

SCM415 관 대 봉 동종제 마찰용접시의 AE와 용접부 강도의 상관성 해석

Study on Relationship between Weld Strength and AE for Similar Friction Welding of SCM415 Tube-to-Bar

배명주***, 오세규*, 오명석**, 박일동***, 유인중***

* 부산수산대 공대 기계공학과, 부산

** 부산공업대 금형공학과, 부산

*** 부산수산대 대학원 기계공학과, 부산

1. 서론

마찰용접은 높은 가압력하에서 회전 마찰하는 동종재 또는 이종재 간의 마찰열(단조온도에 상당)에 의해, 두 접합면이 소성유동을 수반하는 고상용접이다. 이 용접은 용접시간이 짧고 재료비의 절감 및 복잡한 형태의 요소에서도 편리하게 이용될 수 있다.

따라서 본 연구는 유공압 밸브 스펀용 재료인 Cr-Mo강의 관 대 봉 마찰용접의 최적화 도출과 최적 용접조건을 구명하며, AE에 의해 이들 마찰용접 강도와 인성의 최적범위를 실험적으로 도출하고 정량화하며, AE에 의한 마찰용접품질(강도와 인성)을 용접 실시간에 평가할 수 있도록한다.

2. 실험재료 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험재료는 기어, 핀, 축류 및 인성을 중시하는 부품에 쓰이며 유공압 밸브스푼용으로 쓰이는 SCM415강으로서 용접성과 가공성이 좋은 재료이다. 마찰용접용 $\phi 36$ (내경 $\phi 18$) 특수 밸브스푼 소재의 관 대 봉(tube-to-bar) 용접 최적조건을 결정짓기 위해서 업셋조정법을 채택하였으며, 마찰용접을 실시할 때 AE시험기를 부착하여 실험을 병행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 동종제 마찰용접 변수의 해석

Fig.1은 특수유압밸브스푼을 제작하기 위한 $\phi 36$ (내경 $\phi 18$) 관 대 봉(tube-to-bar)의 마찰용접 최적화 실험을 위한 총업셋량 U_T (mm)와 가열업셋량 U_1 (mm) 및 가열시간 t_1 (sec)과 가열업셋량 U_1 (mm)과의 상관성을 나타낸다. 이때 t_1-U_1 , U_T-U_1 의 상관 관계식은 다음과 같이 계산된다.

$$t_1 = 1.05 U_1 + 1.2 \quad (R^2=1.00) \quad (1)$$

$$U_T = 1.30 U_1 + 1.4 \quad (R^2=1.00) \quad (2)$$

마찰용접 조건으로서 $n=1330\text{rpm}$, $P_1=5\text{kgf/mm}^2$, $P_2=10\text{kgf/mm}^2$, $t_2=4\text{sec}$ 등으로 일정하게 하고, 변수 U_1 을 3~8mm로 변화시켜서 마찰용접을 수행하였다. 이 때 후술하는 3.2절에서의 마찰용접의 최적화를 위한 시험결과를 참작하여 OU_1Z (optimum U_1 zone)(by σ_1)가 최적 U_1 범위로서 4.5~6mm이고 이 때 Fig.1에서 OU_TZ (optimum U_T zone)가 7.2~9.2mm, OU_tZ (optimum t_1 zone)는 5.9~7.6mm임이 실험적으로 확인되었다.

3.2 관 대 봉의 동종제 마찰용접의 최적화

Fig.2는 Fig.1과 같은 조건에서 업셋량 조정법으로 용접한 $\phi 36$ (내경 $\phi 18$) 관 대 봉 SCM415 동종제 마찰용접재의 인장강도 σ_1 (kgf/mm^2)와 가열업셋량 U_1 (mm)과의 상관성을

실험적으로 구한 결과를 나타낸다. 이때의 인장시험편은 tube-to-bar 용접재의 tube 두께부에서 평판 인장시험편을 중방향으로 마찰용접면이 중앙에 오도록 채취 가공한 것으로서, 이때문에 인장강도가 모재(50.5kgf/mm²)보다 다소 낮게 분포하고 있으므로(이는 전 용접면을 갖는 시험편이 아니고 반경방향 metal flow의 일부가 용접면이 되므로 이것에 의해 강도저하의 요인이 됨) 이음효율이 98%로서 다소 낮았다. 이때 Fig.18과 같은 용접조건 P₁=5, P₂=10kgf/mm²의 경우는 OU₁Z₁(optimum U₁ zone)이 4.5~6.0mm이고, 이음효율은 O_σZ₁=100.2~101%이다. 좀 낮은 압력인 P₁=4, P₂=8kgf/mm²인 경우는 OU₁Z₂가 6.2~8mm일 때 O_σZ₂는 98~99%의 이음효율이 된다. 따라서 이러한 이음효율이면 이 두가지 조건 모두가 적합한 것으로 채택될 수 있다. 이때 파단부는 모두 모재부에서 일어났다. tube-to-bar의 경우는 문헌¹⁾에 의하면 bar-to-bar의 경우보다 energy factor가 1.1배, load factor는 1.05배로 되어있고, 또한 회전수도 1600에서 1330rpm으로 낮은 조건이 되어 있으므로, 용접조건으로서 P₁=5, P₂=10kgf/mm²로 증가 설정한 것이다. 그 결과 총업셋량 6~7.9mm, 가열시간 4.8~6.6sec(t₂=4sec)로 감소되어 열영향을 적게 받게 되어 더욱 이상적이라 할 수 있다.

Fig.2에서 σ_t(kgf/mm²)와 U₁(mm)과의 상관관계식은 다음과 같이 계산된다.

$$P_1 = 5, P_2 = 10 \text{ kgf/mm}^2 : \\ \sigma_t = -0.38 U_1^2 + 4.23 U_1 + 39.5 \quad (R^2=0.97) \quad \text{---(3)}$$

$$P_1 = 4, P_2 = 8 \text{ kgf/mm}^2 : \\ \sigma_t = -0.55 U_1^2 + 7.89 U_1 + 21.8 \quad (R^2 = 0.97) \quad \text{---(4)}$$

U₁의 최적범위는 각각 OU₁Z₁=4.5~6mm, OU₁Z₂=6.2~8mm이며, 이때 최대 이음효율은 각각 약 101.4%, 99.2%로서, 이는 만족스러운 용접결과라 할 수 있다^{1,2)}.

3. 3 용접변수와 용접부 인성과의 상관성 및 최적화

Fig.3은 용접부의 인성을 조사할 목적으로 마찰가열 업셋량 U₁(mm)의 변화에 따라 P₁=5, P₂=10kgf/mm²와 P₁=4, P₂=8kgf/mm²의 두 경우에 단면수축률 ψ(%), 인장연신률 ε(%), 인장흡수에너지 E(kgf·mm)의 분포를 실험적으로 구한 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 E와 ψ가 압력조건 P₁=5, P₂=10kgf/mm²의 경우에 U₁의 증가와 더불어 크게 증가하는 추세를 보여주고 있다. 이때 Fig.27에서 구한 OU₁Z₁과 OU₁Z₂의 범위(각각 4.5~6mm, 6.2~8mm)는 Fig.3에서 알 수 있듯이 인성면에서 문제점이 없는 양호한 범위라 할 수 있다.

이 경우, E-U₁, ε-U₁, φ-U₁의 실험식은 다음과 같이 계산되었다.

$$P_1 = 5, P_2 = 10 \text{ kgf/mm}^2 : \\ E = -0.67 U_1^3 + 9.02 U_1^2 - 34.61 U_1 + 89.61 \quad (R^2=0.99) \quad \text{---(5)}$$

$$\epsilon = -0.32 U_1 + 11.9 \quad (R^2=0.28) \quad \text{---(6)}$$

$$\psi = 4.45 U_1 + 35.6 \quad (R^2=0.96) \quad \text{---(7)}$$

$$P_1 = 4, P_2 = 8 \text{ kgf/mm}^2 : \\ E = 2.07 U_1 + 13.2 \quad (R^2=0.93) \quad \text{---(8)}$$

$$\epsilon = 0.33 U_1 + 8.1 \quad (R^2=0.32) \quad \text{---(9)}$$

$$\psi = 0.19 U_1 + 50.3 \quad (R^2=0.96) \quad \text{---(10)}$$

Fig.2에서의 이음효율 100% 이상에 해당되는 최적조건 OU₁Z₁(optimum U₁ zone)의 범위(4.5~6mm)가 Fig.3에서 연신률, 단면수축률의 연성과 인장 흡수에너지의 인성면에서 볼 때 용접불량이란 문제점(용접결함)은 발견되지 않았다. 따라서 Fig.2에서의 최적조건 OU₁Z₁ 4.5~6mm는 강도와 인성 면에서 문제없는 양호한 적정 조건이라고 할 수 있다. 그러므로, φ 36(내경 φ18)관 대 봉 SCM415 동종재 마찰용접의 최적 마찰용접조건은 다음과 같다.

$n=1330\text{rpm}$, $P_1=5$, $P_2=10\text{kgf/mm}^2$, $t_2=4\text{sec}$ 일 때, $U_1=4.5\sim 6\text{mm}$ (엿셋량 조정범)
(이때 $t_1=6\sim 7.6\text{sec}$, $U_T\approx 7.2\sim 9\text{mm}$)

3. 4 관 대 봉 동종재 마찰용접시의 AE와 용접부 강도의 정량적 상관성 해석

$\phi 36$ (내경 $\phi 18$) 관 대 봉 SCM415 동종 강봉의 마찰용접시 Fig.4는 가열엿셋량 $U_1(\text{mm})$ 의 증가에 따른 AE총량 $N(\text{counts})$ 의 변화를, Fig.5는 AE총량 $N(\text{counts})$ 과 용접부 인장강도 $\sigma_t(\text{kgf/mm}^2)$ 와의 상관관계를 AE시험을 통해 조사한 결과이다.

Fig.4에서 $P_1=5$, $P_2=10\text{kgf/mm}^2$ 에서 OU_1Z_1 이 4.5~6mm일 때 총 AE량 N 은 $ONZ_1=51,351\sim 64,430\text{counts}$, $\sigma_t=50.6\sim 51\text{kgf/mm}^2$, 이음효율 100.2~101%이고, $P_1=4$, $P_2=8\text{kgf/mm}^2$ 에서는 OU_1Z_2 가 6.2~8mm일 때 $ONZ_2=35,941\sim 59,510\text{counts}$, $\sigma_t=49.4\sim 50.0\text{kgf/mm}^2$, 이음효율 98~99%를 기대할 수 있음이 확인되었다.

이때 $N-U_1$ 및 σ_t-N 관계식관계식은 다음과 같이 계산되었다.

$$P_1 = 5, P_2 = 10 \text{ kgf/mm}^2 :$$

$$N = -3240.78 U_1^2 + 42747.2 U_1 - 75385.6 \quad (R^2=0.99) \quad (11)$$

$$\sigma_t = -1.97 \times 10^{-9} N^2 + 2.25 \times 10^{-4} N + 44.3 \quad (R^2=0.96) \quad (12)$$

$$P_1 = 4, P_2 = 8 \text{ kgf/mm}^2 :$$

$$N = -2921.06 U_1^2 + 54573.4 U_1 - 190129 \quad (R^2=0.99) \quad (13)$$

$$\sigma_t = -3.44 \times 10^{-9} N^2 + 3.04 \times 10^{-4} N + 43.5 \quad (R^2=0.93) \quad (14)$$

식(12), (14) 및 Fig.5에서 N 만 용접 직후 측정되면, 즉석에서 비파괴적으로 용접부의 이음부 강도가 예측됨을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 관 대 봉의 SCM415 동종재 마찰용접 최적화 기술개발을 하였으며, 용접조건은 이음효율 100 % 이상의 강도와 인성을 실험적으로 구할 수 있었다.
2. $\phi 36$ (내경 $\phi 18$) 관 대 봉의 마찰용접부의 인장강도 $\sigma_t(\text{kgf/mm}^2)$, 충격치 $I(\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2)$ 와 AE 총량 $N(\text{counts})$ 의 정량적 상관식이 도출되었고, 이음효율 100 % 이상의 최적 N 범위가 구명되었다.

5. 참고문헌

- 1) Speich, G.R. and Schwoeble, A.J., 1975, "Acoustic emission during phase transformation in steel", ASTM STP 571, pp.40-58
- 2) 오세규, 1991, "마찰용접에 의한 생산성 향상 기술 - Tubular transition joint of steel shaft to superalloy tube", 한국기술미디어. '특수용접공정기술 및 용접부 CRACK 검사', p.121-123, 1990. 'WELD-PROS'91 용접 Data Base와 용접공정실무', p.591-592
- 3) 日本摩擦壓接研究會, 1979, "摩擦壓接", コロナ社, p.46, 145-150, 184.
- 4) 日本摩擦壓接協會, 1984, "摩擦壓接協會20年誌", p.1-106.
- 5) Okita, K. and W. Kishimoto, 1979, "Studies on friction welding of SUS304 austenitic stainless(Report 1)," J. Weld. Soc. 48, p.991-995.
- 6) AWS. 1980, "Friction Welding," AWS Welding Handbook, Vol.3 Chap.7, p.239-261.
- 7) Ellis, C.P.G. and E.D. Nicholas, 1974, "A quality monitor for friction welding," Proc. of the Third Int. Conf. 'Advances in Welding Processes' Horrogate 7~9(May,1974), The Welding Institute, Paper No.39, pp.14~20.

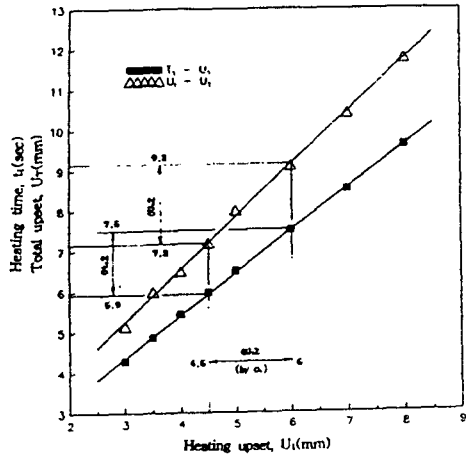


Fig.1 U_1 Vs. U_1 and t_1 Vs. U_1 as friction welding

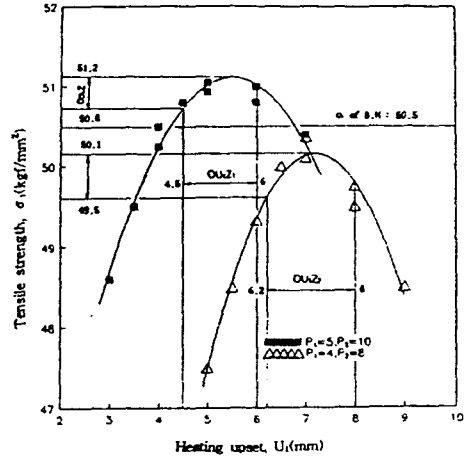


Fig.2 σ_t Vs. U_1 of friction welded joints

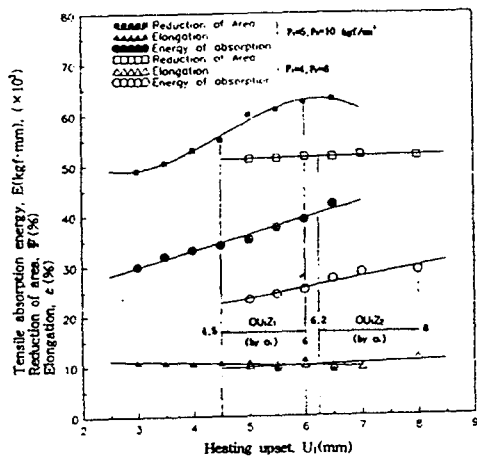


Fig.3 E Vs. t_1 , ϵ Vs. t_1 and Ψ Vs. t_1 of friction welded joints

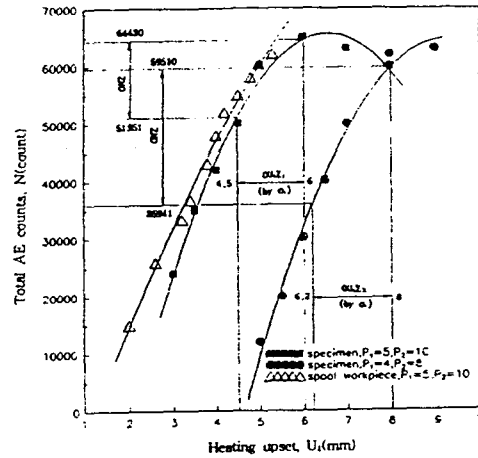


Fig.4 N Vs. U_1 in friction welding

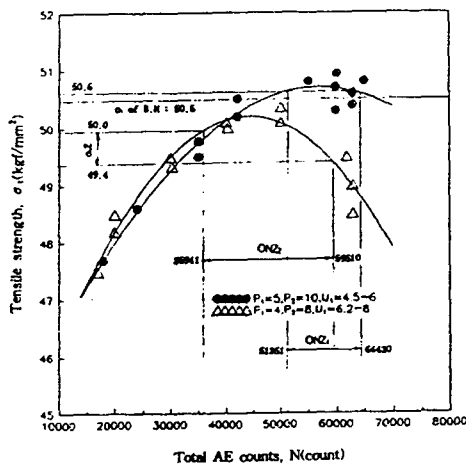


Fig.5 σ_t Vs. N in friction welding