

# SUS강과 Cr-Mo강과의 마찰용접 및 AE 평가

이연탁\*, 이향동, 이종환, 오세규  
(부산수산대학원) (산업인력관리공단) (부산수대공대)

## Friction Welding of SUS to Cr-Mo Steel and AE evaluation

Y.T.Lee\*, H.D.Lee, J.H.Lee, S.K.Oh

### 1. 서 론

본 연구는 선박의 선미 선의 추진축으로 이용되는 마르텐 사이트계 스테인리스강 SUS431과 크롬-몰리브덴강 SCM 21의 두 재료를 강도향상과 재료절감의 목적을 위하여 마찰용접하였으며, 이들 두 이종재료의 마찰용접부 강도와 파단특성을 조사하였고, 두 재료의 모재와 각각의 upset량, 흡수에너지, 연신율 등을 조사하고 이들 이종 재료에 대한 강도와 인성을 고려한 마찰용접의 최적화를 달성하고자하며, 마찰용접중에 발생하는 음향방출(acoustic emission)량 조사에 의해 용접강도와 AE량과의 정량적 상관식을 도출함으로써 용접품질의 실시간 평가·제어가 가능하게 하며, 이 연구결과가 실용화에 적용할 수 있는 기초자료가 되게 하였다.

### 2. 시험편 및 실험방법

#### 2-1 시험편

본 실험에 사용된 재료는 국내산인 마르텐사이트계 스테인리스강 SUS431과 크롬-몰리브덴강 SCM21이다. 두 재료의 화학적 성분은 Table 1과 같고 기계적 성질은 Table 2와 같다. Fig.1(b)는 용접부의 인장강도와 흡수에너지를 알기 위한 시험편으로 KS규격(KSB 0801 14A)에 따라 선삭한 후 원통연삭 하였고 평행부 표면은 사포 600번에서 1500번까지 연마하였다.

#### 2-2 실험장치 및 시험방법

##### 2-2-1 마찰용접시험

본 실험에서 SUS431과 SCM21을 마찰용접한 용접조건을 결정하기 위해 Fig.1(a)와 같이 가공한 시험편을, 문헌에 의해 구한 여러 실험조건 중에서 회전수(n) 2,000 rpm, 마찰가열압력( $P_1$ ) 10 kg/mm<sup>2</sup>, 업셋압력( $P_2$ ) 15 kg/mm<sup>2</sup>, 그리고 업셋시간( $T_2$ ) 4 sec를 일정하게 유지시키고 가열시간( $T_1$ )을 1~10sec사이에서 변환시키면서 용접작업을 수행하였다.

이들의 용접조건을 Table 3에 표시하였다. 마찰용접과정은 Fig.2와 같이 SUS431을 회전부 유압척(hydraulic chuck)에 고정하여 2,000 rpm으로 회전시키고 SCM21은 고정부 유압실의 척에 고정 설치한다.

이때 축방향의 일정가열압력( $P_1$ )을 일정가열시간( $T_1$ )동안 가하여 발생한 마찰열에 의하여 접합면이 용접에 중

분한 단조온도에 도달하게 되면 회전을 급정지시키고 동시에 축방향의 일정업셋압력( $P_2$ )을 일정업셋시간( $T_2$ )동안 가하여 용접행정을 완료한다.

##### 2-2-2 인장시험

Table 3의 용접조건에 따라 마찰용접한 용접재 SUS431, SCM21을 Fig.1(b)와 같은 형상의 치수로 인장시험편을 가공한 후 인장시험을 수행하여 용접시험편의 인장강도를 마찰용접조건에 따라 조사함으로써 적정 마찰용접조건을 구하도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1 마찰용접시험

##### 3-1-1 마찰용접 조건

SUS431과 SCM21의 적정 마찰용접조건을 결정하기 위하여 Table 3의 용접조건과 같이 변화시키면서 용접하였고, 회전수(n)를 2,000 rpm, 마찰가열압력( $P_1$ )을 10 kg/mm<sup>2</sup>, 업셋압력( $P_2$ )을 15 kg/mm<sup>2</sup>, 그리고 업셋시간( $T_2$ )을 4 sec에서 우수한 용접성능을 나타내므로 이 실험에서는 위와 같은 조건을 기초로 하여 가열시간( $T_1$ )을 1~10sec로 정해 수행하였다.

##### 3-1-2 마찰용접조건간의 상관성

Table 3의 용접조건과 같이 변화시키면서 용접하였을 때 가열시간  $T_1$ (sec)과 가열업셋  $U_1$ (mm), 총 업셋량  $U_T$ (mm)와의 상관관계를 실험한 결과는 Fig.3과 같다. Fig.3에서 가열시간  $T_1$ (sec)이 증가할수록 업셋량  $U_1$ ,  $U_T$ (mm)는 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 회귀해석법에 의하여 전산화한 식은 다음과 같다.

$$U_1 = 0.2 T_1^{1.67} \quad (1)$$

$$U_T = 0.67 T_1^{1.24} \quad (2)$$

##### 3-2 AE 실험장치

AE에 의한 용접 품질 평가에 사용된 AE 시험기는 PAC사의 Acoustic Emission Testing System(Model LOCAN-AT, 2 channel)으로서 14 channel까지 확장이 가능하며 그 AE 시스템 구조는 Fig.4에 나타낸 바와 같

다. 마찰용접시에 발생하는 AE량을 측정하기 위하여, 고감도 트랜스듀서(R14-C 150KHz sensor)를 용접면으로부터 정지척 방향으로 TOHO TH-26 마찰용접 기계에서는 310mm위치의 정지척상에 부착하였고, Fig.5(a)와 Fig.5(b)는 마찰용접기계로부터 트랜스듀서를 거쳐 연결된 AE측정 분석시스템의 개략도를 나타낸다. 정지척상에 부착한 트랜스듀서로부터 전달된 AE 신호는 Printer 기록계에 기록되며, 그 기록결과는 단위시간당 AE량 또는 AE의 누적총량의 형태로 표시 될 수 있고, AE기기는 AE의 수로 표시될 수 있게 디지털 리드 아웃을 갖추고 있다.

본 실험에서는 초기 AE량과 용접강도와의 상관 실험식을 해석하였다.

### 3-3 마찰가열시간과 용접부 인장강도와의 상관성

Table 3과 같은 마찰용접조건하에서 SUS431과 SCM21을 용접한 결과, 가열시간( $T_1$ )에 대한 용접부의 인장강도와의 상관관계는 Fig.6과 같다. Fig.6의 그래프를 보면 인장강도가 7초에서  $59 \text{ kg/mm}^2$ 의 최고치를 나타낸 후 감소함을 보여주고 있고 모재 SCM21의 인장강도( $53 \text{ kg/mm}^2$ )보다 높게 나타난다. 인장파단은 대부분 SCM21 측에서 파단되었고 일부만이 SUS431 접합부 근방의 모재부에서 파단하여 대체로 양호한 접합이라 생각된다.

### 3-4 용접부인성(흡수에너지등)과 마찰가열시간과의 상관성

Table 3의 용접조건에 따라 SUS431과 SCM21을 용접할 때 가열시간에 대한 용접부의 흡수에너지와의 상관관계는 Fig.7과 같다. Fig.7에서 SUS431과 SCM21의 마찰용접재의 흡수에너지의 그래프를 보면 가열시간 6초에서부터 증가하는 경향을 나타낸다. 흡수에너지는 용접조건에 따라 증가하는 추세이다. 연신율과 단면수축율은 거의 일정하게 나타난다.

### 3-5 마찰가열시간과 AE 총량과의 상관성

Fig.8은 Fig.6과 같은 용접조건하에서 Fig.1(a)와 같은 SUS431-SCM21 시험편으로 마찰용접 중 AE 시험을 수행한 결과를 나타낸다. Fig.8에서  $OT_{1Z}$ 가 3~5 sec일때 총 AE량 N은  $ONZ = 36,500 \sim 41,500 \text{ counts}$ 임이 확인되었다. 이때  $N-t_1$  관계식은 다음과 같이 전산되었다.

$$N = 30413.6 e^{0.06t_1} \text{ (3)}$$

### 3-6 용접강도 및 AE 총량과의 상관성

Table 3의 용접조건  $P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2, n=2000 \text{ rpm}$ 에서 SUS431과 SCM21을 용접할 때 용접강도 및 AE 총량과의 상관관계는 Fig.9와 같다. AE시험을 수행한 결과 AE 총량과 용접품질(강도)과의 상관관계를 실험적으로 구한 결과이다. Fig.9에서  $P_1=10, P_2=15 \text{ kg/mm}^2$  하에서 SUS431과 SCM21의 마찰용접시  $ONZ$ 가  $36,500 \sim 41,500 \text{ counts}$ 이며 인장강도는  $55.6 \sim 57.7 \text{ kg/mm}^2$ 로서 이용효율 100~101%를 기대할 수 있다. 이때  $\sigma-N$  관계식은 다음과 같이 전산되었다.

$$\sigma = -116.3864 + 16.37(\ln N) \text{ (4)}$$

AE의 count의 최적  $ONZ$  사이에 있는 용접조건일 때 최적의 강도를 구할 수 있다.

### 3-6 마찰용접의 최적화와 AE에 의한 품질의 실시간평가에 관한 고찰과 신뢰성 검사

마찰용접 강도와 품질의 실시간평가를 통한 제품 신뢰성 향상법은 일반 비파괴검사 개념과는 다르다. AE에 의해 균열등의 결함 등을 찾는 것이 아니고 마찰용접이 마찰가열가압에 의한 금속의 대소성변형을 유발하며 압접에 의해 수행되기 때문에 이때의 가열압, 가열시간, 단조가압력, 가압시간, 회전수 등과 용접부 강도와 품질이 상관성이 있듯이 동시에 이때의 용접부에서 발생한 AE의 총량도 용접조건이나 용접부 강도와 품질이 정량적 상관성이 있음이 밝혀졌으므로, 이에 용접강도와 품질의 무결함이 파괴시험을 거치지 않더라도 비파괴적으로 탐지하고 제어할 수 있는 새로운 방법이라 할 수 있다.

## 4. 결 론

선외기 사프트용 재료로 쓰이는 SUS431과 SCM21과의 마찰용접에 대한 최적화와 용접성을 검토하고 AE시험을 통한 용접부 품질(강도)의 실시간 평가 시험에 관해 연구하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1)마찰용접시험과 인장강도시험 등을 통하여 강도와 인성(연신율, 단면 수축율, 인장 흡수에너지)을 고려한  $\phi 19.5\text{mm}$ 의 SUS431과 SCM21의 마찰용접 최적조건은 회전수 2,000 rpm, 마찰가열압  $10\text{kg/mm}^2$ , 단조가압력  $15\text{kg/mm}^2$ , 단조가압시간 4 sec를 일정하게 유지했을 때 마찰가열시간의 범위가 3~5sec였다.

2)AE시험을 통하여 마찰가열시간( $T_1$ , sec)과 용접시간중의 총 AE량(N, counts)과의 사이에는 정량적 상관성이 성립하며, 그 관계식은  $N = 30413.6 e^{0.06t_1}$  이다.

3)마찰용접시험중 AE시험과 용접부 인장강도시험을 통하여, 용접부 강도( $\sigma$ ,  $\text{kg/mm}^2$ )와 용접시간중의 총 AE량(N, counts)사이에는 정량적 상관관계가 있으며, 그 관계식은  $\sigma = -116.3864 + 16.37(\ln N)$  이다.

4)총 AE량이  $ONZ=36,500 \sim 41,500 \text{ counts}$ 일때 마찰가열시간의  $OT_{1Z}=3 \sim 5 \text{ sec}$ 로서 용접부의 인장강도는 이용효율 100%가 넘는  $55.6 \sim 57.7 \text{ kg/mm}^2$ 의 범위임이 실험적으로 규명되었으며, AE량의 실시간 검출만으로 마찰용접부의 강도의 비파괴적 실시간 평가가 가능하게 되었다.

## 참 고 문 헌

- Oh, S. K.(1986):Application of friction welding to parts of industrial machinery. 한국박용기관학회지, 제10호, P.34-32.
- Oh, S. K.(1974):Study on friction welding of valve materials SUS3-SUH31. J. Korean. soc. Mech. Eng., 14, P.221-232.
- Oh, S. K., S. D. Han and U. J. Lim(1983):Effects of postweld aging treatment on rotary bending fatigue strength of friction welded joints at temperature. J.Korea Society of Marine Engineers, vol.7, No.2, P.36-49.
- Um, D. S. and S. W. Kang(1971):Study on fatigue strength of friction welding S20C and SUS27B. J. SNAK, 8, P.13-24.

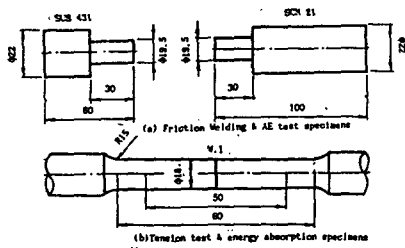


Fig. 1 Shape and dimension of test specimens (mm)

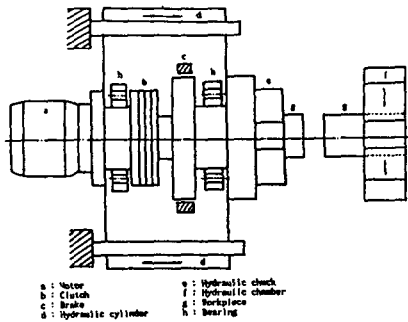


Fig. 2 Schematic mechanism of friction welding machine (Continuous drive brake type TH-25)

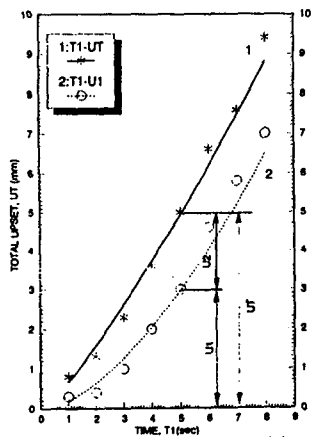


Fig. 3 Relation between total upset and heating time in friction welding of SUS431 to SQ121  
Welding conditions :  $n=2,000\text{rpm}$ ,  $P_1=10\text{ kg/mm}^2$ ,  $T_1=10\text{ sec}$ ,  $P_2=15\text{ kg/mm}^2$ ,  $T_2=4\text{ sec}$

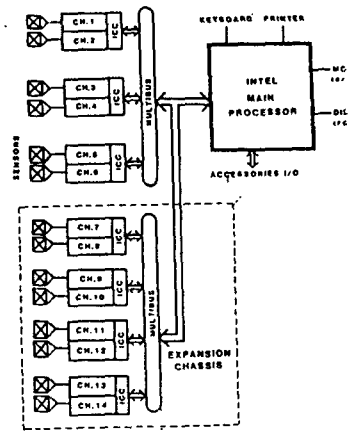


Fig. 4 AE system architecture of acoustic emission testing system (PAC LOCAN-AT)

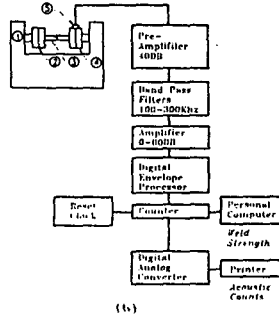
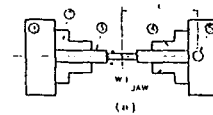


Fig. 5 (a) AE transducer location  
(b) Block diagram of AE monitoring equipment and computer-aided strength evaluation

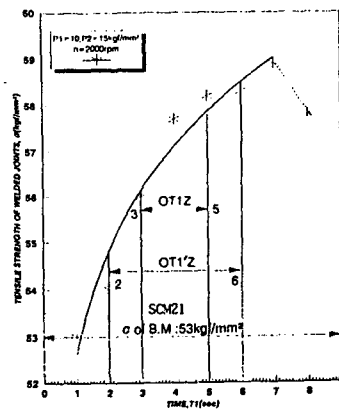


Fig. 6 Relation between heating time and tensile strength for the welded joints of SUS431 to SQ121 (φ19.5)

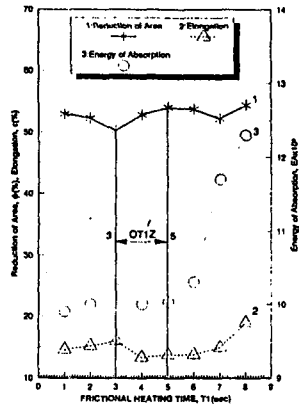


Fig.7 Effect of frictional heating time on Energy of Absorption; reduction of area and elongation of welded joints of SUS431 to SQ21

Table 1 Chemical composition of materials(wt%)

Items	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUS431	0.17	0.89	0.72	0.028	0.011	2.05	16.27
SQ21	0.146	0.31	0.83	0.03	0.027	0.03	1.129

Table 2 Mechanical properties of base materials

Items	Tensile strength $\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation $\epsilon$ (%)	Reduction of area (R.A) (%)	Hardness (HV)
SUS431	75.3	21.4	55	247
SQ21	53.2	30.5	60.5	85

Table 3 Friction welding conditions

Welding materials	Rotating speed $n$ (rpm)	Heating pressure $P_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Upsetting pressure $P_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Heating time $t_1$ (sec)	Upsetting time $t_2$ (sec)
SUS431 to SQ21	2,000	10	15	1~10	4

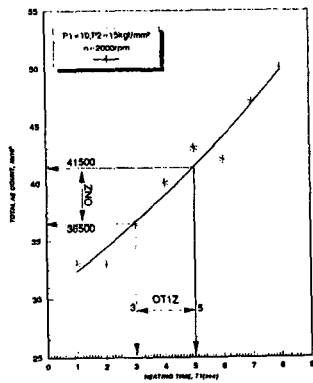


Fig. 8 N vs.  $T_1$  in friction welding of SUS431 to SQ21

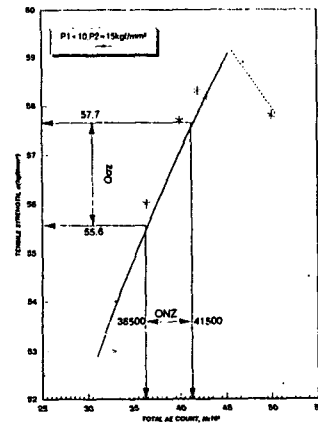


Fig.9  $\sigma$  vs. N in friction welding of SUS431 to SQ21  
Welding cond. :  $n=2,000$ rpm,  $P_1=10$ ,  $P_2=15$  kg/cm<sup>2</sup>.  
 $T_1=1\sim 10$  sec,  $T_2=4$ sec