연 구 논 문

박판 알루미늄 도금강판의 플라즈마 용접성에 미치는 용접조건 및 롤러의 영향

이태우* · 박철호* · 강남현*,† · 김명덕**

*부산대학교 공과대학 재료공학부
**LG전자 세탁기 연구소

Effect of Welding Condition and Roller on Weldability of Al Coated Steel Sheet using Plasma Arc Welding

Tae-Woo Lee*, Cheol-Ho Park*, Namhyun Kang*† and Myung-Duk Kim**

*School of Materials Science of Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
**Department of washing machine, LG electronics Inc, Changwon 642-713, Korea

†Corresponding author : nhkang@pusan.ac.kr
(Received December 20, 2011 ; Revised April 4, 2012 ; Accepted April 30, 2012)

Abstract

Al-coated steel sheets with excellent heat and corrosion resistance are widely used in various applications. In welding of thin plate, some defects such as unmelted zone and metal-through occur easily in the beginning and ending of welding line. In the study, the welding defects in Al-coated steel sheets were investigated with respect to plasma arc current, height between Cu block and base metals, and using a roller to align the height of the base metal. Full penetration and voids free welds were obtained with a plasma arc current 52A and weld speed 2.3m/min. An unmelted zone increased and Ericshen rate decreased as the height between Cu block and base metal increased from 0 to 0.6mm. Using a roller moving ahead of the plasma arc, the length of unmelted zone decreased from 1.7mm to 0.5mm.

Key Words : Plasma arc weding, Al-coated steel sheet, Ericshen test

1. 서 론

철강 재료의 내식성 향상을 위한 표면 처리 강판은 다양한 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다. 표면처리강판의 개발, 적용이 급속도로 이루어지고 있으며 현재 표면처리강판의 주류를 이루고 있는 것은 아연계와 알루미늄계 도금강판이다. 그 중에서 알루미늄 도금 강판은 우수한 내식성과 내열성 때문에 산업에서 중요한 철강 소재이다. 또한 산업 사회는 원자재 비용을 줄이기 위해 원자재의 두께를 줄여 가격 경쟁력을 확보하는 방향으로 흘러간다. 그러나 표면 처리한 강판의 경우는 일반적으로 냉연강판에 비해 용접성이 크게 떨어져 문제가 되고 있다[1].더구나 박판 소재의 플라즈마 용접의 경우 용접 속도, 전류 등의 많은 조건 변화에서 용접 결함이 발생 할 수 있기 때문에 대량 생산 라인에 많은 불량이 발생 할 수 있다. 주로 과도한 입열량으로 인한 용융 금속이 밑으로 떨어지는 용락현상과 입열량 감소에 따른 미용접 구간이 발생하는 문제가 대두되고 있다. 이러한 용접부의 품질을 개선하기 위해서는 용접 결함을 제어하는 것이 필요하다. 그러나 박판 스테인리스스틸의 경우 연구가 활발히 진행되고 있지만 알루미늄 도금 강판의 경우는 보고된 연구가 많지 않다.

본 연구에서는 박판 플라즈마 용접에서 시작부, 종료부의 용락을 방지하고 미용접부를 최소화하는 것을 목적으로 시작부, 종료부 Cu 백킹의 높이와 용접 속도 및 전류 조정을 통해 용접부의 품질상태를 검토하였고, 모재간의 높이를 정렬하기 위해 롤러 설계를 통해 실제

Table 1 Chemical composition of Al-coated steel

Chemical composition (Wt %)					
C	Si	Mn	P	S	Fe
0.022	0.002	0.075	0.015	0.005	Bal.

현장에서 적용 가능한 최적의 조건을 조사하였다.

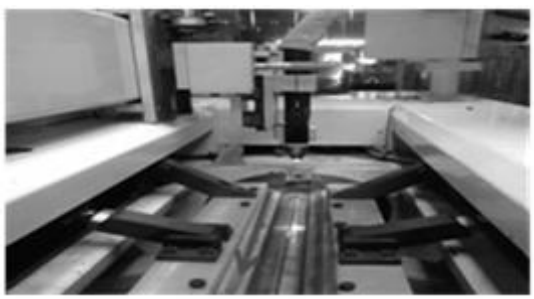
2. 사용 재료 및 실험 방법

2.1 사용 재료

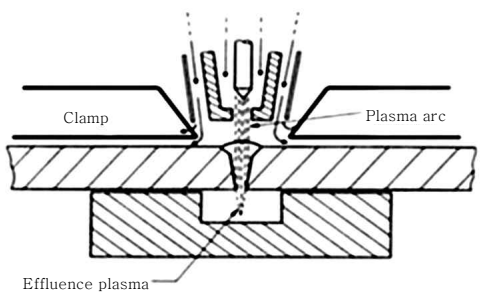
본 연구에서 사용된 플라즈마 용접용 재료는 폭 600mm, 길이 2,000mm, 두께 0.5mm의 저탄소강 기지에 알루미늄이 80g/m^2 용융 도금되어 있는 표면처리강판으로서 도금층 내에 알루미늄 외에 약10%의 규소(Si)가 함유되어 있다. Table 1은 실험에 사용된 알루미늄 도금강판의 화학 조성을 나타낸 것이다.

2.2 실험 방법

Fig. 1은 플라즈마 용접에 사용된 용접 장치와 클램핑장치를 나타낸다. 두께 0.5mm 모재를 이용하여 원통형으로 둥글게 만들고 양쪽 클램프 에서 40kgf/cm^{2}의 힘으로 모재를 고정시킨 후 플라즈마 맞대기 용접을 실시하였다. 열전도율이 높은 Cr-Cu합금(30×18×50mm)백킹을 시작부와 종료부에 설치하였



(a) Welding jig for the study



(b) Schematic of clamping method

Fig. 1 The equipment for PAW and clamping

Table 2 Typical shielding gas for PAW

Orifice gas	Shield gas	Backing gas
Ar	Ar-5%H2	Ar

고, 시작부 동합금 백킹에서 플라즈마 아크가 발생하기 시작하여 종료부 동합금 백킹에서 용접이 종료된다. 플라즈마 토치와 모재와의 간격은 18mm로 유지하고 용접 이면부의 산화를 방지하기 위하여 불활성 실딩가스를 사용하였다. Table 2는 용접 공정에 사용되는 오리피스, 실드 및 측면실드 가스를 나타낸 것이다. 미용접부의 길이를 측정하기 위해서 실체현미경을 이용하였다.

박판 재료의 가공성을 평가하기 위한 에릭슨 시험은 용접시편을 다이에 삽입시키고, 시편에 펀치를 넣어 가압하여 균열이 발생하게 하는 시험 방법이다. 이때 전진된 펀치 깊이를 mm로 나타낸 것을 에릭슨 지수라고 한다. 본 연구에서는 알루미늄 도금 강판의 용접 후 시작부와 끝단부의 해밍작업에 의해서 에릭슨 지수가 4이하인 값은 불량으로 간주하는 현장 규정에 의하여 에릭슨 지수가 4이상인 값을 양품으로 판단하였다.

Fig. 2는 롤러 모식도를 나타낸 것이다. 3롤 밴딩(Three roll bending) 공정으로 만들어진 모재의 끝단의 평평한 부분이 발생하게 된다. 이러한 문제로 맞대기 용접에서 모재간의 높낮이가 맞지 않아 미용접 및 용락이 발생한다. 플라즈마 용접기에 롤러를 장착하여 플라즈마 토치보다 선행하여 모재위의 표면 버(burr)를 가압하면서 후행하는 아크가 모재를 용접하여 지나간다. 롤러 끝단에 버를 물리적으로 접촉하여 눌려주는 볼은 우레탄 소재이며 3kgf/cm^{2}의 응력을 가하였다. Table 3은 용접 실험 조건을 나타낸 것이다. No 1은 전류에 따른 에릭슨 값 및 미세조직 비교, No 2는 시작부와 종료부의 동합금 백킹높이에 따른 미용접 길이를 비교, 그리고 No 3은 롤러 장착 후 미용접부 길이 비교를 위한 용접 실험 조건을 나타낸 것이다.

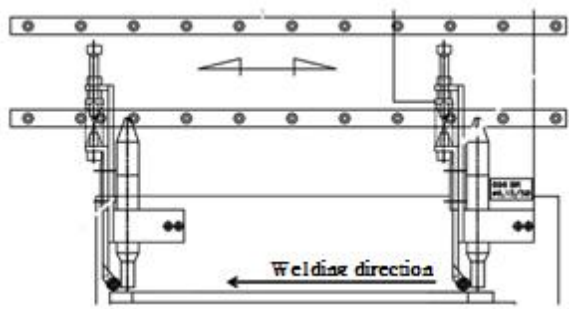


Fig. 2 Diagram of Roller equipment for plasma arc welding

Table 3 Welding experimental conditions

Fixed	Welding speed	2.3m/min
	Gas	Ar
	Clamping force	41kgf
	Rolling method	3 roll bending
No.1	Current	49A
		52A
		55A
		58A
		67A
	Optical microscope	49A
		51A
		52A
No.2	Block height	0mm
		0.2mm
		0.4mm
		0.6mm
No.3	Roller	Used

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 전류에 따른 Erichsen Test

입열량 조절에 따른 용접성을 비교하기 위하여 에릭슨 시험과 광학 현미경으로 조직을 비교하였다. Fig. 3은 전류에 따른 에릭슨 값의 측정 결과이다. 용접후 가공을 할 때 첫단부와 끝단부의 해밍작업(30mm 마는 작업)이 이루어지고 중심부는 가공작업이 없는 점을 감안하여 에릭슨 값의 기준이 4인 것은 해밍작업에 의한 최소 저항성이라고 판단하여 중심부의 에릭슨 값은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 전반적으로 전류가 증가함에 따라 에릭슨 값은 감소하였다. 시작부의 경우 전류에 따른 에릭슨 값은 크게 차이가 발생하지 않았다. 하지만 중간부와 종료부의 경우 49A와 67A를 비교하였을 때 에릭슨 값은 최대 1.0~1.2의

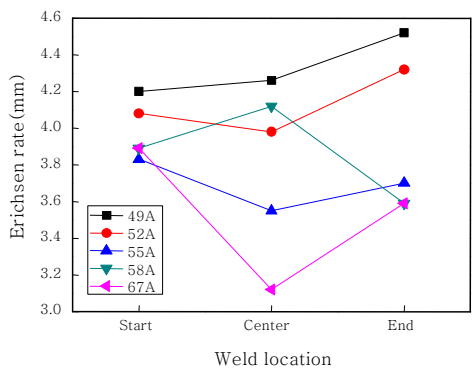


Fig. 3 Erichsen rate with respect to arc current and welding position

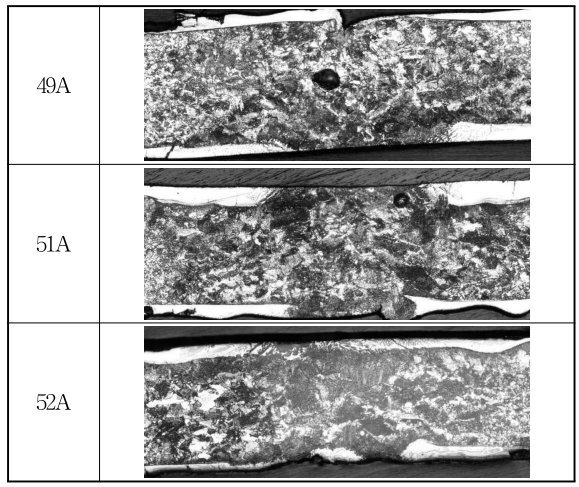


Fig. 4 Effect of arc current on cross-section in the weld ending position

차이가 나타났으며 55A부터 에릭슨 값은 큰 폭으로 감소한 것을 확인 할 수 있었다. 용접 후 성형을 고려하여 4이하의 에릭슨 값이 측정된 55A, 58A, 67A는 49A와 52A보다 높은 입열량이 발생하여 열영향부의 폭이 넓어지고 냉각속도 저하로 grain이 조대해지게 된다. 따라서 49A와 52A 사이에서 양호한 입열량이 발생하여 에릭슨 값이 높게 측정되었다고 판단된다.

Fig. 4는 전류에 따른 용접 시편의 종료부 단면을 광학 현미경으로 나타내었다. 유한의 물체인 모재의 끝부분을 넘어서 열은 전도될 수 없기 때문에 전도에 의한 열 손실이 발생하지 않고 다시 반사되어 끝부분에 열 집중도는 더 커지는 종단효과(End effect)가 발생하게 된다[2]. 따라서 종료부의 단면을 관찰하여 나타내었다. 49A, 51A에서 용접부에 기공이 생성되었다. 이는 플라즈마 용접에서 용융온도가 낮은 성분이 기화된 성분의 부력에 의해 용접부에서 탈출하지 못하고 기포로 포획된 것이다[3]. 또한 전류가 높아지면서 기공이 점점 표면부로 올라가고 52A에서는 기공이 형성되지 않았는데 52A에서 충분한 입열량이 공급되어서 용접부의 완전용입이 발생했기 때문이라고 판단된다. 양호한 에릭슨 값을 가지면서 용접 결함을 최소한으로 하기 위해서는 52A에서 박판(0.5t) PAW를 하는 것이 적합하다고 판단된다.

3.2 구리 백킹 높이에 따른 미용접부 길이

Fig. 5는 시작부와 종료부의 백킹 높이에 따른 미용접부 길이를 나타낸 것이다. 맞대기 용접할 시편과 Cu 백킹의 높이 차이가 0일 때, 가장 낮은 미용접 길이를 나타내었고 백킹이 높아지면서 미용접 길이도 함께 증가하였다. 알루미늄 도금 강판의 경우 탄소강, 스테인

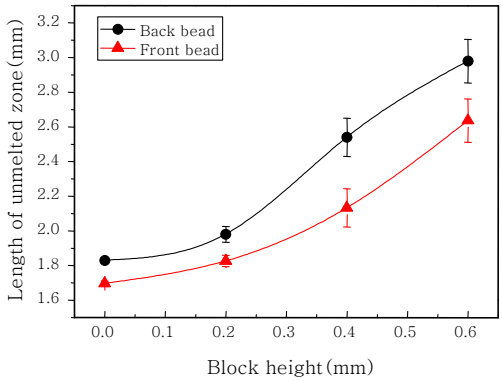


Fig. 5 Length of unmelted zone length with block height (arc current 52A)

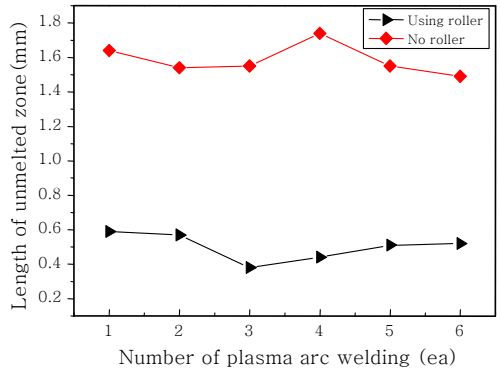


Fig. 7 Effect of roller on the length of unmelted zone (arc current 52A)

리스스틸에 비하여 Al-Fe의 금속간 화합물 형성으로 인하여 용접성이 저하되기 때문에 Cu 백킹의 높이를 0으로 하여도 미용접부가 발생하였다. 백킹의 높이가 증가함에 따라 미용접부 길이의 편차 값이 점점 더 커지는 것을 알 수 있다. 전면·이면 비드를 비교하였을 때, 이면 비드가 더 긴 것을 알 수 있는데 용접부의 완전용입이 일어나지 않았기 때문인 것으로 판단된다. Cu백킹의 높이가 모재보다 0.4mm이상 높아지면 Cu백킹으로 아크가 쏠리는 현상이 발생하여 모재의 종료부와 시작부는 충분한 입열량을 확보하지 못하므로 미용접 길이가 길어진다[3]. 대규모 생산라인에서 효율적으로 관리하기 위해서는 편차 값이 작고 미용접 길이가 짧은 0mm가 가장 적절하지만 PAW 공정을 하면서 Cu백킹의 마모로 인하여 관리가 소홀하면 백킹이 모재보다 낮게 되어 용락이 발생 할 수 있다[4]. 그러므로 0.2~0.4mm정도의 높이가 적당한 것으로 판단된다.

3.3 Roller설계를 통한 미용접 길이 변화

Fig. 6은 기존의 PAW공정에 추가로 롤러를 장착하여 용접후 용접부 사진을 실체 현미경으로 찍은 것이다. 육안으로 관찰하기 어려울 만큼 미용접 구간이 관찰되지 않았다. 선행하는 롤러가 모재간의 높낮이를 정렬하고 버를 눌러주면서 후행 하는 플라즈마 아크에 의해서 용접이 된다. 강한 클램프 하중이 모재를 가압하는 공정이지만 3롤 밴딩으로 인한 끝단의 평평한 부분이 발생하여 모재간의 정확한 높낮이를 형성하기는 쉽지 않다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 롤러를 사용하여 실험하였다. Fig. 7은 롤러 사용 전·후를 비교하여 미용접부 길이를 비교하였다. 롤러를 사용하여 용접하였을 경우 미용접 구간이 1~1.2mm정도 짧아져서 대략 0.5mm길이를 가지는 것을 알 수 있다. 이는 롤러가 선행하면서 모재의 버가 눌러지면서 표면 요철을 최소화하고 모재간의 단차를 시작부부터 종료부까지 맞추어 주면서 용접이 진행되었기 때문이라고 판단된다.

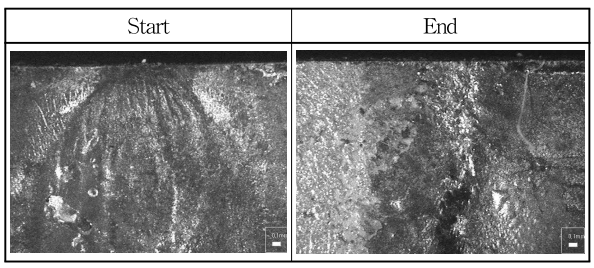


Fig. 6 Top surface of unmelted zone produced with roller installation

4. 결 론

0.5mm두께의 알루미늄 도금강판의 플라즈마 아크 용접에서 전류에 따른 에릭슨 값의 경향을 파악하고 구리 백킹 및 롤러 설계에 따른 미용접부 길이를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 구리 백킹의 높이가 모재와 같은 높이일 때 미용접부 길이가 가장 짧았으며 구리 백킹 높이가 높아질수록 미용접부 길이가 점차 증가하였다. 전면 미용접부의 길이가 이면보다 더 짧게 나타났다.

2) 에릭슨 시험 결과 시작부 에릭슨 값은 모든 전류에서 비슷하게 측정되었고, 종료부로 갈수록 전류가 증가하면 입열량이 증가하여 에릭슨 값은 점차 낮아졌다.

3) 49A와 52A에서 가장 우수한 에릭슨 값이 나타났다. 미세조직을 비교해 본 결과 52A에서 충분한 입열량이 발생하여 완전 용입이 일어나 52A가 박판(0.5t) PAW에 적당하다고 판단된다.

4) 롤러 설계를 통하여 미용접부 길이가 기존의 공정 대비 1~1.2mm정도 줄어들었고, 대량 생산 라인에서 좀 더 효율적인 공정이 이루어 질 수 있을 것이라고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Jong Do Kim, Jung Han Lee, Sook Hwan Kim : Weldability of Llow Carbon Steel with Al Coating Condition by Nd:YAG Laser, Journal of the Korean Society of Marine Engineering 31-6 (2007), 736-743
2. N. Okui, D. Ketron, F. Bordelon, Y. Hirata, and G. Clackl : A Methodology for Prediction of Fusion Zone Shape, Welding Journal, 2007, 35-43
3. Y. S, Chu, S. J. Hong, J. P. Jung, S. M Cho : The Effects of Start Block and Arc Length on Melt Through and Unmelted Zone at Welding Start in High Speed Plasma Arc Welding of Thin Plate, Journal of KWS, 26-2 (2008), 92-97 (in Korean)
4. H. J. Shin, Y. T. Yoo, B. H. shin, D. H Ahn : Comparison of Welding Characteristics on Heat input Changing of Laser Dissimilar Metals Welding, Journal of KWS, 29-1 (2011), 90-98 (in Korean)

]