

유공압 밸브 스푼용 강재의 관 대 봉 이종재 마찰용접의 최적화와 용접강도특성 및 AE평가⁺

오 세 규* · 김 현 필** · 장 홍 근*** · 오 명 석****

(97년 1월 23일 접수)

Optimization of Tube-to-Bar Dissimilar FRW of Hydraulic Valve Spool Steels and the Weld Strength Properties and Its AE Evaluation

Sea-Kyoo Oh* · Hyun-Pil Kim** · Hong-Keun Chang*** · Myeong-Suk Oh****

Key Words : Acoustic Emission(AE, 음향방출), Friction Welding(FRW, 마찰용접), Fatigue Strength(피로강도), Welding Condition(용접조건), Weld Interface(용접경계면), Base Metal(모재부), Heat Affected Zone(열영향부), Number of Cycles to Failure (피로파단수명)

Abstract

The hydraulic or pneumatic valve spools became essential as the important components on the production of automatic hydraulic or pneumatic machineries as mechanical industry has been rapidly developed. The machining precision is in necessity for manufacturing the valve spools. They could be unstable in the quality by the conventional arc welding. And also they have a lot of technical problems in manufacturing because their shapes are generally small. By the precision casting process such as lost wax process, the production cost may be increased. But by the friction welding technique, they will be able to be manufactured without such problems.

This paper deals with the development of dissimilar friction welding optimization for the hydraulic or pneumatic valve spool by friction welding and a new approach of study on real-time quality evaluation by AE techniques.

+ 이 연구는 1993년도 한국과학재단 연구비 지원(1993-1995)에 의한 협력연구과제(과제 번호 : 93-10-00-05-3)의 결과 중 일부이며, 관계 제위께 감사드립니다.

* 부경대학교 공과대학 기계공학과

** 창원기능대학 금형과

*** KIMM

**** 부경대학교 공과대학 정밀기계공학과

1. 서 론

생산자동화를 위한 필수 핵심부품인 유공압밸브스플 제작에 있어서 정밀화, 자동화, 생산공정의 단축, 압력의 누출문제 등으로 제작상의 많은 어려움이 발생하고 있다. 그러므로 자연히 수입의존성이 매우 높고 경제적인 생산을 위한 기술의 축적이 매우 미비한 상태에 있어 이들의 제작을 위하여 마찰용접(friction welding, FRW)을 적용시키면 대량생산체제, 생산공정의 단축, 생산원가 절감 및 고품질 고강도의 제품생산을 가능하게 할 수 있다.¹⁾

본 연구에 사용된 유공압 밸브 스펴재는 표면경화강인 Cr-Mo과 침탄강 및 질화강으로서 SCM435와 SNCM220, SCM434와 SACM645, SCM415와 SNCM220, SCM415와 SACM645를 조합(플러그부는 강인한 Cr-Mo강, 스펴소재부는 표면경화용 침탄강이나 질화강의 조합)하여 외경 $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$)으로 관 대 봉 이종재 마찰용접의 최적조건을 브레이크형 마찰용접 기계를 사용하여 실험적으로 구하였으며, 밸브스플재의 관 대 봉 이종재 마찰용접의 최적화를 위해 이음부의 용접품질(피로수명, 인장강도)과 마찰용접변수와의 상관 관계를 실험적으로 도출하였다.

한 편, 마찰용접시 음향방출시험(AE)을 수행^{2,3)}하여 AE의 누적총량과 마찰용접변수 및 용접품질(피로수명, 인장강도)과의 상관성을 도출하였다. 그리고 재질(탄소당량)이 용접품질에 미치는 영향, 마찰용접부의 경도 분포, 피로파단면조사 등을 통하여 접합특성을 규명하고자 하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

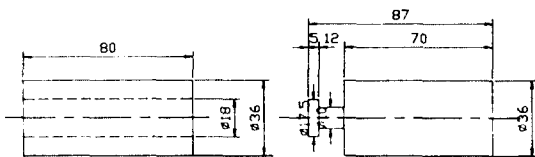
본 연구에 쓰인 시험재료인 SCM415, SCM435, SACM220 및 SACM645는 침탄처리(carburizing)와 뜨임처리(tempering) 전의 경우로서 압연혹피 그대로의 시중 판매 재료이며, 용접성과 가공성이 우수한 유공압 밸브스플용 강재이다. 그 화학적 조성과 기계적 성질은 각각 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition of Cr-Mo steels (wt%)

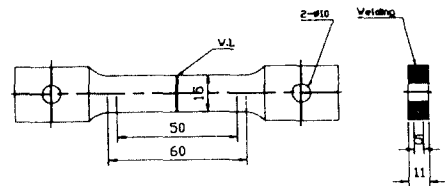
Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Cu
SNCM220	0.18	0.23	0.69	0.020	0.013	0.40	0.51	0.16	-	0.14
SCM435	0.35	0.26	0.73	0.018	0.011	0.13	0.99	0.17	-	0.2
SACM645	0.47	0.28	0.31	0.021	-	-	1.38	0.17	1.092	-
SCM415	0.16	0.25	0.73	0.009	0.007	-	0.99	0.17	-	-

Table 2 Mechanical properties of materials used

Materials	Tensile strength σ (MPa)	Elongation ϵ (%)	Reduction of area ϕ (%)	Hardness Hv	Heat treat for case hardening
SNCM220	622	17	40	24E	900~920°C (carburizing) 180°C (tempering)
SCM435	907	15	50	30E	900~920°C (carburizing) 180°C (tempering)
SACM645	935	18.6	52.5	23E	570°C~12hr (Nitriding) 180°C (tempering)
SCM415	505	16	40	28E	900~920°C (carburizing) 180°C (tempering)



(a) Friction welding and Ae test specimens of $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$) tube to $\phi 36$ plug bar



(b) $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$) tube-to-bar specimens for fatigue test

Fig. 1 ϕ (I.D. $\phi 18$) tube-to-bar specimens for FRW & AE tests

본 연구에서 마찰용접의 최적화를 위한 용접조건을 구하기 위하여 마찰용접(friction welding, FRW)에 사용한 시험편의 형상과 치수 및 대표적 강도인 이음부의 인장강도, 피로강도의 시험편 형상치수는 Fig. 1과 같다. Fig. 1 (a)는 마찰 용접전 소재 준비치수를 나타내고 있으며 선반에서 가공한 후 연삭완료 했다. (b)는 피로 강도 시험을 위한 시험편을 나타내고 있다.

2.2 실험장치

관 대 봉(tube-to-bar)마찰용접에 사용된 마찰용접기계는 연속구동 브레이크형(continuous drive brake type)인 Nitto FF-60II-C 마찰용접기계와 AE시험기를 함께 사용하였다.

AE에 의한 용접품질 평가에 사용된 AE시험기는 PAC사의 음향방출 시험기(acoustic emission testing system, Model Locan-320, 4 channel)로서 14 채널까지 확장가능하며, 마찰용접시에 발생하는 AE량을 측정하기 위하여 고감도 변환기(transducer)(R50-C 500kHz sensor)를 용접면으로부터 정지척(chuck) 방향으로 430 mm인 위치의 정지척 상에 부착하였다.

피로시험(fatigue test)에 사용된 피로 시험기는 Instron사의 동적 만능 시험기(dynamic UTM, Model 1350)로 하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 관 대 봉 이종재 마찰용접 시험

마찰용접의 최적화 실험을 위해서 우선 $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$) 관 대 봉(tube-to-bar)마찰용접 조건은 문헌⁴⁻⁶⁾을 조사하여 회전수(n)를 결정한 후 가열압(P_1), 가압력(P_2)을 결정하고 여러번 시도 실험을 하여서 선정후, 가압시간(t_2)을 선택하고 가열시간(t_1)을 다양하게 변화시켜 실험한다. 이음부의 강도는 인장강도, 편진 인장 피로수명 등을 구하여 모재보다 우수한 범위를 선정해서 최적 가열시간 (t_1)을 결정 짓는다.

Table 3은 $\phi 36$ 의 관 대 봉 이종재 마찰 용접

조건을 나타낸 것이다. 마찰용접조건은 $n=1340$ rpm, $P_1=60$ MPa, $P_2=120$ MPa, $t_2=6$ sec를 일정하게 하고, 변수 t_1 을 변화시켜서 마찰용접을 수행하였다.

Table 3 Conditions of dissimilar friction welding of $\phi 36$ (I.D. $\phi 18$) tube-to-bar

Materials	Rotation n (rpm)	Heating pressure P_1 (MPa)	Forging pressure P_2 (MPa)	Heating time t_1 (sec)	Forging time t_2 (sec)
SCM435×SACM645	1340	60	120	3~24	6
SCM435×SNCM220					
SCM415×SNCM220					
SCM415×SACM645					

2.3.2 관 대 봉 이종재 마찰용접시의 AE시험

용접시간 중에 나타나는 AE발생 거동을 해석하기 위해서는 용접시작부터 용접완료 중에 검출된 초기 AE 누적량(initial total AE count)과 용접후 냉각기간 중에 검출된 후기 AE(post total AE count)의 두 가지가 사용될 수 있는데, 본 연구에서는 초기 AE량과 용접강도 및 피로수명과 상관실험식을 만들기 위하여 전자에 관하여만 해석하였다⁷⁾. 그리고 AE에서의 신호를 받아들이기 위한 적절한 작동 파라미터들은 전단증폭기(preamplifier)에서 20dB gain으로 설정하였고, 외부 소음(noise)을 제거하기 위하여 문턱값(threshold)은 45dB로 설정하여 지금까지의 AE시험을 참고하여^{8~11)} 실험을 수행하였다.

2.3.3 마찰용접부의 편진인장 피로시험

본 실험에서는 각 모재에 대해 저주기 피로시험(low cycle fatigue test)을 수행하여 Fig. 2와 같은 결과를 얻었다. Fig. 2에서 5×10^4 사이클(cycle)때의 피로강도 σ 를 구하여 이를 기준하여 각각의 이종재 마찰용접재에 따라 재료의 최대인장강도의 응력비($\sigma/\sigma_t = 0.7 \sim 0.9$)를 구한 것이 Table 4이며 이에따라 편진인장피로시험을 수행하였다.

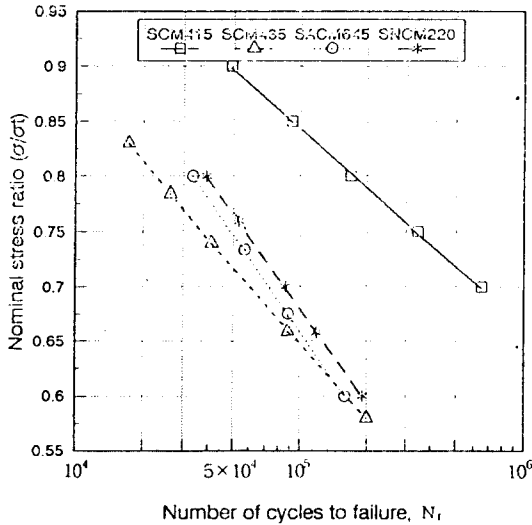


Fig. 2 Nominal stress ratio for fatigue test

Table 4 Nominal stress ratio for each base metal and dissimilar welded joint

Base metals	SCM415	SCM435	SNCM220	SACM645
Nominal stress ratio(σ_t/σ_t)	0.89	0.72	0.77	0.74
Welded joints	SCM415 ×SNCM220	SCM415 ×SACM645	SCM435 ×SNCM220	SCM435 ×SACM645
Nominal stress ratio(σ_t/σ_t)	0.89	0.89	0.72~0.77	0.72~0.74

3. 결과 및 고찰

3.1 밸브 스프링 강재 관 대 봉 이종재의 마찰용접 최적화

3.1.1 용접변수와 강도(피로수명, 인장강도)간의 상관관계

Fig. 3~Fig. 6은 Table 3과 같은 마찰용접 조건에서 시간 조정법으로 용접한 $\phi 36$ (내경 $\phi 18$) 관 대 봉(SCM415와 SNCM220, SCM415와 SACM645, SCM435와 SNCM220 그리고 SCM435와 SACM645)의 이종재 마찰용접재의 인장강도 σ_t (MPa)와 가열시간 t_f (sec), 피로 수명 N_f (cycle)와 가열시간 t_f (sec)과의 상관성을 실험적으로 구한

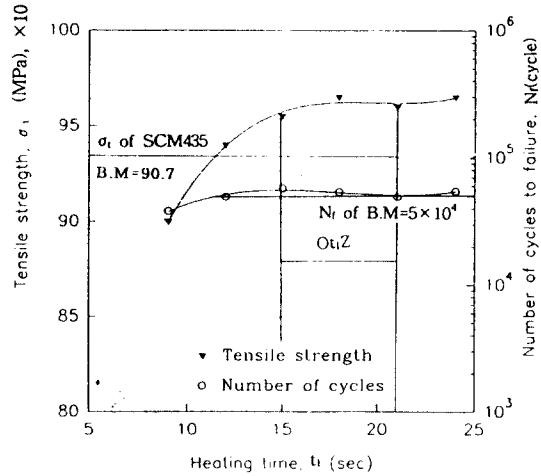


Fig. 3 σ_t vs. t_f and N_f vs. t_f for $\phi 36$ (ID $\phi 18$) tube-to-bar friction welding of SCM435 × SACM645
Welding cond. : as shown in Table 3

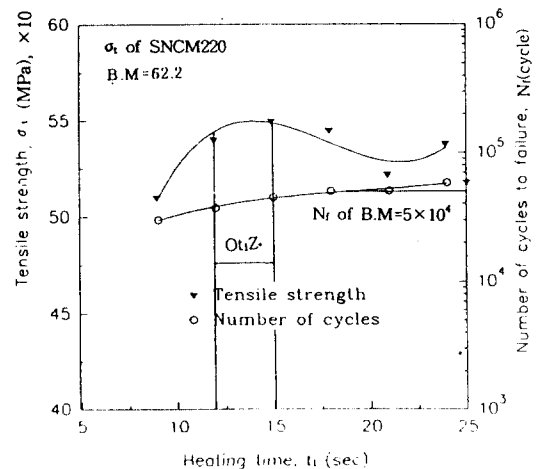


Fig. 4 σ_t vs. t_f and N_f vs. t_f for $\phi 36$ (ID $\phi 18$) tube-to-bar friction welding of SCM435 × SNCM220
Welding cond. : as shown in Table 3

결과를 나타낸다. 이때의 인장 시험편과 피로 시험편은 Fig. 1에서와 같이 관 대 봉 용접재의 관 두께부에서 종방향으로 마찰용접면이 중앙에 오

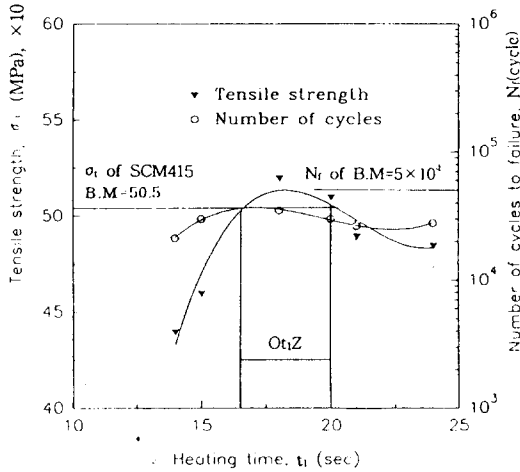


Fig. 5 σ_t vs. t_1 and N_f vs. t_1 for $\phi 36$ (I.D $\phi 18$) tube-to-bar friction welding of SCM415 x SNCM220
Welding cond. : as shown in Table 3

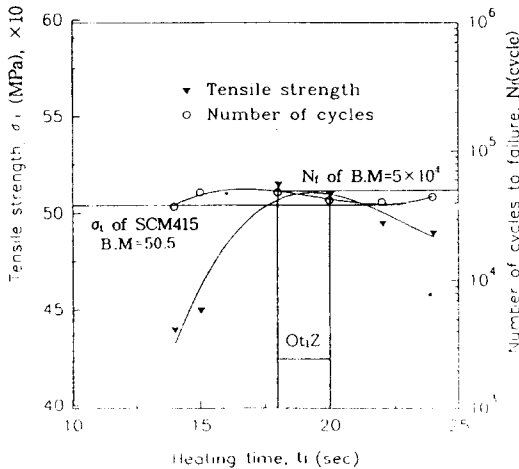


Fig. 6 σ_t vs. t_1 and N_f vs. t_1 for $\phi 36$ (I.D $\phi 18$) tube-to-bar friction welding of SCM415 x SACM220
Welding cond. : as shown in Table 3

도록 채취하고, 밀링가공과 연삭가공하여 완료하였다. Fig. 3에 있어서 $OptZ$ (optimum t_1 zone) (by σ_t)에 의해 $t_1=15\sim 21$ sec이며, 이때의 인장강

도는 $\sigma_t=955\sim 960$ MPa를 나타내고 있다. 이것은 이중재 낮은쪽 인장강도 SCM435($\sigma_t=907$ MPa)보다 높고 이음효율은 105.3~105.8%이다. 또한, 이때의 피로수명 N_f (cycle)는 $OptZ$ 에 의해 ON_fZ (optimum fatigue life zone)가 결정되어지며, 이때 $ON_fZ=57517\sim 49722$ cycle이고 모재기준은 5×10^4 cycle이다.

SCM435 x SACM645 관 대 봉 마찰용접에 있어서 피로수명(N_f)은 t_1 의 증가에 따라 $OptZ$ 에서 피크(peak)를 유지하며, 모재의 수명 기준인 5×10^4 cycle 이상을 유지하고 있다. 이것은 $OptZ$ 를 넘어 가열시간 t_1 의 증가가 모재의 입열량을 많게하여 인성이 부여되어 인장강도 (σ_t)가 다소 떨어지나 피로수명(N_f)은 증가한다고 생각한다.

Fig. 4에서 $OptZ$ (by σ_t)는 $t_1=2\sim 15$ sec이며 이때의 인장강도는 $\sigma_t=540\sim 550$ MPa를 나타내고 있다. 이것은 이중재 낮은쪽 인장강도 SNCM220 ($\sigma_t=622$ MPa) 보다 낮아 이음효율은 86.8~88.4%이다.

또한, ON_fZ 는 37012~45104 cycle이고 t_1 의 증가에 따라 피로 수명(N_f)이 증가 되고 있고 피로 수명만 고려한다면 t_1 을 20sec까지 올려 잡는것이 유리함을 알 수 있다. 그러나 이때는 인장강도가 낮아지고 t_1 이 과도하므로 이점에 유의해야 한다.

Fig. 5는 $OptZ$ (by σ_t)에서 $t_1=17\sim 20$ sec이며 이때 인장강도는 $\sigma_t=500\sim 510$ MPa를 나타내고 있으며 이중재 낮은쪽 인장강도 SCM415($\sigma_t=505$ MPa)보다 높고 이음효율은 99~101%이다. 또한, ON_fZ 는 32,500~30,000 cycle을 나타내고 있다. N_f 는 t_1 의 증가와 σ_t 의 증가에 따라 증가 했다가 $OptZ$ 를 넘어서 감소 되고 있다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 $OptZ$ (by σ_t)는 $t_1=18\sim 20$ sec이며, 이때 인장강도는 $\sigma_t=515\sim 510$ MPa를 나타내고 있으며 이중용접재 SCM415 x SACM645의 낮은쪽 인장강도인 SCM415($\sigma_t=505$ MPa)보다 높다. 이음효율은 102~101%이다. 피로수명(N_f)은 $OptZ$ 를 넘어서 σ_t 의 감소와 t_1 의 증가에 따라 높아짐을 보여 주고 있다.

3.1.2 관 대 봉 이중재 마찰용접의 최적화
SCM415 x SNCM220, SCM415 x SACM645, S

CM435×SNCM220, SCM435×SACM645의 이종재 마찰용접제의 최적화를 위하여 가열시간 t_f 을 변수로 하여 인장강도가 우수한 t_f 의 범위를 정할 수 있다.

따라서 $OtiZ$ 보다 t_f 이 낮거나 너무 높으면 인장강도 (σ_t)가 낮아지며, 또한 이음효율이 좋지 않다. 그러나 이음효율이 좋지않은 이종재 용접재를 다시 열처리(침탄 또는 질화처리)를 실시하여 충분한 강성을 유지할 수 있어 이들 재료에 있어서 강도 면에서 최적화를 실현할 수 있다.

피로수명(N_f)에 있어서 가열시간(t_f)을 변수로 하여 최적화를 위하여 $ONfZ$ 를 정하였다.

짧은 시간내에 저사이클 피로시험을 Table 4의 조건에 의해 실시하고 각 재료의 피로 수명의 범위를 정하였다. 이종재 용접제의 $OtiZ$, $ONfZ$ 를 Fig. 3~Fig. 6에서 구하고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Optimum t_f , σ_t , N_f zone for dissimilar friction welding of $\phi 36$ (LD $\phi 18$) tube-to-bar

Dissimilar FRW		SCM435 × SACM645	SCM435 × SNCM220	SCM415 × SACM645	SCM415 × SNCM220
Optimum zone	$OtiZ$ (sec)	15~21	12~15	18~20	17~20
	σ_t (MPa)	955~960	540~550	515~510	500~510
	$ONfZ$ (cycle)	57517~49722	37012~45104	48000~42112	32500~30000

Table 5의 이종재 마찰용접을 비교분석하면, 이종재 용접제의 경우가 강도와 피로수명이 약간 낮으나 이들은 열처리전의 용접재(as-welded)이며 표면경도 HRC 58~62와 침탄 깊이 0.2~0.4 mm를 유지하기위하여 침탄 및 질화처리를 하면 강도와 피로수명이 더욱 증가 할 것이 기대된다. 그런데 유공압 밸브스프링이 밖으로 노출되거나 유로부의 미끄럼부와 홀더의 기계적 강도와 강인성이 요구되는 플러그부는 이종재 마찰 용접이 유효하므로 그 최적화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이종재의 마찰용접 최적화를 실현하고자 하였다.

3.2 관 대 봉 이종재 마찰용접시의 AE의 총량과 용접품질과의 상관성

일반적으로 가열시간(t_f)의 증가에 따라 마찰용접부의 소성변형이 계속해서 크게 일어나기 때문에 AE(acoustic emission)도 증가하며 본 연구에서는 σ_t - t_f 의 상관성에서 이음효율이 100%이상되는 $OtiZ$ 를 구하고 최적 인장강도 (σ_t) 및 N_f - t_f 상관그래프에서 $OtiZ$ 구간에서 피로 수명(N_f)과 AE총량(N)을 다음과 같이 구한다.

① SCM435×SACM645 dissimilar weld :

Fig. 7은 앞의 $OtiZ$ 구간에서 최적 인장강도가 $\sigma_t=955\sim 960$ MPa일때 AE 총량은 36021~40123 count이다.

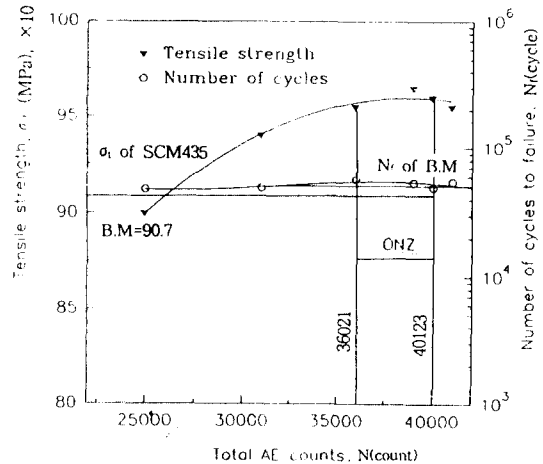


Fig. 7 σ_t vs. N and N_f vs. N for $\phi 36$ (LD $\phi 18$) tube-to-bar friction welding of SCM435 × SACM645
Welding cond. : as shown in Table 3

이 구간이 ONZ (by σ_t)이며, AE 총량의 증가에 따라 피로수명(N_f)은 $ONfZ$ 구간에서 57517~49722 cycle임을 알 수 있으며 모재의 기준 5×10^4 cycle에 근사한 값이다.

이때 σ_t - N , N_f - N 의 상관관계 실험식은 다음과 같이 계산되었다.

$$\sigma_t = -4.3 \times 10^{-8} N^2 + 0.03N + 33.7 \quad (1)$$

$$N_f = -4.9 \times 10^{-9} N^3 + 0.0004 N^2 - 6.7 N + 55025 \quad (2)$$

② SCM435×SNCM220 dissimilar weld :

Fig. 8은 역시 앞의 최적 O_tZ 에 있어 최적 인장강도가 $\sigma_t=540\sim550\text{MPa}$ 일때, AE 총량은 45320~47000 count이다. 따라서 이 구간을 ONZ(by σ)로 정할 수 있으며, 피로수명(N_f)은 ONZ 구간에서 37012~45104 cycle임을 알 수 있다.

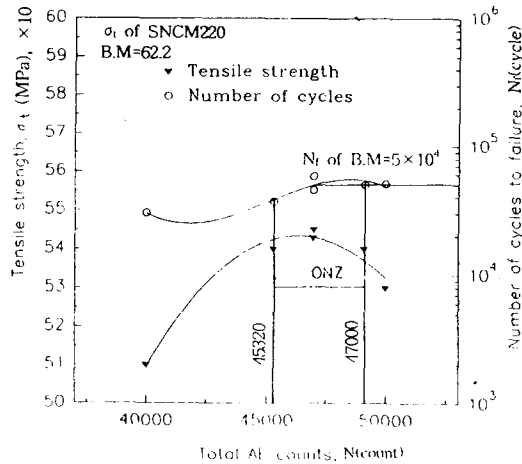


Fig. 8 σ_t vs. N and N_f vs. N for $\phi 36(\text{LD } \phi 18)$ tube-to-bar friction welding of SCM435×SNCM220
Welding cond. : as shown in Table 3

이때 σ_t-N , N_f-N 의 상관관계 실험식은 다음과 같다.

$$\sigma_t = -8.8 \times 10^{-8} N^2 + 0.00083 N - 136.4 \quad (3)$$

$$N_f = -2.35 \times 10^{-7} N^3 + 0.03 N^2 - 1428.7 N + 21324787 \quad (4)$$

③ SCM415×SNCM220 dissimilar weld :

Fig. 9에 있어서 앞의 최적 O_tZ 에서 인장강도 $\sigma_t=500\sim510\text{MPa}$ 일때, AE 총량은 42116~55017 count이다. 따라서 ONZ (by σ_t)는 42116~55017 count이며, ONZ 구간에서 AE 총량 증가에 따라

피로 수명(N_f)은 32500~30000 cycle로 약간 감소됨을 나타내고 있다.

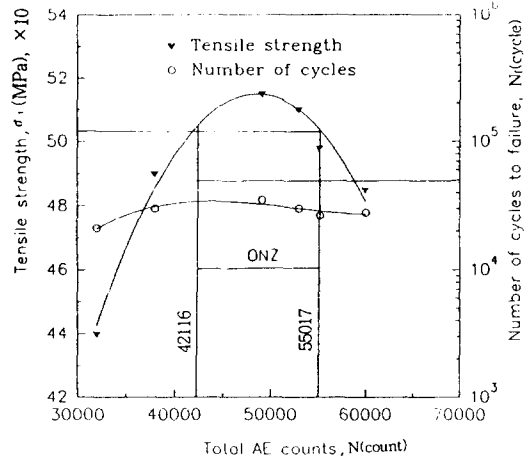


Fig. 9 σ_t vs. N and N_f vs. N for $\phi 36(\text{LD } \phi 18)$ tube-to-bar friction welding of SCM415×SNCM220
Welding cond. : as shown in Table 3

이때 σ_t-N , N_f-N 의 상관관계 실험식은 다음과 같다.

$$\sigma_t = -2.29 \times 10^{-8} N^2 + 0.0023 N - 6.5 \quad (5)$$

$$N_f = 2.4 \times 10^{-9} N^3 - 0.0004 N^2 + 19.65 N - 294704 \quad (6)$$

④ SCM415×SACM645 dissimilar weld :

Fig. 10은 Fig. 6의 최적 O_tZ 에서 인장강도가 $\sigma_t=515\sim510\text{MPa}$ 일때, AE 총량은 44261~49725 count이다. 따라서 이 구간은 ONZ로 정할 수 있고 ONZ 구간에서 피로수명(N_f)은 48000~42112 cycle로 낮아지며 ONZ를 넘어서 AE 총량의 증가에 따라서 피로수명(N_f)도 증가 됨을 보여준다.

이때 σ_t-N , N_f-N 의 상관관계 실험식은 다음과 같다.

$$\sigma_t = -9.35 \times 10^{-9} N^2 + 0.0009 N + 28.86 \quad (7)$$

$$N_f = 1.77 \times 10^{-9} N^3 - 0.0002 N^2 + 9.6 N - 75796 \quad (8)$$

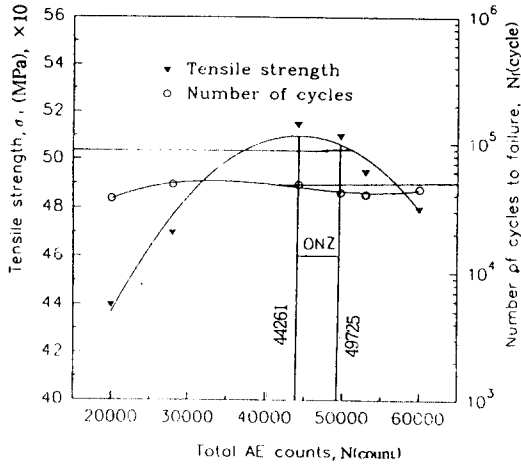


Fig. 10 σ_t vs. N and N_f vs. N for $\phi 36$ (I.D $\phi 18$) tube-to-bar friction welding of SCM415 x SACM645
Welding cond. : as shown in Table 3

이종재 마찰용접 중에 측정된 AE량이 ONZ의 범위에 있으면, 이는 최적 $O_{t_i}Z$ 에서의 $O_{\sigma_t}Z$ 및 ON_fZ 의 용접부 이음효율 100% 이상의 σ_t 와 모재 피로 수명기준 5×10^4 cycle에 비하여 피로수명 효율이 100% 내외의 수명 N_f 를 갖고 있음을 용접 실시간에 확인 할 수 있게된다.

이종재 마찰용접에서 $O_{t_i}Z$ 에서의 ON_fZ 와 ON_fZ 의 범위를 정리하면 Table 6과 같다.

Table 6 Optimum N , N_f zone for dissimilar FRW of $\phi 36$ (I.D $\phi 18$) tube-to-bar

Dissimilar FRW		SCM 435 x SACM645	SCM435 x SNCM220	SCM415 x SACM645	SCM415 x SNCM220
Optimum zone	ONZ (count)	36021~40123	45320~47000	44261~49725	42116~55017
	ONZ (cycle)	57517~49722	37012~45104	48000~42112	32500~30000

3.3 관 대 봉 이종재 마찰용접시의 재질(탄소당량)이 용접품질(인장강도, 피로수명)에 미치는 영향

탄소당량이 용접품질에 미치는 영향을 고찰하기 위해서 이용된 탄소당량(C_{eq} , carbon equi-

valent)의 계산식은 다음과 같다^{12,13}.

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} + \frac{\%Cu}{40} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10} \quad (9)$$

식(9)는 동종재 탄소당량의 계산식으로 본 연구에서 이종재 마찰용접시 탄소당량이 용접품질에 미치는 영향을 분석하기 위해 이종재 각각의 탄소당량을 더하여 평균값으로 탄소당량을 결정하였다.

Table 7은 식(9)를 이용하여 모재의 탄소당량을 구하고 마찰용접한 시편의 적정구간에서의 AE량 N 및 피로수명 N_f 를 나타낸다.

Table 7 List of C_{eq} , N , N_f in dissimilar FRW of $\phi 36$ (I. D. $\phi 18$) tube-to-bar

Dissimilar FRW	SCM435 x SACM645	SCM435 x SNCM220	SCM415 x SACM645	SCM415 x SNCM220
$C_{eq}(\%)$	0.663	0.554	0.560	0.451
ONZ(av.) (count)	36021~40123 (38072)	45320~47000 (46160)	44261~49725 (46993)	42116~55017 (48566)
$O_{\sigma_t}Z$ (av.) (MPa)	955~960 (958)	540~550 (545)	515~510 (513)	500~510 (505)
ONZ(av.) (cycle)	57517~49722 (53620)	37012~45104 (41058)	48000~42112 (45056)	32500~30000 (31250)

Fig. 11은 탄소당량이 증가함에 따라서 인장강도(σ_t)가 증가함을 나타내고 있으며, 또한 이들 적정 구간에서 피로수명(N_f)이 증가함을 나타내고 있다. 탄소 당량이 많은 재질일 수록 경도 및 강도 증가와 상반하여 소성변형이 감소되어 AE량이 감소되는 것이 아닌가 생각된다.

3.4 관 대 봉 이종재 마찰 용접부의 경도 분포, 미시조직 및 피로 파단면의 조사

3.4.1 용접부의 경도 분포와 미시조직 검사

침탄 및 질화 처리하여 표면경도를 높일 수 있으며 유공압 밸브스프링의 마모 및 내구성을 증대시킬 수 있다(표준요구치 : H_RC 58~62 (H_v 650~740), 침탄깊이 : 연삭후 0.2~0.4mm).

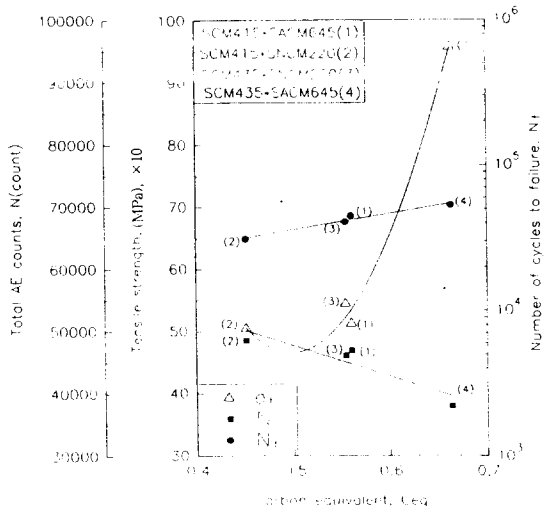


Fig. 11 N_f vs. C_{eq} and $\bar{\sigma}_t$ vs. C_{eq} and N_f vs. C_{eq} for $\phi 36$ (I.D $\phi 18$) tube-to-bar dissimilar friction welding
Welding cond. : as shown in Table 3

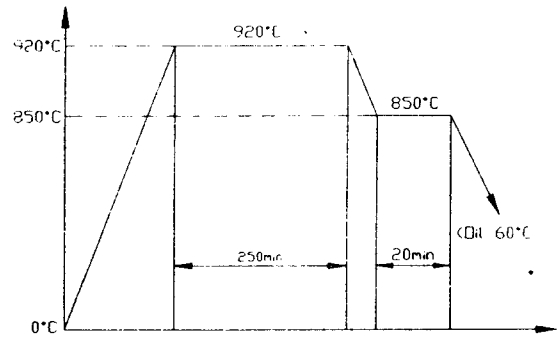
본 연구에서는 Fig. 6의 최적조건($O_{t/z}$)하에서 용접된 대표적인 이종용접재(SCM415×SCM220)의 열처리(침탄) 후 경도 분포 및 미세조직을 조사하였다.

Fig. 12는 실험을 거쳐 얻은 이종재 마찰용접재의 후 열처리로써 최적 침탄 열처리곡선(carburizing)과 뜨임처리곡선(tempering)을 나타내고 있다.

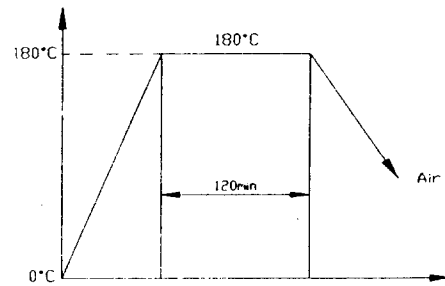
Fig. 13은 이종재의 침탄처리 전과 후의 경도(Hv)를 비교하였으며, 용접계면(W.I, welding interface)에서 모두 높은 경도를 나타내고 있으며 W.I를 지나면 경도가 평균값을 유지하면서 경도의 피크가 완화되고 균일화가되어 있음을 알 수 있다.

결과적으로 본 연구에 적용한 침탄 및 질화 열처리에 의하여 이종재 마찰용접재의 용접 경도 분포는 자료에 따라 차이는 있으나 대체로 피크 및 불균일이 일소되어 경도의 균일화를 이루었고, 본 열처리는 Hv 650~740(H_nC 58~62)의 고경도를 확보할 수 있는 표면경화 열처리 조건임이 확인되었다.

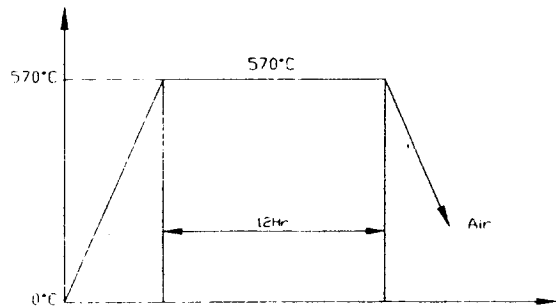
이종재 미세 조직사진을 Fig.14에 나타내었다. Fig. 14는 최적조건하에서 마찰용접 후 표면에서 4 mm정도 연삭한 후 래핑과 부식처리를 하여 배율 1000배로 확대하여 촬영하였다



(a) Heat treatment curve(Carburizing)



(b) Heat treatment curve(Tempering)



(c) Heat treatment curve(Nitriding)

Fig. 12 Post weld heat treatment diagram for dissimilar FRW joints

HAZ(heat affected zone)에서 입자 성장된 마르텐사이트 침상조직이, W.I에서는 침상 마르텐사이트의 미세 치밀한 조직으로 나타나있다. 이것은 마찰용접부가 접합되어 냉각될 때 열처리로써 유담금질에 유사하게 입열량을 받아 경화되었기 때

문이다. 그리고 어느 곳에서도 용접결함이 발견되지 않았고 양호한 접합입이 확인 되었다.

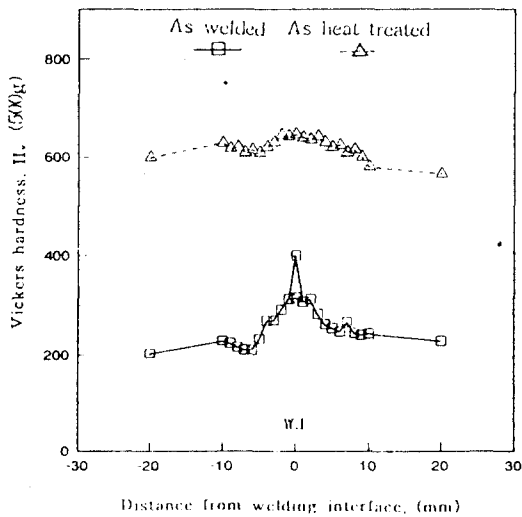


Fig. 13 Typical hardness distribution near the weld interface of friction welded joint of SCM415 x SACM645
Welding cond. : O_t/Z as shown in Fig. 6
Heat treat cond. : as shown in Fig. 12

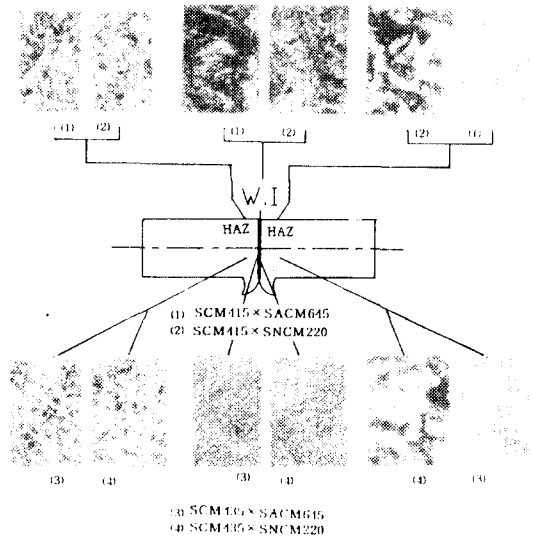


Fig. 14 Micro-structures of HAZ and weld interface for dissimilar FRW joint of ϕ (I.D. ϕ 18) tube-to-bar
Welding cond. : O_t/Z as shown in Fig. 6

3.4.2 용접부 피로 파단면의 SEM 조사

Fig. 15는 마찰 용접부의 피로 파단면을 이종재 각각의 시험편 별로 조사 하였으며 배율은 200배로 하였다. 또한, 시험편 선택은 Fig. 8에서 구한 O_t/Z (by σ_i)에 의해 가장 용접품질이 좋은 시험편으로 하였다.

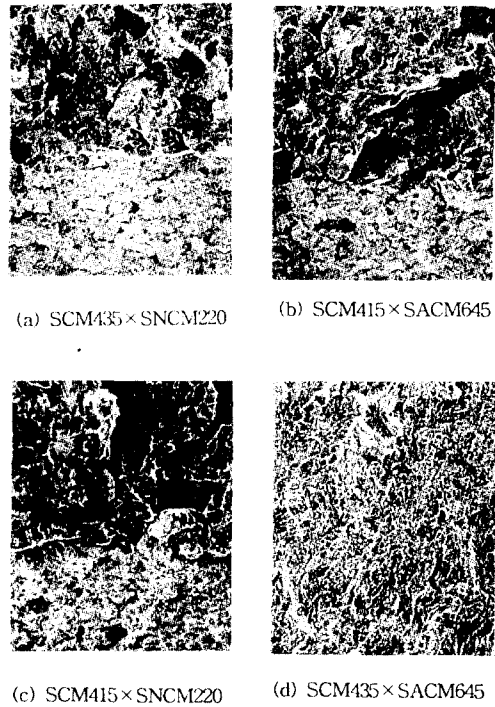


Fig. 15 Fractographs of microscopic fatigue fracture surface by SEM ($\times 200$) for dissimilar friction welded joint of ϕ 36 (I.D. ϕ 18) tube to bar
Welding cond. : O_t/Z as shown in Fig. 6

Fig. 15 (a)는 SCM435 x SNCM220으로 아래부는 피로 파단 부분을 나타내고 균열(crack)전파에 따라 윗 부분은 연성피로 파단부분을 나타내고 있고 또한 피로파단부가 미세함을 보여 주고 있다. (b)는 SCM415 x SACM645로 (a)보다 피로 파단부가 조대함을 나타내고 있으며, (c)는 SCM415 x SNCM220으로 인장강도가 낮은 이음부 때문에 사진 윗부분의 연성 피로 파단부가 크게 나타나 있다. (d)는 SCM435 x SACM645로 이종재 중 가장 인장강도가 높고 탄소(C)가 많은 관계로 연성 피로 파단부가 없이 취성 피로 파단부만 나타나

있다. Fig. 15 (a)~(d)를 비교 분석하여 볼 때 이 종마찰용접재 SCM435×SNCM220, SCM415×SACM645, SCM415×SNCM220 은 취성 피로 파단부와 인성이 높은 덩플현상의 연성 피로 파단부의 경계가 나타나고 이들의 조합으로 피로 파단된다고 생각되며, SCM435×SACM645는 강도가 높고 탄소(C)의 함유량이 많아 취성 피로 파단을 나타내고 있다고 보여진다.

피로 파단은 인장시와 마찬가지로 모두 모재측의 열영향부에서 일어났다.

4. 결 론

유공압 밸브스플의 이중재 마찰용접에 사용된 표면경화용 강재로써 SCM415×SNCM220, SCM415×SACM645, SCM435×SNCM220, SCM435×SACM645의 조합으로 관 대 봉 이중재 마찰용접을 수행하여, 마찰용접 최적화와 AE평가, 용접품질(인장강도, 피로수명)에 미치는 영향 및 탄소당량에 대한 용접부 강도 및 AE, 피로 수명과의 상관관계에 관한 연구결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

1. 관 대 봉 이중재 마찰용접 최적화 기술을 개발 하였으며, 그 최적 용접조건은 인장강도와 피로수명을 고려하여 이음효율이 100%이상인 되는 가장 높은 상태에서 실험적으로 도출하였다.
2. 관 대 봉 이중재 마찰용접시 AE 시험을 하여 이음효율이 최적상태일때 피로수명을 고려하여 AE의 범위를 구하였고 피로수명과 AE, 이음강도와 AE의 상관식을 도출하였으며, AE에 의한 용접 품질의 실시간 평가가 가능케 하였다.
3. 관 대 봉 이중재 마찰용접 품질(인장강도, 피로수명)과 용접중의 총 AE량이 탄소당량에 영향을 받으며, 탄소당량이 증가할 수록 인장강도와 피로수명은 증가하나 총 AE량은 감소한다.
4. 최적 조건하의 마찰 용접부 표면 및 파단면 조사에 의하면 인성이 높은 덩플 현상이 보이며, 인장 및 피로시험시 파단은 모재부에서 일어났다.

5. 참 고 문 헌

- 1) American Welding Society, "Welding Handbook", Vol. 2, p.747, pp.672-763, 1991
- 2) M. Arrington, "Acoustic Emission", Speedtronics Ltd, Huntingdon, pp.25~59, 1988
- 3) Kaiser, J., "Untersuchungen unber das Auftreten von Geraeuchen beim Ugversuch", Dr.-Ing. Thesis, Technische Hochschule, Munich, 1950
- 4) 오세규, 장지훈, 배명주, 전태언, "밸브스플재 봉 대 봉 마찰용접에서 가열시간이 이음강도와 AE 특성에 미치는 영향", 한국해양공학회 '94 추계강연논문집, pp.71-75, 1994
- 5) 오세규, 배명주, 오명석, 박일동, 유인중, "유공압 밸브스플용 재료의 관 대 봉 마찰용접과 AE에 관한 연구", 한국해양공학회 '94 춘계 강연 논문집, pp.177-181, 1994
- 6) 오세규, 오정환, 전태언, 김경균, 오명석, "AE에 의한 소형 밸브스플 마찰 용접 품질의 실시간 평가", 대한용접학회지, Vol.12, No.2, pp.97-107, 1994
- 7) S.K. Oh and K.K. Wang, "Effect of Welding Parameters on Weld Strength and Acoustic Emission in Friction Weld", J. of Korea Soc. of Marine Engineers. 7(1), pp. 22~33, 1983
- 8) S.K. Oh, K.K. Wang, G.R. Reif, "In-process Quality Detection of Friction Welds using Acoustic Emission Techniques", Proc. of 63rd Annual American Welding Society Convention on Kansas, USA, Tech. Sess. 5, Apr, Welding Journal of AWS, Welding Research Supplement, Vol. 61, No. 9, pp. 312-316, 1982
- 9) S.K. Oh, "Studies on Strength Analysis of Friction Welded Joints and In-Process Monitoring of the Welding Using Acoustic Emission Techniques", Ph.D Thesis, Graduate School, Keio Univ., Japan, pp. 1~314, 1982

- 10) S.K. Oh, "Quantitative Analysis of Friction Weld Strength by Acoustic Emission", Transaction of KSME, Vol.17. No.2. pp. 226~236, 1983
- 11) 오세규, "어쿠스틱 에미션법에 의한 마찰용접 강도해석(1)", 대한 기계학회지, 제 22권, 제 3호. pp. 184~190, 202, 1982
- 12) 나석주, 김성주, "강의 마찰용접에 미치는 탄소당량의 영향-동종강에 대하여", 대한용접학회지, Vol.3, No.2. pp. 1~9, 1985
- 13) 나석주, 양영수, "강의 마찰용접에 미치는 탄소당량의 영향-탄소강과 고속도강에 대하여", 대한용접학회지, Vol.4, No.3. pp. 32~42, 1986