

## 저항용접기의 SPATTER방지에 대하여

### The Prevention of Spatter for Resistance Welder

(株)起亞精機 機工部  
Machinery Dept.,  
Kia Precision Works

#### 1. 머리말

저항용접은 에리후 톰슨(Elihu Thomson)이 1877년에 처음 개발하였으나, 1920년 이후부터 보급이 시작되어 1935년경부터 수요가 증대되었는데, 초기에는 Butt 용접을 이용한 전선접합과 넓게는 레일의 용접에까지 보급되었었다.

저항용접은 접합하려는 부분에 압력을 가할 때 발생하는 저항발열을 이용하여 용접을 하는 것인데, 두 금속을 접촉시켜 그 면에 수직으로 압력을 가해 놓고 여기에 대전류를 흘리면 접촉부분은 급격히 온도가 상승하고 연화되어 반응용 상태로 되며 가해지고 있는 기계적 압력에 의해서 두 금속체는 밀착된다. 이때 전류를 끊으면 그 부분이 교화되어 용접이 된다.

이 경우 용접부분만 발열하는 이유는 접촉 저항과 저항의 온도계수 때문이며, 먼저 접촉 저항에 의해서 접합부분의 온도가 높아지면 이 부분의 저항이 증가하고, 그 결과 온도가 더욱 상승하고 따라서 저항도 증가된다. 이와 같은 상승 작용이 반복되어 한곳이 집중적으로 가열되면 마침내 모재는 용융점에 도달하여 접합이 이루어진다. 이러한 용접에서 저항용접의 용접전류를 조절하는 용접트랜스는 중요한

기능으로서 교류전압을 올리거나 내리는 일을 하며, 가압력은 두개의 금속을 밀착시키는 역할을 하는데, 이 때 용접에 필요한 시간제어는 가변저항의 저항치를 변화시킴으로서 콘덴서의 충전속도를 변화시키는 방법으로 시간을 제어하지만, 이 시간이 적합하지 못하면 스파타(Spatter)가 발생된다. 스파타는 전극이 하강하기 이전에 전류가 흐를 때, 용접 모재에 충분한 가압이 이루어지지 않은 상태에서 전류가 통하므로 발생하는 초기 스파타와, 전극이 상승할시에 전류가 끊어지지 않은 상태일 때 발생하는 통전후기 스파타가 있는데 이 때 용접모재는 불량이 된다.

이와 같은 불량을 감소시키기 위한 일환으로 용접작업 후의 자료관리를 시행함으로써 불량품 해소에 응용하고자 한다.

#### 2. 저항용접기의 용접전류조절

일반적으로 용접기를 사용자에게 제공할시에는 일반공작기계와는 달리 양호한 제품이 생산될 때까지 최종적인 용접전류를 조정해가며 산정하고 있다. 이와 같은 용접전류의 조정에는 용접트랜스의 1차 탭을 절환하는 방법과, 1차측에 접속한 단권트랜스의 탭을 절환하는 방법 및, SCR을 이용해서 위상

제어를 하는 방법 등이 사용되고 있다.

### 2.1 탭 전환방법

그림 1은 용접트랜스의 1차전선에 여러개의 탭을 설계해놓고 이것을 절환함으로써 전류를 조정하는 것이다.  $N_1/N_2$ 을 변화하면 (1차전압  $V_1$ , 2차회로의 임피던스  $Z_2$ 의 경우) 2차전류는  $N_1/N_2$ 에 반비례하여 커진다. 이 경우 권선비가 적은 탭에 전압을 가하면 고전압이 유기되므로 주의해야 되며, 권수  $N_{12}$ 의 탭에 1차 전압을 가하면 권수가 제일 큰 탭  $N_{11}$ 에서는( $N_{11}/N_{12}$ )  $V_1$ 의 전압이 유기된다. 다시 말하면 탭의 변화로 전류제어를 연속적으로 할 수 있다.

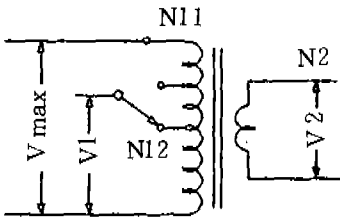


그림 1

### 2.2 위상제어방법

이그나이트론이나 SCR은 전류의 개폐장치로 사용되는 동시에 전류의 크기를 제어하는 제어소자의 구실을 하고 있다.

이그나이트론은 수은정류기의 일종으로서 스테인레스강의 2중 구조로 되어 있으며 그 사이에 물을 흘려 냉각시킨다(안쪽의 진공용기 가운데 양극과 수은 음극의 선단이 수은 속에 잠겨 있다). 이그나이트에 100V~150V의 전압을 가하면 10~15A의 전류가 흐르게 되고 이그나이트와 수은과의 접합부에서 음극점이 생기며, 이 부분에 전자가 방출되고 이 전자에 의해서 관내의 수증기가 이온화됨으로써 도전 상태가 되며 양극-음극간에 주전류가 흐른다. SCR은 이그나이트론의 기능을 반도체화한 것으로서 이그나이트와 흡사한 게이트(Gate)가 있는데 여기에 신호를 가함으로써

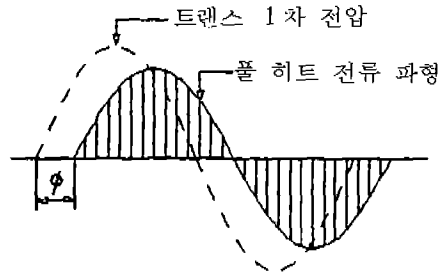


그림 2

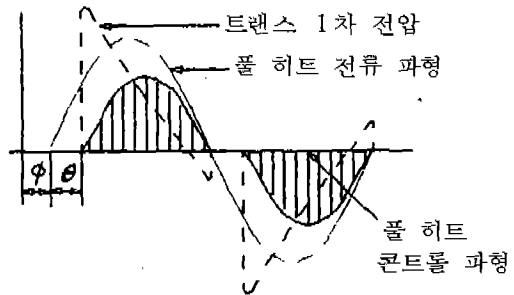


그림 3

주전류를 제어한다. 그림 2는 이그나이트론이나 게이트에 가하는 신호를 전원전압에 대하여 역율각  $\phi$ 만큼 늦게 점호한 경우로서 전류는 연속적으로 정현파가 된다. 이것을 폴히트라 한다.

그림 3은 점호하는 시기를 역율 각  $\phi$ 에서  $\theta$ 만큼 늦은 트랜스의 1차전압과 전류를 표시하고 있다.

그림과 같이 점호위상을  $\phi$ 보다 늦게 하면 용접트랜스의 1차측에 전압이 걸리지 않는 기간이 발생한다. 그 결과 트랜스에 흐르는 전류가 불연속적으로 되어 전류의 피크(Peak)치도 적게 된다. 점호위상  $\theta$ 를 크게 해도 전압의 휴지 기간이 증가되어 전류의 크기가 적어진다. 이와 같은 전류제어법을 위상제어 혹은 히트콘트롤이라 한다. 위상제어는 점호위상을 변화하게 하는 일에 따라서 트랜스에 가해지는 전압의 실효치를 변화하여 전류를 제어하는 방법으로 점호위상의 실효값을 다이알에 의해서 변화하므로 연속적으로 전류를 조정할 수 있다.

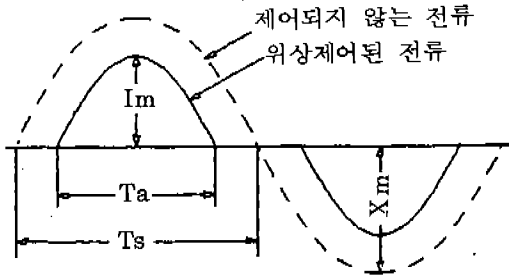


그림 4.

위상제어된 전류의 실효치(그림 4)는 다음과 같다.

$$\text{전류실효치} = I_m / \sqrt{2} \cdot \sqrt{T_a / T_s}$$

단,  $T_s$  : 교류의 1/2 사이클

$T_a$  : 통전 시간

$T_m$  : 피크치

### 3. 저항용접기의 통전시간제어

저항용접에 있어서 통전시간이 부적합하면 실제 용접시에는 전극이 하강하기 이전에 용접전류가 흐르게 되며, 용접모재에 충분한 가압이 이루어지기도 전에 통전됨으로서 스파타가 발생된다. 시간제어는 그림 5와 같이 트랜지스터를 이용한 회로의 스위치에 의해서 가변저항(VR)과 콘덴서(C)가 직렬이 되게 접속하게 되면 콘덴서의 충전시간만큼 지난후에 트랜지스터(TR)가 동작하게 된다. 따라서 릴레이(CR)가 작동하게 되며, 가변저항의 저항치를 가변시킴에 따라서 콘덴서의 충전속도가 변화된다.

이와 같은 방법으로 각종 신호를 제어하지만 최근에는 용접 전원전압에서 신호를 검출 받아 교류전원의 주파수를 연산하여 각종 동작을 하는 디지털방식이 많이 이용되고 있다. 그러나 디지털방식은 시간의 오차가 발생하지 않으므로 매우 정확하지만 고가이며 회로구성이 복잡하다. 용접에 있어서 시간제어는 그림 6과 같이 초기 가압시간(Squeeze Time), 용접 시간(Welding Time), 보지시간(Holding Time)으로 나누어지며, 초기 가압시간이란 용

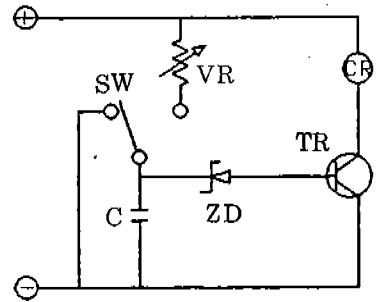


그림 5

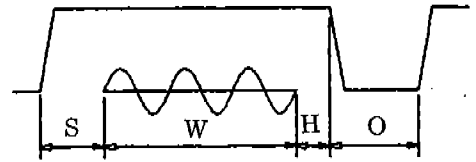


그림 6

접을 실시하기 위해 전극이 하강하기 이전까지의 시간을 말하며, 용접시간은 피용접재에 실제로 전류가 통과되는 시간 즉 주전원 개폐기가 닫혀있는 시간이며, 보지시간은 통전의 흐름이 끝나고 전극의 상승이 개시되기 이전까지의 시간을 말한다.

### 4. 저항용접기의 전극가압력

용접전류와 가압력은 밀접한 관계가 있는데 용접전류가 커진만큼 가압력도 커지지 않으면 용융 나게트(Nugget)가 억제되지 않고 스파타와 기포 등의 결함이 발생하게 되며, 용접전류가 작아진 만큼 가압력도 작아지지 않으면 발열이 작게 되며 용착부족이 발생된다. 저항용접의 전류( $I$ )와 전극가압력( $F$ )과의 관계는 일반적으로 다음과 같이 성립되며,

$$F = K \cdot I^n \quad (n : \text{정수})$$

단, 연강판의 스폿트용접에서는 일반적으로

$$F = 2.75 \times I^2 \times 10^{-6} \text{ (Kgf)}$$

의 결과가 된다. 전극의 가압하는 형식은 수가압, 공기압, 유압, 전동가압 등의 방법이 있

지만 주로 공기가압력을 사용하고 있으며, 가압 실린더의 이동가이드의 습동저항 등에 의한 가압력은 다음과 같이 계산되어진다.

$$F = (P \cdot A + W) - \mu a P \quad (1)$$

단,  $P$ : 공기압

$W$ : 가동부 중량

$a$ : 정수

$A$ : 피스톤면적

$\mu$ : 마찰계수

전극을 하강하는 상태는 공기압이  $0 \rightarrow$  최

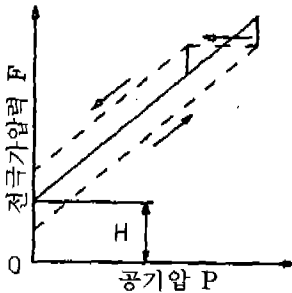


그림 7

대  $\rightarrow 0$ 과 같이 변화되어지며 그림 7은 식(1)의 결과로서 마찰에 의한 전극가압력의 변화를 나타낸다.

### 5. 저항용접기의 스파타방지에 관하여

스파타발생 원인으로서는 피용접물(재료)의 재질과 표면상태 즉 흑피, 산화물 먼지, 페인트 등의 불순물에 의한 저항발열로 인한 것과 판-전극 사이의 나쁜 통전의 원인이 되어 발생되는 통전중의 스파타가 있다.

#### 5.1 전극팁(Tip)의 재질에 의한 스파타 방지

전극재료로서는 일반적으로 Cd·Cu, Cr·Cu, Be·Cu 등이 사용되어지나, 팁재료의 경도는 깊이 고려하지 않고 있는데 Cr·Cu의 로크웰경도는 일반적으로 30 이하의 것이 사용되고 있다. 그러므로 팁 한개당 생산제품이 적정수준이 지남에 따라 스파타가 발생되며, 주기적으로 전극팁을 교환해 주어야 한다. 전극팁의 조건으로는 열전도를 그리고 재질의 경도를 높여 줌으로서 전극팁의 수명

도표 1 저항 용접용 전극재료

종 류	판두께 (mm)	기계적성질			도전율 IACS % (20°C)	참 고				
		인장강도 Kgf/mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	경도 H <sub>RB</sub>		고온경도		적 용 예		
					온도 (°C)	H <sub>B</sub> (φ 5 mm/125kg)				
1종	棒	25이하	42(412)이상	20이상	65이상	80이상	250	50이상	Al 합금용	Cd·Cu
		25~50	39(382)이상	25이상	60이상					
	板	25이하	42(412)이상	20이상	55이상					
		25이상	35(343)이상	25이상	50이상					
2종	棒	25이하	46(451)이상	15이상	75이상	70이상	400	55이상	연강 저합금강용	Cr·Cu
		25~50	42(412)이상	15이상	70이상					
	板	25이하	46(451)이상	15이상	70이상					
		25이상	39(382)이상	15이상	65이상					
	鑄物	—	32(314)이상	12이상	55이상					
3종	鑄鍊品	—	이 상	9이상	90이상	45이상	—	—	스테인레스	Co·Be
	鑄物	—	60(588)이상	5이상	90이상	—	—	—	내열강용	Cu
4종	鑄鍊品	—	99(971)이상	—	33이상	20이상	—	—	특수용도	Be·Cu
	鑄物	—	63(618)이상	—	33이상	18이상	—	—	—	—

을 연장시킬 수 있는데 일반적으로 도표 1 과 같은 전극재료를 선택하는 것이 좋으며, 피용접재의 불순물을 제거하여 불순물에 의한 저항발열이 없도록 하는 것이 좋다.

### 5.2 통전시간의 부적당으로 인한 스파타 방지

저항용접시에 초기가압시간과 용접시간 및 보지시간의 제어는 타이머에서 행하여지며 타이머의 프로그램은 그림 8과 같다.

여기에서 초기가압시간이 짧으면 스파타가 발생하므로 피용접물의 용접조건표를 참고하여 적당한 사이클로 맞추고 용접 결과를 확

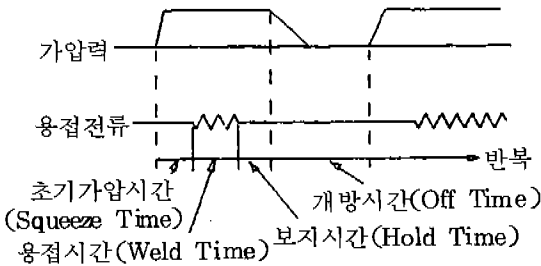


그림 8

도표 2 연강판 스폿 용접 조건표

판 두께		전 극		최소 피치	최소 LAP	최 량 조 건 (A Class)				
		max $\phi d$	min $\phi D$			통전시간	가압력	용접전류	Naget 경	전단강도
mm	in	$\phi$ mm		mm		Cycle	kgf	A	$\phi$ mm	kgf
0.4	0.016	3.2	10	8	10	5	115	5,200	4.0	180
0.5	0.021	4.8	10	9	11	6	135	6,000	4.3	240
0.6	0.024	4.8	10	10	11	7	150	6,600	4.7	300
0.8	0.031	4.8	10	12	11	8	190	7,800	5.3	440
1.0	0.040	6.4	13	18	12	10	225	8,800	5.8	610
1.2	0.047	6.4	13	20	14	12	270	9,800	6.2	780
1.6	0.062	6.4	13	27	16	16	360	11,500	6.9	1,060
1.8	0.070	8.0	16	31	17	18	410	12,500	7.4	1,300
2.0	0.078	8.0	16	35	18	20	470	13,300	7.9	1,450
2.3	0.094	8.0	16	40	20	24	580	15,000	8.6	1,850
3.2	0.125	9.5	16	50	22	32	820	17,400	10.3	3,100
4	0.158	11.0	19	66	30	50	1,000	19,000	11.6	4,200
5	0.197	12.7	22	88	44	70	1,300	21,200	14.5	6,600

인하면서 시간을 조정하여야 하며, 통전이 끝나고 전극이 상승하기 전까지의 시간으로 피용접물이 응고되어 용접이 끝나지만, 용접전류가 끊어지기 전에 전극이 상승하면 스파타가 발생하며, 피용접물에 충분한 용접강도를 얻을 수 없으므로 주의하여야 한다. 도표 2는 연강판 스폿용접의 피용접물 두께에 따른 용접 조건표이다.

도표 1의 데이터는 피용접재료로서 열간 압연후의 연강판을 사용했을 때로서 항장력 30 ~ 31 kg/mm<sup>2</sup>에 상당하며, 그림 9의  $\phi d$ 의 공차는  $\pm 0.4$ mm, 열전도를 75%, 록크웰경도는 75이며 L은 도표 2의 최소랩을 가리키고 이 치수이하일 때는 적정강도가 나오지 않으며 이상일 경우에는 나쁜 상황을 유발시킨다. 그리고 통전시간은 60Hz인 경우의 사이클로 표시된 것으로서 50Hz의 전원으로 용접할 때에는 도표 2의 5/6로 시행하면 된다. 2개의 다른 판을 용접할 때 판 두께의 비가 1:3이 내일 때는 박판측에凸전극을 사용하는 것이 기본이지만 근본적으로 판두께의 비가 1:4이 내로 용접을 하여야만 요구하는 용접을 얻을 수 있다.

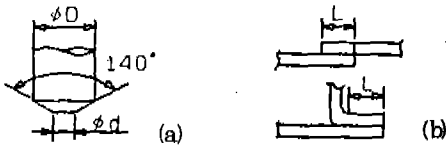


그림 9

화하여 실험한 결과이다.

이는 그림 11에 보는 것과 같이 가압력과 스파타 발생 한계전류와의 관계를 나타낸 것으로 가압실린더의 마찰특성에 관계없이 1개의 곡선으로 표현되어지고 있다. 이는 전극팁의 움직임을 억제하여 통전중에 가압력을 증가하면 할수록 스파타 발생의 폭이 커진다는 것을 의미한다.

6. 스폿트용접 결함결과와 원인

스포트용접에 있어서 스파타로 인한 용접결과와 그에 대한 원인을 도표 3에 표시하였다.

도표 3

용접결과	원 인
용접물 경도 부족(나게트 경 과소)	1. 용접전류 부족 2. 통전시간 과다 3. 전극가압력 과다
용입불량	1. 전극 선단경 과다 2. 용접전류 부족
용접후 경도 불일정	1. 전원전압이 변동한다. 2. 피용접물의 용합이 불합리
용접시 언더 컷	1. 전극팁 선단현상의 성형 2. 상하전극이 어긋남 3. 전극팁이 통전시 미끄러진다. 4. 피용접물이 전극팁에 수직이 되지 않는다.
과대한 용접 파임	1. 용접전류 과대 2. 전극가압력의 부적당 3. 전극팁 선단경이 적다.

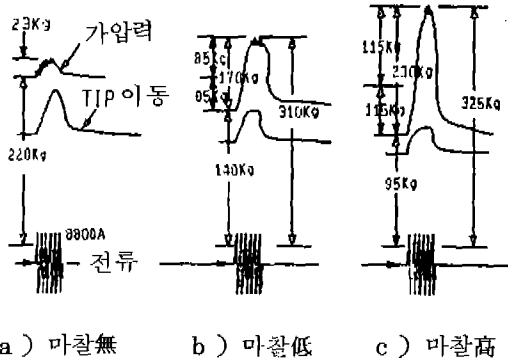


그림 10

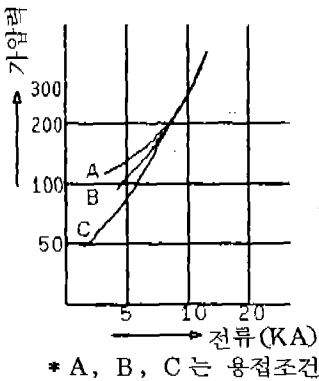


그림 11

5.3 전극가압장치의 영향으로 인한 스파타 발생

스파타 발생 전류는 저항에서 나타난 용접 조건 외에도 전극가압 장치의 이동이 다른에 의해서도 영향을 받는다. 이것은 판에 걸리는 순수 가압력과 압력 게이지상에 나오는 외관상의 가압력과의 차이가 있기 때문이다. 그림 10은 가압 실린더의 마찰력을 여러가지로 변

7. 맺 음 말

국내의 자동차 제작은 짧은 기간에 상당한 생산수준을 이룩하였지만, 경험과 기술축적은 그 성장세를 따르지 못하고 있는 것이 사실이며, 또한 일본의 경우처럼 업체 서로간의 기술 및 정보교환이 활발하지 못하고 근본적으로는 모

든 기술부분의 기초이론이 부족함을 인정하지 않을 수 없다.

이러한 관점에서 용접기의 스파타발생에 대한 용접현상 및 대책을 조사하여 기술적으로 응용하고자 하며, 이에 필요한 강도해석의 기준을 설정하는 것도 시급한 과제라 아니할 수 없다.

### 참 고 문 헌

1. RWMA ed: "Resistance Welding Manual", Revised ed.(1948), Resistance Welder Manufactures
2. 中材, 小材, 森本:저항용접 용접전서 7 (1979), 産報
3. 中材, 小材, 森本:저항용접 용접전서 8 (1979), 産報