

스틸과 알루미늄의 아크 접합

The CMT-Process: a revolution joining technology

J. Bruckner

김유찬

Fronius International GmbH

BEST F.A

최신 연구 결과에 따르면 알루미늄과 스틸의 접합으로 산업용 부품의 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 특히, 자동차 산업에서는 알루미늄과 스틸의 접합이 가능해짐으로써 에너지 소모량을 최소화할 수 있다. 지금까지 이 두 소재는 대부분 클린칭이나 스크류링과 같은 기계적인 방법으로 접합을 하였다. 열에 의한 접합은 금속간 상(Intermetallic Phase, IMP)이 형성되기 때문에 극히 제한되었다. 이러한 상은 취성이 높기 때문에 접합부의 물성을 악화시킨다. 그 밖에도 알루미늄과 스틸의 접합에 레이저 시스템과 프레스 장치를 결합하여 사용하는 방법도 있다. 본 연구논문에서는 아연도금강과 6공 계열 알루미늄 합금(AlMgSi)이나 제한적이긴 하지만 5공 계열 알루미늄 합금(AlMg)을 접합하는데 일반 GMAW 프로세스를 변용하여 방법에 대하여 논하고자 한다.

1. 서 론

수송 시스템에서는 특히, 중량을 줄여 연료를 절감하는 것이 매우 중요한 과제이다. 이러한 과제는 특성이 다른 소재를 사용함으로써 풀어나갈 수 있다. 이와 같이 재질이 다른 이종(異種) 소재를 이용할 경우 각 소재가 가진 모든 장점을 활용할 수 있다: 예를 들어 중량의 감소나 열전도 또는 전기 전도성의 향상 등을 기대할 수 있다.

여러 산업에서 스틸과 알루미늄은 이종접합에 가장 널리 사용되는 소재로 경제적인 효과도 매우 크다. 알루미늄은 방식성과 용접성이 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. 이미 다양한 차량의 스페이스 프레임이 알루미늄으로 제작되고 있다. 알루미늄과 스틸을 접합 할 때는 두 가지 재질이 가진 장점들을 잘 활용할 수 있다. 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 제약

이 따른다. 또한 레이저 용접이나 레이저 프레스 용접의 경우 많은 노력이 필요하다.

2. 문제점과 의문점

알루미늄과 스틸을 열로써 접합하기에는 많은 문제점이 있다. 알루미늄과 스틸은 서로 용해되지 않는 불용해성이 있으며 화학적·물리적 특성(용융점, 열팽창계수, 탄성계수 등)이 다르기 때문에 취성이 높은 금속간 상(IMP)이 형성된다. 이러한 금속간 상의 두께는 접합 중의 입열량에 따라 다르다. 금속간 상은 접합부의 인장강도를 악화시킨다. 그림 1에서는 알루미늄과 스틸의 이상을 볼 수 있는데, 알루미늄은 불과 수 퍼센트만이 스틸에 고용체가 될 수 있다. 알루미늄 중량의 12%가 미세결정구조에서 변화를 일으켰으며 FeAl과 Fe₃Al과 같은 혼합물이 형성되었다. 이러한 혼합물은 매우 단단하며 취성이 높다. 알루미늄의 함량이 높은 금속간 상에는 Fe₂Al이나 Fe₂Al₅, FeAl₃와 같은 혼합물이 형성되며 역시 취성이 매우 높으며 스틸로 확산되는 알루미늄 또는 알루미늄으로 확산되는 스틸에 의해 만들어진다. 이러한 확산 현상은 화학적인 전위가 다르기 때문에 발생한다.

부식 또한 큰 문제점이다. 아연의 전위차가 클수록 부식되지 않는 성분이 감소될 수 있어 부식량이 많아진다. 그렇기 때문에 앞서 언급했듯이 알루미늄과 스틸을 열을 이용하여 접합하는 데는 많은 제약이 따를 수 밖에 없다. 접합성을 향상시키기 위해서는 금속간 상의 두께가 10 μ m이하가 되어야 한다.

3. 테스트 및 결과

본 논문에는 0.8~3.0mm 두께의 아연도금강과 알루미늄의 접합 프로세스 개발을 위해 12년 이상 진행된 연구작업이 설명된다. CMT 프로세스는 GMAW 용접을 변형시킨 프로세스이다. CMT 프로세스에서 알루미늄 합금은 아연도금강의 표면에 알루미늄과 스틸의 접합성을 최적화 시켜주는 용접 와이어로 용접한다. 먼저 1mm 두께의 판재로 오버랩 조인트에서 테스트를 시행하였다.

이 테스트에는 로봇이 사용되었다. 토치 위치는 알루미늄과 용접 와이어를 용융하는데 아크가 집중되도록 잡았다. 토치 위치에 대한 공차는 최소한으로 허용하였다. 또한 토치 위치와 용접부 형상을 달리하여 다른 연구가 진행되었다. 오버랩 시임(2F, 3F / 수직상진), 필릿 시임(1F, 2F, 3F / 수직하진), 플랜지 시임(1F, 3F / 수직하진) 및 맞대기 시임(1G, 3G / 수직하진)에서 브레이징도 가능하였다. 테스트에 사용된 합금은 AlMg0.4 Si 1.2 (EN-AW 6016)과 DDS 47 G U (7.5 μ m 양면 아연도금)이었다. 또한 AlMg0.8 Si 0.9 (EN-AW6120) / DDS G 40 (10 μ m 양면 아연도금)과 AlMg3 (EN-AW 5754) / DDS G 40 (10 μ m 양면 아연도금), AlMg5 Mn (EN-AW5182) / CS G 90 (20 μ m 양면 아연도금)에 대한 테스트도 이루어졌다.

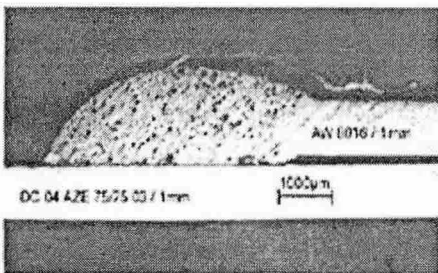


그림1. 저배율 이미지

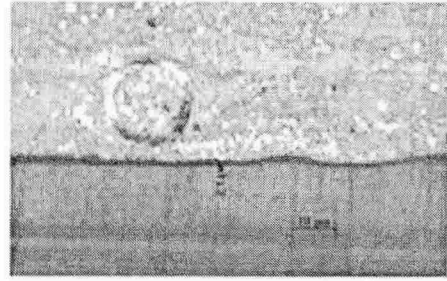


그림1. 금속간 상

그림 1에서는 다른 형태로 접합되는 것을 확인하게 볼 수 있다: 알루미늄은 용접이 되는 반면 스틸은 브레이징된다. 그림 2에서 금속간 상의 두께는 2.1 μ m 이다. 모든 테스트에서 금속간 상의 두께는 10 μ m 이하였으며 그렇기 때문에 접합부는 금속간 상보다는 모재의 특성으로부터 더 큰 영향을 받는다. 인장시험에서 알루미늄의 열영향부(HAZ)에 파단이 발생하였고 때로는 알루미늄 모재에도 파단이 일어나기도 하였다. 표 1은 인장강도 평균값을 나타낸 것이다.

모재	인장강도 [MPa]
AlMg 0.4 Si 1.2 (1mm) / DDS 47 G G U (1mm)	145
AlMg 0.4 Si 1.2 (1mm) / CS G 90 (1.5mm)	166.7
AlMg3 (1mm) / DDS G 40 (1mm)	130.3
AlMg5 Mn (1mm) / DDS G 40 (1mm)	134.5
AlMg5 Mn (1mm) / CS G 90 (1.5mm)	175.13

표1. 인장강도 (DIN 50123)

열처리 합금 (6공계열)을 접합에서는 석출과정으로 인하여 열영향부의 인장강도가 더 떨어진다. 그러므로 열영향부는 강도가 30~40% 낮아져 가장 약한 부분이 된다. 도표 1은 두께가 각각 1mm인 AW6016 소재와 DDS 47 G 47 G U 소재의 접합부에 대한 인장강도를 보여주고 있다.

3. 테스트 및 결과

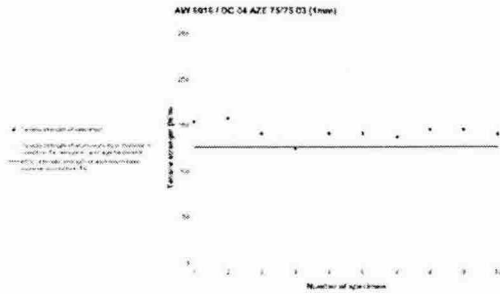


도표 1. AW6016과 DDS 47 G 47 G U 접합부의 인장강도

경화 합금 (5공계열) 역시 재결정으로 인하여 열영향부에서 인장강도가 줄어든다. 강도의 감소는 사전 처리 방법과 접합 시 입열량에 따라 다르다. 견본에서 파단이 주로 일어나는 부위는 열영향부이다. 열영향부의 인장강도는 기대 이하로 낮았는데, 그 원인으로 시임 근처에서 분해가 발생하기 때문으로 추정되며 이는 AlMg5 Mn 합금의 테스트 결과에 근거한 것이다. 용접 속도는 3070cm/min이며, 모재의 두께, 토치의 위치 및 시임형상에 따라 다르다.

용접 시 스패터는 거의 발생하지 않으며 모재를 사전처리하거나 플럭스 첨가물을 사용할 필요가 없다. 부식시험(염분 분사 시험, 기후 시험)에서는 표면 처리된 견본 (예: 음극 침수 코팅)에서 부식이 일어나지 않았을 뿐만 아니라 미세결정체간이나 접촉 부식도 발생하지 않았다. 또한 시임 형상을 최적화하면 부식을 감소시킬 수 있다. 오버랩 조인트에서 제한적으로 처음 피로 강도 시험을 했을 때는 오히려 더 우수한 결과를 나타내었다 (도표 2).

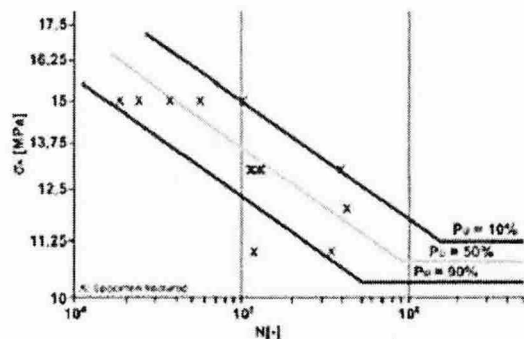


도표 2. 피로 시험 (알루미늄 1mm / 스틸 1mm)

알루미늄과 스틸의 이종접합은 가능성이 입증되었다. 그러나 여기에는 스틸의 종류가 아연도금강이어야 한다거나 특수한 용접 와이어를 사용해야 하는 점, 또한 특수한 GMAW 프로세스를 이용해야 한다는 몇 가지 제약이 따른다. 인장강도나 방식성, 한계 피로 강도에 대한 임시 테스트에서는 오히려 좋은 결과가 나왔다. 또한 금속간 상의 두께를 2 μ m 이하로 줄일 수 있음이 입증되었는데, 이는 알루미늄과 스틸의 접합에서 취성으로 인한 파손을 최소화할 수 있기 때문에 매우 중요하다.

참고 문헌

1. Achar, A.R.G. Ruge und S. Sundarsen: Verbinden von Aluminum mit Stahl, besonders durch Schweißen. Teil 1: Aluminum 56 (1980), 147-149; Teil II Alum56 (1980), 220-223; Aluminum 56 (1980), 291-293
2. Kubaschewski O.: Iron Binary Alloy Phase Diagramms. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, (1992)6
3. Murti, K.G.K. and S. Sundarsen: The formation of intermetallic phases in Aluminum Austenitic stainless steel friction welds. Materials Forum 17 (1994), 301-307
4. Radscheit R.R.: Laserstrahlfügen von Aluminum mit Stahl. Dissertation, Universität Bremen, 1996
5. Schoer, H.: Schweißen und Hartlöten von Aluminumwerkstoffen. Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren, DVS-Verlag, 1998
6. Sepoid, G.: Potenziale lasergefügter Mischverbindungen