

## 고강도 알루미늄 합금 A7075-T6의 마찰용접성에 관한 연구

강 성 보 / 충남대학교 대학원 기계공학과  
민 택 기 / 충남대학교 기계공학과

### Abstract

This study deals with the friction weldability of A7075-T6 having high specific strength. The friction welding conditions used are rotation speed 2000rpm, friction pressure 40MPa, friction time 1.5sec, upset pressure 40~100MPa, upset time 5sec. First, upset length was measured by displacement transducer. The plastic flow in 7075-T6 weld generates convex lens shaped resion by friction and concave lens shaped resion by axial force. Under the condition of upset pressure 85MPa, the friction welds have tensile strength of 552MPa and shear strength of 262MPa.

### 1. 서 론

마찰용접법은 회전하거나 상대운동을 하는 공작물 사이에 가압력을 주어 마찰열을 발생시키고, 이 때의 소성유동(plastic flow)에 의한 금속의 확산이동과 단접의 원리로 금속을 접합하는 방법이다. 이 방법에서는 적어도 반자동화된 공작기계를 이용하여 회전수, 가압력, 마찰시간 등을 제어하기 때문에 용접의 재현성 및 신뢰성이 높고 용접사이클이 짧아 경제적이다<sup>1)</sup>.

알루미늄 합금 A7075-T6는 초초두랄루민으로 불리며, 높은 비강도를 가지기 때문에 경량화가 요구되는 항공기, 자동차에 사용되고 있다. 이러한 알루미늄 합금에서는 산화물과 기공의 형성뿐만 아니라 용접크랙에 민감하기 때문에 종래의 용융용접으로는 접합하기가 상당히 난이하다. 본 연구에서는 마찰용접을 이용하여 A7075-T6를 접합하였고, 용접부의 플래시와 소성유동을 관찰하

였으며, 인장, 전단시험 등을 통해 용접성을 평가하였다.

### 2. 실험재료 및 실험방법

#### 2.1 실험재료

본 실험에서는 Al-Zn-Mg 계열의 합금인 A7075-T6를 사용하였고,  $\phi 20\text{mm}$ 의 봉재를 길이 100mm로 절단한 다음, 용접면을 깨끗이 선반가공하였다. A7075-T6의 화학적 성분과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 각각 나타냈다.

Table 1 Chemical compositions of A7075-T6 used

Compositions(wt %)								
Zn	Mg	Cu	Fe	Cr	Mn	Ni	Ti	Al
4.8	2.4	1.1	0.45	0.3	0.1	0.03	0.05	Bal.

Table 2 Mechanical properties of A7075-T6 used

Mechanical properties			
Tensile strength (MPa)	Bending strength (MPa)	Shear strength (MPa)	Elongation (%)
594	505	328	7

#### 2.2 실험기기 및 실험방법

본 실험에 사용된 마찰용접기(Model : NSF-30H, 남선기공)는 스펀들의 회전수가 1000rpm과 2000rpm으로 고정된 브레이크 타입(brake type)의 마찰용접기이다. 이것은 실험재료를 고정할 수 있는 회전부 유압척과 고정부 유압척, 회전을 급정지시키기 위한 브레이크 장치, 가압력을 얻기 위한 유압장치(최대추력 10 ton), 플래시 절삭 장치 등으로 구성되어 있다. 예비실험을 통하여 적절한 압력과 시간 범위를 설정하였고, 양 유압척으로부터 돌출된 용접시험편의 길이

는 25mm가 되도록 하였다. 회전수의 설정은 예비실험에서 비교적 안정된 용접강도 데이터와 업셋길이를 보여준 2000rpm을 고정적으로 사용하였다. 한편, 용접시험편의 업셋길이를 측정하기 위해 displacement transducer(model : DT-100A, KYOWA Co. Japan)를 스펀들의 칼럼에 고정시켰고, 시험편들이 접촉하는 순간부터 용접이 끝나는 순간까지 시간별로 길이의 변화를 측정하였다. 본 실험에 사용된 마찰용접기의 개략도를 Fig. 1에, 마찰용접 조건들을 Table 3에 나타냈다.

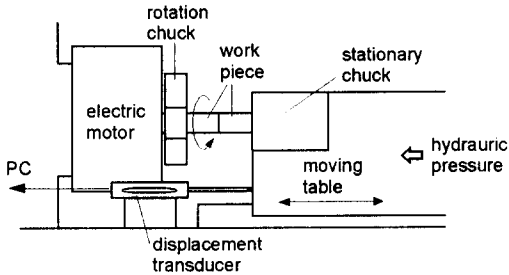


Fig. 1 Schematic diagram of friction welding machine

Table 3 Friction welding conditions

Spindle revolution : N(rpm)	2000
Friction pressure : $P_1$ (MPa)	40
Friction time : $T_1$ (sec)	1.5
Upset pressure : $P_2$ (MPa)	40~100
Upset time : $T_2$ (sec)	5

마찰용접부의 인장시험 및 전단시험은 용접 시험편의 플래시를 선반가공하여 제거한 다음, 용접계면에 원형노치( $R=2$ , 노치부의 직경 16mm)를 주어 용접계면에서의 인장강도 및 전단강도를 알 수 있도록 하였다. 전단시험은 Fig. 2와 같은 전단지그(clearance : 1mm)를 제작하여 하였다.

모든 기계적 시험은 최대 용량 50ton의 만능 재료 시험기(model : DYHU-50-AD, Dae Yeong)에서 하였고, 사용된 재료가 시효경화성(age hardning)이 우수하기 때문에 용접 후 30일이 지난 다음 실시하였다<sup>2)</sup>.

용접시험편의 단면을 관찰하기 위해 부식액으로 modified Keller's etchant를 사용하여 30초

동안 부식하였다.

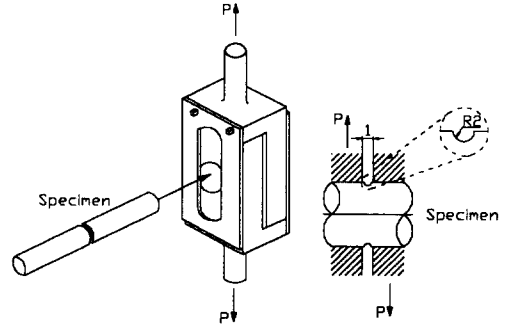


Fig. 2 Configuration of shear test(unit : mm)

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 업셋길이

Fig. 3은 마찰용접 시간의 경과에 대한 업셋길이의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 마찰시간( $t_1 = 1.5$ 초) 동안에는 업셋이 거의 일어나지 않았고, 주로 업셋시간( $t_2 = 5$ 초) 동안에 대부분의 업셋이 일어났다.

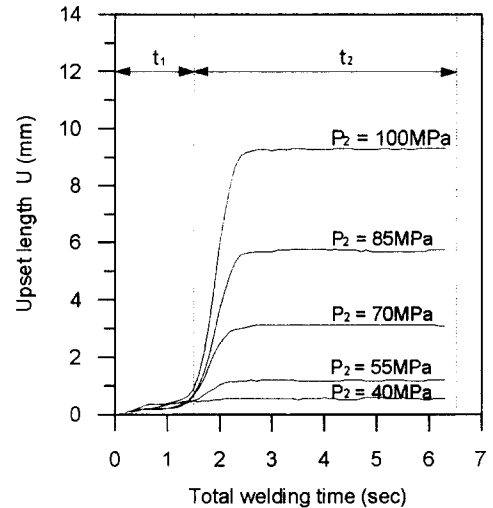


Fig. 3 upset length during friction welding time

마찰용접 시간 중 1.5초 이후 업셋율이 급증하는 것을 알 수 있는데, 마찰시간이 경과한 후 브레이크가 작동하면서 스펀들 회전수가 감소되기 시작하는 순간부터이다. 이는 회전수가 감소되기 시작하면서 업셋압력  $P_2$ 가 작용하고, 마찰토크

의 상승과 함께 용접부의 열연화된 영역이 플래시로 빠르게 배출되었기 때문이다. 업셋압력  $P_2$ 의 증가와 함께 업셋길이는 포물선적으로 증가하여  $P_2$ 가 100MPa에서는 9.3mm까지 증가했다.

### 3.2 매크로조직

Photo 1은 A7075-T6 마찰용접부의 단면을 나타낸다. 마찰용접면 근처에서는 시험편의 축방향으로 늘어선 모재의 섬유조직이 플래시의 배출방향으로 바뀌었다. 이것은 가압력에 의한 용접면의 소성변형에 의한 것으로 시험편의 원주부로 가면서 넓어지는 오목렌즈 형상을 가진다. 7075-T6 마찰용접부의 가장 큰 특징은 용접면에 존재하는 블록렌즈 영역<sup>3)</sup>이다. 업셋압력  $P_2$ 가 낮은 조건에서 뚜렷하게 나타난 이 영역은 마찰과정에서 생긴 것으로 여겨지며, 최대 폭은 약 1.8mm이다. 육안상으로, 모재조직과 오목렌즈 영역에서 섬유조직의 방향성이 나타나는 반면, 이 영역에서는 방향성이 나타나지 않았고, 기공과 같은 결함을 포함하고 있다.  $P_2$ 가 85MPa인 높은 업셋압력에서 이 영역의 최대 폭은 약 0.8mm로 감소되었고, 결함은 발견되지 않았다.

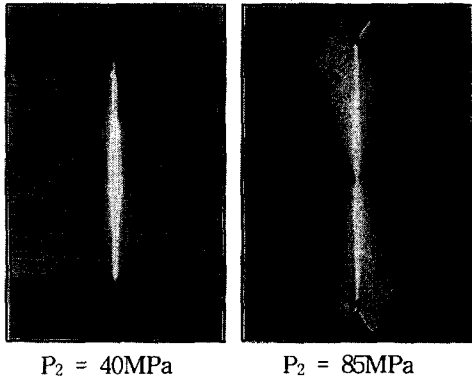


Photo 1 Macrostructure of friction welds (Mag. 1.6)

### 3.3 인장시험

Fig. 3은 업셋압력  $P_2$ 에 대한 용접부의 인장강도  $\sigma_t$ 를 나타낸다. 업셋압력이 증가하면서  $P_2$ 가 85MPa까지는 용접부의 인장강도가 크게 상승되

었고, 그 이상의 압력에서는 약간 감소되었다.  $P_2$ 가 85MPa일 때의 인장강도  $\sigma_t$ 는 552MPa로 7075-T6 모재 인장강도의 93%에 달했다. 이러한 강도를 얻기 위해 필요한 업셋길이는 Fig. 3으로부터 5.7mm에 불과함을 알 수 있다.

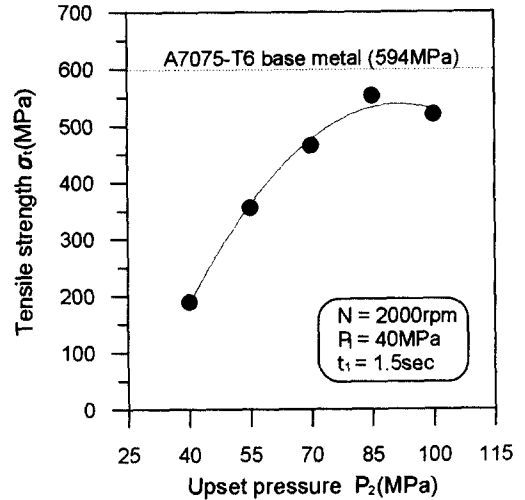


Fig. 3 Relationship between upset pressure and tensile strength

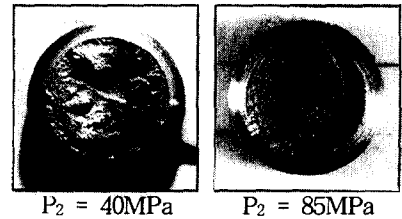


Photo 2 Tensile fracture surfaces(Mag. 1.1)

Photo 2는 7075-T6 마찰용접부의 인장파면을 보여준다. 업셋압력이 낮은 경우( $P_2 = 40$ MPa)에는 블록렌즈 영역 내에서 파단이 일어났고, 영역의 폭이 넓기 때문에 파면이 울퉁불퉁하다.

그러나 업셋압력이 높은 경우( $P_2 = 85$ MPa)에는 파단이 블록렌즈 영역과 오목렌즈 영역의 경계 혹은 오목렌즈 영역에서 일어났고, 결함은 발견되지 않았다.

결국, 업셋압력이 높아짐에 따라서 인장강도가 증가된 것은 결함들이 플래시로 배출되었고, 블록렌즈 영역의 폭이 감소되어 3축 응력 하의 강한 구속을 받았기 때문으로 여겨진다.

### 3.4 전단시험

Fig. 4는 업셋압력  $P_2$ 에 대한 용접부의 전단강도  $\sigma_s$ 를 나타낸다. 업셋압력이 증가하면서  $P_2$ 가 85MPa까지는 용접부의 전단강도가 상승되었고, 그 이상의 압력에서는 약간 감소되었다.  $P_2$ 가 85MPa인 조건에서의 전단강도  $\sigma_s$ 는 262MPa로 7075-T6 모재 전단강도의 80%에 달했다.

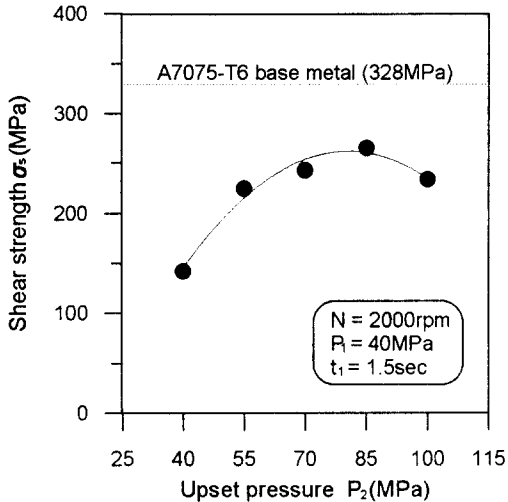


Fig. 4 Relationship between upset pressure and shear strength

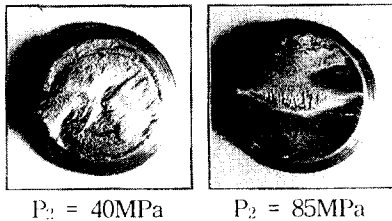


Photo 3 Shear fracture surfaces(Mag. 1.1)

Photo 3은 7075-T6 마찰용접부의 전단파면을 보여주는데, 낮은 업셋압력( $P_2 = 40\text{MPa}$ )과 높은 업셋압력( $P_2 = 85\text{MPa}$ ) 모두 매끈한 형태의 파면이다. 별도의 시험 결과, 7075-T6 모재는 파면이 직선에 가까운 형태였고, 비교적 연성이 적은 7075-T6의 전단파괴 특성을 보여주었다.

인장시험 결과와 비교해 보면, 낮은 업셋압력( $P_2 = 40\text{MPa}$ )의 조건에서는 블록렌즈 영역에서의

방향성이 존재하지 않기 때문에 전단강도와 인장강도의 차이는 비교적 작고, 전단시험에서 모재대비 강도가 높다. 그러나 높은 업셋압력( $P_2 = 85\text{MPa}$ )의 조건에서는 폭이 좁은 블록렌즈 영역과 방향성이 존재하는 오목렌즈 영역의 경계면에서의 파단이 동반되기 때문에 전단시험에서의 모재대비 강도는 낮다.

이상의 결과들로부터 고강도 알루미늄 합금인 7075-T6의 마찰용접성이 우수하다는 것을 알 수 있고, 용접부의 인장, 전단강도는 충분히 실용화될 만한 값을 가진다. 또한, 마찰용접의 재현성 및 자동화가 용이한 점을 고려해 볼 때, 값싸고 우수한 품질의 제품을 대량 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 비강도가 우수하며 항공재료로 사용되고 있는 A7075-T6를 마찰용접하여 다양한 방법으로 용접성을 평가하였다. 사용된 용접 조건은 회전수 2000rpm, 마찰압력 40MPa, 마찰시간 1.5초, 업셋압력 40~100MPa, 업셋시간 5초였다. 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 업셋의 대부분은 마찰시간이 경과한 후 브레이크 작동과 함께 스프링들 회전수가 감소되기 시작하는 순간부터였고, 업셋압력의 증가에 따라 업셋길이는 포물선적으로 증가했다.
- 2) A7075-T6의 소성변형은 주로 가압력에 의해 형성된 오목렌즈 영역과 마찰과정에서 형성된 블록렌즈 영역으로 나타났다. 모재조직과 오목렌즈 영역에서 섬유조직의 방향성이 나타났으나 블록렌즈 영역에서는 방향성이 나타나지 않았고, 높은 업셋압력에서 이 영역의 폭은 감소되었다.
- 3)  $P_2$ 가 85MPa인 조건에서 마찰용접부의 인장강도  $\sigma_t$ 는 552MPa로 7075-T6 모재 인장강도의 93%에 달했고, 전단강도  $\sigma_s$ 는 262MPa로 7075-T6 모재 전단강도의 80%에 달했다. 또한, 이러한 강도를 얻기 위한 필요한 업셋길이는 5.7mm였다.
- 4) 최고의 강도를 나타낸 조건에서 인장파단은 불

록렌즈 영역의 경계 혹은 오목렌즈 영역에서 일어났고, 전단파단은 볼록렌즈 영역 혹은 이것의 경계에서 일어났다.

#### 참고문헌

- 1) D. E. Spindler, "What Inderstry Needs to Know about Friction Welding", *Welding Journal*, pp. 37-42, March, 1994.
- 2) H. Fuwana, K. Katoh, H. Tokisue, "Effects of Friction Welding Conditions on the Mechanical Properties of Friction Welded Joints in 7075 Aluminium Alloy", *Welding International*, Vol. 11, No. 9, pp. 682-687, 1997.
- 3) M. Rad and T. H. Hazlett, "A Study of the Mechanisms Involved in Friction Welding of Aluminum Alloys", *Welding Research Supplement*, pp. 181s-188s, April, 1970.