

Al 5052 합금의 저입열 Pulse MIG 최적 현장 용접조건 산정에 관한 실험적 연구

김재성* · 이영기** · 안주선* · 이보영***†

*한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

**한국타이어 RE 개발팀/연구생산기술본부

***한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

Study on the Optimization Field Welding Conditions of Low Heat-Input Pulse MIG Welding Process for 5052 Aluminum Alloy Sheets

Jae-seong Kim*, Young-gi Lee**, Ju-sun An* and Bo-Young Lee***†

*Dept. of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Koyang 412-791, Korea

**HANKOOK TIRE CO., LTD., RE Development Team, Daejeon 305-725, Korea

***Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Koyang 412-791, Korea

†Corresponding author : bylee@kau.ac.kr

(Received July 21, 2010, August 13, 2010 ; Accepted December 23, 2010)

Abstract

The weight reduction of the transportations has become an important technical subject Al and Al alloys, especially Al 5052 alloys have been being applied as door materials for automobile. One of the most widely known car weight-reduction methods is to use light and corrosion-resistant aluminum alloys. However, because of high electrical and thermal conductivity and a low melting point, it is difficult to obtain good weld quality when working with the aluminum alloys. Also, Pulse MIG welding is the typical aluminum welding process, but it is difficult to apply to the thin plate, because of melt-through and humping-bead. In order to enhance weld quality, welding parameters should be considered in optimizing the welding process. In this experiment, Al 5052 sheets were used as specimens, and these materials were welded by adopting new Cold Metal Transfer (CMT) pulse process. The proper welding conditions such as welding current, welding speed, torch angle 50° and gap 0~1mm are determined by tensile test and bead shape. Through this study, range of welding current are confirmed from 100A to 120A. And, the range of welding speed is confirmed from 1.2m/min to 1.5m/min.

Key Words : MIG pulse welding, CMT, Welding current, Welding speed, gap, Welding range

1. 서 론

최근 온실가스로 인한 폭우, 태풍, 가뭄 등의 자연재해가 증가하고 있으며, 온난화에 대한 문제가 본격적으로 거론됨에 따라 선진국을 중심으로 CO₂ 규제가 강화되고 있다. 특히 자동차로 인해 배출되는 이산화탄소량은 전체 온실가스 배출량의 20%를 차지하고 있다. 이를 줄이기 위한 방법으로 자동차 중량의 25%를 차지

하는 차체의 경량화가 중요한 기술과제로 대두되고 있다. 또한 차체 경량화는 전기자동차, 연료전지차와 같은 환경친화적인 자동차 도입을 위해 더욱 요구되는 기술이 되고 있다¹⁻²⁾.

자동차의 연료소비량은 자동차의 중량에 비례하고, 배기가스 배출은 연료소비량에 따라 증가하므로, 연비 향상과 배기가스 배출을 저감하기 위해서는 고효율의 엔진을 개발하거나 자동차의 중량을 대폭 줄이는 차량 경량화가 필수적인 방법이라고 할 수 있다. 최근

Jaguar社에서는 구조적인 면을 보강하여 신형 차량 중량의 10% 경량화로 10%의 연비향상을 달성한 것으로 발표되어져, 차체 경량화 연구가 더욱더 가속화 되고 있다³⁻⁷⁾.

차체 경량화는 연료소비 및 배기가스 배출 감소뿐만 아니라, 주행 중 저항, 진동 및 소음이 감소하고, 차체의 관성이 경감되어 제동성, 조종 안정성 및 동력 성능 등의 향상이 이루어져 경량화의 파급 효과는 대단히 크다고 할 수 있다. 차체 경량화 방법으로는 구조변경 및 재료변경으로 크게 나눌 수 있으며, 구조 최적화에 의한 중량 감소는 많은 시간과 비용을 수반하는 단점을 가지고 있다. 하지만 재료를 기존 강재에 비해 비중이 낮으면서도 유사한 강도를 갖는 소재로 변경하는 경우 구조변경 없이 재료에 대한 특성 파악을 통해 적용이 가능하여 소재 변경에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근 다양한 차체 부위에 사용되고 있는 알루미늄은 철의 1/3 수준의 비중 대비 90%의 강성을 가지고 있어 경량화 재료로서 가장 활발하게 연구되고 있다. 그러나, 알루미늄 합금은 비열 및 열전도도가 높아서 용접 시 고온의 열원이 필요하며, 성형 및 용접 공정 변수에 대한 조절이 어렵고 균열 발생이 쉬워, 양호한 용접부를 얻을 수 있는 최적 용접 범위를 도출할 필요가 있다¹⁻⁵⁾.

이에 본 연구에서는 향후 자동차 차체 도어부에 사용할 가능성이 높은 알루미늄 5052 합금의 비드형상에 영향을 미치는 용접전류, 용접속도, 갭(Gap), 토치각도 변화에 따른 인장강도와 비드형상 특성을 파악하여 적정 용접 범위를 선정하여 현장에서 용접을 진행할 때 적절한 최적 용접 범위 결정하는데 도움을 주고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 사용재료

본 실험에서는 자동차, 선박 및 용접 구조물 등에 많이 사용되고 있는 Al-Mg계 Al 5052와 지름 1.0mm의 ER 5356 용가재를 사용하여 용접을 실시하였다. Table 1과 2는 화학 조성 및 기계적 물성을 보여주고 있다.

Table 1 Chemical compositions of Al 5052 and ER 5356 (wt%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
Al 5052	0.128	0.263	0.015	0.037	2.554	0.009	0.180
ER 5356	-	-	-	0.350	5.000	-	0.100

Table 2 Mechanical properties of Al 5052

Al 5052	Yeild strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
	250	360	18

2.2 용접 가능 범위 선정

Al 5052의 용접이 가능한 적정 용접범위를 도출하기 위해 Table 3과 같이 공정 변수 중 토치 각도의 경우 현장에서 발생하는 갭에 대한 영향을 최소화하기 위해 50°로 고정하고 입열량을 제어할 수 있는 용접전류 및 용접속도를 조건 변수로 하여 용접을 실시하였으며, 현장에서 결함으로 분류될 수 있는 냉접(cold weld), 이면비드(back bead) 및 용락(burn through) 등이 존재하지 않는 조건으로 선정하였다. 이음 형태는 아크 용접시 차체 제작 공정에서 주로 사용하고 있는 겹치기 이음을 사용하였다. 보호가스는 Ar 100% 가스이며 유량은 17ℓ/min, CTWD(contact tip to workpiece distance)는 11mm 로 고정하였다. 용접기는 박판재 용접에 적합한 Fronius 社의 CMT TransPlus Synergic 3200을 사용하였다. CMT 용접기의 경우 용접토치에서 서보모터를 장착하여 와이어에 대한 기계적인 제어를 통해 단락이행 모드가 일어날 수 있게 기존 용접기를 개선한 저입열 용접기이다. Fig. 1은 용접 이음 형태 및 인장 시험편 형상을 보여주고 있으며 Fig. 2는 실험 장치 구성도이다.

Table 3 Conditions of lab joint welding

Number	Welding current (A)	welding speed (m/min)	Torch angle (°)	Gap (mm)
1	60	0.6	50	0
2	80	0.9		
3	100	1.2		
4	120	1.5		
5	140	1.8		

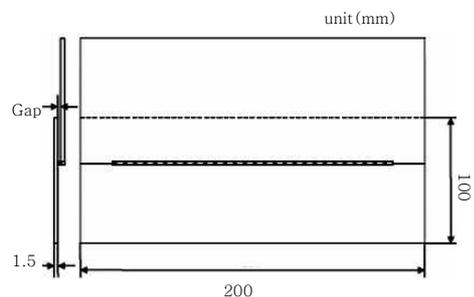


Fig. 1 Shape of welding Al 5052 specimen

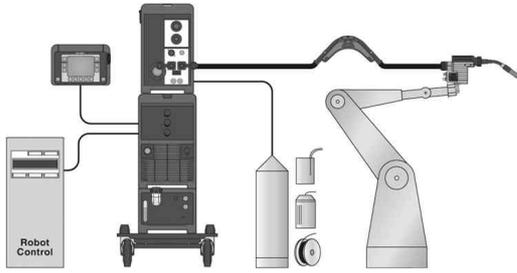


Fig. 2 Configuration of experimental set-up

2.3 최적 현장 용접조건 선정

현장에서의 생산성을 고려하고 냉접과 용락이 발생하지 않는 범위에서 최적 용접 조건을 선정하기 위해 Table 4와 같이 용접 속도의 경우 1.4m/min에서 1.8m/min, 용접전류의 경우 105A에서 120A로 세분화시켜 0mm, 0.5mm, 1mm의 갭을 주어 용접한 후 인장실험을 실시하였다. 최적 용접 조건 선정 기준은 인장실험을 통해 획득한 인장강도 값이 모재 인장강도 (360MPa)의 80%(298MPa) 이상이 되는 조건으로 선정하였다. Fig. 3은 비드 단면을 분석하기위해 사용된 블록도 (convexity: 비드 폭/덧살 높이×100), 상관 비드 각도 A, 하관 비드 각도 B, 용입 파라미터를 보여주고 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접 가능 범위 선정

Al 5052의 용접 가능 범위는 앞에서 제시한 것과 같

Table 4 Conditions of lab joint welding

Number	Welding current (A)	welding speed (m/min)	Gap (mm)	Torch angle (°)
1	105	1.4	0	50
2	110		0.5	
3	115		1.0	
4	120		1.0	

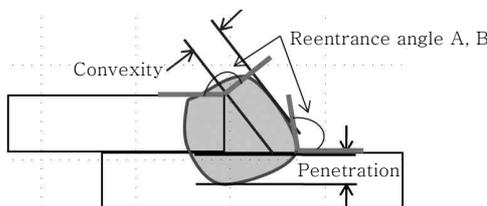


Fig. 3 Configuration of experimental set-up

이 용입이 관재 두께 1.5mm의 10% 이하(0.15mm)가 되는 조건의 경우 냉접으로 평가하였으며, 이면비드의 발생이 완전 용입 이상이 조건에 대해서는 용락 조건으로 평가하여 용접 가능 범위를 선정하였다. 용접전류와 용접속도에 따른 용입 상태를 나타내고 있는 Table 5에서 보는바와 같이 용접속도가 낮고 용접 전류가 높을수록 용락에 대한 위험이 높아지는 것을 확인할 수가 있으며, 용접 전류가 낮고 속도가 빠를수록 냉접이 발생하는 것을 알 수가 있다. 또한, Fig. 4를 보면 용접 속도를 높여줌에 따라 용접 전류도 동시에 높여 주어야 건전한 용접부를 얻을 수 있다.

이에 따라 Al 5052의 용접 가능 범위는 Fig. 4에서 붉은색으로 표시된 범위로 선정하였다.

3.2 최적용접 조건 선정

최적 용접 조건을 선정하기 위해 Table 4의 용접조건을 사용하여 용접을 실시하였으며, 각 조건별 인장시험을 통해 인장강도를 평가하였다. 또한, Fig. 3에 제시한 4가지의 파라미터를 사용하여 현장에서 적합한 최적 용접 조건을 선정하였다. 인장실험 후 모든 시편은 상관 용접부 뒤쪽에서 파단이 발생하였으며, 이는 겹치기 용접된 시편면에 인장시험 동안 2축에서 작용하던 인장 하중이 1축 상태로 바뀌면서 용접부 상관 아래쪽

Table 5 Penetration of the weldment in the lab joint(mm)

welding current (A) \ welding speed (m/min)	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
60	0.26	0.17	0	0	0
80	3.22	0.65	0.22	0.04	0
100	4.22	2.39	0.7	0.35	0
120	bum through	2.89	2.07	0.34	0.46
140	bum through	bum through	2.62	2.28	1.82

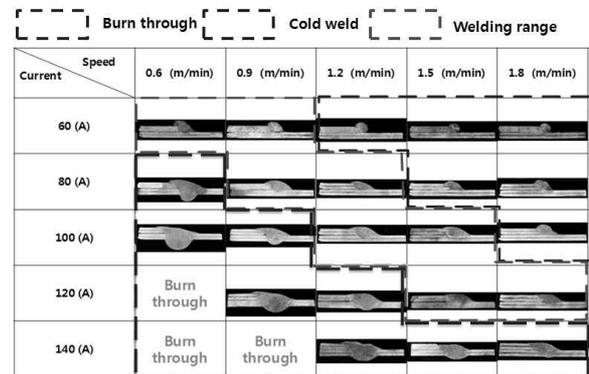


Fig. 4 Welding range at torch angle 50°

부위에 응력이 집중되어 파단된 것으로 판단된다. Fig. 5를 살펴보면 각 용접 조건에 대한 인장실험 결과 갭이 증가할수록 인장강도가 10-15 MPa 정도 감소하는 경향을 보이고 있지만, 갭을 1mm로 주어 용접한 조건 뿐 만 아니라 모든 용접 조건에서 모재 인장강도의 80% 이상으로 평가되었기 때문에 실제 용접 가능 범위로 선정한 영역에서의 인장강도는 현장에서 요구하는 충분한 값을 가지는 것으로 판단된다.

각 조건별 용접 후 비드 단면의 모습을 보여주고 있는 Fig. 6을 살펴보면 모든 조건에서 냉접이 이루어지지 않는다는 것을 확인할 수가 있으며, 115A 이상의

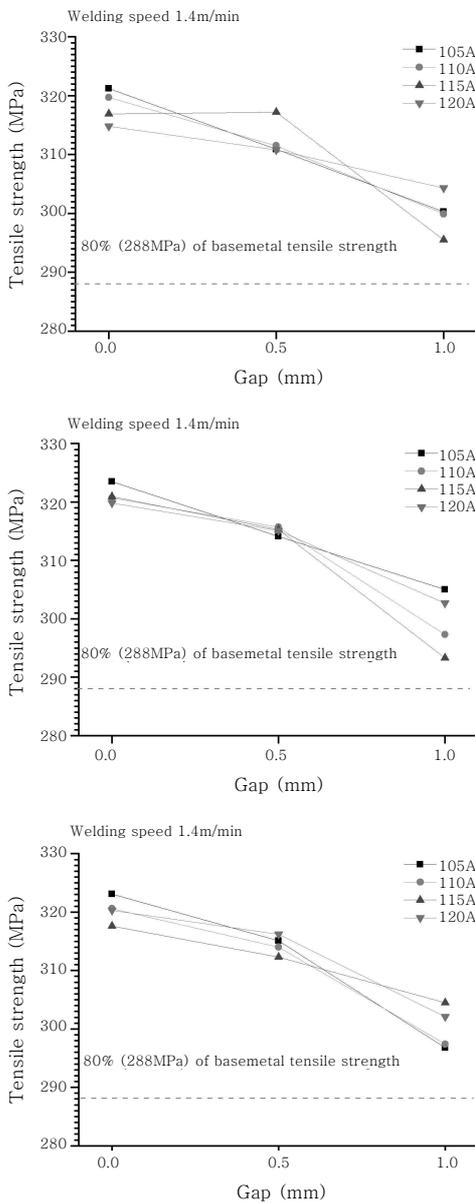


Fig. 5 Tensile strength of weldment according to gap (a) welding speed 1.4m/min (b) welding speed 1.6m/min (c) welding speed 1.8m/min

Welding current (A)	Welding speed (m/min)	Gap 0 mm	Gap 0.5 mm	Gap 1 mm
105 (A)	1.4 (m/min)			
	1.6 (m/min)			
	1.8 (m/min)			
110 (A)	1.4 (m/min)			
	1.6 (m/min)			
	1.8 (m/min)			
115 (A)	1.4 (m/min)			
	1.6 (m/min)			
	1.8 (m/min)			
120 (A)	1.4 (m/min)			
	1.6 (m/min)			
	1.8 (m/min)			

Fig. 6 Cross section according to welding conditions

조건에서 이면비드가 발생한 것을 알 수 있다. 용접부 비드의 각 파라메타 분석 결과 상하관 비드각도 A, B의 경우 120°이상의 둔각을 가지는 조건에서 건전한 용접부를 얻을 수가 있었으며, 불록도가 20% 이하에서 충분한 인장강도를 가진다는 것을 확인할 수가 있었다. Fig. 7과 8에서 보는바와 같이 갭이 증가함에 따

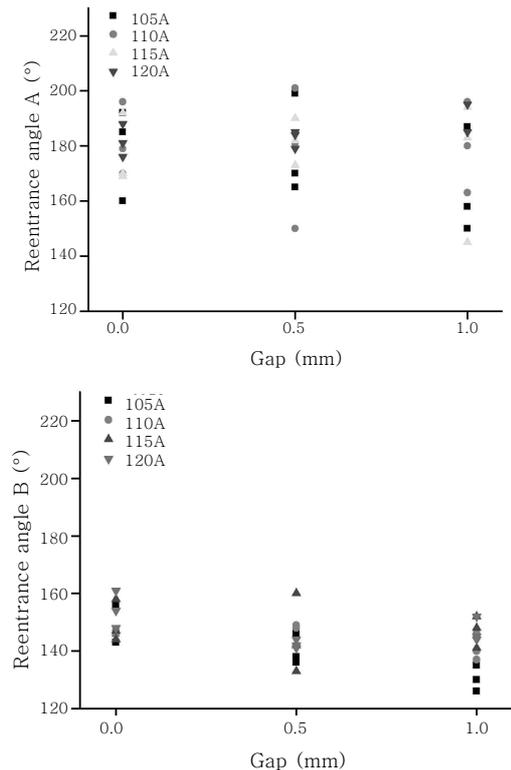


Fig. 7 Reentrance angle A, B according to welding conditions

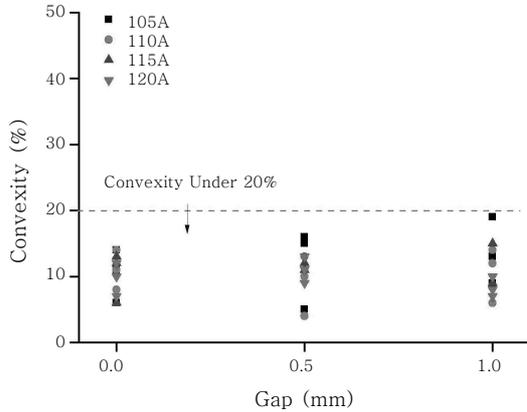


Fig. 8 Convexity according to welding conditions

라 상하판 비드각도나 볼록도의 경우 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다.

위의 결과에 따라 현장에서의 생산성을 고려하고 냉접과 용락이 발생하지 않는 범위에서 갭이 0-1mm 존재하는 Al 5052 겹침 용접부의 최적 용접조건은 용접 전류 100A-110A, 용접 속도 1.8m/min, 토치 각도 50°로 선정하였다.

4. 결 론

본 연구를 통해 박판 알루미늄 합금에 저입열 Pulse MIG 용접을 적용하기 위해서 용접 공정 변수인 용접 전류, 용접속도, 갭 변화에 따른 인장강도와 비드형상 특성을 파악하였고, 용접부 품질 기준에 따라 적정 인장강도와 냉접, 이면비드 및 용락이 존재하지 않는 적정 용접 범위를 도출하였다.

1) 인장실험 후 모든 시편은 상판 용접부 뒤쪽에서 파단이 발생하였으며, 이는 겹치기 용접된 시편에 인장시험 동안 2축에서 작용하던 인장 하중이 1축 상태로 바뀌면서 용접부 상판 아래쪽 부위에 높이의 단차가 발생하여 응력 집중으로 파단된 것으로 판단된다.

2) 갭의 크기가 커짐에 따라 인장강도가 감소하는 경향을 보였지만, 모재의 80% 이상의 강도를 확보할 수 있었다. 이는 Al 5052를 겹치기 용접 조건을 적용함에

있어 용접 가능 범위로 선정된 100A-120A에서는 건전한 용접부를 확보할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 하지만, 이면비드의 발생으로 인해 용락의 우려가 존재하기 때문에 용접전류의 경우 110A이하에서 사용하는 것이 좋을 것으로 사료되며, 용접 속도의 경우 현장의 생산성을 고려하여 1.8m/min으로 설정하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

3) 겹치기 용접부의 인장강도는 비드 형상은 파라메타들에 따라 크게 좌우 되지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국가지정연구소 (No.M20604005402-06B0400-40210) 사업 및 한국항공대학교 교비연구지원사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. E. P. Patrick and M. L. Sharp : Joining aluminum auto body structure., SAE 920282, 1992, 23-31
2. K. R. Brown, M. S. Venie and R. A. Woods : The increasing use of aluminum in automotive application, Welding Journal, 47-7 (1995), 20-23.
3. W. Tuttle : Understanding aluminium welding, Welding Journal, 91-2 (1991), 43-46
4. H. S. Park, T. H. Kim, S. H. Rhee. : Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding of TRIP Steel Using Response Surface Methodology, Journal of KWJS, 21-2 (2003), 76-81 (in Korean)
5. L. A. Gutierrez, G. Neye and E. Zschech : Microstructure, hardness profile and tensile strength in welds of AA6013 T6 extrusion, Welding Journal, 75-4 (1996), 115-121.
6. I.H. Kim, G.Y. Lee, J.M. Ju, K.T. Park and B.S. Chun : A Study on Electron Beam Weldmetal Cross Section Shapes and Strength of Al 5052 Thick Plate Journal of KWJS, 27-3 (2009), 73-79 (in Korean)
7. K.H. Youn, Y.S. Han : Gas metal arc welding of aluminum alloys, Journal of KWJS, 12-1 (1994), 16-27 (in Korean)