

A2024-T6와 SM45C 摩擦鎔接시 挿入材 두께 변화에 關한 研究

A SM45C on th Thickness change of Insert Metal in Friction Welding

SM45C and A2024-T6

길남규*, 성기완*, 윤병수**, 민택기***

* 충남대학교 대학원생

** 우송공업대학 교수

*** 충남대학교 교수

1. 서론

마찰용접법은 이종재료의 접합이 용이하다는 특징을 가지고 있으나, 특히 열전도도의 차이나 단조 온도의 차이가 큰 경우 또는 취약한 금속간 화합물이 생성되기 쉬운 경우 완전한 접합이 어려운 경우도 있다. 그 대표적인 예로 Al-Cu, Al-Fe, Ti-SUS의 경우이다.¹⁾ 그러나, 근래 이러한 재료의 마찰용접의 요구가 높아지고, 어떤 방법으로든 접합하는 것이 필요하게 되었다. 최근 이 재료의 용접에서는 삽입재(Insert metal)를 이용해 간접적으로 접합하는 방법이 연구되고 있다.²⁾

최근 자동차 및 항공기를 비롯한 수송기계, 화학플랜트, 원자로, 저온용기 등의 여러 분야에서 사용되고 있는 구조재 및 부품은 재료의 경량화, 재료절감 그리고 대체 재료의 차원에서 알루미늄합금과 탄소강에 대한 용접의 요구가 증가하고 있다. 자동차 현가장치의 부품인 U-joint, 스티어링 너클과 스피들(Steering knuckle and spindle), 피스톤 로드셀(Piston rod cell) 등은 SM45C를 가지고 탄소강스 아크용접하여 제작하고 있다. 이들 부품에서 축(Shaft) 재료를 A2024-T6로 대체하여 보디(Body) 재료인 SM45C와 마찰용접함으로써 부품의 경량화는 물론 높은 생산성이 있을 것으로 기대된다. 그러나 A2000계 알루미늄합금과 탄소강의 마찰용접^{3)~4)}은 석출강화 원소인 Cu, Mg이 용접면에 취약한 금속간 화합물의 생성과 성장을 촉진하며 알루미늄합금을 경화시켜 균열을 발생시키고, 또한 산화물을 형성하기 때문에 용접부의 강도가 현저하게 떨어진다. 이와 같이 낮은 용접부의 강도를 향상시키기 위한 방법으로 삽입재를 사용하여 마찰용접하면 이종 재료간의 열 및 야금학적 차단 효과⁵⁾가 있어 양호한 용접을 얻을 수 있다.

본 연구의 목적은 용융 용접으로는 접합이 불가능한 A2024-T6와 SM45C를 자동차 부품의 경량화를 위한 대체 재료로 사용하기 위하여 마찰용접하였다. A2024-T6와 SM45C의 마찰용접은 알루미늄합금인 A1050, A6063-T5, A5083을 삽입재로 사용하여 용접하였고 삽입재의 두께를 변화시켜 삽입재의 용접부 강도에 미치는 영향, 삽입재의 역할, 용접부의 기계적 성질, 용접부의 조직, 용접부의 경도, 파단면 관찰 및 용접부의 온도에 대하여 실험, 고찰하였다.

2. 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 항공기의 구조용재료로 1930년에 개발하여 많이 사용되고 있는 A2024-T6와 기계구조용 재료로 많이 사용되고 있는 SM45C를 용접 모재로 하였다. 삽입재 재료는 A1050, A5083, A6063-T5을 사용하였다. 재료의 길이는 직경 20mm, 길이 100mm로 각각 양 끝을 선반으로 정밀 가공 후 용접면을 알코올로 세척하였다.

3. 실험방법

본 실험의 실험방법은, 삽입재를 사용하지 않고 직접 용접한 경우에는 직경 20mm, 길이 100mm로 절단하고 절단면을 알코올로 세척한 다음, Table 1의 용접조건으로 마찰용접하였다. 삽입재를 사용한 경우에는 먼저, SM45C와 삽입재를 Table 2의 용접조건으로 마찰용접하고 플래시를 제거한 후, 그리고 각 삽입재 길이 0, 1, 2, 3, 4, 5mm로 변화를 주어 Table 1의 용접조건으로 A2024-T6와 마찰용접하였다.

인장시험, 비틀림 시험의 기계적 성질과 열영향부에 대한 검사를 위해 경도측정을 하였고 접합부의 조직변화를 관찰하기 위하여 조직검사, SEM측정도 실험하였다.

Table 1 Friction welding conditions of A2024-T6 and SM45C with insert metal

Welding conditions \ Insert metals	Direct	A1050	A5083	A6063-T5
	Spindle revolution (N rpm)	2,000		
Friction pressure (P_1 MPa)	40			
Friction time (t_1 sec)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0			
Upset pressure (P_2 MPa)	80, 100, 120, 140, 160			
Upset time (t_2 sec)	5.0			

Table 2 Friction welding conditions of SM45C and Insert metal

Welding conditions \ Insert metals	A1050	A5083	A6063-T5
	Spindle revolution (N rpm)	2,000	2,000
Friction pressure (P_1 MPa)	40	40	40
Friction time (t_1 sec)	1	1	1
Upset pressure (P_2 MPa)	80	120	80
Upset time (t_2 sec)	5	5	5

4. 실험결과 및 고찰

인장 시험결과 각 재료의 삽입재 두께 길이가 3mm 기준으로 하여 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 3mm 이하인 경우에는 플래시로 각 재료들이 원주방향으로 배출하여 적정한 마찰열과 가압력이 A2042-T6에 도달하지 못하게 방해하였으며, 3mm 이상인 경우에는 삽입재 두께가 두꺼워져 마찰열과 가압력이 불충분하여 삽입재가 플래시로 배출하지 못하고 삽입재 잔존층이 용접면에 많이 남아 있어 삽입재 자체의 강도에 영향을 받는 것으로 사료된다. (Photo 4)

삽입재 두께를 3mm를 고정으로 하여 회전수 2,000rpm, 마찰시간 1.0sec, 마찰압력 40MPa, 업셋시간 5.0sec를 고정하고 업셋압력을 변화시켰다. 인장강도는 업셋압력이 증가함에 따라 증가하지만 인장강도는 오히려 감소하는 결과를 나타내었다. 이와 같이 높은 업셋압력과 마찰시간이 긴 경우에 인장강도가 감소하는 것은 마찰열에 의해 소성 변형된 부분이 플래시로 배출되는 양이 많게 되어 접합면에 도달하는 온도가 결국 낮아 부적절한 용접상태⁵⁾로 되어 인장강도가 감소하며, 삽입재를 사용한 경우에는 삽입재 잔존층(Remaining layer)의 두께에 대한 영향으로도 사료된다. 즉, 인장강도가 낮은 경우는 업셋압력이나 마찰시간이 불충분하여 삽입재가 플래시로 배출되지 못하고 삽입재의 잔존층이 용접면에 많이 남아 있어 삽입재 자체의 강도에 영향을 받는 경우이다. 그리고 최대 인장강도를 보인 경우에는 삽입재가 적정량의 플래시로 배출되어 삽입재의 잔존층과 제 조건이 최적상태가 되기 때문에 강도가 증가되었으며 최대강도를 보인 용접조건 이상에서는 삽입재의 잔존층이 너무 얇아져서 강도가 낮아지거나 또는 삽입재의 잔존층이 모두 없어져 결국 삽입재를 사용하지 않는 경우와 같은 강도로 되어 있다고 사료된다.

Photo 1(a), (b)은 삽입재를 사용하지 않고 직접 마찰용접한 경우이고, (c), (d)은 인장강도가 가장 높은 경우와 낮은 인장강도를 보인 인장파단면을 나타내고 있으며, Photo 2은 인장파단면의 SEM 사진을 나타내고 있다.

삽입재를 사용하지 않고 용접한 경우에는 파면 전체에 걸쳐서 취성 파단 형태를 보였다. 그리고 중앙부와 외주부 일부에서 A2024-T6 알루미늄 합금이 탄소강 표면에 얇게 달라 붙어 있으며, R/2 부분은 마찰에 의한 미끄럼 흔적과 알루미늄 합금이 중앙부보다 적게 붙어 있는 매끈한 파면으로 강도가 낮음을 볼 수가 있다. 그러나 삽입재를 사용한 경우(Photo 1)에는 파면 일부에서 덩굴이 형성되어 연성파면이 나타났으며 평활한 파면은 알루미늄 합금이 탄소강 표면에 달라 붙어 있는 매끈

한 파면을 보여주고 있다. Photo 1(a)에서는 삽입재 A6063-T5를 두께 3mm로 사용한 경우, 최고 인장강도를 나타낸 파단면을 보여주고 있다. 여기서 파단면의 중앙부 이후로 부터 외주부 선단까지 이르는 부분에서 연성파괴가 나타났다. 이 때 형성된 덩풀의 파단 위치는 A2024-T6의 계면 및 열영향부(HAZ)에서 파단되어 높은 인장강도를 얻었다고 사료된다. Photo 1(b)에서는 삽입재 A5083를 두께 1mm로 사용한 경우, 낮은 인장강도를 나타낸 파단면을 보여주고 있다. 파단면의 중앙부분에서 평활한 파단이 나타났으며 SM45C측과 A2024-T6측에서 모두 와선(渦線) 모양의 마찰흔적이 육안으로 확인되어 낮은 강도를 나타남을 알 수가 있다.

Photo 2은 인장 파단면의 SEM사진을 나타낸 것이다. (A)는 삽입재를 A6063-T5를 사용한 경우이며 파단면의 외주부를 나타내고, (B)는 외주부에서 일부 접합이 되지 않은 탄소강측의 파단면을, (C)는 파단면 중앙부를 나타내고 있다. (D)는 삽입재를 A5083 사용한 경우이며 파단면의 외주부를, (E)는 중심부를 나타내고 있다. 여기서 마찰에 의한 흔적과 알루미늄 합금이 붙어 있는 것을 볼 수가 있다. 외주부의 덩풀부분(A)을 SEM사진으로 800배 확대(Photo 2의 k부분)하여 분석한 결과 덩풀의 분지내에 취성파단된 입자(F)를 볼 수가 있다. 또, 여기서 입자의 면적은 대략 $1800\mu\text{m}^2$ 으로 이것은 금속간 화합물로 추정된다.²⁴⁾

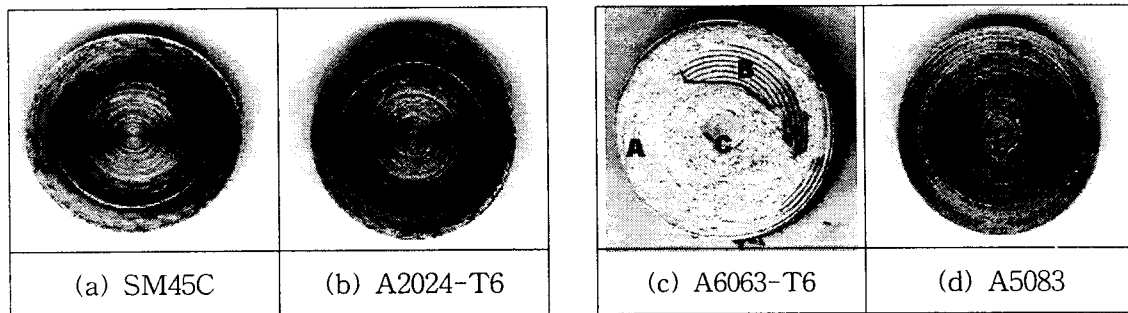


Photo 1 Tensile fracture surface friction welds

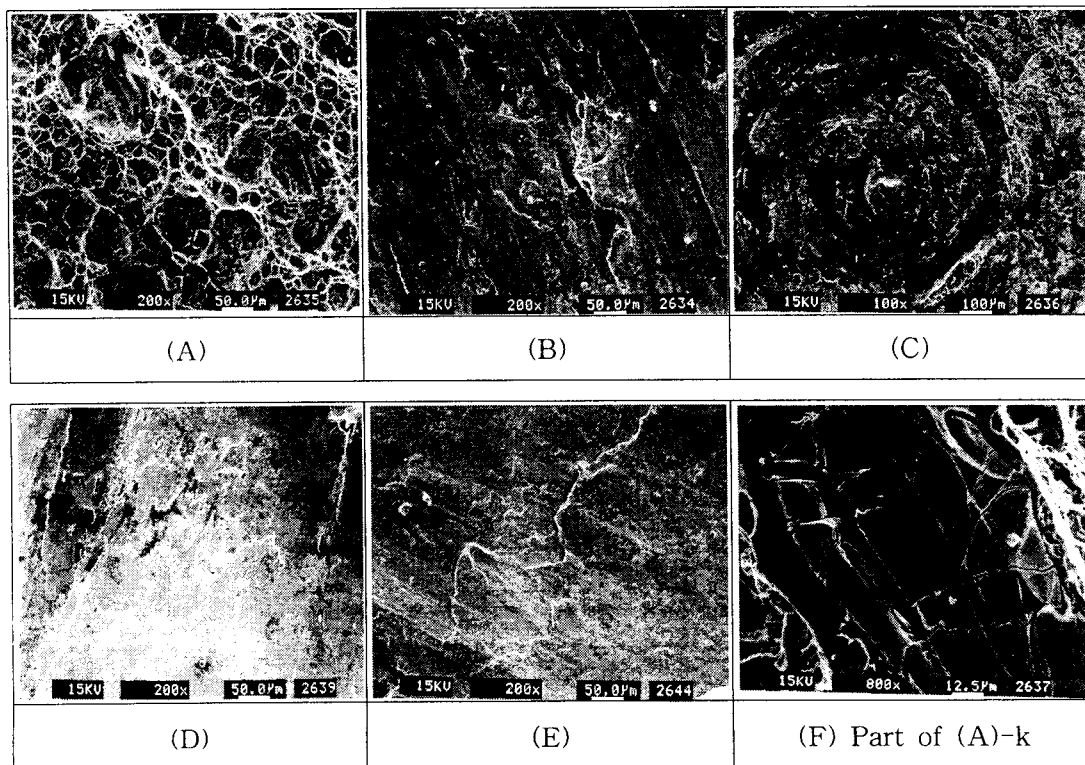


Photo 2 SEM fractographs of tensile specimens