

# 고속도강과 탄소공구강의 마찰용접 및 AE 평가

이원석\*, 윤인진, 전태언, 오세규  
(부산수산대학원), (산업인력관리공단), (부산수대공대)

## (Friction welding of high speed steel to carbon steel and AE evaluation)

W.S. Lee I.J. Yeon T.E. Jeon S.K. Oh

### Abstract

A study of friction welding of high speed steel(SKH51) bar for blade side to carbon steel(STC3) 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(strength) evaluation of friction welded joints by acoustic emission technique.

### 1. 서론

본 연구에서는 현재 드릴, 리머 등의 절삭재료인 고속도강(SKH51)과 탄소공구강(STC3)과의 금속학적 집합을 위한 마찰용접의 적용가능성과 집합기구를 검토하여 공구류 생산에 대한 생산비 절감, 생산 공정수 감소등의 경제성 향상을 시킬 것을 주 목적으로 하였으며, 마찰용접의 적정조건을 이음부의 강도를 고려하여 실험적으로 도출하며, 음향방출법(AE법)을 이용하여 용접부의 품질(강도)을 비파괴적으로 실시간에 평가하도록 하였으며, 본 연구결과가 드릴생산의 품질향상과 평가에 기여되도록 하였다.

### 2. 시험편 및 실험방법

본 실험에 사용된 시험편 재료는 공구날(blade)부로서 내마모성과 내충격성이 강한 국산(S사) 고속도강 SKH51과 공구 생크(shank)부로서 STC3이며 그 화학적 성분은 Table 1과 같고 기계적 특성은 Table 2와 같다.

마찰용접과 AE시험을 위한 시험편은 모재를 Fig.1(a)와 같은 형상 치수로 선삭가공하였다.

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

인장시험은 인장시험기(Toyo Baldwin UTM-25T)를 사용하여 인장속도는 2 mm/min로 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1 마찰용접시험의 결과

##### 3-1-1 마찰용접의 조건

본 실험에 사용된 시험편 SKH51과 STC3의 최적 마찰용접 조건을 결정하기 위하여 Fig. 1(a)처럼 가공한 시험편을 회

전수(n)=2,000rpm, 마찰 가압력(P1)은 8, 10, 12 kg/mm<sup>2</sup>으로 변화시키면서 업셋압력(P2)은 15 kg/mm<sup>2</sup>로 일정하게 하여 가열시간(t1)과 업셋시간(t2)을 Table 3처럼 변화시키면서 마찰용접을 수행하였다.

#### 3-1-2 마찰용접 조건간의 상관성

최적 마찰용접 조건을 결정하기 위해 Table 3과 같은 조건대로 용접을 하였을 때 가열시간 t1(sec)과 총업셋량(total upset) U(mm)와의 상관관계 조사 결과는 Fig.2와 같다. 여기서 가열시간 t1과 총업셋량 U가 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

이때 U=U1+U2이며, U와 T1 및 U1과 T1과의 상관식은 다음과 같이 전산된다.

Cond.1 (Graph 1, 2):

$$U = -0.65 + 0.50 T_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$U_1 = -0.52 + 0.39 T_1 \dots \dots \dots (2)$$

Cond.2 (Graph 3, 4):

$$U = -2.17 + 0.75 T_1 \dots \dots \dots (3)$$

$$U_1 = -2.99 + 0.75 T_1 \dots \dots \dots (4)$$

Cond.3 (Graph 5, 6):

$$U = 2.93 + 0.21 T_1 \dots \dots \dots (5)$$

$$U_1 = 0.99 + 0.21 T_1 \dots \dots \dots (6)$$

이상의 식(1)~(6)과 Fig.2는 마찰용접시 시간조정법이나, 업셋조정법 중 하나를 택하여 마찰용접할때 이용될 수 있는 자료가 될 수 있다.

#### 3-2 AE 시험결과

##### 3-2-1 FW에서의 AE의 발생기구

마찰용접(friction welding, FW)시에 발생하는 AE량을 측정하기 위하여 고감도 트랜스듀서(transducer)(R15-C 150kHz sensor)를 용접면으로부터 정지척(chuck)방향으로 TOHO·TH-25 마찰용접기계에서는 310mm인 곳에 부착하였고 AE측정의 기록 결과는 단위 시간당 AE량 또는 AE의 누적총량의 형태로 표시될 수 있고, AE기기는 AE의 수로 표시될 수 있게 디지털 리드 아웃(digital read-out)을 갖추고 있다. 주파수 범위의 넓은 스펙트럼을 커버하는 광범위한 발원으로부터 AE가 발생했기 때문에 고감도 트랜스듀서 전단 증폭기와 함께 사용되었고, AE시스템 게인(gain)은 75dB로 고정되었다.

### 3-2-2 AE 시험

본 연구에서는 종래의 AE응용 개념을 떠나서 제품생산중에 발생하는 AE량을 추적하여 그 방출 AE량에 따라 마찰용접 강도와 품질(강도, 인성)을 평가할 수 있는 것은 용접 조건인 회전수, 가압력, 가열시간, 가압시간 등 변수의 복합요인에 의한 기계적 용력과 열적용력 결과에 의한 금속조직학적 집합의 특성을 AE법에 의해 검출 및 품질 제어할 수 있을 것이기 때문이다. 즉 용접계면에 가해진 온도에 의한 소성유동의 과소정도와 가압된 에너지 공급의 과소정도에 따라 마찰용접부의 품질이 결정됨과 동시에 용접시점에서 종료까지 발생한 AE총량과 어떤 상관성이 존재함이 확인되어 이러한 상관성 조사를 통하여 AE측정만으로 실시간에 품질을 평가할 수 있도록 AE와 용접품질이 실험적으로 구해진 data의 base화가 됨으로써 AE에 의한 용접품질(강도)의 실시간 평가가 가능해질 것이다

### 3-3 마찰가열시간과 AE의 상관성

Table 3과 같은 조건하에서 Fig.1(a)와 같은 형상, 칫수의 시험편에 대해 마찰용접 중 AE시험을 수행한 결과가 Fig.3에서 보여주고 있다. 이때 용접시작에서 종료까지의 AE 누적총량 N(counts)과 마찰가열시간  $t_1$ (sec)과의 N- $t_1$ 관계식은 다음과 같이 전산되었다.

$$P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.1}) : N=969.89 t_1^{1.89} \dots (7)$$

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.2}) : N=636.68 t_1^{1.84} \dots (8)$$

$$P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.3}) : N=100.9 t_1^{2.33} \dots (9)$$

$P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.1})$  하에서 시간이 증가할수록 AE총량 N도 같이 증가하지만 어느 일정시간에 도달하게 되며 AE량 N도 같이 증가하지만 어느 일정시간에 도달하게 되며 AE 량 N의 증가는 Fig.3에서 보는 바와 같이 일정하게 된다.  $P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.2})$  하에서도 시간이 증가할수록 AE량 N도 같이 증가하지만  $T_1$ 이 11sec를 넘어설 경우에는 오히려 AE량 N이 감소하는 것을 볼 수 있다.  $P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.3})$  하에서도 시간에 따라 AE량 N은 증가하지만 일정시간이 넘어서면 급격히 감소함을 알 수 있다.

Fig.3에서  $O_{t_1Z}$ (optimum  $t_1$  zone)이 7~9sec (Fig.4 참조) 일때 식(8)에서  $ONZ$ (optimum AE zone)는 36285~22850 counts 임이 계산될 수 있다.

### 3-4 용접조건과 용접강도와의 상관성

Table 3의 용접조건에 따라 Fig.1(a)와 같은 형상, 칫수의 SKH51과 STC3를 용접할때 가열시간에 대한 용접부의 용접강도와의 상관관계는 Fig.4와 같다. Fig.4에서 SKH51과

STC3 마찰용접제의 인장 강도 그래프를 보면 강도  $\sigma$  ( $\text{kg/mm}^2$ )와 가열시간  $t_1$ (sec)의 관계식은 다음과 같이 전산되었다.

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

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.2}) : \sigma=2.3 t_1^{1.36} \dots (11)$$

$$P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.3}) : \sigma=4.54 t_1^{0.84} \dots (12)$$

Fig.4서  $O_{t_1Z}=7\sim 9\text{sec}$ 에서  $O_{\sigma Z}$ (optimum weld strength zone)은 식(11)에서 33.84~47.64  $\text{kg/mm}^2$ 임이 확인될 수 있다.

### 3-5 AE와 용접 강도와의 상관성

Fig.5은 Table 3의 용접조건 하에서 마찰용접시 AE시험을 한 결과 AE총량(N counts)과 용접강도( $\sigma \text{ kg/mm}^2$ )와의 상관관계를 실험적으로 구한 결과이다.

$\sigma$ -N관계 실험식은 다음과 같이 전산되었다.

$$P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.1}) : \sigma=24.43 e^{0.0000069N} \dots (13)$$

$$P_1=12, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.2}) : \sigma=13.8 e^{0.000023N} \dots (14)$$

$$P_1=8, P_2=15 \text{ kg/mm}^2(\text{Cond.3}) : \sigma=25.7 e^{0.0000096N} \dots (15)$$

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

Fig.5에서  $ONZ=22850\sim 36285$  counts의 측정 결과에 따라 이유부의 인장강도는  $\sigma=34\sim 45 \text{ kg/mm}^2$ 임을 확인할 수 있다.

### 3-6 계산식과 실험식의 신뢰성 비교

Fig.6은  $\sigma$ -N의 관계 계산식과 실험식의 관계를 그래프로 나타내고 있다. 여기서 보듯이 각각의 용접조건에 따라 인장강도와 AE량의 계산식과 실험식이 거의 일치함을 볼 수 있고, 각 실험식의 기여율(coefficient of determination)을 조사했을때 95%~97%로서 매우 신뢰성이 높음이 확인될 수 있었다.

## 4. 결 론

마찰용접에 의한 날부의 SKH51( $\phi 20$ )과 생크부의 STC3( $\phi 20$ )의 마찰용접에 의한 절삭공구(드릴, 리머)의 접합부 강도에 대한 적정조건을 결정하기 위한 실험에서 AE에 의한 용접부의 실시간 품질(강도)평가에 관한 연구에서 얻은 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 업셋량과 가열시간  $t_1$ 과의 관계에서  $t_1$ 이 증가함에 따라 가열업셋( $U_1$ ), 총업셋( $U_T$ )은 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.
- 3) 용접시작에서 용접종료의 용접중 발생한 누적의 AE총량과 용접부 강도(품질)와의 정량적 상관관계로부터, AE에 의한 용접 품질(강도)의 비파괴적 실시간 평가가 가능함이 확인되었다.

參考文獻

- 1) Vill, V. I.(1962): Friction welding of metals.
- 2) Gelifman, E. Y. and M. D. Temirov(1965):The friction welding of marine engine valves. J.Auto weld. 18, p.55-58
- 3) Oh, S. K.(1983):Study on strength analysis of friction welded joints and inprocess monitoring of the welding using acoustic emission technique. ph-D. thesis, Keio University, part I, P.27-42, P.73-84, P.122-134
- 5) 오세규(1982):어쿠스틱 에미션법에 의한 마찰용접강도해석(1), 대한기계학회지, 22(3), p.184-190

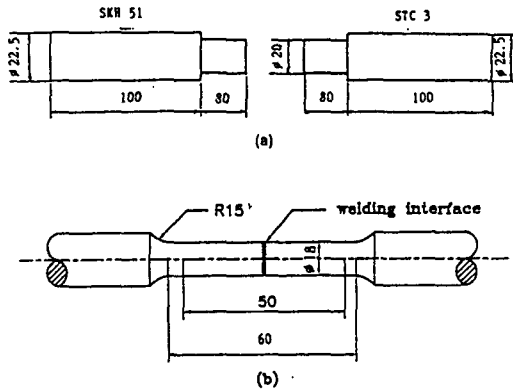


Fig.1 Shape and dimension test specimen  
(a) welding test and AE test workpieces(SKH51-STC3)  
(b) Tension test specimen(SKH51-STC3)

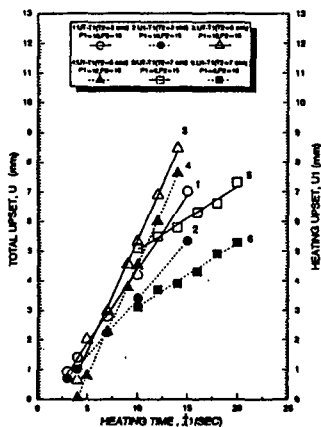


Fig.2 Relation between total upset and heating time in friction welding of C1100 to A1050

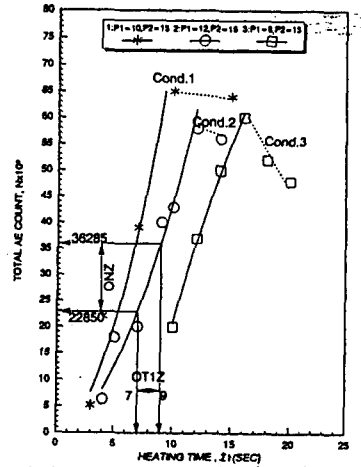


Fig.3 Total AE count versus heating time(t), in friction welding

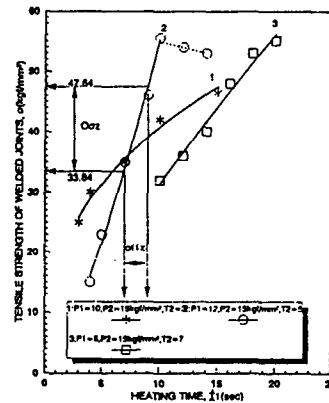


Fig.4 Relation between heating time and tensile strength for the welded joints

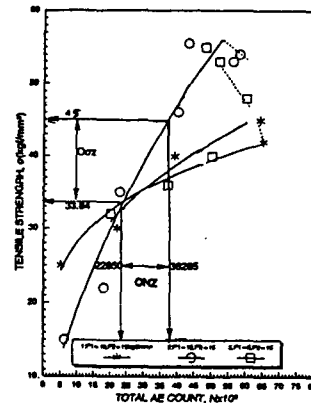


Fig.5  $\sigma$  vs. N in friction welding

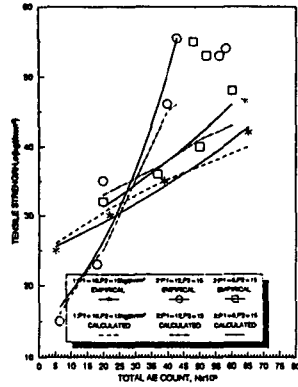


Fig.6 Comparison between empirical and calculated equations of  $\sigma$  vs. N in friction welding

Table 1 Chemical compositions of materials(wt%)

Materials	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	P	S
SKH51	0.85	9.15	6.1	5.0	1.9	-	-	-	-
STC3	1.00~1.10	-	-	-	-	0.15	0.50	0.030	0.030

Table 2 Mechanical properties of base materials

Materials	Tensile strength ( $\sigma_t$ ) (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of area(R.O.A) (%)	Hardness	
				H <sub>RC</sub> (A)	H <sub>RC</sub> (Q,T)
SKH51	1100	10	10	≤20B	≥63
STC3	1120	10	10	≤21B	≥63

- \*Annealing : 800/880 slow cooling
- \*Quenching : 1200/1250 oil quenching
- Tempering : 540/570 air cooling
- \*\*Annealing : 750/780 slow cooling
- Quenching : 700/820 water cooling
- Tempering : 150/200 air cooling

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)	Remarks
SKH51 to STC3	2000	10	15	3	3	Cond.1
				4		
				7		
				10		
				15		
	2000	12	15	4	5	Cond.2
				5		
				7		
				9		
				10		
	2000	8	15	10	7	Cond.3
				12		
				14		
				16		
				20		