

# 전류 및 가압력 특성 분석을 통한 알루미늄 합금 저항 스폿용접에 관한 연구

A Study of Resistance Spot Welding of Aluminum Alloys Based on the Current and Electrode Force Characteristics Analysis

\*염중현, 유지영, #이세현

\*Joonghyun Yeom, Jiyoung Yu, #Sehun Rhee(srhee@hanyang.ac.kr)

한양대학교 기계공학과

Key words : Delta spot Welding, Aluminum alloy, Lobe curve, Characteristic Analysis

## 1. 서론

온실가스 감축을 위하여 수송분야에서는 경량화를 위한 여러 가지 노력들이 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 특히 자동차 산업에서는 경량화를 통한 차량의 성능 향상을 추구하기 위하여 알루미늄, 고장력강, 마그네슘 등을 적용하고 있는 사례가 늘어나고 있는 추세이다. 이 중 알루미늄은 연강에 비하여 비중이 1/3에 불과하고 충격흡수율 등이 뛰어나 차체의 많은 부분에서 적용이 시도되고 있다. 하지만 알루미늄은 전극오염, 기공 발생, 낮은 고유저항 등의 특성에 의하여 용접하기 매우 까다롭다는 단점을 가지고 있다<sup>2)</sup>.

알루미늄 저항 스폿용접을 위한 선행연구로는 Han이 직류용접과 교류용접이 용접성과 전극팁의 수명에 미치는 영향에 대해 연구하였고<sup>3)</sup>, Cho는 단시간 대전류 통전을 통한 방법과 전극 오염 방지를 위한 방법에 대해서 연구하였다<sup>4)</sup>. Lim 등은 공압건 대신 서보건을 이용하여 용접공정 중에 2단 가압을 가해주는 방법으로 용접부의 크랙을 제거하였다<sup>5)</sup>. Z. Li 등은 알루미늄의 표면상태에 따른 전극의 오염에 관한 연구를 수행하였고<sup>6)</sup>, M. Rashid 등은 윤활제가 전극의 수명에 미치는 영향에 대해 연구하였다<sup>7)</sup>.

본 논문에서는 두께 1mm의 Al 6K32를 대상으로 델타스폿용접기를 이용하여 전류와 가압력의 각 변수들의 특성을 분석하고 로브곡선을 구하였다. 그리고 실험계획법에 의거하여 최적용접 조건을 도출하고 이를 실제 실험결과와 비교하여 검증하였다.

## 2. 실험장비 및 방법

### 3.1 실험장비

이 연구에서는 Fronius사의 델타스폿용접기를 사용하였다. 이 용접기는 일반 스폿용접기와 달리 전극과 모재 사이에 Process tape을 설치하여 용접과정 중에 추가 저항이 발생되도록 하였다. 이 현상을 이용하여 용접공정 중에 발생하는 열의 제어가 가능해졌고 알루미늄 저항 스폿용접에서 필요로 하는 단시간 대전류 용접 역시 가능해졌다. 또한 Process tape은 분출되는 용융금속이 tape에 부착되게 하여 스패터의 발생 역시 저감시켜주는 역할을 한다.

Process tape에 따라서 용접성은 큰 차이가 발생하게 되는데 본 실험에서는 Fronius사에서 제공하는 모재별 최적 Process tape을 사용하였다.

### 3.2 실험방법

알루미늄 저항 스폿용접에서는 허용강도 이상의 용접강도 확보는 물론 용접부의 표면 및 단면에서 발생하는 기공 및 크랙 등의 결함까지 제거해야 하기 때문에 다양한 변수들의 영향에 대해서 실험을 실시하였다.

실험에 앞서 사전실험을 통하여 알루미늄 스폿용접 시 용접성에 영향을 미치는 8가지의 변수들을 선정하였고 각각의 변수들은 Fig. 1에 나타나있다.

실험결과와 실제 용접공정에서의 적용을 위하여 로브곡선을 도출하였고 Box-Behnken method에 의한 실험계획과

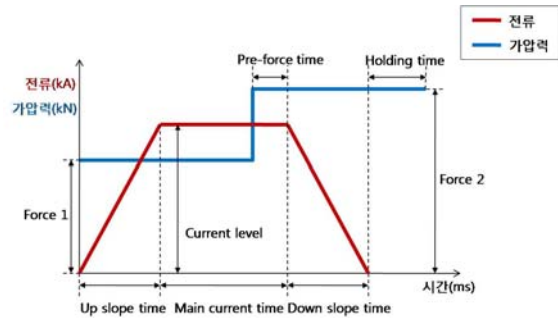


Fig. 1 Variables of Delta spot welding process

Table 1 Experiment conditions of each variable

|                   | 1     | 2     | 3     |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Up slope time     | 0ms   | 50ms  | 100ms |
| Main current time | 50ms  | 100ms | 200ms |
| Down slope time   | 0ms   | 150ms | 300ms |
| Electrode force   | 2kN   | 3 kN  | 4 kN  |
| Pre-force time    | -20ms | 0ms   | 20ms  |
| Holding time      | 0ms   | 50ms  | 100ms |

회귀분석을 이용하여 최적의 용접성을 가지는 조건을 선정 후 실제 실험의 결과와 비교를 하였다. 로브곡선에서의 정상용접 영역은 허용강도 이상의 용접강도는 물론 스패터의 발생 및 용접부의 결함 여부까지 모두 고려하여 선정하였다. 허용강도는 기존의 Self-Piercing Riveting을 이용하여 접합을 하였을 때의 강도인 200kgf로 선정하였다. 전극의 조건은 사전 실험을 통하여 Φ16, R100으로 선정하였다.

Table 1은 각 변수들에 대한 변수 조건들을 나타낸다. 각 변수의 값은 사전실험을 통하여 선정된 적정값을 중심으로 변화시켜주었고 나머지 변수들의 값은 고정시켜주었다.

## 3. 실험결과

Table 2 Result of up slope time test

|          | 0ms       | 50ms      | 100ms     |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Strength | 221.17kgf | 219.54kgf | 186.23kgf |
| Defect   | crack     | x         | x         |

Table 3 Result of main current time test

|          | 50ms      | 100ms     | 200ms     |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Strength | 216.72kgf | 219.54kgf | 219.89kgf |
| Defect   | x         | x         | crack     |

Table 4 Result of down slope time test

|          | 0ms       | 150ms     | 300ms     |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Strength | 212.67kgf | 215.59kgf | 216.46kgf |
| Defect   | porosity  | crack     | x         |

Table 5 Result of electrode force test

|          | 2kN       | 3kN       | 4kN |
|----------|-----------|-----------|-----|
| Strength | 212.67kgf | 186.35kgf | x   |
| Defect   | x         | x         | x   |

Table 6 Result of pre-force time test

|          | -20ms     | 0ms       | 20ms      |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Strength | 224.87kgf | 221.16kgf | 219.54kgf |
| Defect   | crack     | crack     | x         |

Table 7 Result of holding time test

|          | 0ms       | 50ms      | 100ms     |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Strength | 224.81kgf | 220.02kgf | 219.54kgf |
| Defect   | crack     | crack     | x         |

Table 8 Optimal value

| Current level | Up slope time | Main current time | Down slope time |
|---------------|---------------|-------------------|-----------------|
| 17kA          | 20ms          | 100ms             | 300ms           |
| Force 1       | Force 2       | Pre-force time    | Holding time    |
| 1.9kN         | 5kN           | 20ms              | 100ms           |

Table 9 Result of prediction and experiment

| Prediction Strength | Estimated Strength |
|---------------------|--------------------|
| 261.06kgf           | 256.52kgf          |

Table 9에서 회귀분석을 통하여 예측된 강도값과 실제 실험을 통해서 구한 용접강도값이 거의 일치함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

델타스폿용접기를 이용하여 전류와 가압력의 특성을 분석하였고 이를 바탕으로 로보곡선을 구하고 실험계획법을 이용하여 최적조건을 구하였다.

- 1) Process tape에 의하여 추가 저항이 발생하기 때문에 대다수 조건에서 허용강도 이상의 강도를 확보할 수 있었다.
- 2) 용접부의 결함을 제거하기 위한 중요한 변수는 Down slope time, Pre-force time, Holding time 등이 있고 이 변수들을 사용하여 용접부의 결함을 완전히 제거할 수 있었다.
- 3) 각 변수들의 특성을 파악하여 최적변수값을 선정된 결과 넓은 영역의 로보곡선을 구할 수 있었고 실험계획을 통해 예측된 최대강도값과 실제 실험을 통해 구한 용접강도값의 비교를 통해 검증을 하였다.

#### 참고문헌

1. Improving Sustainability in the Transport Sector Through Weight Reduction and the Application of Aluminum, International Aluminum Institute.
2. 박선홍, 박병철, 김영기, 백응률, “이종 알루미늄 합금 용접의 용융부 특성 연구”, 대한용접학회지, 제 48 권, pp. 141~143, 2007.
3. 한용섭, “알루미늄 합금의 점용접에서 용접전류 형태가 용접성에 미치는 영향”, 대한용접학회지, 제 15 권, 제 2 호, pp. 88~89, 1997.
4. 조상명, “알루미늄합금의 저항용접과 철계재료와의 저항 접합 기술”, 대한용접학회지 제 19 권, 제 2 호, pp. 14~22, 2001.
5. 임창식, 장희석, “서보건을 이용한 알루미늄 합금의 저항 점용접”, 대한용접학회지, 제 22 권, 제 4 호, pp. 43~49, 2004.
6. Z. Li, C. Hao, J. Zhang, H. Zhang, “Effects of Sheet Surface Conditions on Electrode Life in Resistance Welding Aluminum”, Journal of American Welding Society, Vol. 86, No. 4, pp. 81s~89s, 2007.
7. M.Rashid, S.Fukumoto, J.B.Medley, J.Villafuerte, Y.Zhou, “Influence of Lubricants on Electrode Life in Resistance Spot Welding of Aluminum Alloys”, Journal of American Welding Society, Vol. 86, No. 3, pp. 62s~70s, 2007.

Table 2에서 충분한 Up slope time이 확보되지 않으면 크랙이 발생하고 과다한 Up slope time은 강도의 저하를 가져오는 것을 알 수 있다.

Table 3에서 Main current time의 변화에 따라 강도의 변화가 매우 작음을 알 수 있다. 하지만 지나치게 긴 시간을 주게 되면 용접부에 크랙이 발생하게 된다.

Table 4에서 Down slope time은 크랙의 제거에 중요한 영향을 미치는 변수임을 알 수가 있다. 강도는 용접 초기에 결정이 되므로 변화가 없지만 Down slope time에 의해서 단면부의 결함이 점차 사라지는 것을 확인할 수 있다.

Table 5에서 가압력이 크면 접촉저항이 낮아지기 때문에 열량 부족으로 인하여 강도가 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

Table 6에서 Pre-force time은 Main current time이 끝나기 전에 2단 가압을 주는 시간으로 Down slope time과 마찬가지로 크랙 제거에 영향을 미치는 변수임을 알 수 있다. 이 현상은 용접부가 용접 초기에 형성이 되기 때문에 Main current time이 끝나기 전부터 너깃부의 응고현상이 시작되어서 크랙 제거를 위해서는 적정 시간의 Pre-force time이 필요하다는 것을 보여주는 결과이다.

Holding time 역시 크랙 제거에 큰 역할을 하는 변수로써 적정 시간 이상의 Holding time이 필요함이 Table 7에 나타나 있다.

Fig. 2는 변수실험을 통하여 얻은 각 변수들의 최적값들을 이용하여 구한 로보곡선이다.

위의 결과를 토대로 최적강도를 가지는 각 변수별 최적값을 구하기 위하여 강도에 영향을 미치는 변수로 판단되는 Up slope time, Current level, Force1 변수를 3수준으로 하여 Box-Behnken method를 통해 총 27회의 랜덤실험을 실시하였다. 실험의 결과를 회귀분석한 결과 Table 8과 같은 결과를 얻었다.

|       |        |        |        |        |        |        |      |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| 4kN   |        |        |        |        |        |        |      |
| 3.5kN |        |        |        |        |        | 205.87 |      |
| 3kN   |        |        | 208.96 | 213.58 | 220.92 | 228.01 |      |
| 2.5kN |        |        | 210.45 | 218.97 | 227.28 | 230.74 | S    |
| 2kN   | 201.54 | 206.35 | 218.53 | 230.69 | 244.37 | S      | S    |
| 1.5kN | 218.35 | 218.65 | 222.13 | S      | S      | S      | S    |
| 1kN   | C      | S      | S      | S      | S      | S      | S    |
|       | 15kA   | 16kA   | 17kA   | 18kA   | 19kA   | 20kA   | 21kA |

Fig. 2 Love curve for optimal test