

◎ 論 文

# 마찰용접에 의한 드릴 생산에서의 AE에 의한 실시간 품질평가에 관한 연구<sup>+</sup>

오 세 규\* · 윤 인 진\*\* · 오 정 환\*\*\* · 오 명 석\*\*\*\*  
(1993년 9월 8일 접수)

## Study on Real-Time Weld Quality Evaluation by Acoustic Emission for Production of Drills by Friction Welding

Sae-kyoo Oh · In-jin Yoon · Jung-hwan Oh · Myeong-seok Oh

**Key Words :** Friction Welding(마찰용접), Optimization(최적화), Real-Time Weld Strength  
Evaluation(용접강도실시간 평가), Acoustic Emission Technique(음향방출법),  
Quantitative Relationship(정량적 상관성), Joint Efficiency(이음효율)

### Abstract

A study off riction welding of high speed steel(SKH 51) bar for blade side to carbon steel (STC 3) bar for shank side was carried out experimentally through tensile test, hardness test, microstructure, and acoustic emission(AE) test.

So, this paper deals with optimizing the welding conditions and the real-time quality (st-  
rength) evaluation of friction welded joints by acoustic emission technique.

The results obtained are summarized as follows :

(1) For friction welded joints of SKH 51 to STC 3 steel bars, the total upset (U) increa-  
ses linearly with an increase of heating time (t<sub>1</sub>).

(2) The determined optimum welding conditions are heating time (t<sub>1</sub>) 7~9 sec, upsetting  
time (t<sub>2</sub>) 5 sec, heating pressure(P<sub>1</sub>) 12 kg/mm<sup>2</sup>, upsetting pressure(P<sub>2</sub>) 15 kg/mm<sup>2</sup> and  
rotating speed(n) 2,000 rpm, resulting in a computed relationship between the tensile streng-  
th of the joint σ (kg/mm<sup>2</sup>) and the heating time t<sub>1</sub> (sec) as the following :

$$\sigma = 2.39t_1^{1.382}$$

+ 1993년 6월 19일 한국해양공학회 학술대회 발표

\* 정희원, 부산수산대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 부산직업훈련원 기계과

\*\*\* 부산수산대학교 대학원 기계공학과

\*\*\*\* 정희원, 부산공업대학 금형과

(3) The quantitative relationship equation between AE cumulative counts(N) and the tensile strength( $\sigma$ ) of the welded joints friction-welded under the above optimal condition is computed as the following :

$$\sigma = 0.07N^{0.61}$$

(4) From the quantitative relationship between the accumulated AE total count and the welding strength, it was confirmed that the nondestructive real-time evaluation of welding quality(strength) could be possible.

## 1. 서 론

마찰용접은 다른 접합법에 비하여 많은 잇점을 가지고 있다. 몇가지 간단한 형상의 부품들을 접합하여 비교적 복잡한 제품제작이 가능하고 자동화가 용이하여 제품의 대량생산이 수월하며 용접부 품질의 재생산성이 높기 때문에 자동차 공업과 공구제조업 등 여러분야에서 그 사용범위가 점차 넓어지고 있다.

특히 최근에는 기계공업의 전반적인 분야에서 제품의 단순화에 따른 공정감소, 이중 마찰용접에 따른 경제성 향상, 신속하고 신뢰성이 좋은 제품의 대량생산 등에 마찰용접을 적용하려는 연구 노력을 하고 있다.<sup>1,2)</sup>

그러나 절삭공구로서 광범위하게 사용되고 있는 고속도강과 금속간의 접합에 관한 연구 발표는 거의 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 현재 드릴, 리머 등의 절삭재료인 고속도강(SKH 51)과 탄소공구강(STC 3)과의 금속학적 접합을 위한 마찰용접의 적용가능성과 접합기구를 검토하여 공구류 생산에 대한 생산비 절감, 생산 공정수 감소등의 경제성 향상을 시킬 것을 주목적으로 하였다. 또한 마찰용접의 적정조건을 이음부의 강도를 고려하여 실험적으로 도출하고, 음향방출법(AE법)을 이용하여 용접부의 품질(강도)을 비파괴적으로 실시간에 평가하도록 하였으며, 본 연구결과가 드릴생산의 품질향상과 평가에 기여되도록 하였다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2-1 시험편

본 실험에 사용된 시험편 재료는 공구날(blade)부로서 내마모성과 내충격성이 강한 국산(S사) 고속도강 SKH 51과 공구 생크(shank)부로서 STC3이며 그 화학적 성분은 Table 1과 같고 기계적 특성은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical compositions of materials(wt%)

Materials	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	P	S
SKH 51	0.85	9.15	6.1	5.0	1.9	-	-	-	-
STC 3	1.00~1.10	-	-	-	-	0.35	0.50	0.030	0.30

Table 2. Mechanical properties of base materials

Materials	Tensile strength ( $\sigma$ ) (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation ( $\epsilon$ ) (%)	Reduction of area(ROA) (%)	Hardness	
				H <sub>B</sub> (A)	H <sub>R</sub> C(Q,T)
SKH 51	63.6	19.3	33.1	≤26.9*	≥63*
STC 3	57.2	26.1	47.0	≤212**	≥63**

\* Annealing : 840°C slow cooling

Quenching : 1225°C oil quenching

Tempering : 555°C air cooling

\*\* Annealing : 765°C slow cooling

Quenching : 790°C water cooling

Tempering : 175°C air cooling

마찰용접과 AE시험을 위한 시험편은 모재를 Fig. 1 (a)와 같은 형상 칫수로 선삭가공 후 연삭가공 하였다.

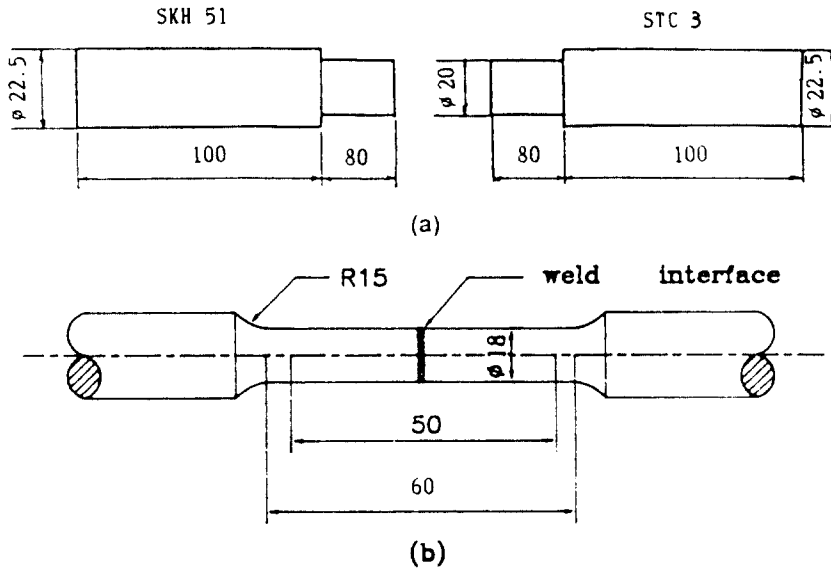


Fig. 1 Shape and dimension of test specimen  
 (a) Welding and AE test workpieces(SKH 51 - STC 3)  
 (b) Tension test specimen(SKH 51 - STC 3)

Fig. 1 (b)는 용접시험편의 인장강도를 알기 위한 시험편으로 KS규격(KSB0801 14A)에 따라 선삭한 후 연삭하였다.

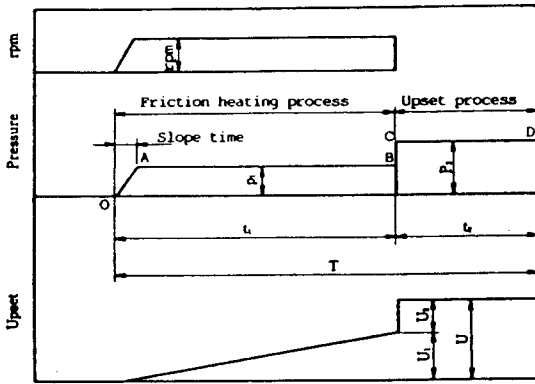
2-2 마찰용접시험

본 실험에 사용된 시험편 SHK 51과 STC 3의 최적 마찰용접 조건을 결정하기 위하여 Fig. 1. (a)처럼 가공한 시편을 회전수(n)=2,000 rpm, 마찰가압력(P<sub>1</sub>)은 8, 10, 12 kg/mm<sup>2</sup>으로 변화시키면서 업셋압력(P<sub>2</sub>)은 15 kg/mm<sup>2</sup>로 일정하게 하여 가열시간(t<sub>1</sub>)과 업셋시간(t<sub>2</sub>)을 Table 3처럼 변화시키면서 마찰용접을 수행하였다.

Fig. 2는 용접 공정에 대한 마찰 용접의 cycle을 표시 하였다. 고정부 유압척에 설치된 소재를 일정한 속도로 회전하는 회전부의 소재로 일정 가열 압력(P<sub>1</sub>)으로 가압하게 되면 마찰열이 발생하게 되며, 일정 온도에 도달하게 되었을 때, 회전을 급정지 시키고 업셋 가압 압력(P<sub>2</sub>)을 가하여 마찰용접을 완수한다. OAB 구간을 가열 과정이라고 하고, OA 구간을 slope time이라고 한다. Slope time은 마찰 용접 초기에 발생하는 최대 torque를

Table 3. Friction welding conditions

Welding materials	Rotating speed n (rpm)	Heating pressure P <sub>1</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	Upsetting pressure P <sub>2</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	Heating time t <sub>1</sub> (sec)	Upsetting time t <sub>2</sub> (sec)	Remark	
SKH51 to STC3	2,000	10	15	3	3	Cond. 1	
				4			
				7			
				10			
				15			
		12	15	15	4	5	Cond. 2
					5		
					7		
					9		
					10		
		8	15	15	10	7	Cond. 3
					12		
					14		
					16		
					18		
20							



- $P_1$  : Friction heating pressure
- $P_2$  : Upsetting pressure( $kg_f/mm^2$ )
- $t_1$  : Friction heating time(sec)
- $t_2$  : Upsetting time(sec)
- $T$  : Total welding time(sec)
- $U_1$  : Upset during heating time(mm)
- $U_2$  : Upset during upsetting time(mm)
- $U$  : Total upset(mm)

Fig. 2. Schematic friction welding cycle (continuous drive brake type)

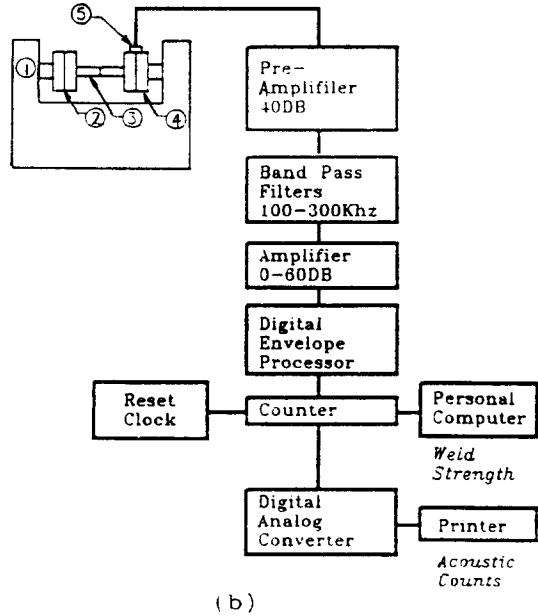
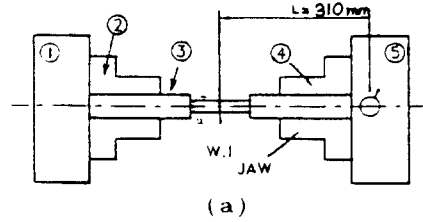
감소시키기 위해 필요하며, 시간에 대해 직선적인 증가의 형태를 나타낸다.

2-3 AE 시험

(1) 마찰용접에서 AE신호의 측정

마찰용접(friction welding, FW)시에 발생하는 AE량을 측정하기 위하여 Fig. 3 (a)에서와 같이 고감도 트랜스듀서(transducer)(R15-C 150 kHz sensor)를 용접면으로 부터 정지척(chuck)방향으로 310 mm인 곳에 부착하였고, acoustic emission에 의한 용접 품질 평가에 사용된 시험기는 PAC사의 Acoustic Emission Testing System(Model Locan-AT, 2 Channel)으로서 Fig. 3 (b)에 나타내었다. 취약한 level의 신호전압을 높이기 위하여 40 dB의 pre-amplifier를 사용하였으며, post amplifier에서 외부 noise를 제거하기 위하여 threshold voltage는 1.0V로 설정하여 실험하였다. 적절한 작동 파라미터들은 Table 4에 나타내었다.

AE 신호는 급격한 응력변화에 의해 발생된다는 특성때문에, 재료 평가법으로서의 응용이외에도 어떠한 종류의 응력변화에 상응하는 물리적 현상을 해석하는 도구로 사용할 수 있다는 것이 AE가 갖는 특징이라 할 수 있다. 이러한 관점에서 보면 용접공정 중에 야기되는 문제점에 관한 정보도 충분히 얻을 수 있으리라 본다.



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

Fig. 3 (a) AE transducer location  
(b) Block diagram of AE monitoring equipment and computer aided strength evaluation

Table 4. AE instrumentation and operating parameters

Transducers	PZ Type R-15 150 kHz resonance frequency
Pre-amplifier	Model 1220A 40 dB fixed gain 100-300 kHz filter
Post-amplifier	40 dB gain
Threshold voltage at comparator	1.0 V(80 dB : gain+threshold)

(2) 마찰용접시 사용되는 AE의 신호특성

일반적으로 AE는 재료내에서의 스트레인 에너지의 급속한 방출로부터 일어나는 현상으로서 이 에너지의 일부는 재료의 표면에서 검출이 가능한 탄성파의 형태로서 발원으로부터 방출된다. 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 발생한다. 반면에 초기 AE는 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 발생된다.<sup>4,5)</sup> 본 연구에서는 마찰 용접중 발생하는 초기 AE 신호를 이용하여 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 마찰용접 조건간의 상관성

Fig. 4는 총업셋량 U (mm)와 가열시간 t<sub>1</sub>(sec) 및 가열업셋량 U<sub>1</sub>(mm)과 가열시간 t<sub>1</sub>(sec)간의 상관관계를 나타내는 마찰용접 실험결과이다. 총업셋량 U(mm)와 가열시간 t<sub>1</sub>(sec) 및 가열업셋량 U<sub>1</sub>(mm)과 가열시간 t<sub>1</sub>(sec)간에는 직선적 상관관계가 있음을 알 수 있다. 총업셋량 U(mm)

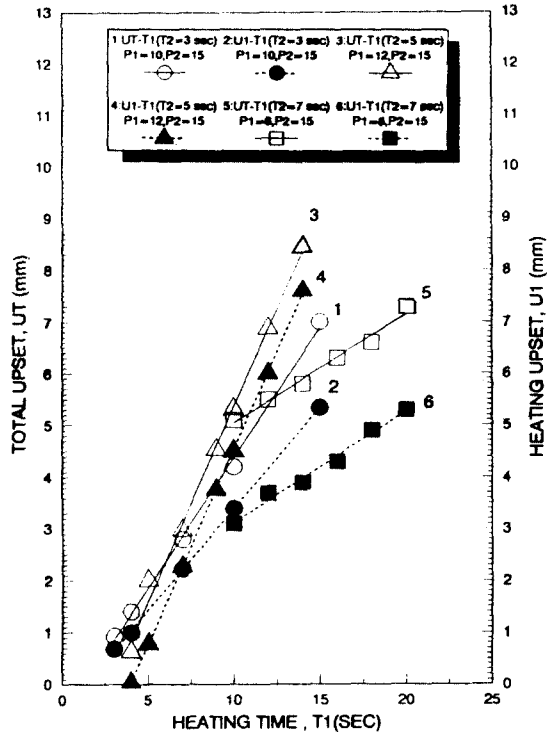


Fig. 4 Relation of total upset and heating time in friction welding of SKH 51 bar STC 3 bar  
Welding condition : n=2,000 rpm

- 1, 2 : P<sub>1</sub>=10, P<sub>2</sub>=15 kg/mm<sup>2</sup>, t<sub>2</sub>=3 sec
- 3, 4 : P<sub>1</sub>=12, P<sub>2</sub>=15 kg/mm<sup>2</sup>, t<sub>2</sub>=5 sec
- 5, 6 : P<sub>1</sub>=8, P<sub>2</sub>=15 kg/mm<sup>2</sup>, t<sub>2</sub>=7 sec

와 가열시간 t<sub>1</sub>(sec) 및 가열업셋량 U<sub>1</sub>(mm)과 가열시간 t<sub>1</sub>(sec)의 상관실험식은 다음과 같이 계산된다.

Cond. 1 (Graph 1, 2) :

$$U = 0.50t_1 - 0.65 \dots\dots\dots (1)$$

$$U_1 = 0.39t_1 - 0.52 \dots\dots\dots (2)$$

Cond. 2 (Graph 3, 4) :

$$U = 0.75t_1 - 2.17 \dots\dots\dots (3)$$

$$U_1 = 0.75t_1 - 2.99 \dots\dots\dots (4)$$

Cond. 3 (Graph 5, 6) :

$$U = 0.21t_1 + 2.93 \dots\dots\dots (5)$$

$$U_1 = 0.21t_1 + 0.99 \dots\dots\dots (6)$$

3-2 마찰 가열시간과 인장강도와의 상관성

Table 3의 용접조건에 따라 Fig. 1 (a)와 같은 형상, 칫수의 SKH 51과 STC 3을 용접할 때 가열 시간에 대한 용접부의 용접강도와의 상관관계는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5.에서 SKH 51과 STC 3 마찰용접재의 인장 강도 그래프에서 STC 3의 모재부의 인장강도는 57.2 kg/mm<sup>2</sup>를 나타내며, 인장강도  $\sigma$ (kg/mm<sup>2</sup>)와 가열시간  $t_1$ (sec)의 상관실험식은 다음과 같이 계산되었다.

$$P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 1}) : \sigma=17.05t_1^{0.36} \dots\dots\dots (7)$$

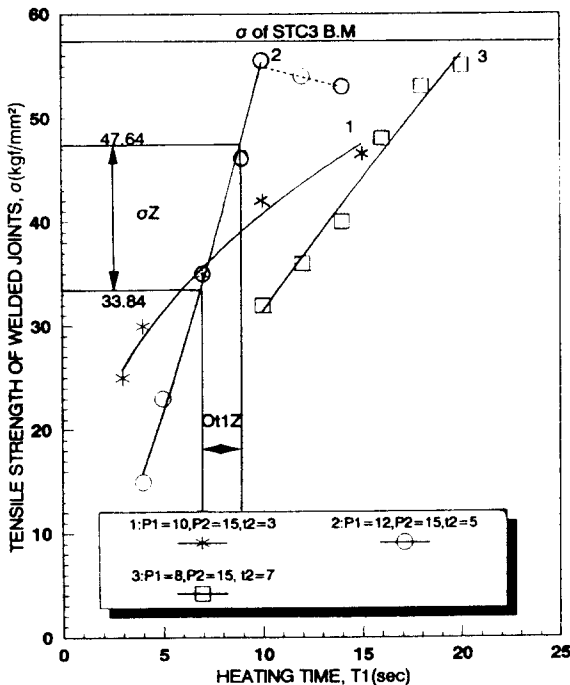


Fig. 5  $\sigma$  Vs.  $t_1$  in friction welding of SKH 51 bar to STC 3 bar

Welding condition : n = 2,000rpm

- 1 :  $P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2, t_2=3 \text{ sec}$
- 2 :  $P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2, t_2=5 \text{ sec}$
- 3 :  $P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2, t_2=7 \text{ sec}$

Ot<sub>1</sub>Z(optimum heating time zone)

$\sigma$ Z(tensile strength zone)

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 2}) : \sigma=2.3t_1^{1.382} \dots\dots\dots (8)$$

$$P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 3}) : \sigma=4.54t_1^{0.84} \dots\dots\dots (9)$$

Fig. 5에서 Ot<sub>1</sub>Z(Optimum heating time zone)= 7~9 sec에서  $\sigma$ Z(tensile strength zone)는 식(8)에서 33.84~47.64 kg/mm<sup>2</sup>임이 확인될 수 있고,  $t_1$ 이 10 sec 이상일때는 용접입열 증가에 의한 과열에 의해 이음부 강도가 저하되는 현상이 나타나게 됨을 알 수 있다.

3-3 마찰가열시간과 AE의 상관성

마찰용접중 AE시험을 수행한 결과를 Fig. 6에서 보여주고 있다. 이때 용접시작에서 종료까지의 AE 누적총량 N(counts)과 마찰가열시간  $t_1$ (sec)과의 N-t<sub>1</sub> 관계식은 가열압력 P<sub>1</sub>과 엇셋압력 P<sub>2</sub>가 변화할 때 다음과 같이 계산 되었다.

$$P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 1}) : N=969.89t_1^{1.89} \dots\dots\dots (10)$$

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 2}) : N=636.68t_1^{1.84} \dots\dots\dots (11)$$

$$P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 3}) : N=100.9t_1^{2.33} \dots\dots\dots (12)$$

P<sub>1</sub>=10, P<sub>2</sub>=15 kg/mm<sup>2</sup>(Cond. 1)하에서 시간이 증가할수록 AE총량 N도 같이 증가하지만 어느 일정 시간에 도달하게 되면 AE량 N의 증가는 Fig. 6.에서 보는 바와 같이 일정하게 된다.

P<sub>1</sub>=12, P<sub>2</sub>=15 kg/mm<sup>2</sup>(Cond. 2)하에서도 시간이 증가할수록 AE량 N이 증가후 감소함을 알 수 있다.

P<sub>1</sub>=8, P<sub>2</sub>=15 kg/mm<sup>2</sup>(Cond. 3)하에서는 시간에 따라 AE량 N은 증가하지만 일정시간이 넘어서면 급격히 감소함을 알 수 있다.

이와 같이 AE가  $t_1$ 이 과도하게 되면 일정하거나 급격히 감소하게 되는 이유는  $t_1$ 이 과도하게 되어 마찰열에 의한 과열현상이 생겨 SKH 51과 STC 3의 이음부 강도가 다소 감소하는 경향이 있기 때문인 것으로 생각된다.

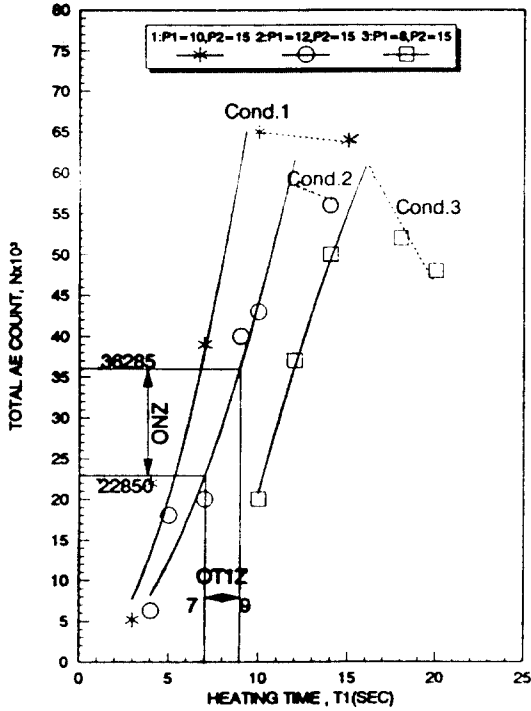


Fig. 6 N Vs.  $t_1$  in friction welding of SKH 51 bar to STC 3 bar

Welding condition :  $n=2,000$  rpm  
 Cond. 1 :  $P_1=10, P_2=15$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  
 $t_2=3$  sec  
 Cond. 2 :  $P_1=12, P_2=15$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  
 $t_2=5$  sec  
 Cond. 3 :  $P_1=8, P_2=15$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  
 $t_2=7$  sec  
 ONZ(optimum total counts zone)  
 Ot<sub>1</sub>Z(optimum heating time zone)

Fig. 6에서 Ot<sub>1</sub>Z가 7~9 sec일때 식(8)에서 ONZ(optimum AE counts zone)는 36285~22850 counts임이 계산될 수 있다.

3-4 AE와 용접 강도와와의 상관성

Fig. 7은 Table 3의 용접조건 하에서 Fig. 1(a)의 형상과 치수를 가진 SKH 51과 STC 3에 관해 마찰용접시 AE시험을 한 결과로서, AE총량(N

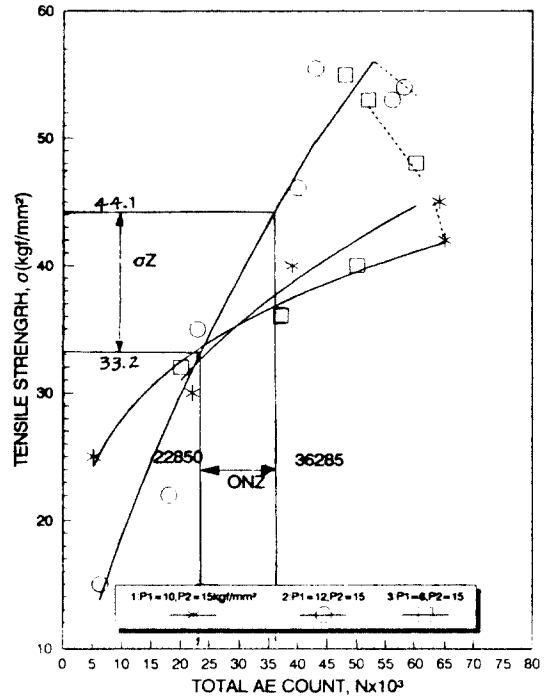


Fig. 7  $\sigma$  Vs. N in friction welding of SKH 51 bar to STC 3 bar

Welding condition :  $n=2,000$  rpm  
 1 :  $P_1=10, P_2=15$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  
 $t_2=3$  sec,  $t_1=3\sim 15$  sec  
 2 :  $P_1=12, P_2=15$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  
 $t_2=5$  sec,  $t_1=4\sim 14$  sec  
 3 :  $P_1=8, P_2=15$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  
 $t_2=7$  sec,  $t_1=10\sim 20$  sec  
 ONZ(optimum total counts zone)  
 $\sigma$ Z(tensile strength zone)

counts)과 용접강도( $\sigma$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ )와의 상관관계를 실험적으로 구한 결과를 나타낸다.

$\sigma$ -N관계 실험식은 다음과 같이 계산되었다.

$$P_1=10, P_2=15 \text{ kg}/\text{mm}^2(\text{Cond. 1}) : \sigma=4.53N^{0.19} \dots\dots\dots (13)$$

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg}/\text{mm}^2(\text{Cond. 2}) : \sigma=0.07N^{0.614} \dots\dots\dots (14)$$

$$P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond. 3}) : \sigma=1.15N^{0.33}$$

..... (15)

식 (13)~(15)에서 알 수 있듯이 용접시작에서 완료시까지의 AE누적총량인 N량이 AE시험기에서 측정되는 즉시 PC를 통하여 입력된 식과 데이터로부터 측정된 N에 대한  $\sigma$ 가 계산되어, 그 용접재의 인장강도를 실시간에 알 수 있다.

Fig. 7에서 ONZ=22850~36285counts의 측정결과 식(14)에서부터  $\sigma=33.2\sim 44.1\text{kg}_f/\text{mm}^2$ 임을 확인할 수 있다. 이 강도의 범위와 Fig. 5의 강도 범위(33.8~47.6)와는 다소의 차이가 있는 것은 실험 데이터의 스캐터 때문이며, 앞으로 더 많은 시험편으로 시험하여 통계처리하므로써 신뢰성을 높일 필요가 있다고 생각된다.

3-5 마찰용접의 최적화와 AE에 의한 품질의 실시간 평가

마찰용접기의 제어인자로서 회전수, 가열압력(마찰추력), 가압력(업셋추력), 마찰 가열시간, 가압시간 등이 용접부 강도 및 품질에 상관성이 있듯이 용접부에서 발생된 AE총량도 용접조건이나 용접부강도와 품질에 정량적 상관성이 있음이 실험적으로 입증되었기 때문에 용접 중에 발생하는 AE count양으로 실시간에 평가하는 기술이 가능하게 되었다.<sup>3,6)</sup>

또한 마찰용접에서 용접조건인 회전수나 가열, 가압력 및 업셋량이나 용접시간 설정에 의존하는 것은 소재자체의 물성치와 형상치수의 오차를 고려하지 않은 문제점이 있기 때문에 먼저 용접조건을 설정한 후 마찰용접 중의 품질 특성을 AE량에 의해 측정하여 품질제어 하는 것이 훨씬 합리적이고 더욱 완전에 접근한 것이라 생각된다.

따라서 본 연구에서 Fig. 6과 식(7)~(9)에서 용접재의 이음효율이 가급적 100%에 가까운 조건으로서  $O_tZ$ 를 구하고, 식(10)~(12)에서부터 ONZ가 구해진다. 따라서, 이 ONZ를 용접실시간에 용접종료 즉시 N량을 측정할 때, 이 N량이 ONZ범위내에 들어가면 이때의 용접부 강도(품질)는  $O\sigma Z$ (optimum weld strength zone)의 범위에 들게 되므로 합격품이 된다. 한편 N량이

ONZ범위 밖이면, 이때의 용접부 강도(품질)는  $O\sigma Z$ 범위 밖, 즉 강도(품질)미달의 불합격품이 된다. 따라서, AE에 의한 마찰용접 품질의 비파괴적 실시간 평가가 가능하게 된다.

3-6 용접부의 경도분포 조사

Fig. 8은 적정 마찰용접조건에서 마찰용접한 시험편의 경도분포를 나타낸다. 이 그래프에서 보면 용접면(W. I.)에서 경도치가 최고임을 알 수 있다. 그 이유는 용접면 부근에서 마찰용접시 국부가열과 급랭 및 단조효과에 의하여 경도치가 증가한 것으로 생각된다.

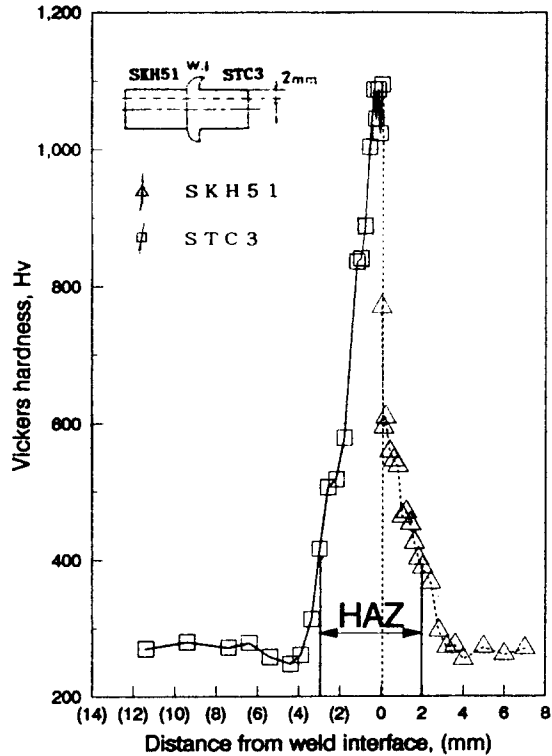


Fig. 8 Hardness distribution near the weld interface of friction welded joints of SKH 51 bar to STC 3 bar  
 Welding condition : n=2,00 rpm  
 $P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2$   $t_1=9 \text{ sec}, t_2=5 \text{ sec}$   
 $N=36285 \text{ counts}, \sigma=44.1 \text{ kg/mm}^2$



STC 3층의 경우 접합면에서 3 mm까지 정도치가 증가하나 그 이후는 급격히 감소하여 모재와 비슷하게 된다. 그리고 SKH 51층은 용접면에서 2mm까지는 정도치가 증가하나 그 이후 모재와 비슷하다.

이로써 HAZ부 영역은 STC 3층이 3 mm이고 SKH 51층은 2 mm로 생각된다.

### 3-7 용접부의 현미경 조직검사

Fig. 9는 적정 마찰용접조건에서 SKH51과 STC 3을 용접한 시편에 대해서 현미경에 의하여 구한 미시조직 사진이다.

용접경계면(W. I.) 부근에 근접할 수록 STC 3은 3 mm 범위에서 조밀하고, SKH 51은 2 mm 범위에서 조밀한 조직으로 진전되어 있으며, 용접결합이 발견되지 않았다. 따라서 SKH 51과 STC 3 모두 모재부에 비해 미세한 결정립을 가진 조직으로 됨을 알 수 있다.

### 3-8 인장 파단면 검사

Fig. 10은 적정 마찰용접조건인  $n=2,000$  rpm,  $P_1=12$  kg/mm<sup>2</sup>,  $P_2=15$  kg/mm<sup>2</sup>,  $t_1=7\sim 9$  sec,  $t_2=5$  sec로 SKH 51과 STC 3을 마찰용접한 접합부의 인장파단에 대한 매크로(macro) 사진과 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰한 마이크로(micro) 사진이다.

그림 (a)는 파단부의 마이크로 사진으로 좌측이 STC 3이고 우측이 SKH 51이다. 파단은 모두 STC 3층에서 발생되었다.

그림 (b)의 STC 3층 파단면의 SEM상을 보면 미시적인 딥플(dimple)을 형성하여 소성변형 후의 연성과파괴 형태를 나타내었다.

## 4. 결 론

마찰용접에 의한 날부의 SKH 51( $\phi 20$ )과 생크부의 STC 3강( $\phi 20$ )의 마찰용접에 의한 절삭공구

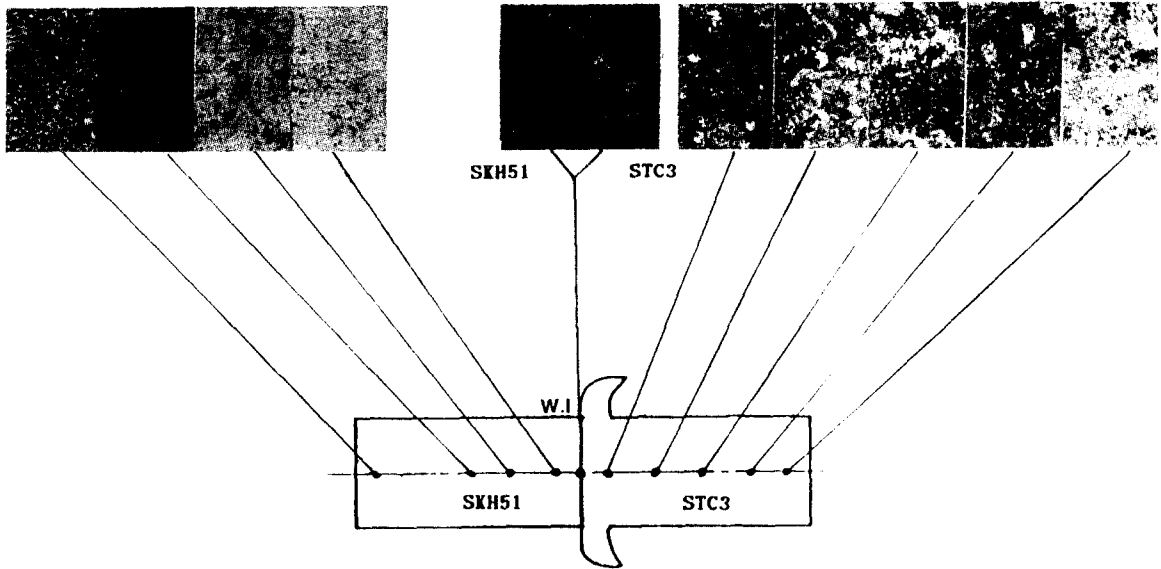
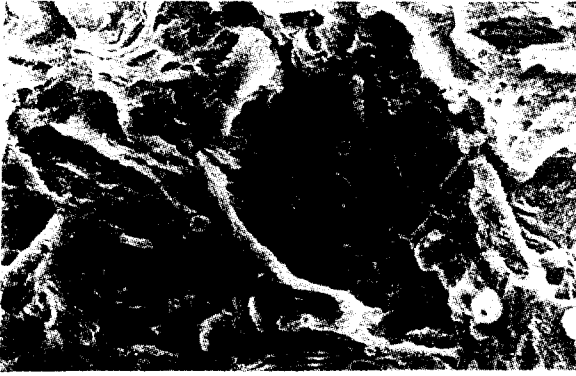


Fig. 9 Microstructures of base metal, HAZ and welded interface of friction welded joint of SKH 51 bar to STC 3 bar

Welding condition : same those as in Fig. 8



(a) Macroscopic tensile-fracture surface



(b) Microscopic fracture surface by SEM

Fig. 10 Macroscopic tensile-fracture surface and tensile-fractured fractographs of SKH 51-STC 3 friction-welded joint  
Welding condition : same as those in Fig. 8

(드릴, 리머)의 접합부 강도에 대한 적정조건을 결정하기 위한 실험에서 AE에 의한 용접부의 실시간 품질(강도)평가에 관한 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 업셋량과 가열시간  $t_1$ 과의 관계에서  $t_1$ 이 증가함에 따라 가열업셋( $U_1$ ), 총업셋( $U$ )양은 선형적으로 증가한다.
- 2) 가열시간  $t_1$ 이 증가함에 따라 인장강도도 증가하나  $P_1=12$ ,  $P_2=15 \text{ kg/mm}^2$ 인 조건에서  $t_1$ 이 10 sec 이상일때는 강도가 저하하므로, 이 조건에서 10 sec 이상의 용접은 적합하지 못함을

알 수 있으며, 적정 용접조건은  $n=2000 \text{ rpm}$ ,  $P_1=12$ ,  $P_2=15 \text{ kg/mm}^2$ ,  $t_2=5 \text{ sec}$ 일때,  $t_1=7\sim 9 \text{ sec}$ 였다. 이때 인장강도  $\sigma(\text{kg/mm}^2)$ 와 가열시간  $t_1(\text{sec})$ 사이의  $\sigma-t_1$  관계식은 다음과 같다.

$$\sigma = 2.35t_1^{1.382}$$

- 3) 용접부 강도(품질)에 대한 마찰용접 중의 비파괴적 실시간 평가를 하기위하여 AE 시험한 결과는 다음 실험식이 계산되었다.

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2 : \sigma = 0.07N^{0.614}$$

- 4) 용접시작에서 용접종료의 용접중 발생한 누적의 AE총량과 용접부 강도(품질)와의 정량적 상관관계로부터, AE에 의한 용접 품질(강도)의 비파괴적 실시간 평가가 가능성이 확인되었다.

## 참 고 문 헌

- 1) Gilland, R. G. and C. M. Adams(Jr. 1971) : Weld. J, 50-7, 267-5.
- 2) Yamaguchi, t. and M. Okada(1977) : J. Amer. Ceram. Soc., 60-7, 8, 89.
- 3) Gelifman, E. Y. and M. D. Temirov(1965) : The friction welding of marine engine valves. J. Auto weld. 18, pp.55-58.
- 4) Oh, S. K. and K. K. Wang(1983) : Effect of welding parameter on weld strength and acoustic emission in friction welding. J. of Korean Soc. of Marine Engineers. 7(1), pp.23-33.
- 5) 吳世奎(1982) : 어쿠우스틱 에밋선法에 의한 摩擦熔接强度解析(1), 대한기계학회지, 22(3), pp. 184-190.
- 6) 吳世奎(1988) : AE에 의한 비파괴검사와 응용-기기의 안전과 고장의 예지, 한국박용기관학회지, 제12권, 제4호, pp. 195-203.