

特輯 : 저항용접 기술의 개발 동향

알루미늄 합금의 저항용접 기술의 현황과 전망

강 성 수

Prospect and Reality of Aluminum Alloy Resistance Welding Technology

S. S. Kang



강성수/부산대학교/
1949년생/저항용접부
의 용접성 및 피로해석

1. 서 론

최근에 지구환경의 보전 에너지 절약의 관점에서 自動車, 철도차량, 선박 등의 수송용 기계의 경량화가 추구하고 있다. 경량화를 위해서는 구조의 최적화와 차체를 이루고 있는 판재의 박판화에 의해서도 이루어 질 수 있지만 경량재료를 사용하는 것이 가장 근본적인 경량화로 알려지고 있다.

경량화재료로서는 Al합금, Mg합금, 플라스틱등을 검토되고 있으나 Al소재가 강도측면, 내구성 등에서 가장 유망한 재료로 주목받고 있다. 더욱이 저항점용접에 의해 접합이 가능하다면 기존 철판점용접에 의한 차체가공기술의 원용이 가능할 것이고 기존 차체조립라인을 대부분 사용할 수 있기 때문에 가장 유망한 대체재료로 판단된다.

Al은 비중을 철의 1/3으로, 철에 필적하는 강도를 얻기 위해서는 판의 두께를 조금 두껍게 함으로써 철판 무게 1/2 정도로 달성할 수 있다. 즉 중량을 50%정도 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

현재로서는 알루미늄판재의 성형성, 용접성이 나빠 적용에 문제가 많지만 앞으로 지속적인 연구

로 몇 가지 문제점이 해결되면 알루미늄차체의 양산화가 확대될 것으로 생각한다.

2. 알루미늄 합금의 특성

알루미늄의 종류는 아주 많다. 크게 분류하면 전신재와 주조재로 분류되고 전신재가 주로 용접용으로 사용된다. 표1에 알루미늄합금과 다른 재료의 물리적 성질을 비교하였다. 표에서 보듯이 연강에 대해 고유저항이 1/3~1/4, 열전도가 3~4배로 저항발열이 작고 발생된 열도 급속히 소산되어 버린다. 또한 알루미늄합금의 표면에는 강한 산화피막(Al_2O_3)이 존재하여 용접을 실시하려면 이 피막의 처리가 아주 중요하다. 특히 용접용으로 많이 사용되는 Al-Mg(50계열)계의 합금에서는 피막이 강하고 피막두께가 두껍다. 피막의 존재는 너깃의 안정화에 방해된다는 설과 접촉저항의 증가에 의해 용접부 품질이 향상된다는 설이 있으나 전극의 소모가 많고 expulsion의 발생되는 등 좋지 않는 면이 더 크다. 브러싱에 의한 접촉저항의 변화를 표2에 나타내었다.

표 1. 물리적 성질과 용접성

	알루미늄	철의 x 배	용접성의 나쁜 영향 방지대책
열 전 도 율	0.53 cal/cm ² /cm/°C/sec	3.3	열소산이 쉽다. →단시간에 통전조건으로 해야한다.
비 저 항	2.65μΩ	0.27	저항발열이 어렵다. →대전류조건으로 한다. 전극의 열적열화가 크다. 연속타점수명이 짧다.
응고수축율	6.8%	5.0	합금에 의해 해가 생기기 쉽다. →전류를 주어서 냉각시킨다.

표 2.

브러싱 하지 않은 상태	1,000~2,000MΩ
브러싱 직후	10~25MΩ
브러싱 3시간후	50~70MΩ
브러싱 12시간후	150~200MΩ

3. 용접방법의 종류

알루미늄합금의 저항용접은 비저항이 낮고 열전도도가 높기 때문에 단시간, 대전류로 용접해야 한다. 그림1에 용접시간-프로세스도를 나타내었다. 초기가압력은 판-판간의 접촉저항을 안정화시키기 위하여 압력을 가하고 용접시에는 압력을 조금 감소시킬 필요가 있다. 용접품질 향상을 위하여 다시 압력을 증가시키는 것이 바람직하다. 용접기의 종류로서는 단상교류식, 3상저주파식, 단상정류식, 3상정류식, condenser축전식등이 사용되고 있다.

① 단상교류식

단상교류식의 용접기는 압력이 커야 하므로 전력설비상의 제약으로 채택이 되지 않고 있는 편이다.

② 3상저주파식

3相저주파식의 용접기는 단상교류식에 비해 저압력(높은 효율)으로 되는 편이어서 철도차량, 항공기 부품에 있어서 많이 사용되었으나 압력기의

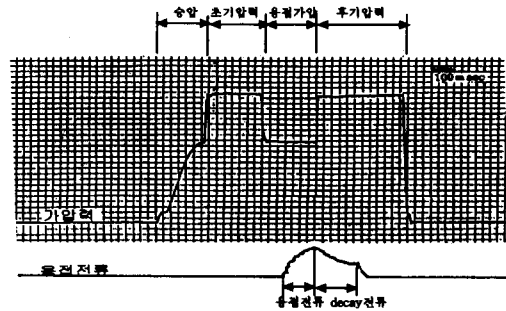


그림 1. 용접mode

고출력 등의 여러 가지 제약이 많아 현재는 그다지 사용되지 않는다.

③ 3단상 3상 정류식

정류식용접기는 2차측에 Diod로 정류된 직류식으로 역률도 0.8~0.9로 대폭 향상시켜, 入力을 절감시킬 수 있다. 최근 각광을 받고 있는 Inverter정류식도 본 방식이다. 열효율이 크게 증가할 수 있을 것으로 생각된다. 표에서 보였듯이 열효율이 높으면서도 고출력의 기기(30,000~50,000A)도 제작할 수 있다.

④ 콘덴서 축전식

콘덴서 축전식 용접기는 단시간 대전류의 용접을 행할 때로 아주 낮은 입력으로도 가능하다. 본 방식은 condenser에 서서히 저장된 전하를 순간적으로 방전하여 대전류를 얻을 수 있다.

종 류	통전방식 (용접전류)	출력의 크기 (최대크기)	전원입력	AI용접능력	주요한 설비포인트
단상정류식	직류	중 20,000~50,000A	단상200V (일부400V)	0.5~3.0mmt	충분한 전원용량이 있으면 경제적이다
3상정류식	직류	대 50,000~100,000A	3상200V (일부400V)	1.0~5.0mmt	대출력용량
인버터 식	직류	소 15,000~20,000A	3상400V (일부200V)	0.5~1.6mmt	소형·경량의 변압기실현 (Robot등에 유리)
컨텐서 식	방전	소~중 500~6,000Ws	단상200V	0.5~2.5mmt	전원설비가 작을 경우
		대 8,000~18,000Ws	3상200V	1.0~3.9mmt	전원설비가 작을 경우

4. 용접성의 검토

AI저항용접은 AI의 낮은 저항과 높은 열전도율로 저항용접이 용이하지 않으나 위에는 여러 가지 용접기가 개발되고 있고 앞으로 더욱 용접기술이 발달될 것으로 예상되므로 저항용접의 기술이 더욱 발전할 수 있을 것으로 생각된다.

AI용접부의 너그은 급냉에 의해 유핵조직(cored structure)이 발생하기 쉽고 균열로 오인할 정도로 편석이 발생하는 경향이 있으므로 AI의 저항용접과 조건의 선정을 건전한 용접부를 선정하는데 중점을 두어야 할 것으로 생각된다.

너그의 적정치로서 많은 연구실적과 실험치로부터 구해진 JIS규격(JIS Z3140)가 있는데, A4급의 평균치로서 $5\sqrt{t}$ (t는 얇은 판쪽의 판두께)가 채용되고 있다.

너그경이 정해져도 단시간 통전에 기인하는 내부결함을 없애기 위한 수단이 필요하다. 주로 용접후 전류와 유지압력으로 컨트롤하여야 한다. 이러한 점이 강판의 저항용접과 다른 점이다.

5. 연속타점 수명

저항용접이 자동차 현장에 적용되기 위해서는 연속타점수명이 어느 정도 보장되어야 경쟁력이 있는 생산성을 확보할 수 있다. 연속타점수명이

짧으면 전극의 드레싱이나 교환작업이 자주 필요하게 되어 용접생산성을 현저하게 저해하므로 아주 중요하다. 특히 AI인 경우에는 특별한 조치를 취하지 않으면 나강판에 비해 그 수명이 수십 분의 1에 불과하게 되는 것으로 알려져 있다.

전극과 판사이의 고온화 → 알루미늄과 전극의 구리와의 확산 국부용융 → 취성이 큰 금속간 화합물의 생성 → 전극선단의 소모탈락 → 통전불안정 → 연결부강도의 불안정 → 열화의 과정을 겪어서 전극수명이 짧아지는 것으로 판단된다. 연속타점의 수명에 영향을 미치는 인자를 열거하면 그림 2과 같다.

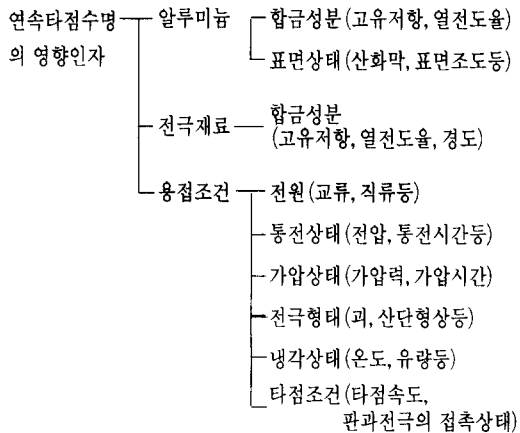


그림 2. 연속타점수명의 영향인자

여러 가지 요인이 있지만 판의 양면을 함께 세정 하면 판-판간의 접촉저항이 저하하므로 너깃생성이 잘 되지 않으므로 전류를 크게 주어야 하나 그 수명을 무처리재의 300~400점 점급의 품질보다 낮아지지 않는 결과도 얻었다. 즉 비교하여 그림 3과 같이 4,000점이 있어도 JIS A알루미늄표면의 산화막이 전극수명에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

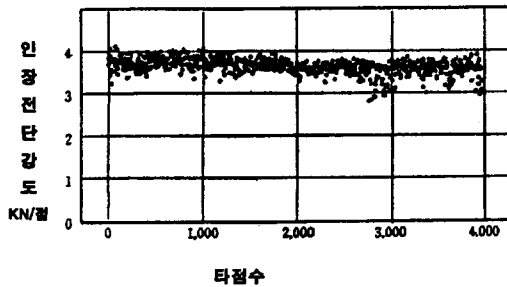


그림 3. 무처리재의 연속타점때의 인장전단강도

6. 인장전단강도의 불안정

인장전단강도의 분산도 연속타점수명과 마찬가지로 중요하다 타점초기의 불안정보다 타점후기의 인장강도 및 피로강도가 안정되어야만 알루미늄으로 제작된 박판구조물의 장수명화가 될 수 있을 것으로 판단된다. 그림4과 그림5에서 1,000점까지의 인장전단강도 분포상황을 나타내었는데 타점초기와 타점후기를 비교해 보면 분산정도는 비교적

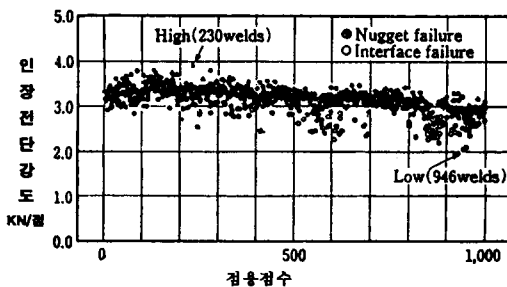


그림 4. 연속타점시의 인장전단강도
(Al-Mg계 1mt 크롬강 16mm ϕ , DR40mm,
2.9KN기압, 25KA \times 6사이클)

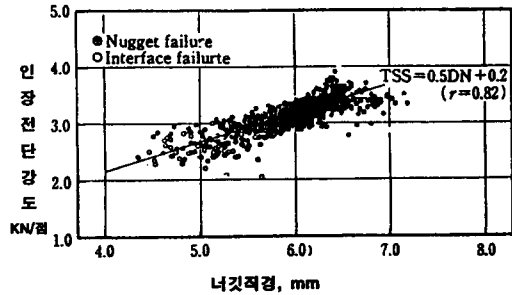


그림 5. 연속타점수와 너깃직경의 인장전단강도와 의 관계

차이가 없으나 타점후기로 갈수록 인장강도가 떨어지는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 너깃의 크기가 후기로 갈수록 작아져서 일어나는 것으로 판단된다. 파단되는 mode도 타점수가 증가에 따라 너깃주위의 모재의 열영향부가 파단되는 형태에서부터 용접계면에서 파괴되는 형태인 Interfacial failure로 옮겨간다. 표면상태의 영향인 표면의 산화막이나 기름 등을 제거할수록 분산이 떨어지고 전극수명도 길게 나타남을 알 수 있다.

7. 알루미늄과 철과의 저항용접

Al재료는 가격이 비싸고 성형성, 용접성등이 현행 사용되고 있는 강판에 비해 낮기 때문에 자동차 차체전부를 알루미늄으로 적용하기는 곤란하다. 단지 차체의 일부를 알루미늄으로 바꾸는 것은 현 단계로는 가능하므로, 본네트등 비교적 넓은 부위에 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

이와 같이 강판과 알루미늄판이 혼재하에 사용되는 경우에는 철판과 알루미늄판을 접합할 필요성이 발생한다. 이러한 이유로 앞으로 철과 알루미늄의 접합기술은 차체등의 제조공정에 있어서 중요한 의미가 있다. 철과 알루미늄의 직접 용접을 행하면 용접부에 취약한 두께 2~5 μ m의 Fe/Al간의 금속간 화합물이 발생하여 신뢰성있는 용접연결부가 얻어지지 않기 때문에 특히 피로하중이 많이 작용하는 차체에 적용하기는 어렵다. 이러한 현상은 강판과 알루미늄 용접차가 크고 결정구조가 다르기 때문에 더욱 그러하다. 강판과 알루미늄간에 현

재 검토되고 있는 접합방법을 대별하면

- ① 기계적 접합법(볼트, 리벳팅등)
- ② 브레이징
- ③ 도금Al판+철판 점용접법
- ④ 접착법
- ⑤ Fe/Al clad재를 인서트재로 사용한 용접법

위 접합방법 중 현재까지 ①의 기계적 접합법이 가장 많이 쓰이고 있는 편이며 접합법등이 일부 쓰이고 있으나 생산성이 떨어져 많은 문제점을 남기고 있다. 앞으로 경쟁력있는 접합법으로 확립되려면 ③등의 방법으로 저항점용접이 가능하게 되어야 하겠지만 궁극적으로 차체전부가 알루미늄화가 되는 것이 가장 바람직하며 경량화에 결정적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

8. 알루미늄 저항용접의 전망

저항용접을 Arc용접에 비하여

- ① 용접변형이 작고
- ② 용접속도가 빠르고 숙련이 필요 없으며
- ③ 한번 용접조건을 선정하면 안정된 품질유지가 비교적 쉽고
- ④ Filler metal이 필요 없어 절차가 간단하며
- ⑤ 자동화가 비교적 간단하다.

따라서 차체구조물 용접에 저항점용접이 주로 적용되는 자동차산업은 아크용접이 주로 적용되는 조선산업과 달리 미국 독일등 선진국에서 포기하지 않고 주종산업이 되고 있는 이유중의 하나이다. 우리 나라 자동차산업등 수송기분야의 경량화를 위해서는 알루미늄 저항용접기술의 지속적인 연구개발이 필요하다. 그러나 상술한 것과 같이 선진국에서는 실험실규모에서 4,000점이상의 타점수명을 유지할 수 있는 기술을 확보하고 있고 일반적으로 1,000점정도까지는 확보된 것으로 보이나 우리 나라에서는 대체로 연구자들이 분산된 상태이고 통일적이며 체계적인 연구개발은 되고 있지 않는 실정이다.

앞으로의 최대의 과제는 연속타점수명의 장수명화와 용접연결부 강도의 분산정도를 줄이는 일이다.

다. 용접부의 보다 높은 생산성과 보다 높은 신뢰성을 얻기 위해서는 소재, 전극재료, 용접기, 접합조건등 각 분야로부터 종합적으로 연구 개발하여야 할 것으로 생각된다.

알루미늄저항용접은 80년대 중반이후부터 어려운 것으로 판단하여 LBW(레이저 용접)등으로 대체하려는 움직임도 있었으나 저항용접의 탁월한 생산성과 용융부가 외부에서 보이지 않는 점등이 부각되어 알루미늄박판구조물 용접방법으로 다시 연구가 활성화되고 있는 경향을 보이고 있고 멀지 않은 시기에 정착될 수 있는 여러 가지 연구 성과가 나오고 있는 실정이다. 따라서 우리 나라도 자동차를 위시한 수송기산업의 국제경쟁력 향상을 위하여 관련연구를 산학연이 합심하여 연구를 진행시켜 나가야 할 것으로 생각한다.

참고 문헌

1. E. A. Patrick, J. R. Auhl, T. S. Sun : Understanding the process mechanisms is Key to Reliable Resistance spot Welding Aluminum Auto Body Components, SAE 840291(1984)
2. G. A. Dorsey, F. E. Gibbs : Aluminum pretreatment to improve Resistance Spot Weld Tip life, SAE 770204(1977)
3. G. L. Leone, B. Altshuller : Improvement on the Resistance Spot Weldability of Aluminum Body sheet, SAE 840292(1984)
4. 長谷川和芳 : アルミニウム合金の抵抗溶接 溶接技術, 1991年3月
5. S. F. Meleary, D. j. spinella : Weld condition of Aluminum Automotive sheet, SAE 970011(1997)
6. 강성수 : 이종점용접재의 피로거동에 관한 연구, 박사학위논문(1990).
7. 신현일, 강성수 : 열입량이 Al점용접성에 미치는 영향, 대한용접학회춘계학술대회논문집, 대한용접학회(1995)