

GMAW에서 아크개시 특성 평가를 위한 6시그마 적용

The Application of 6σ for the Evaluation of Arc Start Characteristics in GMAW

최규원*, 오동수**, 김영석***, 이광원****, 조상명*****

* 부경대학교 생산가공공학과 대학원, 부산 ** 창원기능대학 산업설비과, 창원

*** 한국해양대학교 기계소재공학부, 부산 **** 모니텍 코리아, 부산

***** 부경대학교 재료공학부 생산가공공학 전공, 부산

1. 서론

아크 용접에 있어 초기 아크 발생은 용접 공정에서 중요한 요소 중 하나이다. 용접기의 아크 개시 특성을 평가하는 기준으로 아크개시 성공률만을 논해왔다. 이러한 아크 개시 특성은 표면상태, 용접 조건에 따라 달라지는데 아크개시 성공률만으로 평가한다는 것은 한계가 있다. 따라서 이러한 아크 개시 특성에 대한 정량적인 파라메타 및 평가 수법의 개발이 요구된다. 본 실험에서는 아크개시 특성에 미치는 용접조건 및 모재의 표면 상태에 대한 영향을 평가하고, 6σ를 적용하여 각종 파라메타의 개발을 시도하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

아크개시 특성 실험에서는 산화막이 존재하는 연강판(두께 6mm, 폭20mm, 길이 30mm)위에 전류 250A, 전압25V, 속도 60cm/min, CTWD(contact tip to work distance) 15mm 아래보기자세로 주행 대차를 이용하여 비드 놓기 용접을 실시하였다. 용접 와이어는 KS YCW14, 직경 1.2mm 솔리드 와이어를 사용하였고, 실드 가스로 Ar80%-CO₂20%를 사용하였다. 토치의 작업각과 진행각은 모두 직각으로 하였다. 실험에 사용한 용접기는 정격용량 350A CO₂/MAG 인버터 용접기를 사용하였다. 본 실험에서는 모재의 표면 상태에 따른 아크 개시 특성을 평가하기 위해 산화막이 존재하는 모재 표면에 스페터 부착 방지제를 표면에 부착한 상태와 CTWD를 변화 시켜가며 비드 놓기 용접을 실시하였다. 그리고, 장시간 사용에 따른 특성을 알아보기 위해 마모된 팁을 사용하여 용접하였다. Table.1에 실험에 사용한 용접조건과 표면상태를 나타내었다. 각 조건에서 30회씩 용접을 실시하였으며 용접파형을 모니터링 시스템으로 계측하였다. 용접 파형에서 아크 개시 후 1초 동안의 각종 파라메타를 분석하였다. 분석한 데이터는 6σ분석용 소프트웨어를 사용하여 아크 개시 성공률과 주요 파라메타의 상호관계를 알아보았다. 아크개시 특성 평가에서는 초기 아크 개시 후 1초 동안의 파형에서 한번이라도 아크 끊김이 발생하면 실패로 간주하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.1은 CTWD변화(15mm, 25mm)에 따른 아크 개시 후 1초 동안의 모니터링 파형을 나타낸 것이다. CTWD가 커질수록 아크 개시부의 아크 끊김 현상이 심하게 나타나므로, 평균전류는 감소하고 평균전압과 평균저항은 증가하게 된다.

Fig.2는 CTWD 변화에 따른 아크 개시 성공률과 저항의 관계를 나타낸 것이다. CTWD가 커지면 아크 개시 성공률은 감소하고 저항은 증가하였다. CTWD가 커질수록 와이어 돌출길이는 길어지고 와이어가 휘어질 가능성은 높아져서 와이어의 강성이 작아진다. 강성이 작아진 와이어는 모재표면에 닿을 때 쉽게 휘어지기 때문에 접촉력이 감소하여 아크 실패로 이어지기 쉽다. 또한 CTWD가 증가함에 따라 와이어 돌출길이가 커지면 와이어의 저항으로 인해 전압강하가 생겨 아크 양단의 전압이 작아져서 아크길이가 제대로 확보되기 곤란하기 때문에 아크 끊김이 쉽게 생긴다. CTWD 20mm이 내에서의 아크 개시 성공률은 80%이상이었지만 20mm이상이 되면 아크 개시 성공률은 급격히 감소하였다. CTWD 10mm일때의 아크 개시 성공률은 100%이었지만, 노즐과 컨택팁에 스페터가 많이 부착할 가능성이 있다.

Fig.3은 6σ를 이용하여 CTWD 변화에 따른 전류에 대해 공정능력을 분석한 것이다. CTWD 15mm의 전류 산포에 대한 평균치(μ)와 표준편차(σ)를 계산하여 이 값을 이용하여 USL(평균치+6 σ), LSL(평균치-6 σ)을 구하고, 다른 CTWD에 대한 전류 산포를 비교 하였다. CTWD가 20mm로 커지면 전류는 산포가 커지고 그 산포의 평균치(μ)도 감소하였다. 따라서, 단기공정능력 Cp는 1.13

장기공정능력 Cpk는 0.49로 되어 불안정한 공정 즉, 불안정한 아크개시 특성을 보임을 알 수 있다.

Fig.4는 CTWD변화에 따른 전류, 저항의 Cp, Cpk값들의 변화를 나타낸 것이다. CTWD가 증가함에 따라 전류, 저항 Cp값은 감소하고 있다. 이는 단기공정능력지수 Cp<2.0, 장기공정능력 Cpk<1.5로 되므로 불안정한 공정이라 할 수 있다. 여기서, CTWD가 10mm인 경우는 저항을 기준으로 판단하면 매우 우수한 공정으로 간주할 수 있지만 전류를 기준으로 판단하면 Cp=2.65, Cpk=0.43으로써 불안정한 공정으로 평가된다. 이것은 전류의 산포는 작지만(작은 σ) 평균치가 CTWD=15mm(기준값)에 대한 평균치 보다 크게 증가하므로, $k=(|T-\mu|/3\sigma)$ 가 커져서 Cpk(=Cp(1-k))는 감소하게 되었다. 따라서 CTWD=15mm를 기준으로 정했을 때 이 값이 변하므로 생길 수 있는 공정 불안정을 정량적으로 평가할 수 있는 근거를 확립하였다.

Fig.5는 흑피 상태, 스패터 부착 방지액을 도포한 상태, 장기간 사용으로 구멍이 마모된 팁을 사용한 상태에서 용접한 전류, 저항의 산포를 비교한 것이다. 여기서, 마모된 팁과 스패터 방지 액을 사용한 경우는 아크 끊김이 가끔 발생하고 아크가 불안정하여 전류는 감소하는 쪽으로 크게 변하고, 저항은 크게 증가하는 경향을 보였다.

Fig.6은 Fig.5와 같은 실험결과로서 6σ 기법에 의해 전류에 대한 공정능력을 분석한 것이다. 정상적인 흑피 상태에 비해 마모된 팁과 스패터 부착 방지액을 도포한 경우에는 산포가 커지고(큰 표준편차) Cp값이 작아져서 아크 개시특성이 불안정한 것을 알 수 있다.

4. 결론

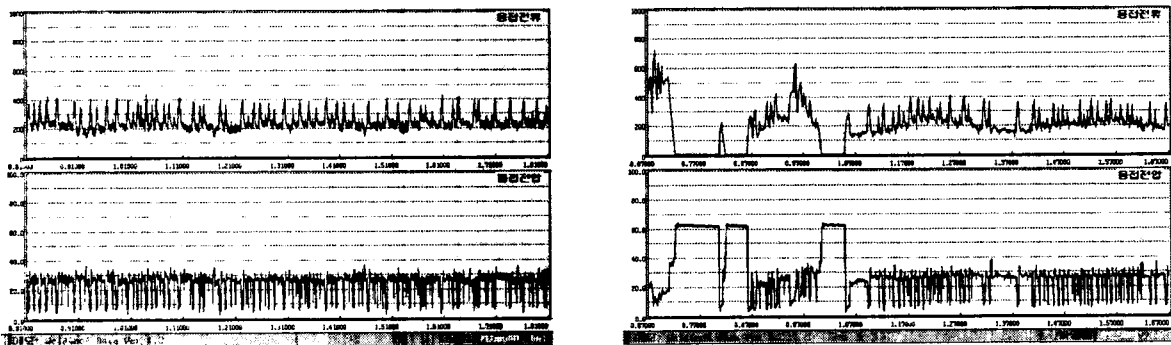
용접조건과 모재 표면상태에 따른 아크개시 특성을 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기준이 되는 용접조건과 정상적인 모재의 표면 상태에서 벗어남으로서 아크 개시특성이 불안정하게 되는 경향을 6σ 기법에 의해 정량적으로 평가 할 수 있는 방법을 확립하였다.
- 2) 본 실험의 조건에서는 CTWD가 20mm이상으로 되면 아크개시 특성은 급격히 나빠졌다.
- 3) 마모된 팁과 스패터 부착 방지액을 도포한 경우는 깨끗한 흑피 상태보다 아크개시 특성이 불안정해졌다.

Table.1 Experimental condition for arc starting test

Constant welding condition		Surface condition of base metal
Current	250A	Black rust* / Anti-spatter
Voltage	25V	CTWD : 10, 15*, 20, 25, 30 mm
Speed	60cm/min	Contact tip
Shield gas	Ar80%-CO ₂ 20%, 25 l/min	New tip*, Used tip

* Welding condition for anti-spatter test



(a) 15mm (1sec)

(b) 25mm (1sec)

Fig.1 Waveforms by the different CTWD (250A, 25V, 60cm/min)

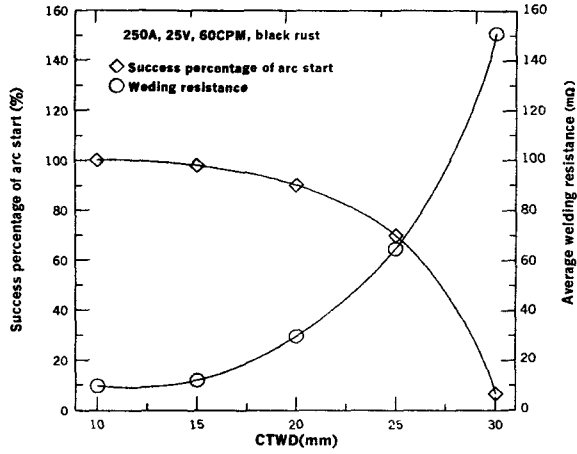
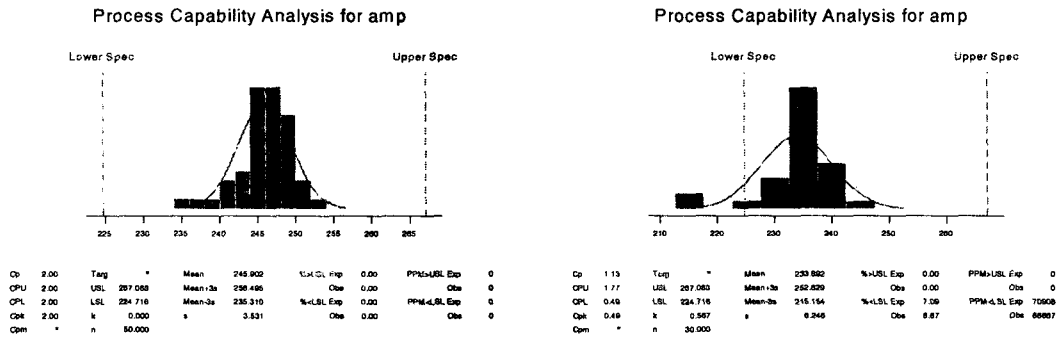


Fig.2 Success percentage of arc start and welding resistance to CTWD



(a) 15mm

(b) 20mm

Fig.3 Distribution of welding current as the different CTWD by 6σ analysis (black rust)

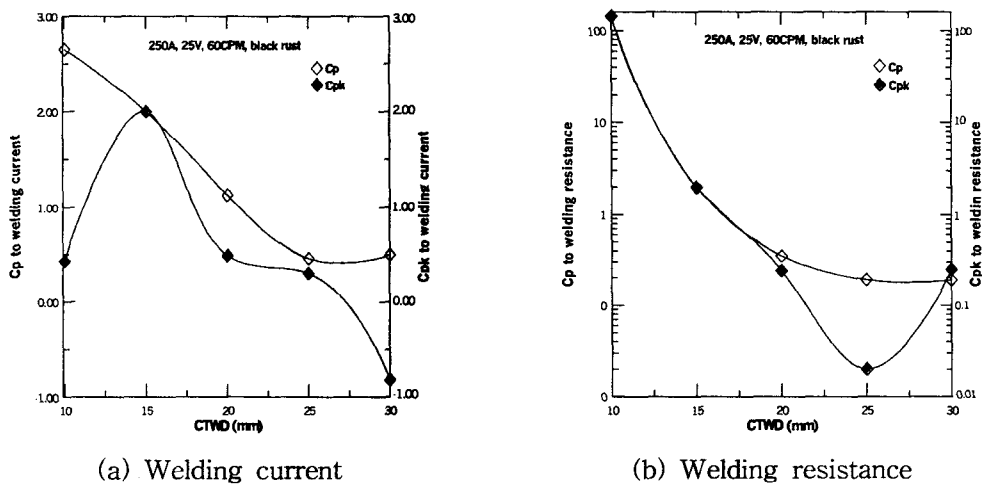
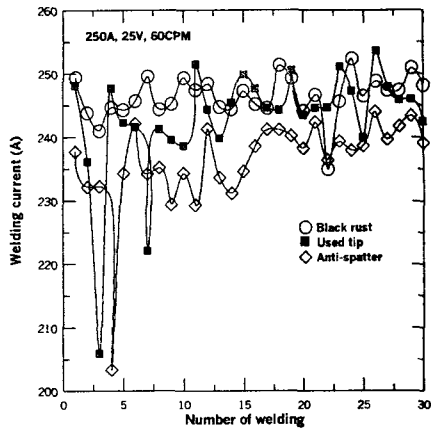
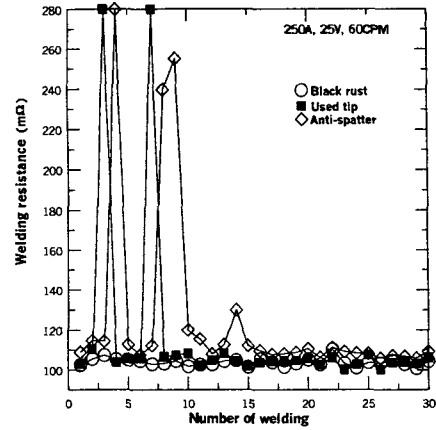


Fig.4 The relation of CTWD and Cp, Cpk to welding current and resistance

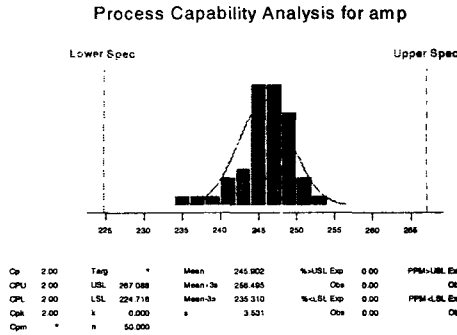


(a) Welding current

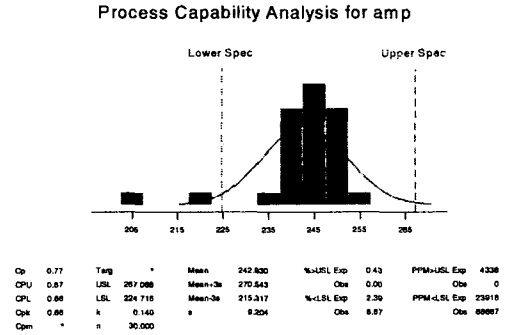


(b) Welding resistance

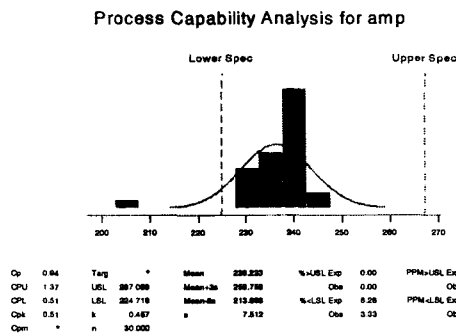
Fig5. The variation of welding current and resistance to base metal surface condition



(a) Black rust



(b) Used tip



(c) Anti-spatter

Fig.6 Distribution of welding current as the various surface condition and new tip by 6σ analysis