

# 마찰압접에 의한 Cu와 Ti 압접부의 기계적 특성에 관한 연구

## A study on the mechanical properties of copper-titanium friction-welded joint

김성연\*, 연윤모\*\*, 김대업\*\*\*, 정승부\*, 서창제\*

\*성균관대학교 금속재료공학부

\*\*수원과학대학 자동화용접공학과

\*\*\*현대정공(주)기술연구소

**Abstract** This paper describes a fundamental investigation of the friction welding condition for pure copper/pure titanium and the effect of friction time, upset pressure on the mechanical and metallurgical properties of friction welding. Under the constant upset pressure, the tensile strength make a little difference with an increase in friction time. At the constant friction time, the tensile strength increased with an increase in upset pressure. The tensile fracture of Cu to Ti joint occurred in Cu base material near interface.

### 1. 서론

제한적인 재료 선택의 범위 문제를 해결하기 위한 방법으로서 신소재의 개발과 기존재료의 특성을 개선시키는 방법이 있다. 그러나 급속히 발전하는 산업환경에 따른 사용자의 요구를 적절히 만족시키기가 곤란하다. 따라서, 사용자의 요구를 충족시키면서 기존재료의 장점을 그대로 유지하며 이들 재료의 특성을 결합시켜 재료의 부가가치를 더욱 향상시킬 수 있는 방법으로서 이종재료접합이 시도되었지만 각 재료의 고유한 성질로 인해 기존의 TIG, MIG, Brazing의 용융접합법으로는 만족스러운 결과를 얻지 못하는 경우가 많다. 이는 이종재료의 서로 다른 열전도도, 용융점, 열팽창 계수 등과 같은 물리적, 화학적 특성 차이 때문이다. 마찰압접은 이렇게 물리적 특성이 서로 다른 재료의 접합시 발생하는 문제를 최소화시킬 수 있는 방법으로 높은 재현성, 짧은 작업시간, 에너지절감 등 많은 장점을 가지고 있다<sup>1)</sup>. 따라서 본 연구에서는 Cu/Ti접합시 용융접합에 의해 접합면에 생성되어 나쁜 영향을 미칠 수 있는 금속간화합물의 생성을 최소화하고 높은 접합강도를 얻을 수 있는 최적 접합조건을 확립하였다.

### 2. 실험방법

본 실험에서 사용된 재료의 물리적 성질을 Table1에 나타내었다. Ti는 활성금속이기 때문에 아르곤가스 중에 접합을 행하는 경우가 있으나 대기 중에서도 아르곤 가스분위기에서의 접합강도와 동등한 강도를 가지는 접합이 가능하므로 본 실험에서는 실제 작업성을 고려하여 대기 중에서 실시하였다<sup>2)</sup>. Fig.1에 Ti회전축에 Cu를 정축에 고정시켜 접합한 후의 접합체형상을 나타내었으며 인장시편은 Fig.2와 같이 KS 봉상시험편 4호 규격에 준하여 제작하였고, 접합면에 수직방향으로 변형속도  $1.67 \times 10^5$  m/sec로 인장시험을 행하였다<sup>3)4)</sup>. 접합면조직을 광학 및 주사전자현미경으로 관찰하고, 상 및 조성분석은 XRD와 EPMA를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 마찰압접 조건과 접합효율

업셋압력  $P_2$  (100~325MPa)과 마찰시간  $t_1$ (1.1~2.0s)을 변화시키면서 접합을 실시하였다. 업셋시간  $t_2$ (6s)과 마찰압력  $P_1$ (100MPa)은 일정하게 하였다. Fig.3는 Cu와 Ti의 각 조건에서 접합효율을 도식화한 것으로  $P_1=100$ MPa,  $t_2=6$ s를 일정하게 한 후 각 마찰시간에 대해서 업셋압력의 증가에 따른 접합효율( $\psi$ )을 나타낸 것이다. 접합효율( $\psi$ )은 {(접합부의 인장강도/연질재료의 인장강도)×100(%)})로 계산하였다<sup>5)</sup>.

#### 3.2.경도시험

Fig.4는 접합면의 현미경조직을 나타내었다. 마찰에 의한 급속한 가열과 급격한 소성유동에 의해 재료의 일부가 변형되어 모재부와 다른 재결정화된 조직(Recrystallization region)이 형성되어 있

음을 알 수 있다<sup>6)7)</sup>. 재결정화 영역의 넓이는 압접조건인 업셋압력 및 마찰시간에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 마찰시간이 증가되고 업셋압력이 낮을수록 이러한 재결정화된 영역의 넓이는 증가하고 재결정화된 조직은 모재에 비해 낮은 경도분포를 나타내고 있다. Fig.5의 접합부의 경도분포에서 알 수 있듯이 접합계면을 중심으로 Cu방향에서 경도값은 감소하고 있다. 접합계면의 계면중심과 외주부의 경도분포의 차이는 접합계면의 중심과 비교할 때 외주부의 회전속도가 0~1.67m/sec 만큼 다르기 때문에 중심과 바깥쪽의 소성가공의 정도 및 온도차이가 원인으로 작용했다고 사료된다<sup>8)</sup>.

### 3.3.인장시험

Fig.6은 업셋압력( $P_2$ )증가에 따른 인장강도 변화를 나타내었다. Fig.7은 마찰시간을 증가시켰을 때 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구결과, 업셋압력이 증가될수록 인장강도가 증가하는것은 마찰열과 마찰압력에 의해 형성된 열화된 영역이 높은 업셋압력에 의해 burr로 접합부 밖으로 배출되고 미시적으로는 마찰, 마모로 인하여 접합계면의 산화물과 같은 표면 오염물질이 제거되면서 새로운 하부 표면 금속이 노출되고 동시에 업셋압력에 의해 이들 표면이 원자간 인력 범위(Attraction range)이내로 접촉되었기 때문으로 사료된다<sup>9)</sup>.

### 3.4. 조직관찰

Fig.8는 접합부의 미세조직을 나타낸 그림이다. 동종재료의 접합시 Heat flow는 축대칭을 이루지만 이종재료의 경우는 서로 다른 열전도도와 비열 차이에 의해 접합계면에서 비대칭적인 온도분포를 이루게 된다. 따라서 Cu의 열전도도가 Ti에 비해 약 18.3배로 크기 때문에 마찰열의 대부분은 Cu쪽으로 이동될 것이다<sup>10)11)</sup>. Fig.9의 XRD분석은 접합계면에서 발생할 수 있는 금속간화합물을 업셋압력변화와 함께 나타낸 것이다. 일반적으로 금속간화합물은 접합계면에서 형성되어 접합부 특성을 약화시키는 것으로 보고되고 있다<sup>10)11)</sup>. Fig.10에 접합계면의 EPMA line profile 결과를 나타내었다. 실험조건 중 가장 낮은 압력( $P_2$ :100MPa)과 높은 압력( $P_2$ :325MPa)조건에서 실험한 시편의 접합계면중심부와 외주부에 대한 SEM사진 및 조성line profile결과 금속간화합물은 발견되지 않는 것은 금속간화합물층이 얇고 그 분포도 균일하지 않기 때문에 EPMA분석에서 명확히 나타나지 않은 것으로 사료된다<sup>12)</sup>.

## 4. 결론

마찰압력 $P_1$ =100MPa,업셋시간 $t_2$ =6s,rpm=2000의 조건에서 $t_1$ , $P_2$ 의 변화에 따른 Cu/ Ti의 접합에 마찰압접을 적용하기 위한 데이터를 획득할 목적으로 접합부의 조직 및 기계적 성질을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 접합부의 인장강도값은 업셋압력이 높을수록 높게 나타났다.
- (2) 접합계면에서의 조직은 모재에 비하여 미세하게 관찰되었으며, Burr의 생성방향과 일치하였다.
- (3) 계면에서의 경도분포는 접합계면에서는 가장 높은 값을 나타내며 재결정영역에서 급격히 감소 후 변형영역을 벗어나면서 모재의 평균경도값을 나타내고 있다.
- (4) 마찰압력100MPa, 업셋시간6s,마찰시간1.7s,업셋압력325MPa일때 가장 양호한 접합성능을 나타내고 있으며 파단은 모두 접합면에 가까운 위치에서 파단되었다.

## 5. 참고문헌

- 1) J.RUGE,K.THOMAS,C.ECKEL AND S.SUNDARESAN: Welding Journal (1986) pp.28~311
- 2) 朝比奈敏勝, 加藤 數良. 時末 光:輕金屬 Vol 45, No8(1995)pp.453~458
- 3) Shotaro Morozumi,HiromasaTakeda, Michio Kikuchi: 경금속, Vol.39 No7(1989)pp.501~506
- 4) A.Fuji, Kameyama.M, Futamata, Shimaki: Welding international, 8(8) (1994) pp.638~645
- 5) H.OCHI, K. OGAWA,et al :Proceeding of the Ninth(1999) International Offshore and Polar Engineering Conference(1999) p231-235
- 6) 銅および銅合金の基礎と工業技術 日本伸銅協會p378
- 7) R.ABELL,J.C.LIPPOLD,AND D.R.ADOLPHSON:Welding Reserch supplement(1984) pp325~332

- 8) A.Tjernberg:Engineeringfailure analysis Vol7(2000) pp221 ~ 227
- 9) 대한용접학회: 용접 · 집합 편람(1998) p659
- 10) 이 원배,연 윤모,정 승부: 동 기술연구회지, Vol.15, No1(2000)pp.53~61
- 11) 川井 五作,小川 恒一, 越智 秀 時末光:輕金屬, Vol.49, No2(1999)pp.83~88
- 12) 蓮井 淳, 小川 正幸 田中 英樹:日本容接學會誌(1997) Vol 46 No 12 p858~862

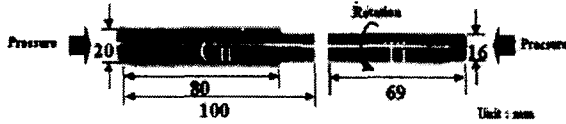


Fig.1 Appearance of specimen

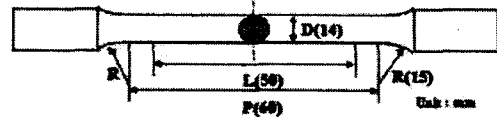


Fig.2 Shape and dimension of tensile specimen

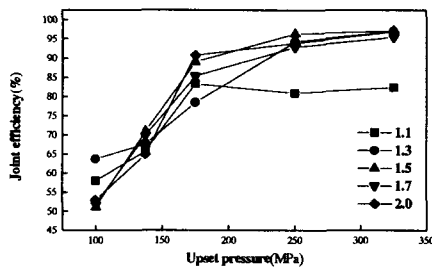


Fig.3 Variation in tensile strength with friction time

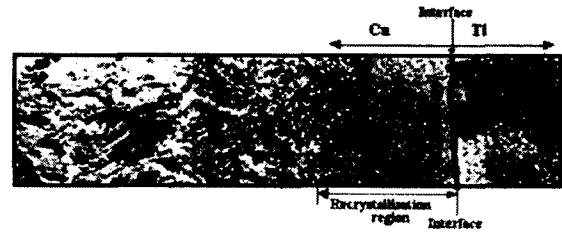


Fig.4 Microstructure of friction-welded joint ( $t_1=1.1s, t_2=6s, P_1=100Mpa, P_2=175Mpa$ )

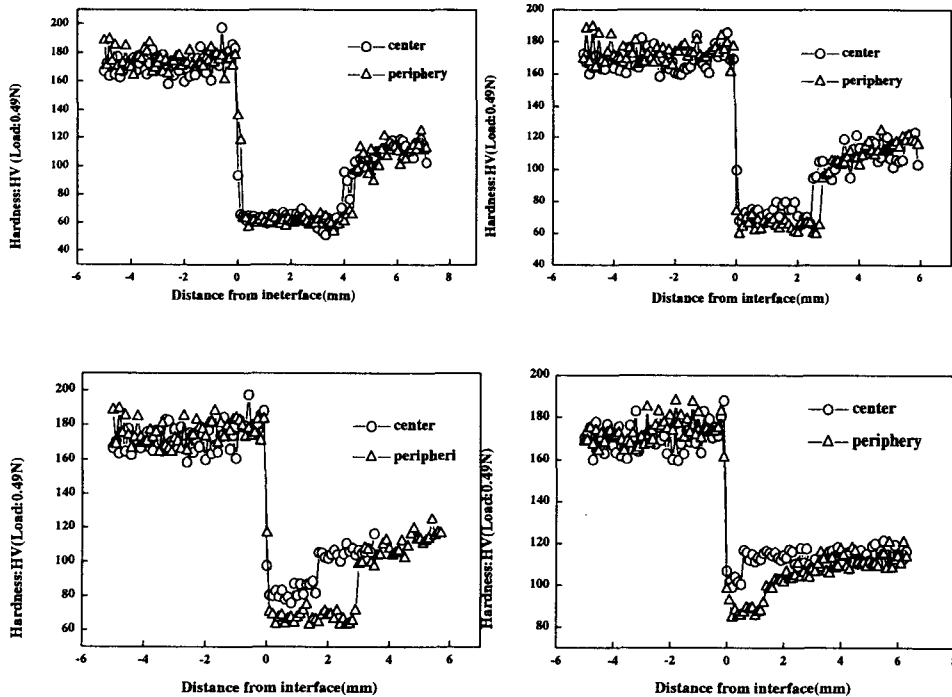


Fig.5 Hardness distribution across interface region of as-welded ( $t_1=1.1s, t_2=6s, P_1=100Mpa$ ) (a)  $P_2=100Mpa$  (b)  $P_2=137.5Mpa$  (c)  $P_2=175Mpa$  (d)  $P_2=325Mpa$

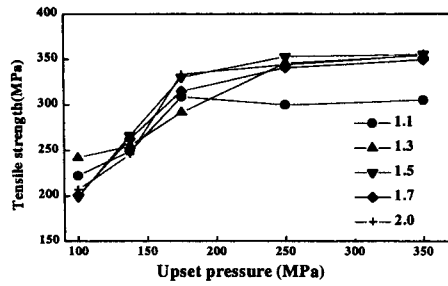


Fig.6 Variation in tensile strength upset pressure

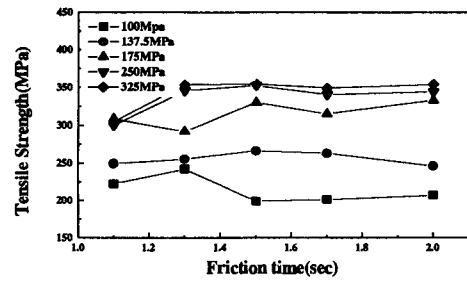
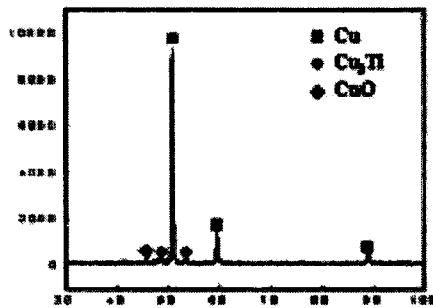
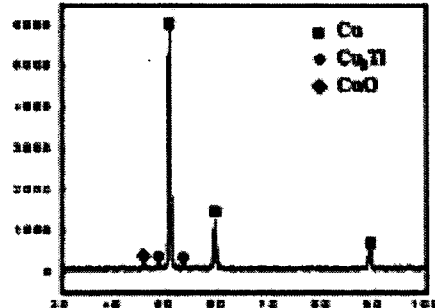


Fig.7 Variations in tensile strength with friction time



(a)  $P_2=100\text{Mpa}$



(b)  $P_2=325\text{Mpa}$

Fig.9 X-ray diffraction pattern on interface of Cu/Ti joint ( $P_1=100\text{Mpa}$ ,  $t_1=1.5\text{s}$ ,  $t_2=6\text{s}$ )

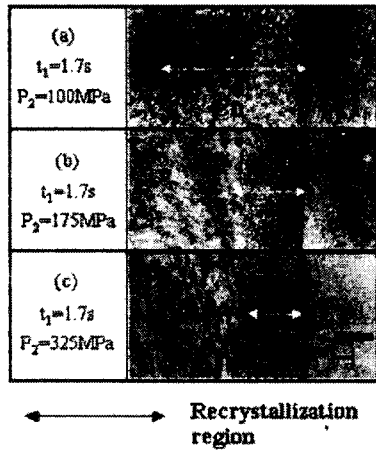


Fig.8 Microstructures of friction-welded joint

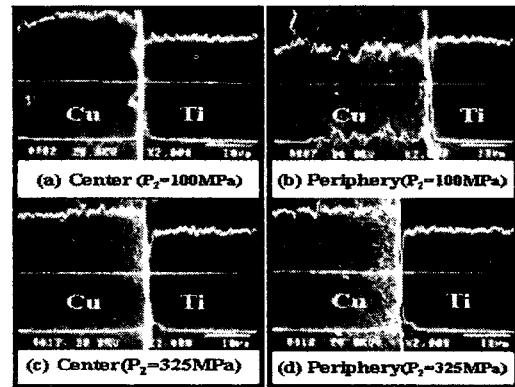


Fig.10 EPMA line profiles of Cu/Ti friction-welded joint ( $t_1=1.7\text{s}$ ,  $P_1=100\text{Mpa}$ ,  $t_2=6\text{s}$ )

Table1. Physical properties of base materials

Materials	Density (293K)	Melting Point(K)	Thermal conductivity (W/cm · K)	Thermal Expansion Coefficient(293K)	concentration
Ti	4.50	1943	0.219	$8.35 \times 10^{-6}$	99.4wt%
Cu	8.96	1357.6	4.01	$16.5 \times 10^{-6}$	99.9wt%