

동종 마찰 용접시 열영향부의 개선에 관한 연구

A Study on the Friction Welding by Heat Affected Zone improvement with the same kind of material

장승수*, 여상은*, 민택기**

*충남대학교 기계공학과, **충남대학교 기계공학과

1. 서론

마찰용접은 피용접재에 상대운동과 함께 가압시켜 접촉면에서 발생하는 마찰열을 이용하여 용접하는 방법으로써 접촉면이 용융되기 전 일정한 온도에 도달하였을 때 압력을 가하면 소성변형을 일으키면서 접합되므로 용융상태가 아닌 고상상태에서 접합되는 특성을 갖고 있다^{1),2)}. 따라서 마찰용접은 용접품질의 신뢰성이 높고, 낮은 비용(Cost)으로 우수한 용접강도를 얻을 수 있어서 자동차 및 항공기를 비롯한 각종 수송기계, 군수용 기계, 전기, 전자, 화학, 원자로 등의 여러 분야에서 활용되고 있으며, 그 용도가 계속 확대되고 있다.

본 연구에서는 그 쓰임이 일반화되어있으며 기계적 성질 또한 우수한 SM45C 탄소강 동종을 대상으로 마찰 용접시 용접계면에 발생하는 열영향부(HAZ)를 개선하기 위하여 용접 후 담금질 처리와 뜨임 처리를 하였으며 이때의 기계적 성질의 변화와 개선에 대하여 연구하였으며 또한 접촉 계면의 온도를 여러 이산화 방법중 하나인 유한요소법(FEM, Ansys)을 이용 계산하여 마찰용접이 고상 접합임을 증명하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 용접구조용 합금으로 널리 사용되고 있는 SM45C를 직경 20mm의 환봉을 길이 100mm로 절단하여 선삭하였다. 그리고 시험편의 절단면에 있는 이물질 제거하기 위해 아세톤으로 세척하였다. Table 1은 실험재료의 화학 성분을 나타내었고, Table 2는 실험재료의 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of materials (Wt %)

Materials	Composition(Wt. %)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
SM45C	0.42	0.15	0.6	0.03	0.035	bal.

Table 2 Mechanical properties of materials

Materials	Mechanical properties	
	Tensile strength (MPa)	Hardness (Hv)
SM45C	875	297
SM45C(tempering)	915	220
SM45C(quenching)	960	520

2.2 실험방법

일반구조용 탄소강인 SM45C를 직경 20mm, 길이 100mm로 절단하고 절단면을 아세톤으로 세척한 다음 Table 3의 용접조건으로 마찰용접하였다. 마찰용접은 업셋압력을 주요 변수로 하였다. 그리고 마찰용접 조건을 설정하기 위해서 다양한 조건으로 예비실험을 수행한 결과 Table 3과 같은 용접조

건을 얻었다.

인장시험은 표준시험편으로 가공하여 예비실험한 결과 모재부에서 파단되어 용접강도를 얻을 수 없었다. 따라서 Fig. 1과 같이 노치시험편 R2로 가공하여 실험하였고, 인장시험 후 파단면을 관찰하였다.

용접부의 조직시험은 용접부의 축 단면을 폴리코트(Polycoat)로 마운팅하고, 샌드페이퍼 #200, #800, #1200, #1500을 사용하여 연마한 다음 평균입경 1 μ m의 산화알루미늄 분말을 이용하여 폴리싱머신으로 습식 연마하였다. 조직 시험편의 부식액으로 Nital 5% 용액을 사용하여 5초 동안 부식하였다.

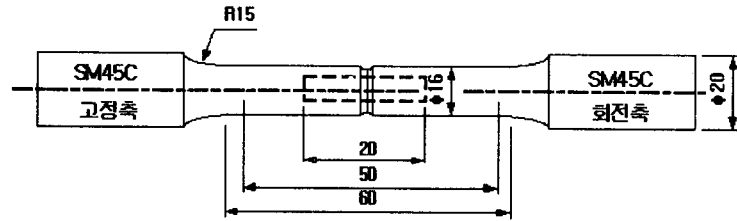


Fig. 1 Specimen of tensile test

Table 3 Friction welding conditions

Spindle revolution N(rpm)	Friction pressure P ₁ (MPa)	Friction time t ₁ (sec)	Upset pressure P ₂ (MPa)	Upset time t ₂ (sec)
2,000	50	1.5	80	3
			90	
			100	
			110	
			120	
			130	
			140	
			150	
			160	
			170	

2.3 온도 해석의 이론적 배경

고체 내부의 정상상태 열전달은 시간에 따른 변화는 고려하지 않은 것이다. 그러나 많은 경우 물체의 온도 변화는 시간과 위치에 따라 달라진다. 또한 시간에 따라 경계조건이 달라지는 경우도 많다. 예를 들어 가열로에서 뜨거운 물체를 꺼내어 상온에 두면 복사과 대류에 의해 열전달이 일어나고 물체의 내부로부터 표면으로 전도에 의한 열전달이 일어날 것이다. 이것은 정상상태에 이를 때까지 계속 될 것이다. 과도 해석은 고체내의 온도와 열전달 상태를 시간과 위치의 함수로 볼 수 있다. 시간에 따라 경계조건이 달라지는 경우에 적용이 된다. 과도 상태이므로 온도의 시간에 따른 변화율이 남아있다. 그러므로 식은 아래와 같이 된다.

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = \rho c \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Where, ρ = Density

c = Specific heat

(1)식은 1차원 과도 상태 열전도 식이 된다. 열유속은 단위면적당의 열전달율이므로 다음과 같다.

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{dT}{dX} [W/m^2] \quad (2)$$

대류열전달은 다음의 식을 따른다.

$$q = h_f (T_S - T_B) \quad (3)$$

Where, h_f = convective film coefficient

T_S = surface temperature

T_B = bulk fluid temperature

3 실험 결과 및 고찰

3.1 인장 시험

주축 회전수(N) 2,000rpm, 마찰시간(t_1)을 1.5초, 마찰압력(P_1) 40MPa, 업셋시간(t_2) 1.5초로 고정하고, 업셋압력(P_2) 80~170MPa로 주었을 때 봉재의 용접부에 R2 노치를 주어 인장시험 한 결과를 나타내고 있다. 일반적인 SM45C의 결과를 보면 업셋압력(P_2)이 100MPa 일 때 1056.9MPa로 실험조건 중 가장 높은 인장강도를 보여주고 있으며, 이때의 인장 강도는 SM45C 모재 인장강도(875MPa)의 약 120.8%에 해당된다. 업셋압력(P_2)이 100MPa 일 때까지는 강도가 증가하다가 그 이상부터는 더 이상 증가하지 않고 다소 감소하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 높은 업셋압력에서 인장강도가 감소하는 것은 마찰열에 의해 소성 변형된 부분이 플래시로 배출되는 양이 많게 되어 접합면에 도달하는 온도가 낮아져 부적절한 용접상태로 되어 인장강도가 감소한 것으로 판단된다. 업셋압력(P_2)에 변화를 주어도 용접부의 인장강도는 SM45C 모재 인장강도(875MPa)보다 더 높은 값을 형성하고 있음을 알 수 있으며 이는 동종재료의 마찰용접시 봉재와 봉재의 마찰력이 너무 커서 두 재료가 강한 힘으로 압착되어 고정되기 때문이라고 사료된다. 또한 마찰용접 후 열처리를 하고 난 결과치도 같은 그래프에 명시되어있다. 먼저 850℃의 온도 조건에서 3시간 동안 담금질(Quenching)한 시편의 인장강도는 상당히 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 일반 SM45C의 최고 값이 나왔던 업셋압력(P_2)이 100MPa에서와 같이 최고의 인장강도를 얻을 수 있었다. 이 때의 인장강도는 1115.1MPa로 SM45C담금질 강의 모재값(960MPa)의 116.2%에 해당된다. 담금질의 경우 업셋압력(P_2)이 100MPa을 기점으로 인장강도가 하강하는 경향을 보이고 있다.

뜨임(Tempering) 처리한 시편의 경우 업셋압력(P_2)이 120MPa에서 인장강도 1036.4MPa을 나타내고 있으며 이 수치는 SM45C뜨임 처리한 강 of 모재값(915MPa)의 113.3%에 해당되며, 특히 인장그래프 상에 뜨임한 시편들은 업셋압력(P_2)과의 상관성은 별로 나타나지 않으며 고르게 인장강도가 높음을 볼 수 있다. 이러한 결과를 얻은 이유는 뜨임처리를 함으로서 시편들이 고르게 연화되었음을 나타내고 있다.

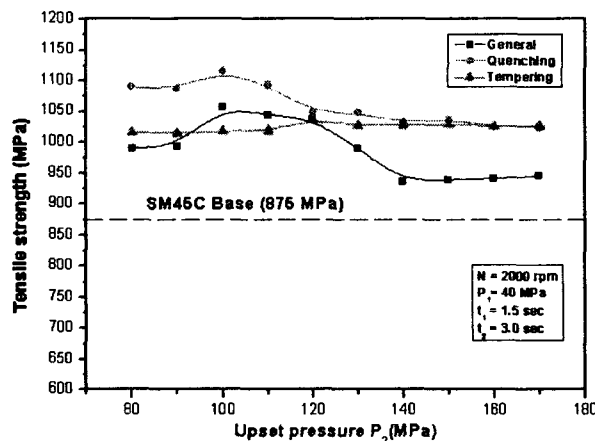


Fig. 2 Relationship between friction time and tensile strength

3.2 용접부의 조직

Photo.1 은 최적 조건 아래에서의 용접시편 경계부의 담금질, 뜨임 열처리 한것과 비교한 것이다

(a)는 SM45C의 모재부이며 (b)는 용접계면이다. (c)와(d)는 열처리한 시편의 계면이다. 마찰용접후의 열영향부를 열처리를 하여 전반적으로 조직을 연화시키고 미세화 하여 만족할 만한 강도를 얻을 수 있었다. 특히, 담금질보다는 뜨임을 하여 여러 조건의 시편을 고르게 안정화 할 수 있다는 결과를 얻었다.

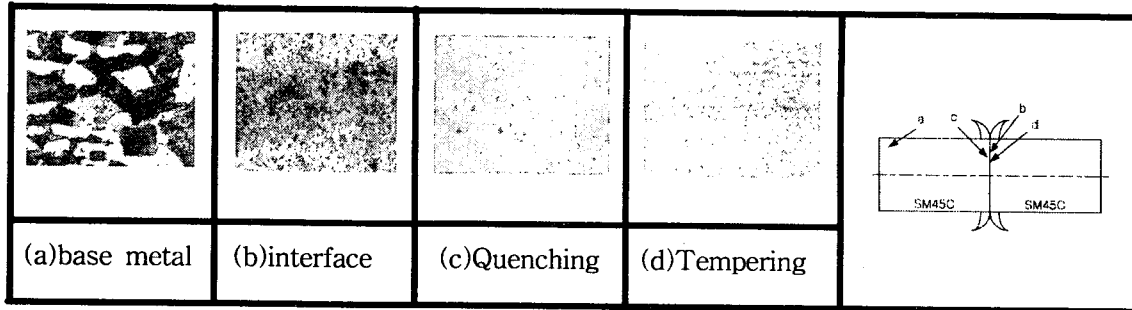


Photo 1 Microstructure of friction weld (Mag. 200, 50)

4. 결 론

본 연구에서는 SM45C 환봉의 동종을 사용하여 회전수 2,000rpm, 마찰압력 50MPa, 마찰시간 1.5초, 업셋시간 3초로 고정하고 업셋압력을 변수로 주어 마찰용접 한 후 접합부의 기계적 강도와 그 시편을 담금질 및 뜨임 열처리를 하여 시험하였다. 그에 따른 온도를 예측해보았다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 열처리를 하지 않은 SM45C를 인장시험 결과 최고 인장강도는 업셋압력이 100MPa 일 때로 이때의 인장강도는 1056.9MPa로 이는 모재 인장강도 875MPa의 약 120.8%에 해당되며 담금질 및 뜨임 열처리 조건의 경우 모재 각각 1115.1MPa, 1036.42MPa로써 이는 담금질 뜨임하였을 경우의 모재 값인 960MPa, 915MPa의 116.2% 및 113.3%를 얻을 수 있었다.

2. 현미경 조직 사진 관찰 결과 용접 계면에서 다른 모재부나 열영향부(HAZ)의 조직 보다 극히 미세해져 있다. 중심부의 열영향부(HAZ)는 극히 작아져서 양 외부로 갈수록 열영향부(HAZ)는 증가함을 알 수 있다.

2. 열 유속과 대류를 적용하여 수치적인 온도 해석 결과, 880℃정도를 나타내고 있다. 이는 용융점이 아닌 고상 상태에서 접합이 되었음을 나타낸다.

5. 참 고 문 헌

1. 摩擦壓接協會, “摩擦壓接”, コロナ社, pp. 1~25, 1982.
2. 정 호신, 條田剛, “마찰용접의 이론과 실제의 적용”, 대한용접학회, 제15권, 제6호, pp. 1~7, 1997.
3. 정 운길, “機械工學便覽辭典”, 한국사전연구사, pp. B4-73~B4-76, 1996.
4. 輕金屬協會編, “アルミニウム技術便覽”, 輕金屬出版社, pp. 50~54, 1985.
5. E. D Nicholas, “Radial Friction Welding”, Welding Journal, July, pp. 17~29, 1983.
6. 沖田耕三, 有年雅敏, 岸本和一郎, “ブレーキ式 摩擦壓接機による正常状態の摩擦面の温度について”, 日本熔接學會誌, 第 51 卷, 第 3 號, pp. 62-67, (1982).
6. Duan Liyu, Du Suigeng, Shi Weiqing, “Energy Transformation Analysis during Friction Welding of Superalloy Inconel 718”, China Welding, Vol. 3, No. 1, pp. 29-34, (1994).
7. K. Ogawa, H. Ochi, Y. Yamamoto, M. Habe, T. Iwamoto, Y. Suga, “Friction Welding of 2017 Aluminium Alloy and S45C Carbon Steel using an Insert, Welding International, Vol. 8, No. 6, pp. 445-451, (1994).