



[UCI]1804:24011-200000279317



2020년 2월 석사학위 논문

델타스폿용접 프로세스를 이용한 이종소재의 웰드본딩 공정 조건 최적화

조선대학교 대학원

선박해양공학과

김 영 현



델타스폿용접 프로세스를 이용한 이종소재의 웰드본딩 공정 조건 최적화

Optimization of Weld-bonding Process Conditions of Dissimilar Materials using Delta-spot Welding Process

2020년 2월 25일 조선대학교 대학원 선박해양공학과 김 영 현



델타스폿용접 프로세스를 이용한

이종소재의 웰드본딩 공정 조건 최적화

- 지도교수 주성민
- 공동지도교수 김 영 곤
- 이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함
 - 2019년 10월
 - 조선대학교 대학원
 - 선박해양공학과
 - 김 영 현



김영현· 석사학위·논문을 인준함 위원· 조선대학교 교 수 <u>안 규 백 (인)</u> 위원 조선대학교 교 수 <u>주 성 민 (인)</u> 위원 환국생산기술연구원 수석연구원 김 영 곤 (인)

2019년 11월 조선대학교 대학원



Contents

ABSTRACT

제1장 서론	- 1
제1절 연구배경	1
제2절 연구 목적 및 내용	2
제2장 저항 점용접 기술의 종류 및 특징	3
제1절 저항 점용접 공정	3
1. 용접전류	4
2. 가압력	4
3. 통전시간	4
제2절 델타스폿 용접 공정	6
제3절 웰드본딩 공정	9
제3장 실험 및 용접 공정 조건	10
제1절 대상 소재 및 장비 특성	10
1. 대상 소재 특성 및 시험편 제작[GA440/Al6061-T6]	10
2. 델타스폿 장비 특성	11
가. Process tape 성분	12
제2절 용접 공정 조건 및 분석 방법	14
1. 용접 공정 조건	14

가. Process tape 선정 조건	14
나. 델타스폿 용접조건 범위 선정	16
다. 웰드본딩 공정조건	17
라. 다단가압 펄스통전 용접 조건	18
마. 표면처리 조건	· 19
2. 시험 방법	21
가. 너깃경 측정	21
나. 전단인장 시험	22
다. 표면조도 측정	22
라. 중성 염수분무 시험	24
마. 부식면적(넓이) 측정	25

제4장 실험 결과 및 고찰 26 제 1절 이종소재(Al6061-T6/GA440) 웰드본딩 공정 최적화 -- 26 1. Process tape 선정 결과 26 2. 델타스폿 용접조건 범위 선정 결과 28 3. 웰드본딩 조건 내식전단강도 평가 결과 28 3. 웰드본딩 조건 내식전단강도 평가 결과 30 가. 너깃경 측정 및 전단인장강도 측정 결과 30 나. 표면조도 측정 결과 32 다. 영수분무 시험 결과 34 라. 용접부 파단형태 관찰 35 마. 부식면적 측정 결과 36 4. 다단가압 펄스통전 내식강도 평가 결과 37 가. 너깃경 측정 및 전단인장강도 측정 결과 37 다. 묘면조도 측정 결과 37 다. 집수분무 시험 결과 37 가. 너깃경 측정 및 전단인장강도 측정 결과 37 나. 표면조도 측정 결과 37 다. 영수분무 시험 결과 38 다. 영수분무 시험 결과 38



라. 용접부 파단 형태 관찰	41
-----------------	----

제5장 결론	42
--------	----

참고문헌



Table Contents

Table.1 Type of Process tape	8
Table.2 KS B 0851	12
Table.3 Chemical composition and mechanical properties	12
Table.4 ISO 18278-2(KS B ISO 18278-2)	15
Table.5 Process tape select welding condition	16
Table.6 Delta-spot welding condition	17
Table.7 Weld-bonding condition	18
Table.8 Pulse welding condition	19
Table.9 Salt Spray Test condition	25
Table.10 Nugget dimeter measurement of Process tape combination	27
Table.11 Weld-bonding Nugget dimeter measurement and tensile hear strength av	ve.
	31
Table.12 Surface roughness measurement result	34
Table.13 Weld-bonding Appearance observation	36
table.14 Nugget dimeter measurement and Tensile shear strength ave	38
Table.15 Surface roughness measurement result	40
Table.16 Pulse welding Appearance observation	42



Figure Contents

Fig.1	Flow-chart of this study	2
Fig.2	Schematic of Resistance spot welding process	3
Fig.3	Delta spot welding	6
Fig.4	Process tape	7
Fig.5	Distribution of resistance in resistance spot welding Process	7
Fig.6	Effect of weld-bonding	9
Fig.7	Weld bonding Process	10
Fig.8	Standard shape	11
Fig.9	Jig shape	11
Fig.10	Cr-Cu Electrode tip	11
Fig.11	Delta spot welding systems	13
Fig.12	Process tape component analysis (a) 3000, (b) 2000, (c) 1407	14
Fig.13	Welding condition model	16
Fig.14	Pulse welding condition model	19
Fig.15	Polishing Schematic and Test piece	20
Fig.16	High frequency peening equipment and Test piece	20
Fig.17	Laser peening equipment and Test piece	21
Fig.18	Schematic of nugget shape of spot weld	22
Fig.19	Schematic of Nugget diameter measurement	22
Fig.20	Tensile testing equipment	23
Fig.21	Surface roughness equipment	24
Fig.22	Surface roughness Measure method	24
Fig.23	Salt Spray Test equipment	25
Fig.24	Schematic of Weld-bonding corrosion shape	26
Fig.25	Tensil shear strength test result	28
Fig.26	Effect result of (a) welding current, (b) force, (c) welding time	30
Fig.27	Tensil shear strength test result	32



- (a) 1.9kN-10kA-240ms
- (b) 4.5kN-13kA-180ms+Adhesive
- (c) 4.5kN-13kA-240ms+Adhesive
- (d) 4.5kN-13kA-240ms+Adhesive+Polishing

Fig.28	Surface roughness measurement result	33
Fig.29	Tensile shear strength on salt spray test	35
Fig.30	Measurement of average corrosion rate at each condition	37
Fig.31	Surface roughness measurement result	39
Fig.32	Tensile shear strength on salt spray test	41



ABSTRACT

Optimization of Weld-bonding Process Conditions of Dissimilar Materials using Delta-spot Welding Process

Young-Hyun Kim

Advisor : Prof. Sung-Min Joo, Ph.D. Department of Naval Architecture & Ocean Engineering Graduate School of Chosun University

In the automobile industry, studies have been made on spot welds of non-ferrous metals such as aluminum, which has lightweight, high-strength, and excellent impact properties, in order to improve fuel efficiency through lightening of vehicle body weight. However, these dissimilar welds cause intermetallic compound formation and the galvanic corrosion in corrosion environments at the weld interface. On the other hand, it is known that the weld bonding Process has the property of improving strength of spot welds by applying a structural adhesive between two metals and increasing the surface adhesive force.

In this study, AI 6061-T6 with a thickness of 1.0mm and galvanized steel sheet (GA) with a grade of 440 MPa were used as target materials. As a Process method, delta spot welding equipment was used for reducing the heat input using a special Process tape and the weld bonding Process by the D type structural adhesive was done. As a result, tensile shear strength after salt spray test for 1,920 hours was more than twice that of spot welding condition and it was confirmed that the corrosion amount of the welds was lowered.

vii



제1장 서론

제1절 연구 배경

최근 전 세계적으로 산업 발전으로 인한 배기가스 배출이 지구 온난화 및 환경 파 괴의 주범으로 인식되고 있다. 특히, 선진국을 중심으로 자동차 산업에서의 차량의 연 비개선 및 경량화에 대한 노력이 경쟁적으로 이루어지고 있다¹⁾. 국내 경제에서 자동 차 산업은 전체 2차 산업의 15%를 차지할 정도로 직접적인 전후방 효과가 가장 큰 산 업인 만큼 국내에서도 연비규제를 충족시키기 위해 많은 연구 개발이 필요하다.

자동차의 연비 향상을 위한 차체 경량화와 탑승자 안전보호를 위한 경량소재 및 고강도강의 적용이 급격하게 증가하고 있는 추세이다²⁾. 알루미늄 합금, 마그네슘 합 금, 탄소섬유 강화플라스틱(CFRP) 등의 경량소재를 이용하여 차체 및 부품을 개발하는 노력이 진행되고 있다. 또한, 차체 경량화와 함께 자동차 소재 측면에서 이슈가 되는 것이 내구성 확보이다. 또한, 수요가에 대한 차량의 방청 보증기간 연장을 위해서는 내식성 보증이 필수이다. 이와 함께 소재의 고강도화에 따라 두께가 얇아지면서 내식 성에 대한 요구가 한층 높아져서 표면 처리 강판의 적용이 급격히 증가하고 있다²⁾. 자동차 소재로 사용되는 대표적인 표면처리강판은 용융아연도금강판인 Gl(Galvanized), 합금화아연도금강판인 GA(Galvannealed), 전기도금아연도금강판인 EG(Electro-galvanized) 등의 아연도금강판이지만, 보다 우수한 내식성 또는 용도에 따른 기능성을 부여하기 위하여 아연도금강판에 윤활처리, 수지피복 등의 후처리를 한 표면처리강판의 사용도 점차 증가하고 있다²⁾.

자동차 조립공정에서 비교적 높은 비율을 차지하고 있는 용접방법은 저항 점용접 으로 타 공정보다 아주 짧은 시간에 대량용접이 가능해 생산성이 높다는 장점을 가지 고 있다³⁻⁵⁾. 하지만 알루미늄 합금 등 경량소재와 고강도강에 일반적인 저항 발열을 이용한 저항 점용접을 적용 하는 경우 용융점, 열전도도, 전기저항의 차이로 용접성이 나쁘고, 취성이 큰 금속간 화합물 생성, 전위차에 의한 갈바닉 부식이 발생 한다⁶⁻⁷⁾. 알루미늄 합금은 고강도강에 비해 탄소와 같은 합금 성분의 첨가량이 적어 낮은 고유 저항을 갖고, 전기 전도도가 높아 단시간 대전류를 필요로 하며, 저항 점용접시 표면 산화물이 전극에 융착되는 현상 때문에 입열량 제어가 필요하다⁷⁻⁹⁾. 따라서, 최근에는 전류, 가압력, 통전시간에 의해 입열량 제어가 가능하고, 전극과 모재 사이에 Process tape를 삽입하는 델타스폿 용접과 같은 방법들이 적용¹⁰⁾되고, 앞에 언급한 경량소재 및 고강도강의 적용 추세에 맞추어 저항 점용접의 용접 조건 개선이 필요한 실정이다.

제2절 연구 목적 및 내용

본 연구에서는 자동차 차체 부품의 경량화를 위해 1mm의 두께를 갖는 박판의 이종 소재(A16061-T6/GA440)를 대상으로 델타스폿 용접시 적정 Process tape를 선정하기 위 한 기초 실험을 수행하였고, 각 소재에 선정된 프로세스 테이프를 적용하여 델타스폿 용접 전에 에폭시 계열의 D type의 구조용 접착제를 도포함으로써 웰드본딩 공정 실험 을 수행하였다. 또한, 델타스폿과 웰드본딩 용접부의 내식성 보증을 위해 염수분무시 험을 진행하였으며, 시험 후 전단인장시험을 통해 내식전단강도를 비교 평가하였다. 그리고 알루미늄 합금 표면에 수동 연마 등 물리적으로 표면처리를 실시하여 표면조도 를 부여하고 이에 따른 내식전단강도에 미치는 영향을 비교 고찰하였다. 또한, 본 용 접 시 Pre-current를 부가하는 펄스 통전과 용접 중에 가압력을 증가시키는 다단 가압 패턴의 용접 조건을 적용하여 입열량을 제어함으로써 용접부 내식전단강도를 향상 시 키고자 하였다. 분석 방법으로는 너깃경 측정, 전단인장시험, 표면조도 측정 그리고 시험편 외관의 부식상태를 관찰하여 용접부 표면에 적청이 발생하는 부식면적을 측정 하였다. Fig.1 에는 본 연구의 Flow-chart를 나타내었다.



Fig.1 Flow-chart of this study

제2장 저항 점용접 기술의 종류 및 특징

제1절 저항 점용접 공정

저항 점용접은 저항용접의 한 종류로써 점용접 전극을 이용하여 판재를 고정시키 고, 전류를 흐르게 하여 판재 내부에서 발생하는 저항열을 이용하여 판재를 용융시켜 접합을 하는 용접이다. 즉, 저항 점용접이란 전극 사이에 2개 혹은 그 이상의 강판을 고정시킨 후, 상하부 전극을 이용하여 전류를 흐르게 하면 판재 내부에 저항 열이 발 생하여 판재를 용융시키고 압력을 가해 판재를 접합하는 공정을 말한다. Fig.2 에 저 항 점용접 공정순서의 모식도를 나타내었다.



Fig.2 Schematic of Resistance spot welding process

저항을 가진 금속에 통전을 하게 되면 열이 발생하는 데, 이 열을 저항 열 또는 줄열(Joule's heat)이라 하며, 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$Q = I^2 R t \tag{1}$$

Q는 발열량, I는 전류[A], R은 저항[Ω], t는 통전시간[s]을 나타낸다. 식.(1)에 서 저항(R)은 용접재료, 전극 및 용접장치 등을 포함한 저항을 의미하며, 도체의 비저 항(ρ)과 길이(L) 단면적(A)을 이용하여 저항 열을 식(2)처럼 표현할 수 있다.

$$Q = I^2 \left(\frac{\rho L}{A}\right) t \tag{2}$$

- 3 -

식 (2)를 통해 알 수 있듯이, 발열량(Q)은 전류(I)의 제곱에 비례하고, 통전시간 (t)에 비례한다. 그러나 저항(R)은 도체 비저항(ρ)과 길이(L)에 비례하고, 단면적(A) 에 반비례한다. 따라서 전류가 흐르는 단면적이 커질수록 전류효율이 감소하게 된다. 동일한 전류로 용접할 경우, 단면적이 적을수록 전류밀도가 증가하는 효과를 얻을 수 있다. 용접부의 우수한 품질을 위해서는 저항 점용접시 전류밀도가 적절하게 형성되어 야 한다. 저항 점용접에서 용접전류, 가압력, 통전시간 3가지 요인이 주요작용을 하는 데 이를 저항 점용접의 3대 요소라 한다.

1. 용접전류

용접 전류는 강판에 흐르는 전기의 양을 의미하며, 발열의 요소 중 하나이다. 전 류가 부족하면 전류 밀도가 낮아지므로 발열량이 부족해져 너깃이 제대로 형성되지 않 아 용접 강도가 저하된다. 그러나 전류가 과다해지면 전류 밀도가 증가하여 발열량도 증가하게 된다. 발열량의 증가는 중간날림 발생의 원인이 된다. 중간날림은 용접 너깃 부에 기공을 발생시켜 용접부의 결합력을 저하시켜 계면파단이 발생되도록 하는 원인 이 되어 접합부의 강도와 충돌 안정성을 저하시킨다.

2. 가압력

가압력은 주로 접촉 저항을 조절해주며, 발열에 영향을 미친다. 일반적으로 가압 력을 크게 할수록 전극과 모재, 모재와 모재 사이의 계면 접촉성이 좋아지고 접촉 면 적을 증가시켜 전류 밀도가 저하되어 초기 접촉저항이 줄어들게 된다. 또한 강판에 주 어지는 적절한 전극의 가압력은 중간날림이 발생하는 것을 방지하며, 용융부 내에 기 공이나 균열 등이 발생하는 것을 억제한다. 그러나 지나치게 높은 가압력이 가해지면 가압력에 의한 기계적인 소성변형이 증가하게 되어 오목자국이라 불리는 압흔 깊이가 깊어진다. 압흔 깊이가 깊을수록 외력이 가해질 때 응력이 집중되기 쉬우므로 접합강 도와 피로강도 등을 저하시킨다. 반면, 가압력이 부족하게 되면 접촉 저항이 증가하여 발열이 증가하여 중간날림이 발생하게 된다.

3. 통전시간

통전시간은 용접 전류가 전극을 통하여 모재에 흐르는 시간을 의미한다. 이 시간 은 줄의 법칙에서 시간 t에 해당한다. 통전시간이 너무 짧으면 발열이 부족하여 용접



강도가 저하되며, 통전시간이 지나치게 길면 발열 과다로 날림이 발생하거나 전극의 융착이 발생하게 된다. 저항 점용접이 다른 용접 방법과 비교하여 차별되는 장점으로 는 용접시간이 매우 짧아 생산성이 높고 대량생산이 용이하여 자동차, 가전 및 전기용 품과 같은 산업분야에서 널리 적용할 수 있다. 특히, 짧은 시간 내에 한정된 곳에 저 항열이 발생하게하기 때문에 용접부의 변형이 적고, 모든 공정들이 자동화로 이루어져 있기 때문에 작업자의 숙련도를 요구하지 않는다. 또한 용접 중에 사용되는 플럭스 (flux)와 용가재가 필요하지 않으며, 용접 시에 발생되는 자외선, 슬래그 및 유해가스 등이 발생되지 않아 용접부의 품질과 재현성이 뛰어나다. 하지만 모재의 두께와 종류 에 따라 적정용접구간을 설정이 필요하다. 또한 기계적 특성이 아크용접에 비해 낮으 며, 비파괴적인 방법으로 용접부를 검사 할 수 있는 대안이 없다는 단점을 가지고 있 다¹¹⁾.

제2절 델타스폿 용접 공정

알루미늄 자동차 제작을 위한 조립공정의 대부분이 스폿 용접으로 이루어지고 있 으나 결함이 없는 알루미늄 스폿 용접을 위해서는 입열량 제어가 가능한 스폿 용접기 가 필요하다. Fig.3은 오스트리아의 프로니우스 사에서 개발한 델타스폿 용접기이며, 입열량 제어를 위해 Fig.4와 같이 Process tape라는 특수한 금속을 테이프 형식으로 만들어 전극과 모재 사이에 삽입하는 공정으로, 기존의 점 저항 용접에서 이룰 수 없 었던 너깃형상 위치 제어가 가능한 용접공정이다. Process tape는 1) 전극의 오염방 지, 2) 스패터 발생 억제, 3) 저항발생과 같은 세 가지 역할을 한다.

알루미늄 합금은 표면 산화물에 의하여 스폿 용접 시 산화물이 전국에 뭍어나는 현상이 발생하게 된다. 조건의 차이에 따라 오염의 속도는 차이가 있지만 심한 경우 2~3 회의 용접 후에 전국 오염으로 인한 드레싱 작업을 필요로 하는 경우도 있다. 델 타스폿 용접기에서는 Process tape가 전국과 모재 사이에 위치하여 전국이 오염되는 현상을 방지해주기 때문에 최대 7,000 회의 용접을 드레싱 작업 없이 할 수 있는 장점 을 가진다. 그리고 스패터 발생 시 스패터가 Process tape에 붙어서 날림 현상을 억제 하여 스패터 저감 효과 역시 발생한다. Fig.5 에는 Process tape를 사용할 경우에 용 접 중 발생하는 저항의 분포 곡선을 나타내었다.



Fig.3 Delta spot welding

일반 스폿용접기의 저항분포 곡선과 비교하였을 때 델타스폿 용접기에서는 전극과 Process tape 사이, Process tape와 모재사이에서 추가저항이 발생하기 때문에 더 큰 발열을 얻을 수 있다. 일반 스폿 용접기에서 알루미늄을 용접하려면 20kA 이상의 고전 류를 필요로 하기 때문에 고성능의 트랜스포머가 필요하다. 하지만 델타스폿 용접기에 서는 Process tape로 인해 높은 발열효과를 얻을 수 있기 때문에 상대적으로 낮은 전 류를 이용해서 알루미늄 합금을 용접하는 것이 가능하다. 이러한 효과를 이용하면 다 층 용접시 모재의 두께가 얇은 영역에서 저항부족현상으로 인해 너깃이 형성되지 않을 때, 저항이 강한 Process tape를 이용하여 추가 저항을 가해주는 방법으로 해결할 수 도 있다. 즉, Process tape를 이용하면 용접부에서 발생하는 발열량을 조절하여 너깃 형상이 제어 가능하다는 장점을 가진다. Table.1은 프로니우스 사에서 제공하는 모재 별 최적 Process tape와 그 성분 및 특성이 나타나 있다¹²⁾.



Fig.4 Process tape



Fig.5 Distribution of resistance in resistance spot welding process



Baco motol	Dragona tana	Topo motorial	Heat input
	Process lape	Tape material	from outside
Deep drawn steel, ungalvanised			
Deep drawn steel, galvanised	PT 2000	Copper	Low
CrNi			
	PT 1205	Steel	Medium
High-strength and Ultra-high	PT 2000	Copper	Low
strength steel	PT 2110	Copper	Low
A199			
AIMg3	PT 1407	Steel	Medium
AIMg5			
AlMgSi	PT 1200	Steel	Medium
Steel/Aluminum	PT 3000	CrNi	High

Table.1 Type of Process tape¹²⁾

제3절 웰드본딩 공정

웰드본딩 공정은 저항 점용접과 접착제를 함께 사용하는 공정이며 공정 방법은 1) 금속 표면에 구조용 접착제를 도포하고, 2) 그 접착제가 경화되기 전 저항 점용접을 수행한다. 3) 그 후 일정한 온도로 유지된 조건(170℃, 30분)의 열처리로에서 접착제 를 경화시켜 금속을 접합한다. 접착제가 경화되면 전기 접촉저항이 증가하므로, 점용 접을 실시하기 전이나 점용접 도중에 접착제가 경화되지 않도록 해야 한다. Fig.6 에 는 웰드본딩 공정방법을 모식도로 나타낸 것이다.

환경에 대한 법규와 보행자와 운전자의 안전을 충족시키기 위해 적용되는 소재의 변화로 인해 접합기술도 큰 변화가 있다. 차체의 내구성 향상 및 강재와 알루미늄의 이종금속 접합, 저항 점용접이 불가능한 칼라도장강판의 접합 등의 이유로 인해 다양 한 접합방법이 검토, 적용이 되고 있다. 그중 저항 점용접과 접착제를 함께 사용하는 웰드본딩 공정은 차체성능을 향상시키는 새로운 접합 방법으로 앞으로의 개발 및 적용 이 주목되고 있다. 차체의 조립에 웰드본딩 공정을 적용하는 이유는 큰 폭의 차체구조 변경을 수반하지 않고 기존의 차체구조에 구조용 접착제를 추가적으로 도포하는 것만 으로도 차체의 강성, 진동특성, 피로특성 등의 성능을 향상시키는 것이 가능하기 때문 이다. Fig.7 은 자동차 차체조립에 웰드본딩 공정을 적용함으로써 얻을 수 있는 효과 를 나타낸 것이다.





Fig.6 Weld bonding Process

Fig.7 Effect of weld-bonding

제3장 실험 및 용접 공정 조건

제1절 대상 소재 및 용접 장비 특성

1. 대상 소재 특성 및 시험편 제작[GA440/A16061-T6]

본 실험에서는 표면처리 강판 중 도금층이 Zn-Fe합금으로 되어있고 인장강도가 440Mpa급인 합금화아연도금강판(GA)과 열처리형 알루미늄 합금 중 우수한 내식성, 강 도, 용접성을 갖은 Al6061-T6을 소재로 선정하였다. 시험편은 Table.2 에 나타낸 점 용접 이음의 단면 시험방법(KS B 0854)규정에 의해 길이 100.0mm, 폭 30.0mm, 두께 1.0mm으로 Fig.8과 같이 제작하였고, Fig.9 과 같이 맞춤 제작된 지그를 사용하여 실 험을 수행하였다. 또한 이들의 화학적 조성과 기계적 특성을 Table.3에 나타내었다. 실험에 사용된 전극은 Fig.10와 같이 Flat-radius type에 크롬동(Cr-Cu)전극으로 곡률 반경 100R 이다.



Fig.8 Standard shape

A



Fig.9 Jig shape



Fig.10 Cr-Cu Electrode tip

호칭 판두께t	판나비W	겹침여유L	시험편 길이 A	클램프 간 거리 B
0.3이상~0.8미만	20(mm)	20(mm)	75(mm)	70(mm)
0.8이상~1.3미만	30(mm)	30(mm)	100(mm)	90(mm)
1.3이상~2.5미만	40(mm)	40(mm)	125(mm)	100(mm)

Table.2 KS B 0854

Table.3 Chemical composition and mechanical properties

	cal com	Mechar	nical prope	rty					
Material	Fe	С	Mn	Si	Mg	AI	TS(MPa)	YS(MPa)	EI(%)
A16061-T6	0.4	-	1.0	0.3	2.8	Bal.	328	281	14
GA440	Bal.	0.08	1.30	0.12	-	0.04	475	368	29

2. 델타스폿 장비 특성

이종소재 알루미늄 합금/스틸을 일반적인 점 저항용접 시 알루미늄 합금에서 용접 부 결함과 전극의 오염이 발생한다. 본 실험에서는 전극과 모재 사이에 Process tape 라는 특수한 금속을 삽입하여 용접부 결함을 최소화 하고, 전극의 오염을 방지하는 델 타 스폿 용접기를 이용하여 실험을 수행하였고 실험에 사용된 델타스폿용접기의 특성 을 Fig.11 에 나타내었다.





Fig.11 Delta spot welding systems

가. Process tape 성분

Process tape는 성분에 따라 열적 특성이 다르기 때문에 소재에 따라 적합한 Process tape를 선정해 주어야 한다. 본 실험에서는 Table.1과 조범지¹²⁾의 델타스폿을 이용한 알루미늄 합금(AI5052)과 고강도강(DP590) 용접시 적정 Process tape 선정 결 과를 참조하여 AI측에 CrNi이 주성분인 PT-3000을 고정하고, Steel측에 Cu가 주성분인 PT-2000, Ni이 주성분인 PT-1407를 사용하여 실험을 수행하였고, 전단강도를 비교하여 적정 Process tape을 선정하였다. Fig.12 은 실험에 사용된 Process tape의 EDAX 성분 분석 결과를 나타내었다.





Fig. 12 Process tape component analysis results

제2절 용접 공정 조건 및 시험 방법

1. 용접 공정조건

가. Process tape 선정 조건

점용접의 용접성 평가 절차(ISO 18278-2)규정에 의한 용접조건을 Table.4 에 정리 하여 나타내었다. 그러나 이종용접에 대한 규정이 없는 관계로 시행착오를 최소화할 수 있도록 아래의 규정을 인용하여 초기 용접조건을 선정하였다.

				강판의	풍집 소건				
판재	전극	가입	압력	용접시간				유지.	시간
_ ~ ~		Dm/	Dm >	퍼스	용접	시간	оті	비ㄷ그	
누께	시름		⊓⊪≃	20	Rm<	Rm≥	ᅲᄭ	미포급	т.
(mm)	(mm)	380MPa	380MPa	개수	380MPa	380MPa	시간	강판	강판
0.5	6	1.70	2.10	1	5	6	-	(1)	(1)
0.6	6	1.90	2.30	1	6	7	-	(1)	(1)
0.7	6	2.10	2.60	1	7	8	-	(1)	(1)
0.8	6	2.30	3.00	1	8	9	_	(1)	(1)
0.9	6	2.50	3.50	1	9	10	-	(1)	(1)
1.0	6	2.70	3.50	1	10	11	-	(1)	(1)
1.2	6	3.00	4.00	1	12	14	-	(1)	(1)
1.5	8	4.00	4.50	3	6	7	2	15	20
1.8	8	4.50	5.00	3	7	8	2	15	20
2.0	8	4.50	5.00	4	6	7	2	15	20
2.5	8	5.00	6.00	5	6	7	2	20	25
3.0	8	5.50	6.50	5	7	8	2	25	30

Table.4 ISO 18278-2(KS B ISO 18278-2)

(1) 유지시간은 용접 시간과 같다.

Table.5, Fig.13에 선정된 용접조건과 입열 모델을 나타내었다. 가압력은 2.7kN, 통전시간은 240ms으로 고정하고, 전류값을 9~11kA로 1kA씩 증가 시켜 실험을 수행하였 다. 적정 프로세스테이프를 선정하기 위해 PT-3000(AI측)/PT-2000(Steel측)조합과 PT-3000(AI측)/PT-1407(Steel측)조합으로 각각 전단인장시험과 너깃경을 측정, 비교 하였 다.





Fig.13 Welding condition model

Table.5	Process	tape	select	welding	condition
---------	---------	------	--------	---------	-----------

Welding parameter	Experimental condition
Force (kN)	1.9
Welding current (kA)	9-11
Welding time (ms)	240

나. 델타스폿 용접조건 범위 선정

Al6061-T6과 GA440에 대한 적정 조건을 선정하기 위해, Table.4를 참조하여 실험 을 수행하였다. Table.6은 실험에 사용된 용접 조건표이다. 실험은 총 12회 수행되었 으며, 동일 조건에서 가압력, 통전시간, 전류를 변화시켜 변수에 따른 전단인장강도를 측정하여 비교 하였다. 또한, 동일한 용접조건을 유지하기 위해 각 타점당 1개의 전극 팁을 사용하여 전극팁의 소모에 따른 저항 용접부 저항열의 차이가 발생하지 않도록 하였다. 저항 용접의 용접성 로브를 결정하는 절차(KS B ISO 14327)규정을 참고하여 실험을 수행하였으며, 규정을 참고하여 용접성 로브를 결정하였다.

No.	Force (kN)	Welding current (kA)	Welding time (ms)
1	2.7	7	240
2	2.7	8	240
3	2.7	9	240
4	2.7	10	240
5	2.7	11	240
6	2.7	10	240
7	2.3	10	240
8	1.9	10	240
9	1.9	10	180
10	1.9	10	240
11	1.9	10	300
12	1.9	10	360

Table.6 Delta-spot welding condition

다. 웰드본딩 공정조건

웰드본딩 공정에는 Henkel 사의 D type 구조용 접착제가 사용되었다. 접착제 도포 전 아세톤으로 알루미늄 표면을 깨끗이 세척한 뒤 상온에서 건조시켰고, 시험편의 한 쪽 끝에서 30mm가 되는 지점에 선을 그어 접착제 도포면적이 900mm²로 일정하게 하였 다. 기존의 연구 결과를 통해 접착제 도포두께가 얇을수록 접착제의 접합 강도가 증가 한다는 사실을 확인하였다¹³⁾. 접착제가 우수한 접합강도를 나타내도록 하기 위해 두께 게이지를 이용하여 접착제 두께를 0.1mm로 일정하게 도포하였다. 접착제 도포를 마친 시험편에 선행실험(델타스폿 용접조건 범위 선정 실험)에서 선정된 용접조건으로 델타 스폿 용접을 수행하였지만, 접착제로 인한 통전불량이 발생하였다. 강민정 의 웰드본 딩 공정실험에 사용된 적정 용접전류 및 가압력¹⁴⁾과 Table.4을 참고하여 선행실험(델 타스폿 용접조건 범위 선정 실험)용접조건에서 가압력과 전류를 증가시켜 용접을 수행 하였고, 이후 부식환경에서 용접부의 기계적 접합강도에 대한 평가를 위해 중성 염수 분무시험과 전단인장시험을 수행하였다. 또한 표면조도 부여를 통해 접착면적을 증가 시켜 내식전단강도의 변화와 부식면적을 비교 관찰하였다.

Table.7 Weld-bonding condition

No.	Force (kN)	Welding current (kA)	Welding time (ms)	Surface roughness condition	Saltspray corrosion test
1	1.9 kN	10 kA	240 ms	Non-polishing	0
2	4.5 kN	13 kA	240 ms	Non-polishing	0
3	4.5 kN	13 kA	240 ms	Polishing	0

라. 다단가압 펄스통전 용접 조건

위 실험(웰드본딩 공정조건)의 결과를 참고하여 웰드본딩 공정을 진행하기 위한 다단가압 펄스통전 조건을 선정하여 Fig.14, Table.8 에 나타내었다. 또한 같은 용접 조건에서 고주파, 레이저 피닝과 같은 기계적 방법으로 알루미늄 표면에 표면조도를 정량적으로 고르게 부여하였다. 표면조도만 변수로 두어 염수분무시험을 진행하였고, 시험 후 내식전단강도와 파단형태를 비교 관찰 하였다.



Fig.14 Pulse welding condition model

Table.0 Turse werding condition				
	Experimental condition			
Welding parameter	1 st	2 nd	3 rd	
Force (kN)	1.9 kN	4.5 kN	6.0 ki	
Welding current (kA)	11 kA	13 kA	-	
Welding time (ms)	80 ms	220 ms	_	

2nd Welding force time (ms)

Table.8 Pulse welding condition

220 ms

220 ms

40 ms

마. 표면처리 조건

내식전단강도를 증가시키기 위해 알루미늄 표면에 조도를 부여하였다. 표면에 표 면조도가 존재하는 경우 접촉면적이 증가되어, 점 저항용접 시 높은 접촉저항이 발생 되어 접촉부위의 발열량을 증가시킨다. 또한, 웰드본딩 공정시 접착제의 도포량 즉, 접착량이 증가되어 전단인장강도에 영향을 미친것으로 추정된다.

따라서 알루미늄 표면에 각각 다른 방법으로 형성된 표면조도가 웰드본딩 공정에 미치는 영향을 조사하기 위해 표면조도 형상에 따른 전단인장강도와 너깃경을 측정하 였고, 염수분무시험 후 내식전단강도를 평가하여 델타스폿용접과 비교 분석 하였다. 표면처리 조건으로는

1)알루미늄 표면에 SIC #60 연마지로 100회 수동연마

2)Peening distance 2 mm, 주파수 280Hz로 고주파 피닝

3)Focused beam size 1 mm, Intensity 12.2 GW/cm2로 레이저 피닝

총 세가지 방법으로 수행하였으며, Fig.15에 수동연마를 실시한 모식도와 시험편, Fig.16에 고주파 피닝을 실시한 장비와 시험편, Fig.17에 레이저 피닝을 실시한 장비 와 시험편을 나타내었다.



Fig. 15 Polishing Schematic and Test piece





Fig.16 High frequency peening equipment and Test piece



Fig.17 Laser peening equipment and Test piece

2. 시험 방법

가. 너깃경 측정

시험편의 용접부 너깃직경 측정하기 위해 고속 정밀절단기로 용접부에 형성된 너 깃을 수직한 방향으로 절단한 뒤 마운팅 하였고, SIC 연마지를 이용하여 #800부터 3um 까지 연마한 뒤 에칭하였다. 에칭용액은 나이탈 용액(HNO3 10%)과 Keller용액(HNO3 25%, HCl 15%, HF 10%)을 사용하여 각각 철, 알루미늄에 수초간 에칭한 뒤 실체 현미 경으로 용접부 단면의 너깃경을 측정 하였다. 저항용접-비도금 및 도금 저탄소강의 점 용접 절차(KS B ISO 14373)규격을 참조하여 용접부에 형성된 코로나 본드 이전 영역을 너깃경으로 판단하였다. Fig.18, Fig19 에 점 저항 용접부의 너깃 형상과 너깃경 측정 부위를 모식도로 나타내었다.



Fig. 18 Schematic of nugget shape of spot weld



Fig.19 Schematic of Nugget diameter measurement

나. 전단인장 시험

본 연구에서 사용된 전단인장시험장비는 SHIMADZU(일본)의 AG-X 모델로 용적 250 KN이며 해당 장비를 Fig.20 에 나타내었다. 전단인장시험은 금속 재료 인장 시험방법 (KS B 0802 : 2003)에 준수하여 시험을 수행하였으며 크로스헤드속도는 1.0mm/min으로 모든 시험편에 동일하게 적용하였다. 델타스폿 용접만 적용한 시험편은 가압력, 통전 시간, 전류에 따른 전단인장강도 및 파단형태를 관찰 하였고, 웰드본딩과 펄스 조건을 적용한 시험편은 스틸측 너깃경이 6mm가 되도록 고정하여 통전 모델과 표면조도 부여 차이에 의한 변화를 비교 관찰 하였다.



Fig.20 Tensile testing equipment

다. 표면조도 측정

촉침식 표면 거칠기 측정기(KS B 0501)규정을 준수하여 접촉식 표면조도계를 이용 해 표면조도를 측정하였으며 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하여 표면 처리 조건에 따 라 비교하였다. Fig.22 와 같이 용접부 주변을 3mm의 간격을 두어 측정하였으며 화살 표 방향으로 총 5회 진행하였다. Fig.21은 표면조도 측정에 사용된 장비를 나타내었 다.





Fig.21 Surface roughness equip



Fig.22 Surface roughness Measure method

라. 중성 염수분무 시험

중성 염수분무시험은 금속재료 또는 도금을 입힌 금속재료의 내식성을 평가하는 시험이며, 중성 염수분무시험방법(KS D 9502)에 준수하여 시험하였다. Fig.23는 실험에 사용된 시험기인 ERICHSEN(독일)의 606 / 2000 모델을 나타내었다. Table.9는 중성 염 수분무시험조건(KS D 9502)과 실제 시험에 사용된 조건을 나타내었다.



Fig.23 Salt spray Test equipment

	KS D 9502	Condition
NaClconcentration (g/L)	50 ± 10	50
Density	1.029~1.036	1.031
рН	6.5~7.2	6.59
Spray pressure(kPa)	98±10	100
Temperature(°C)	35±2	35.1
Air saturation temperature(℃)	47±2	47.2
Sprayed capacity (mL/h)	1.5±0.5	1.8

Table.9 Salt	spray	Test	condit	ion
--------------	-------	------	--------	-----

마. 부식면적(넓이) 측정

내식성을 평가하는 방법으로 질량손실, 침식깊이를 측정하는 방법이 주로 사용되 고 있다. 하지만 전단인장 시험 후 파괴된 용접부의 질량 및 침식 깊이를 측정하기에 어려움이 있다고 판단하였다. 이에 본 실험에서는 내식성 평가 방법으로 장시간 중성 염수분무 시험 후에 전단인장시험으로 파단된 시험편을 촬영하여 부식의 면적으로 판 단하였다. 부식면적은 ImageJ라는 Image Processing and Analysis in Java의 약자로 서 자바 기반의 이미지 프로세싱 S/W를 활용하여 정량적으로 측정하였으며, 이것은 NIH(National Institutes of Health)와 LOCI(Laboratory for Optical and Computational Instrumentation)에서 개발하였다. Fig.24 는 부식된 시험편의 모식도 이며 식(3)과 같이 계산하여 나타내었다.



Fig.24 Schematic of Weld-bonding corrosion shape

제4장 실험 결과 및 고찰

제1절 이종소재(AI6061-T6/GA440) 웰드본딩 공정 최적화

1. Process tape 선정 결과

PT-3000(AI촉)/2000(Steel촉)계 조합과 PT-3000(AI촉)/1407(Steel촉)계 조합을 가 압력 1.9kN, 통전시간 240ms로 일정하게 두었을 때 전류값을 9kA, 10kA, 11kA로 변화 시켜 델타스폿 용접을 실시한 뒤 전단인장강도와 너깃경 측정값을 Fig.25 와 Table.10 통해 나타내었다. 저항용접-비도금 및 도금 저탄소간의 점용접 절차(KS B ISO 14373:2006)에 의하면 국내 최소 너깃직경은 4√t를 확보해야하지만 국내 자동차 메이 커에서는 5√t의 좀 더 높은 수준의 너깃경 확보를 요구하기도 한다. 따라서 본 연구에 서는 사용한 두께 1t의 AI6061-T6/GA440의 경우 5.0mm 이상의 너깃경을 갖을 때 전단강 도값이 더 높게 측정된 조합을 적정 프로세스 테이프로 선정하였다.

Nugget dimeter measurement of Process tape combination					
	PT-3000(AI)/	2000(Steel)	PT-3000(AI)/	PT-3000(AI)/1407(Steel)	
Welding current	Corss-section	Steel nugget diameter(mm)	Corss-section	Steel nugget diameter(mm)	
9kA		4.3mm		4.7mm	
10kA		5.1mm		5.6mm	
11kA		4.8mm		5.3mm	

Table.10 Nugget dimeter measurement of Process tape combination



Fig.25 Tensile shear strength test results

PT-3000(AI촉)/PT-2000(Steel촉)계 조합과 PT-3000(AI촉)/PT-1407(Steel촉)계 조합 모두 용접 전류가 증가함에 따라 너깃경이 증가됨을 확인할 수 있었고, 5√t(GA440) 기준 = 5.0mm(KS B ISO 14373:2006)에 의해 적정 용접 구간은 10kA 이상으로 판단하였 다. 또한 같은 용접조건일 때 PT-3000/2000계 조합보다 PT-3000/1407계 조합에서 더 높은 전단인장강도가 확인되었다. 따라서, 이종소재 용접부의 전단강도를 더 향상시키 고 공정효율을 향상시키기 위해서 PT-3000/1407계 조합을 사용하는 것이 더 적절하다 고 판단하였다. Fig.12을 보면 PT-1407계에서 Ni, Fe의 비교적 융점과 소재 저항값이 높은 우수한 강도를 가진 성분으로 구성되어 있고, PT-2000계 에서는 99% Cu의 성분으 로 구성되어 있다. 이는 Ni, Fe와 같이 강도 앞서 언급한 용접시 외부 입열량 향상 원 소를 더 함유하고 있는 1407계가 2000계보다 전단강도에 미치는 영향이 큰 것으로 판 단된다.

2. 델타스폿 용접조건 범위 선정 결과

전단인장실험을 통해 전류, 가압력, 통전시간의 변경에 따른 영향을 조사한 결과 를 Fig.26에 그래프로 나타내었다. 먼저 전류의 영향을 관찰하기 위해 Fig.(a)를 보면 가압력(2.7kN)과 통전시간(240ms)을 고정하였을 때, 10kA에서 2,919N, 7kA에서 2,509N 의 전단인장강도를 나타내었다. 전류가 1kA씩 증가함에 따라 전단인장강도가 증가 하 였지만 10kA 이후 감소되는 것으로 확인 되었다. 다음 가압력의 영향을 관찰하기 위해 통전시간(240ms), 전류(10kA)를 고정하였을 때, 1.9kN에서 4,072N, 2.3kN에서 3,042N 의 전단인장강도를 나타내었다. 가압력이 0.4kN씩 증가됨에 따라 전단인장강도가 감소 하였으며, 적정 가압력은 1.9kN으로 확인 되었다. 다음 통전시간의 영향을 관찰하기 위해 가압력(1.9kN), 전류(10kA)를 고정하였을 때, 180ms에서 2,620N, 240ms에서 4,072N의 전단인장강도를 나타내었다. 통전시간은 240ms에서 가장 높은 전단인장강도 를 나타내었고, 이후 60ms씩 증가됨에 따라 감소하는 경향이 확인되었다.

기본적으로 전류, 통전시간이 증가, 가압력이 감소함에 따라 전단인장강도가 증가 한다고 알려져 있으나, 전류 10kA, 통전시간 240ms, 가압력 1.9kN 이후 전단인장강도 가 떨어지는 것은 과입열로 인한 비산 현상이 용접부의 결합력을 약하게 한 것으로 판 단된다. 그래서 이종소재(Al6061-T6/GA440) 델타스폿 용접의 적정 조건으로 전류 10kA, 통전시간 240ms, 가압력 1.9kN이하 로 선정하였다.

(a) welding current

-28-



(b) force

(c) welding time

Fig.26 The effect of welding current, force, and welding time to evaluate of tensile shear strength

3. 웰드본딩 조건 부식 시험 결과

위 실험을 참조하여 적정 조건을 선정하고 델타스폿 용접과 웰드본딩 공정을 각각 수행하고, 염수분무 시험을 통해 부식환경에서의 전단인장강도를 측정 하였다. Table.11에 용접 조건에 따른 너깃경과 전단인장강도 측정 결과를 나타내었다.

가. 너깃경 측정 및 전단인장강도 측정 결과

4가지 용접 조건 중 접착제를 도포한 3조건에서 델타스폿 용접시 통전의 어려움이 있어 가압력 2.6kN, 전류 4.5kA씩 증가시켰지만 너깃경 측정 결과 모든 조건에서 약 6.0mm의 유사한 너깃직경을 확인하였고, 표면조도를 부여한 조건에서 최대 GA측 6.6mm 의 너깃경을 확인할 수 있었다. 표면조도에 의한 접촉면적의 증가가 델타스폿 용접시 접촉저항을 증가시켜 가장 큰 너깃경을 확보한 것으로 판단된다.

Fig.27 는 염수분무시험 전 4가지 용접조건의 전단인장강도 측정 결과를 그래프로 나타내었다. 접착제를 도포한 조건에서 9,450N, 8,602N, 8,529N의 값을 보였고, 델타 스폿 용접만 수행한 조건에서 3,216N의 값을 보였다. 이것은 접착제의 접착강도 차이 로 보여진다. Fig.27 를 보면 (a)에서는 일반적인 점 용접부의 형태로 나타났지만, (b),(c),(d)에서는 최대 하중 이후 급격히 떨어지는 형태가 나타난 것으로 보아 가장 마지막에 접착제가 파괴되면서 생긴 것으로 판단된다.

No.	Welding condition	Cross-section	Steel nugget diameter(mm)	Tensil shear strength ave.(N)
1	1.9kN-10kA-240ms	Lingin Lingin	5.6 mm	3,216 N
2	4.5kN-13kA-180ms + <mark>Adhesive</mark>	Jonn	6.0 mm	9,450 N
3	4.5kN-13kA-240ms + <mark>Adhesive</mark>	1 min	6.1 mm	8,602 N
4	4.5kN-13kA-240ms + <mark>Adhesive+Polishing</mark>	Linna Linna	6.6 mm	8,529 N

Table.11 Weld-bonding Nugget dimeter measurement and tensile shear strength ave.





Fig.27 Tensile shear strength test results

나. 표면조도 측정 결과

Fig.28, Table.12에 알루미늄 표면을 연마하지 않은 소재와 수동연마를 실시한 소 재의 표면조도 값을 나타내었다. 수동연마를 실시한 표면에서 3rd에서 평균값 1.120 um, 5th에서 0.794 um의 표면조도 값을 보였다. 약간의 차이는 존재하지만 전체 평균 적으로 비연마 0.306 um, 연마 0.939 um의 값을 보였고, 수동연마 표면조도가 약 3배 이상의 높은 값을 나타내었다.



Fig.28 Surface roughness measurement results



그님		Ra (um)		
	1 2		연마	
	0–5	0.283	1.115	
1et	5-10	0.305	0.986	
181	10-15	0.321	1.140	
	avg	0.303	1.080	
	0-5	0.259	1.040	
Ond	5-10	0.309	0.984	
Znu	10-15	0.331	0.909	
	avg	0.300	0.978	
	0-5	0.308	1.052	
Ord	5-10	0.355	0.927	
310	10-15	0.288	0.838	
	avg	0.317	0.939	
	0-5	0.282	1.120	
4+6	5-10	0.282	0.774	
4111	10-15	0.310	0.817	
	avg	0.291	0.904	
	0-5	0.307	0.979	
Eth	5-10	0.322	0.761	
5111	10-15	0.327	0.641	
	avg	0.319	0.794	
	AVG 전체	0.306	0.939	

Table.12 Surface roughness measurement results

다. 염수분무 시험 결과

Fig.29 는 약 6.0mm의 같은 너깃경일 때 염수 분무 시험 시간에 따른 전단인장강 도 측정 결과를 나타내었다. 0시간 일때 4가지 조건 중 접착제를 도포한 웰드본딩 공 정조건에서 델타스폿용접만 적용한 조건보다 3,215(N) → 9,450(N)으로 약 3배의 높은 전단인장강도를 나타내었다. 접착제의 도포로 인한 접착력이 너깃경 +a 로 작용하여 전단인장강도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 염수분무시간이 지남에 따라 차이는 더 크게 증가 하였다. 웰드본딩 공정조건에서는 표면 수동연마를 실시한 조건에서 전단인 장강도의 감소폭이 가장 크게 확인 되었다. 1,920시간에서 3,247(N) → 5,880(N) 으로 약 81%의 차이가 있었다. 하지만 4조건 모두 1,920시간에서 계면파단 형상이 나타났기 때문에 적정 용접조건으로 선정하기에는 어려움이 있다.

Fig.29 Tensile shear strength on salt spray test

라. 용접부 파단형태 관찰

Table.13은 염수분무시험 시간에 따른 파단형태를 나타내었다. 0시간에서는 델타 스폿 용접을 수행한 조건에서는 계면파단형태를 보였다. 접착제를 도포한 조건에서는 접착제의 파괴와 계면파단이 동시에 일어나는 혼합적인 파단형태를 보였다. 일반적으 로 점 용접부의 모재가 연성적으로 찢어지는 Tear파단과 한쪽의 모재가 단추구멍 형태 로 분리되는 플러그 파단형태일 때 용접이 양호하게 이루어 졌다고 판단할 때, 시간이 지남에 따라 일부 플러그 파단형태를 보였지만 부식에 의한 소재의 기계적 특성 저하 로 인해 생긴 것으로 판단되며, 전체적으로 보았을 때 양호한 용접부라고 판단하기 어 렵다.

파단 형태 관찰				
염수분무시험시 간	0(h)	640(h)	1,280(h)	1,960(h)
1	0			
2	19. R	e e	151	
3		1		
4			. 3	

Table.13 Weld-bonding appearance observation

마. 부식면적 측정 결과

1,920시간의 염수분무 시험 후 용접부 외관 관찰을 통해 용접 조건에 따른 부식면 적 측정 결과를 Fig.30 에 나타내었다. 4가지 조건 중 접착제를 도포한 조건에서 대표 적인 부식현상인 적청현상이 미세하게 확인 되었고, 표면연마를 실시한 조건에서는 확 인 되지 않았다. AI합금과 GA강판 사이에 접착제를 도포한 웰드본딩 공정에서는 소재 와 소재사이에 도포된 접착제로 인해 갈바닉 부식이 전혀 발생하지 않고, 또한 용접부 틈새로 분사되는 부식액의 침투를 전체적으로 방지한 것으로 판단되며, 표면 연마를 통한 접착력의 증가로 인해 이러한 틈새부식도 거의 억제되었다고 판단된다.



Fig.30 Measurement of average corrosion rate at each condition

4. 다단가압 펄스통전 용접조건 부식 시험 결과

위 실험에서 파단형태 관찰 결과 모든 조건에서 계면파단이 발생된 것을 확인 하 였다. 그래서 양호한 용접부를 확보하기 위해 Table.8과 같은 다단가압 펄스통전 용접 조건으로 웰드본딩 공정을 각각 수행하고 염수분무 시험을 통해 부식환경에서의 전단 인장강도를 측정하였다. Table.14에 용접 조건에 따른 너깃경과 전단인장강도 측정 결과를 나타내었다.

가. 너깃경 측정 및 전단인장강도 측정 결과

비연마, 연마, 고주파, 레이저 피닝 조건 순으로 각각 6.24mm, 6.39mm, 6.46mm, 7.02mm를 보였다. 용접조건이 모두 같기 때문에 너깃경의 크기 차이는 표면조도 차이 에 의한 것으로 판단된다. 전단인장강도는 9500N 이상의 값을 보였고 4조건 모두 모재 가 45°로 찢어지는 모재 파단 형태가 나타났다.

No.	Surface roughness condition	Cross-section	GA440 Nugget diameter (mm)	Tensil <mark>e</mark> shear strength ave.(N)
S_1	Non-polishing		6.24 mm	9,502 N
S_2	Polishing		6.39 mm	9,646 N
S_3	High frequency peening	1mm	6.46 mm	9,777 N
S_4	Laser peening	1mm	7.02 mm	9,741 N

Table.14 Nugget dimeter measurement and Tensile shear strength ave.

나. 표면조도 측정 결과

Fig.31, Table.15 에 알루미늄 표면조도 부여 방법에 따른 표면조도 측정값을 나 타내었다. 고주파 피닝 2.744 um, 레이저 피닝 3.095 um의 표면조도 값을 보였다. 앞 서 실시한 수동 연마된 표면과 비교 했을 때, 약 3배의 증가된 값을 보였다. 하지만 측정 부위마다 값의 차이가 크게 났으며, 이는 수동연마를 실시한 표면처리 조건이 고 주파, 레이저 피닝에 비해 전체적으로 표면조도 값이 비교적 폭이 작고 균일하게 유지 되어 있다고 판단된다.



Fig.31 Surface roughness measurement result



구분		Ra (um)			
		비 연마	연마	고주파	레이저
1st	0–5	0.283	1.115	2.393	3.398
	5-10	0.305	0.986	3.853	3.363
	10-15	0.321	1.140	3.090	2.992
	avg	0.303	1.080	3.112	3.251
2nd	0–5	0.259	1.040	3.410	3.412
	5-10	0.309	0.984	3.397	2.804
	10-15	0.331	0.909	2.669	2.341
	avg	0.300	0.978	3.159	2.852
3rd	0–5	0.308	1.052	2.005	3.026
	5-10	0.355	0.927	3.040	2.884
	10-15	0.288	0.838	2.157	3.270
	avg	0.317	0.939	2.401	3.060
4th	0–5	0.282	1.120	1.801	3.718
	5-10	0.282	0.774	3.110	3.490
	10-15	0.310	0.817	2.545	3.345
	avg	0.291	0.904	2.485	3.518
5th	0–5	0.307	0.979	2.348	2.467
	5-10	0.322	0.761	3.210	3.330
	10-15	0.327	0.641	2.133	2.591
	avg	0.319	0.794	2.564	2.796
	AVG 전체	0.306	0.939	2.744	3.095

Table.15 Surface roughness measurement results

다. 염수분무 시험 결과

Fig.32 에 다단펄스 용접조건이 모두 같고 표면조도만 변수로 두었을 때 1,920시 간의 염수분무 시험 후 전단인장강도 측정 결과를 나타내었다. 측정 결과 표면조도의 증가가 부식액의 침투방지와 더불어 접착력의 증가로 더 높은 전단인장강도를 나타낼 것으로 예상했지만, 비 연마 1,433N, 수동 연마 7,474N, 고주파 피닝 3,270N, 레이저 피닝 6,773N으로 수동연마, 레이저 피닝, 고주파 피닝, 비연마 순으로 높은 전단인장 강도를 나타내었다. 이는 단순한 표면조도 값의 증가가 내식전단강도를 증가시키는 것 이 아닌, 표면조도 값의 분포형태 즉, 표면 거칠기의 균일도도 내식전단강도의 증가에 복합적으로 작용한 것으로 추정된다.



Fig.32 Tensile shear strength on salt spray test

라. 용접부 파단 형태 관찰

Table.16 은 염수분무시험 후 파단형태를 나타내었다. 비연마, 고주파 피닝을 실 시한 조건에서는 앞선 웰드본딩 공정의 파단형태와 같은 계면파단의 형태를 보였다. 수동연마, 레이저 피닝을 실시한 조건에서는 모재파단의 형태를 보였고, 양호한 용접 부로 판단하였다. 이를 통해 이종소재(Al6061-T6/GA440)의 웰드본딩 공정시 약 0.94um 의 표면조도 값의 범위에서 비교적 균일한 거칠기를 유지할 때 부식환경에서 기존 스 폿 용접부 대비 우수한 내식전단강도와 양호한 용접부를 확보할 수 있다고 판단된다.

파단 형태 관찰				
No	염수분무 시험 시간			
NO.	1960(h)			
S_1	0			
S_2				
S_3				
S_4				

Table.16 Pulse welding Appearance observation



제5장 결론

본 연구에서는 이종소재(Al6061-T6/GA440)의 용접시 웰드본딩 공정조건을 최적화 하였고, 염수분무시험을 통해 부식 환경 속에서 내식전단강도와 파단형태를 분석하였 다. 또한 내식전단강도를 높이고, 양호한 용접부 품질을 확보하기 위해 알루미늄 표면 에 표면조도를 부여하고, 다단가압 및 펄스통전의 용접조건을 적용하고 평가 하여, 다 음과 같은 결론을 도출하였다.

1. Process tape 선정 실험 결과 PT-3000(AI측)/PT-2000(Steel측)계 조합에 비해 PT-3000(AI측)/PT-1407(Steel측)계 조합에서 약 20% 이상 높은 전단인장강도를 나타냈 으며, 같은 용접조건을 적용할 때 공정 효율이 좋은 PT-3000/1407계 조합의 사용이 적 절한 것으로 판단되었다.

2. 웰드본딩 공정조건 부식 시험 결과 D type의 구조용 접착제를 사용한 웰드본딩 공정조건에서 기존 델타스폿 용접조건에 비해 높은 내식전단강도를 나타내었다. 또한, 동일 용접 조건에서 표면연마를 실시한 경우 5,880N으로 비연마조건인 3,250N에 비해 약 81%의 내식전단강도가 향상되었다. 부식량 측정 결과 웰드본딩 공정조건에서는 상 대적으로 적청현상이 발생하지 않았으며 매우 낮은 부식량을 나타내었다. 이는 웰드본 딩 공정과 함께 표면조도의 부여로 인해 부식액 침투를 방지하여 내식전단강도에 영향 을 미친 것으로 판단된다. 파단시편 관찰 결과에서는 델타스폿과 웰드본딩 공정조건 모두 계면파단의 형태를 나타내었다.

3. 다단펄스 용접조건 부식시험 결과 수동연마, 레이저 피닝, 고주파 피닝, 비연 마 순으로 높은 내식전단강도를 나타내었으며, 표면조도 측정 결과 레이저 피닝 3.095um, 고주파 피닝 2.744um, 수동연마0.939um, 비연마 0.306um 순으로 표면조도 값 을 나타내었다. 파단시편 관찰 결과에서는 비연마, 고주파 피닝 조건에서 계면파단, 수동연마, 레이저 피닝 조건에서 모재파단의 형태가 나타났다. 이는 표면조도의 크기 뿐만 아니라 표면조도 값의 범위에서 비교적 균일한 거칠기를 유지할 때 부식환경에서 기존 스폿 용접부 대비 우수한 내식전단강도와 양호한 용접부를 확보할 수 있다고 판 단된다.



참고문헌

1. A. Richter, Smart Weighting, Cutting tool engineering, 60(9) (2008), 38-49

2. C. Du-Youl, K. Young-Gon, Trend of Joining Technology for Automotive, Journal of Welding and Joining, 27(2)(2009),7-12Sheet Steels

3. M.H.Razmpoosh, M.Shamanian, M.Esmailzadeh , The microstructural evolution and mechanical properties of resistance spot welded Fe-31Mn-3Al-3Si TWIP steel, Materials and Design, 67 (2015), 571-576

4. M. Pouranvari and S.P.H. Marashi, Critical review of automotive steels spot welding : process, structure and properties, Science and Technology of welding and joining, 18(5) (2013), 361-403

5. O.Martin, M.Pereda, J.I.Santos, J.M.Galan, Assessment of resistance spot welding quality based on ultrasonic testing and tree-based techniques, Materials processing technology, 214(11) (2014), 2478-2487

6. H. Laukant, E. Guimaraens, U. Glatzel, Laser Beam Aluminum-Steel Joints -Mechanical and Dynamical Properties and Detailed Microstructural Analysis of Intermetallic FeAL-Phases, International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, 1006 (2007), 588-595

7. O. E. Guengoer and C. Gerritsen, Effect of Filler Wire Composition and Metallic Coating on the Joint Performance of Aluminium/Steel Braze-Welds, Welding and Cutting, 7(5) (2008), 303-312

8. J. Ruge , Handbuch der Schwesstechnik, Springer verlag Berlin Heidelberg New York, 2 (1980), 188-199



9. F. Ostermann, Widerstandspunktschweissne von Aluminiumwerkstoff, Springer berlin heidelberg, 16 (1998), 469-489

10. Sehun Rhee, Youngsoo choi, Joonghyun Yem, Youngjoon Cho, Soyung Lee, Study of Al alloy welding using Delta Spot, The korean welding and joining society, 50(11) (2008), 79-82

11. P. Ji-youn, M.Sc thesis, The Effect of Bonding Method on Mechanical Properties of Transforming Induced Plasticity Steel for Automotive Body, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea (2015) 50

12. J. beom-Ji, M.Sc thesis, Characterization and process optimization for resistance spot welding of dissimilar meterial with al alloy and high strength steel, Mokpo National University, Mokpo, Korea (2016) 93

13. J.D.Kwon, S.P.Jeon, K.S.Shin, H.D.Park, A study on the thin-plates structure jointed by weldbonding and bonding techniques, The Korean Society Of Automotive Engineers, 6 (2) (1995) 30-35

14. K. Min-jung, K. Cheol-hee, K. Jun-ki, K. Dong-cheol, K. Jong-hoon, Corrosion Assessment of Al/Fe Dissimilar Metal Joint, Journal of Welding and Joining, 32 (4) (2014), 55-62