

이종 Al합금의 저항점용접부 용접성과 피로특성에 관한 연구

박진철* · 정원욱** · 강성수***

A Study on the Weldability and the Fatigue Characteristics in Resistance Spot Welding of 5182-O/6061-T6 Dissimilar Aluminum Alloy Sheets

J. C. Park*, W. W. Jung** and S. S. Kang***

Key Words : Resistance spot welding of dissimilar Al alloy (이종알루미늄합금의 저항점용접), 5182-O, 6061-T6, Fatigue test(피로시험), $\Delta L-N_f$ curve(하중수명 곡선), Fatigue strength(피로강도)

Abstract

This study deals with spot weld ability of dissimilar aluminum alloy sheets in order to take advantage of its lightweight and strength. The paper also shows the relationship between weld elements(i.e., current, welding time and tip force) and weld quality on the resistance spot weld part of the same and dissimilar Al alloy.

The conclusions are:

- (1) Because of excessive tip force, deep indentation remained at the Al 5182 side which is lower stiffness at the dissimilar Al alloy.
- (2) Weld quality(i.e. tensile shear strength) of dissimilar Al alloy is superior to that of the same Al 6061 alloy.
- (3) As long cycles, fatigue life of spot weld specimen on dissimilar Al alloy sheets was better than that of the same Al Alloy.

1. 서 론

저항점용접을 Al합금 자동차 차체의 접합법으로 채용한다면 경량재인 Al합금을 사용한다는 측면과 기존의 생산설비의 활용이 가능하다는 측면에서 점용접의 장점이 우수한 생산성과 동시에 현실적으로 경량화 대책의 일환으로 기존 업계가 가장 적은 비용으로 쉽게 접근이 가능하다는 장점이 있다.¹⁻⁴⁾ 그리고 이것은 파

거부터 현 항공기에 사용되고 있는 만큼 안전도면에서도 월등한 경쟁력을 지니고 있다.^{5,6)} 그러나 현재 Al합금은 점용접이 어려운 물리적 성질⁷⁻¹²⁾과 실차에 적용되고 있는 고장력 강판에 비하여 기계적 성질이 떨어지기 때문에 사용되는 곳이 극히 한정적이어서 좀더 효과적이고 효율적으로 Al합금을 적용하고자 여러 가지 방안이 제시되고 있으며, 그 중 이종 재료를 활용한 방법이 학회에서 주목받고 있다.^{13,14)} 현재까지 여러 가지의 재질에 이종용접을 실시한 예^{14,15)}가 있지만 물리

* 1998년 8월 28일 접수

* 비회원, 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 비회원, 현대자동차(주)

*** 정회원, 부산대학교 기계공학부

• 강성수 : kangss@hyowon.pusan.ac.kr

적 성질이 유사하고 널리 알려진 5000계열 Al합금과 6000계열 Al합금을 저항점용접법을 이용하여 일체화시켜 자동차 부품에 적용한다면 검증된 Al합금을 폭넓게 사용하여 연구 기간도 단축시킬 수 있다. 그리고 5000계열 Al재는 용접성과 성형성은 우수하지만 성형시 표면에 결함이 발생하고 6000계열 Al재는 우수한 강도를 가지지만 점용접성과 피로강도가 떨어지는 단점을 지니고 있다. 하지만 이 재료들을 일체화시킨다면 상호 보완을 통해 강도 및 용접성 등을 현저히 향상시킨 Al판재를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

자동차 차체는 수천 점의 점용접부로 구성되어 있어 승객의 안전성을 고려하여 제품 설계할 때 무엇보다 용접부에 대한 신뢰성 평가가 필히 요구된다.^{3,14)} 하지만 점용접부는 지속적인 저하중의 반복하중과 순간적인 임계하중에 대하여 기하학적으로 외부하중의 집중부로 작용하며, 내부적으로 용접시 발생하는 대변형과 열영향부 등으로 단순한 구조해석을 통한 신뢰성 평가가 매우 어려운 실정이다. 특히 강도는 모재의 기계적 성질, 용접부의 미세조직, 경도분포, 용접조건 등에 의해 크게 좌우되는데^{14,16,17)}, 이종 Al재 점용접부는 조직적 특성과 기계적 성질이 다른 모재들이 일체화되어 있기 때문에 실제에 적용하기 위해서는 외부하중에 대해 동종 재질일 경우와 정적·동적 거동에 관한 비교 연구를 통하여 신뢰성 있는 자료를 제시할 필요가 있다.^{14,17)}

따라서 본 연구는 6061 Al재와 5182 Al재의 이종 Al재료의 점용접성 연구를 통하여 이종 Al재의 점용접 특성을 밝혀 최적용접 조건을 제시하고, 정적·피로파괴거동 연구를 통해 이종 Al재의 점용접부가 실제적으로 적용가능한 지를 판단하기 위한 신뢰성 평가를 하고자 한다.

2. 실험재료와 방법

2.1 실험재료

본 연구에서 사용된 합금 성분과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에서 나타내었다. 대체로 5182 Al재는 6061 Al재에 비하여 합금원소의 함량이 많아서 열전도도가 낮으며 전기저항성이 비교적 크기 때문에 저항용접성이 우수할 것으로 판단된다.¹⁶⁾ Al-Mg 고용경화 합금인 5182 Al합금은 6061 Al합금보다 연신율이 대략 172%으로 성형성은 우수하지만 성형시 표면에서 결함이 발생하여 가공면이 거칠어지며 Mg합금원소로 인하여 가공경화가 급격히 발생^{1,16)}하여

주로 내장재로 사용되고 있으며, Al-Mg-Si계열의 6061 Al합금¹⁸⁾은 어느 정도의 성형성을 가지면서 특히 항복강도가 5182 Al재에 거의 2배 이상 크며 소량의 냉각가공을 가하면 결함도 제거가 가능하여 표면이 아름다워 외장재로서 알맞은 성질을 지니고 있다.^{1,2)} 표면산화막의 문제에서 Mg함량이 높은 재료는 소재 표면에 MgO 산화막을 쉽게 형성하는데 반해 6061 Al합금은 쉽게 형성되지 않으며 우수한 내식성을 지닌다.⁴⁾

Table 1. Composition of Al alloys(wt%)

Alloy	Al	Mn	Si	Mg	Cr
5182-O	Rem	0.35	0.1	4.5	0.1
6061-T6	Rem	0.3	0.6	1	0.2

Table 2. Mechanical properties of Al alloys

		6061Al	5182Al
Ultimate tensile strength	[MPa]	310	275
Yield strength	[MPa]	275	130
Young's modulus	[GPa]	69	69.6
Elongation	[%]	12	21
Fatigue limit	(5×10^8)	95	138
Hardness	[HV]	107	84

2.2 용접장비

실험에 사용한 용접기의 용량과 전극 팁의 규격을 Table 3에 나타내었다(KS규격).

Table 3. Specification of welding machine and electrode

Welding machine	
Rated capacity	150kVA
Rated frequency	60Hz
Max. electrode force	14.7kN
Max. welding current	40kA
Electrode tip	
Material	RWMA CLASS II (Cu-Cr Alloy)
Tip type	dome type
Tip diameter	16mm
Diameter of tip front	6mm

2.3 실험방법

이종 Al합금의 재료선정은 점용접시 두 금속간의 용접차, 열전도도, 열팽창계수 등에 대한 비교 검토를 통

해 용접차이(100℃이하)로 인한 용접부 균열발생여부와 열전도율과 열팽창계수의 차가 큰 경우에 발생할 너깃 형상이 한쪽으로 치우침이나 냉각시 서로 다른 열팽창으로 인한 접합면에서의 잔류응력 등 결합발생 여부를 고려하여¹⁹⁾ Al판재가 접용접이 가능한 지를 평가하여 선택한다. 본 연구에 사용될 재료의 열적 성질은 용접과 열팽창계수의 차이는 거의 없는 반면 열전도도와 전기저항성에서는 약간의 차이를 보이고 있지만 용접에는 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다. 용접조건은 먼저 예비실험을 실시하여 Al재 종류별로 용접조건을 달리하여 인장실험을 실시하여 강도값 중에서 KS B 0850의 B급 이상을 만족하는 시점을 적정용접조건으로 하한치로 규정하였다. 그리고 피용접재 사이에서 지나친 비산이 발생하거나 전극과 접하는 판재표면에서 고온산화 및 전극선단에서의 열화로 인한 오염 등이 심하게 발생할 경우에 실험을 중단하였다.

접용접부 평가방법은 인장전단실험으로 우선 동종 Al재의 용접조건에 대한 용접부 강도평가를 통해 최적의 접용접조건을 구한 다음^{15,20,21)} 조직검사와 경도측정을 통하여 이를 검증하였다. 그 후, 이 조건들을 이종 Al재의 용접조건으로 적용하여 인장전단실험과 용접부 조직검사를 실시하여 위 조건의 타당성을 평가하고 이종 Al재의 최적 용접조건을 선정하였다. 인장전단 시험편은 KS B 0852 규격에 따라 제작되었으며, 용접초기조건(가압시간:5cycle, 유지시간:15cycle)으로 동일하게 설정하였고, 가압력은 공압 게이지값으로 설정하였다. 전극의 마모영향⁴⁾을 배제하기 위하여 용접조건을 변화시킬 때마다 교체하였다. 전단시험은 Instron model No.8516을 이용하여 하중속도를 10mm/min으로 하여 수행하였다. 광학현미경을 이용하여 미세조직을 촬영하였고 너깃 크기는 peel test를 통해 측정하였다. 경도측정은 마이크로비커스 경도기를 이용하여 판경계면에서 두께방향으로 0.25mm떨어진 위치에서 임의간격으로 실시하였다.

피로특성을 관찰하기 위하여 위에서 구한 최적용접조건을 가지고 각 재료에 대한 피로시험편을 제작·피로 실험을 실시한 후 5182 Al재와 6061 Al재에서의 피로특성을 구하여 서로 비교·분석하였다. 그리고 이종 Al용접부의 하중 변화에 따른 피로파괴 거동연구를 통해 이종 Al재의 피로특성을 밝히고자 하였다. 동일 Al재와 이종 Al재의 피로수명곡선을 비교·검토를 통하여 이종Al재의 접용접법이 실제현장에 적용가능한지를 평가하였으며 이에 대한 기초자료를 제시하였다. 피로시험편은 KS B 0528 규격에 따라 제작하였고 피로강도 측정은 응력비 R=0, fz=20Hz인 편진인장 조

건의 하중제어방식으로 시험하였다. 피로수명(Nf)은 피로균열이 내부에서 발생·성장하여 표면을 관통하여 부하하중이 떨어지는 지점으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이종Al합금의 용접조건선정

동일 Al합금 최적 용접조건을 구하기 위하여 가압력 변화에 대한 용접부 인장전단강도(tensile-shear strength:TS strength)의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 5182 Al재 용접조건은 가압력이 2.94kN에서부터 4.12kN까지 변화할 때, 용접부 강도는 가압력이 3.43kN에서 7.61kN으로 최대값을 가지는 것으로 나타났다. 6061 Al재에서는 가압력을 3.43kN부터 6.27kN까지 변화에 따른 강도변화를 살펴보면 가압력이 4.12kN에서 용접부 강도가 최대 4.83kN을 가졌다. 하지만 최대강도를 갖는 조건 이상의 과잉 가압력은 모재표면에 깊은 함입을 발생시켜 용접부내부의 너깃경 두께가 감소와 전극과 모재 및 모재와 모재사이의 통전면적이 증가로 인한 입열량이 감소하여 용접부 강도는 점차 감소하였다.

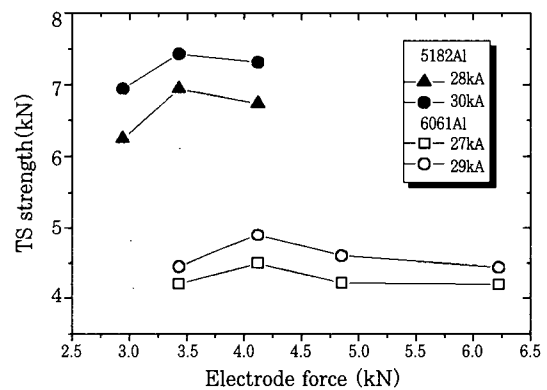


Fig. 1 Electrode force vs TS strength

상기에서 구한 가압력에서 전류값의 변화에 따른 용접부 강도 영향을 Fig. 2에 나타내었다. 5182 Al재에서 전류값이 27kA에서 30kA까지 변화할 때 통전시간이 8cycle에서 전류조건에 따라서 강도가 떨어지는 현상도 발생하였지만 전체적으로 강도는 30kA까지 증가하였다. 하지만 6061 Al재에서는 전류값이 25kA에서 30kA까지 변화함에 따라 강도는 29kA에서 최대값을 가지며 그 이상에서는 평행상태를 유지하거나 떨어지는 현상이 관찰되었다.

통전시간에 따른 각 Al합금의 용접부 강도는 Fig. 3에서와 같이 10cycle에서 최대값을 가진 후에 비산 등

과잉입열 결과로 점차 떨어지는 경향을 보였다. 하지만 6061 Al합금에서는 가압력이 4.85kN, 30kA에서는 8cycle에서 최대강도를 가지는데 이것은 용접기 자체의 용접조건의 실험오차로 판단된다.

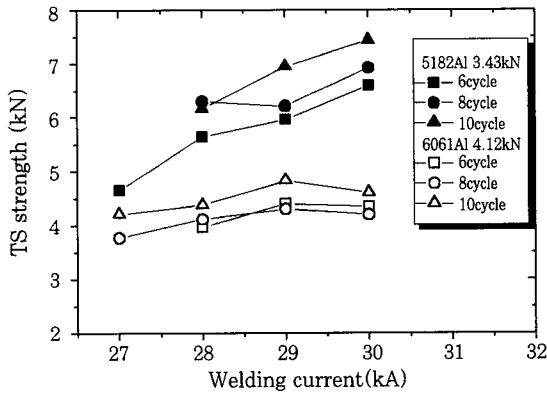


Fig. 2 Welding current vs TS strength

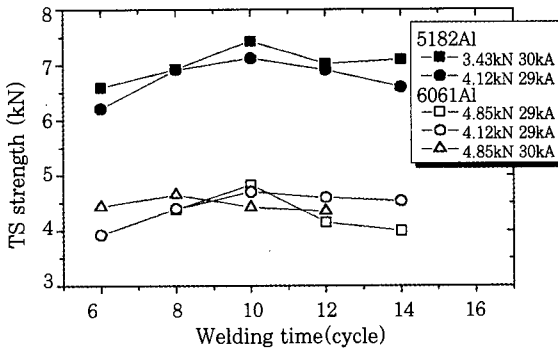


Fig. 3 Welding time vs TS strength

위의 시험결과를 요약하면, 6061 Al합금은 5182 Al합금보다 최적 용접조건에서 비교해 보면 가압력은 대략 0.7kN만큼 큰 값을 가지며 전류값은 29kA, 통전시간은 10cycle으로 큰 용접조건의 차이는 볼 수 없었다. 하지만 용접부 강도는 5182 Al합금이 6061 Al합금에 비해 현저히 높은 값을 가졌는데 최대 46% 이상 차이가 발생하였다. 이는 비교적 높은 저항과 낮은 열전도도 등 저항용접상 유리한 측면이 작용한 결과로 판단된다.

5182 Al재와 6061 Al재의 용접조건을 이종 Al재에 적용하였을때 용접부 강도변화를 살펴보면 Fig. 4와 같다. 통전시간이 10cycle에서 용접부의 강도 크기는 용접조건에 따라 약간의 차이가 있지만 6~6.5kN으로 이종Al재의 용접부 강도는 KS규격(A급 평균강도: 5.55kN(5182Al))이상으로 높게 나타났으며, 전체적으로 통전시간 10cycle에서 강도는 최대값을 가진다. 그러나 6061 Al재 조건에서는 가압력이 높을 경우 항복강도가 낮은 5182 Al판재에 집중되어 외부적으로

과잉압흔 자국과 판분리 현상 등이 현저하게 발생하여 두께방향으로 너트의 불균일형상이 발생위험이 있어 5182 Al재 용접조건을 기준으로 이종 Al용접조건을 선정하는 것이 현명한 것으로 판단된다. 이종재료의 용접조건을 Table 4와 같이 최종 선정하였다

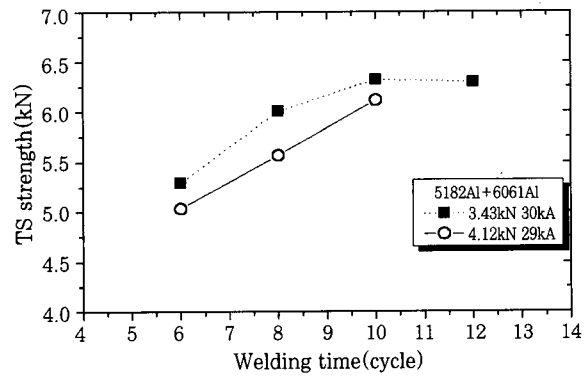


Fig. 4 Welding condition vs TS strength of dissimilar Al weld part

Table 4. Optimal spot weld condition and TS strength

Parameter	Types of Al alloy		
	5182Al	6061Al	5182+6061
Welding time (cycle)	10	10	10
Pressure (kN)	3.43	4.12	3.43
Current (kA)	30	29	30
TS strength (kN)	7.44	4.83	6.27

이때 용접부를 살펴보면 5182 Al재는 Fig. 5(a)에서 너트의 단면형상은 용접부의 중심에서는 함입으로 인하여 너트의 두께가 작은 반면, HAZ로 갈수록 두꺼워지는 형상이 관찰되었으며 경도는 모재와 거의 차이가 발생하지 않는 분포를 지니고 있다. 그러나 6061 Al재에 비하여 너트 중심부에 균열이 많이 발생하는 특징이 있었다. 그에 반해 6061 Al재는 Fig. 5(b)을 보면 너트 형상은 중심부에서 가장 두꺼우며 가장자리로 갈수록 좁아지는 형상을 보인다. 경도는 모재와 용접부의 경도차이가 심하게 나타났는데 이것은 6061 Al재와 같이 열처리합금은 용접열에 의하여 풀림 현상이 발생한 것으로 판단된다.

이종 Al재의 용접부는 Fig. 5(c)에서 보면, 6061 Al판 부분의 너트형상은 중심부가 가장자리보다 두꺼운 형상이었고 5182 Al판 부분은 그와는 반대 형상으로 동일 Al재의 용접부 형상과 거의 일치하였다. 그리고 경도분포도도 각 Al재의 용접부 분포와 거의 일치하는 것으로 보아 이종 Al재의 용접시 각 재료의 용접

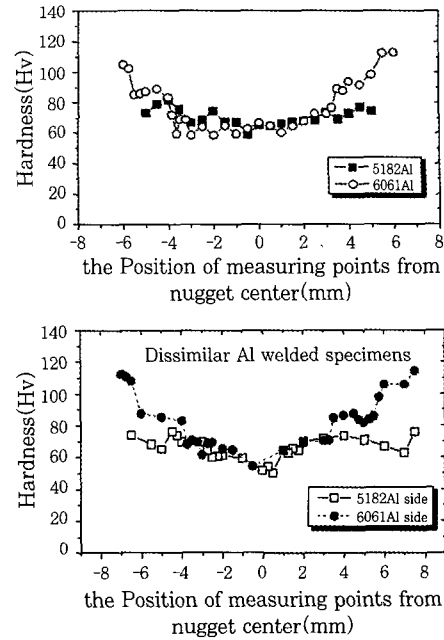
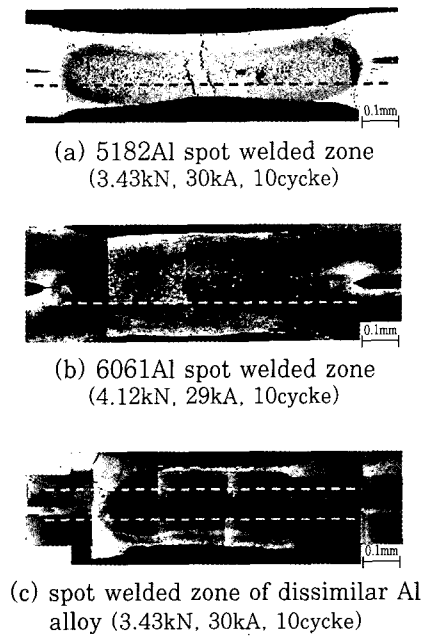


Fig. 5 Shape of welding zones of Al alloy (5172Al, 6061Al, 5182Al+6061Al)

인자(전기전도도 및 저항성, 열전도율) 등에 의해 용접부가 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 하지만 너깃 중심부의 균열은 동일 용접조건인 5182 Al재의 용접부에 비해 현저히 감소하였으나 기공의 생성은 훨씬 증가하였다.

3.2 Al합금의 용접부 강도

너깃의 크기는 용접조건 및 용접부 강도를 나타내는 중요한 요소이다.^{20,21)} 특히, 정적 강도평가는 준정적인 파단해석에 가장 중요한 요소이므로 용접조건-너깃 크기, 너깃경-인장전단강도, 인장전단강도-변위 등 상호 관계를 제시함으로써 이를 나타내고자 하였다.

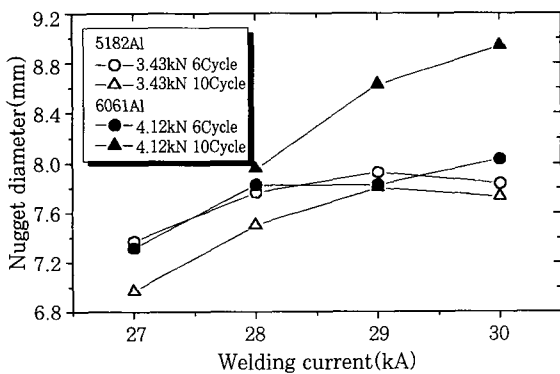


Fig. 6 Nugget diameter vs weld current

용접조건을 변화시킬 때 5182 Al재와 6061 Al재의 너깃경 변화를 Fig. 6에서 살펴보면 최대 너깃크기는

일반적으로 너깃크기의 기준으로 쓰이는 $5\sqrt{t}$ (KS A급 평균너깃크기: 7.1mm)을 만족하였지만 6061 Al재의 경우 통전시간이 10cycle이상 증가하더라도 너깃은 열적 평형에 의해 결정되기 때문에 어느 한도이상 증가하지는 않았다. 그리고 이러한 변화는 인장전단강도와 상당히 유사한 양상을 보여주고 있었다. 이중 Al재 용접시 통전시간에 따른 너깃 크기 변화를 Fig. 7에서 살펴보면, 3.43kN-30kA에서는 10cycle에서 너깃은 포화되었으며 그 이후에는 비산이 발생하여 감소하는 경향을 보였다. 하지만 4.12kN-29kA에서는 통전시간이 증가함에 따라서 완만하게 너깃 크기가 증가함을 보인다. 이것은 높은 가압력이 비산이 발생하는 것을 방지하기 때문으로 판단되지만 6061 Al면에서 전극 오염현상이 심하며 5182 Al면에서는 과잉압흔 현상이 발생하였다.

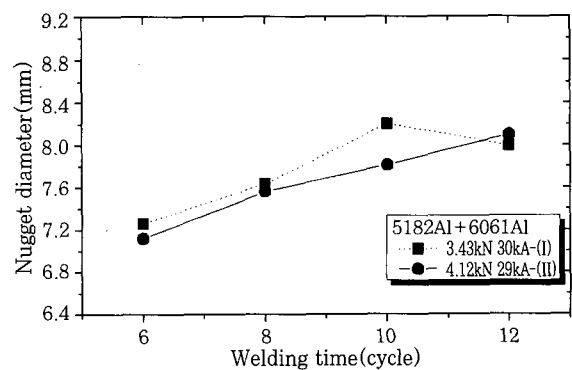


Fig. 7 Nugget diameter vs welding time of dissimilar Al weld part

Al합금 용접부의 너깃 크기와 인장전단강도의 관계는 실험결과 5182Al재나 6061Al재의 용접부의 경우 Fig. 8와 Fig. 9에서 보면 너깃 크기에 선형적으로 비례하였으며 용접조건과 Al재질의 용접성에 따라 산포 정도나 인장전단강도-너깃의 기울기도 달라졌다. 5182 Al재의 너깃 크기와 강도와의 관계를 알아보기 위해 Fig. 8을 살펴보면, 각 가압력에 대해서 강도의 분포가 상당히 차이가 나는 것을 알 수 있다. 가압력이 4.12kN의 경우 3.43kN에 비하여 동일한 너깃크기에서의 전단강도는 최고 25%이상까지 증가하지만 강도 분포의 산포가 심하며 너깃 크기에 비례한다고 보기 어렵다. 이것은 높은 가압력으로 인하여 압착부의 발생이 용이하여 동일 너깃크기에서 강도 상승이 발생한 것으로 판단된다. 6061Al합금의 경우 Fig. 9에서 보면, 4.85kN에서도 강도는 높게 나타났지만 강도분포의 산포가 심하게 나타나는데 반해, 4.12kN에서 강도는 너깃크기에 선형적으로 비례하여 나타났다. 결과적으로 최적용접조건에서의 너깃과 인장전단강도의 관계는 다른 용접조건에 비해 선형적으로 비례하다는 사실을 알 수 있었다.

이종 Al재에서는 3.43kN-30kA과 4.12kN-29kA

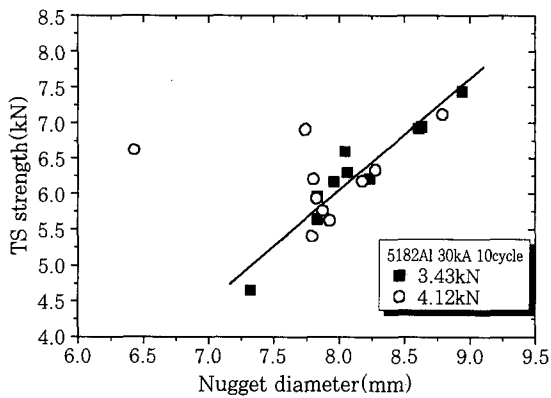


Fig. 8 Nugget diameter vs TS strength of 5182 Al weld part

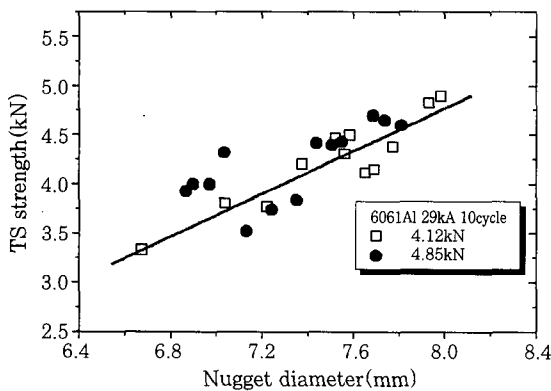


Fig. 9 Nugget diameter vs TS strength of 6061 Al weld part

에서의 너깃 크기와 인장전단강도와의 관계를 Fig. 10에서 살펴보면 너깃크기에 거의 비례하여 용접강도를 가지지만, 가압력이 낮고 전류값이 높은 3.43kN-30kA에서의 강도가 동일 너깃경에서 4.12kN-29kA의 강도보다 약간 높은 것을 알 수 있다.

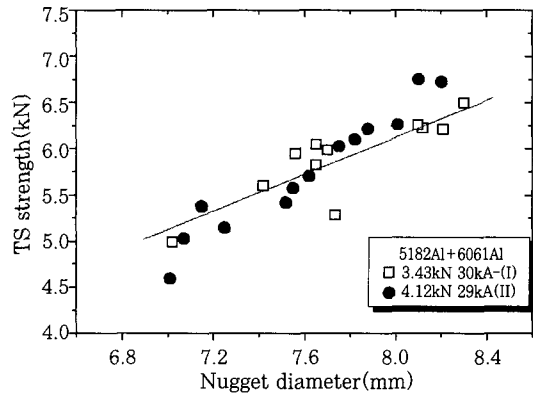


Fig. 10 Nugget diameter vs TS strength of dissimilar Al weld part

6061 Al재와 5182 Al재 그리고 이종 Al재의 전단 파단 형태는 모두 계면파단이 발생하였다. 용접부의 계면파단시의 인장전단강도-변위 곡선은 Fig. 11에 나타내었다. 인장전단 파단과정은 인장전단 시편에서 먼저 너깃선단 부근이 소성현저 역할을 하여 회전이 발생하여 일정한 굽힘각을 가지면서 두께방향으로 파단이 진행되어 최대하중에 이르면 용접부에서 순간적으로 전단히 발생한다. 모재에 따라 다르지만 대략 최종변위 2.0mm이내에서 급격히 파단에 이르는 것이 확인되었다. 이때 굽힘각은 모재의 항복강도에 크게 좌우되어 6061 Al재의 경우 거의 회전현상이 발생하지 않고 하중-변위 곡선이 급격히 상승하였다. 이 인장전단시 외부하중을 두께방향의 하중 $P_n (=P \sin A)$ 과 수평한 하중 $P_s (=P \cos A)$ 으로 나누면 이때의 외부하중의 대부분 P_s 로 작용하여 너깃경에 집중되어 계면파

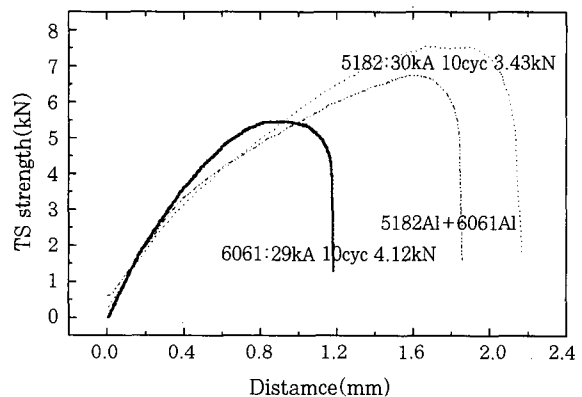


Fig. 11 Load-distance graph at Al weld specimens

단이 발생원으로 작용한다. 하지만 이종 Al재 용접부의 경우 항복강도가 낮고 연성이 큰 5182 Al재는 상대적으로 큰 굽힘각을 가지면서 하중방향으로 인장되기 때문에 상대적으로 Ps의 값을 감소시켜 너깃에 집중되는 전단강도를 제한하고 강도가 큰 6061 Al재가 Pn값을 서로 보완해주기 때문에 높은 전단강도를 가지는 것으로 판단된다.

3.3 이종 Al재의 피로성능평가

피로성능 평가를 위하여 반복하중(ΔL)과 피로파단 수명(N_f)과 관계를 수직적으로 표현하기 위하여 각각을 대수좌표상에 나타내면 직선으로 근사되고 이 경우 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\log \Delta L = C + D \log N_f$$

여기서 C, D는 상수이다. 그리고 각 경우 L-Nf선도를 선형좌표상의 방정식으로 나타내기 위해 다음과 같이 표현된다.²²⁾

$$\Delta L = A N_f^B$$

여기서 A, B는 상수이다. 두 방정식에서 상호관계는 $C = \log A$, $D = B$ 이다. 먼저 5182 Al와 6061 Al재 용접부의 반복하중과 피로수명과의 관계를 Fig. 12와 Fig. 13에 각각 나타내었다. 5182 Al재의 피로시험 결과는 106회까지 견디는 반복하중은 약 1.28kN이며 이것은 정적 인장하중의 17.2%정도이다. 그리고 고하중에서는 일부 시편에서는 계면파단이 발생하기도 하며, 하중의 크기에 따라 외부균열 발생 위치의 차이는 거의 없었다. 6061 Al재의 피로시험 결과를 살펴보면 피로수명이 106에서의 반복하중은 1.24kN이며 정적 인장하중의 25.7%로 5182 Al재에 비하여 상대적 장수명에서 높은 피로강도를 가지는데 이것은

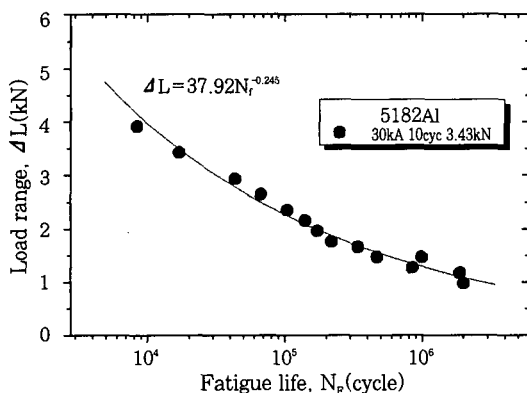


Fig. 12 Fatigue failure life of 5182 Al weld part

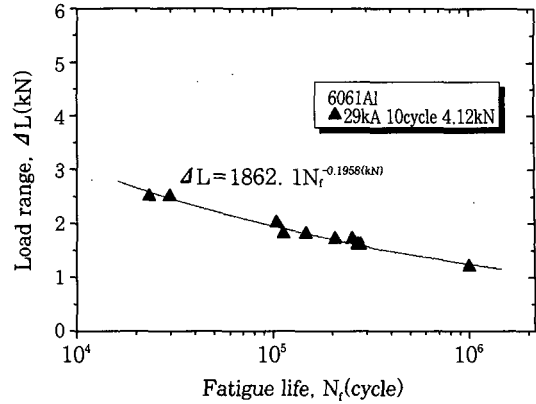


Fig. 13 Fatigue failure life of 6061 Al weld part

장수명으로 갈수록 파단이 모재에서 발생하여 재료의 강성에 민감한 영향을 받는 것을 의미하며, 인장전단 실험을 통해서 6061 Al재의 경우 5182 Al재보다 강성이 높게 측정되었다. 결과적으로 저하중에서는 강성이 클수록 피로수명은 향상된다고 판단된다. 하지만 6061 Al재는 5182 Al재보다 전단강도가 낮기 때문에 전체적으로는 낮은 피로강도를 가진다.

이종 Al재의 피로거동을 Fig. 14에서 살펴보면 피로수명이 106에서의 반복하중은 1.34kN이며 이는 5182 Al재와 6061 Al재의 피로강도보다 높게 나타났다. 고하중에서의 피로파단은 내면에서는 계면과 모재파단이 동시에 발생하며 Fig. 15(A), 장수명에의 피로거동은 외면에서는 5182 Al판이 6061 Al판보다 더 많은 굽힘현상과 외부균열이 진전되는 것이 관찰되었지만 내부적으로 6061 Al판 내부에서도 균열이 상당히 진전되어 가는 양상을 발견할 수 있었다. Fig. 15(B) 반복하중이 1.92kN 경우를 살펴보면 균열이 모재에서 발생하여 진전되는 것을 볼 수 있는데 외부의 발생한 균열은 5182 Al재에서만 피로파단이 발생하였음을 관찰할 수 있었다. 2×10^6 에서의 피로실험 후의 단면을 보면 이종 Al재의 경우 모재 물성치의 차

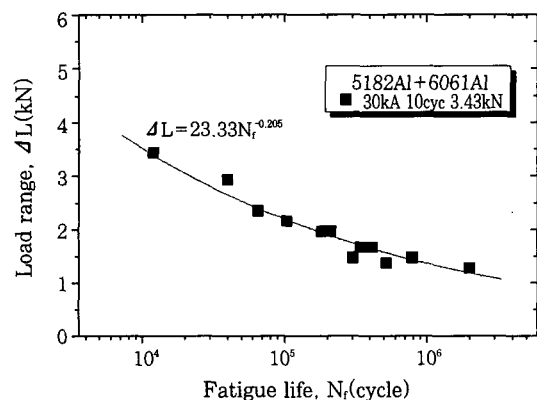


Fig. 14 Fatigue failure life of dissimilar Al weld part

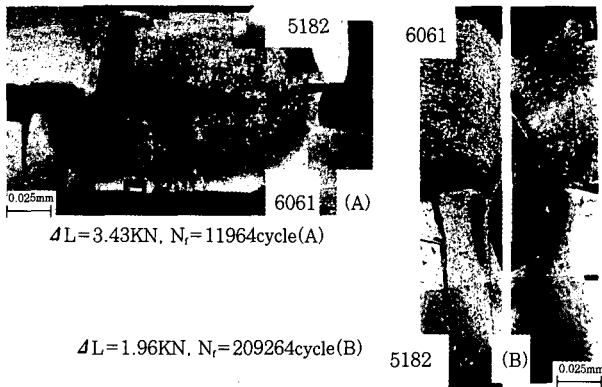


Fig. 15 Fatigue crack on weld nugget of dissimilar Al weld part

이에 의해서 5182 Al재의 너깃이 더 큰 형상을 가졌지만 이러한 형상이 피로수명에는 영향을 거의 끼치지 않는 것을 알 수 있다.

위의 실험결과를 Fig. 16에서 동종과 이종간의 피로 거동을 서로 비교해 보면 5182 Al재의 피로강도가 2×10^5 까지는 가장 높은 피로강도를 가지지만 그 이후에 계속적으로 감소하여 6061 Al재와 거의 차이가 없으며 2.5×10^5 에서는 이종 Al재와 역전현상이 발생하여 장수명으로 갈수록 이종 Al재가 더 높은 피로성능을 나타내었다. 이것은 피로수명이 고사이클로 갈수록 두 재료간의 강성이 민감하게 작용하여 비교적 연성이 큰 쪽이 강성이 큰 상대편 쪽에 손상을 적게 끼친 결과 피로파단시험에서 5182 Al면에서 피로파단이 발생하

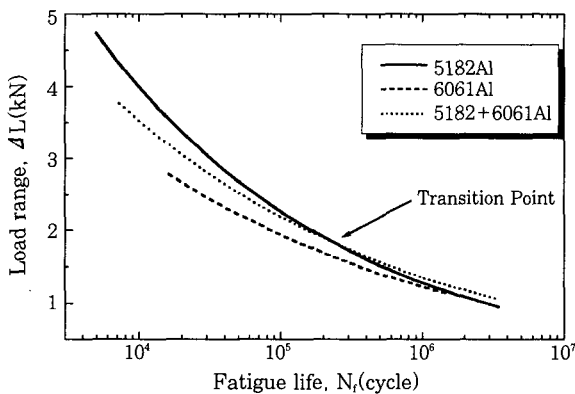


Fig. 16 Relationship between ΔL and N_f for various Al alloy specimens

Table 5. $\Delta L-N_f$ of Al alloy weld part

Parameter	$\Delta L=A$		$N_f=10^6$ $\Delta L(kN)$
	A	B	
5182Al	37.92	-0.245	1.28
6061Al	18.57	-0.196	1.24
5182+6061	23.3	-0.205	1.37

는 것과 장수명에서의 피로단면을 살펴본 결과로써도 알 수 있다. 위의 피로 실험결과를 Table 5에 나타내었다.

5. 결 론

위 연구를 통하여 이종 Al재의 점용접부의 용접성과 피로특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 이종 Al재의 용접조건을 설정할 때 가압력이 높게 설정할 경우 상대적으로 강도가 떨어지는 5182 Al면에서 압력이 집중되어 과잉합입이 일어나기 때문에 가압력을 5182 Al의 용접조건에 맞추어 설정하는 것이 우수한 용접품질을 얻을 수 있다.
2. 정적 인장전단시험 결과 용접부의 강도는 너깃 크기에 비례하며, 6061 Al재의 용접강도는 5182 Al재에 비하여 상당히 떨어지지만 이종 Al재로써 용접하여 사용한다면 상당한 정적강도의 향상을 기대할 수 있다.
3. 이종 Al용접부는 장수명에서 두 재료간의 강성이 민감하게 작용하여 연성이 큰 쪽이 강성이 큰 상대편 쪽에 손상을 적게 끼친 결과 단수명에서 우수한 5182Al보다 피로성능이 향상되는 결과를 얻을 수 있었다.
4. 저항점용접재의 인장전단 강도가 높은 5182 Al재의 경우 고하중에서 높은 피로강도를 가지지만 장수명으로 갈수록 6061 Al재에 비하여 피로강도가 급격히 떨어진다. 이것은 Al재 점용접부의 피로파단은 모재의 두께방향으로 진전되기 때문에 모재의 강도에 클수록 피로성능은 향상되는 결과를 가진다.

후 기

후기: 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 기계공학연구비(과제번호: ME97-C-14)의 지원과 부산대학교의 지원에 의해 연구되었습니다. 이에 관계기관에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 정영훈, "자동차용 알루미늄 합금소재" 자동차공학회지, Vol.18, No.5, 1996, pp38-52
2. 조원석, "자동차산업의 신소재기술", 대한기계학회지, Vol.34 No.5, 1994, pp351-360
3. 이영훈, "자동차의 알루미늄화 기술", 자기연정보,

- Vol. 2, No. 3, 1993.10
4. 김홍식, "자동차본체용 알루미늄합금 판재의 점저항용접에 대한 연구", 현대자동차 산학연구 공동 과제결과보고서, 1993
 5. W. Dilay, E. A. Rogala, and E. J. Zulinski, "Resistance Welding Aluminum for Automotive Production", SAE770305
 6. P. H. Thornton, A. R. Krause, and R. G. Davies, "The Aluminum Spot Weld", Welding Journal, 1996.3, pp101s-108s
 7. M. Hao, K. A. Osman, D. R. Boomer, and C. J. Newton, "Developments in Characterization of Resistance Spot Welding of Aluminum", Welding Journal, 1996.9, pp1s-8s
 8. "알루미늄의 조직과 성질" 日本輕金屬學會發行, 40周年記念出版部會 編集, 1991
 9. P. H. Thornton, A. R. Krause, R. G. Davies, "Contact Resistance of Aluminum", Welding Journal, 1997.8, pp331s-337s
 10. U. D. Mallya, "Effects of Contact Resistance in Resistance Welding of Aluminum", Welding Journal, 1980.5, pp42-44
 11. Newton C. J, Browne D. J, Thornton M C, Keay B. F. P, Boomer D. R, "The Fundamentals of resistance spot welding aluminum", Proceedings of the Sheet Metal Welding Conference VI, AWS, Detroit, USA 1994
 12. 강성수, "알루미늄 합금의 저항용접기술의 현황과 전망", 대한용접학회지, Vol.15, No.2, 1997.4, pp19-23,
 13. 강성수, "이종 점용접재의 피로거동에 관한 기초적 연구", 경북대학교 공학박사논문, 1989.12
 15. 김상필, 홍태민, 장희석, "알루미늄 합금의 저항 점용접에 관한 연구(I)" 대한용접학회, pp476-487, Vol.12, No.4, 1994
 16. 손병천, 우승엽, 이재범, 최용범, 장희석, "이종재료(알루미늄합금-강판)의 저항점용접에 관한 연구", 대한용접학회지, Vol.15 No.4, 1997.8, pp42-62
 17. 박용석, "5000계열 Al합금판의 저항점용접성의 피로특성에 관한 연구", 부산대학교 공학석사 학위논문, 1998.2
 18. G. Matsoukas, G. P. Steven, and Y. M. Mai, "Fatigue of spot-welded lap joint", Internàtional Journal of Fatigue Vol.6 No.1, 1984, pp.55-57
 19. D. K. Aidun and R. W. Bennett, "Effect of Resistance Welding Variables on the Strength of Spot Welded 6061-T6 Aluminun Alloy", Welding Journal, 1985.12, pp15-25
 20. 박화순, 김우열, 강정윤, "강/비철금속 이종금속 간의 용접 및 접합", 대한용접학회지, Vol.14 No.6, 1996.12, pp1-7
 21. 한용섭, "알루미늄 합금의 저항점용접", 대한용접학회지, Vol.8 No.2, 1990.6, pp1-12
 22. 한용섭, "알루미늄 합금의 점용접에서 용접전류 형태가 용접성에 미치는 영향", 대한기계학회지, Vol.15 No.2, 1997.4, pp89-99