

유공압밸브스플용 강재의 관 대 봉 동종재 마찰용접과 AE 평가

오세규¹⁾, 배명주²⁾, 전태연³⁾, 김현필⁴⁾, 이경우^{5)*}

- 1) 부산수산대학교 기계공학과
- 2) 쌍용 (주)
- 3) 부산수산대학교 공과대학
- 4) 한독직업전문학교
- 5) 부산공업대학 기계설계학과

1. 서론

유공압 밸브스플에 적합한 강재인 SACM645, SNCM220, SCM435, SCM415 등의 각각의 강도시험 및 인성시험 등을 거쳐 마찰용접의 최적화를 구하고, 마찰용접과 함께 병행한 AE시험에서 구한 AE량에 의해, 용접품질의 실시간 평가연구를 가능하게 하며, 강재의 탄소당량에 따른 결과와도 비교를 통한 상관성을 규명하고자 한다.

2. 재료 및 실험방법

실험재료들은 carburizing과 tempering처리 전의 경우로서 단조 후 annealing(풀림처리)한 상태인 압연흑피대로의 시중 판매 재료이며, 용접성과 가공성이 우수한 강재이다.

그 화학조성과 기계적 성질은 각각 Table. 1와 Table. 2과 같다.

Table. 1 Chemical composition of materials used (wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Cu
SCM415	0.16	0.25	0.73	0.009	0.007	-	0.99	0.17	-	-
SNCM220	0.18	0.23	0.69	0.020	0.013	0.40	0.51	0.16	-	0.14
SCM435	0.35	0.26	0.73	0.018	0.011	0.13	0.99	0.17	-	0.20
SACM645	0.47	0.28	0.31	0.021	-	-	1.38	0.17	1.092	-

Table. 2 Mechanical properties of materials used

Material	Tensile Strength σ (kgf/mm ²)	Elongation ϵ (%)	Yield strength σ (kgf/mm ²)	Reduction of Area ϕ (%)	Hardness Hv	Impact value(Charpy) I (kgf/cm ²)
SNCM220	85	17	-	40		6
SCM435	95	15	80	50		8
SCM415	85	16	-	40	300	-
SACM645	111.1	18.6	98.1	52.5	351	11.0

시험편 형상, 치수는 Fig. 1에 나타나 있다. Fig. 1은 $\phi 36$ (내경 $\phi 18$)유공압 밸브스플의 관 대 봉(tube-to-bar) 용접시험을 위한 용접시험편과 강도 및 흡수에너지, 연신률, 단면수축률 시험편의 형상 치수를 나타낸다. $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$) 관 대 봉(tube-to-bar)에 이용된 마찰용접기계는 연속구동 브레이크형(continuous drive brake type)인 NITTO FF-45II-C 마찰용접기계이다.

AE에 의한 용접품질 평가에 사용된 AE시험기는 PAC사의 acoustic emission testing system(Model LOCAN-AT, 2

channel)으로서 14 channel까지 확장 가능하며, 마찰용접시에 발생하는 AE량을 측정하기 위하여 고감도 변환기(transducer)(R15-C 150kHz sensor)를 용접면으로부터 정지척(chuck) 방향으로 480 mm인 위치의 정지척상에 부착하였다.

용접조건은 문헌을 조사하여 회전수(N)를 결정후 가열압(P₁), 가압력(P₂)을 계산하여 몇가지 시도 실험을 하여서 선정후, 가압시간(t₂)을 선택후 가열시간(t₁)을 다양하게 변화시켜 실험한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접변수와 강도간의 상관관계

이 실험에서 사용된 마찰용접의 변수로는 회전수, 마찰가열압력, 마찰단조가압력, 마찰가열시간, 마찰단조가압시간 등이 있는데 여기서는 마찰가열시간 t₁(sec)을 여러가지로 변화시켰다. Table. 3은 ϕ36의 관 대 봉 용접조건을 나타낸 것이다.

Table. 3 Condition of Friction welding ϕ36 tube-to-bar

Material	Rotation n(rpm)	Heating pressure P ₁ (kgf/mm ²)	Forging pressure P ₂ (kgf/mm ²)	Heating time t ₁ (sec)	Forging time t ₂ (sec)
SACM645	1600	5	10	10~24	4
SNCM220	1600	5	10	3~20	4
SCM435	1600	5	10	4~20	4
SCM415	1600	5	10	15~22	4

Fig. 2는 SACM645의 인장시험에서 파단형태를 보면 마찰용접부에서 약3.0~3.5cm 떨어진 곳에서 일어났으며, 파단양상은 cup & cone의 형태로 일어났다. 이것으로 보아서, 이 재료가 연성의 성질이 많음을 알 수 있으며, 전체적으로 강도 및 인성이 크다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3은 SCM435 강재의 인성실험을 나타내어주는데, 인장시험에서 구한 적정조건에 잘 부합됨을 알 수 있다. 또한 인장시험에서의 파단이 열영향부 조금 밀부분에서 발생하였으며, 파단형태로 대체적으로 직선에 가까운 취성파단형태에 가깝게 나타나고 있다. 이러한 파단양상에서도 추측할 수 있듯이 인장강도는 높는데 반해 인성이 조금 낮다는 것을 알 수 있다.

3.2 용접변수와 AE간의 상관관계

다음은 용접시간에 따른 AE량과의 상관관계를 다음과 같이 조사하였다. Fig. 4는 SACM645 강재에 대한 시간의 변화에 따른 AE량을 나타내고 있는데, 시간에 따라 AE량이 늘어나는 것은 시간이 경과함에 따라 마찰용접부의 소성변형도 계속해서 이루어지기 때문이다. 앞의 인장강도에서 구한 적정 시간을 적용하여 그 구간의 AE count량을 구하였다. 그림에서 나타나는 것과 같이 적정구간에서의 AE count량인 N값은 37658~43667로 나타나고 있다.

Fig. 5는 SNCM220강재의 용접시간에 따른 AE량을 나타내고 있는데, 시간에 따라 AE량이 늘어남을 위의 재료와 마찬가지로 알 수 있으며, 인장강도에서 구한 적정 시간에 적용하여 그 구간의 AE count량을 나타내었다. 인장강도에서 구한 적정구간의 N값은 47474~50869 count로 나타나고 있다.

3.3 인장강도와 AE와의 상관관계

앞에서 구한 AE량을 가지고서 그것의 적정조건이 만족되었을 때의 인장강도와의 상관성을 보여주고 있다.

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} \text{ SACM645 : } \sigma_{36} &= -4.937 \cdot 10^{-8} N^2 + 0.01N + 14.68 & (R^2=99\%) \\
 \textcircled{2} \text{ SNCM220 : } \sigma_{36} &= -1.614 \cdot 10^{-7} N^2 - 0.02N - 328.96 & (R^2=100\%) \\
 \textcircled{3} \text{ SCM435 : } \sigma_{36} &= 6.948 \cdot 10^{-12} N^3 - 9.45 \cdot 10^{-7} N^2 + 0.043N - 547.41 & (R^2=100\%) \\
 \textcircled{4} \text{ SCM415 : } \sigma_{36} &= -2.170 \cdot 10^{-6} N^2 + 0.01N - 14.81 & (R^2=99\%)
 \end{aligned}$$

3.4 탄소당량과 상관성

탄소당량에 대한 각각의 재료에 어떠한 상관성이 있는지 살펴보았다. 사용된 탄소당량 계산식은 다음과 같다.

$$CE(\text{탄소당량}) = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} + \frac{\%Cu}{40} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10} \quad (1)$$

Table. 4은 식(1)에 의해 구한 모재의 탄소당량 및 마찰용접한 시편의 적정구간에서의 인장강도와 그 때의 AE량을 나타내고 있다.

Table. 4 List of material's CE and N, tensile strength

	Material	SNCM220	SCM435	SACM645	SCM415
	Ceq.(탄소당량)	0.463	0.644	0.682	0.438
	σ_t of B.M	62.2	90.7	90.5	50.5
$\phi 24$ (bar-to-bar)	ONZ (av.)	54228-66736 (60482)	54581-61766 (58173.5)	43640-56110 (49875)	55098-66695 (60896.5)
	O σ_z (av.)	67.0-67.8 (67.4)	93.2-93.5 (93.4)	93.4-94.3 (93.9)	53.3-53.7 (53.5)
$\phi 31.2$ (bar-to-bar)	ONZ (av.)	52857-57879 (55368)	40462-46944 (43703)	40232-45381 (42806.5)	53019-60893 (56956)
	O σ_z (av.)	56.6-57.6 (57.1)	95.6-97.6 (96.6)	102.0-102.1 (102.4)	52.4-52.8 (52.6)
$\phi 36$ (tube-to-bar)	ONZ (av.)	47474-50869 (49171.5)	40030-45469 (42748.5)	37658-43667 (40662.5)	49725-57675 (53700)
	O σ_z (av.)	55.4-55.8 (55.6)	85.9-86.5 (86.2)	98.0-98.3 (98.1)	50.8-51.3 (51.1)

Fig. 6는 $\phi 36$ 관 대 봉 마찰용접에서의 탄소당량과 적정조건의 인장강도 및 AE량을 나타내고 있다. 인장강도는 탄소당량에 대하여 거의 직선적으로 증가함에 비하여, AE량은 거의 반대적인 경향을 보이고 있다.

3.5 용접부의 SEM 검사

마찰용접의 파단면을 각각의 재료별로 조사하였다. 배율을 1000배로 하였으며, 각각 가열시간이 가장 작은 시편과 적정조건에서의 시편, 그리고 가열시간이 가장 길었던 시편에 대해 조사하였다.

Fig. 7는 SACM645 $\phi 36$ 관 대 봉 마찰용접시편의 파단부를 나타낸 것이다. 대체적으로 전부 연성이 풍부한 재료라는 것을 알 수 있으며, 적정조건인 (b)가 앞에서와 마찬가지로 뒤편이 잘 발달한 것을 볼 수 있다. 이것도 열처리에 의한 강도를 높일 필요가 있다.

4. 결 론

유공압벨브스플 동종재 마찰용접에 사용되는 표면경화용 강재인, SCM435, SCM415, SACM645 및 SNCM220의 관 대 봉 동종재 마찰용접을 수행하였고, 마찰용접 최적화와 AE평가 및 탄소당량에 대한 용접부의 강도 및 AE와의 상관관계에 대한 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. $\phi 31.2$ 봉 대 봉 및 $\phi 36$ 관 대 봉의 SCM435, SCM415, SACM645 및 SNCM220 동종재 마찰용접의 최적화 기술을 개발하였으며, 그 용접조건을 이음효율 100%이상의 강도와 인성을 실험적으로 구하여 도출하였다.
2. $\phi 31.2$ 봉 대 봉 및 $\phi 36$ 관 대 봉의 SCM415, SACM645, SNCM220 및 SCM435 동종재 마찰용접의 마찰용접시 AE시험을 병행하여 이음효율 100% 이상이 되는 AE총량의 범위를 구명하고 상관식을 도출하였으며, 실시간 평가가 가능하게 하였다.
3. 마찰용접시 각각의 재료에 대한 탄소당량이 총 AE량 및 이음부 인장강도에 미치는 영향이 규명되었다.
4. 최적조건하의 마찰용접부의 파단면 검사결과에 의하면, 인성이 높은 뒤편양상이 나타났고, 파단은 용접면이 아닌 모재부에서 일어났다.

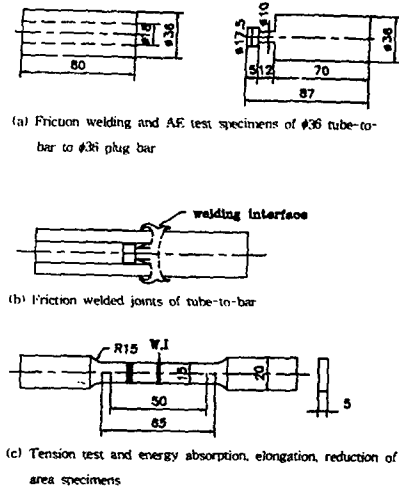


Fig. 1 $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$) tube-to-bar specimen

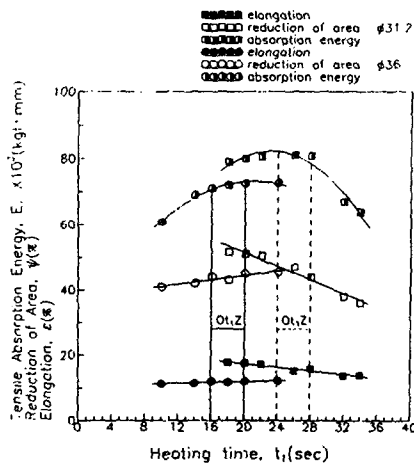


Fig. 2 E, ϵ, ψ Vs. t_1 of friction welding of SACM645 $\phi 31.2$ bar-to-bar and $\phi 36$ tube-to-bar
 Welding cond.: same as table 3

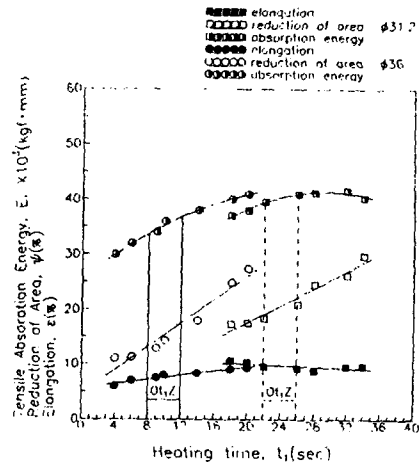


Fig. 3 E, ϵ, ψ Vs. t_1 of friction welding of SCM435 $\phi 31.2$ bar-to-bar and $\phi 36$ tube-to-bar

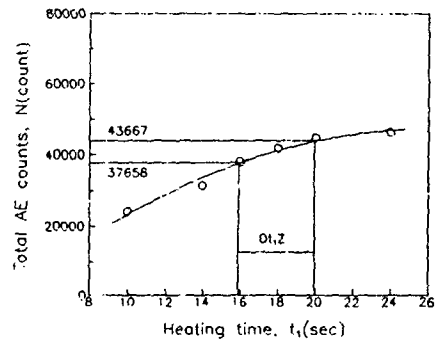


Fig. 4 N Vs. t_1 for $\phi 36$ tube-to-bar friction welding of SACM645
 Welding con. : $n=1600$ rpm, $t_2=4$ sec,
 $P_1=5, P_2=10$ kgf/mm²

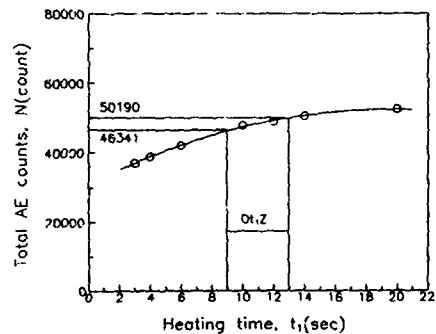


Fig. 5 N Vs. t_1 for $\phi 36$ tube-to-bar friction welding of SNCM220
 Welding con. : $n=1600$ rpm, $t_2=4$ sec,
 $P_1=5, P_2=10$ kgf/mm²

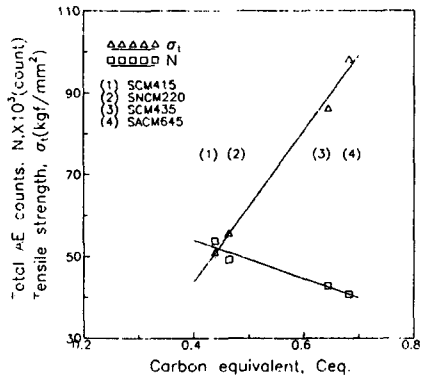
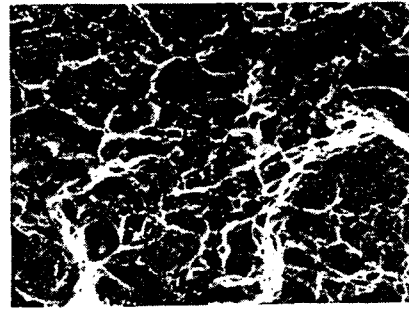
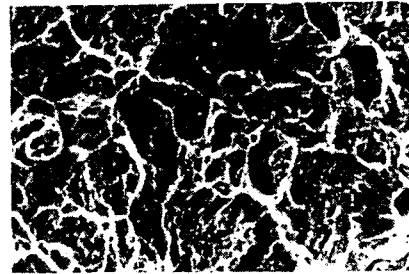


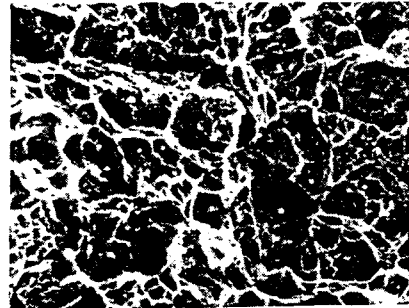
Fig. 6 N, σ_t Vs. Ceq for $\phi 36$ tube-to-bar friction welding



(a) $t_1 = 10$



(b) $t_1 = 18$



(c) $t_1 = 24$

Fig. 7 Fractograph of friction welded joints of SACM645 $\phi 36$ tube-to-bar SEM
Welding cond. : $n=1600$ rpm, $t_2=4$ sec, $P_1=5$,
 $P_2=10$ kgf/mm²