

CO₂용접의 스파터 발생에 미치는 단락시간비 및 단락전류 파형제어의 영향

조 상 명*

*부경대학교 재료공학부 생산가공공학전공

Effect of Short Circuit Time Ratio and Current Control Pattern on Spatter Generation in CO₂ Welding

Sang-Myung Cho*

*Course of Production and Joining Eng., Div. of Materials Science & Eng., Pukyong National University,
Pusan 608-739, Korea

Abstract

The object of this study is to examine the effect of short circuit time ratio (SCTR) and current rise delay time (Td) on the spatter generation at low and medium current range in CO₂ welding. The spatter was evaluated by the weight generated in the welding of bead-on-plate for 30 seconds (3 times). Td was varied by order of 0, 0.4, 0.8 and 1.2 msec. At each Td, the short circuit time ratio was varied by the output voltage of the welding power source.

In the low current range, it was found that the optimum SCTR was 20~25%, and the minimum spatter generation weight was obtained in the case of Td=0.4msec and SCTR=22% even though the remarkable difference was not showed by the application of Td. In the medium current range, it was confirmed that the arc was stable though the SCTR was increased from 20% to 40% by the control of current wave. Spatter generation weight depended on the variation of Td, and the lowest value of spatter generation weight occurred at Td=0.8~1.2msec.

(Received December 17, 2001)

Key Words : Gas metal arc welding, CO₂ arc welding, Short circuit transfer, Spatter generation, Wave control, Short circuit current rise delay time, Short circuit time ratio, Inverter CO₂ welding power source

1. 서 론

솔리드 와이어를 쓰는 CO₂용접에서의 스파터는 정상 단락후 아크 재점화(Reignition) 순간에 생기는 소립의 것과 중전류(250A전후)영역에서 자주 생기는 순간 단락후의 아크 재점화 때에 발생하는 대립의 것이 문제시 되어 왔다¹⁻⁴⁾. 정상단락을 주로 하는 200A이하의 저전류 영역에서는 주로 소립의 스파터 억제를 위해서 재점화 순간의 검출과 전류 감소 제어 기술이 중요한 과제로 되고 있다. 그러나 중전류 영역에서는 순간단락이 많이 생기고 이로 인한 대립의 스파터를 감소시키기 위해서 단락 순간에 전류를 낮추는 파형제어 기술이 주

목받고 있다⁴⁻⁶⁾.

Fig. 1은 순간단락이 발생하는 중전류 영역에서 스파터 발생을 감소시키려는 목적으로 개발된 단락전류 상승지연시간(short circuit current rise delay time) Td의 정의를 보인 것이다¹⁾. 이 파형 제어는 단락 직후 일정시간 Td동안 전류를 감소시켜서 기다리는 사이에 재점화 되면(순간단락) 그 순간의 전류가 낮으므로 아크력은 작고, 이로 인해 와이어 끝의 대립 용적이 튀어나가지 않게 된다. 그러나 Td가 지나도 재점화되지 않으면 Fig.1과 같이 정상단락이므로 강한 펀치력이 생기도록 하기 위해서 전류를 급상승시켜서 정상적으로 단락이행이 되도록 한다. C. H. Lee등⁴⁾은 정상단락이 주로 생기는 190A근방에서 Td의 영향을 검토하여

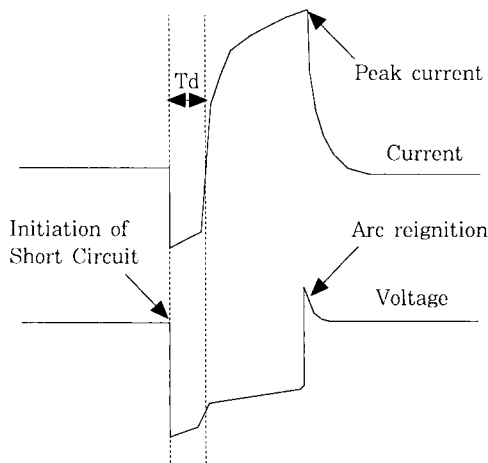


Fig. 1 Definition of the short circuit current rise delay time T_d

$T_d=0.6\text{msec}$ 미만에서는 스패터가 대량으로 생기다가 그 이상에서는 급감함을 보여주었다. 그러나 $T_d=0.6\text{msec}$ 미만에서는 단락 피크전류가 450A정도였고, 그 이상에서는 340A정도로 낮았던 것이 스패터에 보다 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

한편, 스패터는 전압에 크게 지배되는 것으로 알려져 있지만, 전압과 T_d 를 함께 고려한 연구는 아직 찾아보기 힘들었다. 용접전압은 아크길이를 지배하고 이 아크길이를 합리적으로 나타내는 정량적 척도로 단락시간비 SCTR (Short Circuit Time Ratio = 단락시간의 합/용접시간)이 활용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 정상단락이 주로 생기는 150A와 순간단락이 많이 생기는 250A에서 SCTR과 T_d 가 스패터에 미치는 영향을 검토하여 인버터 용접전원의 전류 파형 설계를 위한 기초를 확립하고, 스패터가 최적으로 되는 용접조건을 탐구하는데 그 목적을 두었다.

2. 사용재료 및 실험방법

실험에 사용한 용접기는 국내에서 최근 개발한 인버터 CO₂/MAG 용접기(정격용량 350A)로서 단락전류 파형제어를 할 수 있고, T_d 변화가 가능한 것이었다. 사용한 모재는 SS400(400×50×6mm)이었고, 한쪽 표면을 밀링가공한 위에 비드 용접을 하였다.

KS-YCW11, 직경 1.2mm 솔리드 와이어를 사용하였고, 실드가스는 CO₂100%, 유량 20 l/min로 하였다.

Table 1은 본 실험에서의 조건을 나타낸 것이다. 용접전류 150A와 250A 모두의 조건에서 같은 용접속도 60cm/min으로 30초간 3회씩 비드 용접을 실시하여 스패터를 포집하였다.

Table 1 Welding condition for experiment

Welding current	150 A	250 A
Arc voltage	17~23 V	22~26 V
CTWD	15 mm	18 mm
T_d	0, 0.4, 0.8, 1.2 msec.	
Welding speed	60 cm/min	
Welding wire	KS-YCW11, Φ 1.2 solid wire	
Shielding gas	CO ₂ 100%, 20 l/min	
Torch angle	90°	

각 전류조건에서 T_d 를 제어하지 않는 0msec를 기준으로 $T_d=0.4\text{msec}$, 0.8msec , 1.2msec 까지 변화시켰다. 각 T_d 에 대하여 아크전압을 변화시켜서 그에 따른 SCTR을 측정하여 이들이 스패터에 미치는 영향을 검토하였다. 스패터의 무게는 100mesh(200 μm)체를 사용하여 산화물과 분진을 제거한 후 전자저울로 측정하였다. 용접파형은 아크 모니터링 시스템(Monitech Korea)으로 계측하였으며^{7,8)}, 용접 파형에서의 SCTR은 전체 파형 중 10초간 일정한 구간에 대해 자동으로 계산하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 저전류 영역에서 단락시간비 SCTR과 T_d 가 스패터에 미치는 영향

Fig. 2는 저전류 영역 150A에서 출력전압과 단락전류 상승지연시간 T_d 에 따른 단락시간비 SCTR의 관계를 나타낸 것이다. 당연한 것이지만, 출력전압이 증가하면 아크길이가 커지기 때문에 SCTR은 감소하게 된다. 그러나, $T_d=0\text{msec}$ 에서 0.8msec 까지는 T_d 의 증가에 따라 SCTR이 그다지 변하지 않지만, $T_d=1.2\text{msec}$ 에서는 같은 전압에서도 SCTR이 증가하는 경향을 보였다. 이것은 단락이 발생한후 전류를 늦게 증가시키므로 강한 펀치력의 작용이 늦어져서 단락유지시간이 길어지기 때문이라고 판단된다.

한편, 본 연구에서 적용한 인버터 용접기는 전압을 낮추어서 SCTR이 30%이상 증가하여도 아크 안정성은 아주 우수하였다. 이것은 저전압으로 아크길이가 짧아져 SCTR이 증가하여 킥 불안정(Kink instability : 장기단락에 의한 아크 불안정)이 생길 수 있는 경우라도, Fig. 3에서 보인 것과 같이 단락 피크전류에 도달한 상태에서 단락유지시간이 너무 길어지면 그것을 판단하여 더욱 높은 전류 즉 DPC(Deposition Preventive Current)¹⁾를 흘려서 단락을 해소시키도록 하는 기능

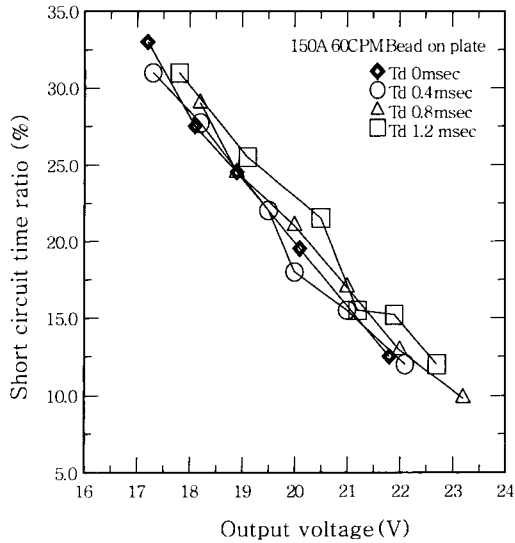


Fig. 2 Relation between short circuit time ratio (SCTR) and output voltage with various Td (150A)

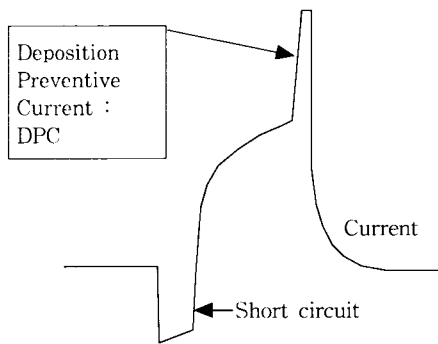


Fig. 3 Definition of deposition preventive current (DPC)

이 우수하기 때문인 것으로 판단된다. 단락 해소를 촉진하는 전자기적 핀치력은 전류의 제곱에 비례하므로 DPC가 적절하게 크게 되면 단락은 바로 해소되어 킥 크 불안정을 방지할 수 있게 된다.

Fig. 4는 150A에서 단락시간비 SCTR(%)과 스패터 발생량과의 관계를 나타내고 있다. Td가 변해도 극소점은 항상 나타나고 있으며, 그 극소점은 SCTR = 20~25% 근방에서 나타나고 있다. 여기서 Td를 적용하지 않은 Td=0msec에 비하여 Td를 적용한 경우는 전체적으로 보다 낮은 SCTR 영역에서 스패터량이 극소가 되었다. 즉, Td를 적용하면 최적 SCTR은 낮은 쪽으로 이동하는 것으로 나타났다. 그러나 SCTR이 약 25% 이상이 되면 스패터 발생량은 급증하는 경향을 보였다. 따라서 저전류 영역에서는 SCTR이 20~25%의 범위로 유지되는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

한편, C. H. Lee등⁴⁾의 실험(190A)에서는 동일한

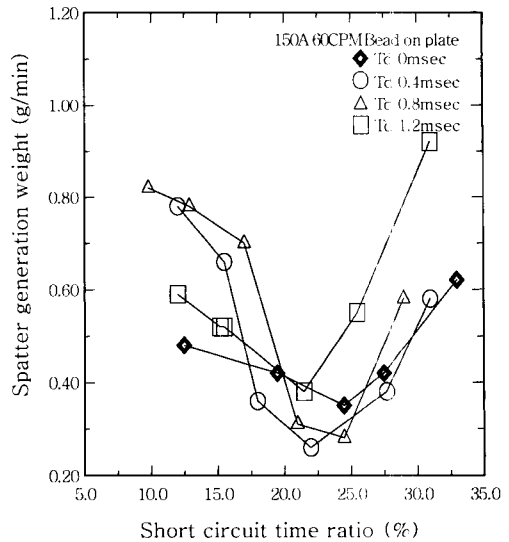


Fig. 4 Spatter generation weight and short circuit time ratio(SCTR) with various Td (150A)

전압으로만 검토를 하였기 때문에 SCTR의 변화에 따른 스패터량에 대한 고찰은 곤란했던 것으로 판단된다.

3.2 중전류 영역에서 단락시간비 SCTR과 Td가 스패터에 미치는 영향

Fig. 5는 250A에서 Td변화에 따른 출력전압과 SCTR의 관계를 나타낸 것이다. 150A에서와 같이 전압이 커지면 아크길이가 증가하여 SCTR도 감소하였다. Td제어를 하지 않을 때에 비해 Td를 주면 보다 SCTR이 증가하는 경향을 보였지만, Td시간에 따른 차이는 크지 않는 것으로 나타났다.

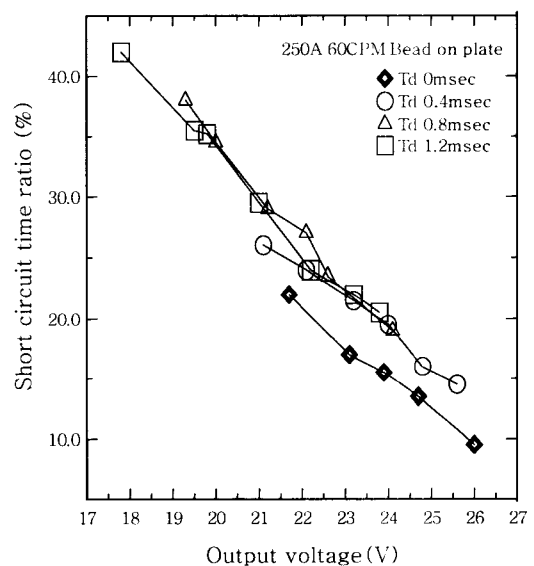


Fig. 5 Relation between short circuit time ratio (SCTR) and output voltage with various Td (250A)

Fig. 6은 중전류 영역에서 Td변화에 따른 SCTR과 스패터 발생량의 관계이다. 각 Td에 대한 최대 SCTR 이상에서는 아크가 불안정해졌기 때문에 스패터에 관한 데이터는 취하지 않았다. Td를 크게 할수록 보다 큰 SCTR에서도 아크 안정성은 좋았으며, 스패터 발생량도 높은 SCTR쪽에서 감소하는 경향을 보였다. 특히 Td=0.8-1.2msec에서는 40%근방의 높은 SCTR 즉 아주 짧은 아크길이에서 스패터가 최소로 되는 흥미로운 현상을 보였다. 이것은 본 실험에 사용한 용접전원의 독특한 파형제어 특성에 기인한 것으로서 큰 SCTR에서도 Td시간후 단락전류 상승 기울기를 크게 하면서 순간적으로 전류를 상승시킨 것과 장기단락 방지를 위한 DPC의 정확한 제어에 의한 효과 때문이라고 판단된다.

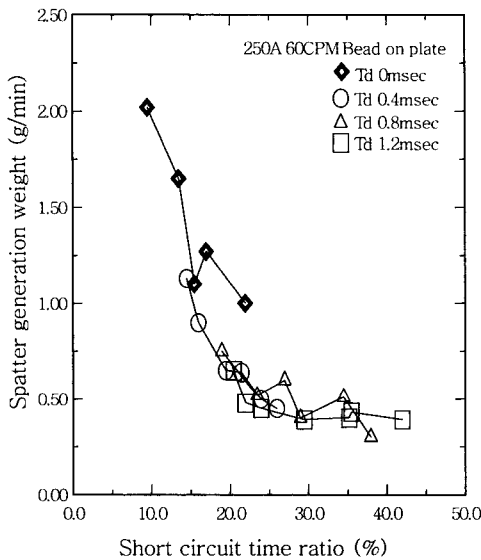
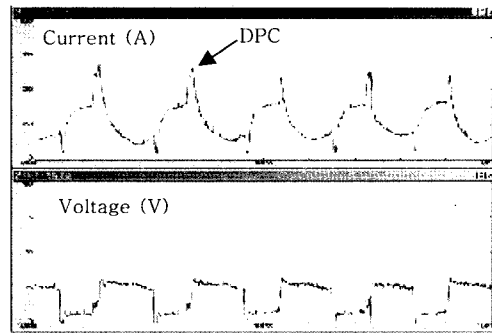


Fig.6 Spatter generation weight and short circuit time ratio with various Td (250A)

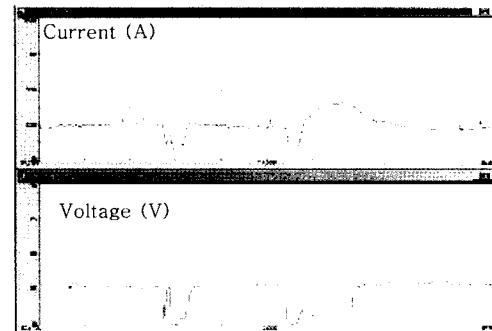
한편, 낮은 SCTR, 즉 아크가 길 때 스패터가 더 많이 생기는 것은 반발형 입적이행(Repel type globular transfer)이 아크길이에 비례하는 것과 관계가 있는 것으로 보인다.

Fig. 7은 250A일 때, 저전압과 표준전압 구간에서의 파형을 보이고 있다. (a)는 짧은 아크길이 때문에 단락시마다 나타나는 DPC(600A전후) 파형을 보인다. 본 연구에서는 이와 같이 DPC 파형이 자주 형성되어도 아크는 불안정해지지 않고 스패터는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 따라서 험핑비드와 언더컷 방지를 위해서 저전압 중전류 조건으로 용접해야 하는 박판의 초고속 용접에의 적용 가능성도 충분한 것으로 기대된다.

Fig. 7 (b)는 표준전압에서 얻은 전류와 전압의 파



(a) Low voltage (18 V, SCTR 40%)



(b) Standard voltage (24V, SCTR 20%)

Fig. 7 Waveform for low and standard voltage in 250A

형으로서 순간단락(왼쪽의 단락 파형)시에 생기기 쉬운 굵은 스패터를 방지하기 위해서 단락즉시 전류를 낮추어서 유지하는 동안에 재점호되었기 때문에 재점호 순간의 아크력이 작아지게 된 것이다.

3.3 중전류 저전압에서의 비드형상과 DPC 주파수의 검토

Fig. 8은 250A, 저전압(18V)과 표준전압(24V)에서의 비드 형상을 비교한 것이다. 여기서, 저전압의 경우 비드폭에 비해 높이가 크고 용입이 얇게 되었다. 여기서, 비드형상 계수(Appearance Coefficient) C_b를 다음과 같이 정의하였다.

$$C_b = (\text{비드높이})/(\text{비드폭})$$

C_b가 대략 0.6-0.7이상이 되면 토우부의 각도가 예리해지고, 비드높이도 3mm 이상이 되므로 응력 집중이 심해질 수 있어서 실제 현장에서는 허용되기 곤란한 상태이다.

Fig. 9는 250A에서 SCTR 20%이상인 저전압 조건에서 SCTR에 따른 DPC 주파수와 비드형상계수 C_b

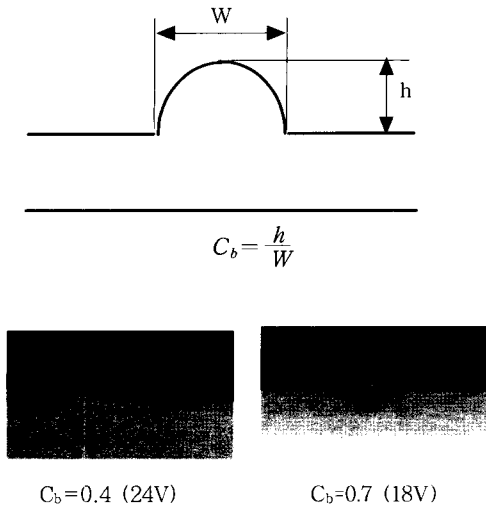


Fig. 8 Appearance coefficient (250A)

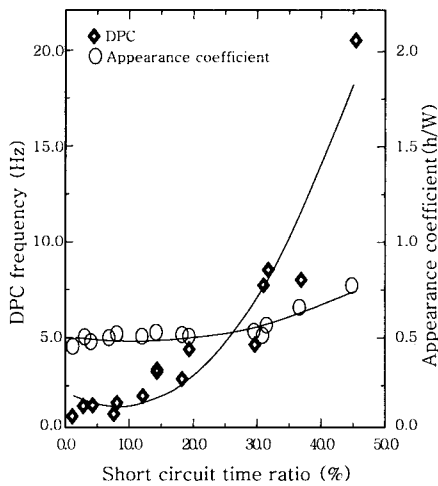


Fig. 9 Relation of DPC frequency and appearance coefficient as SCTR(%)

와의 관계를 나타낸 것이다. 아크길이가 짧아져서 SCTR이 증가하면 DPC주파수는 급증하는 경향을 보이고 있으나 아크 불안정은 전혀 보이지 않았으며, 이때 비드형상 계수 C_b 는 0.7이상으로 되었다.

Popkov⁹⁾ 등은 GMA 용접에서 안정적인 단락이행을 시킬수 있는 SCTR의 범위를 20~40%라고 주장한 바 있다. Popkov 등은 SCTR이 40%를 초과하면 아크가 불안정해져서 스파터가 심해지고 정상적인 용접이 곤란하기 때문에 그렇게 언급한 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서 적용한 인버터 용접전원에서는 SCTR이 40%를 초과하여도 아크 불안정성이나 과도한 스파터 발생은 생기지 않았지만 비드형상이 지나치게 블록하게 되어 40%이하로 제한하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

따라서 용접 조건의 적절성은 용접전원의 출력 특성을 고려하면서 아크 안정성, 스파터 발생량 뿐만 아니

라 비드형상등도 함께 고려하여 판단해야 할 것으로 보인다.

3.4 스파터 발생량에 미치는 Td의 영향

Fig. 10은 150A와 250A에서 Td와 각 Td 조건에서 전압을 변화시켰을 때 얻어진 최소 스파터 발생량과의 관계를 보인 것이다.

저전류 영역에서는 Td의 변화에 따른 최소 스파터량이 그다지 현저하게 변하지 않는 특성을 보였지만, Td=0.4msec일 때 그 전류에서 스파터가 가장 적게 발생하였다.

250A에서는 Td를 적용하면 스파터 발생량이 현저하게 감소하였고, Td=0.8~1.2msec에서 최소의 스파터 발생량으로 되었고, Td를 적용하지 않았을 때에 비하면 약40%이하로 되었다.

따라서, 순간단락이 그다지 나타나지 않고 거의 대부분이 정상단락만에 의해서 단락이행 용접이 되는 저전류영역에서는 Td를 짧게하거나 적용시키지 않아도 스파터 발생량은 작게 되었다. 그러나 정상단락보다 순간단락이 더 많이 발생하는 중전류 영역에서는 1msec전후의 단락전류 상승지연시간 Td를 적용하는 것이 스파터 발생량을 최소화 시키는 좋은 방법이라고 판단된다.

한편, 저전류와 중전류 각 영역에서의 최소 스파터량을 비교해보면 역시 안정된 단락이행이 주로 생기는 저전류 영역에서의 그것이 더욱 적게 되는 특성을 보였다. 중전류 영역에서는 기본적으로 와이어 송급량이 많으며, 순간단락이 자주 생기고, 반발형 입적이행이 많

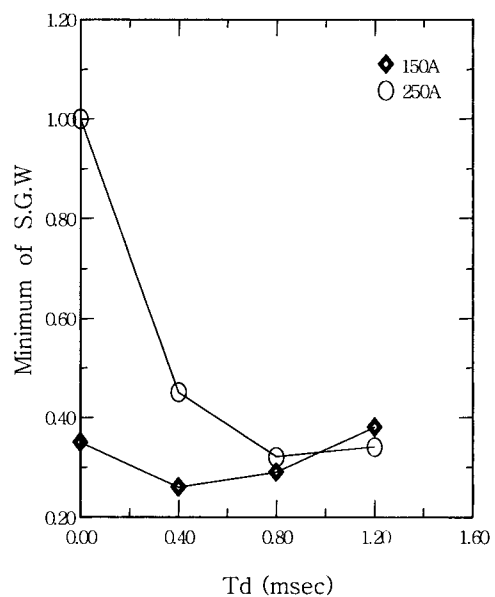


Fig. 10 Relation between Td and minimum of spatter generation weight (150A, 250A)

아지기 때문에 Td를 적용하여도 최소 스패터는 저전류에서의 그것보다 다소 크게 되었다.

4. 결 론

파형제어 기술을 적용하여 개발한 인버터 CO₂/MAG 용접기를 이용하여 150A와 250A에서 CO₂용접을 실시할 때, 전압과 단락전류 상승지연시간을 함께 변화시켜가면서 발생하는 스패터량에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 정상단락이 주로 생기는 저전류 영역에서는 스패터에 미치는 단락전류 상승지연시간 Td의 영향은 그다지 현저하지 않지만, 순간단락이 많이 생기는 중전류 영역에서는 Td의 효과가 현저하게 나타났다.

2) 저전류 영역인 150A에서는 단락시간비 SCTR=20~25%에서 스패터 발생량은 극소점을 보였고, Td=0.4msec(SCTR=22%)에서 스패터 발생량은 최소값을 보였다.

3) 중전류 영역인 250A에서는 Td가 1msec 전후에서 최소의 스패터가 발생하여 기존의 인버터 용접기에서의 경향과 유사한 특성을 보였다.

4) 250A에서는 18V정도의 저전압 즉 SCTR=40% 전후에서도 장기단락 방지 전류 DPC를 적용하면서 단락전류 파형제어를 하면 아크 안정성이 양호하면서도 스패터가 매우 적게 되어 초고속 용접에의 적용 가능성이 기대된다. 그러나 전압이 너무 낮아서 SCTR이 커지면 비드 형상이 지나치게 불룩하게 되므로 이에 대한 고려도 요구된다.

후 기

본 연구의 용접실험을 위하여 적극 협조하여 주신 (주)세일기전의 이창주 개발실장과 최규원군에게 심심한 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. T. Mita : Waveform control method in CO₂ gas shielded arc welding, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **6-2** (1988), 209 (in Japanese)
2. H. Yamamoto : Recent advances in welding power systems for automated welding, J. of Japan Weld. Soc., **64-6** (1994), 457(in Japanese)
3. S. K. Kang, H. S. Moon and S. J. Na : A Study on Determing Arc Stability Using Weight of Spatter, Journal of KWS, **15-6** (1997), 41~48 (in Korean)
4. C. H. Lee, H. J. Kim and B. Y. Kang : Effect of Delay Time Control on the Spatter Generation in CO₂ Welding, Journal of Korean Welding Society, **17-5**(1999), 61-68 (in Korean)
5. H. J. Kim, and Y. S. Kim : Concept of Waveform Control for the Reduction of CO₂ Welding Spatter, Journal of KWS, **16-3** (1998), 18~28 (in Korean)
6. H. J. Kim, C. H. Lee : The Characteristics of Power Source on the Spatter Generation Rate in Arc Welding Process , Journal of KWS, **17-4** (1999) 16~21 (in Korean)
7. S. M. Cho, K. W. Choi and K. W. Lee : Trends of Monitoring Technology for the Arc Welding Quality Evaluation, Journal of KWS, **18-4** (2000), 417~423(in Korean)
8. D. S. Oh, K. W. Lee and S. M. Cho : Effect of Welding Current and Voltage on the Metal Transfer Mode in GMAW, Journal of KOSTET, **4-1** (1999), 319~314(in Korean)
9. Popkov, A. et al. Reducing the spatter of liquid metal in CO₂ welding by means of optimisation of the welding parameters. Welding Production, **No. 3** (1977), 26~27