

하드페이싱 오버레이용접 비드형상에 미치는 GMA 용접조건의 영향

한규호* · 김준기* · 김철희* · 김정환* · 남시환** · 전치중***

*한국생산기술연구원 정밀접합팀

**피케이밸브(주) 기술연구소

***(주)에이엠티기술

Effects of GMA Welding Conditions on the Bead Shape of Hardfacing Overlay Welding

Kyu-Ho Han, Jun-Ki Kim*, Cheol-Hee Kim*, Jeong-Han Kim*, Sec-Hwan Nam**
and Chi-Jung Jeon***

*Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 406-840, Korea

**PK Valve, Changwon, Kyungnam, 641-370, Korea

***AMT Tech, Bucheon, Kyunggi, 420-808, Korea

Abstract

The relationship between GMA welding conditions and the bead shape of overlay weld was studied by using $\Phi 1.6\text{mm}$ hypo-eutectic metal-cored wire designed for hardfacing against the severe metal-to-metal wear. As the welding voltage increased, the dilution also increased but the sudden drop of dilution was observed at 30~33V. It was considered to be due to the decrease of penetration resulting from the change of transfer mode, from short circuit to spray. It was also found that the behavior of penetration with welding current was dependant on the transfer mode. The short circuit mode exerted the penetration to decrease while the spray mode did it to increase with increase of welding current. The former was considered to be responsible for the remarkable decrease in dilution at low welding voltage region. The change of transfer mode also had an effect on the behavior of bead width with welding current but it did not on the bead spreadability defined as W/H ratio. It was considered that the optimal welding conditions for multi-pass overlay welding could be obtained from the bead spreadability suitable for bead lapping and the dilution as low as possible in the spray transfer mode.

*Corresponding author : jkim@kitech.re.kr

(Received July 4, 2007)

Key Words : Hardfacing, Overlay welding, GMAW, Metal-cored wire, Weld bead, Dilution, Bead spreadability

1. 서 론

하드페이싱이란 부품의 마모를 방지하기 위해 부품표면에 경도가 높고 내마모성이 우수한 재료를 용접 또는 용사 공정을 통해 입히는 것을 말한다¹⁾. 하드페이싱은 용접·용사공정을 사용한다는 점에서 열처리나 침탄, 질화 등의 표면처리와 구분된다. 또한 동일한 용접·용사공정을 사용하더라도 적용목적이 내마모성 향상이라는 점에서 클래딩(내식성 향상), 빌드업(치수회복), 버

터링(크랙방지) 등과 구분된다.

중소형 부품의 하드페이싱에 사용되는 오버레이용접 공정으로는 피복아크용접과 가스텅스텐아크용접(GTAW)이 일반적이며 최근에는 가스메탈아크용접(GMAW)의 비중이 증가하고 있다^{2,3)}. 용접와이어를 용가재로 사용하는 GMA 용접은 용접봉을 사용하는 피복아크용접이나 GTA 용접에 비해 용착률이 2배 정도 높으며 자동화가 가능하다는 장점이 있으나 희석률이 10~40%로 다른 용접공정에 비해 과도할 수 있어 주의가 필요하다.

희석률은 모재 및 용가재의 합금조성과 함께 오버레

이용접부의 합금조성 및 미세조직을 결정하는 인자로 알려져 있다⁴⁾. 하드페이징용 합금조성은 대부분 모재보다 합금원소 함량이 높기 때문에 희석률이 증가할수록 오버레이용접부 내마모성은 저하된다. 접합부의 신뢰성을 위해 10% 정도의 희석률은 필요하지만 희석률이 과도한 경우에는 원하는 내마모 성능을 위해 다층용접을 적용해야 하므로 높은 희석률은 용접비용을 증가시키는 원인이 된다³⁾.

GMA 오버레이용접에서 희석률을 최적화하는 방법으로는 먼저 용접 공정조건을 통한 비드형상 제어를 고려해 볼 수 있다. Murugan 등⁵⁾에 의하면 스테인리스강의 클래딩을 위한 GMA 오버레이용접에서 희석률은 용접전압과 와이어 송급속도 증가에 따라 증가하고, 콘택트 팁-모재간 거리 증가에 따라 감소하며, 용접속도와는 무관한 것으로 보고되어 있다. 또한 Kim 등⁶⁻⁸⁾은 용접전류, 용접전압, 용접속도를 입력변수로 하여 일반 구조용 강 GMA 용접비드 형상을 예측하는 신경회로망 모델을 제시한 바 있다.

한편 효율적인 GMA 오버레이용접을 위해서는 희석률 이외에도 비드의 퍼짐성(spreadability), 스패터 등이 고려될 필요가 있다. 퍼짐성이 부족하면 비드가 좁고 뽀족하여 용융불량이 일어나기 쉬우며⁸⁾, 체적 대비 접합부 면적이 감소됨에 따라 응력집중이 가중되어 접합면에서의 크랙 발생이 심화된다. 또한 스패터는 용가재의 손실을 초래하고 용접부 외관을 악화시키는 요인이다.

본 연구에서는 고성능 벨브의 시트, 디스크와 같이 육성층이 얇으면서도 우수한 내마모성이 요구되는 하드페이징 용접공정을 최적화하기 위해 금속간 마모 하드페이징용 메탈코어드 와이어를 사용하여 GMA 용접의 용접전압 및 용접전류 조건이 희석률, 퍼짐성, 스패터 등의 비드형상 및 용접특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시험재료 및 용접조건

용가재로는 금속간 마모용 무크랙 하드페이징을 위해 Fe - 20Cr - 1.7C - 1.1Si 아공정 합금조성으로 제조된 Φ 1.6mm 메탈코어드 용접와이어를 사용하였다. 와이어 코어의 합금분말 충전률은 38wt.%였으며 다른 용접플럭스 성분은 첨가되지 않았다. 모재로는 면적 40×160mm, 두께 40mm 치수의 304 스테인리스강을 사용하였다.

GMA 오버레이용접은 600A급 SCR 용접기를 사용하여 용접전압 24V~36V, 용접전류 240A~360A 범

위에 대해 비드용접(bead on plate)을 수행하였다. 콘택트 팁 - 모재간 거리(CTWD)는 25mm, 보호가스는 순수 Ar을 사용하고 유량을 20 l/min, 용접속도는 250mm/min로 고정하였으며 30초 동안 용접을 수행하여 길이 125mm의 비드를 형성하였다.

2.2 비드형상 측정

오버레이용접부 중간지점을 절단하여 매크로 에칭한 용접부 단면을 디지털 영상장치로 관찰하여 Fig. 1에 나타낸 비드폭(W), 비드높이(H), 용입(P), 모재용융부 면적(A_p), 육성부 면적(A_r) 등을 측정하였으며 식 (1)과 (2)를 이용하여 희석률(D)과 비드퍼짐성(S)을 계산하였다. 이들 비드형상과 용접조건과의 연관성은 통계프로그램을 이용하여 분석하였다.

$$\text{희석률, } D = \frac{A_p}{(A_r + A_p)} \quad (1)$$

$$\text{비드퍼짐성, } S = \frac{W}{H} \quad (2)$$

2.3 용적이행모드 및 스패터 측정

비드형상과 용접조건과의 연관성을 조사하기 위해 용접중 용접전류 및 용접전압 파형을 측정하여 용적이행모드를 분석하였다. 또한 최적의 GMA 용접조건 도출을 위해 스패터 포집장치를 이용하여 스패터 발생량도 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 희석률

용접전압과 용접전류에 따른 GMA 용접비드의 단면사진을 Fig. 2에 나타내었다. 이들 단면사진으로부터 측정된 비드폭, 비드높이, 용입, 용융부 및 육성부 면적 등의 비드형상 데이터와 용접전압 및 용접전류와의 상관관계를 통계적으로 분석한 결과, 용접전류는 주로 비드높이와 용입에 영향을 미치고, 용접전압은 주로 비드폭과 비드높이에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이리

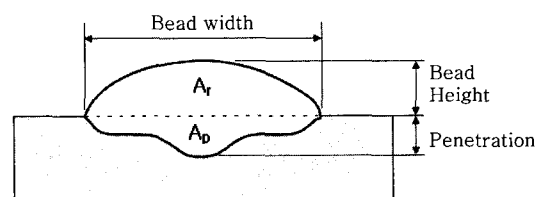


Fig. 1 Weld bead geometry

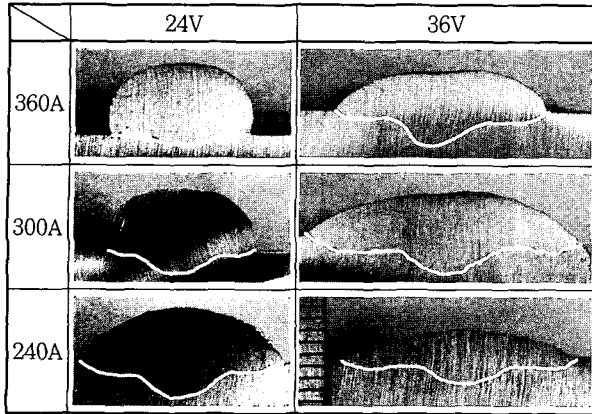


Fig. 2 Cross sections of weld beads.

한 경향은 Murugan 등⁵⁾에 의해 보고된 스테인리스강 오버레이용접의 경우와 일치하는 결과이다.

용접전류와 용접전압에 따른 희석률의 등고선도를 Fig. 3에 나타내었다. 저전압·고전류 영역에서 희석률이 최소가 되는 반면에 희석률이 최대가 되는 영역은 불분명한 것을 알 수 있다. 용접전압과 용접전류 각각에 대한 희석률의 변화를 나타낸 Fig. 4와 Fig. 5에서 보면, 용접전압이 증가함에 따라 희석률은 증가하지만 360A의 경우를 제외하고는 30~33V 부근에서 희석률

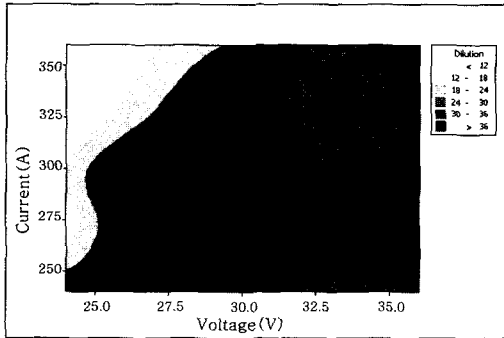


Fig. 3 Contour plot of dilution as a function of welding voltage and current

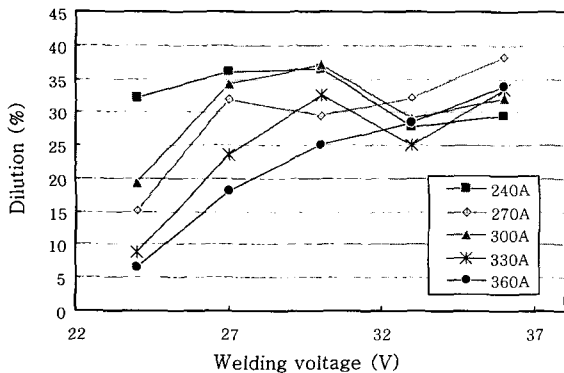


Fig. 4 Variation of dilution as a function of welding voltage

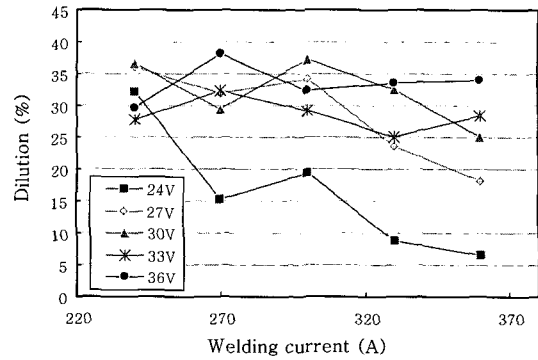


Fig. 5 Variation of dilution as a function of welding current

이 갑자기 감소하는 현상을 볼 수 있다. 또한 용접전류가 증가함에 따라 희석률은 감소하는데 용접전압이 높을수록 감소폭이 작아지며 33V 이상에서는 용접전류 증가에 따른 희석률 감소효과가 뚜렷하지 않음을 알 수 있다.

희석률의 변화거동을 조사하기 위해 용접중 전류·전압 파형을 측정하여 용적이행모드를 관찰하였다. Fig. 6에 나타낸 300A에 대한 용접전압별 전류·전압 파형을 보면, 용접전압이 24V와 27V일 때에는 단락이행 파형, 33V와 36V에서는 스프레이 이행 파형이 관찰되며 30V에서는 이들 이행모드 간의 천이 파형을 볼 수 있다. 용접전류와 용접전압에 따른 용적이행모드를 나타낸 Fig. 7에서 보면 용적이행모드는 Ahn의 연구결과⁹⁾와 같이 주로 용접전압에 의존하는 것으로 나타났다. Fig. 7의 용적이행모드와 Fig. 4의 희석률을 비교해 보면 천이구간을 지나 완전한 스프레이 이행이 나타나는 시점과 희석률이 감소되는 시점이 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8에 나타낸 용접전압에 따른 용입깊이 그래프에서도 이러한 용적이행모드 천이에 따른 변화가 관찰되고 있다. 즉, 용접전압 증가에 따라 용입깊이는 증가하지만 스프레이 이행모드로 천이되는 지점에서는 용입이 갑자기 감소하는 현상을 볼 수 있다. 이들 결과로부터 Fig. 4의 용접전압 증가시 희석률의 갑작스런 감소는 일정 용접전류에서 용적이행모드의 천이에 따른 용입깊이의 감소에 기인한 것으로 생각된다.

한편 Fig. 5의 용접전류에 따른 희석률에 있어서 단락이행모드인 24V와 27V의 경우 용접전류 증가에 따른 희석률의 감소가 현저한 것을 볼 수 있다. 이는 용접전류 증가에 따라 와이어 송급속도는 증가하는 반면에¹⁾ 용입깊이는 Fig. 9와 같이 감소되었기 때문으로 생각된다. 용접전류 증가에 따라 용입이 감소되었다는

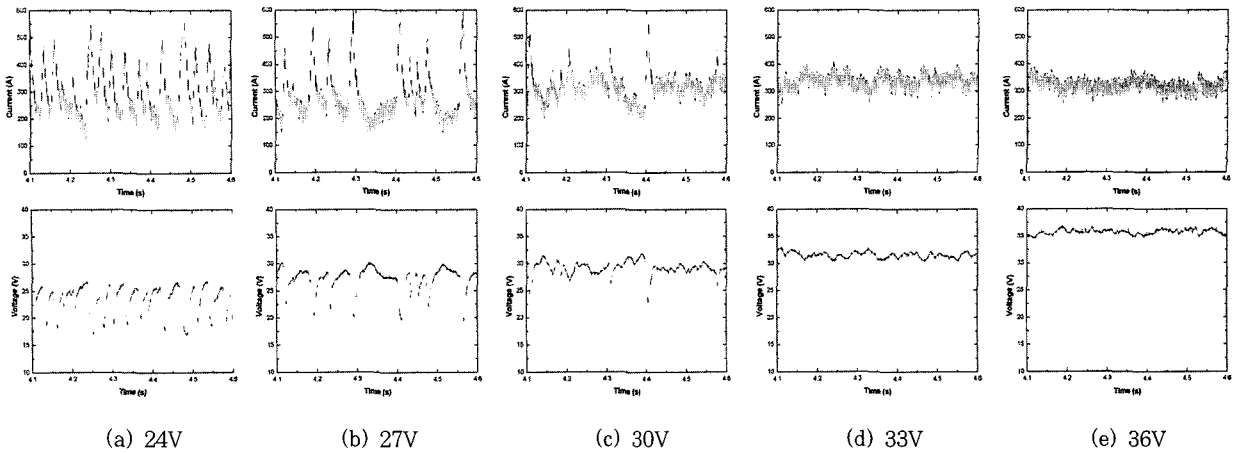


Fig. 6 Current and voltage waveforms measured during welding at 300A, 24~36V conditions

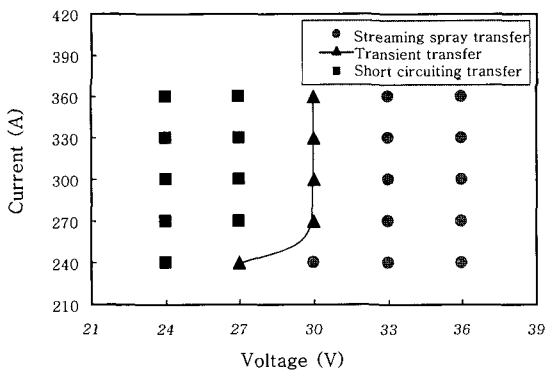


Fig. 7 Droplet transfer modes as a function of welding voltage and current

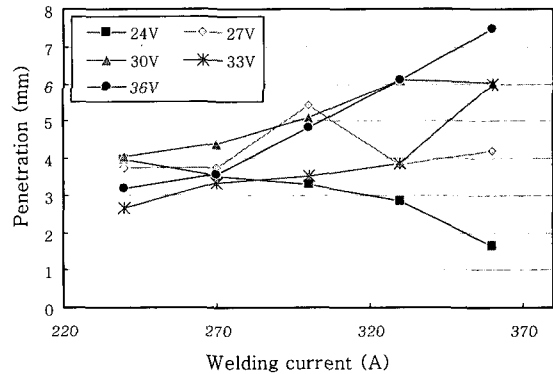


Fig. 9 Variation of penetration as a function of welding current

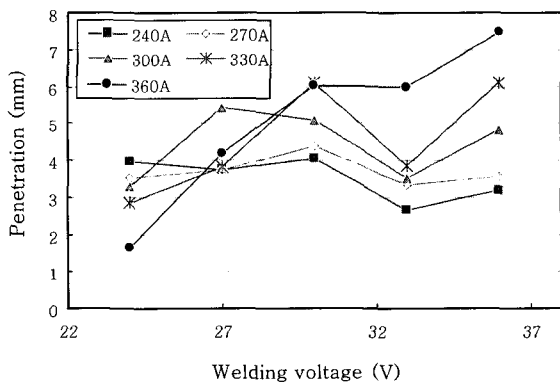


Fig. 8 Variation of penetration as a function of welding voltage

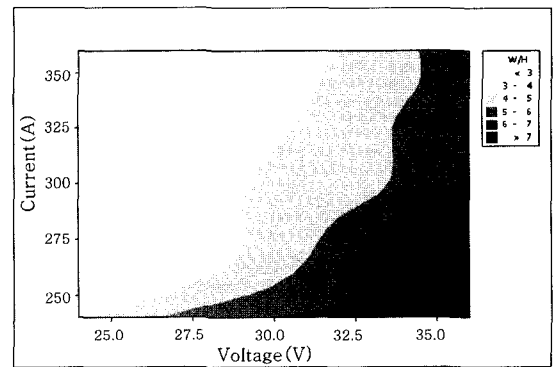


Fig. 10 Contour plot of W/H ratio as a function of welding voltage and current

것은 단락이행모드의 경우 송급이 빨라진 와이어를 용융시키기 위해 모재의 용융이 감소되었음을 의미한다. 반면 스프레이 이행모드에서는 용접전류 증가에 따라 용입이 증가하였으며 이로 인해 Fig. 5에서 용접전류가 증가하여도 희석률에는 별다른 변화가 없었던 것으로 생각된다.

3.2 비드퍼짐성 (W/H 비)

비드폭(W)에 대한 비드높이(H), W/H 비로 정의한 비드퍼짐성은 특히 멀티패스 용접에 있어서 중요한 인자이다⁴⁾. 용접전압과 용접전류에 따른 비드퍼짐성의 등고선도를 Fig. 10에 나타내었다. 용접전압이 높을수록, 용접전류가 낮을수록 비드퍼짐성이 증가하는 것을 볼

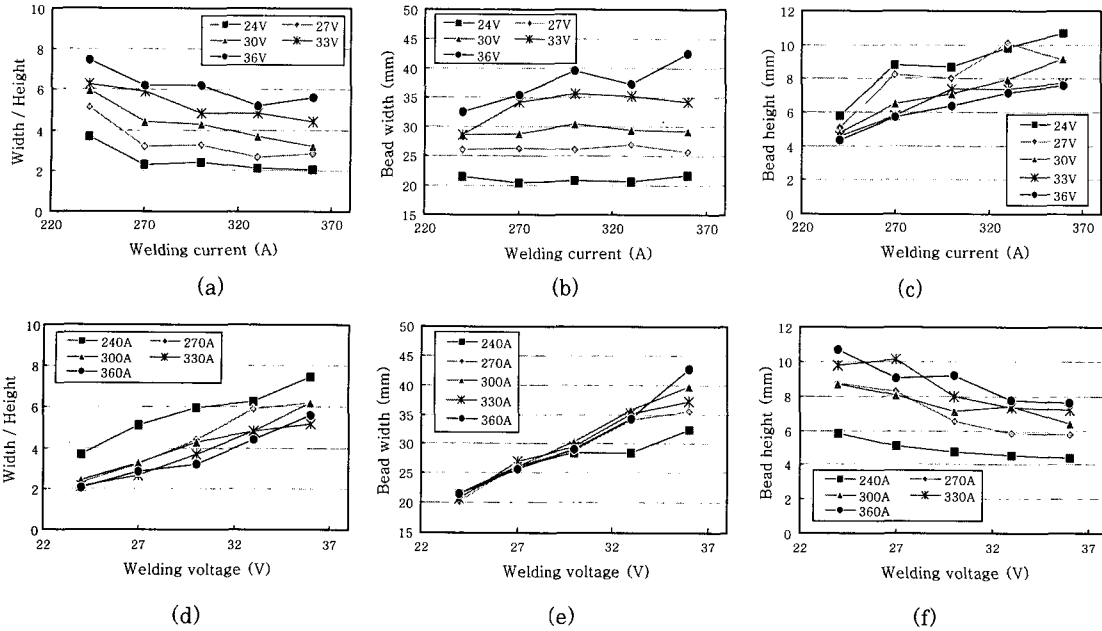


Fig. 11 Variations of W/H ratio, bead width and bead height as a function of welding current and voltage.

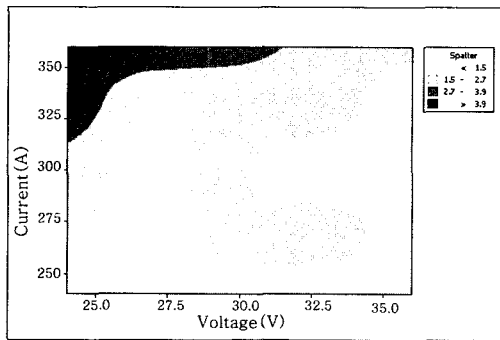


Fig. 12 Contour plot of spatter as a function of welding voltage and current

수 있다. 용접전류와 용접전압 각각에 대한 비드퍼짐성, 비드폭, 비드높이를 나타낸 Fig. 11에서 보면 비드퍼짐성은 용접전류보다 용접전압에 의존하는 것을 알 수 있다.

용접전압의 증가에 따라 비드폭은 증가하지만 비드높이는 감소하고, 용접전류의 증가에 따라 비드높이는 증가하지만 비드폭은 일정하게 유지되는 거동은 Murugan 등⁵⁾의 보고와 일치하는 결과이다. 다만 Fig. 11(b)에서 스프레이 이행이 나타나는 33V와 36V의 경우 용접전류 증가에 따라 비드폭이 증가하는 현상이 관찰되기는 했으나 Fig. 11(d)에 나타난 용접전압에 따른 비드퍼짐성을 보면 용적이행모드의 천이는 비드퍼짐성에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

하드페이징 오버레이용접의 적정 희석률은 10~15%로 알려져 있다¹⁰⁾. Fig. 3의 용접전류·전압에 따른

희석률에서 저전압·고전류 용접조건이 이에 해당되지만 Fig. 10의 용접조건에 따른 비드퍼짐성을 고려하면 희석률은 낮더라도 비드퍼짐성이 부족하기 때문에 적절한 용접조건이 되기 어렵다. 한편 멀티패스 오버레이용접에서는 비드 오버래핑에 의해 희석률이 감소되는 효과가 있어 W/H 비가 약 3~5이고 희석률이 약 30%인 경우 패스간 간격을 조절함으로써 희석률을 10% 정도로 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 이러한 멀티패스 오버레이용접을 고려한다면 적절한 비드퍼짐성을 가지면서 용적이행모드의 천이로 인해 가능한 낮은 희석률을 보이는 30V-270A 또는 33V-300A가 적정 용접조건이 될 것으로 생각된다.

3.3 스패터

GMA 오버레이용접에서 아크안정성을 판단할 수 있는 스패터 발생량을 측정하여 Fig. 12에 나타내었다. 희석률이 최소인 고전류·저전압 영역에서는 불안정한 단라이행으로 인해 스패터 발생량이 많은 것을 볼 수 있다. 반면 비드퍼짐성과 희석률 측면에서 적정 영역으로 판단된 30V-270A 및 33V-300A 부근 용접조건에서는 스프레이 이행에 따라 스패터 발생량이 적은 우수한 아크안정성을 보이는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

금속간 마모 하드페이징용 $\Phi 1.6\text{mm}$ 메탈코어드 용접와이어와 두께 40mm의 304 스테인리스강 모재를

이용한 GMA 비드용접을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 용접전압이 증가함에 따라 희석률이 증가하다가 30~33V 부근에서 감소하는 현상이 관찰되었는데 이는 일정 용접전류에서 용적이행모드가 단락이행에서 스프레이 이행으로 천이되면서 용입깊이가 감소된 데에 기인하는 것으로 생각된다.

2) 용접전류 증가에 따른 희석률의 감소는 저전압에서 현저하게 관찰되었는데 이는 스프레이 이행의 경우 용접전류 증가에 따라 용입이 증가되는 반면에 단락이행의 경우에는 용접전류 증가에 따라 용입이 감소하기 때문으로 생각된다.

3) 단락이행에서는 용접전류가 증가해도 비드폭이 일정한 반면에 스프레이 이행에서는 용접전류 증가에 따라 비드폭이 증가하는 현상이 관찰되었으나 W/H 비로 정의된 비드퍼짐성은 이러한 용적이행모드의 천이에 의해 별다른 영향을 받지 않는 것으로 보아 적절한 비드퍼짐성 및 가능한 적은 희석률과 스패터가 요구되는 오버레이용접을 위해서는 스프레이 이행영역의 용접조건이 적합할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원 과제를 통해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. ASM International: ASM Handbook Vol. 6, (1993), 789
2. The Korean Welding Society: 용접집합편람, (1998), 717 (in Korean)
3. R. Menon: Recent advances in cored wires for hardfacing, Welding J., Nov (2002), 53-58
4. J. A. Francis, B. Bednarz, and J. V. Bee: Prediction of steady state dilution of in multipass hardfacing overlays deposited by self shielded flux cored arc welding, Science and Technology of Welding and Joining, 7-2 (2002), 95-101
5. N. Murugan and R. S. Parmar: Effects of MIG process parameters on the geometry of the bead in the automatic surfacing of stainless steel, J. of Materials Processing Technology, 41 (1994), 381-398
6. Ill-Soo Kim, Joon-Sik Son, Chang-Eun Park, In-Ju Kim, and H. H. Kim: An investigation into an intelligent system for predicting bead geometry in GMA welding process, J. of Materials Processing Technology, 159 (2005), 113-118
7. Joon-Sik Son, Ill-Soo Kim, Chang-Eun Park, In-Ju Kim and Ho-Seong Jeong: Development of experimental model for bead profile prediction in GMA welding, Journal of KWS, 23-4 (2005), 41-47 (in Korean)
8. Myun-Hee Kim, Jonn-Young Bae and Sang-Ryong Lee: Development of inference algorithm for bead geometry in GMAW, J. of Korean Society of Precision Engineering, 19-4 (2002), 132-139 (in Korean)
9. Y. H. An, J. B. Lee and D. S. Um: Effect of various factors on droplet transfer phenomena in GMA welding, Journal of KWS, 16-1 (1998), 17-24 (in Korean)
10. G. S. Kim: Weld hardfacing technology, Journal of KWS, 17-5 (1999), 36-39 (in Korean)