

냉간 및 온간에서의 구리와 알루미늄 압접에 관한 실험적 연구

심경섭* · 김용일* · 장성동* · 김원술** · 이용신**

Experimental Study on Pressure Welding of Cu and Al at Cold and Warm Temperatures

K. S. Sim, Y. I. Kim, S.D. Jang, W.S. Kim and Y. S. Lee

Abstract

This paper is concerned with pressure welding, which has been known as a main bonding mechanism for the cold and warm clad forming. Bonding characteristics of pressure welding between the copper and aluminum plates are experimentally investigated. Experiments are performed at the cold and warm temperature range with the variation of important factors such as magnitude of pressure, surface roughness of Cu and Al plates, and pressure holding time. It could be concluded that the bonding criterion might be given as a function of bonding pressure and surface roughness for the cold and warm temperature ranges.

Key Words : Pressure welding, Bonding pressure, Local extrusion, Clad forming

1. 서론

과학 기술이 발전하고 산업이 고도화됨에 따라 고부가가치 제품의 수요가 증대되고 있으며, 기계적, 물리적 성질 또한 기존의 단일재로는 얻을 수 없는 성능이 요구되고 있다. 이를 충족시키기 위해서는 복합재, 고강도 합금강 및 특수 금속 등 새로운 소재의 개발이 요구된다. 이러한 요구를 어느 정도 만족시켜 줄 수 있는 클래드는 층상 복합 소재의 일종이며, 어떤 금속을 동종 또는 이종의 금속으로 그 전면에 걸쳐 피복하고, 서로의 경계면에서 금속 조직적으로 접합을 이루고 있는 소재로 정의된다. 이러한 클래드는 단일 금속재가 가지고 있는 기계적, 물리적 장점을 부각시키고 단점을 상호 보완하며 사용되는 재료에 따라 다양한 종류를 가지고 있다.

클래드 재료의 생산 공정중 두 금속간의 접합 거동은 고온공정에서는 확산에 의해 이루어지나 냉간 및 온간에서는 소성일 발산에 의한 발열보다는 접촉압에 의한 국부적 소성변형으로 이루어지는 고상 접합에 분류되며 압접에 속한다. 이와 같이 소성변형에 의한 압접의 지배기구는 다음과 같이 요약되며 Fig. 1에서 보여진다.^(1,2)

- (a) 변형에 의한 접합면 표면층의 파단
 - (b) 접합면 확장에 따른 절단선 사이에서 새로운 면 노출
 - (c) 접합면의 수직 압력에 의한 새로운 면들이 밀착
 - (d) 증가된 수직 압력에 의한 접합 완료
- 냉간 및 온간 성형에서의 소성변형에 의한

* 국민대학교 대학원 기계설계학과

** 국민대학교 기계·자동차 공학부

압접의 접합 조건은 접합면의 확장 정도와 그 면에 대한 수직 압력의 관계로 볼 수 있다. Fig.1(c)에서 보여지는 바와 같이 접합면의 확장에 의해 새롭게 생성된 면들의 근접과정은 미시적인 관점에서 또 다른 소성 변형으로 간주될 수 있다. 이 과정에서 소성변형에 따른 접촉면상의 취성막이 접촉면의 변형경로에 따라 파괴되고 이들 파괴면 사이로 신생면의 국부압출(local extrusion)은 기계적 접합을 완성하게 한다.⁽³⁾

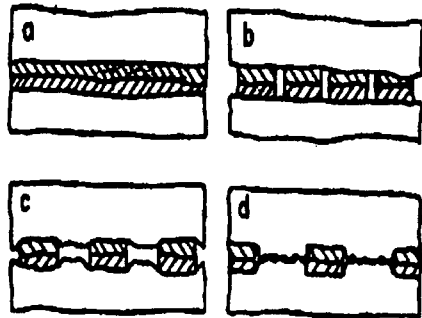


Fig. 1 Schematic outline of the bonding mechanism in cold pressure welding: (a) Fracture of brittle surface layers, (b) Surface expansion increasing the area of virgin surface, (c) Extrusion of virgin material through cracks of the original surface layer, (d) Establishment of real contact and bonding between virgin material

본 연구에서는 냉간 및 온간에서 구리와 알루미늄 미소 판재의 압축 성형실험을 수행하여, 온도, 표면 거칠기, 압력, 시간 등의 주요인자의 변화에 따른 접합거동을 조사하고자 한다.

2. 압접 실험

2.1 실험 장치

압접실험에 사용한 장비는 최대하중이 25kN 이고, 분해능(resolution)이 1 μm인 만능재료시험기(MTS858)를 사용하였다. 본 시험기는 본체와 연결되어 있는 컨트롤러와 프로그램(Test Star II s)을 이용하여 압접 시 시편에 작용하는 하중과 변위의 값을 쉽게 얻을 수 있도록 시스템이 구성되어 있다.

또한, 압접시 온도의 영향을 조사하기 위해 온도조절기(MTS409.83)와 Furnace(653)를 만능재료시험기에 장착하였다. 이때의 온도 분포는 상온, 60, 130, 200℃ 4 가지로 구별하여 압접 실험을 실시하였다. 압접 실험용 편치는 열간 압접 실험이 가능한 STD 61 종(열

간합금공구강)을 사용하였으며, 상하 편치의 가압면은 정밀 연삭 작업을 실시하였다.

2.2 시편

시편은 시중에서 보편적으로 사용되고 있는 두께가 1mm 인 순수알루미늄(Al1050)과 인탈산동(C1220)을 사용하였다. 시편의 크기는 만능재료시험기의 용량과 알루미늄, 구리의 강도를 고려하여 알루미늄은 직경 4.7mm, 구리는 10(폭)×20(길이)mm로 준비하였다.

2.3 실험방법

알루미늄과 구리의 시편을 한쪽 면씩 사포로 연마하여 표면을 아세톤으로 세척한 후, 표면조도측정기를 이용하여 시편의 표면거칠기를 측정한다. 표면거칠기는 중심선 평균 거칠기(Ra)를 적용하여 I 구간(0.4a ~ 0.8a), II 구간(0.8a ~ 1.6a), III 구간(1.6a ~ 3.2a)으로 3 가지 구간을 정하였다. 이를 적용한 사포 No.와 연마된 시편의 표면거칠기 측정값의 관계를 Table 1에 나타내고 있다.

압접 실험에 영향을 미치는 온도, 표면거칠기, 압력, 시간 등의 인자들을 주요 변수로 하여 한 조건별로 3 회씩 실험을 실시하였다.

상하 편치를 Furnace 로 1 차 가열하여 설정온도에 도달하면 구리 시편을 먼저 편치 위에 올려 놓고, 그 위에 알루미늄 시편을 올려 놓은 다음 Furnace 를 닫고 설정 온도를 유지한다. 그런 다음 편치로 시편에 압력을 가하여 약 2 분 안에 실험이 종료될 수 있도록 하였다. 이때 주의할 점은 시편 온도의 정확한 제어와 산화막 형성을 최소화하는 점을 들 수 있다.⁽⁴⁾

압력은 온도 변화에 따라 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500MPa 을 적용했으며, 이때 유지 시간은 1 분, 5 분, 10 분으로 하였다.

압접 실험후 육안상으로 붙어있는 시편을 채취하여 수지로 마운팅 한 후 연마하여 접합면을 광학현미경으로 관찰하였다.

Table 1 Surface Roughness Data

Roughness Range (Ra)	C1220		Al1050	
	Sandpaper No.	Data	Sandpaper No.	Data
1.6a ~ 3.2a	80	1.9515	100	2.7863
		2.2672		2.3876
0.8a ~ 1.6a	100	1.4908	220	1.5992
		1.1221		1.4716
0.4a ~ 0.8a	400	0.4304	1000	0.734
		0.4099		0.8533

3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 알루미늄과 구리가 각각의 위치를 유지하고 접촉부에서 붙어있는 정도만을 유지하는 경우에 접합으로 판별하는 기계적 접합만을 고려하였다.

접합 초기에 가열과 가압력에 의해 접합면의 미세 조직이 변형되어 접합체간의 원소 확산과 접합체의 결정립 이동에 의해 접합 계면을 소멸시키는 확산 접합에 관해서는 좀 더 체계적인 연구가 필요하다.

Fig. 2 ~ 5 는 압접하중의 유지시간을 1분으로 하였을 때, 온도 변화에 따른 기계적 접합 여부를 판별하는 실험결과를 나타내고 있다. 압력이 50 ~ 500MPa 구간에서 3 가지 표면거칠기 조건과 온도 변화(상온 ~ 200℃)에 따라 접합 구간의 차이가 있음을 알 수 있다.

온도 변화에 따른 접합 조건은 표면거칠기 구간에 관계없이 상온과 60℃에서는 250MPa 이상, 130℃에서는 200MPa 이상, 200℃에서는 150MPa 이상일 때 접합이 이루어지고 있다. 상온에서 200℃까지의 온도 구간을 비교해 볼 때 접합조건인 압력은 온도가 증가함에 따라 최대 40%정도 감소되고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 온도가 높을수록 낮은 압력에서 접합이 이루어지는 경향을 보여주고 있다.

표면거칠기에 관해서는 표면거칠기 값이 클수록 같은 온도에서 접합 압력이 낮아지고 있다. 일례로 상온의 경우에는 3 가지의 표면거칠기 구간인 I 구간(0.4a ~ 0.8a)에서 III구간(1.6a ~ 3.2a)으로 변해가는 동안 접합 압력은 250MPa에서 150MPa로 낮아져 40%정도의 압력 감소를 나타내고 있다. 60℃, 130℃, 200℃ 경우에도 비슷한 기율기로 압력이 낮아지는 경향을 알 수 있다.

예비 실험에서 보았을 때 시편의 온도가 300℃ 이상의 열간 성형에서는 표면거칠기의 영향이 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 폭넓은 온도에 의한 영향을 완성하기 위해서는 고온에서의 실험이 보완되어야 하며 현재 진행중이다.

Fig. 6, 7 은 상온과 200℃의 시편 온도에서 500MPa의 고압으로 1분간 유지하여, 압접 실험에 의해 접합이 이루어진 알루미늄과 구리의 접합부를 광학현미경의 500 배율로 인화한 단면 조직 사진을 보여주고 있다. 접합 계면부와 이물질의 분포를 조사한 결과, 상온보다는 200℃의 접합 계면이 양호하게 접합되어 있으며, 이는 온도의 영향이 접합 조건에 주요 변수로 작용하고 있음을 알 수 있다. 접합 계면의 뚜렷한 존재는 확산 접합이 아니며, 대체로 느슨한 접합강도의 기계적 접합인 것으로 사료된다.

이러한 결과는 비교적 크지 않은 압축 하중에 의한 기계적 접합 여부를 판별하는 데 기초 자료로써 활용이 가능하다.

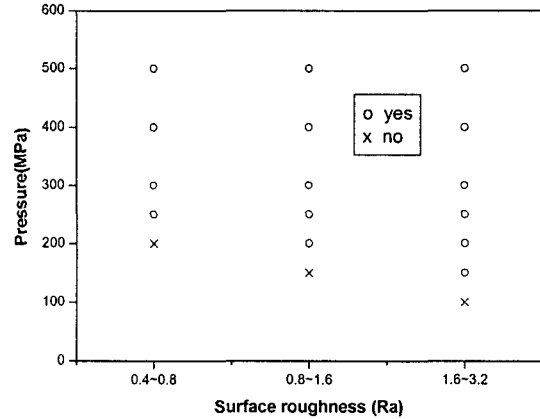


Fig. 2 Mechanical Bonding Graph (Room Temp.)

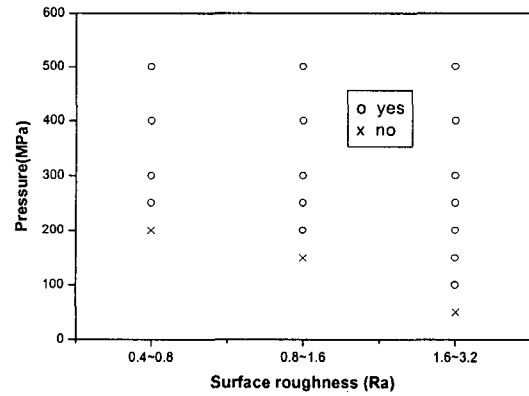


Fig. 3 Mechanical Bonding Graph (60 °C)

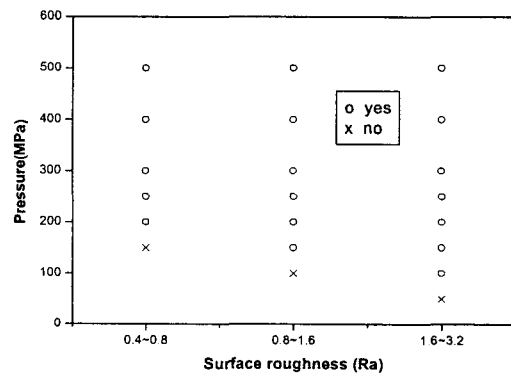


Fig. 4 Mechanical Bonding Graph (130 °C)

4. 결론

냉간 및 온간에서의 구리와 알루미늄 판재를 압접 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 알루미늄과 구리 판재의 압접은 표면 가공 후 2 분 이내에 실시하여 산화막 형성을 억제 하였을 때, 접합성이 양호하며 온도가 높을수록, 표면거칠기 값이 클수록 접합이 잘되는 경향이 나타났다.

(2) 온도 변화에 관계없이 기계적 접합을 일으키는 압력은 250MPa 이상으로 나타났으나, 온도가 높아질수록 접합 계면이 양호하게 접합되고 있음을 보여주었다.

(3) 상온에서 200℃ 까지의 온도 영역에서 접합 압력은 온도가 증가함에 따라 최대 40%정도 감소되는 것으로 나타났다.

접합조건외의 제시를 위하여 보다 많은 실험적 검증을 수행하고 있으며, 접합실험에서 압력을 유지하는 시간의 영향과 고온에서의 실험은 현재 진행 중이다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원(밀리구조 생산 기술 2 단계 개발사업)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Bay, N., 1979, "Cold pressure welding-The Mechanisms Governing Bonding", Journal of Engineering for Industry, Vol. 101, 121~127
- (2) Zhang, W., Bay, N., 1992, "Influence of Hydrostatic Pressure in Cold Pressure Welding", Annals of the CIRP, Vol. 41/1, 293~297
- (3) 박훈재, 나경환, 조남선, 이용신, 1998, "이중복합봉 정수압 압출시 접합면 거동에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol. 7, No. 1, 66~71
- (4) 이철구, 1988, "이종 금속의 냉간 인발 압접법 개발에 관한 연구", 박사학위 논문, 한양대학교

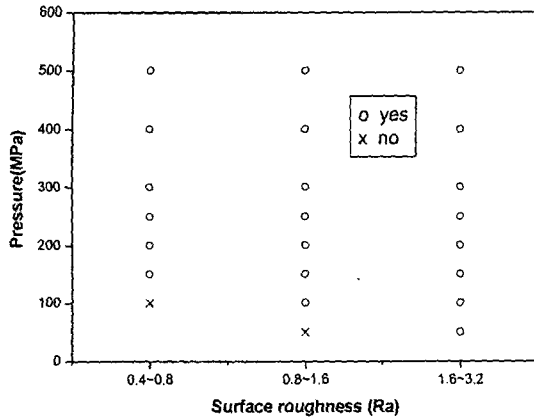


Fig. 5 Mechanical Bonding Graph (200°C)

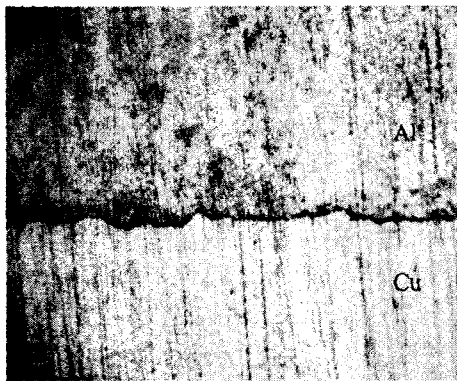


Fig. 6 Cross Section Structure of Bonding Surface between Al and Cu (Room Temp., 500MPa, x 500)

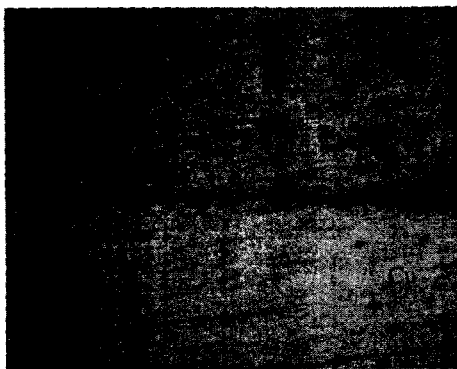


Fig. 7 Cross Section Structure of Bonding Surface between Al and Cu (200°C, 500MPa, x 500)