회전금형을 사용하는 AZ31 마그네슘 합금판재의 전기저항 표면마찰 스폿용접

김태현¹·SUN XIAOGUANG²·진인태[#]

Electric Resistance Surface Friction Spot Welding Process of AZ31 Mg Alloy Sheets by Using Rotating Dies

T. H. Kim, X. G. Sun, I. T. Jin

(Received January 8, 2018 / Revised April 16, 2018 / Accepted May 15, 2018)

Abstract

Magnesium material could be widely used in the automotive industry because of its high strength to weight ratio, but the electric resistance spot welding process of magnesium sheets is difficult because of its low electric resistance and high thermal conduction and thermal expansion. For this reason, an electric resistance surface friction spot welding process using rotating dies is suggested for the spot welding of magnesium metal sheets. This welding method can be characterized by three heating methods: (1) electric resistance heating on contacted surface, (2) surface friction heating by rotating dies, and (3) thermal conduction heating from heated steel electrodes, for the fusion of metal at the interfacial zone between the two magnesium sheets. This welding process also has variables to explore, such as welding currents, diameters of the steel electrode, and rotating dies. It was found that the welding strength could reach industrial requirements by applying a welding current of 11.0kA, with steel electrodes of 12mm diameter, with rotating dies of 4.4 mm diameter, under the condition of a revolution speed of 1200rpm of rotating dies, for the surface friction spot welding process of AZ31 magnesium alloy sheets of 1.4mm thickness.

Key Words : Surface friction, Spot welding, Rotating dies, Steel electrode, Magnesium sheets, Shearing load, Electric resistance.

1. 서 론

경량화금속으로 주목 받고 있는 마그네슘합금의 경우 비강성이 우수하고 성형성이 뛰어나므로 수송 기계의 경량화를 위해 철강재를 대신하여 사용되는 빈도가 증가하고 있다. 자동차에 사용되는 마그네슘 판재의 이용에 앞서 용접성을 확보하기 위하여 여 러 가지 스폿용접법이 개발되어 지고 있다. 전기저 항에 의한 마그네슘 합금판재의 스폿용접은 낮은 전기저항과 높은 열전도 때문에 저항발열을 유도하 기가 쉽지 않은 점이 단점이다[1]~[7]. 전기저항을 사용하지 않는 고상유동접합의 일종 인 마찰교반 스폿용접은 용접하고자 하는 용접면에 회전 공구를 삽입하여 빠르게 회전시킬 때 발생하 는 회전 공구와 금속면상의 마찰열과 회전에 의한 소성유동 및 회전공구의 가압력을 이용하여 중첩된 두 합금판재를 용접한다[8]~[12].

그러나 용접시간이 많이 소요되고 용접부 표면에 회전공구의 삽입으로 인한 홀 형상의 용접흔적이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 전기저항가열 마찰교반 스폿용접 의 기 제안된 용접기술을 적용하여 알루미늄판재의 스폿용접에 적용한 바 있다[13][14].

따라서 본 연구는 마그네슘 합금소재인 AZ31 합

^{1. ㈜}성우하이텍 기술연구소

^{2.} 부경대학교 대학원 기계공학과

[#] Corresponding Author : Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, E-mail: jint@pknu.ac.kr

금판재의 기존 스폿용접 공정대신 전기저항 표면마 찰 스폿용접을 적용하여 용접성을 확보하고자 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 회전금형을 사용 하는 전기저항 표면마찰 스폿용접기에 의해 용접된 판재의 정적 인장시험을 통하여 용접 전단강도를 분석하였고 스폿용접부에서의 외관 및 너겟형상과 용접부 단면을 현미경검사를 통하여 스폿용접성을 분석하였다.

회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용접의 개요[10]

회전금형(rotating dies)을 가지는 전기저항 표면마 찰(surface friction) 스폿용접(spotwelding)의 용접방법 은 용접계면상에서 용융용접을 사용하고 있으며 용 융을 위한 발열의 형태로는 용접할 금속의 판재와 판재사이의 접촉저항에 의한 발열과 철계전극(steel electrode)의 전도열, 그리고 회전금형에 의한 마찰열 로 구성된다.

상기와 같이 다양한 형태의 발열이 조합되어 용 접부에 열을 광범위하게 공급하여 비철금속의 스폿 용접에 이용할 수 있는 장점이 있다.

회전금형을 가지는 전기저항 표면마찰 스폿용접 과정은 Fig.1 과 같이 총 네 단계로 이루어진다.



Fig. 1 Process step of electric resistance surface friction spot welding process: (a) overlapping sheets, (b) pressing and rotating of dies, (c) applying and heating of current, (d) welding of sheets[10]

먼저 Fig.1 의 (a)는 그림에서와 같이 용접하고자 하는 두 장의 판재를 철계 하부전극(lower electrode) 에 안착 시킨 다음 Fig.1 의 (b)와 같이 두 장의 판 재를 철계 상부전극(upper electrode)으로써 눌러줌으 로써 고정하고 하부 회전금형의 회전에 의해 스폿 용접부 하부표면을 마찰가열 시키면서 용접계면에 열전도에 의한 열을 공급한다.

다음의 Fig.1 의 (c)와 같이 합금판재 하부표면으로 부터 회전금형에 의한 마찰열이 공급되고 있는 과 정 중에 이어서 철계전극에 전류를 통전하여 판재 표면과 접촉된 철계전극의 저항에 의해 발열됨과 동시에 판재표면에 열전도에 의한 열을 공급하게 된다.

그리고 전류의 통전에 의하여 판재사이의 용접계 면에서 발생하는 접촉저항 발열과 상승작용하여 용 접계면에 열을 집중시키면서 용접부를 용접한다.

이와 같이 집중가열된 열과 철계전극과 회전금형 의 압력으로 용접경계면이 용융되고 용접되도록 하 는 것이 회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용접의 특징이다.

마지막으로 Fig.1 의 (d)와 같이 회전금형이 원위 치로 후퇴하고 철계전극을 판재와 분리하게 되면 회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용접 이 끝나고 두 소재는 서로 스폿용접된 상태가 된다.

스폿용접후 용접된 소재의 표면에는 약간의 회전 흔적과 미세한 철계전극의 압흔만이 발생하는데 이 전극압흔과 회전흔적은 기존의 마찰교반 스폿용접 에 비하여 작은 것이 특징이다.

3. 스폿용접 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치 및 용접전극

회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용 접용 실험장비는 기본적으로 기존의 프로젝션 (projection) 용접기에 자체설계 제작된 전극부품을 장착하여 사용하였다. 용접 실험 시 Fig. 2 와 같이 두 장의 합금판재가 철계전극에 안착되고 철계전극 과 열결된 상부 실린더의 압력에 의해 판재가 고정 된다.



Fig. 2 Layout of steel electrodes and overlapped magnesium sheets for experiments[10]



Fig. 3 Shape of rotating dies and steel electrode (D: diameter of steel electrode, d: diameter of rotating dies)

실험장치의 회전금형과 철계전극은 Fig.3 과 같이 제작되었다. 회전금형은 회전과 동시에 압력에 의한 압축하중을 받기 때문에 작은 면적에서도 높은 비 틀림강성과 압축강성이 좋아야 하고, 철계전극에 삽 입하여 회전하기 때문에 외주면이 정밀한 경면일 필요성이 있다. 따라서 이 모든 조건을 만족하는 금 속인 특수강을 연마하여 사용한다.

회전금형의 직경(d)은 4.4mm 로 하였고, 철계전극 팁의 외경(D)은 총 두가지 수준의 실험을 위하여 10mm, 12mm 로 제작되었다. 회전금형의 직경(d)을 4.4mm 로 정한 것은 본 연구에 앞선 연구 자료를 참고하여 1.2mm, 1.4mm 의 두께를 가지는 알루미늄 판재를 스폿용접할 경우 회전금형의 직경은 4.4mm~4.6mm 정도가 적당함을 기초로 하여 결정되 었다[10].

3.2 실험조건

스폿용접실험에 사용된 판재금속은 마그네슘

AZ31 합금 소재를 사용 하였고, 세부적인 물성치 및 시편의 형상치수는 Table 1 과 같다. 마그네슘은 초 경량이고 전자파 차폐가 우수하고 소음과 진동을 흡수하며 열방출등의 성질이 다른 금속에 비해 우 수하다.

Component	Mg	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Other	
(wt%)	96.3	3.0	0.7	0.2	0.05	0.05	0.06	
	Thickness		Width		Height length			
Size (mm)	1.2		30		120			
	1.4		30		100			
Ultimate	Ultimate strength				262 MPa			
Yield strength				202 MPa				
Modulus of elasticity				45 GPa				
Melting point					59	16 C		

Table 1 Characteristics of the specimens

마그네슘 판재의 두께를 1.2mm 과 1.4mm 의 두 종류의 두께에 대해 스폿용접 실험하였다.

Table 2 Major factor of welding variables

Factor	Welding variables	The level of variables		
A	Diameter of steel electrode (D mm)	10	12	
В	Thickness of magnesium sheets(T mm)	1.2	1.4	

실험변수로서 Table 2 와 같이 총 두 개의 변수를 잡았고, 변수의 수준은 총 두 수준으로 정하였다. 철계전극의 외경(D)은 전열면적, 전류밀도, 접촉저항 등과 관련해서 용접온도를 결정하고 용접부의 압흔 과 소재의 클램핑 등과 관련하여 용접부 변형에 영 향을 준다. 마그네슘판재의 두께(T)는 너겟 사이즈 와 관련해서 용접효과에 영향을 준다. 이러한 영향 을 참고하여 두 개 주요인자를 결정하였다.

3.3 용접가능 적합전류 도출 실험 방법



Fig. 4 The shape of surface of spot welded sheets

Fig. 4 는 회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용접된 마그네슘 판재소재의 외관표면을 보여 주고 있다. 외관상으로 한 면에서 회전흔적을 확인할 수 있었고, 양쪽면 모두 용접부에 약간의 철계전극 의 압흔을 발견할 수 있었다. 그 외적으로 표면상에 큰 용접흔적은 발견되지 않았고 기존의 마찰교반 스 폿용접과 같은 회전금형의 구멍의 흔적도 없는 상태 이다. 이렇게 용접된 소재를 이용하여 필테스트(peel test)를 통해 용접가능 전류적합조건을 실험하였다.



Fig. 5 The method of peel test of spot welded sheets

Fusion explosion on surface: F.E		2
Strong welding: S.W (nugget size more than 50% of the diameter of the electrode tip)	D : 10mm (S.W)	D: 12mm (S.W)
Weak welding: W.W (nugget size less than 50% of the diameter of the electrode tip)	D : 10mm (WW)	D : 12mm (WW)
Non-welded at interfacial gone: N.W	C	6

Fig. 6 Four types of peel test results based on nugget size

용접가능 적합 전류조건 실험에서 회전금형의 회 전속도는 1200rpm, 용접시간은 60cycle (60 cycle 는 1 초)로 고정하고 철계전극의 외경과 철계전극에 가해 지는 전류의 세기를 변수로 하여 선행실험하였다.

Fig. 5 와 Fig. 6 같이 네 개의 형태로 분류한 필 (peel) 테스트 선행실험결과는 Table 3 과 같이 각각 의 외경당 용접 가능한 전류의 세기 범위를 찾을 수 있었다. 결과적으로 철계전극 외경(D)이 10mm 일 때 8~9 kA 의 전류범위와. 12mm 일 때 10~11 kA 의 전류범위에서 용접이 가능함을 파악 할 수 있었다.

Table 3 Results of peel test of spot welded sheets						
	Outer diameter of the electrode tip	(D)				

	Succession of the electronic tip (D)					
C	10	mm	12mm			
Current(KA)	Thickness of magnesium (T)					
	1.2mm	1.4mm	1.2mm	1.4mm		
5	N.W					
6	<i>W.W</i>	N.W				
7	<i>W.W</i>	<i>W.W</i>	N.W			
8	S.W	S.W	<i>W.W</i>	<i>N.W</i>		
9	S.W	<i>S.W</i>	<i>W.W</i>	<i>W.W</i>		
10	F.E	F.E	S.W	<i>S.W</i>		
11			S.W	<i>S.W</i>		
12			F.E	F.E		
F.E : Fusion Explosion		W.W: Weak Weld				
a						

S.W: Strong Welding

N.W: Non-Welded

4. 스폿용접 실험결과 및 고찰

4.1 스폿용접 주요 실험변수

선행실험을 바탕으로 얻은 용접전류의 세기 범위 를 이용하여 회전금형을 사용하는 표면마찰가열 스 폿용접의 용접전단하중의 효과를 분석하기 위하여 철계전극에 가해지는 전류의 크기와 그리고 철계전 극 외경을 변화하여 철계전극과 접촉되는 부분에 있는 용접금속의 단위체적당 가해지는 전류밀도에 변화를 주었다.

회전속도는 1200rpm 으로 고정하여 판재 두께(T) 는 1.2mm 과 1.4mm 를 사용하고 철계전극의 외경 (D)은 10mm 와 12mm 를 사용한 상태에서 철계전극 의 용접효과를 비교하기 위하여 각 판재두께나 선 단직경 마다 전극에 가하는 전류의 크기를 6 kA, 7 kA, 8 kA, 9 kA, 10 kA, 11 kA 의 여섯 경우에 대해서 실험을 하였다.

4.2 철계전극의 전류변화효과 실험 및 고찰 회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용 접된 시험편을 제작하였고, 제작된 시험편을 정적 인장시험을 진행 하였다.

AZ31 합금판재의 전기저항 스폿용접후 시편의 표면 현미경사진 그리고 용접전단하중을 도시하고 있다.

Thickness T=1.2mm Electrode diameter D=10mm	Front surface	Back surface	Magnesium- nugget by peel test (mm)	Magnesium- nugget by tensile test	Nugget shape and size (mm)	Welded section by Metallurgical Microscope	Shearing load by tensile test (N)
6kA	(#1)	•	4.39			25µm	1445
7kA	Carel	8	4.86		5	25µm	1635
8kA	0	()	5.69	(8)	5.5	25µm	1919
9kA	(O)	Ø	5.75	0	4.7	25µm	2432

Fig. 7 Appearances of surface and welded section after tensile and peel test in the case of T=1.2mm, D=10mm



Fig. 8 Appearances of surface and welded section after tensile and peel test in the case of T=1.4mm, D=10mm

다음 그림은 용접가능 전류조건하에서 마그네슘 형상과 너겟직경의 크기 및 용접부단면과 용접단면

Thickness T=1.2mm Electrode diameter D=12mm	Front surface	Back surface	Magnesium- nugget by peel test (mm)	Magnesium- nugget by tensile test	Nugget shape and size (mm)	Welded section by Metallurgical Microscope	Shearing load by tensile test (N)
8kA		•	5,42		H 0.9	<u>25μm</u>	1889
9kA	Contract 1	(B)	6.09	(0)	5.6	25µm	2242
10kA	C	•	7.36	0	5.9	25μm	2583
11kA		8	7,48	6	6.5	25µm	2930

Fig. 9 Appearances of surface and welded section after tensile and peel test in the case of T=1.2mm, D=12mm

Thickness T=1.4mm Electrode diameter D=12mm	Front surface	Back surface	Magnesium- nugget by peel test (mm)	Magnesium- nugget by tensile test	Nugget shape and size (mm)	Welded section by Metallurgical Microscope	Shearing load by tensile test (N)
9kA	0	8	4.75	0	2.4	25µm	2332
10kA	0	Ö	6.16	6	2.3 4.2	<u>25µm</u>	2758
11kA		0	7.32	* ©:	5.1	25µm	2985

Fig. 10 Appearances of surface and welded section after tensile and peel test in the case of T=1.4mm, D=12mm







Fig. 12 Shearing load related to the current in case of T=1.2mm, D=12mm









Fig. 7 ~ Fig. 10 은 용접하는 마그네슘 두께의 두 종 류와 철계전극 외경의 두 종류의 변수에 대해서 용 접전류를 변화시키면서 스폿실험한 시편의 외관사 진과 용접계면에서의 용융용접된 너겟형성사진을 도시하고 있다. 시편외관은 철계전극의 미세한 압흔 과 회전금형의 표면마찰흔적이 보이고 용접계면에 서 너겟형성의 유무를 확인 할 수 있었다. 또한 용 접계면의 400배 금속현미경사진을 통해서 계면상에 미세한 균열은 확인되지 않았다.

Fig. 11 ~ Fig. 14 는 두께의 두 종류와 전극외경의 두 종류의 변수에 대해서 용접전류를 변화시키면서 용접전단하중을 측정한 그림이다. 일정한 전류이하 에서 스폿용접이 되지 않는 경우와 과도한 전류 이 상에서 용접부에 용융비산이 일어나는 전류범위내 에서 측정한 용접 전단하중값을 나타내고 있다.

4.3 철계전극의 접촉면적효과 실험 및 고찰 Table 4 는 철계전극과 합금판재와 접촉하는 면적 에 따른 용접효과를 분석하기 위하여 판재두께는
1.2mm, 회전금형의 회전속도는 1200rpm, 회전금형의 직경 4.4mm 로 고정하고 철계전극의 외경을 변경하 여 접촉면의 단면적 크기의 변화에 따른 용접전단 하중(welding shearing load)를 비교하였다.

접촉면적의 변화에 따른 용접전단하중의 변화를 알기 위하여 철계전극팁의 외경은 10mm 와 12mm 의 두 경우에 대해서 용접전단하중을 비교하였다.

Table 4 Shearing load related to the area of electrodes

	Thickness of magnesium plate(T)				
Current(kA)	1.2 mm				
	Outer diameter of the electrode tip(D)				
	10 mm	12 mm			
6	1445 N				
7	1634 N				
8	1919 N	1889 N			
9	2431 N	2242 N			
10		2582 N			
11		2930 N			

Fig.15 와 같이 같은 두께에서는 철계전극의 선단면 의 외경이 큰 경우 전류의 세기를 크게 할 때 용접전 단하중이 크게 나왔다. 이 때 전류의 세기는 클수록 용접전단하중이 크게 됨을 알 수 있으나 만약 9 kA 의 같은 전류조건에서는 외경이 큰 경우에라도 전류 밀도가 낮아져 용접전단하중이 작게 됨을 알 수 있다.



Fig. 15 Shearing load related to area of electrodes

4.4 합금판재의 두께변화 효과 실험 및 고찰 Table 5 는 합금판재 두께에 따른 용접효과를 분석 하기 위하여 전극팁 외경은 10mm, 회전금형의 회전 수는 1200rpm 으로 고정하고 합금판재의 두께 변화 에 따른 용접전단하중의 변화를 나타낸 표이다. 두께 는 1.2mm 와 1.4mm 의 두 경우에 대해서 비교하였다.

Table 5 Shearing load related to the thickness of magnesium

	Outer diameter of the electrode tip(D) 10mm			
Cummont(lrA)				
Current(KA)	Thickness of magnesium sheets (T)			
	1.2mm	1.4mm		
6	1445 N			
7	1634 N	1769 N		
8	1919 N	2453 N		
9	2431 N	2602 N		



Fig. 16 Shearing load related to thickness of magnesium

Fig.16 과 같이 철계전극의 외경이 같은 경우 합금 판재의 두께가 큰 경우 전류의 세기를 크게 할 때 용접전단하중이 크게 나왔다. 이 때 전류의 세기는 클수록 용접전단하중이 크게 됨을 알 수 있으나 같 은 전류값 9 kA 에서는 두께가 큰 경우라도 전류밀 도가 낮아져 용접전단하중이 작게 됨을 알 수 있다.

Table 6 Results of tensile strength test of spot welded sheets

	Outer diameter of the electrode tip (D)					
Current	10mm 12mm					
(k A)	Thic	Thickness of magnesium sheets (T)				
	1.2mm	1.4mm	1.2mm	1.4mm		
6	1445 N					
7	1634 N	1769 N				
8	1919 N	2453 N	1889 N			
9	2431 N	2602 N	2242 N	2331 N		
10			2582 N	2757 N		
11			2930 N	2984 N		

Table 6 은 상기의 용접가능 적합 조건에서 용접전 단하중이 최대가 되는 용접변수를 찾기 위한 실험 에서 용접전단하중의 변화를 나타낸 표이다. 표를 보면 철계전극의 선단면의 직경이 12 mm 일 때 두 께 1.4 mm 의 경우 가해지는 전류의 크기가 11 kA 인 일 때 최대의 용접전단하중을 얻을 수 있었다.

마그네슘재료의 스폿용접시 요구되는 최소용접 전단하중은 KS B 0850 의 알루미늄 합금의 인장 전 단하중 요구값을 따랐다. 따라서 AZ31 합금판재 1.2t 최소 인장 전단하중 요구값은 *P_s*=1600 N, 1.4t 합금 판재 최소 인장 전단하중 요구값은 *P_s*=1900 N을 참 고하여 비교하였다.

따라서 스폿용접한 시편의 용접전단하중의 크기 는 Table 6 과 같이 철계전극의 외경이 12 mm 이고 T=1.2 mm 때 최대용접전단하중이 2930 N 이므로 요구 하는 최소전단강도의 183% 정도이다. 그리고 두께 T=1.4 mm 일때는 시편의 최대용접전단하중이 2984 N 이므로 요구하는 최소전단강도의 약 157% 정도의 수준이 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 AZ31 마그네슘 합금판재를 효율적으로 스폿용접 하기 위하여 고안된 회전금형을 사용하는 전기저항 표면마찰 스폿용접의 실험용 장치를 제작 하고 스폿용접실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.. (1) 필테스트 실험을 통하여 판재두께(T)가 1.2mm, 1.4mm 의 두 종류의 각 두께에서 용접전류의 변화 를 주어 실험한 결과 용접가능 적합 전류조건은 철 계전극의 외경이 10mm 일 때는 8~9 kA, 철계전극의 외경이 12mm 일 때 10~11 kA 임을 알 수 있었다..

(2) 용접가능 조건에서 얻어진 최대 용접전단하중
이 판재의 두께 T=1.2mm 일때 2930 N 이므로 KS B
0850 규격에서 요구하는 알루미늄합금의 최소 인장
전단하중과 비교하면 약 183%로 규격을 만족하였다.

(3) 판재의 두께 T=1.4mm 일때 최대용접전단하중 이 2984 N 이므로 규격에서 요구하는 최소 인장전단 하중과 비교하면 약 157%의 용접전단하중을 보이고 있음을 알 수 있었다.

 (4) 스폿용접된 시편의 용접부에서의 외관표면은 철계전극의 압흔 흔적과 회전금형의 표면마찰 흔적
 이 발견되었으나 미세한 깊이의 표면만 마찰한 경우
 이기 때문에 마찰에 의한 압흔의 흔적은 미미하였다.
 (5) 스폿용접된 시편의 용접계면에서의 금속현미

경 사진에는 뚜렷한 용접선이 발견되지 않았다.

상기와 같이 철계전극과 회전금형을 사용하는 전 기저항 표면마찰 스폿용접으로 용접된 AZ31 마그네 슘 금속 합금판재 시편에 대한 용접전단하중을 조사 한 결과 제안된 스폿용접법에 의해서 마그네슘 합금 판재의 스폿용접에 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

후기

이 논문은 부경대학교 자율창의 학술연구비(2018 년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Y. L. Mok, S. C. Woong, N. Zhou, 2009, A study for weldability of magnesium alloy sheet using AC spot welder, The Korean Welding & Joining Society, 2009 spring conference, p24.
- [2] S. C. Dong, C. K. Dong, K. J. Moon, 2013, Resistance Spot Welding Characteristics of AZ31B Mg Alloy according to Current Waveform Control, The Korean Welding & Joining Society, 2013 autumn conference, p27.
- [3] C. D. Soon, H. I. Sung, K. M. Jin, K. D. Cheol, 2013, Resistance Spot Welding Characteristics of Mg Alloy

Using Process Tape, J. of Kor. Welding Joining Soc., Vol.31, No. 3, pp.49~53.

- [4] S. C. Dong, H. S. In, C. K. Dong, J. K. Moon, 2014, Resistance Spot Welding Characteristics of Mg Alloy Applying Current Waveform Control, J. Kor. Welding Joining Soc., Vol.32, No. 2, pp.70~75.
- [5] S. Y. Hyeon, S. H. In, Y. K. Dong, D. K. Jae, 2015, Resistance spot weldability with coating condition to Mg-Fe dissimilar joining, The Korean Welding & Joining Society, 2015 autumn conference, p161.
- [6] D. C. King, 2013, Resistance Spot Welding Characteristics of Mg Alloy and Electrode Life Test, KSAE 2013 annual spring conference, p1694.
- [7] W. Cai, P. C. Wang, W. Wang, 2005, Assembly Dimensional Prediction for Self-Piercing Riveted Aluminum Panels, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 45 No.6, pp.695-704.
- [8] C. G. Lee, S. J. Kim, 2003, Development and Application of Friction Stir Welding Technology, Trans. Mater. Process, Vol.12, No.6, pp529-535.
- [9] C. G. Lee, S. J. Kim, C. D. Yim, H. N. Han, 2004, Surface Friction Welding Technology for Joining of Metal Sheets, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., Korea, pp192-195.
- [10]T. H. Kim, M. S. Jang, I. T. Jin, 2015, Electric Resistance Heated Friction Stir Spot Welding of Overlapped Al5052 Alloy Sheets, Trans. Mater. Process, Vol.24, No.4, pp256~263.
- [11]H. S. Shin, Y. C. Jung, K. Choi, 2010, Effects of Tool Speed on Joining Characteristics during Friction Stir Spot Welding of Mg-alloy(AZ31B) Sheet, J. Kor. Welding Joining Soc., Vol.29, No.2, pp80~87.
- [12]L. H. Gao, G. S. Kang, K. H. Lee, B. M. Kim, D. C. Ko, 2017, A Study on Joining of Aluminum and Advanced High Strength Steel Using Friction Stir Hole Clinching, Trans. Mater. Process, Vol.26, No.6, pp348~354.
- [13]I. T. Jin, 2013, Electric Resistance Heating Friction Stir Welding, Kor. Patent No. 10-0743857.
- [14]T. H. Kim, I. T. Jin, 2017, Electric Resistance Heated Characteristics of Drawing and Concurrent Spot Welding of Overlapped Aluminum Plates with Copper Electrodes Inserted in Heated Dies, Trans. Mater. Process, Vol.26, No.3, pp174~180.