

# 고속카메라를 이용한 저항 점 용접의 너겟 형성 메커니즘 관찰

Observation of Nugget Formation Mechanism by using High Speed Camera

조용준\*, 이세현\*\*

\* 한양대학교 기계공학부 박사후 과정

\*\* 한양대학교 기계공학부

## Abstract

Resistance Spot Welding has been one of the important process in the sheet metal fabrication of auto-body industry. It is well known that the nugget formation of RSW is the major factor for the strength of the body. A high speed camera was used to consider initial melting and growth of the weld nugget in order to find out the nugget formation mechanism. It was observed that such mechanism had an effect on the dynamic resistance, which was a process parameter of resistance spot welding. Also, the relationship between the mechanism and process parameter was considered for the industrial application.

## 1. 서론

용접부의 품질에 직접적인 영향을 미치는 용접부 너겟의 형성과정을 직접적으로 관찰할 수 있는 방법은 Upthegrove 등<sup>1)</sup>이 제안하고 Lane 등<sup>2)</sup>이 추가 연구한 고속 카메라를 이용한 용접부 모니터링 방법이다. 선행 연구에서는 너겟의 생성 현상과 전류의 형태에 따르는 변화 현상 등을 고찰하였으나, 용접부의 품질을 반영하고 있는 공정 변수들과 이들 결과와의 연관성은 고려하지 않았다. 본 연구에서는 고속 카메라의 결과를 이용하여 너겟의 생성 및 성장 과정 뿐만 아니라, 공정변수와의 관계에 대해 고찰하여 공정변수의 물리적 의미와 이에 따른 너겟 형성 메커니즘을 파악하고자 하였다.

## 2. 고속카메라 실험

본 연구에서는 상용화된 디지털 고속 카메라인 Kodak Motion Corder Analyzer (SR-Ultra/c)를 사용하여 너겟의 생성 과정을 고속으로 촬영하여 그 거동을 살펴보았다. 디지털 고속 카메라 시스템은 프로세서(processor), 전원 공급 장치(power supply), 카메라(camera), 뷰파인더(viewfinder) 및 광원으로 구성되어 있으며, 너겟 형성 거동을 보다 광범위하게 관찰하기 위하여 1000 frame/sec의 속도와 256×240 픽셀의 해상도로 용접 과정을 기록하였다. 카메라 시스템은 어댑터 플레이트(adapter plate), 카메라 헤드, 삼각대(Manfrotto 190/JE12) 및 렌즈로 구성되어 있으며, 렌즈는 표준 C-mount 렌즈 어댑터를 장착한 Cannon 48mm f1.0 28-50 렌즈를 사용하였고, 보다 확대된 용접부를 기록하기 위하여 No.1, No.2, 및 No.3의 세 가지 클로즈업 렌즈 두 세트를 렌즈 보호용 UV 필터와 함께 사용하였다. 고속 카메라 촬영에서는 피사체를 밝혀 줄 조명의 종류와 강도 및 위치가 매우 중요한데, 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 조사각이 다른 두 개의 40W 할로겐 램프를 사용하여 용접부를 조명하였다.

## 3. 결과 및 고찰

고속 카메라로 촬영한 너겟의 형성 거동을 전류의 변화에 따라 고찰하기 위하여 전극의 가압력과 통전 시간은 시편의 표준조건을 기준으로 환산한 값을 이용하여 전류를 5.5kA에서부터 8kA까지 변화시켜 가며 용접을 실시하였다. 용접이 진행되는 과정은 1초당 1000개의 그림으로 저장되며, 이에 따라 1 사이클당 약 17개의 그림을 얻을 수 있었다. 용접 사이클 중에서 정 사이클 용접 전류에 대한 너겟 형성과정이 피크값에 도달하는 순간의 용접부의 모습과 함께 사이클의 진행에 따라 관찰하였다.

6.5kA의 용접 조건에서 얻은 결과의 경우에는 8 - 9 사이클에서 너겟이 생성되기 시작했으나, 저전류의 경우와는 달리 모재의 소성 변형에 의한 두께 변화가 눈에 띄게 관찰되고 있다. 이러한 현

상은 증가된 용접 전류로 인하여 보다 넓은 영역에서 용융이 시작되기 때문에 가압력을 지탱하는 고상 금속이 상대적으로 줄어들었기 때문인 것으로 생각되며, 10 - 11사이클의 너겟 생성 형태가 이러한 설명의 타당성을 보여 주고 있다.

이상에서 살펴본 너겟의 생성 거동과 용접 품질과 관련된 용접 공정 변수와의 관계를 파악하기 위하여 용접 사이클에 따른 일련의 그림을 연속 그림으로 제시하고 이에 해당하는 공정변수 패턴과 대조하여 너겟 형성 메커니즘을 파악하고자 하였다.

6.5kA 조건에서의 너겟 생성 과정을 보면, 동저항의 빠른 상승과 더불어 너겟 생성 시점을 전후해서 용접부의 두께가 현저하게 변하고 있음을 알 수 있다. 동저항 패턴에서도, 8 사이클의 순간적인 감소 이후에 계속적인 동저항의 감소를 관찰할 수 있다. 이러한 사실로 미루어 볼 때, 너겟의 생성은 동저항이  $\beta$  피크를 지난 직후에 발생하며, 일단 너겟이 생성되면 두께 방향의 변형에 의해서 통전 거리가 줄어들고 이로 인하여 동저항의 감소가 관찰된다.

#### 4. 결론

저항 점 용접의 여러 가지 공정 변수 중에서 용접부 너겟 형성 거동과 가장 밀접한 관계가 있다고 알려진 동저항을 중심으로 너겟의 생성 및 성장 메커니즘을 고찰하였다. 고속 카메라를 이용한 관찰에 의하면, 초기 동저항 값의 상승은 모재 사이의 접촉면을 중심으로 한 용접부의 온도 상승에 기인한 것으로 사료되며, 용융 너겟이 생성된 직후에는 두께의 감소에 의한 통전 길이 감소에 기인한 것으로 보이는 동저항의 하강 현상을 관찰할 수 있었다. 이와 더불어 여러 가지 용접 조건에 대한 실험 결과를 이용하여 동저항과 너겟 형성은 직접적인 관계가 있음을 밝혔다.

#### 참고문헌

1. Uptegrove, W. R., and Key, J. F.: A high speed photographic analysis of spot welding galvanized steel, *Welding Journal*, Vol. 51, No.5, (1972), pp.233s to 244-s
2. Lane, C. T, Sorensen, C. D., Hunter, G. B., Gedeon, S. A., and Eagar, T. W.: Cinematography of Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, *Welding Journal*, Vol. 66, No. 9,(1987), pp. 260s-265s
3. Savage, W. F., Nippes, E. F., and Wassell, F. A.: Dynamic Contact Resistance of Series Spot Welds, *Welding Journal*, Vol. 57, No. 2, (1978), pp. 43s-50s
4. Dickinson, D. W., Franklin, J. E., and Stanya, A.: Characterization of Spot Welding Behavior by Dynamic Electrical Parameter Monitoring, *Welding Journal*, Vol. 59, No. 6, (1980), pp. 170s-176s
5. Kaiser, J. G., Dunn, G. J., and Eagar, T. W.: The Effect of Electrical Resistance on Nugget Formation during Spot Welding, *Welding Journal*, Vol. 61, No. 6, (1982), pp. 167s-174s

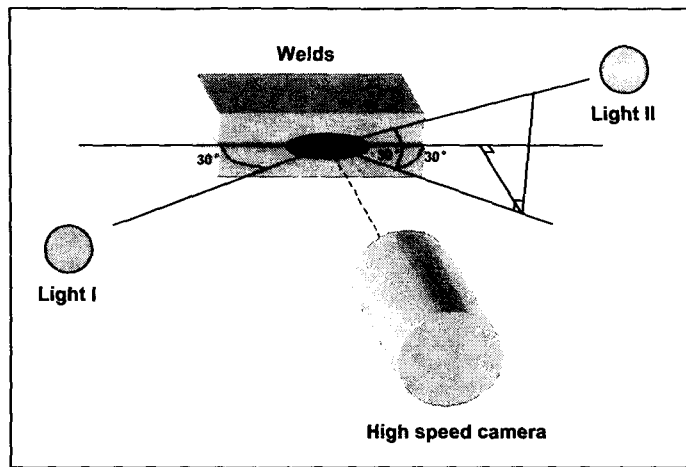


Fig. 1 Schematic diagram indicating the placement of the camera and illumination



Fig. 2 Nugget formation process monitored by high speed camera

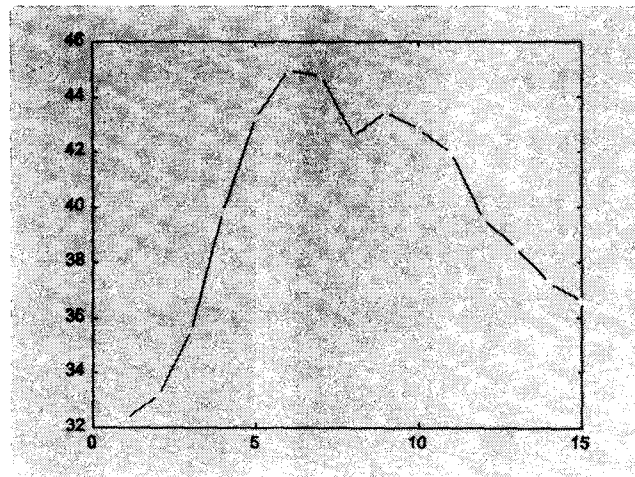


Fig. 3 Corresponding dynamic resistance pattern