

돔형 전극을 사용한 마그네슘 합금 저항 점용접의 전극 수명 평가

최동순* · 황인성*[†] · 김동철* · 강문진*

*한국생산기술연구원 용접접합그룹

Electrode Life Test of Resistance Spot Welding on Mg Alloy Using Dome Type Electrode

Dong-Soon Choi*, In-Sung Hwang*[†], Dong-Cheol Kim* and Moon-Jin Kang*

*Advanced Welding & Joining R&D Group, KITECH, Incheon 460-840, Korea

[†]Corresponding author : hisman@kitech.re.kr

(Received March 6, 2013 ; Revised June 12, 2013 ; Accepted December 3, 2013)

Abstract

Magnesium alloy is used on parts of aircraft and electronic equipment because of the highest specific strength among the common metal materials. Recently, studies about applying magnesium alloy sheet to automotive bodies are on the increase rapidly. For application to automotive bodies, researches about characteristics of resistance spot welding of magnesium alloy sheet are essential. Magnesium alloy has low boiling point, so getting sound bead shape is difficult when applying varies welding processes. Resistance spot welding is also particular about setting optimum welding conditions because of spatter generation, pores and cracks occurrence in nugget. And life of electrodes is very short because of alloying with copper that main material of electrodes. This requires frequent dressing and replacement of electrodes and decrease in productivity of resistance spot welding on magnesium alloy. Therefore in this study, for effective analysis of changes in tensile shear load and nugget size during electrode life test, evaluate detail characteristics of resistance spot welding on magnesium alloy sheet using dome type electrode.

Key Words : Resistance spot welding, AZ31, Mg alloy, Dome type electrode

1. 서 론

연비 향상과 CO₂ 배출량 규제 대응 등의 목적에 따라 최근 차체 경량화에 관한 연구가 활기를 띠고 있다. 국내에서는 고강도강 위주의 적용을 통해 차체 경량화를 진행해 왔으나 최근엔 알루미늄이나 마그네슘 등 경금속의 적용에 관한 관심도 높아졌다. 그 중 마그네슘은 상용 가능한 금속 중 가장 비강도가 높아 가까운 미래에 차체로의 적용이 기대되는 금속이다¹⁾.

마그네슘 합금은 상온에서 가공, 성형이 어려워 근래까지는 항공기 등의 일부 부품에 대부분 주물품의 형태로 적용되어 왔다²⁾. 그러나 최근에는 각종 전자제품의 외장재로 마그네슘 합금 판재가 적용되면서, 마그네슘 합금 판재의 제조 및 성형 기술의 수요가 증대되고 있다³⁾. 마그네슘 합금을 차체에 적용시키기 위해서는 차

체 제작 공정에 주로 사용 중인 저항 점 접합의 적용이 필수적이다.

Table 1^{2,4)}에 알루미늄 합금의 물성을 마그네슘 합금과 비교하였다. 마그네슘 합금은 비저항이 알루미늄 보다는 다소 높아 더 낮은 전류 범위에서 저항 점용접이 가능하나, 기화점이 1090℃ 정도로 낮아 용접 중 기화될 가능성이 높다. 용접 금속의 기화는 급격한 팽창으로 인해 날림 발생, 너깃 내 기공 및 균열 발생을 야기 한다⁵⁾. 이를 제어하기 위해서는 가압력을 높여 기공을 억제하고 너깃 사이즈보다 넓은 면적을 가압하여, 용접부의 팽창과 용융 금속의 이탈을 제어하는 방법이 유효하다²⁾. 그러나 가압력을 높이면 모재 사이의 접촉 저항을 낮추게 되어, 이를 용접하기 위해 더 높은 용접 전류를 필요로 한다. 때문에 기존의 마그네슘 합금의 저항 점용접 특성에 관한 선행 연구들을 살펴보면, 높은 가압력과 높은 전류 값을 적용한 사례가 많다^{5,6)}.

Table 1 Properties of alloys

Property	Al alloy Al5052	Mg alloy AZ31
Density (g/mm)	2.68	1.78
Melting point (°C)	607~649	437~632
Boiling point (°C)	2519	1090
Thermal conductivity (W/m°C)	138	84.7
Thermal expansion coefficient (cm/cm°C)	23.7×10 ⁻⁶	26.0×10 ⁻⁶
Electrical resistance (uΩcm)	4.95	9.3

마그네슘의 저항 점용접을 생산 공정에 적용시키기 위해서는 연속 타점 특성이 중요하다. 어느 타점까지 용접부의 요구 강도와 용접부 품질을 유지시킬 수 있는가는, 전극의 교환 또는 드레싱 주기를 결정하므로 제품의 생산성과 직결된 문제이기 때문이다. 마그네슘 합금은 저항 점용접 전극의 주요 재질인 구리와 고온에서 합금화 한다^{2,7)}. 또한 가압 시 산화막이 일부만 깨져 통전 시 국부적인 전류 집중이 발생하고, 이 부위에서 전극 표면에 작게 흠이 파여지는 현상인 pitting⁸⁾이 연속적으로 발생하여 전극 수명이 매우 짧다. 마그네슘 합금의 표면 산화막이 전극의 마모에 미치는 영향을 줄이기 위해 마그네슘 합금의 표면 산화막을 화학적으로 제거하는 방안이 소개되었으나⁷⁾, 이는 추가적인 공정을 요구하게 되며, 산화막의 재생성 시간이 빨라 실제 생산 공정에서 효과적으로 적용하기는 어렵다.

본 연구에서는 마그네슘 합금의 저항 점용접을 생산 공정에 적용하기 위한 기초연구로, 인버터 DC 저항 점용접기를 사용하여 마그네슘 합금의 저항 점 용접성을 평가하였다. 마그네슘 합금의 연속타점 수명이 짧다는 것을 감안하여 시험편 채취 주기를 매우 짧게 하여, 보다 정밀한 연속 타점 평가를 수행하였다.

2. 실험 재료 및 장비

2.1 실험 재료

본 연구에서는 마그네슘 합금 중 성형 및 용접성이 비교적 우수한 AZ31합금의 1.0t 판재를 사용하였다. Table 2, 3에 AZ31의 물성과 화학 조성을 나타내었다. 전단 인장 하중 시험편은 KS B 0851에 따라 30×100mm의 사이즈를 사용하였다. 용접 전 모재에 특별한 전 처리는 하지 않았다.

2.2 실험 장비

마그네슘은 강에 비해 전기 저항이 낮고 열전도도가

Table 2 Chemical compositions of AZ31(wt%)

Mg	Al	Zn
96.3	3.0	0.7

Table 3 Mechanical properties of AZ31

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

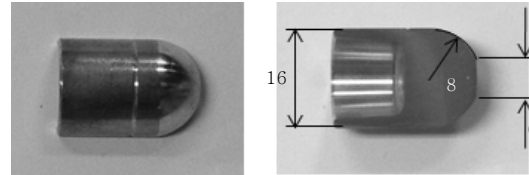


Fig. 1 Dome type electrode

높아 단시간에 높은 전류를 짧게 인가하여 용접할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 SCR AC 방식에 비해 전류 응답 속도가 빠른 인버터 DC 방식의 저항 점 용접기를 사용하였다⁹⁾. 전극은 현재 강 및 알루미늄 판재의 생산 공정에 널리 쓰이고 있는, 전극 선단이 Φ6, 직경인 16mm인 돔형 전극(Fig. 1)을 사용하였다.

3. 실험 방법

3.1 용접 조건 선정 방법

연속 타점 평가를 수행하기 위하여 먼저 AZ31 1.0t에 대하여 적정 용접 범위를 도출하는 실험을 수행하였다. 적정 용접 범위 도출 실험은 가압력을 2kN으로 고정하고 인장 전단 하중과 너깃 사이즈의 요구조건을 기준으로 적정 용접전류 및 용접시간을 결정하였다. Table 4에 적정 용접 범위 도출 실험 조건을 정리하였다.

적정 인장 전단 하중은 KS B 0851의 알루미늄의 최소 요구 인장 전단 하중 값 이상으로 결정하였다. 아직 세계적으로도 마그네슘 판재의 저항 점용접에 관한 연구가 표준화할 정도로 진행되지 않아, 마그네슘 합금 저항 점용접에 관한 표준이 존재하지 않는다. 따라서 마그네슘 합금과 물성이 비슷한 알루미늄 합금의 표준을 기준으로 하였다. 너깃 사이즈는 KS B ISO 18595

Table 4 Experimental welding conditions

Electrode force (kN)	2.0
Welding current (kA)	9, 11, 13, 15, 17
Welding time (cycle)	1, 3, 5, 7, 9

의 알루미늄 합금의 요구치를 따랐다. 그리하여 AZ31 1.0t의 최소 인장 전단하중 요구치는 1.3kN, 최소 너깃 사이즈 요구치는 4mm로 결정하였다. 적정 용접 조건 범위의 최대치는 본 연구에 적용한 직경 16mm의 동형 전극과 같이 선단이 평평한 전극은 양 전극간의 접촉면 및 각도에 misalignment가 있을 시 너깃이 압흔 가장자리에 형성될 수 있다. 특히, 짧은 시간 동안 높은 전류를 사용하고 표면 산화막으로 인한 국부적인 pitting이 잘 발생하는 마그네슘 합금은 이 전극 간 misalignment에 매우 민감하다. 이러한 현상은 새 전극 적용 직후 또는 드레싱 직후 초기 타점에서 잘 발생하며, 일정 타점진행 후엔 정상적인 용접이 이루어진다. 따라서 적정 용접 구간 선정 실험 전에 13kA의 전류로 5회 용접하여 동형 전극을 안정화시킨 후 적정 용접 영역을 획득하는 실험을 수행하였다.

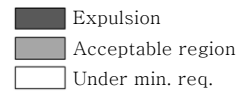
3.2 연속 타점 평가 방법

3.1의 Fig. 4와 같이 획득한 로브 곡선에서 적정 용접 조건을 사용하여 연속 타점 평가를 실시하였다. 정밀한 평가를 위해 매 타점마다 분석 시험편을 채취하여 홀수 번호의 시험편은 인장 전단 하중, 짝수 번호의 시험편은 너깃 사이즈의 분석에 사용하였다. 매 5타점마다 전극 표면의 탁본을 채취하여 전극 마모의 진행을 검토하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 용접 조건 선정

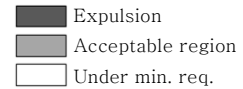
3.1에서 정한 기준에 의해 적정 용접 조건 선정 실험을 수행하여 그 결과를 Fig. 2, 3에 나타내었다. 적정 인장 전단 하중 범위와 적정 너깃 사이즈를 가지는 전류 값의 범위가 유사하게 2kA 정도로 나타났으며, 인장전단 하중 값을 기준으로 Fig. 4에 용접 로브 곡선을 나타내었다. 이 결과를 토대로 2kN, 13kA, 7cycle의 조건을 선정하여 연속 타점 평가에 적용하였다.



unit : kN

9	1.0	1.2	2.0	1.8	1.8
7	0.8	1.1	1.6	1.7	1.7
5	0.7	1.1	1.6	1.9	1.9
3	0.7	1.2	1.4	1.6	1.8
1	0.4	0.7	0.8	0.7	0.8
Cycle / Current	9kA	11kA	13kA	15kA	17kA

Fig. 2 Analysis of tensile shear load



unit : mm

9					
	3.6	3.8	4.1	5.0	5.1
7					
	3.2	3.5	4.7	5.6	5.6
5					
	3.2	3.3	4.8	4.9	6.1
3					
	2.6	3.1	4.2	4.6	5.5
1					
	2.4	3.0	3.0	3.6	4.2
Cycle / Current	9kA	11kA	13kA	15kA	17kA

Fig. 3 Analysis of nugget size

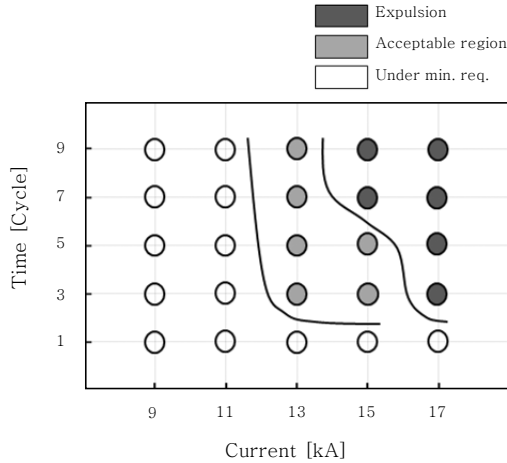


Fig. 4 Weld lobe diagram

4.2 연속 타점 평가

Fig. 5는 연속 타점 진행에 따른 인장 전단 하중 값과 너깃 사이즈 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 6 과 Fig. 7에 전극의 탄소와 모재 압흔의 외관을 나타내었다. 연속 타점 평가는 적정용접 범위 선정 실험과는 달리 초기 안정화 구간 없이 새 전극을 바로 사용하여, 초기 5 타점 이내에 인장 전단 하중 값과 너깃 사이즈가 낮은 구간이 존재하였다. 5타점 이후에는 인장 전단 하중 값과 너깃 사이즈가 거의 일정하게 높은 값을 유지하였다. 이 정상 구간 동안 (+)극 전극에서는 모재와의 접촉면 군데군데에 연속적으로 pitting이 발생하였다. 마그네슘 합금 표면의 산화막이 가압 및 용접 중 부분적으로 파괴되고, 해당 부위에 용접 전류가 국부적으로 집중되었기 때문에 분석되었다. 그에 비해 (-)극 전극은 15타점 이후 가운데에 pitting이 발

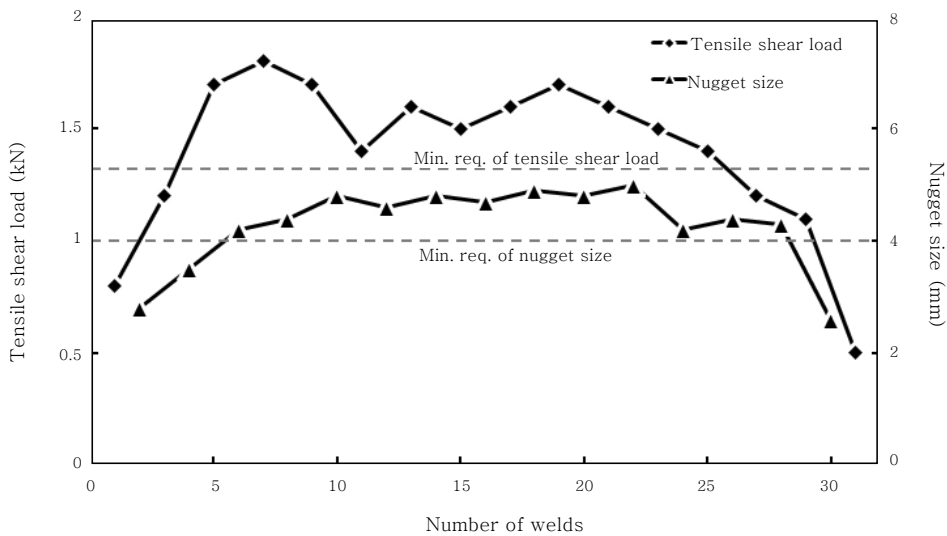


Fig. 5 Tensile shear load and nugget size according to number of welds

Number of welds	0	5	10	15	20	25	30
(+) electrode							
(-) electrode							

Fig. 6 Carbon imprints of electrode according to number of welds

Number of welds	5	10	15	20	25	30
(+) electrode						
(-) electrode						

Fig. 7 Worksheet surfaces according to number of welds

생하고 점점 성장하는 경향을 보였다. 20타점 이후에는 전극과 모재 간 접촉면 가장자리에서 날림이 발생하기 시작하였다. 이후 30타점 정도에 날림으로 인해 용융금속이 전극 가장자리에 다량 부착되어 더 이상 실험을 진행할 수 없게 되었다. (-)극 전극의 pitting이 점점 커지면서 전극 선단의 접촉 면적이 점점 감소하고 pitting 깊이도 깊어지면서, 전극과 모재 간 접촉면 중앙에 전류가 흐르지 않게 되자 접촉면 가장자리 중 한 곳에 전류가 집중되어 너깃이 전극 바깥쪽으로 형성된 때문으로 분석되었다. 결국, 상용 돔형 전극은 마그네슘의 용접에 적합하지 않다고 결론지을 수 있다.

30타점 정도의 전극 수명은 마그네슘 판재의 저항

점용접을 생산 현장에 적용하기에는 너무 적은 수치이다. 따라서 전극의 연속 타점 수명을 향상시키는 방법을 찾는 것이 마그네슘 판재의 저항 점용접 적용에 있어 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

서론에 소개한 바와 같이 마그네슘 합금 모재와 구리 전극은 모재 산화막 및 고온 합금화 성질 때문에 pitting 발생을 억제하기는 사실상 불가능하다. pitting의 발생은 모재 산화막의 국부적인 파괴가 원인이므로, 용접 중 산화막을 고르게 파괴하여 국부적 전류 인가를 방지하는 방법을 강구해야 한다. 돔형 전극의 형상은 모재-전극 간 접촉면의 전극 가장자리가 edge형상이 되어 이 부분에서 국부적인 전류 인가가 발생하게 되므로 마그네슘 판재의 저항 점용접에 적합하지 않다. 따라서 차후에는 이러한 edge가 형성되지 않는 전극 형상을 도입할 필요가 있다. 국내에는 거의 도입되어 있지 않지만, 해외에서 알루미늄 합금의 저항 점용접에 권장되는 형상인 radius형 전극이 이에 적합하다고 판단된다.

다른 방법으로는 마그네슘 합금과 전극 사이에 삽입재로 cover plate를 적용하여 모재와 전극의 접촉을 차단하는 방법이 있다. 이 방법은 cover plate로 추가적인 재료와 공정이 필요하다는 점에서 도입이 제한적으로 여겨졌으나, cover plate의 일종인 process tape를 연속적으로 공급하여 자동 용접에 적용할 수 있는 장비가 개발됨에 따라 이 방법 또한 도입을 검토할 필요가 있다¹⁰⁾.

5. 결 론

마그네슘 합금 AZ31 1.0t를 인버터 DC 저항 점 용 접기로 연속 타점 평가를 수행한 결과,

1) 적정한 전단 인장 하중 및 너짓 사이즈를 확보할 수 있는 전극 수명은 30타점 이내인 것으로 분석되었다. 차후 이 전극 수명을 증가시키기 위한 연구가 필요하며, 전극과 모재 간의 접촉면에 edge가 형성되지 않는 radius형 전극을 적용하거나 전극과 모재 사이에 cover plate를 적용하는 방법 등이 대안이 될 수 있다.

2) 적정 용접조건에서도 전극의 국부적인 pitting이 15타점 용접 시 발생하였고, 전극의 접촉면이 불량해지면서 조기에 날림이 발생하게 되었다. 전극 수명 향상

을 위해 pitting 발생을 억제할 수 있는 방안이 필요하다. 일례로, cover plate를 도입하면 전극과 모재의 직접적인 접촉을 차단하므로 pitting 발생 및 접촉면 가장자리 날림을 억제할 수 있다.

3) 20타점 이후에서의 날림 현상은 전극과 모재 간 접촉면의 가장자리에서 발생하였다. 날림이 가장자리에서 발생하지 않도록 edge형상이 없는 전극 형상을 도입할 필요가 있다.

Reference

1. M.K. Lee, C.S. Ryu and W.S. Chang : Trends in Application of Magnesium Alloy and Its Welding Characteristics with Laser, KWJS, **25-5**(2007), 29-35 (in Korean)
2. JWS bulletin, 抵抗容接現象과 그 應用 (1), 日本 容接學會 技術資料, 8, 1983.3 (in Japanese)
3. 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 (in Korean)
4. S.H. lee, H.J. Ham, S.Y. Kwon, S.W. Kim and C.M. Suh : Thermal Conductivity of Magnesium Alloys in the Temperature Range from -125°C to 400°C, International Journal of Thermophysics (2012), 1-8
5. M.Y. Lee, Recent Trends in Welding of Magnesium Alloy, KWJS, Abstracts of 2012 Autumn Annual Meeting of KWJS (2012), 111-117 (in Korean)
6. 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
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. Lum, S. Fukumoto, E. Biro, D.R. Boomer, and Y. Zhou : Electrode Pitting in Resistance Spot Welding of Aluminum Alloy 5182, Metallurgical and Materials Transactions A, **35A**(2004), 217~226
9. 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
10. D.S. Choi, D.C. Kim, M.J. Kang : Resistance Spot Welding Characteristics of Mg Alloy Using Process Tape, KWJS, **31-3**(2013), 49-53 (in Korean)