

**研究論文**

## 박판 강재의 컨덴서 용접성에 미치는 용접변수의 영향

김기철\* · 이목영\* · 임태진\*\*

### Effect of Process Parameters on Condenser Discharge Weldability of Thin Gauge Steel

K. C. Kim\*, M. Y. Lee\* and T. J. Lim\*\*

**Key Words** : Resistance welding, Condenser discharge welding, Projection welding, Coated steel, Welding parameter monitoring

#### ABSTRACT

Effect of process parameters on the quality of condenser discharge weld for coated sheet steels was discussed. The welding specimens were coated with pure Zn of 20/20 g/m<sup>2</sup> in the production line. Direct measurements of welding parameters such as the discharge current, the pressures and the voltage drop across the electrodes were carried out with welding process monitoring system. High speed camera was also utilized to analyze the weld formation process. Test results indicated that the relation between weld strength and applied energy was stabilized at the acceptable welding heat input range. It was thought that the acceptable welding heat input should be redefined based on the monitored data because the calculated value of the welding heat input could hardly be utilized if the discharge condition was changed. Mechanical test results and high speed photographs showed that expulsion deteriorated the weld quality and the strength at the same time especially when the size of the spatter was large enough to carry the molten metal, which should form the nugget, out of the welding spot. Results also demonstrated that the discharge current should be applied at the appropriate time during the process because sufficient nugget was not produced if the time was deviated from the optimum range.

※ 1997년 4월 8일 접수

\* 정회원, 포항 산업과학연구원 접합가공연구팀

\*\* 비회원, 한국용접공업주식회사

## 1. 서론

컨덴서용접은 에너지효율이 높고 용접부 품질이 우수하며 특히 용접 열의 집중도가 좋아서 표면처리 강재, 알루미늄 및 동 혹은 그 합금등과 같이 열 및 전기 전도도가 높은 소재의 용접에 적합한 용접 공정으로 알려져있다<sup>1,2)</sup>. 또한, 컨덴서용접은 기본적으로 적은 용접에너지를 사용하는 기술이기 때문에 용융부가 좁아 용접에 의한 변형이 적고, 외관이 깨끗할 뿐만 아니라 제어해야하는 공정변수가 비교적 단순하여 자동화가 용이하므로 자동차 부품산업, 가전산업 등에서 그 적용 범위가 넓어지고 있는 추세이다. 그러나, 이 용접법은 기존의 저항용접과 돌기용접법을 혼합한 형태로 이용되는 경우가 대부분이므로 용접하고자하는 소재의 전기적(고유저항) 특성, 표면의 산화층 형성 및 그 성질은 물론 표면상태에 따라서 주열 발열을 일으키는데 필요한 총 저항과 그 저항치의 동적 거동 변화가 원인이 되어 용접부형성에 큰 차이를 일으키기도 한다. 뿐만 아니라, 용접장치의 종류에 따른 특성이 컨덴서의 방전과 용접공정변수의 제어에 영향을 주기도하여 결국 용접부의 품질 불균일을 야기시키는 경우도 있다. 이상과 같은 여러가지 요인들을 충분히 이해하고 적절히 제어하므로써 소정의 생산성과 용접부 품질을 얻을 수가 있는데, 종래의 저항용접과 비교하여 용접 압력 부가방법의 차이와 방전시간이 극히 짧고 오직 하나의 펄스 전류만 인가한다는 것이 이 용접법에서 최적 용접조건을 설정하는데 가장 어려움을 주는 요소이다. 본 연구는 가전기기용으로 널리 사용되고 있는 전기아연 도금강재를 사용하여 최적의 컨덴서 돌기 용접 조건을 설정하기 위한 개념의 정립과 용접 공정변수들의 영향 정도를 조사한 것이다. 또, 고속촬영장치와 용접현상 해석 장치를 써서 용접공정의 진행중에 일어나는 물리적 현상을 측정하고 그들과 용접부 품질과의 관계를 확립하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험편

시험에 사용된 소재는 자동차 혹은 가전산업에 사용되고있는 두께 0.8mm의 냉간압연 강재이며, 내식성을 향상시키기 위하여 그 표면에 전기아연 도금 및 인산염 처리를 한 것이다. 표 1은 시험에 사용된 강재의 화학조성과 기계적 특성을 나타낸 것이다. 표에서 알수 있듯이 본 실험에 사용된 강재는 탄소를 30ppm 함유하고 있어 성분상으로 거의 순철에 가까운 가공성 극저탄소 강재였으며 그 표면에는 20g/m<sup>2</sup>의 전기 아연도금 처리를 행한 것이었다. 돌기용접에 있어서 돌기는 용접 전력의 통전 경로로 작용하며 스파터 형성조건 혹은 최종 용접부 품질에도 영향을 미치므로 용접성에서 그 역할이 중요하다. 본 연구에서는 참고문헌 [3, 4]를 근거로 여러가지 돌기 형태를 검토한 결과 그림 1에 나타낸 바와같은 모양과 크기의 돌기를 정밀 프레스로 가공하였다.

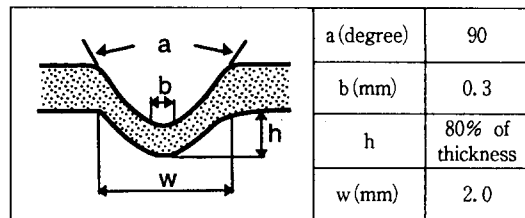


Fig. 1 Shape of a projection after cold forming

### 2.2 용접조건 및 용접변수의 계측

본 실험에 사용된 용접장치는 용접전류, 전압 및 전극가압력을 직접 측정할 수 있도록 소정의 위치에 각종 센서를 장착하여 별도로 제작된 설비를 이용하였다. 용접장치의 최대충전전압 및 축전기의

Table 1. Chemical compositions and physical properties of base metal

C	Si	Mn	P	S	T.S (MPa)	Y.S. (MPa)	Surface condition
0.0030	0.017	0.063	0.015	0.0130	290	159	Zn20/20g/m <sup>2</sup>

용량은 각각 475V 및 27,000 $\mu$ F이었고 출력측 변압기의 권선비는 방전전류의 기울기를 좌우하므로 필요에 따라 선정할 수 있도록 하여 용접품질에 미치는 영향 정도도 검토하였다. 표 2는 용접장치의 주요 사양을 나타낸 것이다. 용접조건은 표 3에 나타낸 바와같이 충전 전압, 용접 압력 및 단압(forging pressure) 그리고 출력 변압기의 권수비를 변화시키는 것으로 하였다. 여기에서 용접압력은 예비시험을 거쳐 3수준을 사용하였고 단압은 3.43kN과 4.12kN에서 실험을 실시하였다. 그림 2는 용접현상 계측장치의 계측 위치와 항목을 나타낸 것으로 본 실험에서는 전술한 용접조건들을 가능한 한 실시간에 실효값으로 계측할 수 있는 방법을 고려하였다. 여기에서 전류센서( $I_w$ )는 비접촉 권선형 센서를 용접기의 2차측에 설치하였고, 하중의 계측은 정밀급 load cell을 본체 구조물에 설치하되 하중의 감도 손실없이 용접 전극이 항상 수평을 유지하여 압축력이 load cell에 언제나 수직으로 작용하도록 고안하였다. 용접부의 형성과 스파터 발생과정을 확인하기 위하여는 고속촬영 기법도 동시에 활용하였는데, 그 때의 기록 속도는 5,000fps 이었으며 모뎀은 5kW급의 펄스형 장치를 이용하였다.

### 2.3 적정용접조건

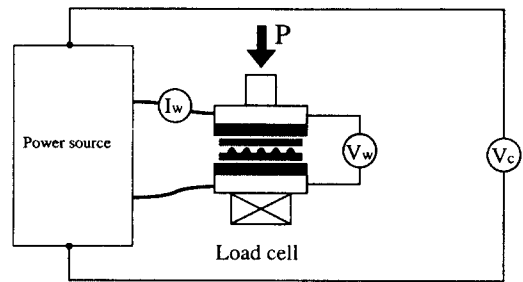
저항 점용접의 경우<sup>9)</sup>와는 달리 커패시터 돌기용접에서는 강도 측면의 적정 용접조건 선정에 관하여 제정된 규정이나 비교표는 조사된 바 없다. 커패시터 돌기 용접부의 건전성 판정에는 주로 peel test 등과 같은 간단한 시험법을 이용하고 그 때의 파단형태(plug파단)를 판정 기준으로 정의하는 방법이

**Table 2.** Major specifications of the welding system

Charge voltage	Capacitance	Welding pressure	Transformer windings
475V max.	27,000 $\mu$ F	5.9kN	10-90(8 steps)

**Table 3.** Welding conditions

Charge voltage (V)	Welding pressure (kN)	Forging pressure (kN)	No. of windings (turn)
100-350	2.45, 2.94, 3.43	3.43, 4.12	20, 40, 60, 80



**Fig. 2** Schematic diagram of instrumentation for the welding parameters

사용되고 있다. 그러나, 파단형태와 용접부 전단인장 강도와는 일관성 있는 상관관계를 나타내지 않을 뿐만아니라, 돌기용접에서의 파단형태는 돌기 모양과 매우 밀접한 관계가 있기 때문에<sup>4)</sup> 파단형태만을 기초로하여 적정 용접조건을 설정하는 것은 무의미하다. 따라서, 본 실험에서는 적정 용접조건 하한치에 대한 정의는 연성비<sup>6)</sup>를 근거로 하여 용접부 강도를 구하는 시도를 하였고, 상한치는 그 강도 및 스파터 발생 조건을 기준으로 설정하였다. 즉, 용접부 인장강도는 연성비(+자 인장강도/전단 인장강도)를 사용하여 환산이 가능하다. 다른 실험 결과<sup>6-10)</sup>에 의하면 본 실험에 사용된 것과 유사한 소재를 저항 점용접할 때의 연성비 범위는 최소 약 0.6에서 최대 약 1.0의 값을 가진다. 연성비가 0.6-0.7 영역은 계면파단에서 plug파단으로 천이되는 조건 즉, 적정 용접 범위의 하한 영역이며 용접부 강도로 환산하면 837N에 해당한다. 한편, 항복이론에 의하면 수직응력은 전단응력보다 크다. 즉, 연성비의 개념으로 볼 때 1.0이상의 값이 요구되나, 박판 강재의 저항 용접부에서 그러한 수치를 얻을 수 있는 확률은 적다. 따라서, 본 실험에서는 용접부의 하한 강도를 연성비 1.0에 해당하는 전단인장 값으로 정의하였다. 또, 적정 용접조건 상부 한계는 용접 과정에서 스파터 발생의 임계조건도 고려의 대상으로 하여 이들 조건이 동시에 만족되는 값으로 정의하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 용접공정의 해석

그림 3은 용접 과정에서 컨덴서에 충전된 전압과 출력측 변압기의 권수비 및 방전 전류의 침투치 상호간에 어떤 관계가 있는지를 나타낸 것이다. 이 실험에서는 용접 전극 사이에 시험편을 장착하지 않은 상태 즉, 이론적으로 부하저항이 "0"인 상태에서 용접 전력을 인가한 것이며 변압기의 권수비가 최대 용접 전류에 어느정도 영향을 미치고 있는지 알아보기 위한 실험 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 충전 전압이 150V, 200V 및 350V로 상승됨에 따라 최대 방전 전류는 각각 10kA 이상의 값으로 증가하고 있다. 그러나, 변압기의 감은 수가 증가함에 따라 충전 전압에 관계없이 최대 방전 전류값이 저하되고 있는데 이러한 현상은 방전 회로상의 인덕턴스 영향<sup>10)</sup>을 받은 것으로 판단된다. 한편, 그림 4는 같은 조건에서 전극 사이에 실제의 시험편을 장착한 다음 전류를 인가한 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서는 충전 전압과 최대 전류 사이에 직선성이 다소 불분명해지고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 무엇보다도 실제 시험편의 고유저항 차이 뿐만 아니라, 용접 위치에서의 동저항 거동과 접촉 계면의 저항에 큰 영향을 주는 산화피막, 기름 등의 오염 또는 판의 평탄도 차이 등 요인이 존재하고 가열 및 용융과정에서 모재의 금속학적 거동<sup>12)</sup>과도 관계가 있기 때문으로 사료되었다. 최대 전류값의 직선성이 변화하는 것 이외에도 이 그림에서 알 수 있는 또 하나의 사실은 변압기의 권수비에 따라 실험 결과의 기울기가 변하는 것이다. 전체적으로 시험편 용접시의 방전기울기는 전극사이의 저항이 "0"인 상태의 방전기울기보다 작은 값을 가지고 있었다. 권수비 60의 경우를 예로 살펴보면 그림 3에서 충전전압 150V 및 250V일 때 최대 방전 전류는 약 20kA 및 약 35kA를 나타내었다. 그러나, 그림 4에서와 같이 시험편을 장착하고 용접전류를 인가시켰을 경우에는 동일한 충전 전압 조건에서 약 13.5kA와 약 26kA를 나타내어 개략적으로 최대 방전 전류값의 하락율이 약 35%에 이르고 있었다. 변압기의 권수비가 매우 작은 경우 (n=20)에는 다른 조건에 비하여 최대 방전

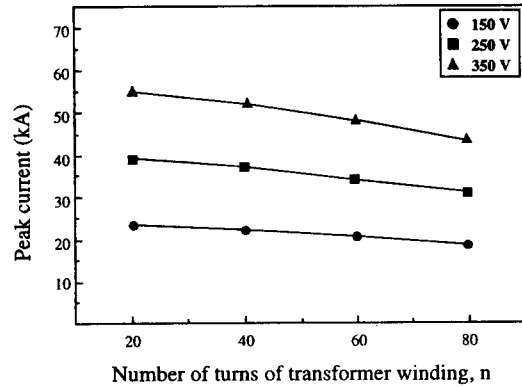


Fig. 3 Relation between peak current and number of turns of transformer winding without specimen loading

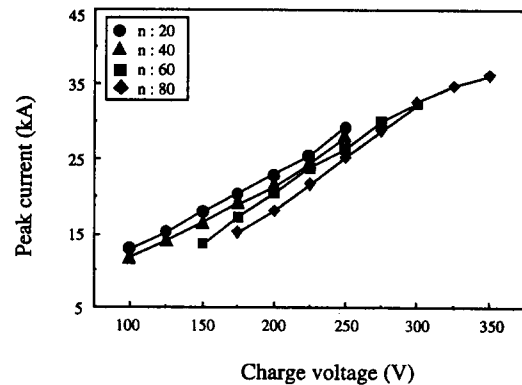


Fig. 4 Relation between peak current and number of turns of transformer winding with specimen loading

전류가 높은 반면 전체 방전 소요 시간이 줄어들고 있는 것이 계측 곡선상에서 알 수 있었는데, 그 결과 용접 초기의 전류 밀도를 과대하게 높일 뿐만 아니라 에너지 인가 시간의 부족에 따른 적정 용접 조건 범위의 축소가 예상되었다. 이와 같은 현상은 권선비가 낮은 경우 동일한 충전 전압으로 용접을 실시한다고 하더라도 스파터의 발생을 쉽게 하는 원인의 하나로 판단되었다. 이상과 같은 실험 결과와 후술하는 용접 에너지의 효율을 토대로하여 볼 때 지금까지 컨덴서용접에서 용접 입열량을 충전 전압과 컨덴서 bank의 총 용량만을 이용하여 구하는 것은 용접 유효 열량이라는 차원에서 볼 때

반드시 재고해야될 사항으로 판단되어 향후 좀 더 깊이있는 연구가 필요함을 알 수 있었다. 그림 5는 컨덴서 용접현상 계측장치를 써서 얻어낸 용접공정 변수들의 거동을 나타낸 것이다. 이 그림에서는 컨덴서 용접에서 고려해야 할 주요한 공정변수인 컨덴서의 충전 전압(a), 용접시 전극에 가해지는 압력(b, 계측장치에서는 SI단위가 아닌 kg로 출력되었음), 전극과 전극간의 전압강하(c) 및 방전 전류 혹은 용접 전류(d) 등이 기록되어 있다. 그림에서는 전체 용접 과정을 표현하기 위하여 시간축을 길게 하였으나, 각 신호의 동작특성을 해석하기 위하여는 특정 시간대를 확대하여 보다 정밀하게 분석하여야 한다. 용접부의 에너지소모, 입열거동, 돌기용융 및 시편으로의 통전에 의한 스파터 발생 등과 같은 컨덴서 용접특성 해석에는 본 실험의 경우 용접시작 후 대략 950ms-1,100ms의 시간대가 중요하다. 실제 용접에서 용접전류는 충전 에너지의 방전과 동시에 매우 빠른 속도로 최대값에 도달한다. 또, 시험편에 전류가 흐르면 소재와 소재가 최초로 접촉하는 용접부(돌기 성형부의 선단)는 주열 발열에 의하여 가열 및 팽창되며, 일정 시간이 경과된 다음 돌기 성형부의 끝 부분은 발열에 의한 내력의 저하와 용접 전극의 압력에 의하여 붕괴 되면서 계속되는 에너지 공급으로 접촉부의 용융과 함께 열간압착되어 용착부 즉, 너깃을 형성하는 과정을 거치게된다. 이 때 만약 과도한 입열 에너지 또는 전류 밀도가 돌기를 통과하게 되면 가열된 금속이 과열 상태를 나타내게되고 돌기 내부에 갇혀있던 공기나 오염물질의 급속한 팽창에 따라서 스파터를 형성하면서 비산해버린다. 이러한, 현상은 용접기 측면에서 볼 때 순간적 부하 변동으로 나타나기 때문에 용접현상 계측장치를 이용하여 기록이 가능하다. 그림 6은 용접시 방전 전류에 의한 전극 압력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 (a)와 (b)는 용접 전극 사이에 시험편을 장착하지 않은 상태에서 압력의 변화를 나타낸 것으로, (a)는 낮은 방전 전류를 인가했을 경우이고 (b)는 비교적 높은 충전 전압으로 방전 전류를 흘린 경우이다. 시간축에서 약 80ms-110ms 위치에 발생된 하중의 변화 신호는 용접기의 전극 가압기구 운동 관성에 의한 것으로 실제용접 하중과는 무관한 것이다. 그림(b)에서 약 240ms 근처에 약간의 굴곡이 보이는데 이 점이 용접 전류를 인가

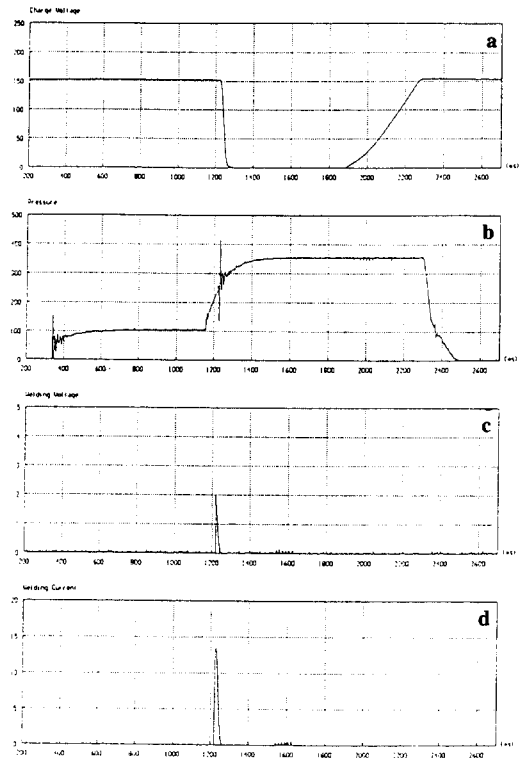


Fig. 5 Anexample of monitored traces in the condenser welding process

한 곳이며, 전극의 크기 (150mm×60mm×25mm)로 볼때 가열에 의한 팽창이라고 볼 수 없는 하중 변화가 발생하고 있는데 이러한 이유는 수 10kA의 대전류 통전시 발생하는 반발력 때문으로 생각된다<sup>13,14)</sup>. 그림 (a) 및 (b)에 의하면 시험편이 없는 상태에서는 큰 전류를 흘리더라도 실제로 압력의 변화는 없는 것으로 간주할 수 있었다. 한편, 그림 (c)와 (d)는 실제로 시험편이 장착된 상태에서 각각 150V 및 250V로 충전된 경우의 시험 결과로서 이 때의 방전 전류는 각각 14kA 및 26kA 내외였다. 여기서 알 수 있는 중요한 사실은 전술한 경우와는 다르게 용접 전류 인가시 큰 하중의 변화가 매우 짧은 시간에 일어나고 있었다는 것이다. 이것은 앞서서도 언급 하였듯이 축전기의 전기 에너지를 방전시킬 경우 접촉부가 주열에 의하여 급속히 가열되면서 부피가 팽창하였기 때문이다. 한편, 컨덴서용접에서 방전 전류의 상승 속도는 시

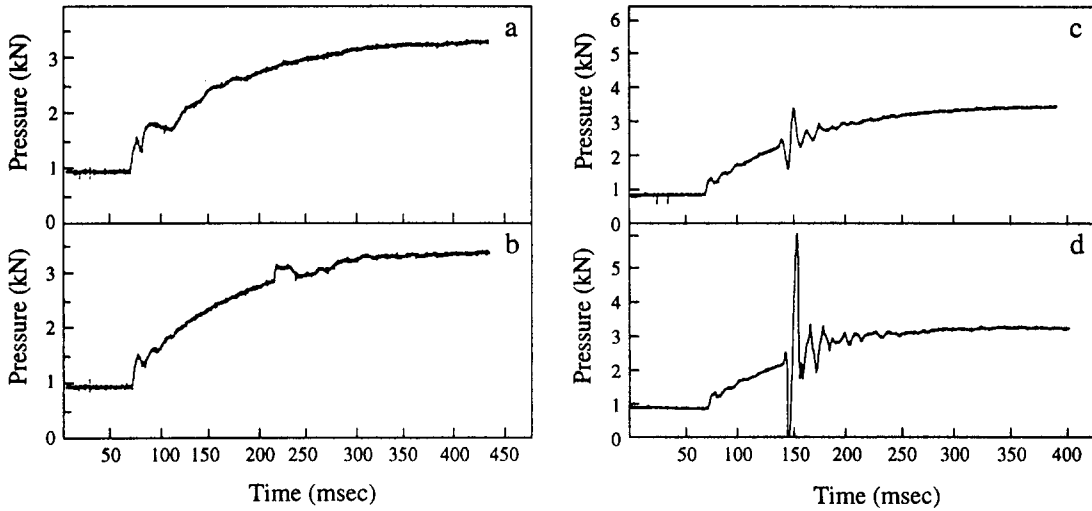


Fig. 6 Pressure change during welding

간축에 거의 수직으로 매우 급격히 증가하고 있기 때문에(그림 5, d) 열팽창 속도 또한 가열 속도에 따라 매우 빠르게 증가할 것은 분명하다. 결과적으로 이러한 압력의 변화는 용접부 품질 정보의 하나로서 매우 의미있는 사실을 말해주는 것이며, 실험 결과 이 파형의 진폭 및 지속시간은 실제 용접 조건과 매우 밀접한 관계를 나타내고 있었다. 따라서, 더 많은 실험 결과와 분석이 행하여질 경우 용접압력 계측결과를 컨덴서용접 품질 제어 요소로서 충분히 활용할 수 있을것으로 사료되었다.

### 3.2 용접조건의 영향

용접부 전단인장강도에 미치는 컨덴서 충전전압의 영향을 그림 7에 나타내었다. 그림에서 충전 전압이 낮은 경우 용접부 전단인장 강도는 충전 전압이 증가함에 따라 급격히 증가하였으나, 충전전압이 150V 이상으로 비교적 충분한 경우(적정 용접 조건 범위)는 충전 전압이 증가하여도 용접부 강도는 큰 변화가 없었다. 그러나, 충전 전압이 더욱 높은 250V 부근에서 용접부 강도는 급격히 감소하고 있었다. 이것은 용융 금속의 비산에 의한 실질적인 용접 에너지의 손실 때문에 너깃 형성에 필요한 입열량을 충분히 활용하지 못하였던 것에 기인한 것으로 생각된다. 충전 전압이 스파터 발생의 임계 전압인 250V 이상으로 증가되면 용접부 강도

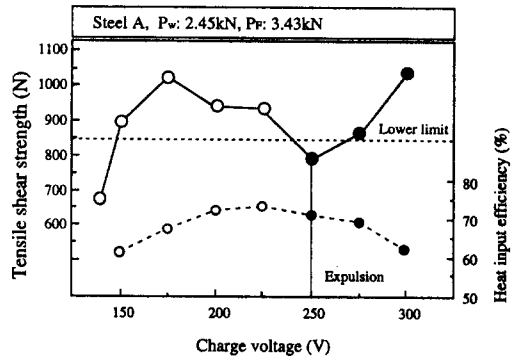


Fig. 7 Relation between weld strength and charge voltage

는 다시 증가되었다. 높은 충전 전압에서는 전류의 최고값이 매우 높으므로 통전 초기에 이미 고온의 미세한 스파터가 발생한다(그러한 사실은 고속 촬영 결과에서 확인되었음). 그러나, 비록 통전 초기에 스파터 발생에 의한 용융금속의 손실이 생기더라도 여전히 너깃을 형성하기에 충분한 에너지가 남아있기 때문에 용접부 강도가 상승하는 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 통상의 저항 점용접 과정과 크게 다른 부분이다. 그림으로부터 알 수 있는 또 다른 유용한 정보는 용접에 이용되는 컨덴서 충전에너지의 효율이다. 그림의 아랫 부분은 충전 전압으로부터 계산된 용접 입열량과 시험

편의 돌기에 인가되는 실제 입열량 분율을 나타낸 것이다. 그림에서 용접 입열 효율은 충전 전압이 낮은 150V에서 60% 가량이었으며, 충전 전압이 증가함에 따라 증가하여 충전전압 220V 부근에서 73%로 최고치에 도달하였다. 이러한 사실은 앞서도 언급하였듯이 용접 입열량의 계산값과 실제값의 차이가 매우 큼을 확인시켜주는 것으로 용접 품질의 안정화를 위하여는 반드시 용접 에너지를 실제로 계측하여야 한다는 것을 알 수 있다. 이 실험에서 관찰되는 또 하나의 현상은 용접 에너지 효율이 적정조건 상, 하한 밖에서는 감소하고 있으나 적정 조건 내에서는 안정한 상태를 보인다는 것이다. 이러한 원인은 소재의 온도 상승에 따른 고유저항 증가 또는 접촉 초기의 발열 현상 등과 관계가 있을 것으로 생각된다. 그림 8은 5,000fps의 속도로 실시한 고속촬영 실험에서 얻어진 시험편의 용접부 단면을 나타낸 사진으로 (a)와 (b)는 각각 적정 입열 조건 및 과입열 조건에 의하여 형성된 용접부이다. 그림 8(b)에 따르면 용접이 진행되는 동안 돌기는 스패터의 형태로 거의 전량이 용융/분출되고 용접부는 열영향부 만이 약간 존재하여 실제로 용접 너깃을 이루지 못하고 있다. 따라서, 본 실험에서와 같이 적정 용접조건 상부한계를 스패터가 발생하는 가장 낮은 입열 조건으로 정의하는 것이 타당함을 알 수 있었다. 저항용접의 원리에 따르면 스패터는 지나치게 높은 접촉부의 전류밀도에 의한 과도한 발열이 원인으로 알려지고 있으며, 주로 용접 전류 및 인가된 압력에 관련된다. 용접 초기의 압력(squeezing 압력)이 증가하면 접촉 면적이 증가하는데 이것은 결과적으로 용접중의 전류밀도 감소를 초래한다<sup>13)</sup>. 컨텐서용접에서 용접 압력을 증가시키면 그림 9에서 보는 바와같이 적정 용접조건 범위는 넓어진다. 그러나, 압력이 지나치게 높으면 통전 초기의 접촉 면적 증가에 따라 전류 밀도가 감소하는 결과를 만들기 때문에 컨텐서용접의 본래 잇점인 고 전류밀도 용접을 저해할 수도 있으므로 주의하여야 한다. 그림 10은 용접부 형성에 미치는 용접 압력의 영향 및 통전 위치의 영향을 동시에 나타낸 것이다. 그림에서  $P_f$  및  $i_w$ 는 각각 용접시의 하중 및 용접 전류의 방전 경로를 표시한 것이며, 용접조건  $P_{wb}$ 는 적절한 가압력에서 용접이 실시되었으나 용접 전류가 부족한 경우의 방전 위치를 나타내고 있다.

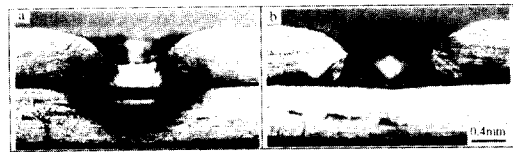


Fig. 8 Macroscopic view of welds which were welded with acceptable condition (a) and expulsion condition (b)

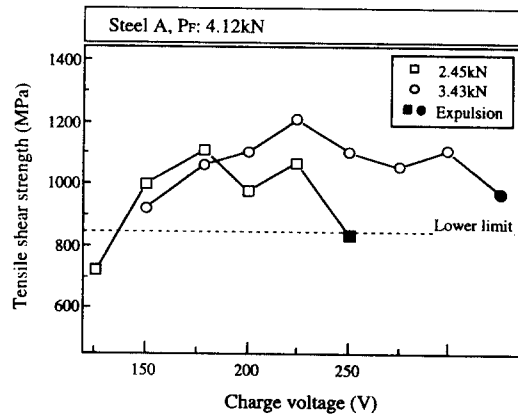


Fig. 9 Effect of applied pressure on the optimum welding range

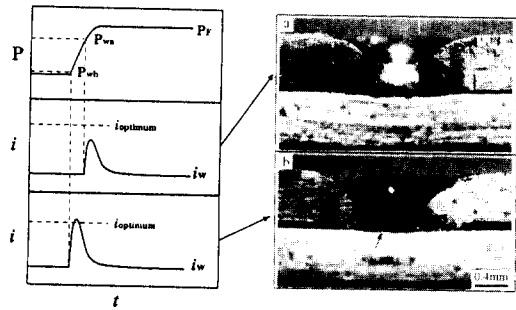


Fig. 10 Effect of welding pressure (discharge point) on weld formation

또,  $P_{wb}$ 는 용접 전류는 충분하지만 용접 압력이 지나치게 낮은 조건을 보여주는 것이다. 사진에서 (a)는 낮은 용접 전류에서 방전이 이루어진 경우이고 (b)는 적정 전류에서 용접을 실시한 것이나 용접 전류를 인가하는 압력 위치에 따른 용접부 형성의 차이는 거의 없다. 용접 에너지가 낮은 경우에는 상, 하 시험편 모두에서 용융이 일어나지 못하

였고, 에너지가 충분하였을 경우에도 지나치게 빠른 시점(실제로는 압력인가 후 약 10ms)에서 용접 전류가 인가 되었을때는 돌기부에서 용융은 일어났으나 하부 시험편에는 표면가열(화살표)에 정상 용접부인 너깃은 형성이 불가능 하였다. 이상의 실험 결과에서 알 수 있듯이 용접에 필요한 에너지가 충분하더라도 부적절한 용접 조건의 조합으로 용접을 실시하므로써 방전 시기를 잘 제어하지 못하면 너깃은 얻어지지 않으므로 소정의 용접부를 얻기 위하여는 적절한 크기의 용접 전류가 필요한 것은 물론이려니와 적정 시점에서 통전이 이루어져야하는 것도 필수 요소임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

산업적으로 매우 중요한 철강소재의 하나인 전기 아연도금 강재를 이용하여 컨덴서 돌기용접 현상을 해석하고 그 결과를 바탕으로 얻어진 결론은 다음과 같다.

충전 전압은 용접 전류량을 결정짓는 핵심공정 요소이며, 용접 압력 및 단압 또한 컨덴서용접의 중요한 변수이다. 용접압력은 전류밀도 변화를 초래하여 스패터발생에 직접적인 영향을 미쳤다. 충전에너지의 방전시 초기 압력이 부족할 경우에는 돌기전단의 접촉면적을 적게하기 때문에 동일한 전류 조건에서도 전류 밀도를 과도하게 높여 스패터를 형성한다. 일단 스패터를 형성하면 통상의 저항용접과 다르게 너깃을 형성해야할 용융 금속이 비산되어 용접부 밖으로 나가버리므로 용접부 강도를 크게 낮추거나 용접이 이루어지지 않게 된다. 반면 초기압력이 과도한 경우 돌기전단의 접촉면적이 증가하여 용접전력의 소모를 증가시킨다. 다점용접시는 입열량부족에 의한 용접불량을 초래하기 쉬우므로 적절한 방전시점 선정이 매우 중요하다. 용접 과정에서 압력의 변화는 실제 용접 입열량과 직접적인 관계가 있으므로 그 진폭과 지속 시간을 적절히 이용할 경우 용접 품질 안정화의 제어 요소로 충분히 활용 가능할 것으로 판단되었다. 컨덴서 용접에서 충전전압으로 계산한 용접 입열량은 계속된 용접전류 및 전압으로부터 환산한 값과 큰 차이를 나타내었다. 그 요인은 분명치 않으나 소재의 고유저항 등 용접 위치에서의 총저

항과 그들의 동적 거동에 기인하는 듯하며 향후 좀 더 깊이있는 연구가 필요한 분야로 생각되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 山口武勇, 佐藤次彦: コンデンサ式点溶接結果の統計的解析(第1報), 溶接學會誌 第44卷 7號 (1975) pp. 608-614
2. 初芳 武美: 最近のコンデンサ式スポット溶接機について, 溶接技術 第31卷 3號 (1983) pp. 9-22
3. 抵抗溶接研究委員會; 抵抗溶接現象とその應用 (II), 溶接學會技術資料 No. 9 (1981) pp. 13-126
4. Hans Polrolniczak and Heinrich Hantsch: Untersuchungen zur Erhaltung der Fertigungssicherheit beim Buckelschweißen unter Berücksichtigung der buckelgeometrie, Schweißen und Schneiden 45 (1993) pp. 20-26
5. JIS Z 3140-1989
6. 상공부: 도금강판별 최적 spot 용접조건 선정 (1992) pp. 33-35
7. 김기철, 이기호, 장래용: 80kg/mm<sup>2</sup>급 고장력 냉연강판의 용접성, 대한용접학회지, 第10卷 1號 (1992) pp. 52-59
8. 신원철, 민준기, 서창제: 아연도 강판의 점 용접성에 관한 연구, 대한금속학회지, 第28卷 11號 (1990) pp. 1010-1015
9. 眞藤正俊, 野村伸吾, 構口孝遠, 田中福輝: 高强度薄鋼板のスポット溶接性, 鐵と鋼 第68卷 9號 (1982) pp. 285-294
10. 山内信幸, 高隆夫, 大井學: 高張力鋼板のスポット溶接性, 溶接技術 第30卷 3號 (1982) pp. 22-26
11. 오리진電氣: 오리진技術ハンドブック, 溶接編
12. D. W. Dickinson, J. E. Franklin and A. Stanya: Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring, Welding Research Supplement, 6 (1980) pp. 170-176s
13. 抵抗溶接研究委員會; 抵抗溶接現象とその應用 (I), 溶接學會技術資料 No. 7 (1982) pp. 990-163
14. 산업과학기술연구소: RIST-94A198 (1995) pp. 88-123