

서보건을 이용한 저항 점 용접 공정의 최적 용접 조건 설정에 관한 연구

백정엽*, 김태형*, 이종구*, 이세현**

Optimization of Resistance Spot Welding Process Using Servo-gun System

Jungyeub Baek*, Tachyung Kim*, Jongu Lee* and Sehun Rhee**

ABSTRACT

Resistance spot welding using air gun has been used for joining the sheet metal in automotive manufacturing process. Although air gun has many advantages, it also has the limitation to control the pressure as a factor to improve weld quality. In this study, we apply servo gun using servo motor to resistance spot welding and find the relationship between welding pressure and welding quality. Through the experiment to change welding pressure during the welding cycle, we can make it clear that the change of welding pressure is greatly influence on the welding quality. To get in a. using response surface methodology, drew out the optimal welding pressure profile for welding quality progresses. We made an optimal profile of welding pressure which improves welding quality using response surface methodology.

Key Words : Resistance spot welding (저항 점 용접) Servo gun (서보건), Tensile shere strength (전단인장강도), Indentation (오목자국깊이)

1. 서론

저항 점 용접은 1887년 Elihu Thomson에 의해 고안된 이래 많은 발달을 이뤄왔고, 단순한 원리와 값싼 설비비로 차량의 차체부위의 결합에 많이 쓰여지고 있다. 자동차 생산의 자동화에 저항 점 용접이 도입되면서 용접건(welding gun)이 로봇의 끝단에 연결되어 자유로운 움직임이 가능하게 되었다. 일반적으로 용접건은 공압을 이용해 용접부에 압력을 작용하였으나, 최근에 서보모터를 이용하여 실시간으로 가압력을 변화시키는 제어방식으로 전환되는 추세이다. 기존 공압건을 이용한 저항 점 용접에서는 가압력이 용접 공정 제어 인자로서 한계가 있었지만, 서보모터로 가압력을 제어하는 서보건(servo gun)을 이용함으로써 가압력과 용접 품질과의 관계를 살펴볼 수 있게 되었다. 이에 본 연구에서는 서보건을 이용해 용접 공정 제어인자에 가압력을 추가하여 가압력이 용접 품질에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고, 이를 바탕으로 향

상된 용접 품질을 얻을 수 있는 최적 가압 프로파일 을 구하고자 하였다.

2. 서보건의 특징

서보건은 토크제어가 가능한 서보모터와 볼스크류를 조합한 직선운동으로 가감속, 속도, 위치, 토크 등을 소프트웨어에 의해 제어한다. 건(Gun)축의 스트로크를 변화하고 로봇과의 동시 동작으로 건 개방동작과 타점 이동동작을 동시에 실행 가능하다. 공압건에 비해 설정 가압력 도달속도가 빠르고 용접시간 단축이 가능하다.

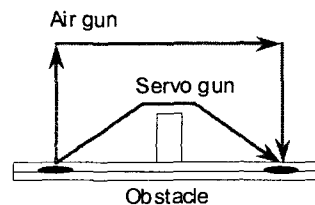


Fig. 1 Stroke control

3. 실험 및 결과

3.1 실험의 목적

3.1.1 가압력 변화에 따른 용접품질 분석

- 공압건과 서보건의 비교
- 용접 전류와 가압력 변화를 품질제어인자로 설정
- 실험 계획법을 이용하여 가압력 변화가 용접 품질에 미치는 영향을 분석하기 위한 예측 모델 개발

3.1.2 통전중 가압력 변화가 용접성에 미치는 영향 분석 및 최적 가압 프로파일 작성

- 통전 중 가압력 변화에 따른 용접 실험
- 실험계획법을 통해 가압력 변화에 따른 용접 품질 예측 모델 개발
- 예측 모델을 통해 용접 품질을 향상시키는 가압 프로파일 작성

3.2 실험강종

실험 강종으로는 최근 자동차 경량화와 강도 강화 기준에 따라 자동차 차체 적용 필요성이 요구되는 TRIP(TRansformation Induced Plasticity)강인 TRIP60 ZnFe 강을 사용하였다. 그 두께는 1.2t 이다.

3.3.1 가압력 변화에 따른 용접품질 분석

가압력이 용접품질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 같은 조건으로 에어건과 서보건에서 Table 1의 조건으로 실험을 실시 하였다. 용접 수행후 저항 점 용접 품질의 판단 기준으로 전단인장강도(Tensile Shear Strength)와 용접부의 오목 자국 깊이(Indentation)를 사용하였고, 용접 품질 정보를 담고 있는 동저항을 측정하여 가압력 인자가 용접품질에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 1 Welding process variable (1)

| 용접시간 (cycle) | 용접전류 (KA) | 가압력 (Kgf) |
|-----------------|--------------|--------------|
| 15 | 6 7 8 9 | 200 250 300 |
| | | 350 400 |

Fig. 2 와 Fig. 3 에 용접전류와 가압력이 용접품질에 미치는 영향을 공압건과 서보건에 나누어 결과를 나타내었다. 서보건을 이용한 용접에서는 스파터(spatter)의 발생이 현저히 줄어들었고 전단인장강도도 약 5 % 향상됨을 알수 있었다. 또, Fig. 4 와 Fig. 5 에서 용접전류와 가압력이 오목자국 깊이에 미치는 영향도 살펴 보았다. 서보건을 사용한 용접

에서 중요한 용접품질 판단기준인 오목자국깊이가 현저히 낮아짐을 알수 있다.

공압건과의 비교실험에서 서보건은 생산 유해요소인 스파터의 저감 뿐만 아니라 용접품질향상에도 크게 기여함을 알 수 있다.

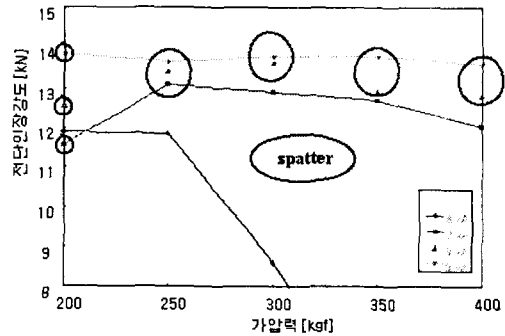


Fig. 2 Pressure vs Shear Tensile Strength (Air gun)

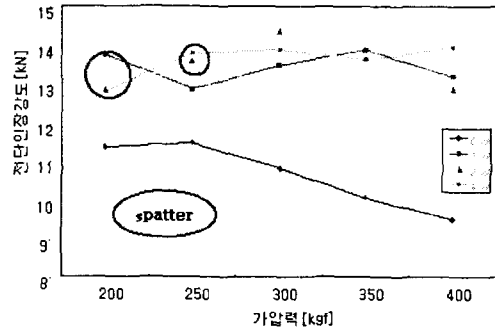


Fig. 3 Pressure vs Shear Tensile Strength (Servo gun)

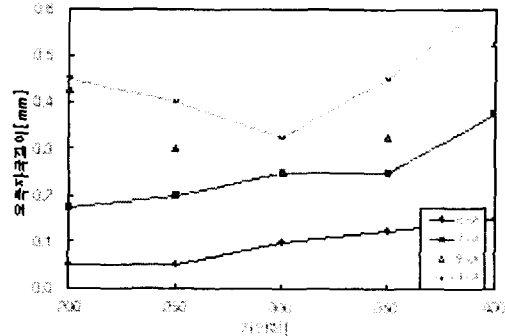


Fig. 4 Pressure vs Indentation (Air gun)

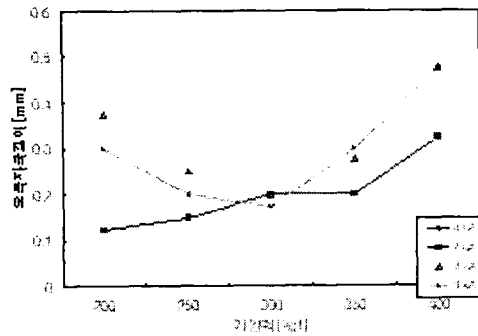


Fig. 5 Pressure vs Indentation (Servo gun)

3.3.2. 통전중 가압력 변화가 용접성에 미치는 영향 분석

서보건을 이용한 용접이 생산성 향상의 측면 뿐만 아니라 용접품질 향상에도 영향이 있음을 알았다. 본 연구에서는 가압력 변화가 용접 품질과 밀접한 영향이 있음을 알고, 가압 프로파일을 작성하여 통전중 가압변화가 용접품질에 미치는 영향을 분석하였다. 초기 가압력을 P1 으로 설정하였고 가압변화 후의 가압력인 후기 가압력을 P2 로 설정하였다. P1 에서 P2 로 바뀌는 가압력 변화구간은 통전 시작 후 5 cycle 지점으로 지정했다. 이는 용접시 용융이 시작되는 시점으로 동저항 그래프로 이를 확인할 수 있었다.

Table 2 Welding process variable (2)

| 용접시간 (cycle) | 용전전 류 (KA) | 가압력 P1 (Kgf) | 가압력 P2 (Kgf) |
|--------------|------------|---------------------------|------------------------|
| 15 | 8 | 200 250 300 350 400 | 200 250 300 350 400 |

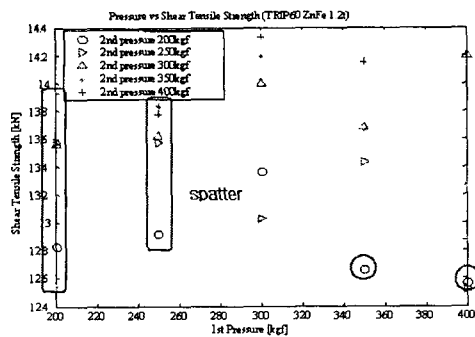


Fig. 7 Pressure vs Shear Tensile Strength

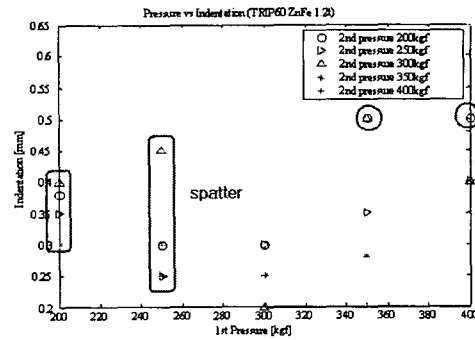


Fig. 8 Pressure vs Indentation

Fig. 7 에서 P1 이 200, 250 Kgf 일때 기준강도 이상의 값을 가지지만 스패터가 발생하여 부적절한 용접품질을 나타냄을 알 수 있다. P2 가 300, 350, 400 Kgf 일때는 P2 의 값에 따라 오목자국깊이가 달라짐을 알 수 있다. 스패터가 발생하지 않는 가압변화 조건에서는 P1 보다 P2 가 클 때 좋은 용접품질을 보임을 알았다.

Fig. 8 에서 P1 이 300 Kgf 일 때 오목자국깊이가 전반적으로 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 P1 이 300 Kgf 를 기준으로 하여 P2 를 결정하면 작은 오목자국깊이 값을 얻을 수 있다.

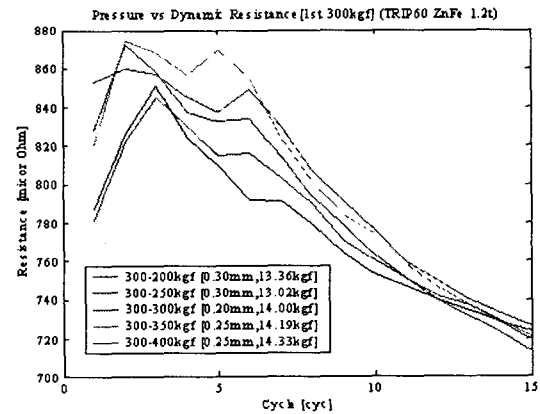


Fig. 9 Pressure vs Dynamic Resistance

용접중 동저항의 변화과정을 Fig. 9 에 나타내었다. P1 에서 P2 로 변화할 때의 동저항의 변화과정을 자세히 살펴 볼 수 있다.

3.3.3 최적 가압 프로파일 작성

통전중 가압력 변화가 용접품질에 영향을 미침을 실험을 통해 알 수 있었다. 위의 실험에서는 P1 이 300 일때, 그리고 P2 가 P1 보다 높을 때 좋은 결과값을 보여주었다. 이러한 결과값을 토대로 실험 계획법을 사용하여 가압력 변화에 따른 용접품질 예측 모델을 개발하였고, 예측 모델을 통해 용접

품질을 향상시키는 가압 프로파일을 작성하였다.

3.3.3.1 반응 표면을 통해 최적 용접 조건 설정

$$\hat{I} = \gamma_0 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 + \gamma_3 x_1^2 + \gamma_4 x_2^2 + \gamma_5 x_1 x_2$$

$$\hat{S} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_2^2 + \beta_5 x_1 x_2$$

β_i : regression coefficient for shear tensile strength, $i=1\sim 5$

γ_i : regression coefficient for indentation, $i=1\sim 5$

x_1 : welding current

x_2 : welding pressure

\hat{S} : estimated shear tensile strength

\hat{I} : estimated Indentation

2 차의 회기모델을 구성하여 전단 인장강도와 오목자국 깊이를 모두 만족하는 값을 구하였다.

Table 3 Central Composite Design

| Level | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1st pressure [kgf] X1 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 2nd pressure [kgf] X2 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |

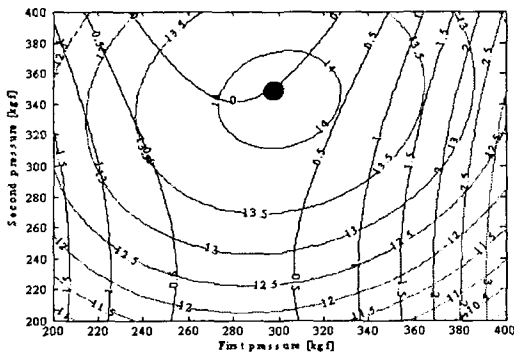


Fig. 10 Welding quality Response Surface

최적값을 P1 = 300 Kgf, P2 = 350 Kgf 부근에서 찾을 수 있다.

3.3.3.2 최적 가압 프로파일 제시

반응표면법을 이용한 실험결과에 의해 얻어진 P1 과 P2 값으로 최적 가압 프로파일을 작성해 보았다. 실제로 이 조건으로 용접시 기준 전단인장강도와 기준 오목자국깊이를 모두 만족시키는 좋은 품질의 용접부를 구할 수 있었다.

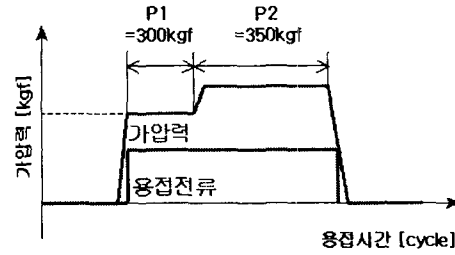


Fig. 11 the optimum welding pressure profile4. 결론

저항 용접에서 공정 제어 변수인 전류, 통전시간 가압력 중에서 전류와 통전시간이 용접품질에 미치는 영향은 앞선 연구에서 많이 알려졌다. 그러나 공압으로 제어하기에는 한계가 있는 가압력 인자를 본 연구에서는 서보모터를 이용해 제어 함으로서 가압력이 용접 품질에 미치는 영향을 살펴 보았다. 또 1 차측에서동저항을 측정함으로서 가압력이 용접 품질에 미치는 영향을 설명하였다. 이러한 결과를 분석해 용접 중 가압력을 변화시키는 가압 프로파일을 제시하였으며, 전단인장강도와 오목자국깊이에 대한 반응 표면법을 사용해 최적 가압 프로파일을 작성하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 지원하는 특정연구개발 사업중 중점국가연구개발사업(기계설비요소기술개발)으로 지원되어 수행되었습니다.

참고문헌

1. Diskinson, D. W., Nippes, E. F., and Wassel, F. A.:Dynamic Contact Resistance of Series Spot Welds, Welding Journal, Vol. 57, No. 5, pp. 176- 181
2. Tsai, C. L., Dai, W. L., Dickinson, D. W., and Papritan, J. C.: Analysis and Development of a Real-timecontrol Methodology in Resistance Spot Welding, Welding Journal, Vol. 70, No. 12, (1991), pp. 339s - 351s
3. Y.Cho, S.Rhee : Primary Circuit Dynamic Resistance Monitoring and its Application to Quality Estimation during Resistance Spot Welding, Welding Journal, Vol. 81, No. 6, (2002)
4. 김명준 : 저항용접, 도서출판 기문사 (1995)