

研 究 論 文

大 韓 熔 接 學 會
第 5 卷 第 3 號, 1987年 9 月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 5, No. 3, Sep., 1987.

Galvanized steel의 점 용접성에 미치는 전극 팁의 영향

柳 炳 吉* · 姜 春 植**

Effects of Electrode Tips on the Weldability of Galvanized Steel

B. G. Ryu*, C. S. Kang**

Key Words : Spot Weldability(점 용접성), Electrode Tip(전극팁), Expulsion(익스펠션), Interface Fracture(계면파괴), Button Fracture(버튼파괴)

Abstract

Effects of electrode tip shapes of spot welding on the galvanized steel have been studied. and the results obtained from this studies are as follows.

- 1) Expulsion had no effect on the shear strength of the specimen but been observed on the tensile strength of the specimen.
- 2) Effect of holding time after welding was negligible when the spot welding supplies enough heat input.
- 3) Depending on the spot welding tip shape it has different weldability. it has better weldability in the order of pointed shape, truncated shape and dome shape. But the effect of cooling was just the opposite of the above order.

1. 緒 論

저항 열을 이용하는 점 용접에 있어서 전극은 용접성과 작업 cost를 결정하는 중요한 인자들 중의 하나이다.

전극의 기본 기능은 고전류를 전도시키고 가압력을 용접물에 전달시키는 기능을 한다. 그리고 용접후 용접부위에서 발생하는 열을 냉각시키는 역할도 한다. 따라서 전극은 열 전도도와 전기 전도도가 좋고 용접부위에 발생하는 고열에도 견딜 수 있을 만큼 충분한 기계적 강도를 갖는 특성을 가지고 있어야 한다.

전극의 가장 일반적인 형태는 one-piece design과 높은 전도도를 갖는 구리 합금으로 만들어지는데 이들 전극은 충분한 전기 전도도를 갖지만 전극 내부로 흐르는 냉각수의 냉각 효과에도 불구하고 전극

팁의 마모가 쉽게 일어나게 된다. 전극의 마모가 빠르면 점 용접성에 미치는 영향도 증가하게 되고 그에 따라 용접 비용도 많이 들게 된다.

현재 전극은 재질이나 디자인 면에서 상당히 개선되어지고 있지만 아직도 국내의 개발은 거의 이루어지고 있지 못한 상태에 있다.

따라서 본 고에서는 RWMA class II의 Cr-Cu 합금의 전극을 사용해서 그 형상에 따른 점 용접성의 차이를 근래에 자동차나 전자 제품 등에 많이 사용되고 있는 Galvanized steel에 대해 조사하여 보고자 한다.

2. 實驗方法

2.1 용접재료

본 연구에서 사용된 재료는 국내에서 시판되고 있

* 現代重工業熔接機術研究所

** 서울工大, 教授

는 일본산 두께 1mm의 hot dipping된 galvanized steel을 사용했다. Table 1은 spectrometer에 의한 모재의 화학성분 분석 결과이고 Table 2는 시험재료의 기계적 성질과 도금층의 상태를 표시한 것이다.

Table 1. Chemical composition(Base metal)

| Material | C | Si | Mn | P | S | Al |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Wt % | 0.0331 | 0.0045 | 0.1391 | 0.0066 | 0.0084 | 0.0047 |

Table 2. Mechanical properties and surface condition

| TS (Kg/mm ²) | YP (Kg/mm ²) | EL (%) | H _{RF} | CT (μm) | C _{AI} (Wt%) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------|------------|--------------------------|
| 35.3 | 32.1 | 38.5 | 38 | 8.9 | 0.12 |

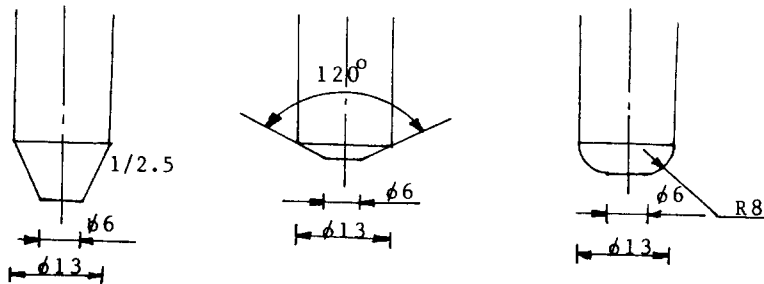
2.2 실험 장치 및 용접조건

본 연구에서 사용된 점 용접기는 형식 PK-PO100의 공압식으로 정격용량이 100KVA 것을 사용하였으며 사용된 용접조건은 Table 3에 표시하였는데 용접 전 유지시간(squeeze time)은 60cycle, 가압력은 240 Kg, 냉각수의 유속은 3l/min으로 일정하게 해서 실시하였다. 여기서 용접시간(welding time)과 용접 전류(welding current)는 순간 전류계로 측정하였으며 가압력은 스트레인 게이지를 사용해서 측정하였다.

Table 3. Welding conditions

| | welding current (KA) | welding time (cycle) | holding time (cycle) |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Optimum welding conditions | 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 | 5, 7, 10, 15, 20, 25 | 12 |
| Weldability comparison | 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 | 15 | 12 |
| Holding time effect | 12 | 15 | 0, 5, 7, 12, 15, 20, 30, 40, 60 |

Squeeze time: 60 cycle, welding force: 240Kg, cooling water: 3l/min



Pointed shape tip Truncated shape tip Dome shape tip

Fig. 1. Electrode tip shapes used in this study.

2.3 실험에 사용된 전극

RWMA(Resistance Welder Manufacturer Association) Class II의 0.8% Cr-Cu 합금으로 된 전극을 모양별로는 점형(pointed shape), 돔형(dome shape), 단말원추형(truncated shape)의 세가지를 사용하였다. 그리고, 각 전극의 구체적인 치수는 JIS-9304 규격에 따랐으며 Fig.1에 나타난 바와 같다.

2.4 용접시험편 제작

전단 강도, 인장 강도 시험편의 치수는 AWS C1.1-66 규격에 따랐는데 전단강도의 시험편은 5개의 접점을 연속적으로 찍어서 중앙부의 3개 접점 중 외관이 양호한 것을 Fig.2와 같은 size로 만들어 실시하였으며 인장강도 시험편은 “+”자형으로 만들었다.

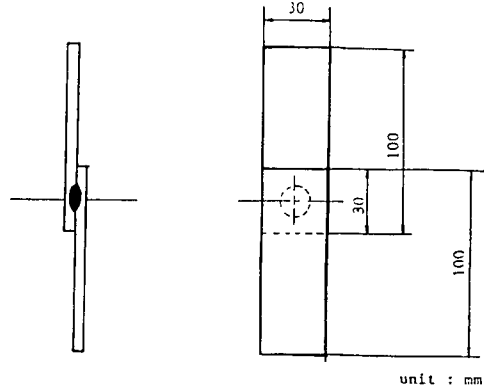


Fig. 2. Tensile shear test specimen.

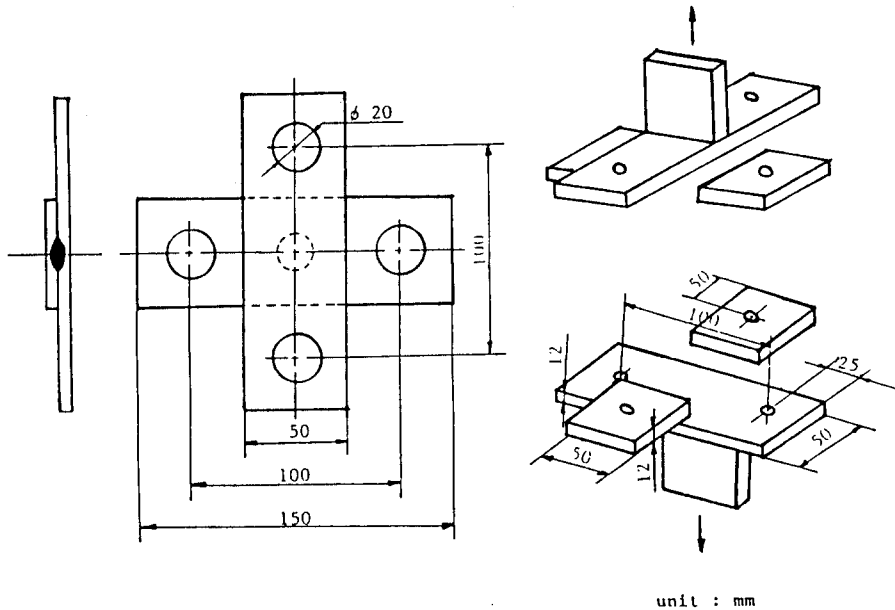


Fig. 3. Cross-Tensile test specimen and Jig.

데 Fig. 3에 표시하였다. 그리고, 전극은 5개의 접점을 찍을 때마다 연마(dressing)하여 계속 사용하였다.

2.5 용접강도 및 경도측정

전단강도 측정은 전정 용접조건 설정 및 각 전극에 따른 용접성의 차이와 용접 후 유지시간(holding time) 등의 영향을 알아 보기 위해 실시하였으며, instron 시험기로 2mm/min 속도로 하여 최대하중을 측정하였으며 인장강도는 전극에 따른 용접성 차이, 용접후 유지시간의 영향 등을 알아보기 위하여 Fig. 2에 나타난 jig를 사용하여 10mm/min의 시험속도로 최대 하중을 측정하였다. 경도는 용접부의 중앙을 잘라서 용접부의 단면을 세워서 mounting한 다음 연마후 각 부위의 경도를 거리에 따라 측정하였는데 Akashi MVE-E 미소경도기를 사용하였다. 이 때의 하중은 10Kg으로 하였으며 하중을 가한 시간은 15초였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 용접전류의 영향

Fig. 4 및 Fig. 5는 용접시간 15cycle, 용접후 유지시간 12cycle로 일정하게 유지한 후 용접전류(6KA-14KA)를 변화시켜서, 그에 따른 전단강도와 인장강

도의 변화를 전극 팁의 모양별로 나타내었는데 용접전류가 낮을 경우에는 점형, 단말 원추형, 돔형의 순으로 전단강도와 인장강도가 높게 나타났었다. 그러나 용접전류가 12KA이상 되는 부분에서의 전단강도는 각 전극에 따라 별 차이가 생기지 않았다(Fig. 4). 이는 충분한 발열이 생기기 때문에 용착부(nugget)의 크기가 전극 팁의 모양에 따라 별차이가 없기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 인장 강도의

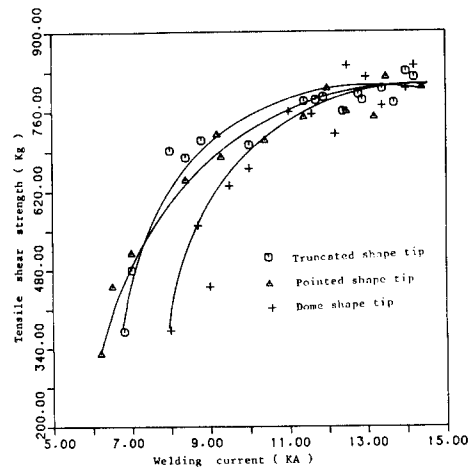


Fig. 4. Tensile shear strength by the electrode tip shape. W.T. 15(cy), H.T. 12(cy).

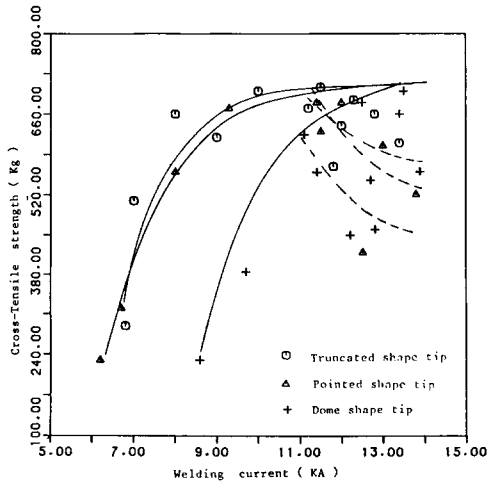


Fig. 5. Cross-Tensile strength by the electrode tip shape. W.T. 15(cy), H.T. 12(cy).

경우는 12KA 이상에서 그 편차가 아주 심하게 나타남을 알 수 있는데(Fig.5) 이것은 익스펠션(expulsion)이 용접부에서 발생하기 때문인 것으로 생각된다(ref. 1, 2).

즉, 익스펠션이 발생하게 되면 전단강도에는 별

영향을 미치지 않았지만 인장강도에는 상당한 영향을 미쳤음을 알 수 있다(ref. 1, 3).

Photo. 1은 인장강도에 상당한 영향을 미치는 익스펠션 발생을 설명하는 것인데 단말 원추형의 전극으로 용접한 것이다.

Photo. 1(a)는 12KA, 15cycle로 용접하였을 경우의 단면인데 용착부 내부의 압력이 전극에서 가해지는 가압력과 거의 비슷하게 되어서 용착부 주위의 압접부가 소성 변형되어서 금속 유동(metal flow)이 일어난 것을 나타내는 사진이고 Photo. 1(b)는 13KA, 15cycle로 용접한 것인데 이 경우 모재가 연화(softening)되어 용착부의 용융 금속이 판사이의 압접부를 뚫고 바깥쪽으로 분출되어 익스펠션이 생긴 것을 나타내고 있다. 위의 사실을 놓고 볼 때 익스펠션은 입열량의 증가에 따른 용착부의 압력 증가로 인해 생기는 것으로 생각된다(ref. 4). 그러나 Fig. 5에서 보면 돔형이 점형이나 단말 원추형보다 그 편차가 심하게 나타났음을 알 수 있다. 그 이유는 돔형의 전극 팁이 concave 형태이기 때문에 용접할 때 즉, force가 가해질 때 flat한 다른 전극들보다 피용접재를 쉽게 소성변형시켜서 판과 판사이를 벌여지게 하는 들뜸(looseness)과 같은 결함을 쉽게 발생시키기



(a) 12 KA, NT 15(cy)



(b) 13KA, WT 15(cy)

Photo. 1. Expulsion appearance in the welding zone. Truncated shape tip.



Pointed shape tip Truncated shape tip Dome shape tip

Photo. 2. Contact area between sheet to sheet with electrode tip shape. 7KA, W.T. 15(cy), H.T. 12(cy)

때문에 용착부내의 용융 금속이 쉽게 외부로 흘러나와 익스펠션을 발생시키기가 훨씬 쉬웠기 때문인 것으로 생각된다.

그리고 전단 강도나 인장강도가 전극 팁의 모양에 따라서 차이가 생기는 것은 피용접재에 대한 전극의 접촉면적 차이에 의한 것으로 생각되는데, Photo.2는 이를 살펴보기 위해서 7KA, 15cycle의 용접 전류와 용접시간에 대해서 일어난 제면 파괴(interface fracture)면을 각각의 전극 팁의 모양에 따라 관찰한 것이다. 접형이나 단말 원추형의 경우는 판과 판사이의 접촉면적에는 큰 차이가 없고 용착부가 파괴된 흔적이 보인다. 그러나 듬형의 경우는 그 접촉면적이 넓고 파괴된 흔적도 보이지 않는다. 이것은 용착부가 제대로 형성되지 않았음을 나타낸다. 따라서 듬형이 접형이나 단말 원추형보다 용접강도가 낮은 것은 전극의 접촉면적이 크기 때문에 용융된 도금층의 아연 피막에 의한 전류밀도 감소현상이 접형이나 단말 원추형보다 심하게 받기 때문인 것으로 생각된다.

따라서 Galvannealed steel을 용접할 때는 도금층의 아연 피막의 영향을 적게 받는 접형이나 단말 원추형이 적절함을 알 수 있다.

3.2 용접후 유지시간의 영향

앞절에서 살펴보았듯이 접형과 단말 원추형의 경우 전단 및 인장강도가 거의 비슷한 경향을 나타내고 있기 때문에 전극 팁의 모양에 따른 용접후 유지시간의 영향은 단말 원추형과 듬형에 대해서만 실시하였는데 실험방법은 아래와 같다.

즉, 12KA, 15cycle의 용접 전류와 용접시간 즉, 입열량이 충분할 경우에 용접후 유지시간이 0에서 60cycle로 변할 때의 전단 강도와 인장강도의 변화를 Fig.6과 Fig.7에 표시하였다.

전단 강도는 듬형의 경우 720-850Kg, 단말 원추형의 경우 722-785Kg, 인장강도는 듬형의 경우 540-667Kg, 단말 원추형의 경우 750-640Kg 범위내에서 아주 불규칙적으로 변화하였다.

이러한 사실로 미루어 보아 입열량이 충분할 경우 용접후 유지시간에 의한 용접강도의 변화는 거의 무시할 정도인 것으로 생각된다. 이것은 용접부의 용착이 충분히 되어 용접강도의 변화에는 별다른 영향을 주지 못했기 때문인 것으로 생각된다.

Photo.3은 용접후 유지시간을 0cycle로 하였을 경우 용착부의 상태를 관찰한 것인데 void가 용착부내

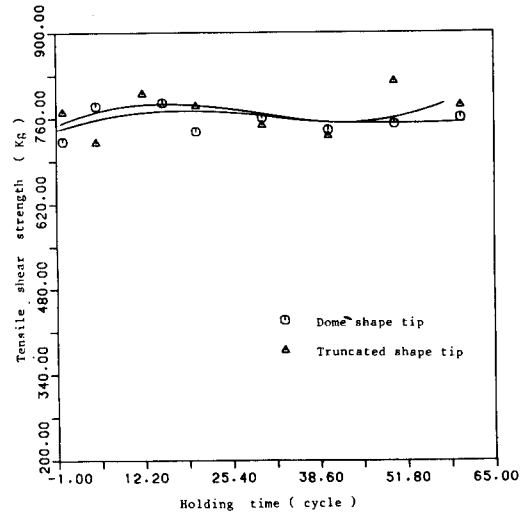


Fig. 6. Tensile shear strength with the holding time. W.T. 15(cy), H.T. 12(cy).

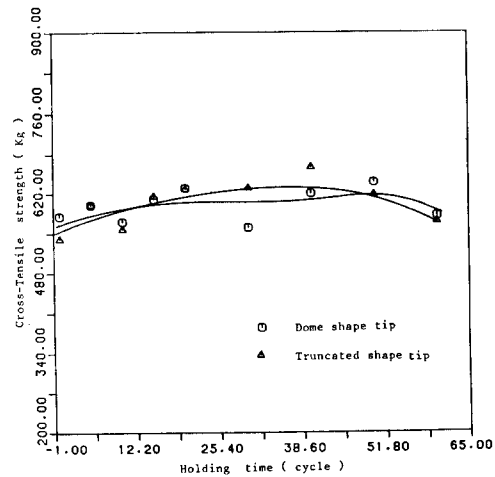


Fig. 7. Cross-Tensile strength with the holding time. W.T. 15(cy), H.T. 12(cy).



Photo. 3. Void in the nugget
12KA, W.T. 15(cy), H.T. 0(cy)

에 존재하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 5cycle 이후에는 이러한 void가 거의 관찰되지 않았다. 이런 void가 형성된 것은 용융상태에 있는 용착부를 전극으로 충분히 가압해서 냉각시켜 주지 못했기 때문인 것으로 생각된다. 용착부내에 생긴 void는 입열량이 충분할 경우에는 인장강도와 전단강도와 같은 정적 용접강도에는 별 영향을 미치지 않았지만 피로 강도와 같은 동적 용접강도에는 상당한 영향을 미치므로 용접후 유지시간을 충분하게 해 주는 것이 좋을 것으로 생각된다.

3.3 경도 측정

Fig.8는 용착부 중앙으로부터 0.5mm 간격으로 경도치를 각각의 전극에 대하여 측정한 결과인데 돔형의 전극이 가장 큰 변화를 나타내고 있음을 알 수 있다.

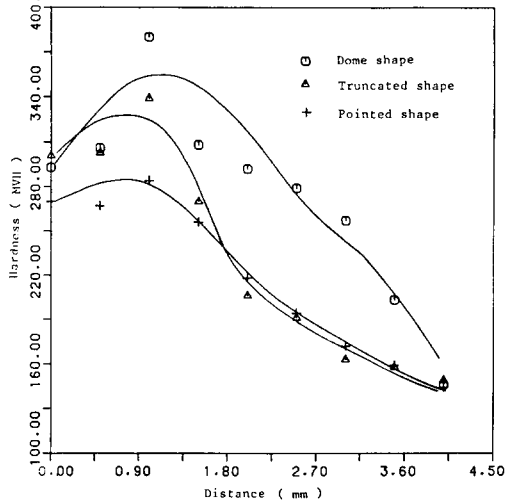


Fig.8. Hardness change by the tipshape 10KA W.T(cy), H.T 12(cy).

이러한 결과로 미루어 보아 돔형이 접형이나 단발 원추형의 전극보다 냉각효과가 우수한 것으로 생각된다. 왜냐하면 점 용접시 발생한 열의 방출 속도는 식(1)(ref. 5,6)과 같이 나타낼 수 있다. 즉

$$dQ/dt = K \cdot D \cdot dT/dx \quad (1)$$

dQ/dt : 열 방출속도 K : 열전도도

D : 접촉 단면적 dT/dx : 온도 기울기

전극 팁에서의 냉각은 주로 전극을 통한 conduction과 냉각수의 convection에 의해 이루어지기 때문인데 본 실험에 사용된 전극은 그 모양에 관계없이 전극 팁 끝부분에서 냉각수의 접촉면까지의 거리는 같기 때문에 전극 팁 모양에 따른 냉각효과의 차이는 용

접합과 접촉면적의 차이 때문인 것 같다. 즉, 돔형의 전극이 용접물과의 접촉면적이 가장 넓기 때문에 용접부에서 발생한 열을 가장 빨리 냉각시키기 때문에 Fig.8와 같은 결과가 나온 것 같다.

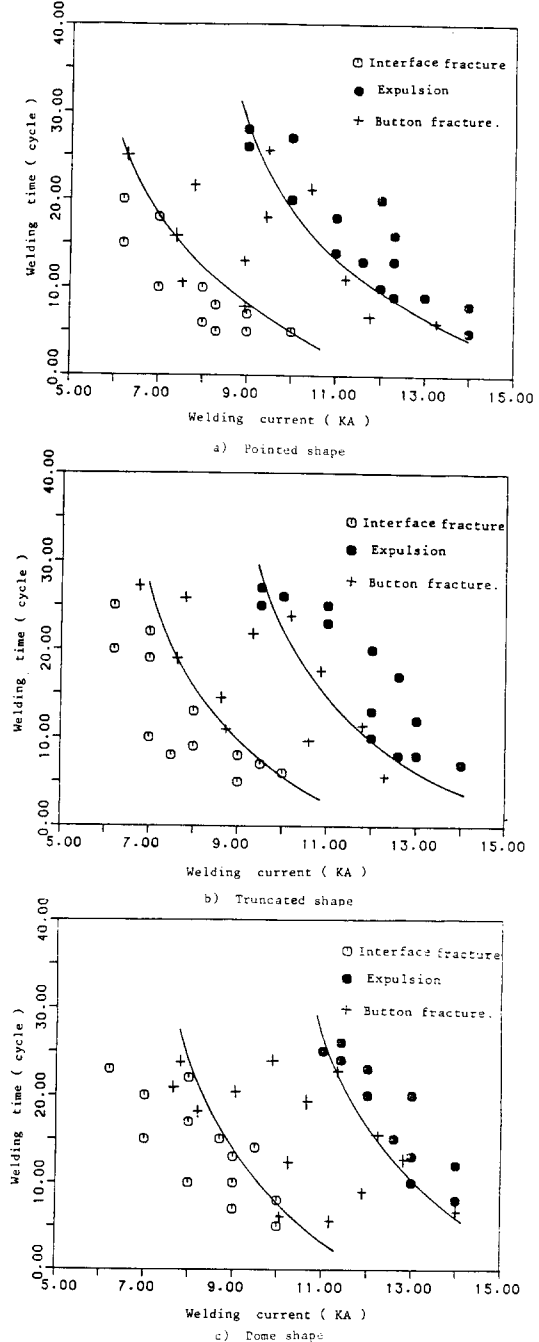


Fig.9. The effect of welding time and welding current on electrode tip shape.

3.4 적정 용접 조건

Fig. 9는 용접시간과 용접 전류에 대해서 각 전극 팁의 모양에 따른 적정 용접조건을 설정한 것이다.

하한선은 전단 강도 시험시 파괴형태가 버튼(button)형태로 파괴가 일어나는 선으로 잡았는데(ref. 1, 7), 이때의 전단강도는 전극의 종류에 관계없이 거의 540Kg 정도였으며 그때의 용착부 지름은 4mm ϕ 정도로 측정되었다. 그리고, 상한선은 익스펠션이 일어나기 시작하는 선으로 잡았는데 압입비(indentation)가 0.25 이상되는 것으로 처리하였다(ref. 3).

Fig. 9를 살펴보면 접형에서 돔형으로 갈수록 적정 용접조건 범위가 오른쪽으로 이동해 감을 알 수

있는데 이것은 3.1 항목에서 설명한 것과 같이 접형에서 돔형으로 갈수록 용융된 아연 피막의 영향으로 판과 판사이의 접촉면적이 넓어져서 상대적으로 용접부의 전류 밀도를 낮추어 주기 때문에 용착부의 생성 및 성장이 느려지기 때문인 것으로 생각된다.

따라서 전극 팁의 모양에 따른 점 용접성은 특히 경제적인 면에서 접형, 단말 원추형, 돔형의 순으로 우수한 것으로 생각된다.

Photo. 4는 용접부의 파괴형태를 분류한 것인데 (a)는 용착부내에서 판과 판사이의 경계부분에서 일어나는 계면 파괴를 나타낸 것이고 (b), (c)는 전단 강도 시험시 나타나는 버튼 파괴형태를 나타낸 것이다.



(a)



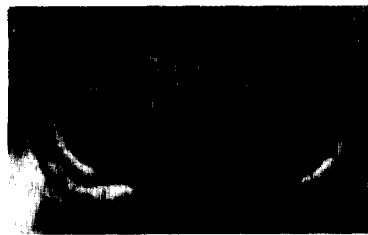
(d)



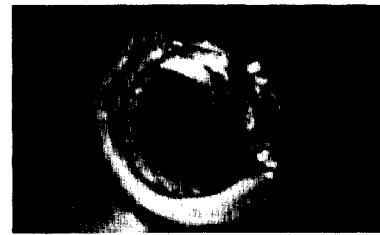
(b)



(e)



(c)



(f)

Photo. 4. Fracture mode in the welding zone.

그리고 (d), (e), (f)는 인장강도 시험시 나타나는 버튼 파괴형태로 나타낸 것이다. 이들 사진에서 살펴보면 용착부 지름이 작을 경우에는 계면 파괴의 형태로 나타나지만 클 경우에는 열 영향부나 열 영향부와 모재부의 복합된 파괴형태로 나타남을 알 수 있다. 그것은 용착부의 크기가 작을 경우에는 열 영향부의 폭이 클 경우보다 넓어지기 때문인 것으로 생각된다(ref. 8). 본 실험에서 사용된 시험편의 두께는 1mm 밖에 되지 않기 때문에 용착부에서 생긴 열이 거의 대부분 전극을 통해서 빠져나가고 시험편을 통해서 전도되는 열도 아주 빠른 속도로 빠져나가기 때문에 용착부의 발열에 의한 영향은 거의 무시할 정도이다. 즉, 점 용접시 생기는 열 영향부는 용착부의 발열에 의한 영향보다 재료를 용융시키기에는 충분치 않는 통전로 내부의 발열에 의한 영향 때문에 입열량이 적을수록 즉, 용착부의 크기가 작을수록 열 영향부가 넓게 나타나는 것으로 생각된다.

용착부의 지름이 작으면 용착부의 결합 강도가 떨어지기 때문에 계면 파괴의 형태로 나타나지만 어느 정도 크기를 갖춘 상태에서는 열 영향부에서 주로 파괴되었다. 그러나 용착부가 아주 클 경우는 Photo. 4의(c), (f)와 같이 열영향부에서 파괴가 먼저 일어난 다음 모재 쪽으로 전파되어 연성파괴의 양상을 보였다.

즉, 용착부의 직경이 클수록 열 영향부의 영향을 덜 받는 것으로 보아 우수한 용접성을 얻기 위해서는 적정 용접 조건중에서 가급적 큰 용착부를 얻을 수 있도록 용접조건을 설정하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

結 論

두께 1mm의 0.12% Al-Zn으로 도금된 galvanized steel을 점 용접한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 용접부에 익스펠션이 생기면 전단 강도에는 별로 영향을 미치지 않지만 인장강도에는 상당한 영향을 미쳤다.

2) 입열량이 충분할 경우 용접후 유지시간이 전단 및 인장강도에 미치는 영향은 거의 무시할 정도였다.

3) 점 용접성은 점형, 단말 원추형, 돔형의 순으로 우수하였다. 그러나, 냉각효과는 그 반대였다.

參 考 文 獻

1. M.Sudo, S.Nomura, T.Mizoguchi, Y.Tanaka: 鐵と鋼, 第68卷(1982), 第9號, p.1411.
2. E.A.Green And J.J. Riley: Welding Journal, Oct., 1963, p.466-S.
3. AWS Cl.1-66(1966).
4. K.Nakane and Y.Torii: Trans. of Japan welding society Vol.5, No.1 April 1974.
5. P.R. Mallory: Resistance Welding Data Book, 3rd Edition, 1944, Co. Inc., India police 6.
6. J.Heuschkel: Welding Journal Oct., 1947, p.560-S.
7. 神戸製鋼技報: vol.30, No.1, p.93.
8. E.A.Green And J.J. Riley: Welding Journal, Oct., 1963, p.466-S.
9. AWS: Welding Hand Book, Welding and Brazing,
10. N.Yamauchi and Taka: 日本熔接學會誌, 第1卷(1983), 第3號, p.53.