

## SPOT 용접을 이용한 알루미늄계 합금의 용접성 평가

염동빈<sup>+</sup>, 고준빈\*, 최병길<sup>+</sup>, 이성구<sup>++</sup>, 김엄기<sup>+++</sup>

(논문접수일 2001. 7. 30, 심사완료일 2002. 2. 27)

### Evaluation of Resistance Spot Welding Weldability of Aluminum Alloy 5000 Series

D.B. Yum<sup>+</sup>, J.B. Ko\*, B.K. Choi<sup>+</sup>, S.G. Lee<sup>++</sup>, A.K. Kim<sup>+++</sup>

#### Abstract

In order to obtain the basic informations for the development of high strength and high weldability aluminum alloy sheets, the experimental study was carried out to evaluate resistance spot welding characteristics and welding parameters (welding current, welding time, electrode force) for the aluminum alloy sheets. The mechanical properties of spot weld of aluminum alloy were evaluated by tensile shear test and by peel test at room temperature and also the welding possible zone was established through variation of current, electrode force and welding time.

**Key Words :** Weldability(용접성), Welding Current(용접(통전)전류), Welding Time(용접(통전)시간), Electrode Force(전극 가압력), Resistance Spot Welding(저항 점용접)

### 1. 서 론

산업 분야에 걸쳐, 용접은 제조 공정에 있어서 부품 결합, 기계 완성을 위한 기초적인 과정이다. 저항 점 용접은 브레이징(brazing), 나사체결, 리벳의 사용을 대체하기 위한 방법으로 여러분야에 널리 적용되고 있다<sup>(1)</sup>. 저항 점 용접은 용접시간이 짧고 용접자동화가 쉽기 때문에 자동차 조립, 철도차량 조립 및 가전제품 분야 널리 사용되고 있다. 점

용접을 적용하기 위하여 알루미늄 합금 같은 재료의 용접성에 관한 연구와 용접 구조물의 신뢰성에 관한 연구가 필요하다. 그 중에서도 가장 중요하게 생각할 것은 용접의 강도와 용접 가능 범위이다. 허용될수 있는 강도와 용접 가능 범위 내의 용접품을 생산하기위해 통전전류, 통전시간 그리고 전극 가압력을 알맞게 제어하는 것은 무엇보다 중요한 문제이다<sup>(2)</sup>.

점용접의 품질은 일반적으로 파괴나 비파괴 검사에 의해

\* 주저자, 한밭대학교 (kjb1002@hanbat.ac.kr)  
주소: 305-791 대전시 유성구 덕명동 산 16-1, Tel: 042-821-1623  
+ 한밭대학교  
++ 홍성기능대학교  
+++ 공주대학교

평가할수 있으나, 보통 벗김시험(peel test), 피로시험(fatigue test), 비틀림시험(torsion test), 인장시험(tension test) 그리고 인장-전단시험(tensile shear test) 등과 같은 파괴시험에 의해 평가될수있다<sup>(3)</sup>. 본 연구의 목적은 인장 전단 시험을 통해 용접부 품질을 평가하고 용접성 곡선<sup>(4-5)</sup>(weldability lobe curve)을 통해 용접 가능 범위를 파악하므로써 자동차, 고속 전철 차량, 특수차량 등 산업 전반적으로 알루미늄 합금의 적용범위를 제시하는데 있다.

## 2 실험 장치 및 방법

### 2.1 시험편 및 실험장치

본 연구에서 사용된 시험편은 Al 5000계열이다. Al-Mg 합금은 인장강도가 비교적 높고, 내부식성이 우수하며 또한 우수한 용접성 때문에 조선 및 철도 차량 등에 널리 사용되고 있다.

본 연구에 사용된 재료는 Al-Mg계열의 알루미늄 합금이었고 화학성분은 Table 1에 나타내었다.

시험편은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 인장 전단시험이 가능한 크기로 절단하였다. 절단 후 일정크기로 절단한 후 표면의 이물질을 제거하기 위해 표면을 아세톤 세척하였다. 정확하고 일정한 전극봉의 정렬을 위하여 시험편 표면의 상단 시험편에 용접위치를 하트게이지(금긋기 게이지)를 이용하여 표시하였다.

### 2.2 점 용접기

사용된 용접기는 150kVA급 정치식 단상 교류 점 용접기이다. 용접시 최대240kVA의 통전전류, 최대 가압력 1,200

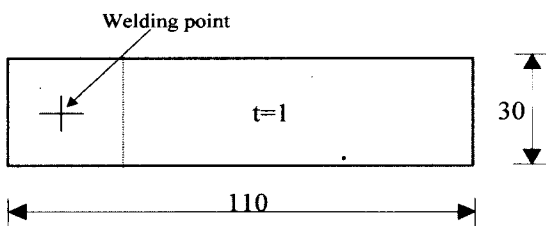


Fig. 1 Test piece (unit = mm)

Table 1 Chemical composition Al-Mg alloys

Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Al 5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.4	0.20	0.1	-

kg까지 가능하며 2단 가압이 가능하도록 하여 초기 가압과 용접 가압을 달리 가할수 있도록 하였다. 전극 가압력은 용접 전후에 하중계(load cell)로 이루어진 가압력계를 사용하여 측정하였고, 통전시간은 용접 조건 제어장치(timer)에 의해 제어하였고, 토로이달 코일(toroidal coil)을 이용하여 유효 전류, 최고전류, 상승전류, 하강전류 등을 측정하였다. 토로이달 코일에 걸리는 자속 변화는 용접기 전극에 흐르는 전류에 비례하기 때문에 토로이달 코일의 출력을 적당한 지시계(일본 Dengensia 사의 WS-20)로 필요한 전류 데이터를 얻을 수 있었다.

사용된 전극봉은 99%-Cu, 0.5~1.0% Cr 성분이 있는 CuCr(RWMA Class II)계열이고 지름이 16 mm인 Dome 형이었다.

### 2.3 인장강도 측정

본 연구의 인장 전단 강도 시험을 위해 시험편을 Fig. 2와 같이 제작 한 후에, 4484인스트론 인장 시험기를 사용하였다. 크로스 헤드(cross head)속도는 0.01-300 mm/s, 150 kN의 로드셀이 세팅되었다. 측정된 값은 모니터로 보여지고 저장되었다. 인장-전단 시험으로써 Fig. 3에서 보여지는 것과 같이 경계면(interfacial)파단과 버튼 홀(button hole; 단추 구멍이 빠진듯한)파단을 관찰할 수 있었다.

### 2.4 실험 방법

실험 방법은 통전시간, 통전전류, 전극가압력의 점 용접 변수의 변화로써 결정하였다. 용접-파라메타 범위의 결정과 전극봉 정렬을 위하여 예비시험 단계를 수행하였다. 예비 시험은 본 시험편과 동일한 형상과 재질의 판재를 일정 비율로써 수행하였다. 용접 조건은 Table 2에 나타내었으며, 결과의 신빙성을 위하여 동일한 용접 조건으로 5개의 시험

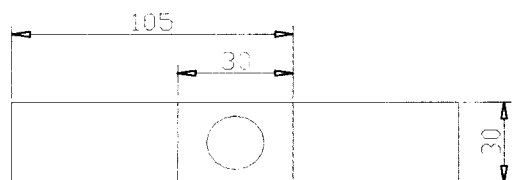


Fig. 2 Specimen of tensile-shear test for spot welding (unit = mm)

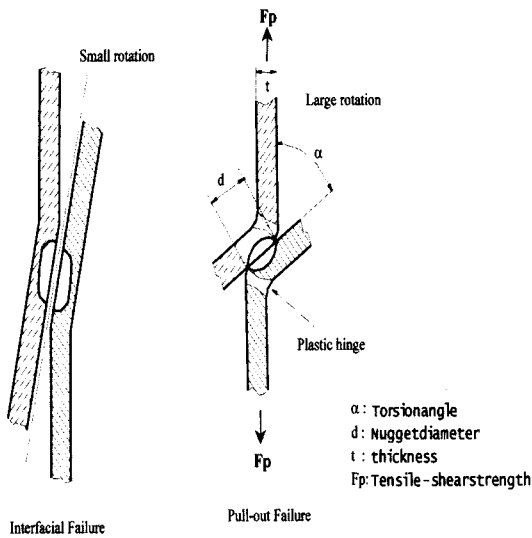


Fig. 3 Interfacial and pull-out failure (Button hole)

Table 2 Welding conditions

$P$	$t$	4cycles	6cycles	8cycles
200 $kg_f$		○	○	○
300 $kg_f$		○	○	○
400 $kg_f$		○	○	○

편을 제작하였다. 그 중 3개의 시험편은 인장-전단 시험에 나머지는 단면시험에 사용하였고, 인장-전단 시험시 인장-전단 강도는 3개의 시험편 결과의 평균치이다. 용접성 곡선을 작성하기 위한 실험절차를 Fig. 4에 나타내었다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

점 용접부의 인장 전단 강도는 용접성을 평가하는 주요 항목이다.

본 연구에서는 알루미늄 합금의 점용접시 용접시간이 철강재에 비하여 상대적으로 짧은 점을 감안하여 4, 6, 8 cycle로 변화 시켜가며 서로 다른 전류에서 인장 전단시험을 행하였다. 인장 전단 강도는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 낮은 전류에서 낮은 값을 나타내고 있으나 전류값이 24 kA를 넘으면서 일정값에 접근하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 너깃(nugget)형성에 필요한 입열량이 있으며, 그 이하로

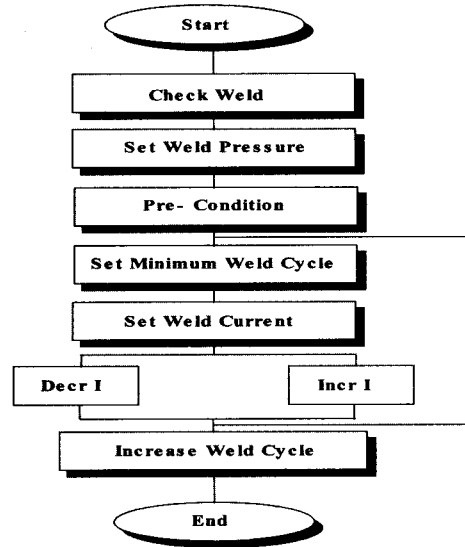


Fig. 4 Experimental procedure for weldability lobe curve

입열을 하게 되면 너깃이 형성되지 않거나 너깃 직경이 작아질 수 있다는 사실을 뒷받침하고 있다. 반면에 필요이상으로 입열량을 많게 할 경우 입열량 중 너깃 형성에 필요한 열량 이상의 여분 열량은 전극을 통하여 또는 모재로 열전도 되어진다. 나아가 과대 입열량시 내부 날림 등에 의하여 너깃 내부에 확대 또는 기공(void) 등이 형성되어 오히려 강도가 감소할 수 있다. Fig. 5에서는 30 kA 이상은 과대 입열량으로 평가할 수 있다.

한편 KSB 0850<sup>(7)</sup>(점 용접부의 검사방법)에 의하면 두께 1 mm 알루미늄 합금의 O 처리재인 경우 인장 전단강도는 다음식으로 표시된다.

$$\frac{kg_f / mm^2 \text{로 표시된 인장강도}}{10} \times 98 (kg_f) \quad (1)$$

본 연구에 사용된 알루미늄 합금은 AA5052 인바 AA5052의 인장강도는 19.7  $kg_f / mm^2$  이다. 따라서 KSB0850<sup>(7)</sup>이 요구하는 최소 평균 인장 전단 강도는 193  $kg_f$ 이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 가장 낮은 인장 전단 강도(22 kA-4 cycle)값이 295  $kg_f$  이기 때문에 허용 인장 전단 강도를 만족시키고 있다. 24 kA-6cycle로 용접할 경우 인장 전단강도는 465  $kg_f$ 로써 최소 인장 전단강도를 2.4배나 증가하기 때문에, 인장 전단 강도 측면에서는 용접 변수의 선택(24

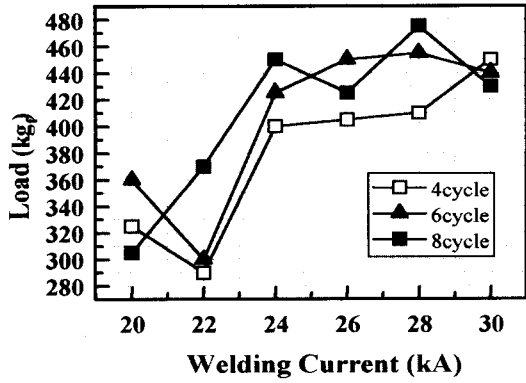


Fig. 5 Change of tensile-shear strength of Al alloy with welding current.

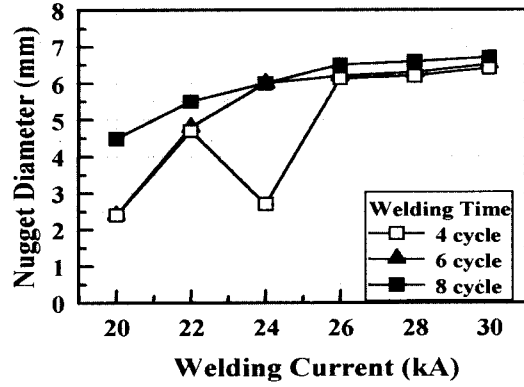


Fig. 6 Change of nugget diameter of Al alloy with welding current

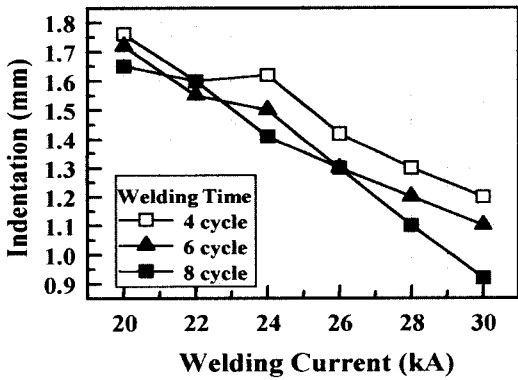


Fig. 7 Change of indentation of Al alloy with welding current

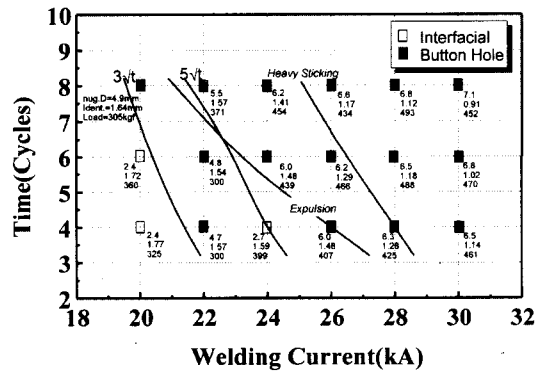


Fig. 8 Weld lobe curve

kA-6cycle)은 최적 상태에 가깝다고 할 수 있다.

22 kA에서 인장 전단 강도가 예상치보다 100 kgf 정도 적게 나타나는 것은 재질의 산화 피막 두께, 코르나 본드부 형성상태 및 너깃 생성과정이나 상태등에 기인하는 것으로 믿어지며 Imamura 등<sup>(8)</sup>의 연구에서도 유사한 연구결과를 얻고있다.

Fig. 6은 너깃 직경의 변화를 나타내었다. 점 용접시 너깃 크기에 따라 인장 전단 강도나 피로 강도가 달라지기 때문에 적정 너깃 크기를 두께별로 정하고 있는바 KSB0850에 의하면 두께 1 mm의 알루미늄 합금인 경우 적어도 2.8 mm 이상의 너깃 직경이 확보되어야 하며 특히 강도를 필요로 하는 용접부(A급) 경우 직경 4 mm 이상이 요구되고 있다.

본 연구에서는 24 kA 이상의 전류에서 5 mm의 너깃 직

경이 확보되고 있다. 그러나 전류를 24 kA 이상으로 증가시킬 경우 너깃 직경은 크게 증가하지 않으며 Fig. 6에서 보는바와같이 용접시간이 길어질수록 너깃 직경의 증가율 둔화 현상이 빨리 나타나고 있다.

인장 전단 강도는 너깃에 의해 결정되어지는 바 너깃 형성시 가압력에 의해 유발된 판내부의 응력과 고온에 따른 항복 응력의 저하에 의해 소성 변형이 너깃과 그 주위에 형성된다. 소성 변형은 주로 두께 방향으로 형성되며 소성 변형에 의한 두께의 얇아짐을 압흔(indentation)이라 한다. 가압력이 일정할 때 압흔은 입열량에 비례한다. Fig. 7은 이러한 비례관계를 나타내고 있으며 강판 용접시 압흔 깊이에 대한 제한을 하는 규정도 있으며 점 용접부의 검사 방법(KS0850)에 의하면 압흔율은 10%이다. 압흔 입열량 이외에 가압력에 의해서도 결정되어지는데 가압력을 적절히 선

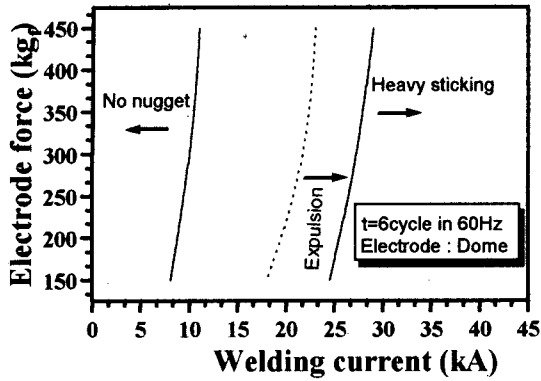


Fig. 9 Influence of electrode force on the weld lobe

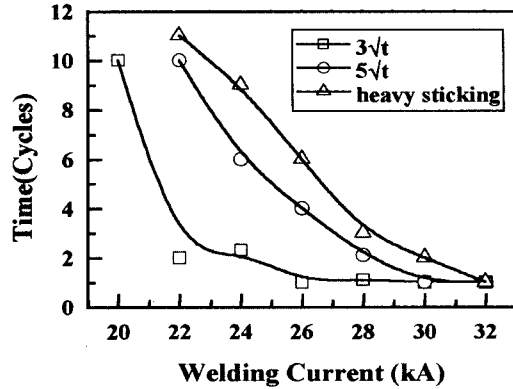


Fig. 10 Weld lobe for aluminum spot weld with Cone type electrode

정하면 압흔을 줄일수 있다는 연구가 있다<sup>(2)</sup>. Fig. 7에서 보는 바와 같이 2.6 kA-6 cycle 용접시 압흔율은 30%로서 비교적 적정한 것으로 판단된다. 또한 알루미늄 합금의 압흔율은 철강판과는 다른 기준으로 선정되어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 8은 이상과 같은 결과를 종합하고 시험편의 파단 형태를 함께 나타내었다.

전류의 증가와 더불어 보다 강도가 높은 button hole 파단이 발생하였다. 통전전류의 증가와 더불어 인장 하중 값이 높고 너짓 직경이 크을 볼 수 있다. 결과적으로  $3\sqrt{t}$ 와  $5\sqrt{t}$  사이의 영역을 용접 양호지역으로 판단할수 있다.

Fig. 9는 통전 시간을 6cycle 로 유지하고 전극 가압력을 달리하였을 때 전극봉의 가압력에 따른 용접성을 평가한 실험을 나타내고 있다. 여기에서도 각각의 가압력에 따라서 대략 20 kA ~ 30 kA 사이에서 양호한 용접성 결과를 볼수 있었다.

Fig. 10은 전극봉의 압력을 300 kgf 로 일정하게 유지하고 전극봉을 Cone type으로 교체하고 통전 전류와 통전 시간을 달리했을 때 나타나는 용접성의 상관관계를 용접 로베(weld lobe)곡선으로 작성하였다.

여기서 보여지는 것처럼 로베곡선의 용접전류 범위가 상당히 좁다. 이러한 현상은 전극형상에 기인하는 것으로 판단되고 너짓이 형성됨에 따라 전극선단이 판 중앙부로 전진하게 되며, 그 결과 압흔(indentation)이 돔(dome)형 보다 깊어짐과 동시에 로베 곡선(lobe curve)의 오른쪽 한계선이 넓어지지 못하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 알루미늄 합금의 저항 점 용접기술의 기초 연구자료를 확보하기 위하여 주요 파라메타를 이용하여 연구를 수행하였다. 각각의 파라메타 변화에서 현저한 차이를 보였는데, 각각의 통전시간(4~8cycle)에서 대략 22 kA ~ 28 kA의 통전전류 범위에서 안정적으로 나타났으며, 특히, 통전시간의 증가(6~8cycle)에 따라서 인장강도가 비교적 높게 평가됐다.

인장강도가 안정적으로 나타났던 통전시간 6cycle에서 통전전류와 가압력에 변화를 주었을 때, 가압력(200~400 kgf)의 변화에서도 대략 20 kA ~ 30 kA의 통전 전류 범위에서 안정성을 보여주었다.

따라서, 본 실험은 저항 점 용접법에 의하여 알루미늄 5052 합금을 용접 하였을 때 Weld lobe curve를 이용하여 용접성에 영향을 줄수 있는 인자 즉, 통전전류, 통전시간, 가압력 등의 특성 비교와 다양한 방법으로 기계적 특성 검토와 그 적용범위를 확대하였다.

#### 참고 문헌

- (1) 정남용, 이진호, "알루미늄 합금의 접착구조물에 대한 접착강도 평가", 한국공작기계학회지, 제8권, 제4호, pp. 35~44, 1999.
- (2) 김명준 "저항 용접", pp. 125~200, 1993.
- (3) 서승일, 이재근, 장상길, 차병우, "점용접시압흔 깊이 감소를 위한 최적 용접 조건선정에 관한연구", 대한용

- 접학회지, 제14권, 제2호, pp. 91 ~ 98, 1996.
- (4) "Procedures for determining the weldability lobe for resistance spot, projection and seam welding", IIW Doc. No. III-1006-93.
  - (5) W. Waddell and N. T. Williams, "Weldability definition relative to industrial requirements", Doc III-995-92.
  - (6) 한국 산업규격 KSB0854 점 용접 이음전단-인장강도 시험방법.
  - (7) 한국 산업규격 KSB 0850점 용접부의 검사 방법.
  - (8) Y. Imamura and S.Sasabe,1995, Resistance spot weld quality of Al-Mg alloy panel, preprints of the nationalmeeting of JWS, No. 51, pp. 54 ~ 64.