

레이저 플러그 브레이징을 이용한 금속 박판의 접합

Joining of Thin Metal Sheets Using Laser Plug Brazing

윤석환*, 나석주*

* 한국과학기술원 기계공학과

ABSTRACT Recently, lots of joining methods of thin metal sheets are being developed in order to improve joint quality and productivity in manufacturing area. Current existing welding methods are continuously challenged as new materials and smaller thickness of metal sheets are required. In this study, laser plug brazing process was investigated as a new joining method of thin metal sheets. A CO₂ laser system with automatic feeding of filler metal wire and flux was developed, and laser plug brazing experiments were conducted. The brazed joints were analyzed using various methods.

1. 서 론

자동차나 항공 산업 등에서 이루어지고 있는 금속 박판의 접합은 기존에는 저항 점 용접과 같은 용접 방법이 주로 개발되어 사용되었으나, 근래에 들어 금속 박판의 경량화 및 고기능성화에 대한 요구로 인하여 용접이 어려운 다양한 재료가 도입되면서 점차 용접을 대체할 접합 방법이 여러 각도에서 시도되고 있다¹⁾. 이에 따라 최근 들어 세계적으로 활발히 연구되고 있는 금속 박판의 접합 방법으로는 리벳을 이용한 기계적 체결법, 접착제를 사용한 접착법, 그리고 모재보다 낮은 용융점을 갖는 용가재를 사용하는 브레이징 등을 들 수 있다. 기계적 체결법은 공정의 고속 자동화를 위하여 self-piercing rivet 등을 이용하는 방법과, 리벳을 이용하지 않고 판재의 소성 변형만을 이용한 클린칭(clinching) 공정이 주로 연구되고 있다²⁾. 또한, 접착제를 이용한 접착법은 설비 및 공정이 간단하고 넓은 접착면으로 인하여 응력 집중 현상이 완화됨과 동시에, 접착층에서 진동이나 소음과 같은 에너지 흡수 효과가 크다고 보고되어 역시 활발히 연구되고 있다³⁾. 한편, 브레이징 공정은 용접과는 달리 모재가 용융되지 않는 공정으로서, 플럭스 등을 이용하여 모재의 산화막을 제거하고 용가재를 용융시켜 젖음 및 퍼짐 현상과 모세관 현상을 이용하여 모재 사이의 간극을 채우는 공정이며 입열량이 현저하게 적어 열 영향 및 접합에 따른 변형이나 잔류

응력이 적다는 장점이 있다. 특히, 알루미늄과 같은 비철금속재료의 접합이 용이하고 서로 다른 종류의 이종 금속 재료의 접합이 가능하여 향후 많은 활용분야가 발생할 것으로 기대되는 접합 방법이다⁴⁾. 본 연구에서는 브레이징 열원으로서 집속도가 높고 자동화가 용이한 레이저 빔을 사용한 레이저 브레이징을 이용하여 저탄소강, 아연도금강판 및 알루미늄 합금 박판에 대한 접합 실험을 실시하였다. 용가재의 원활한 간극 채움을 유도하기 위하여 겹치기 접합부의 상판에 미리 구멍을 뚫어 이 부분을 통해 용가재를 용융시키는 플러그 브레이징의 형태로 접합을 하였으며 접합된 접합부는 단면을 절취하여 단면검사, EDS 성분검사 및 인장강도 측정을 통하여 다양한 분석 및 평가를 시도하였다.

2. 자동 레이저 브레이징 시스템 개발

근래에 들어 전통적인 브레이징 공정을 자동화하여 생산에 적용하려는 일련의 시도들이 있었는데⁵⁾, 본 연구에서도 효율적인 현장 적용을 위한 레이저 브레이징 자동화를 위한 시스템을 개발하였다.

구성된 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다. 시스템은 크게 CO₂ 레이저 발전기와 5축 테이블, 브레이징 용가재 자동 공급장치, 플럭스 자동 공급장치 및 이들을 제어하기 위한 컴퓨터와 콘트롤러로 구성되어 있다. 사용된 CO₂ 레이저는 최대

출력 700W의 continuous beam 타입을 사용하였으며, 브레이징 용가재 자동 공급장치는 롤러에 감겨 있는 브레이징 용가재 와이어를 DC모터 및 롤러를 사용하여 레이저 헤드 부분까지 테프론 관을 사용하여 공급시키는 방식을 택하였다.

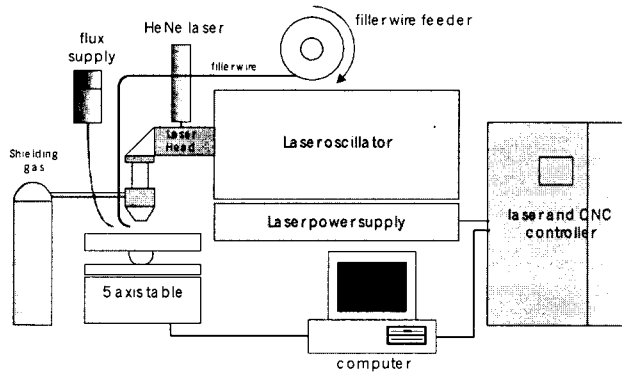


Fig.1 Laser brazing system for automation

한편, 플럭스 공급 장치는 액체나 분말, 혹은 페이스트 형태의 플럭스를 물과 희석시켜 중력을 이용하여 접합부까지 공급하였고, 두 개의 스톱코크를 사용하여 정밀한 유량을 제어할 수 있도록 고안하였다. 그밖에 레이저 빔의 위치 확인을 위한 He-Ne 레이저를 사용하였고, 레이저와 테이블의 전체적인 제어는 컴퓨터와 CNC 코드를 사용하였다.

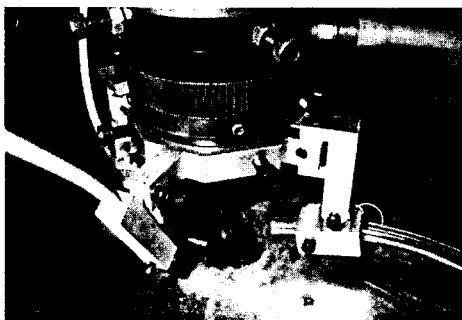


Fig.2 Laser brazing head

Fig. 2는 제작된 레이저 브레이징 헤드의 모습이다. 레이저 브레이징 헤드에는 브레이징 용가재 와이어 및 플럭스가 전용 관을 통하여 접합부로 공급되고, 공기중으로부터 접합부의 차단을 위한 보호 가스가 헤드의 축 방향 및 옆 방향에서 동시에 공급되도록 하였다. 보호 가스로는 불활성 가스인 Ar 가스를 사용하였다.

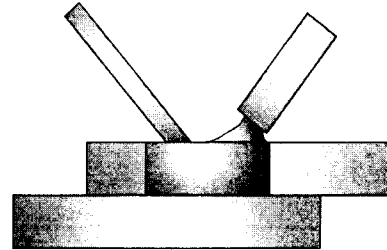


Fig.3 Laser plug brazing

Fig.3은 레이저 플러그 브레이징 공정의 개요를 나타낸다. 금속 박판의 겹치기 접합부에서 상판에 미리 천공된 구멍을 이용하여 이 곳을 레이저로 가열하면서 용가재 및 플럭스를 공급시켜 가열된 플럭스가 활성화되어 접합부의 산화막을 제거하면 용융된 용가재가 구멍을 채움과 동시에 모세관현상으로 인하여 모재 사이의 간극에 침투하여 접합이 이루어지는 구조이다. 이 방법은 모재 사이의 간극에 쉽게 브레이징 용가재를 침투시킬 수 있어 안정적으로 접합 강도를 확보할 수 있는 방법이다.

3. 레이저 플러그 브레이징 실험

제작된 레이저 브레이징 시스템을 이용하여 레이저 플러그 브레이징 실험을 실시하였다. 사용한 모재는 저탄소강, 아연도금강, 그리고 Al6061 알루미늄 합금 판재를 사용하였으며, 두께는 모두 1mm의 시편을 사용하였다. 시편의 크기는 105mm×25mm의 직사각형이며 천공된 구멍의 직경은 3mm 및 6mm의 두 가지로 분류하여 접합 실험을 실시하였다. 사용한 레이저 빔의 모드 역시 TEM₀₀ 및 TEM₀₁ 모드의 두 가지를 시도하였으며, 천공된 구멍 직경에 맞추어 빔 반경을 변화시켜 실험하였다.

사용한 용가재는 저탄소강 및 아연도금강의 접합에는 직경 1mm의 AWS BA_g-1 브레이징 와이어를 사용하였고, Al6061 알루미늄 합금의 접합에는 직경 1.2mm의 AWS BA_{Si}-4 브레이징 와이어를 사용하였다.

모재 사이의 간극은 0.03mm 이하, 0.03mm-0.1mm, 0.1mm 이상의 세 경우로 나누어 실험을 실시하였으며, 브레이징 용가재의 공급량은 천공된 구멍 내부의 원통형 체적과 같

게 공급하였다.

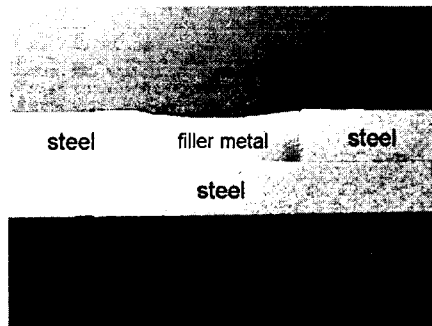


Fig.4 Laser plug brazed joint

Fig. 4는 레이저 플러그 브레이징 방법을 사용하여 접합된 접합부 단면의 예이다. 두께 1mm의 저탄소강 판재를 겹치기 접합하였으며 상판에 지름 3mm의 구멍을 천공하여 레이저를 조사하면서 용가재 및 플럭스를 공급하였다. 사용한 레이저 빔은 TEM₀₁, 모드로서 유효 빔 반경은 약 1.4mm로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 천공된 구멍 주변의 간극으로 용융된 용가재가 채워져 있는 것을 관찰할 수 있다.

접합된 접합부의 기계적 성질을 평가하기 위하여 겹치기 접합부에 대한 인장시험을 실시하였다. 인장 속도는 분당 3mm로 하여 하중을 가하였으며 세 종류의 간극 크기에 대한 인장 시험을 실시하였다. 그 결과의 예로서, 저탄소강판의 접합에 대한 인장 시험 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

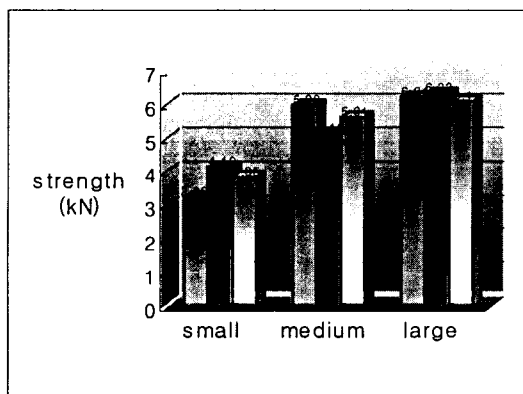


Fig.5 Results of lap-shear tests

결과에서 알 수 있듯이 0.03mm 이하의 지나치게 작은 간극에서는 용융 용가재 침투가 어려워져 접합 강도가 낮게 나타났으며, 중간 혹은

큰 간극에서 용가재가 원활하게 모재 사이의 간극을 채우는 현상이 발생함과 동시에 이에 따른 접합 강도도 확보되는 것을 알 수 있었다. 특히, 중간 크기 이상의 간극에서는 대부분 파단이 모재에서 일어났으며, 그 파단 하중도 6-7kN에 달해 용접한 접합부와 거의 동등한 접합 강도를 보였다.

4. 결 론

금속 박판의 겹치기 접합 방법으로서 레이저 플러그 브레이징 공정을 개발하여 접합 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 플럭스 및 용가재의 공급 등이 모두 자동화된 레이저 브레이징 시스템을 개발하고 겹치기 접합부의 상판에 구멍을 천공하는 플러그 브레이징의 형태로 성공적으로 금속 박판을 접합하였다.

2) 저탄소강판 뿐 아니라 아연도금강판, 알루미늄 합금 판재에 대하여 성공적으로 레이저 플러그 브레이징을 실시하였으며, 특히 아연도금이 손상되지 않음을 확인하였고 접합 강도도 용접에 준하는 수준을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 중점국가연구개발사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. B. Irving : Building Tomorrow's Automobiles, Welding Journal, August, 1995, 29-34
2. H. Flegel : Good Joining, Safe Driving - What will hold the automobile of the future together, Welding & Cutting, 51(12), 1999, 248-252
3. T.A. Barnes and I.R. Pashby : Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles, Journal of Materials Processing Technology, 99, 2000, 62-79
4. E. Schubert, M. Klassen, I. Zerner, C. Walz and G. Sepold : Light-weight Structures Produced by Laser Beam Joining for Future Applications in Automobile and Aerospace Industry, Journal of Materials Processing Technology, 115, 2001, 2-8
5. B. Bouaifi : Low-heat Process Enhances Joining of Coated Sheet Metals, Welding Journal, 82(1), 2003, 27-30