

AE에 의한 소형 밸브스풀 마찰용접 품질의 실시간 평가

오세규* · 오정환** · 전태언** · 김경균*** · 오명석****

Real-Time Evaluation of Friction Weld Quality of Small-Type Hydraulic Valve Spool by Acoustic Emission

Sae-Kyoo Oh*, Jung-Hwan Oh**, Tae-Eun Jeon**
Kyung-Kyoon Kim*** and Myung-Suk Oh****

Key Words : Friction Welding(마찰 용접), Weld Strength(용접 강도), Acoustic Emission Counts (AE량), Real-Time Evaluation(실시간 평가)

Abstract

Both in-process quality control and high reliability of the weld is one of the major concerns in applying friction welding to the economical and qualified mass-production. No reliable nondestructive monitoring method is available at present to determine the real-time evaluation of automatic production quality control for friction welding of special hydraulic valve spool of 16mm in diameter.

This paper, so that, presents the experimental examinations and statistical quantitative analysis of the correlation between the initial cumulative counts of acoustic emission(AE) occurring during plastic deformation periods of the welding and the tensile strength and other properties of the welded joints of $\phi 16$ valve spool as well as the various welding variables, as a new approach which attempts finally to develop real-time quality monitoring system for friction welding.

* 1993년 5월 7일 대한용접학회 학술대회 발표

** 정회원, 부산수산대학교 공과대학 기계공학과

*** 정회원, 부산수산대학교 대학원 기계공학과

**** 정회원, 아산공업

***** 정회원, 부산공업대학 금형과

1. 서 론

마찰용접은 고체상태의 두 재료가 가압하에서 접촉면의 회전에 의해 상대운동을 일으킬 때 발생하는 마찰열에 의해 접합되는 고상압접이다. 그 접합 기구(mechanism)는 부분적인 확산(diffusion)과 기계적 상호결합에 의하여 이루어지며 접합온도는 탄소강의 경우 소성변형을 쉽게 하는 재료의 단조온도(약 1,200°C)정도이다¹⁾. 두 금속을 외력에 의해 접합시키는 데는 양쪽 소재의 표면원자가 서로간의 인력으로 잡아당기는 거리의 위치보다 가깝도록 인위적으로 접촉시켜야 한다. 그러나 일반적으로 금속의 경우에는 막대한 힘이 필요로 하므로 접근에 필요한 재료의 변형저항을 낮추는 방법으로 고온의 열원을 이용하게 되며 마찰용접에서는 마찰열을 이용하고 있다²⁾.

마찰용접법에는 대체로 두 가지 방법이 있는데

한가지는 연속운전마찰용접법(continuous drive type or brake type)이고, 또 한 가지는 관성마찰용접법(inertia welding or flywheel friction welding)이다. 본 연구에서는 전자의 것을 택하여 실험을 수행하였다. Fig. 1은 연속 운전마찰용접기의 마찰용접 과정을 보여준다²⁾.

AE(acoustic emission, 음향방출)는 재료의 소성 변형, 파괴기구의 연구, 균열의 검출, 용접의 관리, 최대응력의 추정, 마찰용접 강도와 품질의 실시간 평가 등에 응용될 수 있으며, 특히 주목되는 것은 설비안전, 안전성 확보는 물론 품질보증 확보에의 응용이다^{3,4)}.

본 연구에서는 소형 $\phi 16$ 유압 밸브 스펴의 제작 기술 개발을 위한 마찰 용접의 최적화와 더불어 종래의 AE응용 개념을 떠나서, 제품생산 중에(용접중에) 발생하는 AE량을 추적하여 그 방출 AE량에 따라 $\phi 16$ 유압 밸브 스펴의 마찰용접 강도와 품질(강도, 인성)을 평가할 수 있도록 하였으며, 용접조건인 회전수, 가열압력, 단조 가압력, 가열시간, 가압시간 등

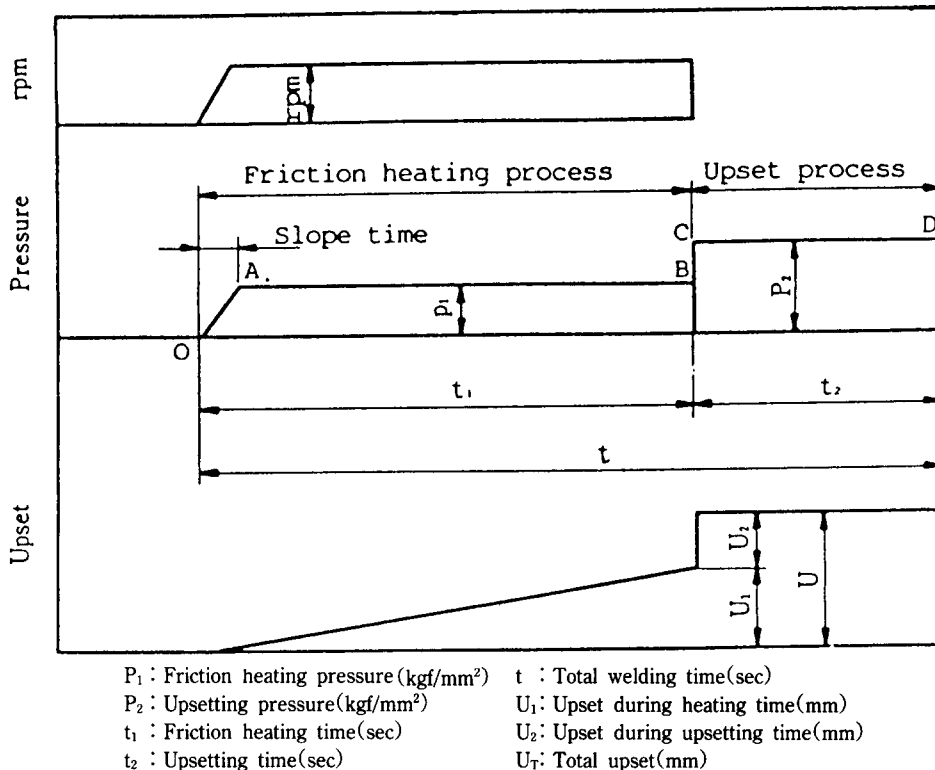


Fig. 1 Schematic friction welding cycle(continuous drive brake type)

변수의 복합 요인에 의한 기계적 응력과 열적 응력 결과에 따른 금속 조직학적 접합의 특성을 AE법에 의해 검출 및 품질 제어할 수 있도록 하였다. 즉 용접면에 가해진 온도에 의한 소성유동의 과소 정도와 가압된 에너지 공급의 과소정도에 따라 마찰용접부의 품질(강도, 인성)이 결정됨과 동시에 용접시점에서 종료까지 발생한 AE 총량과 어떤 상관성이 존재함이 확인되어³⁾, 이러한 상관성 조사를 통하여 AE 측정만으로 실시간에 품질을 평가할 수 있도록 하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 재료 및 실험 방법

본 연구에 사용된 실험재료는 기어, 핀, 축류 및 인성을 중시하는 부품에 쓰이고 유공압 밸브스플용으로 쓰이는 SCM415강으로서 국내 S사 제품이다. 그 화학조성과 열처리 조건 및 기계적 성질은 각각 Table 1과 Table 2와 같다.

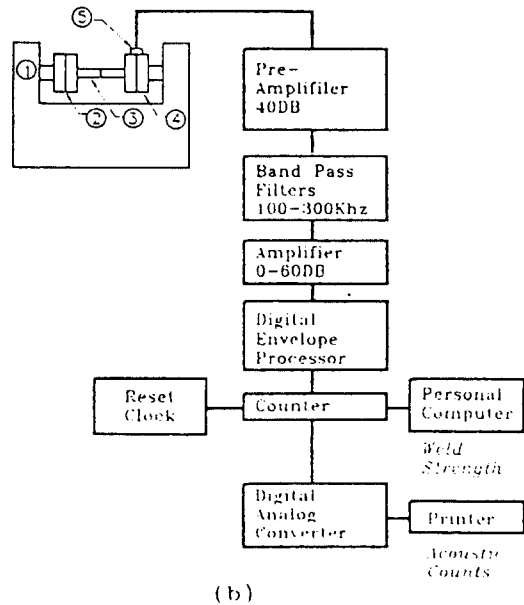
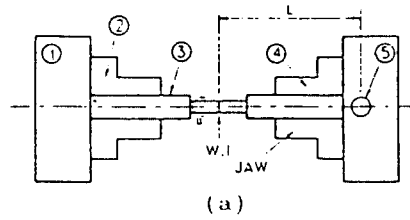
본 연구에 쓰인 실험재료는 carburizing과 tempering처리 전의 경우로서 최고 단조온도 1232°C에서 단조후 annealing (863°C로 가열유지후 680°C까지 시간당 11°C로 노중 냉각)한 상태인 압연흑피대로의 시중 판매 재료이며, 경도는 H_r85(H_rB41)정도이고, 인장강도가 50.5kgf/mm²로서 용접성과 가공성이 우수한 강재이며, 마찰용접 및 기계가공후 침탄 열처리(carburizing)하면 경도는 H_r300, 인장강도가 85kgf/mm²이상이 될 것이다.

Table 1 Chemical composition of SCM415(wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SCM415	0.16	0.25	0.73	0.009	0.007	-	0.99	0.17

Table 2 Mechanical properties of SCM415

Material	Tensile Strength σ (kgf/mm ²)	Elongation ϵ (%)	Reduction of Area ϕ (%)	Hardness H _v	Heat Treat.
SCM415	50.5	32	58	85	863°C Annealed
	85	16	40	300	850°C Oil-Quenched, 200°C Tempered Air Cooling



- ① Brake type friction welding machine
- ② Rotational chuck
- ③ Workpieces
- ④ Stationary chuck
- ⑤ Acoustic emission transducer

Fig. 2 (a) AE transducer location
(b) Block diagram of AE monitoring equipment and computer-aided-strength-evaluation

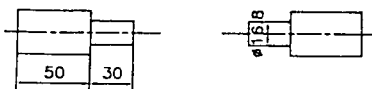
AE에 의한 용접품질 평가에 사용된 AE시험기는 PAC사의 Acoustic Emission Testing System(Model LOCAN-AT, 2 channel)으로서 14 channel까지 확장가능하며, 그 AE시스템 구조를 Fig. 2에 나타내었다.

마찰용접시에 발생하는 AE량을 측정하기 위하여 고감도 센서(R15-C 150kHz sensor)를 용접면으로부터 정지 척(chuck)방향으로 310mm 위치의 정지척 상에 부착하였고, 적절한 작동 파라미터들은 Table 3에 나타 내었다.

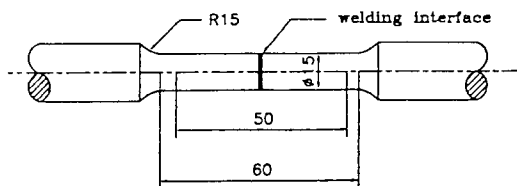
Table 3 AE instrumentation and operating parameters

Transducers	PZ Type R-15 150kHz resonance frequency
Pre-amplifier	Model 1220A 40dB fixed gain 100-300kHz filter
Post-amplifier	40dB gain
Threshold	1.0V

용접시간에 대응한 AE발생 거동을 해석하기 위하여 용접시작부터 용접완료 중에 검출된 초기 AE 누적량⁷⁾과 용접후 냉각기간 중에 검출된 후기 AE 누적량^{3~6,8)}의 두 가지로 분류할 수 있는데, 본 연구에서는 초기 AE량과 용접강도와와의 상관실험식을 만들기 위하여 전자에 관하여만 해석하였다⁷⁾. 본 연구에서 마찰용접의 최적화를 위한 용접조건을 구하기 위하여 마찰용접에 사용한 시험편의 형상과 치수 및 대표적 강도인 이음부의 인장강도, 흡수에너지 등의 시험편 형상 치수를 각각 Fig. 3에 나타 내었다. 즉, $\phi 16$ 밸브스풀용의 마찰용접시험편으로서의 경 18.8 봉의 종방향으로 $\phi 11$ 원주 단면상에 $\phi 3$ 드릴



(a) Friction welding and AE test specimens of $\phi 16.8$ bar to bar



(b) Tension test and energy absorption specimens
Fig. 3 $\phi 16.8$ bar-to-bar specimen for manufacturing $\phi 16$ special valve spool

구멍(오일구멍)이 8개 있는 경우이며, 용접 실단면 적의 지름이 $\phi 16.8$ 인 봉 대 봉 시험편의 형상치수와 인장 강도시험편과 흡수에너지 시험편을 나타낸다.

2. 2 AE의 발원기구와 검출 특성

일반적으로 AE는 재료내에서의 스트레인 에너지의 급속한 방출로부터 일어나는 현상으로서 이 에너지의 일부는 재료의 표면에서 검출이 가능한 탄성파의 형태로서 발원으로부터 방출된다⁴⁾. AE의 주된 발원기구는 재료에 미치는 기계적, 열적, 금속적 원인에 기인될 수 있다. 마찰용접은 고압과 고온하에서 수행되므로 결과적으로 압접면으로부터 재료의 대규모 소성 유동을 유발시켜 플래시(flash)를 형성케 하는데, 용접 사이클 중 마찰열과 다음의 단조작용이 끝난 후인 냉각기 동안의 상변태 중에 후기 AE가 발생하는 반면에^{3~6,8)}, 초기 AE는 마찰용접중(용접시작으로부터 용접끝까지)에 회전수, 압력, 시간 등에 복합적으로 지배되는 단조작용의 기계적 응력과 이때 발생하는 열응력에 의한 대규모의 주된 소성변형과 용접면에서의 접합, 전위, 슬립, 파괴, 재접합 등 일련의 복합적, 반복적 요인에 의해 불과 수초 사이에 발생되며⁷⁾, 이는 초기 AE 검출과 해석이 가능함을 알수 있다.

응력이 증가함에 따라 탄성역에서 소성역으로 들어가 소성변형이 일어날 때까지 저장된 변형에너지의 일부가 해방되고, 다음에 응력이 증가할 때 미세한 균열이 발생하며, 이것이 성장하여 최종적으로 파괴에 이르게 된다. 이러한 미세 균열의 발생과 성장의 각 단계에서 변형에너지가 해방되고, 이러한 해방에너지는 일부는 열이나 빛으로 되지만, 대부분 탄성파(초음파)가 되어 사방으로 전파하게 된다^{7,8)}. AE의 주파수는 다른 파와 비교하여 상당히 넓은 영역을 차지하며, Fig. 4는 AE 파형의 매개변수를 정의하고 있다.

AE파형의 매개변수로 event, count, energy, 진폭, 지속시간, 상승시간, 쇠퇴시간 등이 있으며, AE수를 측정하는 방법으로는 크게 두가지 방법으로 분류된다.

1) ring down count 법 : Fig. 4에서 보는 것처럼 ring down count란 설정된 threshold를 넘는 파고의 수로 정의하며 수학적으로 다음과 같은 표현이 이용된다.

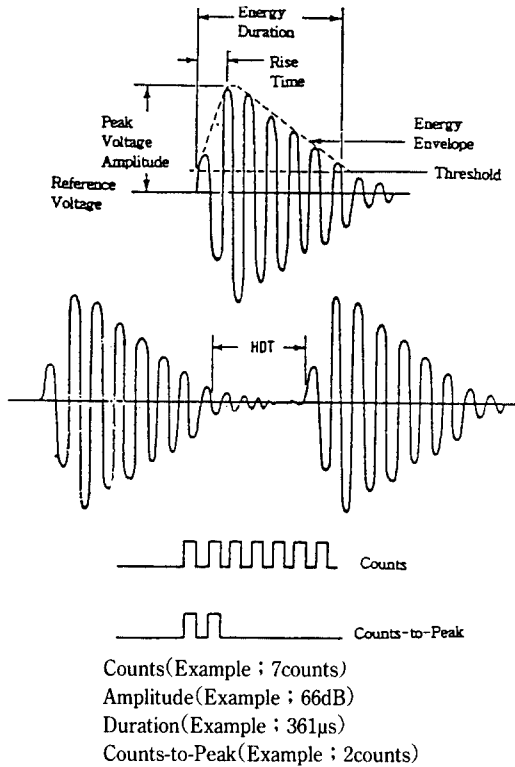


Fig. 4 Schematic illustration of AE event waveform and characteristics

$$N = (f/\alpha) \ln(V_p/V_t) \quad (1)$$

여기서

N ; ring down count

f ; 주파수, α ; 감쇠계수

V_p ; peak amplitude

V_t ; threshold voltage

Count양은 AE 발생원의 주파수 및 크기에 정성적으로 비례하며, 매질의 전파특성이나 신호검출, sensor의 특성에도 크게 의존하므로 같은 조건하에서 상대적인 비교에 많이 쓰인다. 용접부위와 같이 금속간의 접합체 사이에서 발생하는 AE count는 용접과정의 실시간 평가에 사용하는 매개변수이다. 본 연구에서는 용접중의 AE누적수(cumulative count)가 이용되었다.

2) 펄스 면적 측정법 : threshold 이상의 파의 높이를 4구간으로 나누어서 파에 내접하는 사각형의 면적의 합을 AE수로 계산하는 방법으로 energy는

음향방출 파형 아래의 면적을 뜻하며 다음식과 같이 정의 된다.

$$U = \int_{T_1}^{T_2} V^2(T) dT \quad (2)$$

여기에서 U는 시간 T₁에서 T₂까지의 에너지를 뜻하며 V는 시간 T에 대한 진폭을 뜻한다.

T₁은 threshold를 능가하는 시간이며, T₂는 한 event에서 마지막으로 threshold 이하로 내려가는 시간이다.

마찰용접강도와 품질의 실시간 평가를 통한 제품의 신뢰성 향상법은 일반 비파괴 검사 개념과는 다르며, AE에 의해 균열등의 결함등을 찾는 것이 아니고, 마찰용접이 마찰가열가압에 의한 금속의 대소성변형을 유발시키며 압접에 의해 수행되기 때문에 이때의 가열압력, 가열시간, 단조가압력, 가압시간, 회전수 등과 같은 요소들이 용접부 강도와 품질에 상관성이 있듯이, 용접부에서 발생된 AE의 총량도 용접조건이나 용접부 강도와 품질에 정량적 상관성이 있음이 밝혀졌으므로³⁾, 이에 용접강도와 품질의 고신뢰성(무결함)이 파괴시험을 거치지 않더라도 비파괴적으로 탐지하고 제어할 수 있는 새로운 방법이라 할 수 있다. 따라서 마찰용접에서 용접조건인 회전수 n(rpm), 가열·가압력 P₁, P₂(kgf/mm²) 및 업셋량 U₁, U₂(mm)나 가열·가압 시간 t₁, t₂(sec)의 설정에만 의존하는 것은 소재 자체의 물성치와 형상치수의 오차나 기타 온도, 유압 등의 외적 변화를 고려치 않은 문제점이 있으며^{1,8)}, 따라서 마찰용접 작업전에 먼저 회전수, 압력 등을 일정하게 설정하고 U₁이나 t₁을 결정해서 이들의 상호 작용에 의한 마찰용접 중의 품질특성(강도)을 AE량에 의해 측정하여 품질제어하는 것이 훨씬 합리적이고 더욱 신뢰성이 높다고 생각된다³⁾.

3. 실험 결과

3.1 가열시간과 총 업셋량과의 관계

Fig. 5는 φ16.8 봉·대 봉 마찰용접에서 총업셋량 U_T(mm)와 가열시간 t₁(sec) 및 가열업셋량 U₁(mm)과 가열시간 t₁(sec)간의 상관관계를 나타내는 마찰용접 실험결과이다.

Fig. 6의 마찰용접 최적화시험을 거쳐 구한 Ot,Z

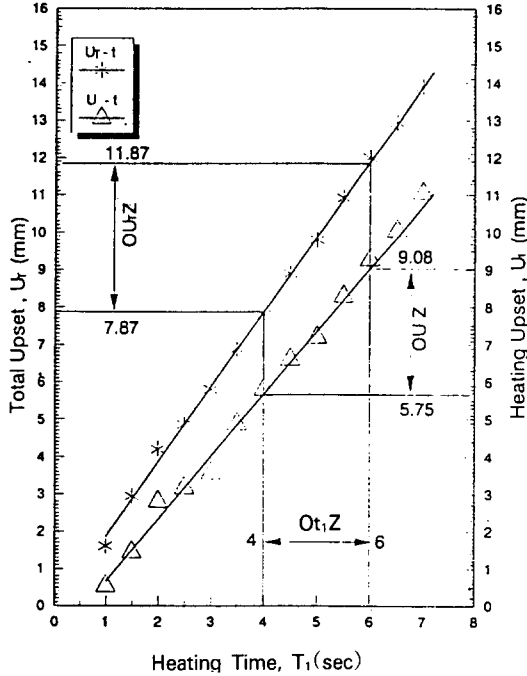


Fig. 5 U_T vs t_1 and U_1 vs. t_1 for φ16.8 bar-to-bar friction welding of SCM415)
Welding cond. : $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_1=1\sim7\text{sec}$, $t_2=4\text{sec}$

(optimum t_1 zone)가 4~6초이므로 Fig. 5에서 OU_{7Z} (optimum U_T zone)는 7.9~11.9mm, OU_{1Z} 는 5.8~9.1 mm였음이 실험적으로 구하여졌다. U_T-t_1 , U_1-t_1 관계실험식은 다음과 같이 계산되었다.

$$U_T = 2t_1 - 0.13 \quad (R^2=0.99) \quad (3)$$

$$U_1 = 1.665t_1 - 0.91 \quad (R^2=0.98) \quad (4)$$

Fig. 6은 Fig. 5의 용접조건하에서 φ16.8 봉·대 봉·대 마찰용접시험후 Fig. 3의 시험편을 이용 하여 용접부 인장강도 σ (kgf/mm²)와 가열시간 t_1 (sec)과의 상관성을 구하여 나타낸다. 이음효율 99.7~101%가 되는 용접조건은 $n=2000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_2=4\text{sec}$ 일때, $t_1=4\sim6\text{sec}$ 임이 확인되었다.

이때 $\sigma-t_1$ 상관 관계 실험식은 다음과 같이 계산되었다.

$$\sigma = 47.76 t_1^{0.04} \quad (R^2=0.99) \quad (5)$$

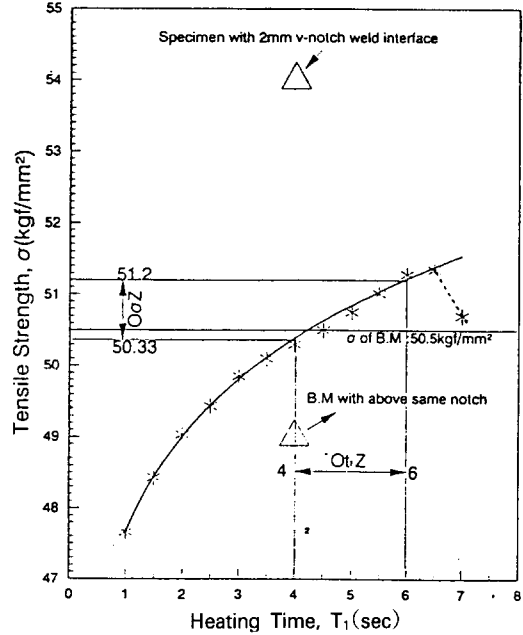


Fig. 6 σ vs. t_1 of friction welded joints of φ16.8 bar-to-bar of SCM415
Welding cond. : $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_1=1\sim7\text{sec}$, $t_2=4\text{sec}$

모든 파단면은 모재부에서 파단되었고, 용접계면(WI)에 2mm V-노치를 가진 용접재의 경우가 같은 노치가 있는 모재의 경우보다 인장강도가 훨씬 높았고, 이때 이음효율이 110%나 되어 마찰용접면의 강도가 매우 상승되어 이음강도가 충분함을 나타내고 있다.

3. 2 마찰용접의 최적화

마찰용접의 최적화를 위하여, 이음부의 강도(이음효율 100%이상)만으로 정할 것이 아니라, 이음효율 100%내외 및 연신율이나 단면수축률 조사에 의한 연성과 인장 흡수에너지 조사를 통한 인성의 영향을 고려할 필요가 있다.^{3,8)}

Fig. 7은 φ16.8 bar-to-bar 마찰용접재의 인장 흡수에너지 E kgf·mm, 인장연신률 $\epsilon\%$, 단면수축률 $\phi\%$ 등과 용접조건 t_1 (sec)과의 상관성을 실험적으로 구한 결과를 나타낸다. 파단부가 모재부이므로 인장 연신률과 단면수축률은 다소 증가하거나 거의 변화가 없는 것이 특징이고, 다만 흡수에너지는 용접조건에

증가에 따라 증가하는 추세이다.

Fig. 6에서의 이음효율 100%내외에 해당되는 최적조건 O_tZ 의 범위가 Fig. 7에서 연신률과 단면수축률의 연성과 흡수에너지의 인성면에서 볼때 불량량의 문제점은 발견하지 못하였고, 따라서 Fig. 6에서의 최적조건 O_tZ 는 강도, 연성, 인성 면에서 문제없는 양호한 적정 조건이라고 할 수 있다.

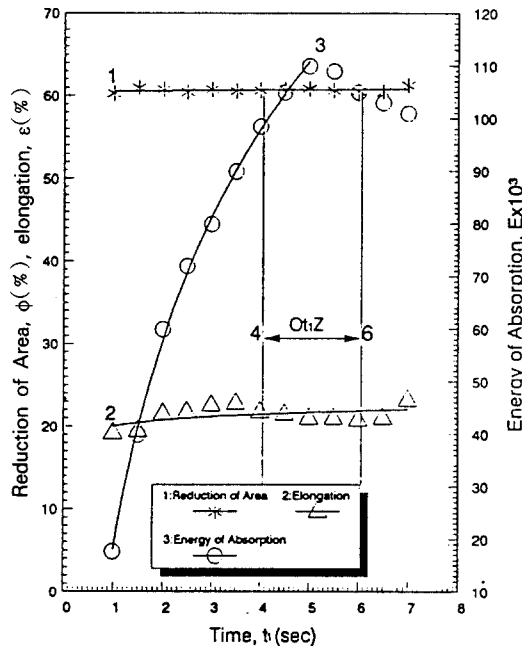


Fig. 7 Energy of absorption E vs t_1 , ϵ vs. t_1 and ϕ vs. t_1 of friction welded joints of SCM415 $\phi 16.8$ bar-to-bar

이때 상관 관계 실험식들은 다음과 같이 계산되었다.

$$E = 17965.5 + 57692.95(\ln t_1) \quad (6)$$

$$\epsilon = 20.10 + 1.01(\ln t_1) \quad (7)$$

$$\phi = 60.56 + 0.135(\ln t_1) \quad (8)$$

3. 3 마찰 용접부의 미시조직 검사

Fig. 8은 SCM415 $\phi 16.8$ 봉 대 봉 마찰용접부 인장파단면의 SEM 파단면 사진을 나타내고 있다. Fig. 8(a)의 B.M(base metal)인 (b), (c)에서 알 수 있듯이 모재부 인장파단부로서 많은 뒨플(dimple)을 볼 수

있는 연성파단을 나타내고 있고, Fig. 8(a)의 W.I(weld interface)인 (d), (e), (f)에서 알 수 있듯이 용접계면에 노치가공하여 인장파단이 용접계면에서 생긴 인장파단면 사진으로서 원주부는 연성파단이나 중앙부는 벽개파면을 나타내는 취성파단임을 알 수 있다. 따라서 본 마찰용접시험의 인장파단부가 모두 모재부 파단이란 점에서 볼 때, 연성과 인성이 상당히 풍부한 것으로 생각할 수 있다.

3. 4 용접조건과 AE총량 또는 용접품질과의 정량적 상관성 도출

Fig. 9는 Fig. 6과 같은 용접조건하에서 SCM415 시험편으로 마찰용접 중 AE시험을 수행한 결과를 나타낸다.

Fig. 9에서 $\phi 16.8$ bar-to-bar 용접에서 O_tZ 가 4~6sec 일 때 총 AE량 N 은 $ONZ = 80,500 \sim 97,000$ counts이고, 이때 $N-t_1$ 관계실험식은 다음과 같이 계산되었다.

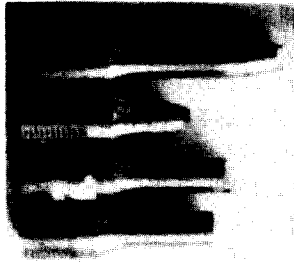
$$N = 43,600 t_1^{0.45} (R^2 = 0.95) \quad (9)$$

3. 5 AE 총량과 용접품질과의 상관성 도출

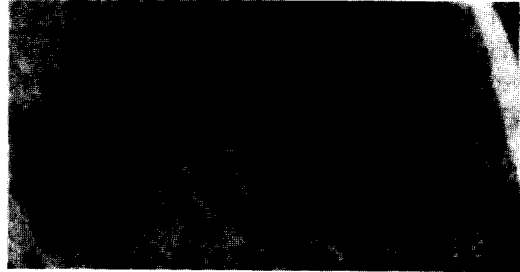
Fig. 10은 Fig. 6과 같은 용접조건하에서 Fig. 3과 같은 SCM415 시험편으로 $\phi 16.8$ 봉 대 봉의 마찰용접시 AE시험을 수행한 결과 AE 총량과 용접품질(강도)과의 상관관계를 실험적으로 구한 결과이다. 용접시작에서 완료시까지의 N 량이 AE시험기에서 측정되는 즉시 PC를 통하여 입력된 식과 데이터로부터 측정된 AE량 N 에 대한 인장강도 σ 가 계산되어, 그 용접재의 인장강도를 실시간에 알 수 있다. 모든 기계적 성질을 사전에 실험하여 입력되어 있으면 그러한 정보도 즉시 알 수 있게 되어 품질평가에 크게 기여되리라 기대된다.

Fig. 10에서 $\phi 16.8$ 봉 대 봉 마찰용접시 총 AE량의 ONZ (optimum N zone)가 $80,500 \sim 97,000$ counts이면 이때의 이음효율은 $99.7 \sim 101\%$ 가 됨을 알 수 있고, $\sigma-N$ 관계 실험식은 다음과 같이 계산되었다.

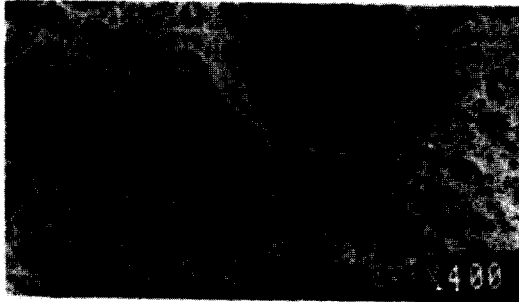
$$\sigma = 20.15 N^{-0.08} (R^2 = 0.96) \quad (10)$$



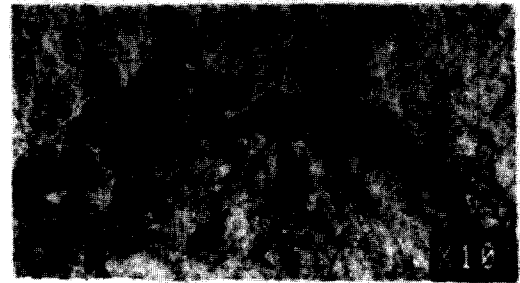
(a) Tensile fractured specimens



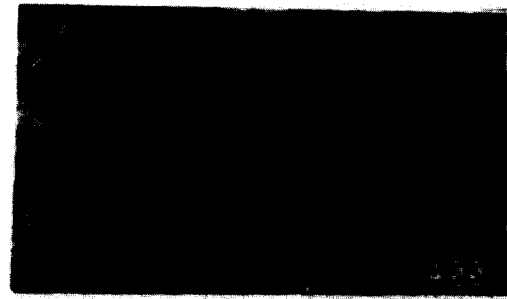
(b) Fracture surface of B.M.



(c) Ductile fracture of B.M.



(d) Fracture surface of weld interface



(e) Ductile fracture of W.I.



(f) Brittle fracture of W.I.

Fig. 8 Fractographs of tensile fractured base metal and weld interface of $\phi 16.8$ SCM415 bar-to-bar friction welding

$\phi 16.8$ 밸브스플 시제품 제작을 위한 마찰용접시의 품질평가를 위한 이음효율의 기대치로서 Fig. 9의 $ONZ = 835,000 \sim 101,000$ counts에 대한 σZ (σ zone)가 Fig. 10에서 100~101%가 되므로 이는 매우 만족스러운 품질평가가 될 수 있다고 생각된다.

3. 6 AE에 의한 실시간 평가

특수 유공압 밸브스플의 제작에 있어서 가공공정 중 마찰용접이 필수적인 바 이 마찰용접의 품질보증은 매우 중요하다고 할 수 있다. 마찰용접부에서의

결함은 미접합 또는 균열로서 용접부 내부나 표면의 플래시 부분에 생긴다. 또한 균열은 모재 원형으로부터 플래시 발생초기의 형상 급변부에서 확인될 때가 있다. 이러한 결함의 검출에는 타 용접부의 경우와 마찬가지로 초음파탐상법 또는 침투탐상법이 사용된다. 그런데, 이러한 검사는 현재 실제의 생산에 있어서는 많이 수행되고 있지 않다. 마찰용접법이 생산에 도입된 초기에는 이 용접법의 본질이 불투명인 경우도 있어서 매우 확실한 방법에 의한 파괴시험과 QC공정을 통하여 용접제품의 발체에 의한 파괴시험과 비파괴시험을 반복해서 생산과 더불어 병행하였다.

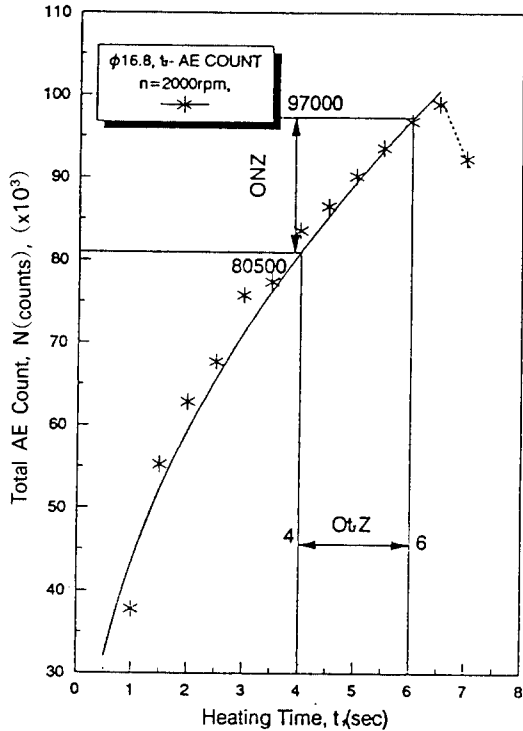


Fig. 9 N vs. t_1 in friction welding of $\phi 16.8$ bar-to-bar of SCM415
 Welding cond. : $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_1=1\sim 7\text{sec}$, $t_2=4\text{sec}$

따라서, 마찰용접기의 제어인자로서 회전수, 가열 압력(마찰추력), 가압력(업셋추력), 마찰가열시간, 가압시간 또는 가열업셋량, 가압업셋량 및 모재의 길이 등을 채택해서 압접과정 진행 중에 그러한 제인자(諸因子)의 경과를 설정치와 비교하여 허용범 위내에 있는지를 감시하는 양식의 품질관리 장치가 가동되고 있고, 관리에 있어서는 작동유(作動油)의 온도(가압력 및 브레이크의 작동기능 등에 영향을 줌)도 제어되고 있다. 그러나 소재재질, 소재치수오차 등으로 인해 용접설정 조건이 맞지 않게 되어 결과 적으로 제품에 오차가 올 수 있다. 따라서 종래의 조건 감시적 품질관리 장치는 그대로 사용하면서, 소재의 물성이나 형상치수 등의 오차로 인해 생기는 불의의 용접불량 또는 합격보증을 특히 제품의 강도와 인성의 품질을 공정 실시간에 검출 감시할 수 있는 방법이 연구개발되면 매우 유익할 것이다. 이 방법의 최종 목표는 AE에 의한 용접품질의 실시간 평가 자동화 시스템의 개발이고, 본 연구는 기초 연구 자

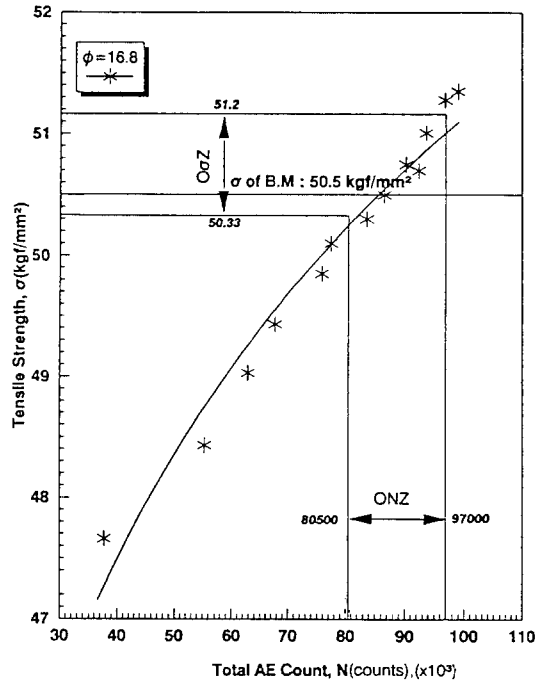


Fig. 10 σ vs. N in friction welding of $\phi 16.8$ bar-to-bar of SCM415
 Welding cond. : $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_1=1\sim 7\text{sec}$, $t_2=4\text{sec}$

료의 개발이며 이 시스템의 자동화 장치가 차후 응용되어 실용화되는 계기가 되길 바란다.

$\phi 16.8$ 봉 대 봉 시험편의 마찰용접에서 각각의 용접조건 $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_2=4\text{sec}$ 일때 각각의 $\sigma-t_1$ 의 실험식 (5)와 $N-t_1$ 실험식 (9)를 연립해서 t_1 을 소거시키면 다음과 같은 $\sigma-N$ 관계 계산식이 도출된다.

$$\sigma = 18.47N^{-0.089} \quad (11)$$

Fig. 11은 $\sigma-N$ 계산식 (11)과 $\sigma-N$ 실험식 (10)을 비교하여 신뢰성을 비교한 것으로 실험식과 계산식이 매우 일치함을 확인할 수 있다.

그리고, 이상의 모든 실험식의 기여율(寄與率, coefficient of determination) R^2 의 값이 거의 모두 0.9를 초과하며, 문헌³⁾에 의하면 0.8을 넘어도 충분히 95% 신뢰성이 있다고 할 수 있다.

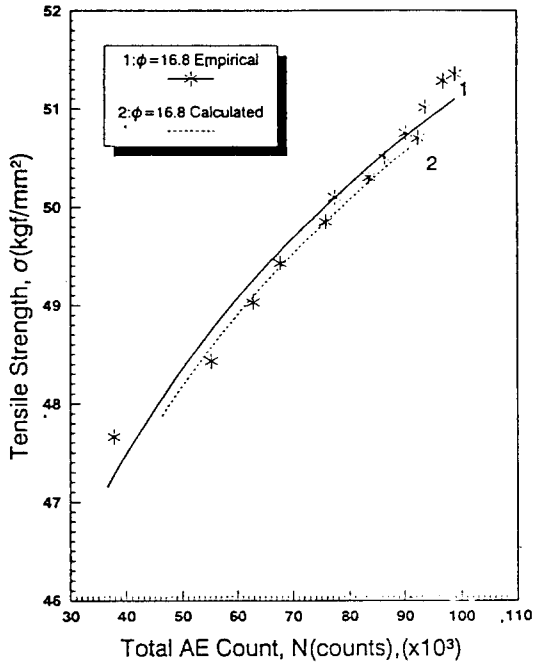


Fig. 11 Comparison between empirical and calculated equations for σ vs. N in friction welding of SCM 415 $\phi 16.8$

Welding cond. : $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_1=1\sim 7\text{sec}$, $t_2=4\text{sec}$

3. 7 $\phi 16$ 유압 밸브스풀의 시제품 제작

$\phi 16$ 유압 밸브스풀의 기계가공은 소재 18.8×33 의 2개를 가공하고, 압접부분에 축방향 $\phi 3$ 드릴 깊이 19.5mm 로 드릴링하되, $\phi 11$ 원주상에 8개의 구멍을 가공한다. 마찰용접후 용접부계면에서 플래시에 의해 좌우 최소 2mm 두께 즉 4mm 의 경계면이 생기며 $\phi 3 \times$

17.5 의 밀폐된 구멍이 16개 생긴 셈이다. 플래시를 제거하고, $60^\circ - 0.4\text{mm}$ 폭의 V그르브를 원주 7개소에 가공한다.

Fig. 12는 $\phi 16$ 유압 밸브스풀의 용접재, 종단면, 완제품의 외관을 나타내며, 주요규격은 다음과 같다. (단위mm)

전장 : 58, 외경 : $\phi 16$, 양단부 : $\phi 11$, 목부 : $\phi 8$

마찰용접부(중앙)의 양측 $\phi 16 \times 9$ 단면 :

$\phi 11$ 원주상에 축방향

$\phi 3 \times 9\text{mm}$ 관통 오일구멍 8개 2개소

양단부 보턴걸이홈 : 4×25 , 6×25

이 용접재를 기계가공하여, 침탄 표면경화 열처리를 한 후 소정의 칫수 $\phi 16$ 으로 연삭한다. 이때 표면경도는 $HRC 58 \sim 62$ 이며, 연삭후 침탄깊이는 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 를 유지하면 될 것이다.

본 $\phi 16$ 유압 밸브스풀의 시제품 제작의 실시간에 마찰용접 강도를 AE에 의해 평가한 결과는 $N=92,000$ counts로서 ONZ 범위에 들어가며, 따라서 Fig. 10에서와 같이 본 시제품의 이음 효율이 $99.7 \sim 101\%$ 의 범위에 속함을 실시간에 확인 할수 있었다.

4. 결 론

$\phi 16$ 밸브스풀 마찰 용접 품질의 실시간 품질 평가에 관한 연구 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

1. 마찰 용접시 AE를 사용함으로써 실시간에 용접 품질을 조사하는 방법을 개발하였으며, 최적 용접조건시 counts양은 $80,500 \sim 97,000$ 의 분포를 나타 내었다. 이때 $\sigma - N$ 관계 실험식은 다음과 같이 전산 되었다.

$$\sigma = 20.15 N^{-0.08}$$

2. 모든 파단면은 모재부에서 파단되었고 용접부



$\phi 16.8$ weld of $\phi 16$ valve spool



Finished product of $\phi 16$ valve spool



L.H.S of $\phi 16$ V.S

L.H.S : longitudinal half section

Fig. 12 Appearance of weld, longitudinal half section and finished product of $\phi 16$ hydraulic valve spool

이음 효율 99.7~101%가 되는 최적 용접 조건은 $n=2,000\text{rpm}$, $P_1=9$, $P_2=15\text{kgf/mm}^2$, $t_1=4\sim6\text{sec}$, $t_2=4\text{sec}$ 임이 확인 되었다. 이때 $\sigma-t_1$ 상관 관계식은 다음과 같다.

$$\sigma = 47.76 t_1^{0.04}$$

3. $\phi 16$ 특수 유압 벨브스플의 FW에 의한 제작기술을 개발하였고, AE에 의해 실시간 품질 평가한 결과는 AE 측정량이 ONZ 범위내이므로 이음 효율이 99.7~101%의 범위내 임이 확인 되었다.

5. 후 기

본 논문은 과학기술처에서 시행한 91년도 특정연구 개발 사업의 연구 결과일부임을 밝히며, 관계 제위께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) AWS : "Welding Handbook", Chap. 50, Friction Welding, (1970), pp. 3-5,37
- 2) 摩擦壓接協會 : "摩擦壓接", (1979), コロナ社
- 3) Sae Kyoo 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, (1982), pp.1-314
- 4) 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 in Kansas, USA, Tech. Sess. 5, Apr. 1982. Welding Journal of AWS, Welding Research Supplement, Vol. 61, No. 9, (1982), pp. 312-316
- 5) S.K.Oh, A.Hasui, T.KUNIO, K.K.Wang : "Effects of Initial Energy on Acoustic Emission Relating to Weld Strength in Friction Welding", Proc. of 4th Int. Symp. of JWS in Osaka, Japan, 4JWS-V-8, (Nov. 1982.) P.713-718. Transactions (in English) of Japan Welding Society, Vol.13, No.2, (1982), pp. 15-26
- 6) S.K.Oh : "Quantitative Analysis of Friction Weld Strength by Acoustic Emission", Transaction of KSME, Vol. 7. No. 2, (1983), pp. 226-232
- 7) 오세규, 김동조 : "이종강관 마찰용접의 소성변형 중에 발생된 초기 AE량이 용접품질제어에 미치는 영향에 관한 연구", 대한용접학회지, 제1-2권, 제2호, (1983), pp. 69-75
- 8) 오세규, "어쿠스틱 에미션법에 의한 마찰용접 강도해석(1)", 대한기계학회지, 제22권, 제3호, (1982), pp. 184-190, 202