

Cu / Al 이종 합금의 맞대기 마찰교반용접의 접합특성

The Joining Characteristics of Butt Friction Stir Welded Cu / Al Alloys

최 준웅*, 강제원*, 고 영봉**, 주 형대***, 박 경채*

* 경북대학교 금속신소재공학과

** 한국 화학 시험원

*** 항공기술 연구소

1. 서 론

Al 및 Mg등의 경량합금은 저밀도이면서 높은 비강도 특징을 가지고 있지만, 종래의 용융 접합 방법으로는 양호한 접합부를 얻기가 힘들었다. 그러나 마찰교반접합법(friction stir welding, 이하 FSW)이라는 소성유동을 이용한 고상 접합법의 개발로 저용점 금속의 접합이 가능해졌을 뿐만 아니라, 접합부의 성능이 비약적으로 향상되었다. 이와 관련하여 현재 많은 연구가 진행되고, 그 결과가 계속 보고되고 있다.⁽¹⁾ 주로 자동차 산업, 항공 우주 산업 등의 분야에서 수송기기의 경량화 및 신뢰성의 향상을 목적으로 구조용 재료에 Al, Ti, Mg등의 동종금속재료간의 FSW 적용이 활발히 진행되고 있으나 고강도가 요구되는 구조주체에는 당연히 철강재료가 사용되므로 경량화의 실현에 반대되고, Al재료와 철강 재료라는 이종 금속재료간의 접합이 새로운 기술 문제로 부상되고 있다.

이로 인해 이종 간 용융 접합 시 형성 되는 금속간 화합물에 의한 결함이나 기계적결합의 생성을 줄이는 방법이 모색되는 중에 마찰교반용접의 적용에 관한 연구가 시작 되고 있다.⁽²⁾

본 연구에서는 Pin의 삽입 위치에 따른 맞대기 접합의 최적 성을 고려하여 Al 5052합금과 순 구리의 이종 간 접합을 실시하고, 소성유동과 접합면의 영향을 조사하고자한다.⁽³⁾

본 실험에서 얻어지는 결과로 철강 재료와의 접합과 열전도나 전기전도도가 좋은 이종재료간의

접합가능으로 인해 열교환기 제작의 기초 연구를 목적으로 했다.

2. 실험 방법

접합 장비는 자체 제작하였으며 회전속도-최대 2100 rpm, 이송속도-최대 2000mm/min, 하중-최대 1.5 ton까지 제어가 가능하다. 접합에 사용한 tool의 규격과 접합 조건은 table. 1, 2에 나타내었다. 시험편 제작은 판재를 아세톤으로 초음파 세척한 후 각기 다른 사이즈 51, 53, 55, 55.2, 55.4, 55.5mm^L × 100mm^W × 4mm^T의 Al판재와 40mm^L × 100mm^W × 4mm^T의 Cu판재를 각각 Milling machine으로 가공했다. 양재료의 폭 측면에 시편고정용 다이를 제작하여 Pin 삽입시 걸리는 하중에 의해 시편의 밀림현상을 방지 하

Table 1. Designated parameters of tool

| Type of Material | | Shoulder diameter | Pin diameter | Pin length |
|------------------|----------|-------------------|--------------|------------|
| Pin | Shoulder | | | |
| WC-CO | WC-CO | 15 | 5 | 3.5 |

Table 2. Welding condition

| Rotating speed (rpm) | Welding speed (mm/min) | Load (ton) |
|-----------------------------|------------------------|------------|
| 1100,1400 1600 1800,2000 | 100 | 1 |

였다. 각기 다른 Size의 시편을 제작하여 pin의 삽입 위치에 따른 접합계면과 교반부의 변화를 관찰 하였다. 각 접합 조건에서의 접합부 특성 평가를 위해 인장강도와 경도를 측정하고, 조직 관찰을 실시하였다.

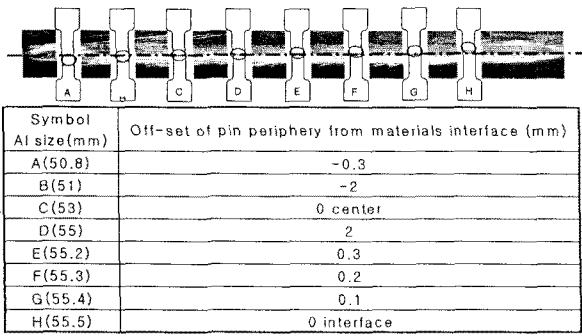
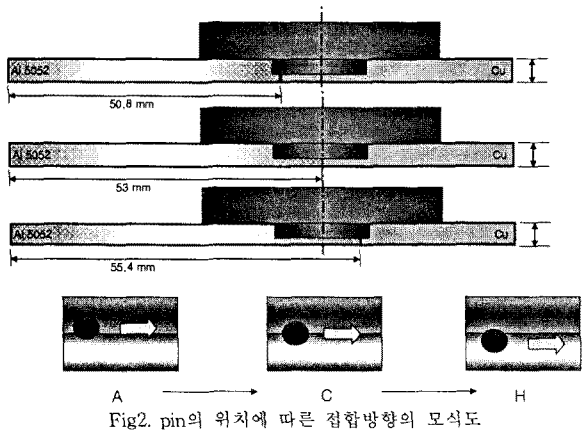


Fig1. 각 집합에 따른 핀의 위치와 판단위치



3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합에 미치는 Pin 위치의 영향

일반적인 맞대기 접합에서는 이종간의 접합 시에는 pin의 파손이 쉽고, 안정된 접합은 이루어 지지 않았다. 이것으로부터 기계적 특성이 다른 이종간 마찰접합에서는 재료계면에서부터 pin의 위치 설정이 접합 성공여부를 결정하는데 큰 영향이 있다고 생각된다.

그림1에 나타난 수치에 의해 접합성에 미치는 pin의 위치의 영향을 조사하였다.

각 시험편에서 pin의 위치를 나타내는 모식도와 Pin의 위치 변화효과를 낼 수 있는 Al 5052시편 size의 종류를 그림 2에 나타내었다. 그림에는 A부터 H까지 각 치수를 알파벳으로 표기 하였다. 그림3(a)는 접합체의 외관을 나타 낸 것으로 양재료간의 양호한 접합이 이루어 진 것을 알 수 있다. 그림4에는 인장 강도를 나타내었다. 그림 중 파단선에서 Al 5052모재의 인장강도와 파단후의 시험편의 외관을 함께 나타내었다. 이것에서 A~B까지는 Interface에서 판단이 일어난 것을 알 수 있다. 이는 Rod에 걸리는 하중 과 마찰열로 인해 Cu가 Al쪽으로 교반이 아닌 밀립 현상에 의해 완전한 접합이 이루어 지지 않았다고 본다. 시편

C~H까지는 경질재료내의 Pin에 의해 강제적으로 교반이 이루어 저 높은 접합강도가 얻어지는 것이 판별되었다. 접합강도가 높은 이음부에서는 Al 5052모재에서 파단이 이루어지는 것으로 보아 접합효율을 높이는 효과를 확인 하였다.

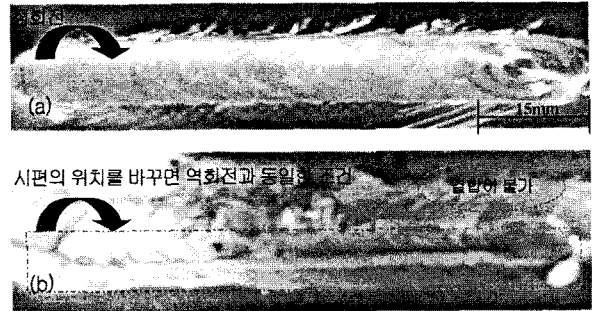


Fig3. Tool의 (a)정방향과 (b)역회전으로 실시한 시편

3.2 접합에 미치는 Pin 회전방향의 영향

본래 동종간의 접합 시에는 pin의 회전 방향이 접합가능성에는 큰 영향을 미치지 않았으나 본 실험의 경우 Tool의 회전 방향은 이종재료간의 유동성의 차이가 큰 관계로 중요한 검사 대상이 된다. Pin의 위치와 Tool의 회전 방향은 시계방향으로 고정하고 시편의 위치만 바꾸어 회전방향의 변화에 따른 접합 가능성을 관찰 하였다. 시험 후 시편 외관을 그림3(b)에 나타내었다. 정회전에서는 접합이 가능 하였으나 본 실험 조건에서는 역회전의 접합은 불가능 하였다. 여기에서 역회전의 경우 교반현상을 모식적으로 그림 4(b)에 나타냈다. 그림에서 소성유동을 많이 유발하여 접합이 이루어지는 부분이 진행방향 앞으로

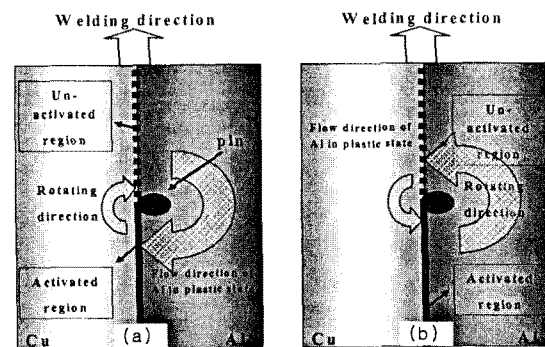


Fig4. 접합시 각각 다른 회전방향에 따른 소성유동

로 유동을 시킴으로써 접합부분을 진행하는 Pin이 파쇄하기 때문에 결과적으로 건전한 접합은 달성되지 않았다. 이와 반대로 정회전의 경우 Pin이 진행되는 방향의 뒤에서 소성유동이 많이 일어남으로 Cu쪽의 빈 공간을 채워주는 형상으

로 접합이 되어 완만한 접합을 이룰 수 있다

3.3 접합에 미치는 pin 회전수의 영향

동종재료의 마찰교반용접에 있어서 Tool의 회전수에 따른 접합강도가 변화하는 것이 일반적이다. 이에 이종재료간의 마찰교반접합에도 미치는 영향을 조사하였다. 그림1에 나타난 시편의 종류를 이용하여 Al interface에서 center를 지나 Cu interface부근까지 각각의 시편을 각기 다른 회전수로 접합하였다. 각 회전수에 따른 시편의 인장 시험 결과를 그림5.에 나타내었다. 여기에서 시편 F~G의 1600rpm에서 1800rpm 범위에서는 모재가 파단 하는 적당한 접합이 되었고,2000rpm이상 일 때는 접합 강도가 떨어지는 것을 확인 했다. 시편 A~C 범위에서는 접합계면에서 파괴가 일어나는 조건을 얻었다.

발열량이 회전수에 비례하는 것으로부터 회전수의 증대는 소성 유동을 촉진하고, 회전수가 초과할 경우 재료의 과도한 연화를 일으켜 접합에 적절하지 않은 것을 추측 할 수 있다.

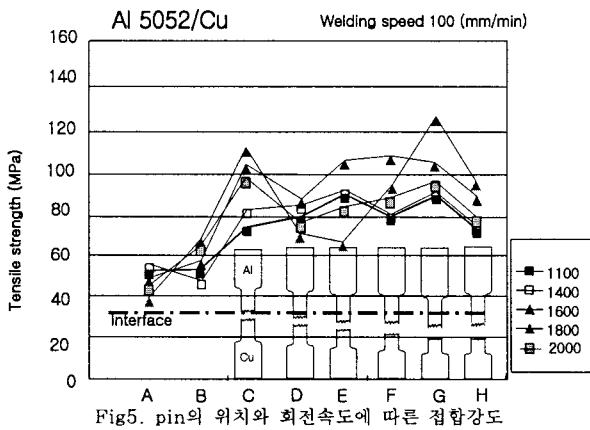


Fig5. pin의 위치와 회전속도에 따른 접합강도

3.4 접합부의 경도에 따른 파단방향성

그림6과 그림7에서 pin의 위치에 따른 최고 접합강도를 보인 시편의 파단면을 살펴보면 A~B영역에서는 접합계면을 따라 파단이 일어났고, C영역대인 center에서는 내부 결함에 의한 계면에서의 파단을 추측 할 수 있다.⁽⁴⁾ 접합강도가 좋은 F~H에서는 모재부분에서 파단이 일어났다. 이를 그림8에 적용해서 보면 Cu의 소성유동으로 인해 교반부의 상부와 하부에서 Cu를 발견할 수 있고 경도 확인 결과 모재보다 훨씬 강한 상태를

확인 할 수 있다. 그러므로 파단시 경도가 강한 부분보다 상대적으로 약한 교반부의 중심과 모재의 TAMZ부분에서 파단이 일어나는 것을 알 수 있었다.

| | | |
|----------------------------|--------------------|--|
| 1400rpm Symbol A (50.8) | | |
| 파단 부위 | HAZ-TMAZ Interface | |
| 1800rpm Symbol C (53) | | |
| 파단 부위 | SZ(Stir zone) | |
| 1800rpm Symbol G (55.4) | | |
| 파단 부위 | SZ(Stir zone) | |

Fig6. 조건에 따라 각기 파단위치의 변화

> 접합계면에서의 파단



> 교반부와 내부 결함에서의 파단



> 마찰열과 소성 유동에 의한 금속간 화합물의 형성으로 금속간 화합물이 형성 하지 못한 곳으로 파단이 진행



Fig.7 시편의 내부 결함과 소성유동으로 인한 파단면의 영향

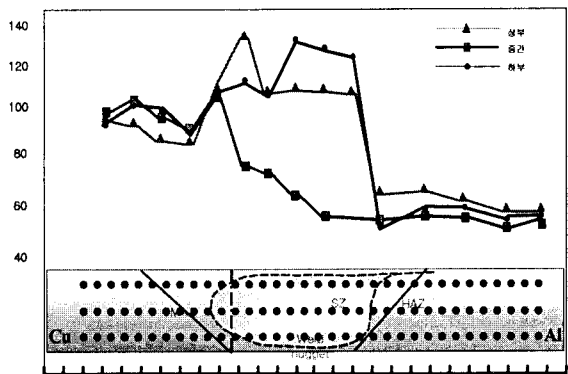


Fig.8 접합부에 상·중·하에 따른 경도 변화

4. 결 론

마찰교반 접합을 실시한 Al/Cu 재료간의 직접 접합의 가능성을 검토 하였다. 또 접합에 관여한 각종 인자의 영향을 검사했다. 얻어진 결과를 아래에 기술했다.

- 1) Pin의 위치가 경질의 재료보다는 약한 재료 쪽으로 대부분이 삽입된 곳에서 경질의 재료 쪽으로 0.1mm의 위치가 가장 적합하였다.
- 2) 고강도를 나타내는 경우의 이음 부는, Al 5052합금 내에서 파단 되는 것을 보아 본 접합은 이음부의 효율을 잘 이용하였다.
- 3) 본 실험의 조건 내에 있어서는 정회전 에서의 접합이 가능하였다.
- 4) Tool의 회전수가 1800~2000rpm이고 Pin의 위치가 0.1mm인 조건에서의 접합강도가 최대 142MPa이 나왔고 모재의 60%에 상당했다.

참 고 문 헌

1. R.S. Mishraa, Z.Y. Mab : Friction stir welding and processing, 2005
2. J. Ouyang, E. Yarrapareddy, R. Kovacevic : Microstructural evolution in the friction stir welded 6061 aluminum alloy(T6-temper condition)to copper, 2005
3. W. TAKEHIKO, T. HIROFUMI, K. SHIZUYO : Observation of the Solid State Welded Interface between Steel and Aluminum Alloy Using a Rotating Pin, 2005
4. H J. Liu, Y. C. Chen : Effect of zigzag line on the mechanical properties of froction stir welded joints of an Al-Cu alloy, 2006