

# 유한요소법을 이용한 아연도금 강판의 저항 점용접시 너겟의 크기 예측에 관한 연구

한양대학교 대학원 정밀기계공학과 진성희\* 박기영 박일철 엄기원

## 1. 서 론

저항 점용접은 1877년 Elihu Thomson에 의해 발견되었고, 그 이후로부터 판과판을 연결하는 제조공정으로서 광범위하게 사용되었다. 그러나, 저항점용접의 역사가 약 120년이 됨에도 불구하고 현상이 완전히 이해되지 못하고 있는 형편이다.

저항 점용접은 용접봉이나 플러스를 필요로 하지 않고 용접부의 온도가 일반적으로 아아크 용접의 경우보다 낮고, 가열시간도 짧으며, 가열부가 극부적이기 때문에 비교적 모재를 상하지 않고, 용접후의 변형이나 잔류응력이 상대적으로 작아 여러 가지 분야에 걸쳐 많이 이용되고 있으며, 가압의 효과도 용접부의 기계적 성질의 개량등을 기대할 수 있다. 특히 작업속도가 빠르기 때문에 대량생산이 필요한 곳에 적용될 수 있기 때문에 생산이 오래 수행되고 일정한 조건이 유지될 수 있는 생산 산업에서 광범위하게 사용하게 되며 자동차 산업에서 점용접을 가장 많이 이용하고 있다.

해석적인 모델을 통한 저항 점용접공정의 시뮬레이션은 1961년 Greenwood 에 의해 저항 점용접이 유한차분법을 이용하여 처음으로 열전도 모델이 개발 되었고 많은 연구자들이 의해 시도 되었으나 대부분이 주로 열전달 문제를 다루었고 기계-열적 현상의 응답들이 무시되었으며 1984년 Nied<sup>2)</sup> 에 의해 유한요소법을 이용한 기계-열 적인 응답들이 설명되었지만 R형 전극의 경우와 또 완전한 온도분포를 나타내지 못하였다.

한편 자동차 차체의 부식성 때문에 내식성 향상을 목적으로 각종 도금강판의 개발 및 사용이 증가되고 있다. 그리고 이러한 도금강판은 여러가지 성질증 방향성, 도장성, 성형성이 요구되고 있고 특히 용접성 또한 매우 중요시 되고 있다.

도금강판은 내식성 확보도 인해 아연(Zinc)의 도금물질이 사용되며, 이로 인해 방청성 면에서는 우수 하지만 상대적으로 용접성은 악화된다.<sup>1)</sup>

그러므로 본 연구에서는 점점 더 요구되고 있는 아연도금 강판으로 인해 저항 점용접의 사용모재로 선택하게 되었다.

본 논문에서는 저항점용접 공정의 현상을 해석하여 초기 가압상태에서의 응력분포를 예측하고 전극/모재, 모재/모재에서의 접촉면을 계산하여 보다 정확한 용접사이클에서의 경계조건으로써 용접상태에서의 온도분포를 예측 너겟의 크기를 알아내고자 한다. 유한요소 상용프로그램인 ANSYS를 이용 모델을 시뮬레이션하고 해석한 결과값과 실험치를 비교검토 한다.

## 2. 유한요소 모델링

### 2-1. 모델의 형태와 용도

점용접을 순차적으로 시뮬레이션 하기위해 축대칭 유한요소 모델이 1984년 Nied<sup>2)</sup> 에 의해 개발되었다. 여기에서 사용된 유한요소 모델은 여러가지 요소형태로써 구성되었다. 이것은 호환성을 증가시켜 주었고, 이것으로써 이요

소에 또다른 현상을 추가시킬 수 있게 되었다.

이 연구에서는 ANSYS 유한요소 상용프로그램으로 모델을 구성하고, 해석을 수행해내는데 사용되었다. 저항 점용접공정이 유한요소 모델링으로 인하여 다음과 같은 형태와 용도를 갖수 있었다.

모재의 두께와 전극의 형상이 상·하·좌·우 대칭이기 때문에 모델의 1/4만 가지고 모델을 구성 하였다. 해석을 하기위한 요소의 종류는

- 첫째, 응력해석을 하기 위한 요소는 등방성솔리드 요소
- 둘째, 열해석을 하기위한 열-전기솔리드 요소
- 셋째, 전극과 모재의 연결을 위한 인터페이스 요소 들이

다. 저항 점용접의 모델링은 401 결점과 363 요소로 구성되었다.

### 2-2. 경계조건

유한요소모델에 부여한 경계조건은 물체와 그주위의 환경조건에 의한 물리적인 상호관계를 시뮬레이션 한 것으로 구조적인 그리고 열-전기적인 경계조건으로 다음과 같고, 그림 2.1과 2.2에 나타났다.

#### 1) 구조적인 경계조건

- ① 전극부분에서의 하중은 압력으로 가정 한다.
- ② 축대칭으로 인하여 모재/모재의 접촉부분에서의 변위를 구속한다. ( Y=0 인 부분의 변위를 구속 )
- ③ 축대칭으로 인하여 반지름 방향의 변위를 구속한다. ( X=0 인 부분의 변위를 구속 )

#### 2) 열-전기적인 경계조건

- ① 전기적인 경계조건은 전극상부와 모재하부 접촉면에서의 전압차로 한다.
- ② 냉각수 수로의 대류열전달 조건은 열전달 계수로써 제한 된다.
- ③ 대기로의 대류열전달은 전극의 측면과 모재가 접촉하지 않은 부분에 부가 된다.
- ④ 축대칭으로 인하여 모재의 접촉면이나 중심선을 따른 열 유동은 없다고 가정한다.
- ⑤ 전류의 흐름은 전극과 모재의 접촉면을 통하여 가능하고, 측면이나 중심선을 따른 전류의 흐름은 없다고 가정한다.

### 2-3. 공정 시뮬레이션

해석을 하기위해 구리전극 R형과 아연도금강판이 선정 되었다. 전극과 모재의 치수는 그림 2.3에 나타나 있다. 가압사이클의 초기조건은 전압차가 0 이고, 온도는 상온으로 한다. 그리고 모재에서의 접촉은 평평한 것으로 가정한다.

전극에 하중이 가해지고 이것으로 인하여 모재에서의 압흔(Indentation)과 접촉이 이루어진다. 여기에서 나온결과 즉 접촉면적은 용접 사이클( Weld cycle )에서의 경계조건이 된다. 그리고 가압사이클( Squeeze cycle )에서의 결과인 변형과 응력은 용접사이클 에서의 초기조건이 된다.

용접사이클은 전압차로써 시뮬레이션되고, 유지사이클(Hold cycle)은 전압차를 0으로 하므로써 얻어진다.

### 3. 시뮬레이션 해석결과

#### 3-1. 가압사이클

가압사이클에서 유한요소법을 이용하여 알아내고자 하는 가장 중요한 문제점중의 하나는 알려지지않은 전극/모재에서의 접촉면적과 모재/모재에서의 접촉면적을 계산해 내는 것이다. 그리고 전극/모재, 모재/모재에서의 접촉면을 따른 응력분포와 변형을 알아내기 위해서 가압사이클의 해석을 수행 하였다.

이때 전극의 상부에서 누르는 힘은 250 kgf( 2450 N )로써 시뮬레이션시 압력으로써 계산해 가해지고, 이때 접촉면에서의 응력분포는 그림 3.1에 나타났다.

전극/모재, 모재/모재에서의 접촉면적은 인터페이스 요소들이 이용하여 구했다. 인터페이스 요소는 압축하중만을 전달하고 인장하중은 전달하지 못하므로 압축하중을 받지 못하는 곳은 하중값이 0 로 나오게 되므로 0값이 시작되는 곳까지가 접촉면적이 된다. 그림 3.2와 3.3에 전극/모재, 모재/모재 인터페이스 요소의 하중상태를 도시 했다.

그리고 변형은 전극이 아래로 처지고 모재는 접촉부분을 제외한 나머지 부분이 약간 올라가지만 너무 작은 값이라 잘 확인할 수 없어 쉽게 알 수 있도록 그래프로 모재에서의 처짐을 확인 하기 위하여 상모재에서 Y방향으로의 처짐을 그림 3.4에 나타냈다. 여기에서 보면 전극이 닿은 모재부분은 음의 값이 들어가는 압흔(Indentation)을 알 수 있었고, 모재 끝단쪽으로 가면서 모재가 점점 상승 하는 것을 알 수 있었다.

#### 3-2. 용접사이클 및 유지사이클

모재로의 전류가 얼마만한 면적에 걸쳐 흐르게 되는 것인가를 알아야 올바른 용접사이클을 수행할 수 있다. 가압사이클에서 얻은 전극/모재, 모재/모재에서의 접촉면적으로 올바른 경계조건을 가진 용접사이클을 수행 하였고, 유지사이클은 전압차를 0으로 함으로써 수행되었다.

이때 전류는 9.5 KA 로 하였고, 전극과 전극간의 전압차는 1.13 V 로써 시뮬레이션시 0.565 V<sup>17)</sup>로써 적용된다. 그리고 이때의 냉각수 수로와 대기로의 열전달계수는 2.69E-5 W/m<sup>2</sup> °C 이다.<sup>2)</sup>

용접사이클 해석은 유한요소모델 전극의 상부와 모재의 하부에서의 전압차를 0.565V 부여 하므로써 수행되었다. 이때 주위의 온도는 21°C로 제한 되었고, 냉각수의 온도는 15°C로 제한 되었다.

각 사이클에서의 너겟의 생성과 성장과정을 그림 3.5 - 3.8 에 나타냈다.

해석을 수행한 결과 6 사이클에서 처음으로 너겟이 생성 하는 것을 알 수 있었고, 8, 10, 12 사이클로 진행되면서 너겟이 X축 방향과 Y축 방향으로 성장 하는 것을 알 수 있었다.

### 4. 실험방법

#### 4-1. 실험장치

아연도금 강판의 저항 점용접을 수행하기 위해 점용접기로서 용접을 수행 하였다. 용접시 전류, 전류통전 사이클, 가압력

을 측정 하기위해 전류사이클 미터(1), 전류통전시간 사이클미터(2), 압력 게이지(3)를 사용하였다.

#### 4-2. 실험방법

용접전류는 9.5 KA 이었으며 전류사이클 미터로서 측정하였고, 전류통전 시간은 전류통전 사이클 미터로서 측정하였다.

용접은 전류를 일정하게 9.5 KA로 하였고, 전류통전시 4, 6, 8, 10, 12 사이클로 변화시키면서 용접을 수행 하였다.

### 5. 실험결과 및 고찰

점용접을 4, 6, 8, 10, 12 사이클로 수행한 후 모재를 절단 하고, 용접된 단면을 확인하기 위해 충분히 연마한후, 에칭을 하였다. 그리고 광학현미경으로 확대 촬영, 사진 5.1 - 5.5에 나타냈으며, 사이클에 따른 너겟의 직경은 표 5.1에 나타냈다.

Table 5.1 measuring value of nugget diameter.

No	Weld time (cycle)	Nugget diameter (mm)
1	4	불완전
2	6	1.6
3	8	2.5
4	10	2.8
5	12	3.1

해석한 결과와 실험한 데이터를 그림 6.1에 나타냈다. 여기에서 보면 수치해석한 값이 실험값 보다 작지만, 경향이 거의 일치 함을 알 수 있었다. 그러므로 계수값만 보정 한다면 어떤 사이클에서 충분한 너겟 크기가 나오는지 알 수 가 있고, 여러가지 인자를 변화시키면서 용접성을 연구할 수 있다고 사료된다.

### 6. 결 론

저항 점용접을 유한요소법을 이용하여 수치해석한 결과와 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. R형 전극을 사용한 저항점용접 해석시 기존에는 접촉면적을 실험으로 얻었으나, 유한요소법을 이용 수치해석적으로 전극/모재, 모재/모재에서의 접촉면적을 구하여 용접사이클에서의 올바른 경계조건을 수행할 수 있었다.
2. 가압사이클에서 전극/모재, 모재/모재에서의 접촉면을 따른 응력분포값을 얻었다.
3. 용접사이클에서 수치해석적으로 너겟의 형상과 생성 및 성장과정을 알아냈으며, 또한 크기를 실험치와 비교해본 결과 잘 일치됨을 알았다.
4. 유지사이클에서의 냉각시 온도분포의 변화과정을 알아냈다.
5. 이러한 결과로 볼때 저항점용접을 시뮬레이션하여 여러가지 인자를 변화시키면서 용접성을 연구할 수 있으므로 실험에 드는 비용을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 전극/모재, 모재/모재에서의 접촉저항이 고려 되지 않았고 전극과 모재에서의 마찰계수가 고려되지 않았다. 차후 이러한 인자에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

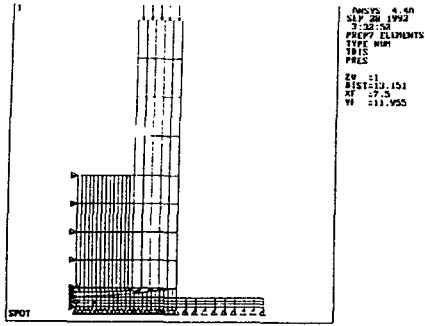


Fig. 2.1 Structural boundary conditions.

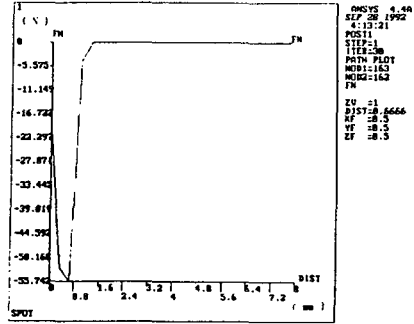


Fig. 3.2 Forces in interface elements between electrode and workpiece

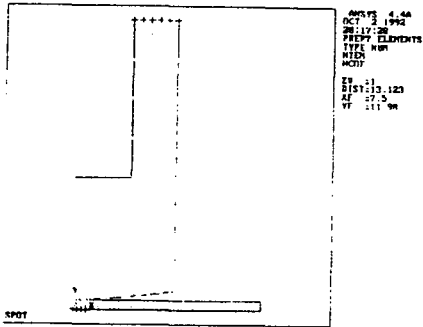


Fig. 2.2 Thermal - electrical boundary conditions.

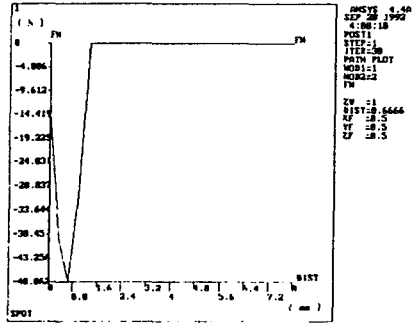


Fig. 3.3 Forces in interface elements between workpiece and workpiece interface.

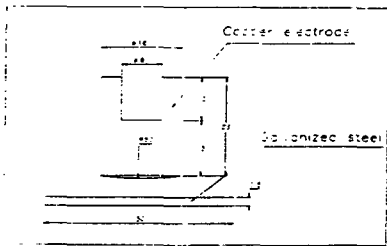


Fig. 2.3 Configuration and dimensions of electrode and workpiece.

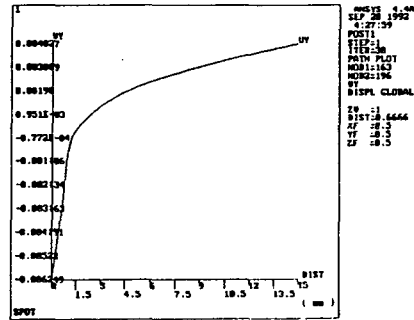


Fig. 3.4 Representation of workpiece deformation.

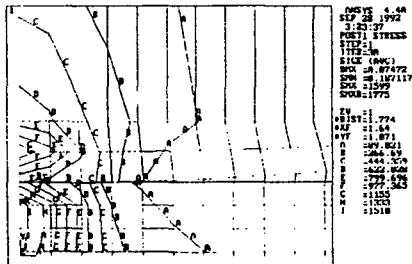


Fig. 3.1 Distribution of stress on squeeze cycle. (zoom)

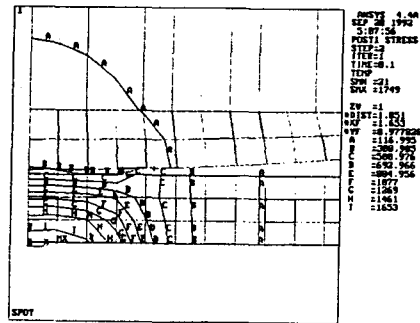


Fig. 3.5 Weld nugget geometry and isotherm distribution at 6 cycle.

