

마찰교반용접법을 이용한 이종재료(알루미늄/동, 탄소강)의 접합특성

Joint properties of dissimilar materials by friction stir welding method

이 원 배*, 김 중 응*, 이 중 봉**, 연 윤 모***, 정 승 부*

*성균관대학교 신소재 공학과

** POSCO 기술 연구소

***수원과학대 자동화시스템과

1. 서 론

마찰교반용접(Friction Stir Welding)은 1991년 개발된 이후 기존의 용융용접법으로 접합이 어렵다고 알려진 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 동 합금 등에 적용되어 우수한 접합부 특성을 나타내고 있다. 마찰교반용접법은 접합하고자 하는 재료를 용접이하에서 특수하게 제작된 접합틀을 이용하여 재료의 소성유동 및 마찰열을 이용하여 접합하는 고상접합법이다. 고상에서 재료를 유동시키기 위해서는 접합에 이용되는 틀은 접합하고자 하는 재료에 비해서 훨씬 용접이 높고, 고온에서 기계적인 특성이 우수해야 한다.

기존의 알루미늄 합금 및 마그네슘 합금의 경우 Fe 계열의 공구강을 틀 재료로 이용하여 틀의 현저한 마모 없이 우수한 접합특성을 보였다^{1,2)}. 그러나 FSW 기술의 상용화를 진전시키기 위해서는 기존의 저 용점의 알루미늄 합금 및 마그네슘의 합금은 물론이고 고 용점의 동 합금, 타이타늄 합금, 철계 합금에도 적용이 필수적이다³⁾. 그러나 고용점의 재료를 접합하기 위해서는 우수한 고온특성을 가지고 있는 틀재료에 대한 개발 및 이에 수반한 비용의 증가 등이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 실험에서는 기존의 알루미늄 및 마그네슘용 접합틀을 이용하여 알루미늄 합금과 무산소 동, 알루미늄 합금과 극저탄소강의 맞대기 및 겹치기 방식으로 접합을 하고자 한다. 동 및 탄소강 동종끼리의 접합을 할 경우 틀의 소모가 불가피하기 때문에 이와 같은 간접적인 방법으로 고 용점 재료의 접합특성을 파악하고자 한다. 또한 산업의 발전이 진전됨에 따라 구조재료의 경우도 다기능화가 요구되고 있기 때문에 이종재료의 용접기술 또한 매우 중요한 기술이다. 따라서 본 실험을 통해 마찰교반용접법의 이종재료의 적용가능성에 대해 알아보하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 알루미늄 6061 합금, 무산소동, 극저탄소강(0.0033%C)을 이용하였다.

6061 과 무산소동의 접합의 경우 2mm 두께의 판재를 이용하여 맞대기(butt) 및 겹치기(lap) 접합을 각각의 회전수 및 용접속도로 행했으며 6061 과 탄소강의 접합의 경우 각각 2mm, 1mm 두께의 판재를 이용하였다. 6061과 무산소동의 맞대기 접합의 경우, 맞댄면 중앙에 틀을 삽입하고 접합을 실시하면 두 재료의 기계적인 특성의 차이로 인해 접합장치에 심한 진동이 발생하고 접합면에 결함이 다수 발생하기 때문에 접합틀의 중심을 알루미늄 합금쪽으로 이동하여 접합을 실시하였다. 또한 겹치기의 경우 틀 재료의 마모를 고려하여 상대적으로 연질인 재료를 위쪽에 위치시켰으며, 상대적으로 경질인 무산소 동과 탄소강을 위치시켜 틀과의 접촉면적을 최소화하였다. 각각의 접합조건에서 접합을 행한 후 접합부 용접 방향에 수직방향으로 절단한 후 결함유무 및 미세조직을 관찰하였으며, 미세조직 관찰을 위해 알루미늄 합금은 켈러(keller) 액으로, 동합금은 알파 액(암모니아수, 과산화수소, 증류수)으로, 탄소강은 나이탈(Nital) 액으로 부식 후, 광학현미경(OM) 및 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 관찰 하였다. 접합부 근방의 기계적인 특성을 파악하기 위해서 경도 시험 및 인장강도시험을 행하였다.

3. 결 과

1) 6061 알루미늄 합금과 무산소동의 접합 87mm/min의 일정한 용접속도로 틀의 회전수를

2500rpm, 1600rpm으로 변화시켜 맞대기 접합한 접합부의 수직 단면조직을 Fig.1 에 나타냈다.

동종재료의 접합부와는 달리 매우 복잡한 조직들이 관찰되고 있음을 알 수 있다. 거시적인 관찰에 통해서 접합부는 알루미늄 합금과 유사한 조직, 무산소동과 유사한 조직 및 두 재료가 혼합하여 반응이 일어나 제3의 상들이 생성된 조직들이 관찰되고 있다. 회전수가 1600rpm 경우가 2500 rpm 인 경우에 비해 훨씬 더 복잡한 미세조직을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 거시적인 관찰에 의해서 접합부에서는 어떠한 결합 등이 관찰되지 않음을 알 수 있다.

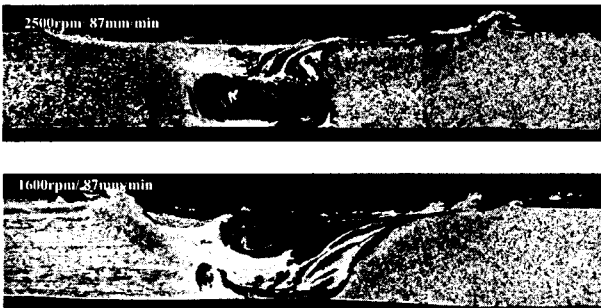


Fig.1 Macrostructures of butt-welded 6061 Al alloy/Cu

따라서 여러 상들이 혼합된 미세조직 및 성분원소의 변화를 관찰하기 위해 회전수 2500rpm의 조건에서 접합한 접합부의 위 부분을 SEM이용하여 관찰한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 조직의 차이에 의해 (a), (b), (c) 세 영역을 EDX(Energy Dispersive X-ray)를 이용하여 분석하였다. (a) 영역의 경우 저 배율의 광학조직으로 관찰 한 경우 동과 유사한 노란색의 광택을 나타내고 있어 순수한 동의 조직이라 사료됐지만 분석한 결과 동과 알루미늄이 반응하여 생성된 금속간 화합물이라 판단되었다. (b) 영역의 경우는 거의 알루미늄 원소만이 검출되었기 때문에 6061 알루미늄 합금의 재결정조직임을 알 수 있다. (c) 영역의 경우, 조직적으로는 (a) 영역과 거의 유사하게 관찰되지만 특이하게 Fe 가 미량 검출됨을 알 수 있는데 이는 부분적으로 틀의 마모에 의한 Fe가 검출되었으리라 사료되며 이에 대한 더 정밀한 분석이 필요하다고 판단된다. 또한 이와 유사한 EDX 분석결과가 접합중심부에도 관찰되었다.

Fig. 3 에서는 1250 rpm 의 회전수, 127mm/min 의 용접속도에서 상대적으로 경질

인 무산소동을 아래에 위치시켜 겹치기 형식(lap joint)으로 접합한 접합부의 거시 및 미세조직을 나타낸 그림이다. 거시 조직사진을 통해 알 수 있듯이 두 재료의 소성유동은 접합면 근방에서 현저하게 이루어짐을 알 수 있으며 그 외의 접합부의 경우 동종재료와 거의 유사한 조직변화가 관찰됨을 알 수 있다.

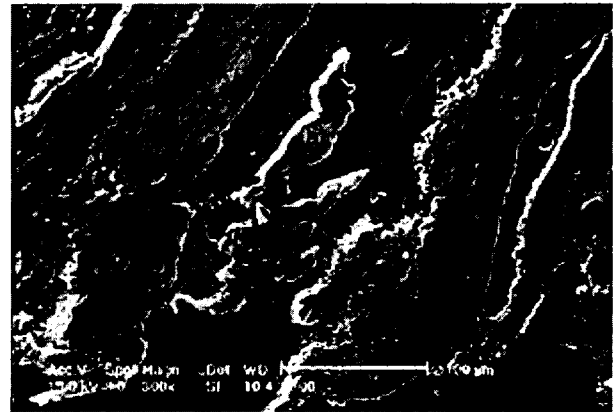


Fig.2 SEM microstructure of weld zone.

또한 접합면 근방에서는 어떠한 결합도 관찰되지 않았다.

무산소 동의 모재의 조직은 쌍정 및 변형조직들이 다수 관찰되고 있으나 용접부 중심 및 근방에서는 이러한 변형조직들이 약간은 사라짐을 알 수 있으며 접합도중 입열의 영향에 의해 입자들이 성장하여 약간 조대한 조직들이 관찰되고 있다. 알루미늄 합금의 경우도 초기 모재의 연신된 조직들이 접합부에서는 재결정에 의해 약간 미세한 등축정의 결정입자들이 관찰됨을 확인할 수 있다.

접합중심에서 알루미늄 합금의 쪽의 계면(c)의 경우 두 재료가 반응하여 어느 정도의 두께를 가진 반응층이 형성됨을 관찰 할 수 있지만, 무산소동 쪽으로 경우(d)는 이러한 반응층은 거의 관찰할 수 없었다.

2) 6061 알루미늄 합금과 극 저탄소강의 접합

Fig4 에서는 550 rpm의 회전수, 61mm/min 의 용접속도에서 6061 알루미늄 합금과 극 저 탄소강을 접합한 수직단면의 거시 및 미세조직을 나타낸 그림이다. 거시 조직을 통해 알 수 있듯이, 용접부 중심에 미접합 부위가 형성됨을 확인할 수 있다. 이는 저 회전수에 기인한 용접입열의 부족때문이며, 적절한 용접변수의 조절을 통해

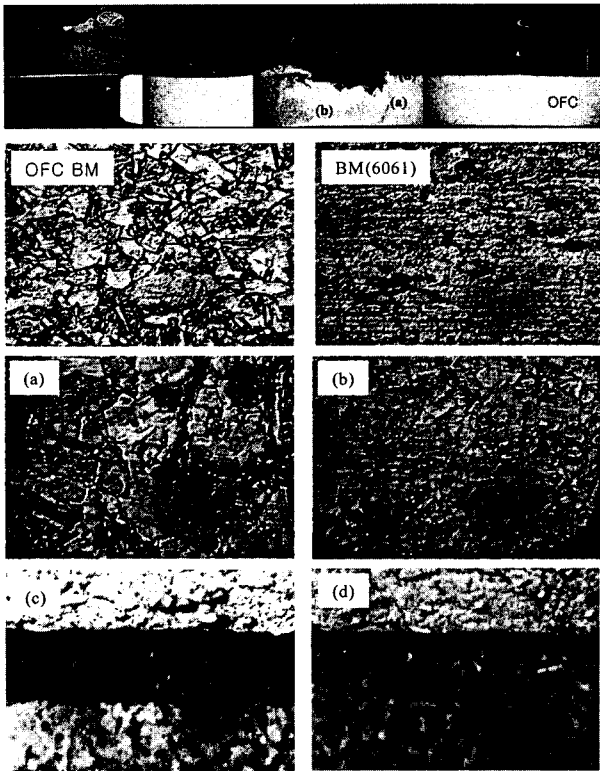


Fig.3 Microstructures of each region of lap jointed 6061 Al alloy and Cu

결함이 없는 우수한 접합부를 얻을 수 있으리라 사료된다.

또한 알루미늄 접합부에서는 부분적으로 탄소강이라 사료되는 조직들이 관찰되었으며 이는 경질인 탄소강이 접합부의 회전에 의해 알루미늄 합금쪽으로 침투(penetration)하였을 거라 사료된다.

극 저 탄소강의 모재의 조직은 대부분 약간 연신된 페라이트조직으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 용접부근방의 경우(a) 모재에 비해 약간 조대하며 등축정의 입자들이 형성됨을 알 수 있다. 그러나 용접부 중심의 경우(c) 모재의 조직과는 현저하게 다른 입자들이 관찰됨을 알 수 있다. 이는 틀의 회전작용과 마찰열에 기인한 재결정에 의한 매우 미세하고 등축정인 재결정 조직들이 형성되었다. 접합부 주위는 틀의 회전에 기인한 극심하게 연신된 조직들이 관찰되고 있다. 용접부의 미세조직 및 상분석은 추가실험이 필요하다고 생각되며 이에 대한 결과는 차후에 보고할 예정이다.

6061 알루미늄 합금의 경우도 용접부에서는 모재에 비해 약간 미세하고 등축정인 재결정조직들이 관찰되었다.

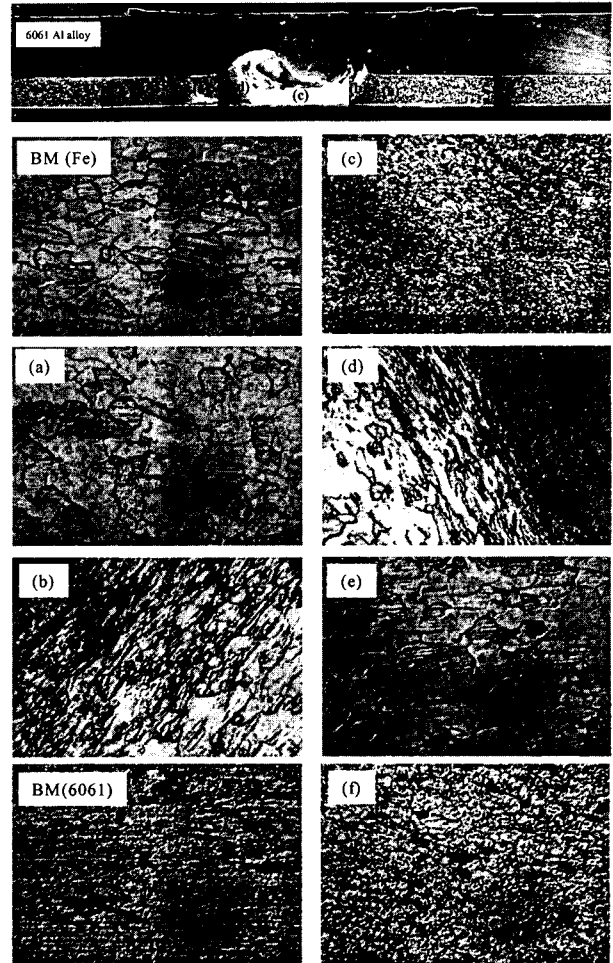


Fig.4 Microstructures of Fe alloy/6061 Al alloy joint.

4. 결 론

마찰교반용접법을 이용하여 기계적인 특성이 현저하게 다른 이종재료를 접합하여 접합부의 미세조직을 관찰한결과 동종재료와는 현저하게 다른 조직들이 관찰됨을 알 수 있다. 또한 적절한 접합변수를 선정하면 결함이 없는 우수한 접합부를 얻을수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. W.B.Lee, Y.M.Yeon, Shae.K.Kim, Y.J.Kim and S.B.Jung: Proc. of Magnesium Technology 2002, TMS, Seattle, USA,(2002), 309-312.
2. W.B.Lee, Y.M.Yeon, and S.B.Jung: Proc. of Friction Stir Welding and Processing II, TMS, Sandiego, USA,(2003), 123-131
3. T. J. Lienert, W. L. Stellwag, Jr., B. B. Grimmer and R. W. Warke, Weld. J. (2003) 1-s.