

## 전극 형상에 따른 저비중 경량강판의 저항 점 용접 특성

황인성\* · 윤현상\*\* · 김동철\* · 강문진\* · 김재도\*\* · 김영민\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원 용접접합그룹

\*\*인하대학교 기계공학과

### Resistance Spot Weldability of Low Density Lightweight Steel according to Electrode Shape

Insung Hwang\*, Hyunsang Yoon\*\*, Dongcheol Kim\*, Munjin Kang\*, Jae Do Kim\*\* and Young-Min Kim\*<sup>†</sup>

\*Joining R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 21999, Korea

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : ymkim77@kitech.re.kr

(Received September 29, 2016 ; Revised December 6, 2016 ; Accepted January 31, 2017)

#### Abstract

In this study, resistance spot weldability of lightweight steel with high Al contents was evaluated using various electrode shapes. The six types of electrode shape were prepared with different electrode face diameter and radius. The tensile shear tests were carried out to investigate the failure behaviors. Also, the nugget size and hardness were measured and compared with various electrode shapes. The experimental results show that the acceptable weld current region for low density lightweight steel could be obtained with 10mm electrode face diameter and 76mm electrode face radius.

Key Words : Resistance spot welding, Electrode tip, Lightweight steel, Electrode face diameter, Electrode face radius

#### 1. 서 론

자동차의 연비개선에 대한 각국의 규제가 강화되고 있고, 동시에 승객의 충돌 시 보호를 위한 충돌내구성 법규가 심각히 강화되고 있다. 이러한 차체 경량화를 위하여 경량소재(Al 및 Mg 합금 혹은 초경량 복합재료)나 GPa급 강도의 초고강도강의 적용을 위한 노력들이 시도되고 있으며, 최근에는 철강소재에 Al이나 Mg 등의 경량원소를 첨가하여 두께는 유지한 채 비중을 낮추어 부품을 경량화하는 강재의 개발도 시도되고 있다<sup>1)</sup>. Fig. 1에 고 Al, Mg 합금소재의 강도 및 연신율 특성을 바나나 커브로 나타내었다.

각국의 주요 철강사에서 980MPa급 TRIP강, 1180MPa급 TRIP강, 1500MPa급 마르텐사이트강 및 hot press

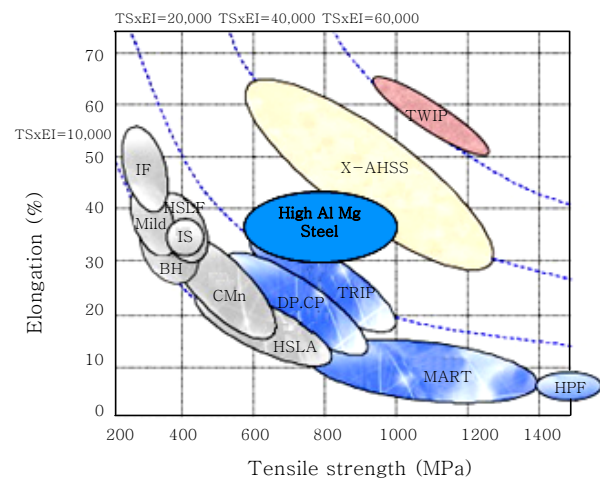


Fig. 1 High Al, Mn contents steel according to tensile strength and elongation

forming강 등을 공급하면서 이들 소재들의 용접성 평가에 대한 연구결과들이 발표되고 있다<sup>2)-11)</sup>. 이러한 연구들에 따르면 특히 저항 점 용접은 소재의 강도 증가와 더불어 용접성 확보가 매우 어려워지고 있음을 보고하고 있다. 따라서 향후 경량화 소재들의 자동차 부품화의 핵심 중의 하나는 저항 점 용접성의 확보를 들 수 있다. 차체 경량화를 위한 경량화 원소들(Al, Mg 등)은 용접 시 발생하는 불가피한 용융과 냉각에서 열팽창과 수축의 문제를 야기할 뿐만 아니라 마르텐사이트 강화 원소의 성질을 가지고 있어서 조직적으로도 여러 가지 문제를 야기 시킨다. 또한 Fe와의 용융온도의 차이로 인한 금속간화합물이나 산화 개재물 발생으로 인한 문제도 야기 시킬 수 있다.

저항 점 용접 시 용접성에 영향을 미칠 수 있는 외부요인으로는 전극 마모, 접합면의 오염 물질, shunt 효과 그리고 도금층 등이 있다. 또한 저항 점 용접 특성 상 양측의 전극 팁은 통전부의 제한 효과와 함께 강력한 냉각효과도 요구되기 때문에 전극 팁 형상에 따라 전극의 열이력이 차이가 발생하게 되므로 저항 점 용접성에 영향을 미치게 된다. 저항 점 용접 시 용접전류가 낮으면 발열량이 부족하여 강도를 확보할 수 있는 충분한 너깃형성이 어려워 강도가 감소하게 되며, 이와 반대로 용접 전류가 높으면 스파터가 발생을 하게 된다.

본 연구의 목적은 C, Mn Si 등 철강재 기본 성분들에 Al을 약 5.1% 첨가하여 강도는 동일하고 비중을 10% 저감(비중 7.05)한 저비중 경량강재의 전극형상에 따른 저항 점 용접성을 조사하는 것이다. 전극선단 직경 및 반경에 변화를 준 6개 형상의 전극을 이용하여 용접전류 변화에 따른 전단인장강도 및 너깃사이즈를 측정, 비교 하였으며 용접부 경도도 측정하였다. 실험 결과를 통해 전극 형상에 따른 용접성을 비교하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용접모재

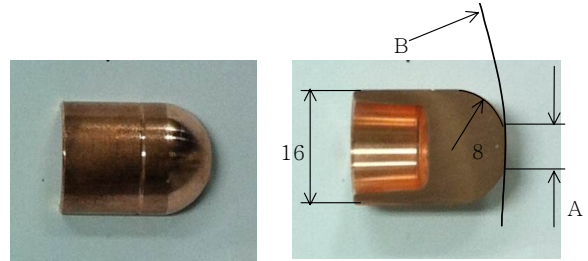
본 연구에서는 포스코에서 개발한 Al이 5%이상 포함된 저비중 경량강판 1.0mm의 판재를 사용하였다. Table 1은 모재인 저비중 경량강판의 화학조성 및 기계적 물성을 나타내었다.

### 2.2 전극형상

Fig. 2는 본 연구에 사용된 용접전극의 형상을 Table 2는 전극형상 별 치수를 보여주고 있다. 용접전극 형상은 돔형을 사용하였다. 그리고 선단직경과 선단반경에

**Table 1** Chemical composition and mechanical properties of low density lightweight steel

	C	Mn	Al	Si	Fe
wt%	0.3	3.6	5.1	0.1	Bal.
Tensile strength			Elongation		
780MPa			34%		



**Fig. 2** The electrode tip morphology

**Table 2** The values of electrode face diameter and radius of six electrode tips

No.	Type	electrode face diameter (A)	electrode face radius(B)
1	16D	6mm	40mm
2	16D	8mm	40mm
3	16D	6mm	76mm
4	16D	8mm	76mm
5	16D	10mm	76mm
6	16D	16mm	76mm

변화를 준 전극형상을 본 연구에서 사용하였다.

### 2.3 용접조건

용접전원은 인버터 DC 전원을 사용하였으며 가압은 서보모터 구동방식의 J형 서보건을 사용하여 가압하였다. 가압력과 용접시간은 전극형상에 상관없이 각각 400kgf와 333ms(20cycles)로 동일하게 적용하였으며 전극형상에 따라 용접전류는 선단직경이 6~8mm인 경우에는 5.0~6.5kA를 선단직경이 10mm, 16mm인 경우에는 6.0~7.5kA를 적용하여 실험을 수행하였다.

### 2.4 용접성 평가

저항 점용접 수행 후 용접부의 용접성 평가를 위해 전단인장하중과 너깃 사이즈의 측정, 그리고 파단 형상의 비교 및 분석을 진행하였다. 전단인장시험은 최대 하중 30ton급의 만능인장시험기를 사용하였으며 인장 시험편은 KS B 0851(점 용접 이음의 전단인장시험 방법) 규격에 맞춰 가공하였다. 용접부 최소 요구강도는 KS B 0850



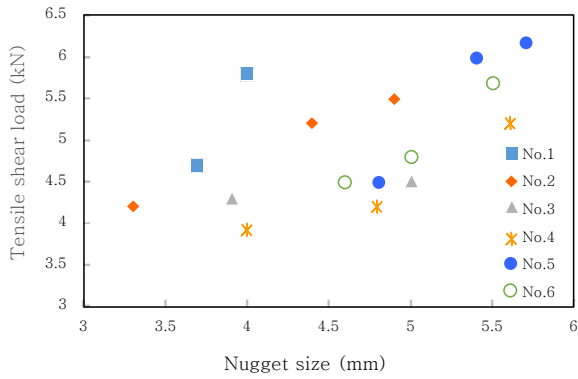


Fig. 4 Comparison of nugget size and tensile shear strength according to electrode type

인장강도는 증가하지 않았다. 일반적으로 저항 점 용접에서 너깃사이즈와 전단인장강도는 비례한 것으로 알려져 있으나 Fig. 4의 너깃사이즈와 전단인장강도 그래프에서 보이는바와 같이 본 연구에서 사용한 저비중 경량강재의 경우 동일한 전극에서는 너깃사이즈와 전단인장강도가 비례하나 모든 전극조건 들의 너깃사이즈와 전단인장강도를 비교하였을 때는 그와 다르게 비례적이지 않음을 확인하였다. 이는 전단인장하중 시험의 파단형상으로 유추해 보건데 용접부의 취성과 관련이 있을 것으로 판단된다. 또한 너깃 두께의 경우에도 기존 강재들에 비해 상당히 얇게 나타나는데 이는 기존 780MPa 급 소재의 저항 점 용접의 적정 용접조건과 비교하면 그 원인을 유추해 볼 수 있다. Son과 Park의 연구결과에 따르면 기존 DP780 1.0t의 저항 점 용접 시 용접전류를 9kA까지 사용이 가능하며 이때의 너깃사이즈가 6mm 이상이 나타난다고 보고하였다.<sup>12)</sup> 이와 비교해 볼 때 저비중 경량강재는 동일 전극을 사용하였을 시 5.5kA 이상 사용이 불가능하여 기존 강재에 비해 더 큰 입열을 주기 어렵다는 것을 알 수 있다. 이는 SI 첨가량 증가에 따라 합금첨가량 증가로 소재의 비저항이 높아져 급격한 발열로 인한 날림이 쉽게 발생하기 때문이며 이로인해 너깃이 두께 방향으로 충분히 성장하기 어려워 너깃이 얇게 나타나는 것으로 판단된다.

1번 전극에서 선단반경을 76mm 로 변화시키고, 선단직경을 6, 8, 10, 16mm 로 변화시킨 3~6번의 경우의 너깃사이즈 결과는 Fig. 3(c)~(f)에서와 같이 앞서의 선단반경 40mm인 1, 2번 전극의 결과와 동일하게 선단직경 증가로 너깃사이즈가 증가하였으나 전단인장강도는 증가하지 않음을 확인할 수 있었다.

### 3.3 경도

Fig. 5는 400kgf, 5.5kA, 333ms(20cycles) 조건에

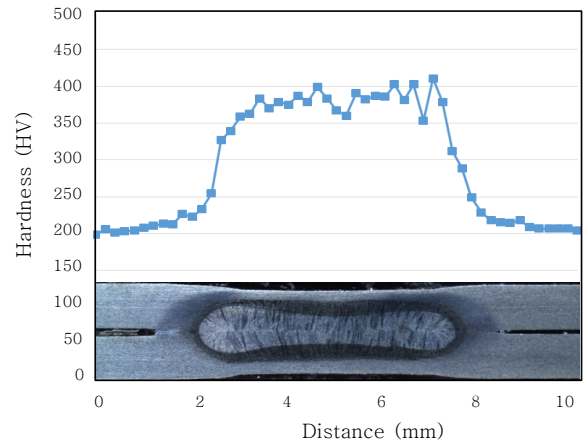


Fig. 5 Analysis of hardness profile of weld nugget

대한 경도 그래프이다. 그림에서 보듯이 용접부 경도는 약 350~400HV 사이 값을 가지고 있으며 모재(200HV)보다 높은 경도를 보이며 HAZ에서의 연화는 나타나지 않았다. 모재는 페라이트와 오스테나이트로 구성되어 있는데 용접부는 저항 점 용접 후 급속 냉각함에 따라 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되어 그림에서 보듯이 모재에 비해 높은 경도를 나타내고 있다.

### 3.4 전극형상 별 용접성 비교

전극형상별 용접성 비교를 위해 Fig. 6, 7과 같이 전극형상 별 너깃사이즈와 전단인장강도를 같은 그래프

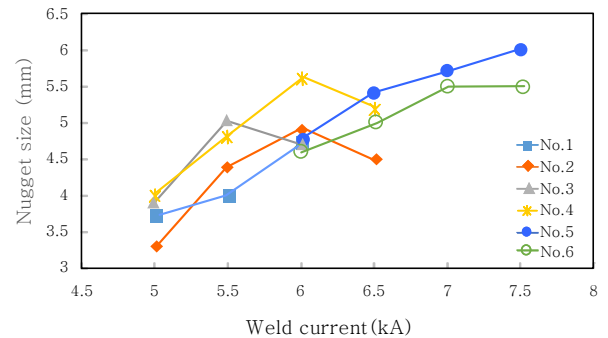


Fig. 6 The nugget size distribution with weld currents

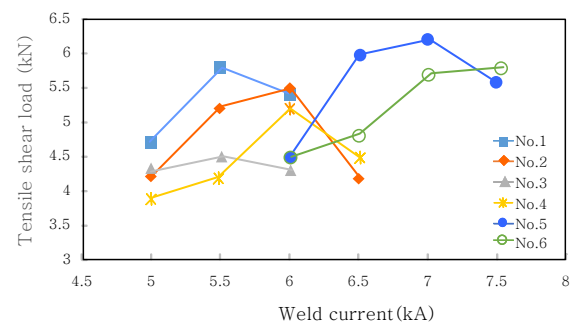


Fig. 7 The tensile shear load distribution with weld currents

에 나타내었다. 그림에서 보듯이 전극형상 변화에 따른 접촉면적이 증가할 경우 용접전류가 증가함에 따라 대체적으로 너깃사이즈가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 접촉면적 증가에 따른 용융면적 증가로 인한 것이다. 그리고 접촉면적 증가로 전류가 흐르는 면적이 증가하여 전류밀도가 낮아지며 너깃사이즈가 감소할 것으로 판단될 수도 있으나 접촉면적 증가에 따라 전류조건 또한 증가하여 입열량 증가로 더 큰 너깃사이즈가 나타나게 된다. 하지만 전단인장강도의 경우에는 전극형상에 따른 접촉면적 증가와 비례관계를 보이지는 않는다. 이와 같은 원인은 전단인장시험 후의 파단형상으로 유추해 볼 수 있다. 전반적인 파단형상을 보면 대부분 용접부 계면에서 파단이 발생하며 소수의 조건에서 버튼형상의 파단이 나타나는 것을 볼 수 있다. 하지만 버튼형상의 파단이 일어나는 경우에도 기존 강재에서 나타나는 너깃주위가 깔끔하게 떨어져 나가는 버튼파단이 아닌 너깃 안쪽 면과 외곽 면이 혼재하여 파단되는 부분 버튼파단이 발생하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 이러한 파단형상은 초고강도강의 저항 점 용접 시 나타나며 이는 너깃의 경도가 높아 취성파단이 쉽게 나타나기 때문이다. 취성파단이 쉽게 발생할 경우 전단인장하중을 받는 너깃부는 초기 파단이 일어나는 하중까지 견디다가 파단이 시작되면 너깃부를 따라 쉽게 파단이 발생하게 된다. 이에 반해 너깃의 경도가 높지 않은 강재들의 경우에는 초기 파단이 발생하여도 너깃의 외곽 면을 따라 더 높은 하중을 견딜 수 있다.

저비중 경량강재의 저항 점 용접부 경도 또한 350Hv로 상당히 높게 나타나는 것으로 보아 이러한 취성파단이 쉽게 나타나게 되어 너깃사이즈와 전단인장하중이 비례적으로 나타나기 어려운 것으로 판단된다.

이 결과를 통해 본 연구에서 사용한 저비중 경량강판의 경우 전극 형상 변화에 의한 너깃사이즈의 증가가 용접강도 향상 및 용접성 확보하는 것은 아님을 확인하였다. 향후 저비중 경량강판의 저항 점 용접성 확보를 위해서는 다른 용접조건에 변화에 따른 용접성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

저비중 경량강판의 전극형상에 따른 저항 점 용접성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 전극직경 16mm, 선단직경 6mm, 선단반경 40mm인 돛형전극을 사용하는 경우 적정용접영역이 나타나지 않았으나 버튼 파단이 발생하였다.

2) 동일 선단반경에서 선단직경을 8mm로 증가시킬 경우 너깃사이즈가 증가하나 최소 요구 강도를 만족하지 못하고 계면파단이 발생하였다.

3) 동일 선단직경에서 선단반경을 76mm로 증가시킬 경우 너깃사이즈가 증가하나 최소 요구강도를 만족하지 못하고 계면파단이 발생하였다.

4) 선단반경을 76mm로 고정하고 선단반경을 10mm로 증가시킬 경우 최소 요구강도를 만족하는 적정용접영역이 나타나며 가장 큰 버튼크기로 파단이 발생하였다.

5) 실험결과를 통해 본 연구에서 사용된 저비중 경량강재의 경우 전극 형상 변화에 의한 너깃사이즈의 증가가 용접강도 향상 및 용접성 확보하는 것은 아님을 확인하였다.

#### Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. (No. 10052779, GIGA급 저비중 경량강재 상온성형 및 차체 부품화 기술 개발)

#### References

1. Dong-Woo Suh, Seong-Jun Park, Tae-Ho Lee, Chang-Seok Oh and Sung-Joon Kim, Influence of Al on the Microstructural Evolution and Mechanical Behavior of Low-Carbon, Manganese Transformation-Induced Plasticity Steel, *Metall. Mater. Trans.* 41A (2010), 397-408
2. Seung Youb Han, Sang Yong Shin, Hyun-Joong Lee, Byeong-Joo Lee, Sunghak Lee, Nack J. Kim and Jai-Hyun Kwak, Effects of Annealing Temperature on Microstructure and Tensile Properties in Ferritic Lightweight Steels, *Metall. Mater. Trans.* 43A (2012), 843-853
3. D.-Y. Choi and Y.-G. Kim, Trend of Joining Technology for Automotive Sheet Steels, *Journal of KWJS*, 27 (2) (2009), 125-130 (in Korean)
4. H. Oikawa, T. Sakiyama, T. Ishikawa, G. Murayama, T. Takahashi, Resistance Spot Weldability of High Strength Steel (HSS) Sheets for Automobiles, *Nippon Steel Technical Report No.95* (2007), 39-45
5. S. Shi and S. Westgate, Techniques for Improving the Weldability of TRIP Using Resistance Spot Welding, *TWI report No. 798* (2004)
6. W. Chuko and J. Gould, Development of Appropriate Resistance Spot Welding Practice for Transformation-Hardened Steels, *Welding Research Supplement* (2002), 1-S
7. Jong-Woo Son, Dae-Geun Nam, Dong-Cheol Kim and Yeong-Do Park, Effect of Paint Baking on the Strength and Failure of Spot Welds for 780 TRIP Steels, *Journal of KWJS*, 28 (2) (2010), 66-73 (in Korean)

8. Chul Young Choi, In-Bae Kim, Yangdo Kim, and Yeong-Do Park, Characterization of Partial Interfacial Fracture on Resistance Spot-Welded TRIP Steels for Automotive Applications, *J. Korean Inst. Met. Mater.* 50 (2) (2012), 136-145 (in Korean)
9. Sang-Soon Park, Young-Min Choi, Dae-Geun Nam, Young-Seok Kim, Ji-Hun Yu and Yeong-Do Park, Evaluation of Resistance Spot Weld Interfacial Fractures in Tensile-Shear Tests of TRIP 1180 Steels, *Journal of KWJS* 26 (6) (2008), 81-91 (in Korean)
10. Youn-Suk Jong, Young-Kook Lee, Dong-Cheol Kim, Moon-Jin Kang, In-Sung Hwang and Won-Beom Lee, Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Ultra High Strength Steel Containing Boron, *Mater. Trans.* 52 (6) (2011), 1330-1333
11. Sun-Kyoung Shin, Seong-Jun Park, Kyung Mox Cho, Effect of Microstructure on Fracture Behavior of Multi-phase Low-density Steel, *J. of the Korean Society for Heat Treatment*, 26 (6), 2013, 306-316 (in Korean)
12. Chang-seok Son and Young-Whan Park, Lobe Curve Characteristic Analysis of Resistance Spot Welding for Sheet Combination of 780MPa Steel Sheet Using Simulation, *Journal of KWJS* 30 (6) (2012), 554-559 (in Korean)