

2024 Al합금과 아연도금강판의 점용접에 관한 품질평가

허인호**·이철구*·채병대**

*서울산업대학교 기계공학과

**서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

The Quality Evaluation on Resistance Spot Welding of 2024 Aluminum Alloy and Zinc Coated Steel

In Ho Heu**, Chul Ku Lee* and Byoung Dae Chae**

*Dept. of Mechanical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

**Graduate School of Industry and Dept. of Mechanical Engineering Seoul National University of Technology,
Seoul 139-743, Korea

Abstract

Resistance spot welding has been widely used in the sheet metal joining processes because of low cost, high productivity and convenience.

Recently, automobile and aerospace industries are trying to replace partly steel sheets with aluminum alloy sheets. But in the case of dissimilar materials, to apply resistance spot welding has been known to be very difficult owing to the effect of melting temperature.

On this study, an effort was made to apply spot welding of dissimilar sheet metals, 2024 aluminum alloy and zinc coated steel sheet, evaluate the spot weld quality with tensile-shear strength test and nondestructive evaluation technique, C-scan image methodology.

In this study results, as the current below 11 kA, melting of materials is not achieved well. Also as the current exceeds to 13.5 kA, the more spatters happen at welded zone and tensile-shear strength lowered.

So, the feasibility of C-scan image technique proposed in the study is found to be suitable evaluation method for resistance spot weldability

(Received March 2, 2001)

Key Words : Dissimilar Sheet Metal, Nugget, Corona Bond, Ultrasonic C- scan Image System, Spatter

1. 서 론

저항 점용접은 용접시간이 짧고 공정이 간단하며 용접물 집합부 주변의 열영향부(HAZ)가 적을 뿐 아니라 잔류응력과 변형 등이 타용접공정보다 월등히 양호하므로, 자동차 차체뿐 만 아니라 항공기 구조, 철도차량 등 내구성이 요구되는 박판 구조물의 접합에 널리 사용되어지고 있다. 특히, 자동차산업계에서는 에너지 절감을 위한 차량경량화 및 대기오염 문제로 전기자동차

차의 필요성이 증가되는 추세이므로 경량이면서 우수한 강도를 가지는 알루미늄계 합금으로 차체를 대체하려는 시도를 하고 있다^{1,2)}. 차량구조물의 전체를 알루미늄합금으로 교체하는 것은 어려우므로 부분경량화에 대비하여 알루미늄합금판과 부식방지를 위해 사용되는 기존 차량구조용 재료인 아연도금강판과의 이종재료에 대한 저항 점용접 기술도 조속히 개발되어야 한다. 현재까지 알려진 바로는 이종재료는 특히 두 재질이 용융점 차이가 크면 용접공정을 적용할 때 이들 양쪽 재질의 고른 용융을 기대하기 어려운 것으로 알

Table 1 Chemical composition of 2024 aluminum alloy

Material	Chemical composition (wt%)									
	Al	Si	Fe	Ca	S	Cl	Ti	Pb	Ga	Cu
2024 aluminum alloy	98.9	0.520	0.415	0.0555	0.0437	0.415	0.0287	0.0166	0.0145	0.0105

려져 있다. 흔히 냉간압연강판과 알루미늄합금판의 이종재료용접시에는 용융부에 Al-Fe의 금속간 화합물형성이 어렵고 취성이 높아진다고 알려져 있다^{3,4)}. 따라서 강판과 알루미늄합금판 같이 용융점 및 열, 전기의 전도도가 현저하게 차이나는 이종재료의 용접에 의한 접합은 현재까지 어려운 문제로 남아 있다.

국외연구의 경우, Hatsuhiro Oikawa⁵⁾와 Msanori Yasuyama⁶⁾ 등은 알루미늄판재와 철판사이에 매개체 즉, 알루미늄-클래드-강판을 삽입하여 점용접성에 관한 연구를 하였고, 또한 Shinobu Satonaka⁷⁾ 등의 연구에서는 비파괴적 초음파 수침방법으로 점용접부의 평가에 대해 연구 되었다.

알루미늄 합금의 저항 점용접과 관련한 국내의 경우는 주로 점용접성을 평가하고 최적 용접조건을 설정하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 손병천³⁾ 등에 의한 이종재료(알루미늄-강판)의 점용접 연구가 되었고, 그리고 강성수⁹⁻¹¹⁾ 등은 이종 Al합금의 점용접부의 용접성과 피로특성에 관한 연구를, 신현일⁴⁾과 민준기⁸⁾ 등은 고장력강판 및 아연도금강판의 점용접성에 관한 연구를 하였다. 또한 박익근^{1,2)}은 초음파 탐상법에 의해 용접부의 너깃형상 및 크기를 평가하고 비파괴적으로 용접부의 정량적평가에 관하여 연구하였다.

본 연구에서는 2024 Al합금과 아연도금강판을 이용하여 이들 이종재료에 대한 저항 점용접의 적용가능성을 검토하였다. 그리고 2024 Al합금과 아연도금강판과의 접합상태를 규명하기 위해 금속용융부의 경계면에 대한 현미경관찰결과와 C-scan 화상기법에 의한 용융부의 관찰결과를 이용하여 용접성을 평가하였고, 인장-전단강도 시험을 통하여 용접강도를 평가하였다. 이러한 실험을 토대로 이종재료의 용접부에 대한 비파

괴적 계측기법의 적용성 유무와 이종재료용접의 가능성을 제시하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

본 실험에 사용된 재료는 각각 두께가 0.8 mm인 2024 Al합금과 아연도금강판이며, 재료의 화학적 조성비는 독일의 BRUKER사에서 제작한 XRF로 분석을 하였다. Table 1은 2024 Al합금의 화학적 조성비를 나타내고 Table 2는 아연도금강판에서 도금층의 화학적 조성비를 나타낸다. 시험편은 기존에 다른 연구자들에 의해 선행된 연구에서의 이종재료 용접조건을 토대로 Table 3과 같은 용접조건으로 용접을 시행하였다. 시험편의 두께는 0.8 mm로 그 형상을 Fig. 1에 나타내었으며 1 사이클은 1/60 초를 의미한다.

2.2 실험방법

2.2.1 용접기

본 실험에 사용된 저항 점용접기는 최대 단락전류가 22 kA이고 최대 가압력이 800 kgf 까지 가능한 (주) 조흥전기의 75 kVA용량인 공기압 작동식(ASP-75)을 사용하였다.

Table 2 Chemical composition of zinc coated layer

Material	Chemical composition (wt%)			
	Zn	Fe	Al	Si
Zinc coated layer	98.9	0.520	0.415	0.0555

Table 3 Welding condition

specimen	welding force (kgf)	weld tim (cycle)	current (kA)	electrode tip dia (mm)
A	350	8	10~14	6
B		10		
C		12		

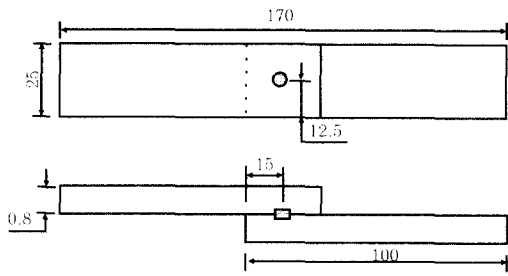


Fig. 1 Tensile-shear strength test specimen

2.2.2 인장시험기

용접부의 인장-전단강도를 측정하기 위하여 영국에서 제작된 모델 INSTRON-4467 시험기를 사용하였으며, 인장속도는 3 mm/min으로 하였다.

2.2.3 C-scan 화상 시스템

용접부의 비파괴평가는 초음파 C-scan 화상 시스템(Hitachi : 100 MHz)로 탐촉자는 25 MHz(focused type, focal length : 15 mm)를 사용하여 너깃(nugget) 형상과 크기 및 코로나본드(corona bond) 등을 관찰하였다.

수침법을 이용하면 초음파의 전달효율을 향상시킬 수가 있으므로 미소결함 검출능이 좋아지게 된다. 탐촉자에 고전류 펄스가 가해지면 초음파가 발생하여 재료 내부를 탄성파로 진행하고 결함이 있게되면 그곳에서 반사하게된다. 이 반사신호는 역의 경로로 탐촉자에 되돌아와서 전기신호로 변화하여 CRT상에 표시된다. C-scan 화상 시스템은 소정 게이트 내의 신호 피크치를 검출하고 이것을 A/D변환으로부터 컴퓨터 메모리에 기억한 후 일정 피치마다 데이터를 샘플링하여 기억시키는 것으로부터 시험편의 소정깊이에 있어서 초음파 에코정보를 수집한다. 일반적으로 결함의 상태는 초음파 에코의 크기로부터 펄스리시버(pulse receiver)로 증폭된 RF 신호 안의 게이트 범위내의 정과 부의 피크치를 검출하고 A/D 변환 후 컴퓨터 메모리에 기억되는 메모리 데이터는 화상출력장치로부터 신호 레벨을 휘도 레벨로 변환하여 모니터로 출력을 하는 장치이다.

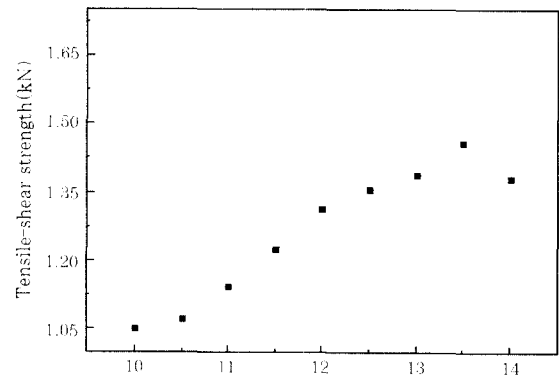
3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접조건에 따른 인장-전단강도

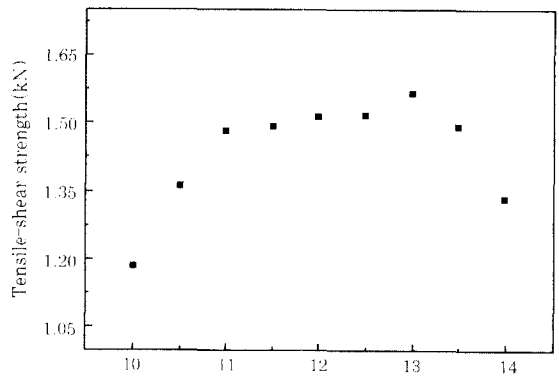
Fig. 2 (a)는 각각의 두께가 0.8 mm인 2024 Al합금과 아연도금강판을 가압력 350 kgf와 통전시간 8 사이클로 고정하고 전류를 10~14 kA의 범위로 용접한 시험편의 인장-전단강도를 측정 한 결과이다. 또한

(b)는 가압력 350 kgf와 통전시간 10 사이클로 고정하고 전류를 10~14 kA의 범위로 용접한 시험편의 인장-전단강도를 측정 한 결과이다. (c)는 같은 조건으로 통전시간만을 12 사이클로 변화를 주어 용접한 시험편의 인장-전단강도를 측정 한 결과를 나타내고 있다.

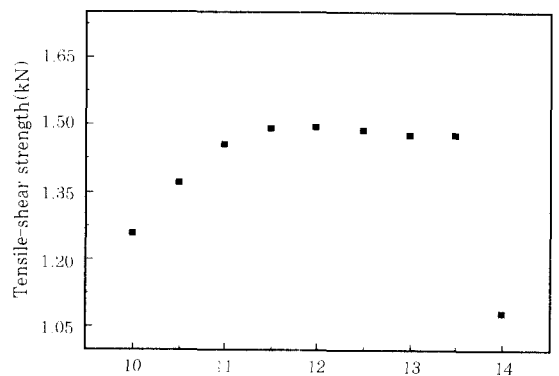
Fig. 2 (a)에서 나타나 있는 것처럼 통전시간을 8 사이클로 하여 전류를 가하게 되면 전류가 13.5 kA일 때 높은 인장-전단강도를 나타내고, 전류가 13.5 kA를



(a) 8 cycle



(b) 10 cycle



(c) 8 cycle

Fig. 2 The relation between current and tensile-shear strength(Diameter of electrode tip=6mm)

초과할 경우에 인장-전단강도가 저하되는 경향을 보인다. (b)에서 나타나 있는 것처럼 통전시간을 10 사이클로 하여 전류를 가하게 되면 전류가 11~13.5 kA의 범위에서 높은 인장-전단강도를 나타내고, 이중 전류가 13 kA에서 최대값을 보인다. 하지만 전류가 11 kA미만이거나 13.5 kA를 초과할 때는 인장-전단강도가 급격히 저하되는 경향을 나타내고 있다. 전류가 11 kA미만에서 강도가 저하되는 것은 통전시간에 비해 용접부에 낮은 전류가 가해져 충분한 용융이 이루어지지 않고, 전류가 13.5 kA를 초과할 때에 강도값이 낮아지는 것은 높은 전류에 의해 용접부에 용융분출현상에 기인하는 것으로 사료된다. Fig. 2(c)는 (b)와 마찬가지로 전류가 11~13.5 kA에서 높은 강도값을 나타내는 경향을 보인다. 하지만, 통전시간이 10 사이클 때와는 다르게 12 사이클에서는 전류가 11 kA미만에서는 강도가 완만하게 저하되는 경향을 보였다. 또한, 전류가 12 kA일 때 최대 강도를 갖는 것으로 나타나며, 10 사이클일 때와 같이 전류가 13.5 kA를 초과할 경우에 강도가 급격히 저하되는 현상을 보인다. 전류가 13.5 kA를 초과시, 강도가 급격히 저하되는 것은 높은 전류와 장시간의 통전에 의한 용융분출현상에 기인하여 용접부의 강도가 매우 낮게 나타나는 것으로 사료된다.

이와 같은 결과를 통해 통전시간이 8 사이클과 12 사이클일 때에 비해 같은 전류범위에서 통전시간이 10 사이클일 때가 인장-전단 강도가 더 높게 나타났다. 즉, 두께 0.8 mm의 박판 이중재질의 용접은 11~13.5 kA로 통전시간을 10 사이클로 용접을 수행하는 것이 좋은 강도를 갖는 것으로 나타났다.

3.2 용접조건에 따른 C-scan 화상

점용접부의 접합상태를 비파괴적 초음파 C-scan 화상 시스템에 의해 관찰하였다. Fig. 3은 통전시간이 8 사이클일 때, 전류가 10, 11, 12 kA 경우의 초음파 화상을 보이고, Fig. 4는 통전시간이 10 사이클일 때, 전류가 10, 11, 12 kA의 경우를 보이고 있다. Fig. 5는 통전시간이 12 사이클일 때, 전류가 10, 11, 12 kA의 경우를 나타낸다. 각각의 그림은 용접부의 너깃과 용접상태를 나타내고 있다. C-scan 화상에 색의 분포가 균일하고 짙게 나타나는 것은 용접부 너깃형성이 잘 이루어 졌음을 의미한다.

하지만, C-scan 화상에 색의 분포가 고르게 나타나지 않는 것은 용접부 형성이 잘되지 않은 코로나분드가 주

로 형성되어 있음을 확인 할 수 있었다. 즉, C-scan에서는 접합이 잘 이루어지지 않은 부분을 결함으로 취급하여 낮은 농도의 색으로 나타낸다. 또한 용접부를 평면으로 관찰할 수 있기 때문에 너깃(nugget) 형상과 크기를 쉽게 파악 할 수 있다. 각 그림에서와 같이 인장-전단 강도와 비교해 보면 강도가 높게 나타날수록 C-scan 화상에서도 용접부가 넓게 분포되어 나타나는 것을 알 수 있으며, 통전시간과 전류가 높아짐에 따라 아연도금강에 비해 알루미늄의 용융이 심하게 나타나 가압력에 의해 모재-모재 계면으로 용융재가 흘러 들어가는 현상을 볼 수 있다. 이로 인하여 용접부의 중앙에 아연도금강만 남는 현상을 나타내었다. 또한 Fig. 3, 4, 5의 초음파 C-scan화상에서 가장자리부근이 접합되지 않은 코로나분드 형태로 나타났다. C-scan화상 결과의 신뢰성을 보기 위해 점용접 시험편을 파단하여 전자 현미경(JSM-6400)으로 관찰하였다.

Fig. 6은 인장-전단 강도의 값이 같은 전류일 때 비교적 높고, 용접부가 넓게 분포되어 나타나는 통전시간 10사이클일 때의 전류가 10, 11, 12 kA의 경우 파단면을 나타내었다.

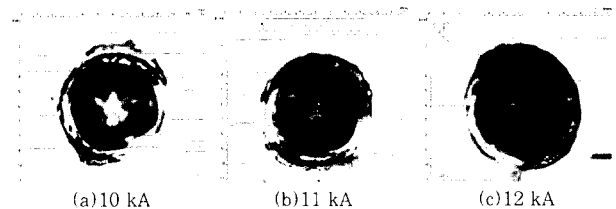


Fig. 3 C-scan image of spot welded zone (Weld time=8 cycle)

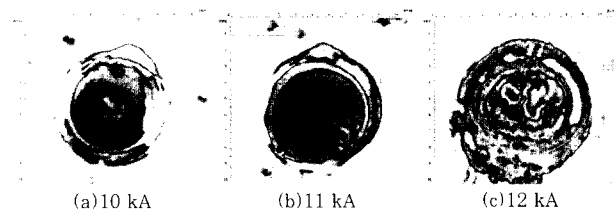


Fig. 4 C-scan image of spot welded zone (Weld time=10 cycle)

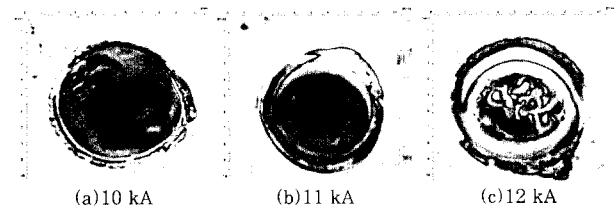


Fig. 5 C-scan image of spot welded zone (Weld time=12 cycle)

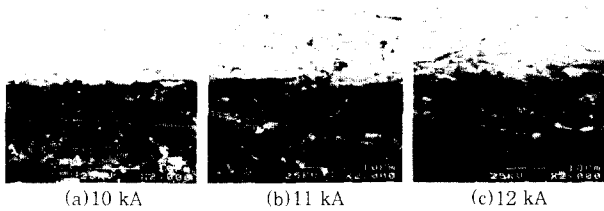


Fig. 6 SEM photographs of cross section (weld time = 10 cycle)

4. 결 론

본 연구는 2024 AI합금과 아연도금강판의 박판이종 재질 저항 점용접에 있어서 적절한 용접조건을 찾고 용접부를 비파괴적인 초음파 계측기법을 도입하여 평가하기 위한 실험으로 두께 0.8 mm의 박판을 사용하여 가압력과 전극팁 직경을 일정하게 하고 전류와 통전시간을 변화시켜 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전류가 11~13 kA, 통전시간이 10~12 사이클의 범위에서 용접이 잘 이루어지는 것으로 사료된다.

2) 전류가 11kA 미만의 경우에는 재료의 용융이 잘 이루어지지 않아 인장-전단강도가 낮게 나타나고, 전류가 13.5 kA를 초과하게 되면 용접 시 스패터(splatter)의 발생이 많아져 용접부의 인장-전단강도가 저하됨을 알 수 있었다.

3) 초음파 C-scan 화상으로 점용접부를 평가한 결과, 용접부의 상태와 코로나본드의 식별 등이 가능했으며, 현미경 관찰과도 일치하는 결과를 얻었다. 향후 점용접부의 품질평가에 유용한 정보를 제공해 줄 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 서울산업대학교 기성희 연구비에 의해 지원되었음.

참 고 문 헌

1. 이영훈: 자동차의 알루미늄화 기술, 자기연정보, 2-3(1993)
2. 강성수: 알루미늄 합금의 저항용접 기술의 현황과 전망, 대한용접학회지, 15-2(1997), 19-21
3. 손병천, 우승엽, 이재범, 최용범, 장희석: 이종재료(알루미늄합금-강판)의 저항 점용접에 관한 연구, 대한용접학회지, 15-4(1997), 42-62
4. 신현일, 강성수: 고장력강판 및 2층아연도금된 고장력 강판의 점용접성에 관한 연구, 대한용접학회지, 12-3(1994), 56-62
5. H. Oikawa, T. Satio, T. Yoshimure, T. Nagase, T. Kiriyaama : Spot Welding of Aluminum Clad Steel to Steel or Aluminum. -Dissimilar Metal Joining of Steel to Aluminum with Intermediate layer (Report 1), 일본용접학회논문집 14-1(1996), 69-80
6. M. Yasuyama, K. Igawa, T. Taka: Spot Welding of Aluminum and Steel Sheet with Insert of Aluminum Clad Steel Sheet. -Spot Welding of Aluminum and Steel Sheet (I), 일본 용접학회논문집, 14-2(1996), 314-320
7. S. Satonaka, K. Nishi, T. Nishiwaki, Y. Kohno: Ultrasonic Evaluation of Spot welds by Local Immersion Method, 일본용접학회논문집, 15-1(1997)
8. 민준기, 오영근, 김광수: 자동차용 도금강판의 점용접성에 관한 연구, 대한용접학회지, 14-3(1990), 41-47
9. 강성수, 정원욱: 초기 과하중이 점용접 인장전단 시험편의 피로거동에 미치는 영향, 대한용접학회지, 13-2(1995), 181-194
10. 박진철, 정원욱, 강성수: 이종 AI합금의 저항 점용접부 용접성과 피로특성에 관한 연구, 대한용접학회지, 17-2(1999), 44-52
11. 신현일, 박용석, 강성수: 5182 AI 합금판의 전기저항 점용접부 피로거동에 관한 연구, 대한용접학회지, 16-3(1998), 84-92
12. 박익근: 초음파계측에 의한 Spot용접품질의 비파괴적 평가, 대한용접학회지, 12-3(1994), 109-117