

알루미늄 결합법들의 결합 강도 평가

이명한*·박영배*·김현영**·오수익*

Evaluation of joining strength of aluminum joining methods

M. H. Lee, Y. B. Park, H. Y. Kim and S. I. Oh

Abstract

The automotive industry is currently trying to develop light-weight vehicle for both improvement of fuel efficiency and reduction of environmental pollution. For the reduction of vehicle weight, the substitution of aluminum for steel has been increased. However, the change of material causes a significant problem with respect to the method of joining. In this paper, strength of several aluminum joining methods such as spot welding, metal insert gas(MIG) welding, adhesive bonding was evaluated by performing lap test.

Key Words : spot welding, metal gas welding, adhesive bonding

1. 서 론(중고딕 10pt)

최근 자동차산업에서는 연비를 높이고 자동차 사용 소재의 재활용을 위한 방법으로 차체의 경량화가 자동차 제조업계의 공통적인 연구 목표가 되고 있다. 자동차 차체의 무게를 줄이는 방법으로는 철강을 대체할 수 있는 알루미늄 합금이나 탄소섬유강화플라스틱 등의 경량재의 사용을 늘리는 것이다. 알루미늄 합금은 가공성 및 내부식성이 우수하고, 낮은 비중에 비해 강도가 비교적 높은 장점에도 불구하고, 알루미늄 합금을 양산차종에 적용하기 위해서는 제조원가를 낮춤과 동시에 판재성형 및 접합기술의 고도화가 요구된다. 알루미늄 합금의 결합방법

은 냉연강판의 결합방법과 같이 기계적 결합, 용접에 의한 결합, 접착제를 이용한 결합이 있다.

현재 자동차산업에서 많이 적용되고 있는 용접에 의한 결합의 장점으로 첫째, 이음강도가 크고 신뢰성이 높고, 둘째, 이음효율을 100%로 할 수 있으며, 이외에도 생산설비가 싸고 범용성이 있는 장점이 있다. 그러나 용접에 의한 결합은 급열급냉에 의한 수축, 변형이 생기고 동시에 잔류응력을 수반하며, 용접부의 재질의 영향이 크고, 재료에 따라 용접이 곤란한 단점이 있다⁽¹⁾. 다음으로 접착제를 이용한 결합의 장점으로 첫째, 이종재료 및 다양한 재료의 결합이 가능하며, 둘째, 기계적 결합보다 넓은 영역에서 하중을 분포시키며, 큰 전단력에도 견딜 수 있

* 서울대학교 기계항공공학부

** 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

다. 하지만 접착제를 이용한 결합을 하는 과정이 복잡하고, 구조물의 분해가 어려우며, 사용 환경에 의한 영향을 많이 받아 결합 강도가 떨어지는 등의 단점이 있다⁽²⁾.

본 연구에서는 알루미늄 합금에 대하여 저항 점용접, MIG 용접 및 접착제를 이용한 단순접치기 이음에 대한 정적인장시험을 통해 결합강도를 평가하였고, 각각의 결합방법에 대하여 소재의 두께를 다르게 결합해 두께에 따른 결합강도 평가도 수행하였다.

2. 시험편 및 실험방법

본 실험에 사용된 알루미늄 합금은 판재성형에 주로 이용되는 Al 5052를 사용하였고, 그 화학 성분과 물성은 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 결합 후 인장전단시험에 사용된 시험편에 대한 치수 및 결합 개념도를 Fig 1.에 나타내었다.

2.1 저항 점용접

저항 점용접은 Fig. 1(a)와 같은 치수로 시험편의 두께를 2.0, 2.5, 3.0mm로 하여 준비하였다. 또한 알루미늄의 산

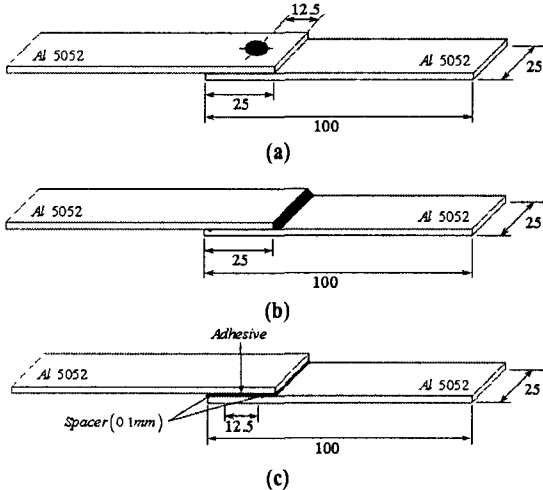


Fig. 1 Schematic of aluminum joining; (a) Spot welding, (b) MIG welding, (c) Adhesive bonding

Table 1 Chemical compositions of Al 5052

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Others	Al
Weight %	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2 - 2.9	0.15 - 0.35	0.10	0.05	rem

Table 2 Mechanical properties of Al 5052

Material	Young's modulus(Gpa)	Yield strength(Mpa)	Tensile strength(Mpa)	Shear strength(Mpa)
Al 5052	63.9	90	195	125

화피막이 결합강도에 미치는 영향을 알아보기 위한 시험편의 준비와 준비된 시험편을 두께별로 조합해 저항 점용접을 수행함으로써 시험편의 두께에 따른 결합강도도 평가하였다. 용접에 사용된 용접기는 금원사 데콤스타 70 시리즈를 이용하였으며, Table 3과 같은 용접조건으로 실험을 하였다.

2.2 MIG 용접

MIG 용접 시 소재의 두께는 저항 점용접에서와 같은 두께의 시험편을 사용하였고, 300 × 100 mm인 알루미늄 판재 준비하여 실험하였다. 준비된 시험편의 산화피막을 제거한 후, Kobelco사의 AL350인 MIG 용접기를 이용하여 Table 3과 같은 용접조건으로 용접하였고, 용접된 시험편을 Fig. 1 (b)와 같은 치수로 절단하여 인장시험용 시험편으로 사용하였다.

2.3 접착제를 이용한 결합

접착제에 의한 결합은 Fig. 1 (c)와 같은 치수로 점용접과 같은 두께의 시험편을 준비하였다. 점용접에서와 같이 시험편을 두께별로 결합해 시험편의 두께에 따른 결합강도도 평가하였다. 결합에 사용된 접착제는 에폭시 계열의 Hemming Sealer를 사용하였고, Table 4에 그 물성치 및 특성을 나타내었다.

접착시험편의 제작순서는 준비된 알루미늄의 접착면을 아세톤으로 탈지 세정하였다. 여기에 접착두께를 일정하게 유지하기 위하여 두께 0.1mm 종이테이프를 접착면의 양끝단에 부착한 뒤 접착제를 고르게 도포한 후, 두 시험편을 접합한 뒤 집계를 이용하여 시험편 전면을 고르게

Table 3 Parameters of the spot and MIG welding

Welding method	Item	Conditions
Spot welding	Weld time(cycle)	110
	Current range(kA)	30 - 35
	Force(kgf)	400
MIG welding	Current(A)	55~70
	Voltage(V)	0~1
	Weld penetration	1.8~2

가압하였다. 접착제의 경화를 위해 185℃에서 약 20분간 경화시킨 후 공기중에서 완전히 식힌 다음 실험에 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

단순접합기 이음의 결합강도를 측정하기 위하여 인장전단시험을 실시하였다. 실험에는 용량 10톤의 인장시험기를 사용하였으며, 시험속도는 5mm/min으로 일정하게 유지하였다. 실험결과는 각 결합 방법에 대하여 시편의 두께 조합에 따른 알루미늄의 인장하중 대비 각 결합의 결합하중 비율(%)로 나타내었다.

3.1 저항 점용접

저항 점용접 시편의 인장전단시험 결과를 Fig. 2에 시편의 두께와 모재의 인장강도 대비 결합 강도의 관계로 나타내었다. 인장전단 시험시 점용접의 파단유형은 크게 세 가지로 나뉜다. 첫 번째는 용접 부족으로 판과 판이 너겟부에서 분리되는 판간 분리(shear failure), 두 번째는 등그런 너겟부가 반대쪽 알루미늄 판에서 완전히 분리되는 버튼 파괴(button failure), 세 번째는 모재를 찢으며 파단되는 테어 파괴(tear failure)이다. 버튼 파괴와 테어 파괴의 경우 용접 상태가 양호하다고 할 수 있다. 본 실험의 경우 판간 분리와 버튼 파괴의 두 가지 형상이 나타났다. 저항 점용접은 접합면을 가압한 후 전류를 통전 시켜 용접하는 방법이므로 접합면의 표면 상태가 용접 강도에 영향을 미치게 된다. 알루미늄의 경우 표면에 산화막을 형성하고 있기 때문에 본 실험에서는 기계적인 방법에 의하여 산화막을 제거한 경우와 제거하지 않은 경우의 두 가지 경우에 대하여 인장 전단 실험을 수행하였다. Fig. 2에서 보이듯이 산화막을 제거한 경우의 용접 강도가 제거하지 않은 경우의 용접 강도와 거의 비슷하거나 약간 크게 측정되었다. 그러므로 알루미늄의 저항 점용접시 산화막의 존재 여부가 용접 강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.2 MIG용접

MIG 용접 시편의 인장전단시험 결과를 Fig. 3에 시편의 두께와 모재의 인장강도 대비 결합 강도의 관계로 나

Table 4 Properties of Hemming Sealer

Shear stress, KS M-2095	> 17.5MPa
Cleavage load	> 4kg/25mm
Viscosity	4000~14000PS
Cure temperature	160~190℃

타내었다. MIG 용접의 경우 용접시 청정작용에 의해 알루미늄의 산화막이 제거되는 것으로 알려져 있으므로 알루미늄의 산화막이 결합강도에 미치는 영향에 대한 실험은 수행하지 않았다⁽¹⁾. 인장 실험 후의 MIG 용접 시편의 파단은 모두 용접부 주위에서 발생하였다. 이는 용접부 주위의 HAZ(heat affected zone) 구간에서의 취성 증가로 판단된다.

3.3 접착제를 이용한 결합

접착제를 이용한 결합의 인장전단시험 결과를 Fig. 4에 시편의 두께와 모재의 인장강도 대비 결합 강도의 관계로 나타내었다. 인장전단 시험시 접착제를 이용한 결합의 파단유형은 크게 세 가지로 나뉜다⁽²⁾. 첫 번째는 알루미늄과 접착제의 계면에서 분리가 발생하는 계면파괴(interfacial fracture), 두 번째는 접착제 자체가 파괴되는 벌크파괴(bulk fracture), 세 번째는 앞의 두 파괴의 중간과정인 전이파괴(transition fracture)이다. 벌크파괴와 전

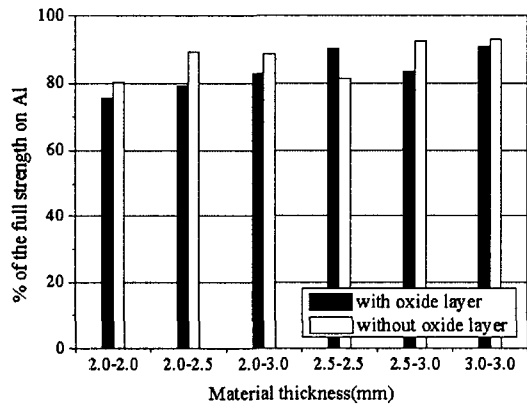


Fig. 4 Relation between lap shear strength and thickness of substrates in spot welding

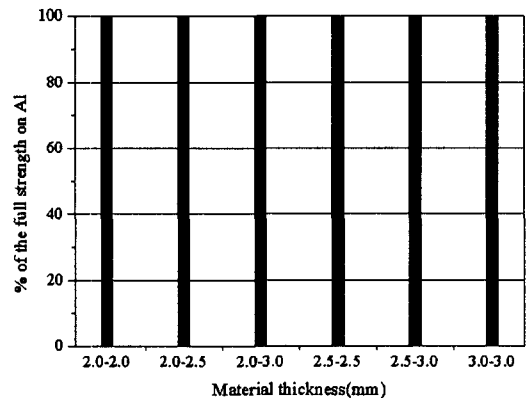


Fig. 4 Relation between lap shear strength and thickness of substrates in spot welding

이파괴의 경우 결합 상태가 양호하다고 할 수 있다. 본 실험에서는 별파괴가 나타났다. 접착제를 이용한 결합에서 접합면의 표면 상태가 결합강도에 영향을 미치게 된다. 알루미늄의 경우 표면에 산화막을 형성하고 있기 때문에 본 실험에서는 기계적인 방법에 의하여 산화막을 제거한 경우와 제거하지 않은 경우의 두 가지 경우에 대하여 인장전단시험을 수행하였다. Fig. 4에 보여지듯이 산화막을 제거한 경우의 결합강도가 제거하지 않은 경우의 결합강도와 거의 비슷하거나 약간 크게 측정되었다. 그러므로 알루미늄의 접착제를 이용한 결합시 산화막의 존재 여부가 결합강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.4 각 결합 방법의 비교

각 결합방법에 대한 실험 결과를 전단하중으로 비교한 Fig. 5에 나타내었다. 모재를 녹여 결합을 하는 MIG 용접이 결합하중이 가장 큰 것을 알 수 있으며, 저항 점용접과 접착제를 이용한 결합의 경우 결합하중은 비슷하게

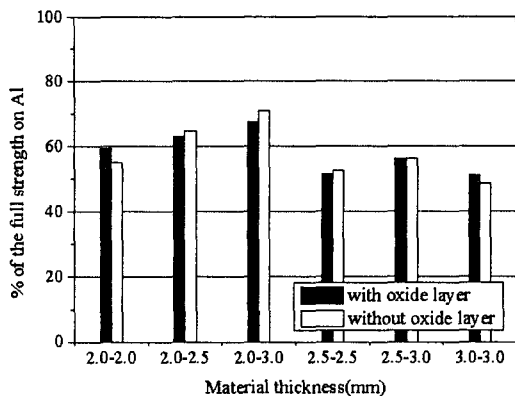


Fig. 4 Relation between lap shear strength and thickness of substrates in adhesive bonding

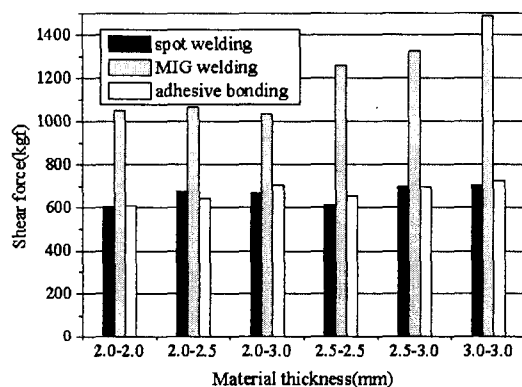


Fig. 5 Joining force compared

측정되었다. 그러므로 기존의 점용접을 대체할 새로운 결합법을 고려할 경우 접착제를 이용한 결합이 한가지 대안이 될 수 있을 것이라 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 합금에 대하여 저항 점용접, MIG 용접, 접착제를 이용한 결합에 대하여 인장전단시험을 통해 각 결합방법에 대한 결합강도를 측정하였고, 각 결합방법의 적용 시 고려되어야 할 점을 알아보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 알루미늄 합금의 저항 점용접 후 인장시험 결과 판간 분리와 버튼 파괴의 두 가지 형상이 나타났으며, 또한 알루미늄 합금 표면의 산화막의 존재여부는 용접강도에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

(2) 알루미늄 합금의 MIG 용접 가능성에 대하여 알아 보았다. 또한 인장전단시험 결과 용접부 주위에서 파괴가 일어났으며, 이는 열영향부의 취성 증가로 판단된다.

(3) 에폭시 계열의 접착제를 이용한 결합의 인장시험 결과 벌크 파괴의 형상이 나타났으며, 또한 알루미늄 합금 표면의 산화막의 존재여부는 결합강도에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

(4) 모재를 녹여서 결합하는 MIG용접이 가장 높은 결합하중을 나타냈다. 저항 점용접과 접착제를 이용한 결합의 경우 결합하중은 비슷하였으며, 향후 점용접을 대체할 결합방법으로 접착제가 사용될 수 있을 것이라고 판단된다.

후 기

본 연구는 현대·기아자동차의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 엄동석, 1994, "용접공학", 문운당
- (2) J. Shields, "Adhesive handbook(third edition)", Butterworth & Co