

論 文

大韓熔接學會誌
第3卷 第2號 1985年 11月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 3, No. 2, Nov., 1985

업셋팅을 이용한 냉간압접에 대한 연구

안 기 원* · 김 재 도**

Study on the Cold Pressure Welding by Upsetting

by

K. W. An* · J. D. Kim**

Abstract

The mechanical properties and bonding mechanism of aluminum, copper and mild steel have been determined in cold pressure welding.

The brittle cover layer to be established by scratch-brushing plays an important role in bond strength and has an influence on the threshold of deformation.

The cold pressure welding was achieved at 54% of height reduction in Al-Al, 75% in Cu-Cu, 56% in Al-Cu, and 74% in Cu-steel. The height reduction at which the bond strength of weld interface was the same as the tensile strength of base metal should be over 76% in Al-Al, 82% in Cu-Cu, and 78% in Al-Cu.

1. 서 론

냉간압접은 금속을 상온에서 압력만을 가하여 결합시키는 접합법이다. 냉간압접은 액체상태를 생성시키지 않고 고체상태에서 이루어지므로 용접부에 열영향부가 없는 것이 특징이며, 가스발생이 없고 특별한 기량을 요하지 않으므로 활용가능성이 높다.

상온에서의 금속의 압접은 비교적 역사가 짧고, 그 압접기구(bonding mechanism)에 대해서도 아직 불명확한 점이 많다. 냉간압접에 대한 연구는 초기에는 Al, Al합금, Cd, Pb, Cu, Zn 및 Ag 등 비교적 연질 금속간의 압접에 한정되었으나, 최근에는 압접되는 금속

의 종류도 다양해졌으며, 압접방법도 압연, 단조 및 압출등의 방법이 개발되었다. 특히, 복합금속재료에 대한 냉간압접의 응용은 중요한 의의를 갖고있으며 고가의 희귀금속이나 복잡한 형상의 부재에 대한 응용도 큰 발전을 보게 되었다. 또한 전자부품재료, 자동차부품재료, 화학공업 및 건축재료등에 쓰이는 판재, 선재, 봉재 및 관의 형태로 대량생산하는데까지 이르고 있다.¹⁾²⁾

압접전의 두 금속면의 표면처리 상태가 양호한 접합부를 얻기위한 가장 좋은 압접 결과를 얻는다고 보고되고 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾

스크래치 브러싱의 목적은 압접할 표면에 취성층(brittle cover layer)을 형성시키기 위함이다. 취성층은 모재(basemetal) 보다 2배 이상의 높은 경도를 가

* 인하대학교 대학원

** 인하대학교 기계공학과, 정희원

지며, 전체 표면적에 60% 정도 형성된다.⁴⁾

냉간압접에서의 최소변형량(threshold deformation)은 금속의 종류와 접합방법에 따라서 달라진다. 본 연구에서는 upsetting 조건하에서 환봉시편을 압접하였기 때문에 높이감소율(R)은

$$\frac{\text{시편의 초기높이} - \text{시편의 최종높이}}{\text{시편의 초기높이}}$$

본 실험에서 사용한 재료는 알루미늄, 구리 그리고 연강인데 동종 및 이종 재질끼리 압접하였다. 냉간압접된 시편의 기계적 성질을 고찰하고, scratch-brushing 한 면과 압접부의 파단면 상태를 전자현미경(scanning electron microscope)으로 조사 검토하였다.

2. 실험

2.1 시험편 및 실험장치

본 실험에 사용된 재료는 순수상업용 알루미늄, 구리 및 연강(0.15%C)이다. 균일한 조직을 얻기 위하여 최대사용온도 1,100°C의 전기로에서 균질과 열처리하였다. 알루미늄은 350°C에서 1시간 유지시킨 다음 노냉시켰으며, 구리는 550°C에서 1시간 30분 유지시킨 후 노냉시켰다. 연강은 845°C에서 2시간 유지시킨 후 12시간 노냉시켰다. 열처리가 끝난 재료는 Fig. 1과 같이 45mm(l)×15mm(ϕ)의 시편으로 기계가공하였다.

압접기구로 사용한 금형의 내부는 SKH9으로 제작하였고, 외부는 SCM4를 사용하여 열박음하였다.⁶⁾⁷⁾

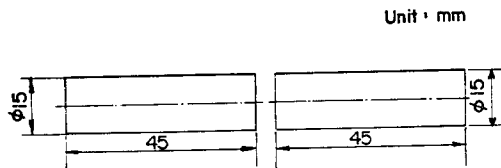


Fig. 1. Specimens before bond.

접합실험에 사용된 하중장치는 150t용량의 유압프레스이며, Fig. 2는 upsetting하중하에서 재료의 변형 전후의 상태를 나타낸 것이다.

2.2 표면처리 및 압접실험

압접성에 영향을 미치는 인자 중 가장 중요한 것은 표면처리상태이다. 그 이유는 두 금속을 원자간 거리까지 접근시켜야 압접이 되기 때문이다. 따라서 시편을 세척한 후 scratch-brushing 처리하였다.

본 연구에서는 시편을 먼저 사염화탄소(CCl_4)로 세척한 후 0.15mm(ϕ)의 stainless wire로 된 rotary brush를 사용하여 스크래치 브러싱하였다.

압접실험은 표면처리 후 2분 이내에 수행하였다. 그 이유는 표면처리후 시간이 경과함에 따라 오염막(Contaminant film) 및 산화막(oxide film)이 시편표면에 급격히 형성되기 때문에 이들의 영향을 최소화시키기 위함이다.

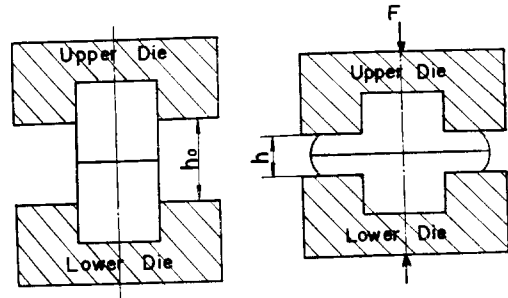


Fig. 2. Schematic illustration of bonding model.

Fig. 2와 같이 시편은 금형 밖으로 10mm씩 노출시켜서 flash 형성이 용이하게 하였고, 나머지 부분은 금형 속에 남아있게 하였다.

압접실험중 상부금형과 하부금형이 일직선상에 있지 않으면, 금속유동이 한쪽방향으로 더 많이 변형되어 결합강도를 저하시키는 경우가 있으므로, 상하부금형이 일직선상에 놓이도록하였다.

2.3 인장시험

압접된 시편의 결합강도를 구하기 위해서 인장시험을 하였다. 10ton tensilon으로 수행한 인장시험편의 치수와 형상은 Fig. 3과 같이 기계가공하여 제작하였다. 그러나, 압접부에서 파단되지 않고 모재에서 파단될 경우에는 압접부의 틀레방향으로 힘을 파서 압접부에 파단될 수 있게 하였다. 높이감소율이 Al-Al의 경우 76% 이상, Cu-Cu 82% 이상, Al-Cu 78%이상에서 이 같은 시편을 이용하였다.

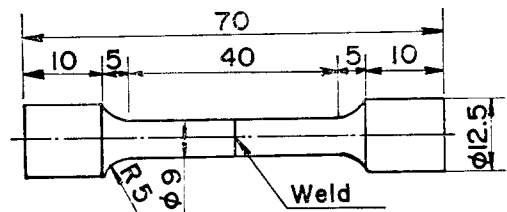


Fig. 3. Tension test specimen.

2.4 충격시험

압접부의 충격에너지를 구하기 위해서 30kgf·m의 Charpy 충격시험기를 사용하였다. 충격시험편의 크기 및 형상은 Fig. 4와 같으며, 이 때 노치가 압접부에 정확하게 위치하도록 etching하여 시편을 제작하였다.

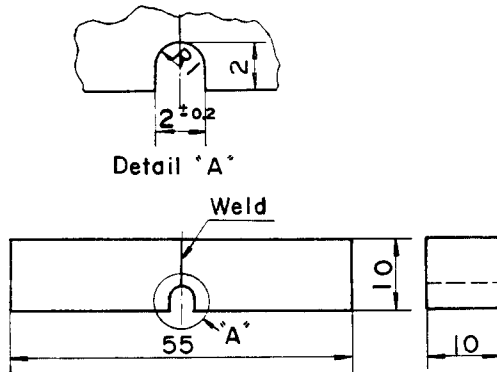


Fig. 4. Charpy impact test specimen.

Etching은 Al-Al의 경우 초산 30cc와 물 70cc를 혼합한 etchant를 약 70°C로 가열한후 시편을 1분정도 담가낸후 찬물로 씻어 내었다. Cu-Cu에서는 과유산암 모니움 10g을 물 90cc에 혼합한 etchant를 사용하여 상온에서 실시하였다. 이종금속끼리 압접한 시편은 압접부가 색상으로 구별될 수 있기 때문에 etching 처리하지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압접실험 및 결합강도

Al-Al, Cu-Cu, Al-Cu 및 Cu-steel에 대한 냉간압접의 실험결과와 다음과 같다.

냉간압접을 할 때 시편 표면을 아주 매끄럽게 기계가 공하여 사염화탄소로 세척한 후 압접실험을 한 경우에는 높이감소율을 크게 하여도 접합은 전혀 이루어지지 않았다. 반면, scratch-brushing 한 시편에서는 양호한 접합이 가능하였다. 이로써 스크래치 브러싱에 의한 취성층 없이는 두 금속이 접합되지 않는다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5에서 Al-Al의 압접은 54% 높이감소율에서부터 시작되었으며, Fig. 6에서 Cu-Cu 압접은 높이감소율이 75%에서부터 완전한 압접이 이루어졌다. Cu-Cu 압접은 높이감소율이 60% 이상 75% 이하에서도 이루어졌으나, 금형주위에 압접에 의한 flash가 부착되어 압

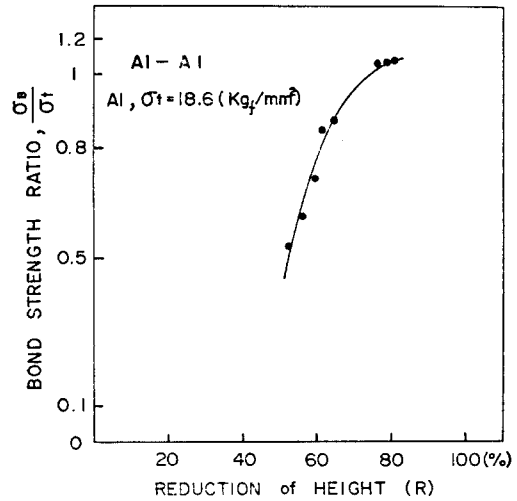


Fig. 5. Bond Strength ratio as a function of reduction of height for Al-Al.

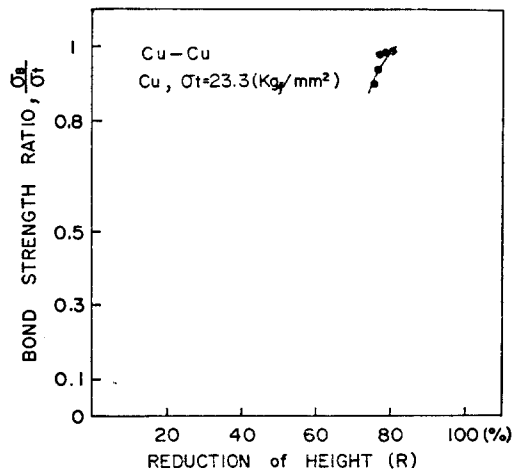


Fig. 6. Bond strength ratio as a function of reduction of height for Cu-Cu.

접후 ram을 상승시킬 때 압접부가 분리되는 문제점이 있었다. 이같은 문제점은 flash가 trimming되게끔 금형을 설계하면 해결될 것으로 생각된다. Fig. 7와 Fig. 8에 나타낸 Al-Cu 및 Cu-steel 압접에서는 각각 56%, 74% 이상의 높이감소율부터 압접이 이루어졌음을 볼 수 있다.

또한, Fig. 5는 Al 소재의 인장강도에 대한 압접시편의 결합강도비를 높이감소율에 따라 표현한 것인데, 높이감소율이 76% 이상에서는 모재보다 큰 결합강도가 얻어졌다. 이는 압접과정에서 가공경화로 인하여 강도가 증가되는 것으로 생각된다. 높이감소율이 54%에서

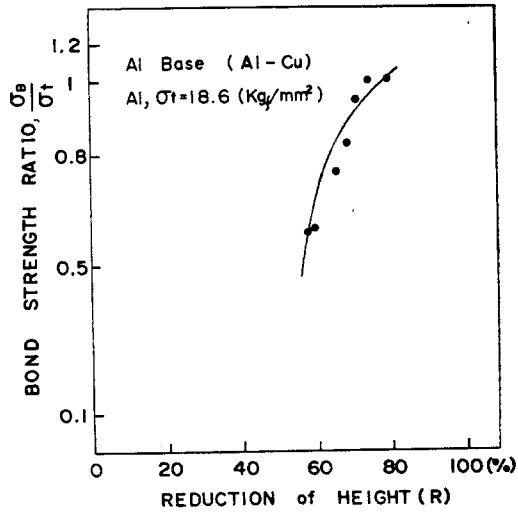


Fig. 7. Bond strength ratio as a function of reduction of height for Al-Cu.

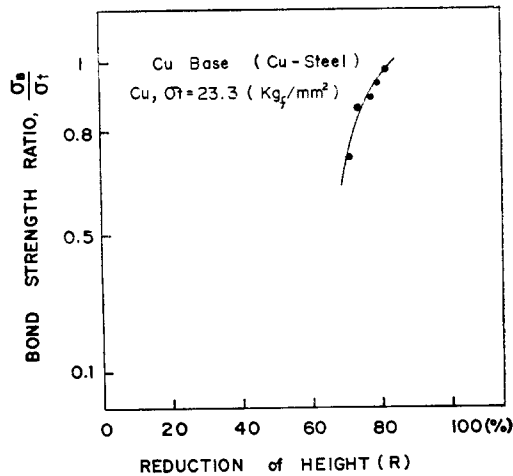


Fig. 8. Bond strength ratio as a function of reduction of height for Cu-steel.

는 결합강도가 모재의 인장강도의 반 정도이다. Fig. 6은 Cu-Cu의 결합강도비를 나타낸 것으로 높이감소율이 80% 이상에서는 모재의 인장강도와 압접부의 결합강도가 거의 비슷하였다. Fig. 7에는 Al-Cu의 결합강도비를 표시하였는데 모재의 인장강도는 알루미늄을 기준으로 할 때 높이감소율이 78% 이상에서는 Al의 인장강도보다 큰 결합강도를 얻었다. Fig. 8은 Cu-steel에 대한 결합강도비를 표시한 것으로 할 때 인장강도가 낮은 구리를 기준으로 하였다. 높이감소율이 80% 이상에서는 결합강도비가 1에 가깝게 일어났다.

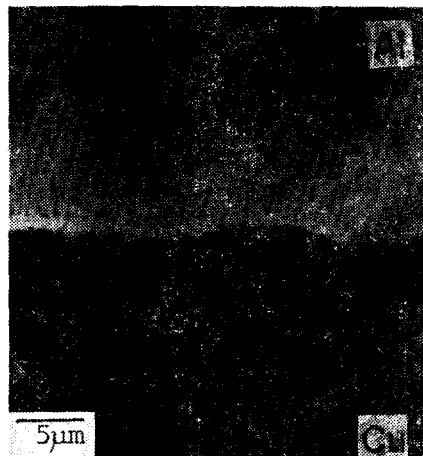
본 압접실험에서 높이감소율은 최대 83% 정도까지만

확인할 수 있었는데 이는 flash가 넓어지고 얇아지게 되면 압접하중이 급격히 증가하기 때문이다. 이중금속인 Al-Cu, Cu-steel의 압접에서는 두 금속간의 강도 및 연신율의 차이때문에 folding 현상이 일어났다. 특히 Cu-steel에서는 steel의 flash는 적게, Cu의 flash는 많이 형성되었다.

photo 1은 압접부 경계면의 micro structure를 나타낸 것인데 Al-Al의 압접부의 경계면은 거의 구별할 수 없었으며, Al-Cu에서는 금속고유의 색상의 차이때문에 뚜렷이 구별되었다. 압접부의 경계면에서는 어떤 결합도 발견되지 않았다.



(a) Al-Al(R=80%)



(b) Al-Cu(R=80%)

Photo 1. Microhardness of bonded interface.

3.2 충격시험

Fig. 9는 압접한 시편의 충격치를 모재의 충격치와의 비로써 표시한 것이다. 알루미늄 모재의 충격치는 4.9 (kgf·m/cm²)이다. Al-Al은 높이감소율이 79% 이상에서는 모재의 충격치와 거의 비슷하였고, 70%에서는 반 정도 되었다. Al-Cu의 충격치비는 Al의 충격치를 기준으로 하였다. Al-Cu와 Cu-Cu의 충격치는 모두 모재에 비해서 낮아졌다.

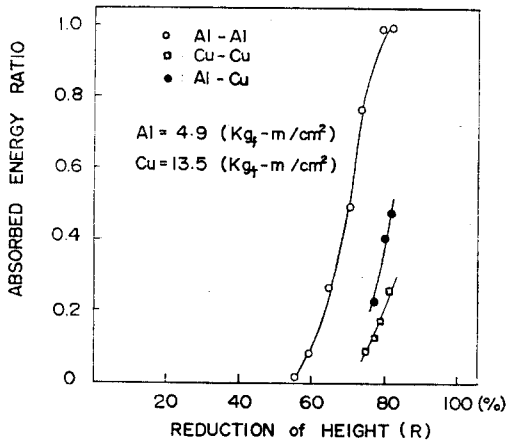


Fig. 9. Impact ratio as a function of reduction of height.

3.3 경도시험

Fig. 10, Fig. 11, 및 Fig. 12는 압접부의 경도시험 결과를 나타낸 것이다. 모두 압접부 부근에서 가장 큰 경도가 얻어지고 있는데, Al-Al의 경우 80% 높이감소율에서 압접부 근처 경도는 모재의 경도보다 약 3배 정도

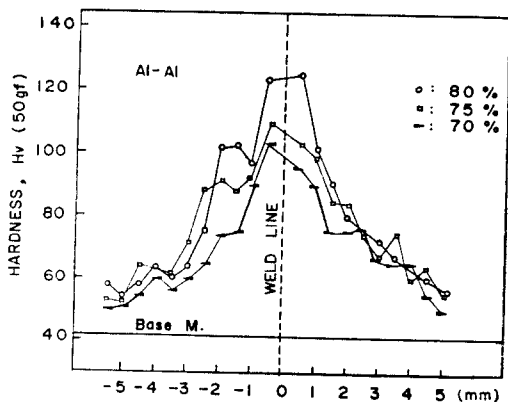


Fig. 10. Microhardness variation for Al-Al.

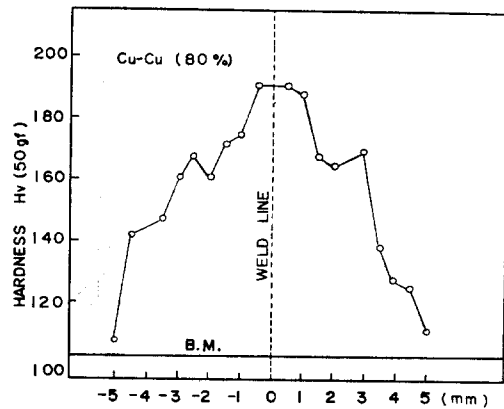


Fig. 11. Microhardness variation for Cu-Cu.

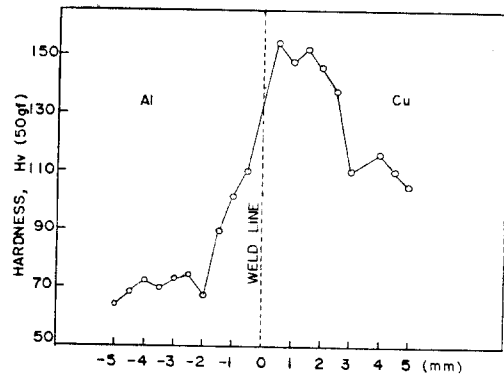


Fig. 12. Microhardness variation for Al-Cu.

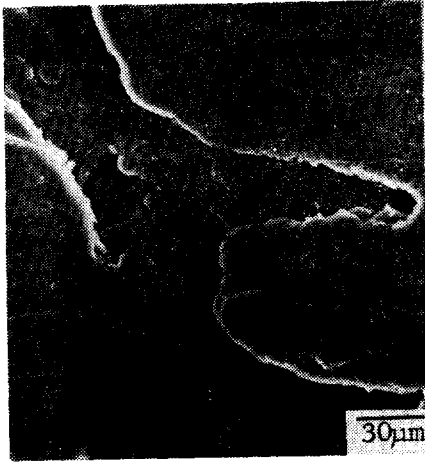
높고, Cu-Cu의 경우는 약 2배 정도 높다. 이는 압접부에서 소성변형이 되면서 가공경화가 심하게 일어나기 때문으로 생각된다.

Fig. 10에서 Al-Al 압접시편의 경도는 높이감소율이 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다. 이는 높이감소율이 증가할수록 가공경화가 더욱 심하게 일어나기 때문이다.

3.4 압접의 결합기구(bonding mechanism)

동종금속을 냉간압접시킬 때의 결합기구는 Tylecote, Vaidyanath 및 Miller, 그리고 Bay 등에 의해서 연구되었으나 이종금속에 대한 연구는 확립되지 않은 상태이다.^{8,9)}

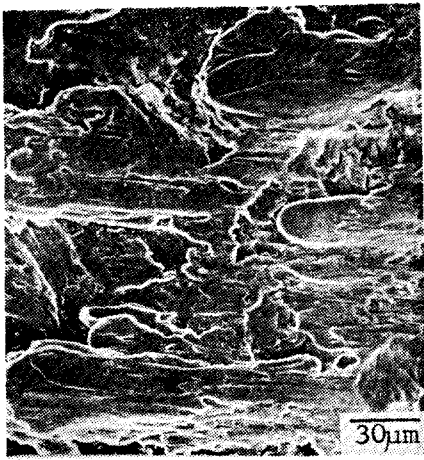
전고한 결합을 얻기위한 조건중의 하나는 표면에 존재하는 산화막과 오염막을 완전히 제거하거나, 감소시켜야 한다. 표면처리한 금속표면은 수증기나 먼지 등의 오염막(contaminant film)이 30Å 정도의 두께를 형성



(a) Al



(b) Cu



(c) steel

Photo 2. Micrographs of scratch-brushed surface.

하고, 그 아래는 100Å 정도의 두께를 갖는 산화막(oxide film)이 존재한다. 그리고, 산화막 아래는 스크래치 브레싱으로 형성된 취성층(brittle cover laver)이 있다. 취성층의 경도는 모재의 약 2배 이상으로 알려져 있다. photo.2에서 굵고 가는 하얀선으로 둘러싸인 부분이 취성층이며, 이것은 스크래치 브레싱 표면에 약 60% 정도 형성된다. photo.2에서는 모재의 강도 및 경도 등의 차이때문에 취성층의 형상이 조금씩 다름을 알 수 있다. 모두 다 오른쪽에서 왼쪽방향으로 스크래치 브레싱하였다. Al이 가장 많이 형성되었고, Cu는 금속 표면에 적게 형성되었고, steel은 뚜렷한 tongues 형상으로 형성되었다.

취성층은 스크래치 브레싱한 금속표면에 돌출되어 있다. 그러므로 두 금속이 압접될 때 제일 먼저 접촉되어, 파괴된다. 상·하 두 시편에서 취성층으로 된 돌출부끼리 접촉하면 변형은 더욱 크게 된다. 한쪽 표면은 취성층이고, 다른쪽은 취성층이 아닌 면이 접촉될 때는 취성층을 파괴하기 위해서 높은 압력이 필요할 것이다. 두 표면 모두 취성층이 아닌 경우에는 그들의 결합을 위해서 더욱더 높은 압력이 요구될 것이다.

실제 취성층은 압접에 필요한 최소변형량이전에 파괴된다. 취성층이 파괴되고 기존재료(base material)가 크랙사이로 압출되기 시작하여 기존재료끼리 압접이 이루어진다.

3.6 파단면 검사

photo.3은 높이감소율이 80%인 시편을 인장시험에 의해서 압접부를 파단시켰을 때, 그 파단면에 대한 전자현미경(scanning electron microscope)사진이다. 모두 연성파괴(ductile fracture)로 이루어져 있는데 Al-Al 파단면보다 Cu-Cu 파단면이 더욱 미세하게 구성되어 있다. 이것은 스크래치 브레싱에 의해서 형성된 취성층의 크기와 관련되어 있는 것으로 생각된다. 즉, Cu의 취성층이 Al 보다 미세하게 형성되기 때문이다.

Cu-steel에서는 구리의 파단면에 steel의 취성층이 붙어 있었는데 이것은 높이감소율이 클수록 두드러졌다. 이런 현상은 인장에 의해서 압접부가 파괴될 때 두 금속중 더욱 경한 취성층이 연한 금속표면에 부착되어 파단되기 때문이다.

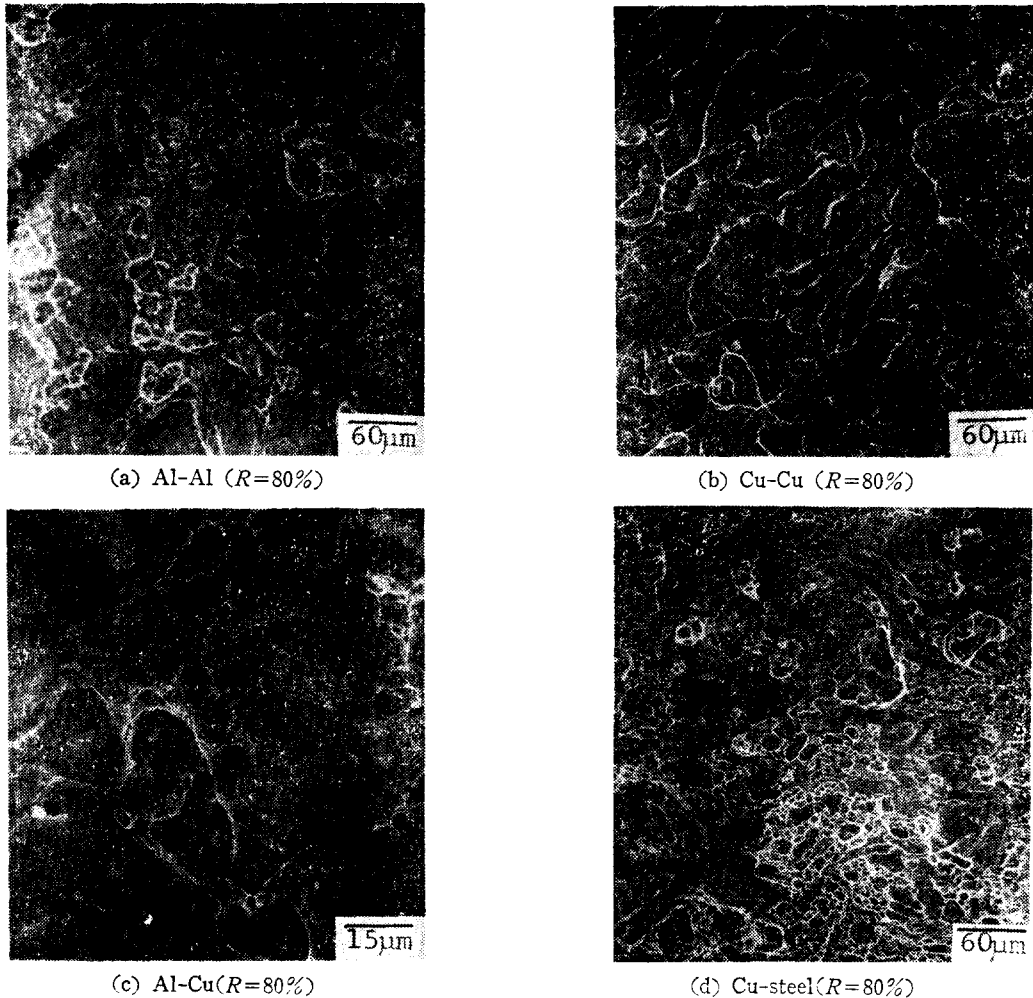


Photo 3. Micrographs of weld interface surface after fracture.

4. 결 론

Upsetting에 의한 냉간압접실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압접하기전에 표면처리에 있어서 스크래치 브레싱에 의한 취성층 형성이 가장 좋은 압접결과를 얻을 수 있는 집합인자이다.
2. Al-Al에 있어서는 높이감소율이 54%, Cu-Cu는 75%, Al-Cu는 56%, Cu-steel은 74%에서 완전한 압접이 이루어졌다.
3. 압접부의 결합강도가 모재의 인장강도와 같아지거나 그 이상이 되는 높이감소율은 Al-Al에 있어서는 76%, Cu-Cu는 82%, Al-Cu는 73%이상이어야 한다.

4. Al-Al의 경우 높이감소율이 79% 이상에서 모재와 같은 충격치를 얻었다. 그러나, Cu-Cu는 높이감소율이 82%에서 모재의 충격치의 3분의 1정도였고, Al-Cu는 높이감소율이 80% 이상에서도 낮은 충격치를 얻었다.

본 연구는 인하대학교 산업과학기술 연구소의 지원에 의해서 이루어졌으며 이에 대하여 깊은 사의를 표한다.

참 고 문 헌

- 1) R.F. Tylecote, *The Solid Phase Welding of Metals*, Edward Arnold Ltd, London, (1968).
- 2) K.J.B. McEwan, D.R. Milner, *Pressure Welding of Dissimilar Metals*, British Welding

- Journal, July, 1962, p. 406—413.
- 3) R. F. Tylecote, *Recent Work on Pressure Welding*, Welding and Metal Fabrication, Dec., (1960), pp. 491—494.
 - 4) L. R. Vaidyanath, D. R. Milner, *Significance of Surface Preparation in Cold Pressure Welding*, British Welding Journal, Jan., (1960), p. 1—6.
 - 5) H. Conrad and L. Rice, *The Cohesion of Previous Fractured Fcc Metals in Ultrahigh Vacuum*, Metallurgical Trans., Jun., (1970), p. 3019—3027.
 - 6) 김재무, 프레스금형, 기전연구소, (1984).
 - 7) 손량언, 금형설계, 성안당, (1979).
 - 8) N. Bay, *Cold Pressure Welding—The Mechanisms Governing Bonding*, J. of Eng. for Industry, ASME, May, (1979), p. 121—127.
 - 9) N. Bay, *Mechanisms Producing Metallic Bonds in Cold Welding*, Welding Journal, May, (1983), p. 137s—142s.

科學技術者 倫理要綱

現代的 國家發展에 미치는 科學技術者의 役割의 重要性에 비추어 우리들 科學技術者는 우리들의 行動의 指針이 될 倫理要綱을 아래와 같이 制定하고, 힘써 이를 지킴으로써 祖國의 近代化에 이바지할 것을 깊이 銘心한다.

1. 우리들 科學技術者는 모든 일을 最大限으로 誠實하고 公正하게 處理하여야 한다.
2. 우리들 科學技術者는 恒常 專門家로서의 權威를 維持하도록 努力하며 自己가 所屬하는 職場 또는 團體의 名譽를 昂揚하여야 한다.
3. 우리들 科學技術者는 法律과 公共福利에 反하는 어떠한 職分에도 從事하여서는 안되며, 의아스러운 企業體에 自己의 名稱을 빌려주는 것을 拒絶하여야 한다.
4. 우리들 科學技術者는 依賴人이나 雇傭主로부터 取得 또는 그로 因해 얻어진 科學資料나 情報에 對하여는 秘密을 지켜야 한다. 또는 他人의 資料情報을 引用할 때는 그 出處를 밝혀야 한다.
5. 우리들 科學技術者는 誇張 및 無根한 發言과 非權威的 또는 眩惑的 宣傳을 삼가야 하며 또 이를 制止하여야 한다. 특히 他人의 利害에 關係되는 評價報告 및 發言에 慎重을 期하여야 한다.
6. 우리들 科學技術者는 어떠한 研究가 그 依賴者에게 利益이 되지 않음을 아는 경우에는 이를 미리 알리지 아니하고는 어떠한 報酬를 위한 研究도 擔當하지 않는다.
7. 우리들 科學技術者는 祖國의 科學技術의 發展을 위하여 最大限으로 奉仕精神을 發揮하여야 하며 또한 이를 위한 應分의 物質的 協助을 아껴서는 안 된다.