

研究論文

FCW의 가스 발생제가 스패터링에 미치는 영향

정재필*

Effects of gas formers of flux cored wire on spattering

J. P. Jung*

Key Words : Spattering, Non-shielded flux cored arc welding, Gas formers, High speed camera

Abstract

Effects of gas formers of $MgCO_3$, $CaCO_3$ and Li_2CO_3 on the spattering phenomena were investigated for non-shielded flux cored arc welding. Spattering phenomena were pictured using high speed camera as a speed of 3000 frames per sec. As experimental results, spattering modes were classified into 4 types. The modes were spattering by arc force, gas explosion, short circuit and pore escape. The amount of spatters by arc force was 30%, gas blowing force was 40%, short circuit 10%, pore escape was 10% and others were 10%. When Li_2CO_3 was added, the amount of spatters was largest, and it decreased in the order of $CaCO_3$ and $MgCO_3$.

1. 서 론

최근 생산성 향상을 위한 용접 자동화 경향으로 자동 용접 재료인 Flux Cored Wire (FCW)의 사용과 이와 관련된 연구가 증대되고 있다. FCW에는 가스보호(shielded)형과 비보호(non-shielded)형이 있는데, 이 중 비보호형은 용접시 따로 보호가스를 사용하지 않으므로 간편하고 옥외 작업에 유리한 장점이 있다. 그러나, 플럭스 중에 포함된 가스 발생제에 의한 흠(fume)과 스패터(spatter) 발

생이 많은 것이 단점 중 하나이다.

스패터는 용접중 용융 금속에서 비산되어 나오는 용융된 금속 입자나 슬래그(slag)를 말하는데, 이로 인해 금속을 소모하고 모재 표면에 미세 균열 등의 손상을 주며 용접부의 질과 생산성을 저하시키고, 때로 작업자에게 해를 주기도 한다.

현재 보호가스를 사용한 용접의 경우에는 스패터 발생에 관한 연구가 발표되고 있으나^{1~7)}, 비보호형 FCW를 사용한 용접의 경우에는 이에 관해 발표된 논문이 적은 상태이다.

본 고에서는 non-shielded FCAW(Flux Cored

* 1998년 4월 27일 접수

* 정희원, 서울시립대학교 재료공학과

Arc Welding) 시의 스패터 발생 현상과 플럭스중 가스 발생제가 스패터 발생량에 미치는 영향을 정확히 관찰하기 위해 고속촬영 기법을 사용하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 용접 재료

용접시 사용한 와이어(wire)는 직경 2mm의 non-shielded FCW로써, 와이어의 단면 형상은 오버랩(over lap)형이며 플럭스의 충전율은 20%이다. 플럭스의 조성은 가스 발생제를 첨가하지 않은 기본 조성(Basic Formula ;BF)과 기본 조성에 가스 발생제로써 MgCO₃, CaCO₃, Li₂CO₃를 각각 6%, 17%를 첨가한 7종류로 하였다(Table. 1참조). 용접시 사용된 모재 및 와이어의 금속 피복부(hoop) 화학 조성은 Table. 2와 같다.

Table 1. Flux compositions for the experiments

Wire	Flux (wt. %)
A	BF* (no gas formers)
B	BF+ 6% MgCO ₃
C	BF+17% MgCO ₃
D	BF+ 6% CaCO ₃
E	BF+17% CaCO ₃
F	BF+ 6% Li ₂ CO ₃
G	BF+17% Li ₂ CO ₃

*BF : mixture of CaF₂, TiO₂, Fe, Al, Si and etc.

Table 2. Chemical compositions of the base metal and hoop (wt. %)

Class	C	Si	Mn	P	S
Base metal	0.11	0.56	1.86	-	0.007
hoop	0.06	0.1	0.36	0.013	0.006

2.2 스패터 발생 현상의 고속촬영

스패터 발생 현상을 관찰하기 위하여 연강의 평판 위에 하향 용접을 행하였다. 주요 용접조건으로는 용접전압 30V, 와이어 송급속도 3430mm/min, 직류 역극성(DCRP)을 사용하였으며, 기타 용접조

건은 Table. 3에 나타내었다.

스패터 발생현상은 고속 카메라로 촬영하여 분석하였다. 고속촬영은 Fig.1과 같은 장치를 사용하였다. 고속촬영 조건으로는 고속 카메라 Nac 16HD, 조명은 300W 할로겐 램프, 촬영속도는 초당 3000매로 하였으며, 기타 조건은 Table. 4에 나타내었다.

스패터 발생 과정과 발생량을 알기 위해 각 와이어당 촬영된 필름을 700 매씩 필름 분석기(film analyzer)로 분석하였다. 분석방법은 스패터가 발생하는 시점부터 스패터가 용융 와이어나 용융지로부터 완전히 떨어져 나올 때까지의 필름을 연속

Table 3. Welding conditions

Welding voltage (V)	30
Wire feeding speed (mm/min)	3430
Travel speed (mm/min)	660
Polarity	DCRP
Stick out (mm)	30
Wire diameter (mm)	2
Torch angle (°)	90

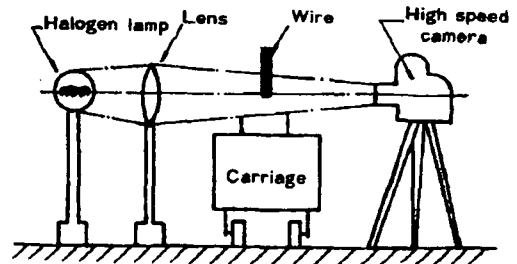


Fig. 1 Experimental equipment for the high speed photographing

Table 4. Photographing conditions

Camera	Nac 16HD
Back light	300W halogen lamp
Photo. speed	3000 fps
Lens	Nikon macro lens 105mm with extension ring
Filter	UV + ND 1.0
Iris	F8
Film	Kodak 2476

적으로 보면서, 스패터 발생 유형을 분류하였다. 스패터 발생과정을 연속 사진으로 보이는 것이 이해하기 용이하지만, 지면 관계상 결과 사진만을 Fig. 2와 같이 보였다. 연속 사진의 일부는 Fig. 8에 보였다.

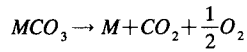
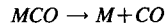
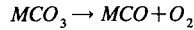
3. 실험 결과 및 고찰

고속촬영 필름 분석결과 non-shielded FCAW시 스패터 발생의 주요 유형은 Fig. 2와 같이 크게 4가지로 구분할 수 있었다. 즉, 급격한 가스 방출에 의한 것 (Fig. 2. a), 아크력에 의한 것 (Fig. 2. b), 단락 파괴에 의한 것 (Fig. 2. c), 기포 방출에 의한 것 (Fig. 2. d) 등이다. 이외에, 이들 유형이 복합적으로 나타나는 것이 있는데, 그 예를 Fig. 2. e에 보였다. Fig. 2. e는 아크력에 의해 발생한 큰 스패터가 비산하던 중, 이 스패터에서 다시 기포 방출에 의해 작은 스패터가 발생하는 것이다. 스패터 발생에 관하여 아래에 유형별로 보다 상세히 기술한다

3.1 급격한 가스 방출력에 의한 스패터 발생

Fig. 2. a에 보인 급격한 가스 방출력에 의한 스패터 발생은, 용접시 가스발생제가 와이어 내부에서 열분해하여 발생된 가스들이 고온에서 가열되어 급격히 팽창하면서 뿔어져 나올 때의 힘에 의해 발생하는 스패터 유형이다. 즉, 와이어 내부 플럭스

에 포함된 $MgCO_3$, $CaCO_3$, Li_2CO_3 등의 가스 발생제는 용접시 고온에서 분해하여 CO_2 가스를 발생시킨다. CO_2 가스는 다시 CO와 O로 해리되는데, 4000K에서 90%, 5000K에서 거의 100% 해리된다⁸. 따라서, 본 실험의 경우에는 주로 가스 발생제들이 아래의 식과 같이 열분해하여 가스를 발생시키는 것으로 믿어진다⁹.



(단, M : Ca, Mg, Li)

가스 방출력에 의한 스패터 발생 형태는 피복 용접봉으로 용접할 때 가스 폭발에 의한 스패터 발생 형태와 비슷하지만¹⁰, 비보호형 FCW의 경우 가스가 와이어 내부에서 방출되는 점이 피복 용접봉과 다르다.

가스 방출력에 의한 스패터 발생 갯수는 Fig. 3과 같다. 즉, Li_2O_3 첨가량을 증가시킨 경우 스패터량이 급격히 증가하였으며, $CaCO_3$ 와 $MgCO_3$ 를 첨가한 경우에는 증가 정도가 Li_2CO_3 에 비해 적었다.

전술한 바와 같이, 고온에서 가스 발생제들이 열분해될 때 CO_2 , CO, O_2 , O 등의 가스가 발생되며, 가스 발생제가 완전히 분해된다고 가정하면, 가스 발생제 몰 수 증가에 따라 가스 발생량도 증가할 것이다. Table. 5는 가스 발생제의 몰 수를

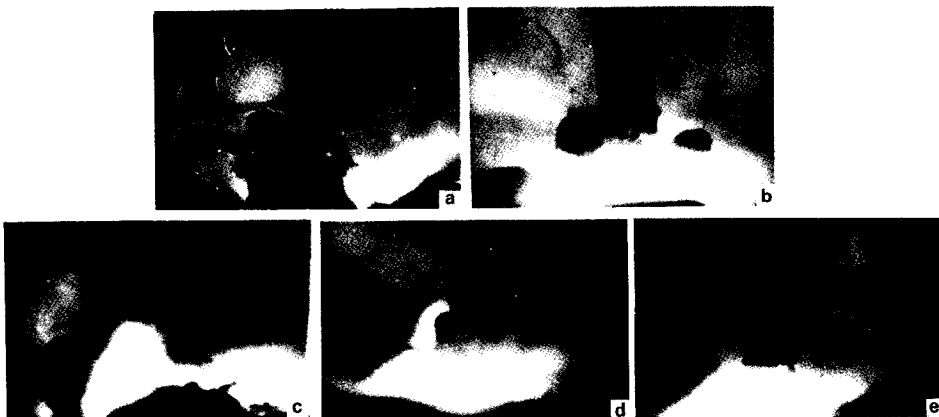


Fig. 2 Typical type of spattering for non-shielded FCAW. Spattering by gas blowing force (a), by arc force (b), by short circuit (c), by pore escape (d), and by mixed type of arc force and pore escape (e).

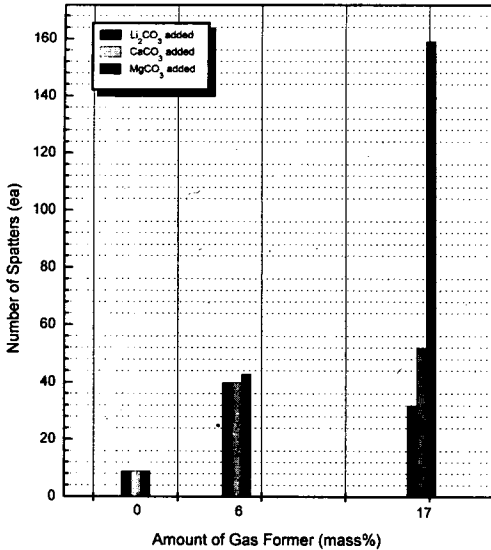


Fig. 3 Number of spatters by gas blowing force

Table 5. Moles of the gas formers

Amount		Gas Former		
		MgCO ₃	CaCO ₃	Li ₂ CO ₃
No. of moles	6 mass%	0.29	0.24	0.33
	17 mass%	0.95	0.78	1.08

나타낸 것이다. Table. 5에서 CaCO₃, MgCO₃, Li₂CO₃ 순으로 가스 발생제의 몰 수가 많아져서, 가스 발생량도 이 순서로 증가할 것이다. 가스 발생량이 증가하면, 급격한 가스 방출력에 의한 스패터 발생량에도 영향을 미칠 것으로 보인다.

Table. 5와 Fig. 3을 비교해보면, Li₂CO₃ 및 CaCO₃를 첨가한 경우는 대체로 가스 발생제의 몰 수 증가에 따라 급격한 가스 방출력에 의한 스패터 발생수가 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나, MgCO₃를 첨가한 경우에는 가스발생제가 17%인 경우가 6%인 경우에 비해 스패터 수가 오히려 감소하였다. MgCO₃ 첨가시 나타난 이러한 경향은 가스 발생량 이외에 스패터 발생에 영향을 주는 또 다른 요인이 있음을 의미한다.

다른 요인으로, 용접 후 비드(bead)와 모재의 접촉각을 고려하여 보았다. 용융된 금속이 고상의 모재 표면에 존재할 때, 용융 금속과 모재의 접촉각은 용융 금속의 표면장력과 연관이 있다. 즉, 용융 금

속의 표면장력이 크면 접촉각이 커지고, 표면장력이 작아지면 접촉각도 작아질 것이기 때문이다¹¹⁾. 용융 금속의 표면장력과 스패터 발생량과의 관계는 명확하지는 않다. 그러나, 표면장력이 용융 금속의 응집력과 관련이 있으므로, 용융 와이어나 용융지에서 스패터가 떨어져 나갈 때 이 응집력이 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료되었다⁹⁾.

용접후 비드와 모재의 접촉각 측정 결과는 Fig. 4와 같다. 즉, MgCO₃를 첨가한 경우가 접촉각이 가장 크고, CaCO₃, Li₂CO₃ 순으로 감소되었다. Fig. 3에서, 17% MgCO₃ 경우에는 비록 CO₂, CO, O₂, O 등의 가스 방출량은 6% MgCO₃에 비해 많을 것이지만, 접촉각이 17% MgCO₃ 경우가 더 커서, 이것이 스패터 발생량의 감소에 기여한 것으로 사료된다.

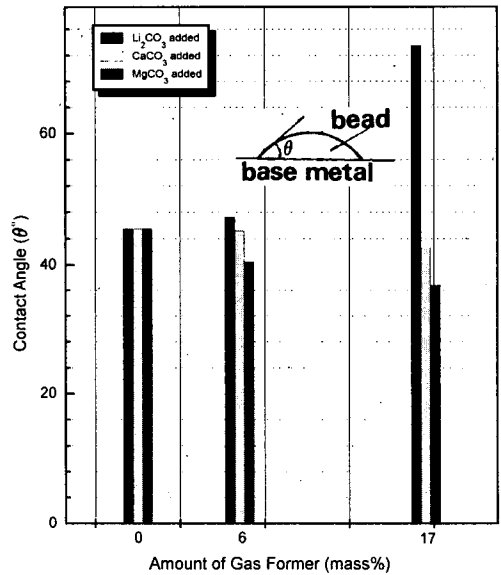


Fig. 4 Contact angle of the weld bead with gas formers

3.2 아크력에 의한 스패터 발생

본 실험에서 아크력에 의해 발생하는 스패터는 총 스패터 수의 약 30%였다. 용접시 아크내 플라즈마의 속도는 약 100m/sec에 달하여¹²⁾ 용적 및 용융지에 힘을 미치고, 봉 끝의 용적은 용적 하단부에서 발생하는 아크 플라즈마에 의해 반발력도 받는데, 이러한 힘들에 의해 발생하는 스패터가 아크력에 의한 것이다¹³⁾.

본 실험의 결과 Li_2CO_3 를 첨가한 경우 아크력에 의한 스패터 발생수가 가장 많았고, 다음으로 CaCO_3 , MgCO_3 첨가순이었다 (Fig. 5 참조). 가스 발생제 첨가시, 아크력에 의한 스패터 발생량 변화의 원인은 명확히 밝히지 못하였다. 다만, Hazlett¹⁴⁾에 의하면 CaCO_3 는 아크 안정도 지수가 2, MgCO_3 의 지수는 4라 하였는데, 지수가 클수록 아크는 불안정해진다고 한 바, 본 연구에서 첨가한 CaCO_3 나 MgCO_3 가 아크 안정도에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 그러나, 스패터링에 대한 이의 영향은 아직 명확하지 않다.

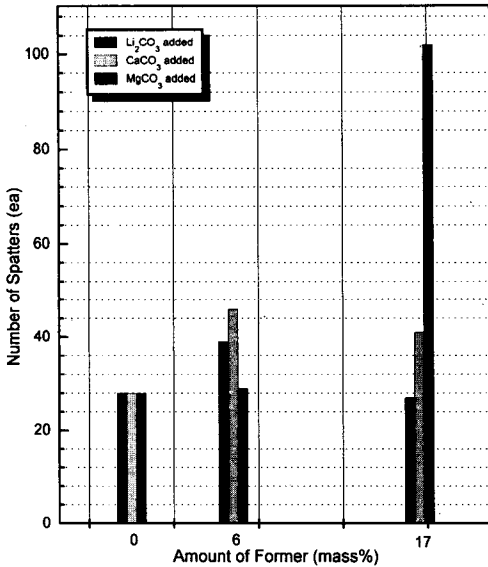


Fig. 5 Number of spatters by arc force

3.3 단락 파괴 및 기포 방출에 의한 스패터 발생

Fig. 6은 단락이 파괴될 때 발생하는 스패터 수를 보인 것으로, 총 스패터 발생수의 약 10%였다. 이 유형은 단락이 파괴될 때 재생되는 아크의 강한 반발력에 의해 발생하는데¹³⁾, 탄산가스(CO_2) 아크 용접시에는 단락횟수에 비례하여 스패터 수가 증가한다는 보고¹⁵⁾가 있으나, 본 연구에서 가스 발생제 첨가에 따른 발생수의 변화 경향은 일정하지 않다.

Fig. 7은 용강내의 기포가 방출될 때 발생하는 스패터 유형으로¹³⁾, 발생 스패터 수는 총 스패터 수의 약 10%였다.

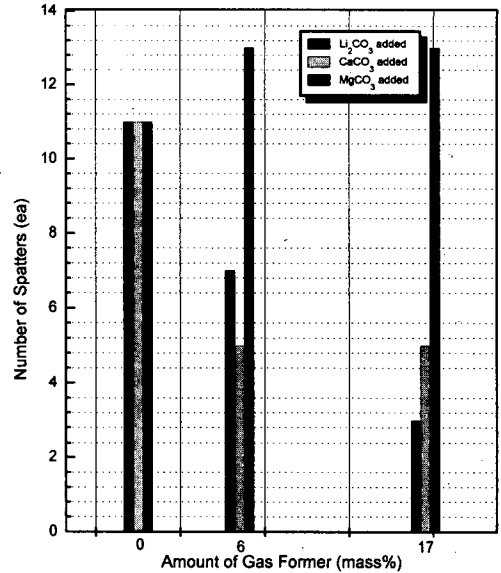


Fig. 6 Number of spatters by arc reignition of short circuit

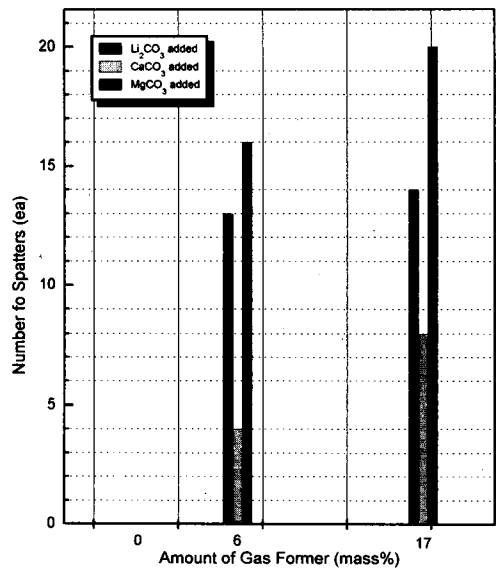


Fig. 7 Number of spatters by pore escape

기포가 방출될 때 발생하는 스패터는 용접시 주위의 CO_2 분위기에 의해 용융 금속 중으로 용해된 CO 기포 방출로 인한 것이라는 보고가 있다¹⁵⁾.

Fig. 7에서 보듯이, 이 유형의 스패터 수는 가스

발생제 증가에 따라 미량씩 증가하고 있다. 그 이유는 가스 발생제인 탄산염(carbonates)의 증가에 따라 CO, CO₂, 혹은 O₂ 가스의 발생량이 많아져서 용강에 이들 가스의 용해량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

기포 방출에 의해 스패터가 발생되기 위해서는, 우선 용강내에 압력이 2~수기압인 기포가 생성되어야 한다는 보고⁶⁾가 있다. 일단 용강내에서 기포가 생성되면, 큰 부력과 관성에 의해 빠른 속도로 탈출하여 주상(柱狀)의 돌기를 만들어 스패터를 발생시킨다. 스패터를 발생시킨 주상돌기는 용강의 표면장력에 의해 곧 없어지며, 이러한 스패터의 발생시간은 본 실험을 통한 필름분석 결과 1/1000~1/5000 초로 극히 짧다. Fig.8은 기포방출에 의해 스패터가 발생하는 것을 촬영한 연속사진 중의 하나이다. 주상의 돌기로 부터 작은 스패터가 약 1/3000 초내에 방출되고 있음을 볼 수 있다. Fig.9은 기포방출에 의한 스패터의 단면사진을 보인 것으로, 내부에 형성된 기포를 확인할 수 있다.

한편, 혼합형의 경우는 스패터 발생 유형이 전술한 4가지 유형이 복합적으로 나타나는 것으로, 그 양은 미미하였다.



Fig. 8 Spattering phenomenon by pore escape

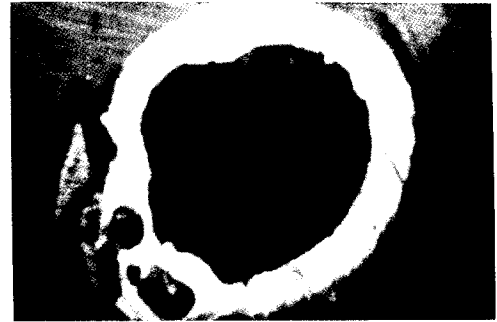


Fig. 9 Cross section of the spatter by pore escape

3.4 총 스패터 발생량

Fig.10은 가스 발생제 첨가에 따른 스패터 발생의 총 수를 나타낸 것이다. 가스 발생제 증가에 따라 스패터 발생의 총 수는 대체로 증가하였다.

증가 정도는 Li₂CO₃를 첨가한 경우가 최대이고, CaCO₃, MgCO₃를 첨가한 순으로 감소하였다. 가스 발생제 증가에 따라 스패터 수가 증가하는 것은, 용융된 와이어 내부에서 가열에 의해 가스 발생제가 CO₂, CO, O₂, O 등으로 분해되고, 이것이 고온에서 급격히 팽창되면서 뿜어져 나오기 때문인 것으로 믿어진다. 그러나, MgCO₃ 17%를 첨가

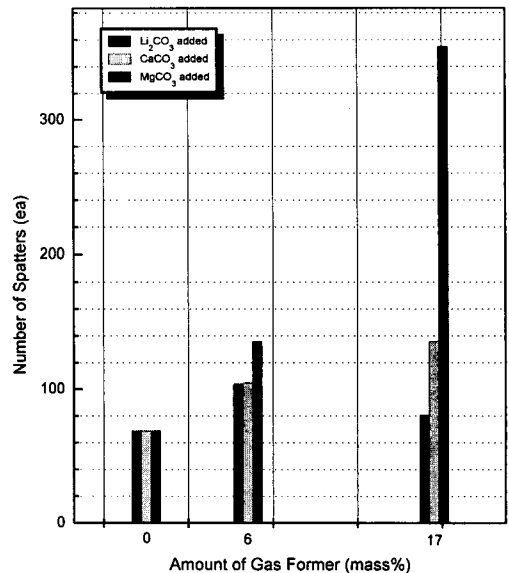


Fig. 10 Total number of spatters with gas formers

한 경우 오히려 스파터 발생수가 줄어드는 것은 전술한 표면장력의 영향이 더욱 크기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

비보호형(non-shielded) FCAW시 가스 발생제가 스파터 발생에 미치는 영향을 조사하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고속활영결과, 비보호형(non-shielded) FCAW시 스파터 발생의 유형은 아크력에 의한 것, 급격한 가스 방출력에 의한 것, 단락 파괴에 의한 것, 기포 방출에 의한 것, 이들의 혼합 형태에 의한 것으로 나눌 수 있었다.

2. 각 유형의 스파터 발생량 대 총 스파터 발생량에 대한 비는, 아크력에 의한 것이 약 30%, 급격한 가스 방출력에 의한 것이 약 40%, 단락 파괴에 의한 것이 약 10%, 기포 방출에 의한 것이 약 10%, 기타가 약 10%를 차지하였다.

3. 가스 발생제 종류에 따른 스파터 발생량은 Li_2CO_3 의 경우가 가장 크고, CaCO_3 , MgCO_3 첨가 순이었다.

4. 가스 발생제로 Li_2CO_3 와 CaCO_3 를 첨가한 경우, 가스 발생제량의 증가에 따라 스파터량도 증가하였으며, 증가정도는 Li_2CO_3 , CaCO_3 순이었다.

참 고 문 헌

- 강성구외, 스파터량을 이용한 아크 안정성 판별에 관한 연구, 대한용접학회지, 15권, 6호, (1997), p. 41
- 田中외, 스파타의 결합力とその影響因子, 日本溶接學會論文集, Vol. 16, No. 1, (1998), p. 66
- 荒井외, 炭酸가스아크溶接における 스파타의發生, 日本溶接學會論文集, Vol. 1, No. 2, (1983), p. 279
- 原田외, 溶接技術, Vol. 38, No. 2, (1990), p. 62
- 安藤외, 日本溶接學會講概集, Vol. 3, (1962), p. 61
- 宇田외, 化學的にみた스파타링그現象, 日本溶接學會誌, Vol. 44, No. 10, (1975), p. 799
- 강봉용외, CO_2 용접의 스파터 발생에 미치는 용적이행 모드의 영향, 대한용접학회지, 15권, 2호, (1997), p. 72
- 溶接技術, Vol. 42, No. 2, (1994), p. 63
- 桑名외, Ar- CO_2 雰圍氣における鋼溶接金屬の酸素吸收について, 日本溶接學會論文集, No. 1, (1983), p. 16
- 安藤외, 溶接arc現象, (1967), p. 466
- R. J. Klein Wassink, 솔더링그 인 엘렉트로닉스, (1984), p. 15
- W. Findelburg et al., An investigation of the thermal response of stationary gas tungsten arc welding, Weld. Jour., Vol. 55, No. 12, (1976), p. 408-s
- 荒井외, 86回日本溶接學會溶接冶金研究委員會資料, (1981)
- T. H. Hazlett, Coating ingredients influence on surface tension, arc stability and bead shape, Weld. Jour., Vol. 36, No. 1, (1957), p. 18-s
- 山田외, CO_2 아크溶接における 스파타의發生, 神戶製鋼技報, Vol. 31, No. 4, p. 69