, (2006), 577-580
10. B.H.Jung : The Effect of Current on Characteristic of Stellite 12 Alloy Overlay by PTA Process, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 5-3 (2001), 88-94.
11. 대한용접학회편 : 용접. 접합편람, 대한용접학회, 1998, 717-742 (in Korean)