

GMAW의 단락 이행 모드의 스패터 및 대립 스패터 모니터링에 관한 연구

A Study on spatter and big spatter monitoring for short circuit metal transfer in GMAW

강성구* 나석주*

* 한국과학기술원, 기계공학과

1. 서론

최근 들어 용접의 반자동화, 자동화 및 로봇 기술 개발에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. GMA용접은 용접봉의 교체 없이 지속적인 용접 작업이 가능하고 단위 시간당 높은 생산성과 슬래그(slag)가 적게 발생하는 등의 많은 장점을 가지고 있어서 산업현장에서 그 사용 정도가 증가하는 추세이다. 이런 장점과 함께 GMA 용접은 스패터(spatter)와 용접 흠(welding fume) 발생 같은 문제가 있다. 용접 조건, 용접봉 재료와 용접기 전원 장치측면에서 스패터를 줄이기 위한 많은 연구가 수행되고 있다.

Ito는 펄스 CO₂ 아크 용접에서 스패터 감소를 위한 연구를 수행하였고¹⁾, Mita와 Maruyama는 고속 제어 능력을 가진 인버터 용접기를 스패터 감소를 위하여 사용하였다.^{2,3)} Yamamoto는 인버터 제어 펄스 MAG용접기를 사용하여 스패터 감소 방법을 개발하였다.⁴⁾ Suga와 Mita는 용접재료 관점에서 스패터를 줄이기 위한 연구를 수행하였다.^{5,6)} 단락 이행 모드에서 스패터 발생 현상과 메카니즘을 관찰하기 위한 연구도 수행되었다.⁷⁾ 본 연구와 관련하여 강성구 등은 용접 전류 및 아크 전압 파형 파라미터를 선택하여 스패터 발생량과의 상관관계를 분석하였고, 아크 안정성 판별 인덱스를 제시하였다.⁸⁾ 강문진 등은 CO₂ 용접에서 용접 전류 및 아크 전압에서 많은 파라미터를 선택하여 스패터 발생량과의 상관관계를 분석하였고, 이를 이용한 선형, 비선형 아크 안정성 판별 인덱스를 제시하였다.⁹⁾

본 연구에서는 선행된 스패터 관련 연구에 기초하여 스패터 발생에 영향을 주는 용접 파형 파라미터를 선택하고, 스패터 발생과의 상관관계를 연구하였다. 용접 스패터중 실질적인 문제가 되는 대립 스패터에 대한 정의를 내리고 용접 파형 파라미터와의 상관관계를 연구하였다. 스패터 발생 메카니즘과 대립 스패터 발생 메카니즘을 연구하였고 차이가 있음을 알게 되었다. 스패터 발생량과 대립 스패터 발생량을 예측할 수 있도록 하기 위해서 인덱스와 신경회로망을 개발하였다.

2. 용접 실험

본 연구에서 사용된 실험 장치는 3부분 - 용접기, XYZ 테이블과 컴퓨터 - 로 이루어져 있다. 용접 실험은 12mm 두께의 시편에 아래보기 용접으로 수행되었다. 1.2mm 용접 와이어를 15mm stick-out 길이로 사용하였고, 보호가스로는 Ar 80% 와 CO₂ 20%를 20l/min으로 사용하였다. 용접 속도는 360mm/min이다. 용접 전류의 범위는 150A에서 250A이고, 아크 전압의 범위는 20V에서 32V로서 단락 이행모드가 일어나는 부분이 모두 포함되도록 용접 실험이 수행되도록 하였다. 용접 실험은 용접 전류를 고정시키고 아크 전압을 변화 시켜 가면서 수행하였다. 황동으로 된 포집기를 이용하여 310mm의 비드(bead)가 형성되는 동안의 스패터를 포집하였는데, 용접 시작 시와 용접이 끝날 순간의 불안정한 부분의 스패터는 포집되지 않도록 하였다. 1.18mm, 0.85mm 와 0.50mm의 체(mesh)를 이용하여 스패터를 크기별로 분류하였다. 용접 전류는 홀 센서(hall sensor)를 사용하여 측정하였고, 아크 전압은 용접기 단자에서 측정하였다. 샘플링 주파수(sampling frequency)는 10kHz로서 데이터는 0.8sec동안 측정하여 데이터로 사용하였다.

3. 파라미터 선택

용접봉과 모재가 접촉하여 단락이 생성이 될 때는 표면의 불순물과 산화물 등으로 인해서 완전한 접촉이 이루어지지 않고, 작은 부분에서 접촉이 발생한다. 용접 전류가 이 부분을 통해서 흐르게 되면서 그 부분을 과열하게 된다. 따라서 단락 회로의 시작 때의 용접 전류와 단락 회로 이후의 증가율이 스패터 발생과 관련이 있다고 알려져 있다.⁶⁾ 단락 된 부분이 깨어질 때에는 금속 증기가 폭발하면서 스

패터가 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 결과 단락이 끝나기 전의 전류가 크면 금속 증기의 양은 많이 생성 될 것이고 이것의 폭발로 인해서 많은 양의 스파터가 발생하게 될 것이다. 또한 단락 시간이 길다면 최대 전류가 크게 될 것이고 이것으로 인해서 스파터 발생량이 증가하게 될 것으로 사료된다. 용접 아크가 존재하는 동안 용접봉은 녹게 되고 용접봉 끝 부분에 용적이 생기게 되는데, 아크 시간이 길다면 많은 양의 용접봉이 녹게 되고 큰 용적이 생성되고, 이것이 불안정의 요인이 되어 결국 스파터 발생을 유발시키게 될 것이다.

위의 설명을 기초로 해서, 스파터 발생을 분석하기 위해서 5개의 파라메타를 선정하였다. 이것은 피크 전류(I_p), 아크 시간(T_a), 단락회로 시간(T_s), 단락 시작시 전류(I_s), 단락 시작시 전류 기울기(S_s)로 Fig. 1에 표현돼 있다.

4. 스파터 및 대립 스파터와 파라메타의 관계

스파터 발생량은 I_p 가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 기존의 연구 결과와 일치한다.⁷⁾ T_a 가 증가할수록 스파터 발생량이 증가하는 것으로 나타났다. I_s 가 증가할수록 스파터의 발생이 증가하고, S_s 는 스파터 발생과 가장 큰 상관계수를 가지고 있는 것으로 나타났다. S_s 가 증가할수록 스파터가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 I_s 를 작은 값으로 제어할수록 단락회로가 균일하고 정기적으로 되기 때문으로 사료된다.

대립 스파터는 노즐과 모재에 강하게 붙어서 용접 품질을 저하시키고, 제거를 위한 추가적인 작업이 필요하게 만든다. 이런 특징을 가지고 있는 대립 스파터는 생성 메카니즘과 발생량에 영향을 주는 파라메타들에 대한 연구가 전체 스파터에 대한 연구와는 별도로 수행되어야 할 필요가 있다고 사료된다. 본 연구에서 대립 스파터는 직경이 1.18mm보다 큰 것으로 정의하였다.

대립 스파터 발생은 금속 증기의 폭발보다 단락 시작될 때의 단락 반경 크기에 영향을 더 많이 받는 것으로 사료된다. I_p 는 단락이 시작될 때의 단락 반경 크기에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다. 단락 시작될 때의 단락 반경 크기를 크게 만드는 주요한 파라메타는 T_a 로서, T_a 가 증가할수록 대립 스파터가 증가하는 것으로 나타났다. I_s 와 S_s 의 대립 스파터에 대한 영향은 전체 스파터에 대한 영향보다 작음을 알 수 있었다. T_s 는 전체 스파터 발생량에서도 대립 스파터에서도 상관관계가 크지 않게 나타났다.

5. 스파터 및 대립 스파터 예측을 위한 인덱스 및 신경회로망

다중 회귀 분석(multiple regression analysis)을 이용하여 단위 시간 동안의 스파터 발생을 예측하기 위한 I_p , T_a , S_s 와 I_s 로 이루어진 인덱스를 개발하였다. 개발된 인덱스는 다음과 같다.

$$S = 7.9446 \cdot 10^{-4} \cdot I_p + 3.46523 \cdot 10^{-3} \cdot T_a + 0.00450 \cdot S_s + 0.00578 \cdot I_s - 0.82705$$

신경회로망은 4개의 입력(I_p , T_a , I_s 와 S_s)과 2층의 hidden layer와 1개의 출력(스파터 발생량)으로 이루어져 있다. Fig. 2은 실제 스파터 발생량과 인덱스와 신경회로망을 통해 예측된 스파터 발생량과의 관계를 나타내고 있다. 인덱스로 예측된 스파터 발생량과 실제 스파터 발생량과의 상관계수는 0.80이고, 신경회로망으로 예측된 전체 스파터 발생량과 실제 스파터 발생량과의 상관계수는 0.86으로 약간 높은 값을 나타내고 있다.

대립 스파터 인덱스는 T_s 와 S_s 의 영향을 무시하고 다중 회귀 분석을 통해서 구해졌다. 개발된 대립 스파터는 다음과 같다.

$$B = 1.02871 \cdot 10^{-4} \cdot I_p + 5.07155 \cdot 10^{-3} \cdot T_a + 9.89649 \cdot 10^{-5} \cdot I_s - 0.03696$$

신경회로망은 3개의 입력과 2층의 hidden layer와 1개의 출력으로 이루어져 있는데, I_p , T_a 와 I_s 가 입력 변수이고 대립 스파터 발생이 출력이다. Fig. 3는 실제 대립 스파터 발생량과 인덱스와 신경회로망

을 통해 예측된 대립 스파터 발생량과의 관계를 나타내고 있다. 대립 스파터 발생량과 인덱스를 통해 예측된 대립 스파터 발생량과의 상관계수는 0.77이고, 신경회로망을 통해 예측된 대립 스파터 발생량과의 상관계수는 0.76으로 전체 스파터 발생량과의 상관계수보다 작은 값을 가지고 있다.

6. 결론

스파터 발생을 연구하기 위해서 용접 전류와 아크 전압 파형 분석을 위한 마이크로 컴퓨터를 이용한 파형 분석 시스템을 개발하였다. 스파터 발생과 관련하여 5개의 파형 파라메타를 선정하였으며, 선택된 파라메타들과 스파터 발생량과의 상관관계를 연구하였다.

I_p 와 I_s 가 스파터 발생에 가장 큰 영향을 미치는 파라메타이고 T_a 는 대립 스파터 발생에 가장 큰 영향을 미치는 파라메타임을 알 수 있었다. 스파터에서는 금속증기의 폭발에 의해서 스파터가 많이 생기고, 대립 스파터는 단락이 시작 될 때의 단락 반경 크기에 많은 영향을 받기 때문에, 파라메타에서의 차이가 존재한다고 사료된다. T_s 는 상관계수가 실질적으로 낮기 때문에 스파터와 대립 스파터 발생량을 예측할 때 무시될 수 있으며, 대립 스파터 발생량을 예측할 때는 S_s 도 무시될 수 있었다.

개발된 인덱스와 신경회로망은 전체 스파터 및 대립 스파터 발생량을 어느 정도 정확히 예측할 수 있었다. 특별히 신경회로망을 사용한 전체 스파터 발생량의 예측이 실험결과와 잘 일치하였는데, 대립 스파터의 예측의 정확도는 전체 스파터 발생 예측의 정확도에 비교하여 약간 낮게 나타났다.

참고문헌

1. T. Ito, F. Koshiishi, M. Sato, T. Suga and M. Ushio : Study of spatter reduction in pulsed CO₂ shielded arc welding, *Welding International*, 12(5), (1998), 366-371
2. T. Mita : Reducing spatter in CO₂ gas shielded arc welding - waveform control, *Quarterly Journal of the Japan Welding Society*, 6(2), (1988), 209-214
3. Y. Maruyama, M. Sato and Y. Hida : Waveform control in gas shielded arc welding, *Welding International*, 4(9), (1990), 677-683
4. H. Yamamoto, S. Harada and T. Yasuda : The development of welding current control systems for spatter reduction, *Welding International*, 4(5), (1990), 398-407
5. T. Suga : Spatter reduction in MAG welding - consumables aspects, *Welding International*, 6(1), (1992), 16-19
6. T. Mita : Spatter reduction - power source consideration, *Welding International*, 5(11), (1991), 847-850.
7. J. H. Chen, J. C. Sun and D. Fan : Study on the mechanism of spatter produced by basic welding electrodes, *Welding Journal*, 75(10), (1996), 311s-316s
8. 강성구, 문형순, 나석주 : 스파터 양을 이용한 아크 안정성 판별에 관한 연구, *대한용접학회지*, 제15권, 제6호, (1997), pp.527-534
9. 강문진, 이세현, 엄기원 : GMA용접의 단락이행영역에 있어서 아크 상태 평가를 위한 모델 개발, *대한 용접학회지*, 제17권, 제4호, (1999), pp.296-303

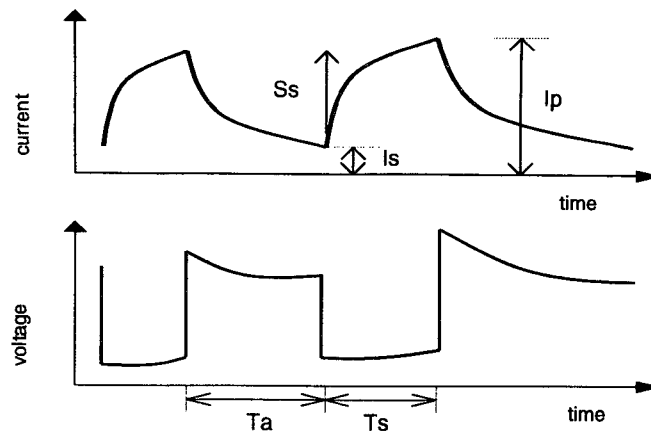


Fig. 1 Waveform parameters for analysis

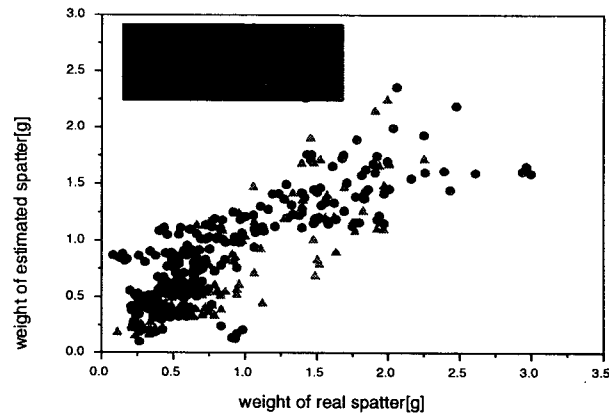


Fig. 2 Relationship between estimated and real spatter generation

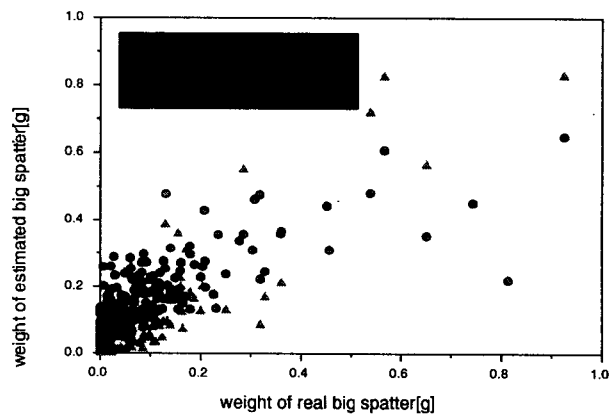


Fig. 3 Relationship between estimated and real big spatter generation