

## Process Tape를 사용한 마그네슘 합금의 저항 점 용접 특성

최 동 순\* · 김 동 철\*<sup>†</sup> · 강 문 진\*

\*한국생산기술연구원 용접접합연구그룹

### Resistance Spot Welding Characteristics of Mg Alloy Using Process Tape

Dong-Soon Choi\*, Dong-Cheol Kim\*<sup>†</sup> and Moon-Jin Kang\*

\*Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 412-792, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : dckim@kitech.re.kr

(Received March 20, 2013 ; Revised June 12, 2013 ; Accepted June 25, 2013)

#### Abstract

Recently, studies about application of magnesium alloy sheet to automotive bodies are on the increase. For application to automotive bodies, researches about characteristics of resistance spot welding of magnesium alloy sheet are essential. Electrode life of resistance spot welding of magnesium alloy is very short due to sticking of magnesium alloy to copper alloy electrode. To increase electrode life, most effective method is inserting cover plate between electrode and magnesium sheet. But application of cover plate to actual process is difficult and decreases welding productivity. Process tape supplied automatically as cover plate can minimize lose of productivity and increase welding quality. In this study, resistance spot welding of magnesium alloy is carried out with applying process tape. Acceptable welding current region according to electrode force and welding time is determined.

Key Words : Resistance spot welding, Mg alloy, Process tape, Cover plate, Electrode life

#### 1. 서 론

마그네슘 합금은 상용 가능한 금속 중 가장 가볍고 비강도가 높아 경량화가 중요한 항공기 부품에 구조 제품이 일부 적용되어 왔다<sup>1)</sup>. 최근에는 휴대용 전자기기, 자전거 등의 경량화 소재로도 적용되면서, 기존의 구조 제품에서 판재 성형 및 접합 기술에 관한 수요가 증대되고 있다<sup>2)</sup>. 이에 따라 연비 향상 및 CO<sub>2</sub> 배출 저감 목적으로 자동차 차체의 경량화 추세에 맞추어 마그네슘을 차체에 적용시키기 위한 연구가 진행되고 있으나, 마그네슘 합금은 성형성과 용접성에 문제가 많아 상용화하는 데 걸림돌이 되고 있다.

마그네슘 합금의 물리적 성질은 대체적으로 알루미늄과 비슷하다. 다만 알루미늄 합금보다는 비저항이 더 높고 열 전도도가 낮아 모재가 용융되기 쉬워 저항 점 용접 시 용접 전류대가 낮게 형성된다. 그러나 용융 금

속의 표면 장력과 기화점이 낮고 증기압이 높아 모재가 쉽게 증발해 버리며 이로 인해 일반적인 아크 용접은 불가능한 것으로 알려져 왔다<sup>3)</sup>. 저항 점 용접의 경우 전극으로 너깃 주위를 가압하여 용융금속을 가두기 때문에 용접은 쉽게 이루어지나 전극 형상, 인가 전류에 따라 액상 또는 기화된 마그네슘이 전극과 모재 표면 사이나 모재와 모재 사이로 날리는 현상이 쉽게 발생한다. 또한 너깃 내의 균열과 기공이 쉽게 발생하여 이를 제어하기 위한 연구가 필요한 실정이다<sup>4)</sup>.

무엇보다도, 마그네슘은 고온에서 구리와 부착 및 합금화되는 성질이 있어 전극의 마모가 매우 빠르게 진행된다<sup>1,5)</sup>. 이로 인하여, 국내 저항 점 용접 현장에서 주로 사용되는 돛형 전극 사용 시 전극 수명은 30타점 이내밖에 되지 않는다<sup>6)</sup>.

이에 대한 대책으로 모재의 표면처리를 통해 산화막을 최대한 제거하여 전극과의 접촉면의 저항 발열을 낮추는 방법이 있으나<sup>7,8)</sup>, 전극과 모재 사이에 커버 플레

이트(cover plate)를 삽입하고 용접하여 전극과 모재의 직접적인 접촉을 차단하는 방법이 전극 수명의 측면에서는 가장 효과적이라 할 수 있다<sup>9)</sup>. 그러나 실제 제작 공정에 적용하는 것은 추가적인 공정이 많이 필요하므로 생산성을 저하시킨다. 이러한 측면에서, 프로세스 테이프(process tape)의 형식으로 커버 플레이트를 자동적으로 연속 공급할 수 있는 저항 점 용접기는 마그네슘 합금의 용접에 최적이라 할 수 있다.

본 연구에서는, 프로세스 테이프를 사용한 저항 점 용접기를 사용하여 마그네슘 합금을 용접하기 위한 기초적 연구를 수행하였다. 먼저, 다양한 재질의 프로세스 테이프를 사용하여 마그네슘 합금의 용접에 적합한 프로세스 테이프를 선정하였다. 그리고 선정된 프로세스 테이프를 사용하여 가압력, 용접 전류, 용접 시간의 공정 변수에 따라 마그네슘 합금을 용접하였다. 인장 전단 하중과 단면 분석, 경도 분포 분석을 통하여 마그네슘 합금의 용접성을 평가하였다.

## 2. 사용 소재 및 장비

### 2.1 사용 소재

본 연구에서는 상용 마그네슘 합금 중 성형성, 용접성이 비교적 우수한 AZ31 1.0t의 판재를 사용하였다. Table 1, 2에 AZ31의 화학 성분과 물리적 성질을 나타내었다. 시험편은 KS B0851에 따라 30×100mm의 사이즈를 사용하였다.

### 2.2 용접 장비

프로세스 테이프를 적용한 Fronius 사(社)의 저항 점 용접기를 사용하였다. 용접 전원은 인버터 DC 방식이며, 서보 가압 방식을 채택하여 다단 가압 시 응답 속도가 빠른 장점이 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 프로세스 테이프를 적용하면 마그네슘 합금의 용접 시 모재와 전극의 직접 접촉을 차단하여 전극의 마모가 거의

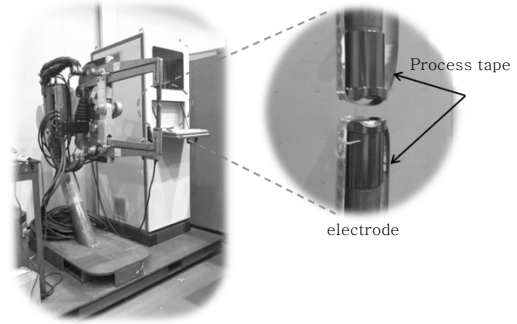


Fig. 1 Inverter DC resistance spot welding machine using process tape

Table 3 Process tapes

Process tape No.	Tape material	Heat input
PT2000	Cu	low
PT1407	steel	medium
PT3000	CrNi	high

없게 된다. 용접 타점 진행에 따라 프로세스 테이프가 자동적으로 감겨, 커버 플레이트의 적용으로 인한 공정 추가와 생산 속도 저하를 최대한 감소시켰다. 프로세스 테이프와 그 가이드가 전극을 감싼 형상이 되므로 전극의 크기는 기존 저항 점 용접기의 전극에 비해 다소 커지며, 가이드로 인해 구석진 부위의 타점의 용접 등에 접근성이 저하할 수 있다. Fig. 1은 본 실험에 사용한 용접기 시스템의 개략도이다.

프로세스 테이프에는 여러 종류가 있지만, 용접 중 프로세스 테이프의 저항으로 인해 발생하는 입열량 측면에서 봤을 때, 입열량이 적은 순서대로 구리, 강, CrNi의 크게 세 재질의 프로세스 테이프가 있다. 따라서 본 연구에서는 각 재질별 프로세스 테이프를 Table 3과 같이 한 종씩 선정하여 적정 프로세스 테이프 선정 실험에 사용하였다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 적정 프로세스 테이프 선정 실험

2.3에서 선정한 바와 같이 PT2000(구리), PT1407(강), PT3000(CrNi)의 세 종류의 프로세스 테이프를 실험에 사용하였다. 프로세스 테이프의 저항으로 인한 입열량은 PT3000이 가장 크고, 구리 재질인 PT2000은 가장 작다. 적정 프로세스 테이프의 선정 실험은 가압력을 200kgf, 용접시간을 7cycle로 고정하고 인장 전단

Table 1 Chemical compositions of AZ31 (wt%)

Mg	Al	Zn
96.3	3.0	0.7

Table 2 Mechanical properties of AZ31

Y.S. (MPa)	T.S. (MPa)	EL. (%)
202	262	20

하중과 너짓 사이즈의 적정 전류 범위를 선정하여 비교, 분석 후 결정하였다.

적정 인장 전단 하중은 KS B 0851의 알루미늄의 최소 요구 인장 전단 하중 값 이상으로 결정하였다. 아직 마그네슘 판재의 저항 점 용접에 관한 연구가 세계적으로도 표준화할 정도로 진행되지 않아 마그네슘 합금과 그 물성이 비슷한 알루미늄 합금의 표준을 기준으로 하였다. 너짓 사이즈 또한 KS B ISO 18595의 알루미늄 합금의 요구값을 따랐다. 그리하여 AZ31 1.0t의 최소 인장 전단 하중 요구 값은 1.3kN, 최소 너짓 사이즈 요구 값은 4mm로 결정하였다.

### 3.2 마그네슘 합금 용접성 평가

3.1에서 결정한 적정 프로세스 테이프를 사용하여 마그네슘 합금의 용접성 평가를 실시하였다. 가압력은 현장에서 일반적으로 사용하는 가압력 범위인 200kgf와 300kgf를 적용하였다. 용접 시간은 1~9cycle 범위를 사용하였으며, 용접 전류는 11~21kA였다. 이 용접 조건들을 Table 4에 나타내었다. 적정 인장 전단 하중 값은 3.1에서 결정한 최소 인장 전단 하중값인 1.3kN 이상이고, 날림이 발생하지 않는 범위를 적정 인장 전단 하중 범위로 결정하였다. 너짓 사이즈 또한 3.1에서 결정한 최소 너짓 사이즈 값인 4mm 이상이면서 날림이 발생하지 않는 범위를 적정 너짓 사이즈 범위로 결정하였다.

경도 시험은 적정 용접 조건을 가지는 시험편의 용접 부 단면을 사용하여 비커스 경도 분포 분석을 수행하였다. 시험 하중은 200gf였으며, 0.2mm 타점 간 간격으로 총 45타점을 너짓의 왼쪽 위부터 오른쪽 아래까지 비스듬히 내려오며 측정하였다.

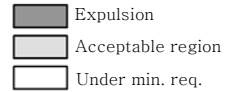
## 4. 결과 및 분석

### 4.1 적정 프로세스 테이프의 선정

Fig. 2에 적정 프로세스 테이프 선정 실험의 결과를 나타내었다. 구리 재질의 PT2000은 날림이 발생하지 않아도 15kA 이상에서 용접 시 프로세스 테이프와 모재가

**Table 4** Experimental welding conditions

Electrode force (kgf)	200, 300
Welding current (kA)	11, 13, 15, 17, 19, 21
Welding time (cycle)	1, 3, 5, 7, 9



Process Tape	11kA	13kA	15kA	17kA	19kA	
PT2000						
Tensile shear load(kN)	1.3	1.5	1.9	2.6	2.7	
Nugget size(mm)	3.29	4.88	6.27	7.00	8.92	
Current(kA)	11	13	15	17	19	
PT1407						
Tensile shear load(kN)	1.2	1.5	1.8	2.1	2.7	2.3
Nugget size(mm)	3.70	4.95	5.65	6.10	6.36	6.72
Current(kA)	9	11	13	15	17	19
PT3000						
Tensile shear load(kN)	1.0	1.3	1.6	2.2		
Nugget size(mm)	4.66	5.68	5.83	6.10		
Current(kA)	3	5	7	9		

**Fig. 2** Acceptable current regions according to type of process tapes

용착하는 문제점이 나타났다. 강 재질의 PT1407은 모재와의 용착 현상도 적고 가장 넓은 적정 용접 범위를 확보할 수 있었다. CrNi합금 재질의 PT3000은 프로세스 테이프의 과도한 저항열 발생으로 인해 낮고 좁은 적정 전류범위를 나타내었다. 이 결과들을 종합하여, 강 재질의 PT1407을 마그네슘 합금의 용접에 적합한 프로세스 테이프 선정하였다.

### 4.2. 적정 용접 조건 범위

Fig. 3은 가압력 200kgf와 300kgf에서의 인장 전단 하중 값을 그래프로 나타낸 것이다. 1 cycle에서 5 cycle로 용접 시간이 길어지면서 인장 전단 하중 값 또한 증가하다가 5 cycle보다 긴 용접 시간에서는 인장 전단 하중 값의 증가 폭이 그리 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이로 미루어, 5 cycle 정도에서 너짓의 성장은 거의 완료가 됨을 짐작할 수 있다. 따라서 AZ31 1.0t의 적정한 용접 사이클 범위는 5~9 cycle이라 할 수 있다. 가압력의 측면에서 비교하면 200kgf는 11~15kA, 300kgf는 13~17kA로 300kgf가 200kgf에 비해 2kA정도 높은 적정 전류 범위를 보였다. 이는 가압력이 높아지면서 모재의 접촉 저항이 감소하고, 이로 인해 동일한 저항열을 발생시키기 위해 전류를 더 높게 인가하여야 하기 때문이다.

Fig. 4는 각 가압력의 너짓 사이즈 값을 그래프로 나타낸 것이다. 인장 전단 하중 값과 같이 너짓 사이즈도 5~9 cycle에서는 용접 시간에 따른 너짓 사이즈 성장

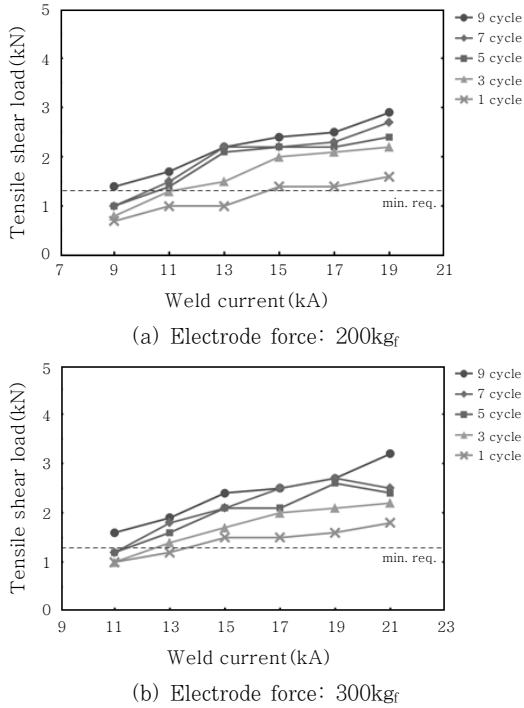


Fig. 3 Tensile shear load distribution according to welding current (with PT1407)

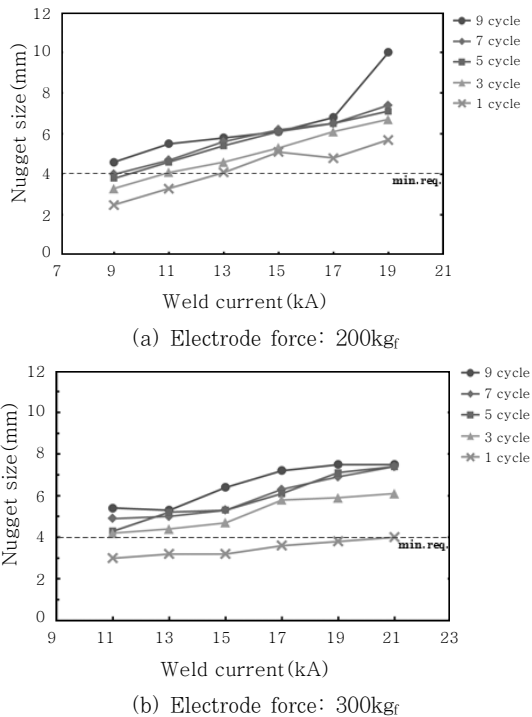


Fig. 4 Nugget size distribution according to welding current (with PT1407)

이 느려짐을 알 수 있다. 적정 너깃 사이즈의 범위도 인장 전단 하중 분석과 유사하였다.

Fig. 5는 두 가압력 조건의 로브그래프를 인장 전단

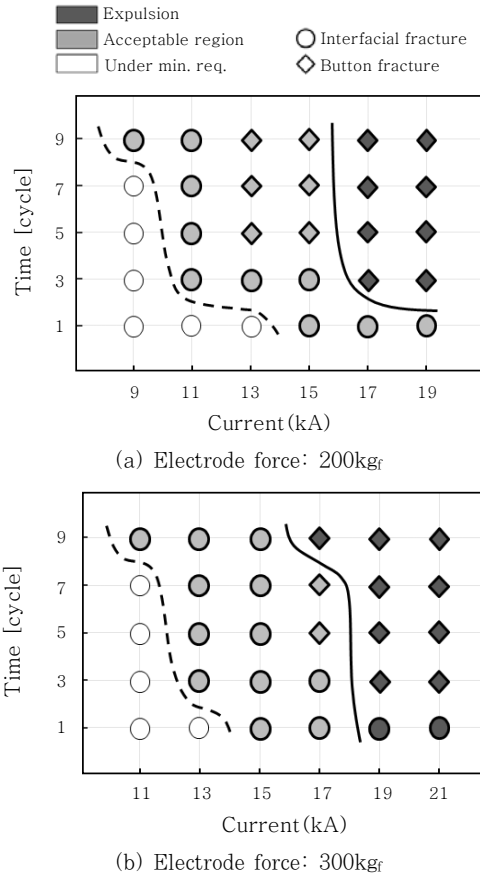


Fig. 5 Weld lobe diagram according to welding current

하중 값을 기준으로 작성한 그림이다. 200kg<sub>f</sub>와 300kg<sub>f</sub> 둘 다 약 6kA 정도의 적정 용접 범위를 보여서 가압력에 따른 적정 용접 범위는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 다만, 200kg<sub>f</sub>쪽이 적정 용접 조건 내에서 버튼 파단이 발생한 경우가 많고 더 낮은 전류 값으로 용접이 가능하므로 AZ31 1.0t의 경우 200kg<sub>f</sub>로 용접하는 것이 더 적절하다고 볼 수 있다.

Fig. 6과 같이 경도 분포 분석 결과, 모재 경도는 56~68Hv, 너깃 내 경도는 55~60Hv 정도로 용접부가 조금 더 낮았다. AZ31은 온도 분포에 따라 상이 변하지 않으므로 너깃과 모재의 경도 분포에 큰 차이는 없다. 너깃의 경도가 소폭 하락한 것은 용융 후 급랭하는 과정에서 결정립이 조대화하고 너깃 내 결정 구조가 수지상으로 재결정하였기 때문이다<sup>10)</sup>. H.C.P. 결합 구조와 합금 금속 조성 자체는 변하지 않으므로 큰 경도 차이는 없지만, 결정립의 변화로 인해 용접부의 강도가 소폭 하락한 것으로 생각된다.

### 5. 결 론

프로세스 테이프를 사용하면 마그네슘 합금의 저항 점

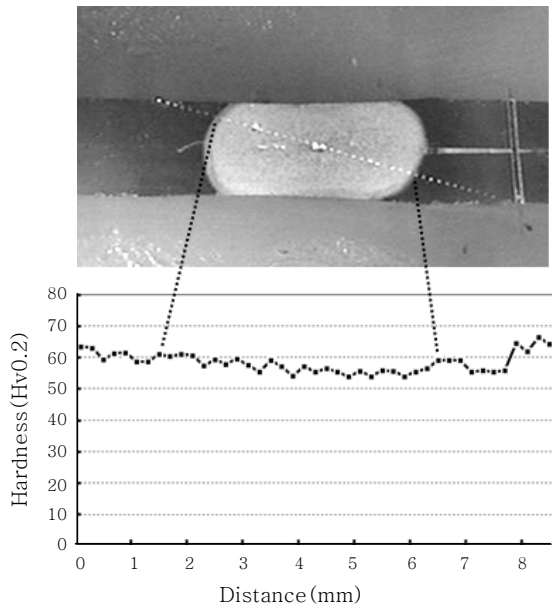


Fig. 6 Hardness distribution analysis of nugget (200kgf, 7cycles, 13kA)

용접의 가장 큰 문제라 할 수 있는 전극 수명 문제를 해결할 수 있고, 커버 플레이트 적용에서 기인하는 작업성 저하를 최소화할 수 있다. 마그네슘 합금 AZ31 1.0t로 프로세스 테이프를 적용한 인버터 DC 저항 점 용접기의 용접성을 평가한 결과,

1) 마그네슘 합금의 용접에 적합한 프로세스 테이프는 강 재질인 PT1407이었다.

2) AZ31 1.0t에 200kgf, 300kgf로 용접을 수행한 결과, 인장 전단 하중값 분석 시 5kA 정도의 적정 용접 전류 범위를 나타내었다. 5 cycle 이상에서 정상적인 너깃 형상 및 강도를 나타내었다.

3) 프로세스 테이프를 연속 공급하여 전극 수명을 극대화할 수 있는 저항 점 용접기는 마그네슘 합금 용접 현장 적용에 가장 근접한 장비이다. 그러나 높은 장비 가격은 현장 도입 시 문제가 될 수 있기 때문에, 일반적인 저항 점 용접장비로도 마그네슘 합금의 용접성과 전극 수명을 확보하기 위한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

1. Phenomenon and Application of Resistance Spot Welding (1), JWS bulletin No.8, 1983.3
2. T.W. Yoon, R.H. Kim, M.Y. Lee and K.H. Lee : The Development of Car Body Part Using Mg AZ31, The Korea Society of Automotive Engineers, 2012 Autumn Annual Meeting (2012), 97-101
3. B.H. Yoon and Y.S. Chang : Welding Technology of Magnesium alloy for Automotive Industry, KWJS **22-3**(2004), 23-31
4. S.N. Jung, H.S. Chang, and M.Y. Lee : A Study on Servo DC Resistance Spot Welding of Mg Alloy Sheet, KWJS **27-1**(2009), 102-107
5. L. Xiao, L. Liu, Y. Zhou, and S. Esmaeiri : Resistance-Spot-Welded AZ31 Magnesium Alloys: Part I. Dependence of Fusion Zone Microstructures on Second-Phase Particles, Metallurgical and Materials Transactions A, **41A**(2010), 1511-1522
6. D.S. Choi, I.S. Hwang, D.C. Kim, M.J. Kang : Electrode life test of Resistance Spot Welding on Mg Alloy Using Dome Type Electrode, KWJS, in review
7. L. Liu, S. Q. Zhou, Y. H. Tian, J. C. Feng, J. P. Jung and Y. N. Zhou : Effects of Surface Conditions on Resistance Spot Welding of Mg Alloy AZ31, Science and Technology of Welding and Joining, **14-4** (2009), 356-361
8. I.S. Hwang, D.C. Kim, M.J. Kang : Inverter DC Resistance Spot Welding of Magnesium Alloy AZ31, Archive of Material Science and Engineering, **48-2** (2011), 112-117
9. Hongxin Shi, Ranfeng Qiu, Jinhong Zhu, Keke Zhang, Hua Yu and Gaojian Ding : Effects of Welding Parameters on the Characteristics of Magnesium Alloy Joint Welded by Resistance Spot Welding with Cover Plates, Materials and Design, **31-10** (2010), 4853-4857
10. N. Kishore Babua, S. Brauser, M. Rethmeier, and C.E. Cross : Characterization of microstructure and deformation behaviour of resistance spot welded AZ31 magnesium alloy, Materials Science and Engineering A, **549**(2012), 149-156