

# 스틸과 알루미늄의 아크 이중접합

김 용·박 기 영·이 경 돈

## Steel to Aluminum Joining by Arc Process

Yong Kim, Ki-Young Park and Kyoung-Don Lee

### 1. 서 론

여러 산업에서 스틸과 알루미늄은 이중접합에 가장 널리 사용되는 소재로 경제적인 효과도 매우 크다. 알루미늄은 방식성과 가공성이 우수하여 다양한 분야에서 이미 널리 사용되고 있다. 알루미늄의 중요한 특성 중 하나는 비중이 낮다는 점인데, 그렇기 때문에 항공이나 자동차 산업에서 무게와 연료 소모량을 줄이는데 기여할 수 있다. 이로 인해 알루미늄과 스틸을 적절히 조합하여 사용할 때는 두 가지 재질이 가진 장점들을 잘 활용할 수 있으며, 지금까지 이 두 재질의 접합에는 클린칭이나 리베팅과 같은 기계적인 방법이 거의 이용되어 왔다. 물론 마찰 용접이나 스폿 용접 또는 폭발 압접과 같은 열에 의한 접합 방법도 있지만 특정한 시임 형상에만 적용이 가능할 뿐만 아니라 여러 가지 제약이 따른다. 또한 레이저 용접과 같은 경우에는 공정 안정화를 위한 많은 노력이 필요하다.

한편 여러 연구자들에 의해 아크를 이용한 저입열 용접 프로세스 개발에 대한 노력이 있어 왔으며, 최근 이에 대한 결과 중 하나로 저입열 단락이행(Short circuit transfer) 용접기법이 개발되었다. 본 기법은 기존의 GMA 용접방식에 비해 상대적으로 낮은 온도에서 단락 형태의 금속이행이 이루어진다. 기존의 GMA 용접방식은 전류가 단락단계에서 상당량 증가하지만, 이 용접방식을 사용하면 Fig. 1과 같이 단락단계에서 와이어가 역인(Retraction)되어 전류가 아주 낮게 유지된다. 이에 따른 용적이행 시 용적의 표면장력을 높여주어 저

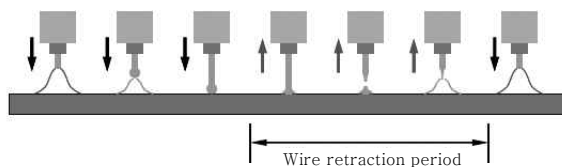


Fig. 1 Schematic diagram of wire retraction to make short circuit transfer mode

전류에서도 안정적인 아크 유지가 가능하며 스패터가 거의 발생하지 않아 2mm 이하의 알루미늄 박판에서도 용접이 가능할 뿐 아니라 스틸과 알루미늄 간 이중접합에도 우수한 성능을 나타내는 것으로 발표되었다.

이에 따라 본 기술 강좌에서는 저입열 단락이행 형태의 아크 용접 프로세스를 이용한 이중접합에 대해 기술하고자 하며, 도금 종류 및 두께, 용가재 및 기타 공정 변수에 따른 결과들을 소개한다.

### 2. Steel · Al 간 이중금속 용접성

일반적으로 알루미늄과 스틸을 열로써 접합하기에는 많은 문제점이 있다. 알루미늄과 스틸은 서로 용해되지 않는 불용해성이 있으며 화학적·물리적 특성(용융점, 열팽창계수, 열전도도 등)이 다르기 때문에 용접부의 경계에 취약한 금속간 상(Intermetallic phase, IMP)이 형성된다. Fig. 2와 같이 Fe-Al 이원계 상태도 상에서 보면 Al은 불과 수 퍼센트만이 스틸에 고용되며 Al량이 약 33% 이하에서는  $\alpha\text{Fe}(\text{Fe}_2\text{Al})$  단상이고, 약 62% 사이에서는  $\text{FeAl}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  및  $\text{FeAl}_3$ 의 금속간 화합물이 출현한다. 많은 연구자들의 보고에 의하면 Fe 중에 Al이 33~62%로 포함되면 상기와 같은 취약한

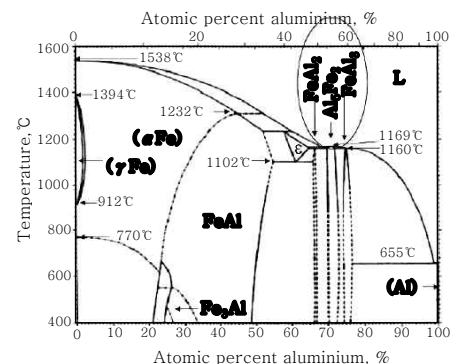


Fig. 2 Fe-Al equilibrium phase diagram

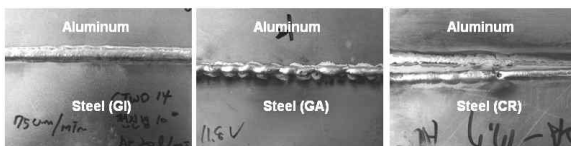
금속간 화합물이 형성되어 응고 후 냉각에 따라서 균열이 발생하는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 적절한 공정변수의 선정을 통해 금속간 화합물 층의 형성을 최소화 시키는 용접법이 바람직하다.

### 3. 이종접합 결과

#### 3.1 강판 도금과의 상관관계

차체 강판에 사용되는 아연도금의 종류는 크게 합금화아연도금(Galva-annealed, 이하 GA)과 용융아연도금강판(Galvanized, 이하 GI) 두 가지로 분류된다. 일반적으로 용융용접을 통한 용접 시 알루미늄은 용접이 이루어지고 스틸 판재는 브레이징된다. 여기서 브레이징되는 스틸 표면에 있는 아연도금 층은 용융알루미늄과의 젖음성(wetting)을 향상시키는 역할을 한다. 이에 따라 GI강판의 경우 표면에 도금된 Zn이 알루미늄 용가재와 반응하여 접합면에 Al-Zn 합금을 형성함으로써 인해서 브레이징되는 메커니즘을 이룬다. 그러나 GA강판의 경우 표면에 Fe-Zn 합금화가 이루어진 상태로 용접 시 다량의 스패터가 발생되며 Fig. 3 (b)와 같이 어떠한 조건에서도 용접이 이루어지지 않았다. 마찬가지로 강판에 어떠한 도금도 되어있지 않은 일반 냉연강판(Cold rolled, 이하 CR)의 경우에서도 알루미늄 용가재와 반응하는 도금층이 없어 금속이행이 불규칙하고 다량의 스패터가 발생하는 현상이 발생하였다. 즉, 스틸과 알루미늄 간 이종접합은 도금 조건에 따른 제한이 있으며 성공적인 접합을 위한 적절한 매개체가 존재하여야 한다.

한편 도금 종류뿐만 아니라 두께에 대한 변수도 고려되어야 하는데, Zn코팅된 GI 강판에서 10~30um의 범위 내에서는 Fig. 4와 같이 도금두께에 상관없이 금속간 화합물 층의 두께가 모두 3um 이하로 매우 좁게 형성되었으며 도금두께와의 연관성은 찾을 수 없었다. 인장시험 결과 또한 모든 시편에서 HAZ 파단 결과로 나타났는데, 이는 용접 후 HAZ의 연화 정도가 취약한 화합물 상의 영향보다 더욱 크다는 것을 암시한다.



(a) Galvanized (b) Galva-annealed (c) Cold rolled

Fig. 3 Weldability according to Zinc coated type

#### 3.2 용가재의 선택

각기 다른 성분을 갖는 4 종류의 용가재로 용접 후 용가재 성분이 용접성에 미치는 영향을 확인하였다. 용가재는 Si 함량을 기준으로 분류하면 AlMg4.5Mn (A5183), AlSi3Mn, AlSi5(A4043) 및 AlSi12(A4047)로 구분된다. 일단 모든 용가재에서 적정 용접조건으로 용접 시 육안 상 건전한 용접부를 얻을 수 있었다. 그러나 인장-전단시험 시 Si가 존재하지 않는 A5183에서는 기타와 달리 접합계면에서 슬립 형태로 파단이 발생하였으며 나머지는 HAZ 파단이 발생하였다.

뿐만 아니라 Fig. 5와 같이 용가재에 포함된 Si 함량 증가에 따라 성장되는 금속간화합물 층의 두께도 감소하였는데, A5183의 경우는 그 두께가 약 12um 정도로 매우 넓게 형성되었으며 이 부분의 취약성으로 인해 계면 분리 형태로 파단 되었다. 이러한 결과를 종합하여 용가재에 포함된 Si이 화합물의 성장을 억제하는 것으로 판단할 수 있으며, 좀 더 명확하고 논리적인 규명을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 3.3 공정변수의 선정

동일 용접속도에서 전류만 각각 52A, 59A 및 66A로 용접 후 인장시험을 실시하였다. 시험결과 금속간 화합물 층의 두께변화 및 입열량과 접합강도 간의 상관성은 찾아볼 수 없었는데 이는 모두 HAZ 파단에 기인하여 이종접합 특성보다는 알루미늄 용접부 고유의 특성에 기인한 결과다.

한편 용접 전 갭의 존재유무에 따른 영향은 Fig. 6과 같이 매우 큰 것으로 나타났다. 갭이 없는 상태에서는 HAZ 파단이 일어나며 약 140N/mm 정도의 강도를 보이지만, 0.5mm 이상 갭이 존재할 경우 파단은 계면에서 발생하였으며 파단강도는 최대 200N/mm까지 나타났다. 비파괴검사(RT) 결과 또한 갭이 있을 경우 기

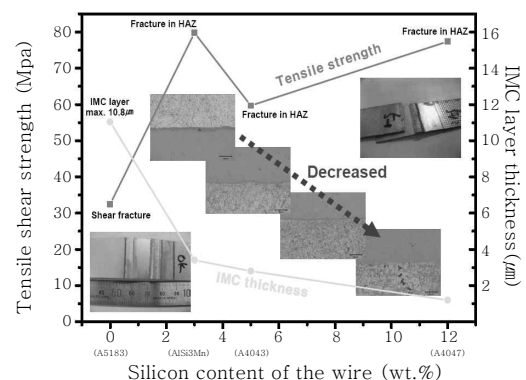


Fig. 5 Build up of IMP, which is strongly influenced by silicon content

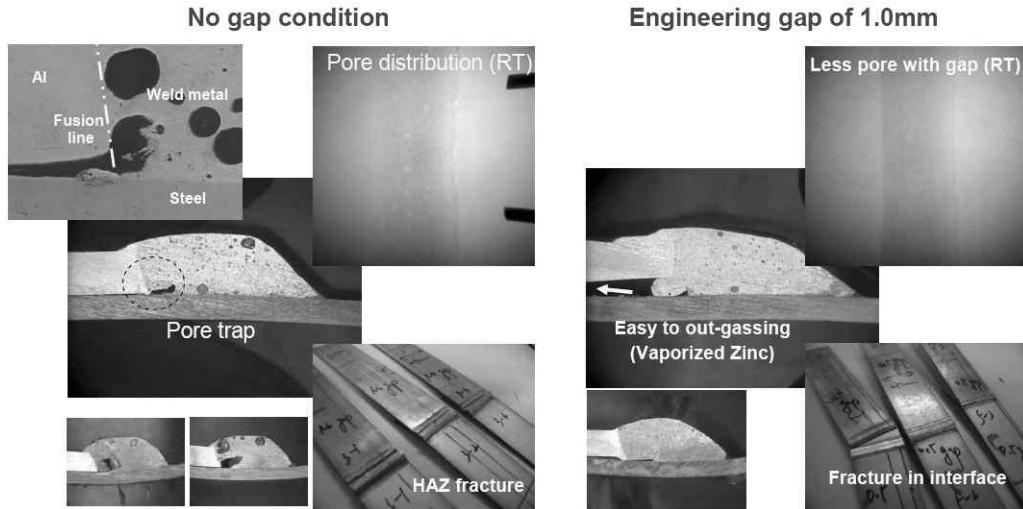


Fig. 6 An appropriate gap removes pore traps, which has very strong influence on mechanical characteristics such as fracture strength

공이 거의 발견되지 않았음을 미루어볼 때 계면사이에 존재하는 갭으로 기화된 Zn가 빠져나가 기공으로 남지 않는다는 것을 알 수 있으므로 실제 시공에서는 용접 전 적절한 갭을 부여하는 방안도 고려되어야 한다.

#### 4. 결 론

변형된 GMAW 프로세스를 이용한 스틸과 알루미늄의 이종접합은 가능성이 입증되었다. 그러나 여기에는 스틸의 종류가 용융아연도금강판이어야 한다거나 특수한 프로세스를 이용해야 한다는 몇 가지 제약이 따르므로 범용적인 실용화에 이르기에는 아직 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. Hui-Chi Chen. et. al, "Fiber laser welding of Zn-coated steel on Al alloy for next generation lightweight vehicles", ICALEO 2009 1426-1434

2. J. L. Song et al.: Effect of Si additions on Intermetallic Compound Layer of Aluminum-Steel TIG Welding-brazing Joint, Journal of Alloys and Compounds 448(2009), 217-222  
 3. H. T. Zhang et al.: Interfacial Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum-Zinc Coated Steel Joints made by Modified Metal Inert Gas Welding-brazing Process, Mat. Char., 58(2007), 588-592  
 4. H. T. Zhang et al.: The Arc characteristics and Metal Transfer Behavior of Cold Metal Transfer and its use in Joining Aluminum to Zinc-coated Steel, Material Science and Eng. A 499 (2009), 111-113  
 5. M. J. M. Hermans.: Welding Journal. 78 (1999), 141-173  
 6. J. R. Davis, "Aluminum and aluminum alloys" ASM specialty handbook (4th Edition), ASM Int. 1998. 376-415  
 7. H. S. Park, et al.: "Welding and Bonding of Dissimilar Metal Steel/Non-ferrite Metal." Journal of KWS, 14-6, 1996 (in Korean)



- 김 용
- 1979년생
- 고등기술연구원 로봇/생산기술센터
- 용접가공
- e-mail : welding@iae.re.kr



- 이경돈
- 1957년생
- 고등기술연구원 로봇/생산기술센터
- 레이저 용접 및 자동화
- e-mail : kdlee@iae.re.kr



- 박기영
- 1962년생
- 고등기술연구원 로봇/생산기술센터
- 레이저 용접 및 자동화
- e-mail : young@iae.re.kr