

**研究論文**

## 신소재 금형편치의 이중재 마찰용접 개발과 AE품질평가를 위한 연구

오세규\* · 박일동\*\* · 전태연\*\*\* · 이원석\*\*\*\*

### Friction Welding of Dissimilar Press Punch Materials and Its Evaluation by AE

Sae-Kyoo Oh\*, Il-Dong Park\*\*, Tae-Eun Jeon\*\*\* and Won-Suk Lee\*\*\*\*

**Key Words** : Acoustic emission(음향방출), Friction welding(마찰용접), Flexure strength(항절강도), Welding condition(용접조건), Weld interface(용접경계면), Base metal(모재부), Heat affected zone(열영향부), Compression strength(압축강도), Interlayer length(중간재 길이), Rotating speed(회전수)

#### Abstract

The complete joining method for dissimilar press punch materials and its real-time evaluation method is not available at present. Brazing method has been used for joining them, but it is known that the welded joint by the brazing has the lower bonding efficiency and reliability than the diffusion welding. The friction welding with a diffusion mechanism in bonding was applied in this study.

This work was carried out to determine the proper friction welding conditions and to analyze mechanical properties of friction welded joints of sintered carbide tool materials (SKNM50 for the blade part of press punch) to alloy steel (SCM440 for the shank part of press punch) using aluminum(A6061 for the interlayer material) as an insert material between the sintered carbide tool materials and the alloy steel. In addition, acoustic emission test was carried out during friction welding to evaluate the weld quality.

---

\* 정회원, 부경대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 비회원, 대구기능대학 금형과

\*\*\* 비회원, 부경대학교 공과대학

\*\*\*\* 학생회원, 부경대학교 기계공학과 대학원

## 1. 서 론

종래의 일반 금형펀치 재료의 내구성 결여를 탈피하고, 내마모, 내충격재인 소결초경소재(SKNM50)의 일체형으로 사용함에 따른 고가 재료의 낭비를 줄이고 고정부 부분의 기계 가공 난점을 탈피하여 금형펀치 제작공정을 개량할 필요가 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문은 프레스 금형 펀치 날부 일부만 소결 초경소재를 사용하고, 그외 고정부는 값싸고 절삭성이 있고 인성도 풍부한 재료를 사용하되, 이 두 이종 재료를 마찰용접에 의하여 금속학적 접합을 성공시키고자 한 것이다. 따라서 본 논문은 국내외적으로 최초의 시도로서 새로운 금형펀치 개발의 기초연구를 수행하므로써, 원가 절감과 내구성과 내충격성 향상 및 펀치 고정부 간이화 탈성등 품질 향상과 원가 절감의 목적을 달성시키고자 한 것이다.<sup>1-3)</sup>

본 연구에서는 이러한 두 이종 재료들 즉, 크롬몰리브덴강 SCM440과 알루미늄합금 A6061, A6061과 WC-Ni계 비자성 초경합금 SKNM50, 그리고 2단계 용접 방식의 SCM440-A6061 용접재와 SKNM50과의 마찰용접의 최적화 기술을 회전수, 마찰가열압력, 업셋압력, 가열시간, 업셋시간 결정에 의한 용접부 강도와 인성을 고려하여 연구하

였다. 또한 이 마찰용접부의 품질(강도와 인성)을 용접 실시시간에 음향방출법(AE, acoustic emission)<sup>4-7)</sup>에 의하여 평가할 수 있는 기술을 연구하였다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험편

본 실험에 사용된 시험편 재료는 내열성과 내마모성 및 내부식성이 비교적 강한 SCM440 구조용 합금강을, 그리고 고온 내마모성과 충격성이 강하여 자장내에서 성형하는 프레스 금형재료로서는 우수한 성능을 가지고 있는 WC-Ni계인 비자성 초경합금 SKNM50을 사용하였다.

Table 1은 본 실험에 사용한 재료의 화학적 성분이고, 기계적 성질은 Table 2와 같다.

마찰용접을 하기 위한 시험편의 형상과 치수는 Fig. 1 (a)와 같이 가공하여 실험을 수행하였고 동시에 AE실험을 수행하였다.

SKNM50 모재는 고경도의 재료이므로 용접단면의 가공 및 마찰용접의 용이성을 위해 다이아몬드 휠(diamond wheel, #1200)을 이용하여 마찰용접 부분을 연삭가공하였다.

Fig. 1의 (b)는 용접시험편의 인장강도를 알기

**Table 1** Chemical composition of materials(wt. %)

Materials	WC	Ni	Cr	Mo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	Al	Fe
SKNM50	86.5	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCM440	-	0.15	1.13	1.85	0.38	0.21	0.62	0.017	0.022	-	0.11	-	-	Bal.
A6061	-	-	-	-	-	0.48	0.11	-	-	0.23	0.32	0.9	Bal.	-

**Table 2** Mechanical properties of base materials for dissimilar friction welding

Materials	Tensile strength $\sigma_t$ (MPa)	Yield strength $\sigma_y$ (MPa)	Elongation $\epsilon$ (%)	Hardness $H_B$
SCM440	1054	926	12.2	315
A6061	182	137	10.1	-
Sintered materials	Specific gravity	Transverse rupture strength (MPa)		Hardness (H <sub>R</sub> A)
SKNM50	13.5	2100		87.2

위한 시험편으로 KS규격(B 0801 14A)에 따라 선삭과 연삭가공을 하였으며, (c)는 처짐시험편(deflection test specimen), (d)는 압축강도 시험편을 나타낸다.

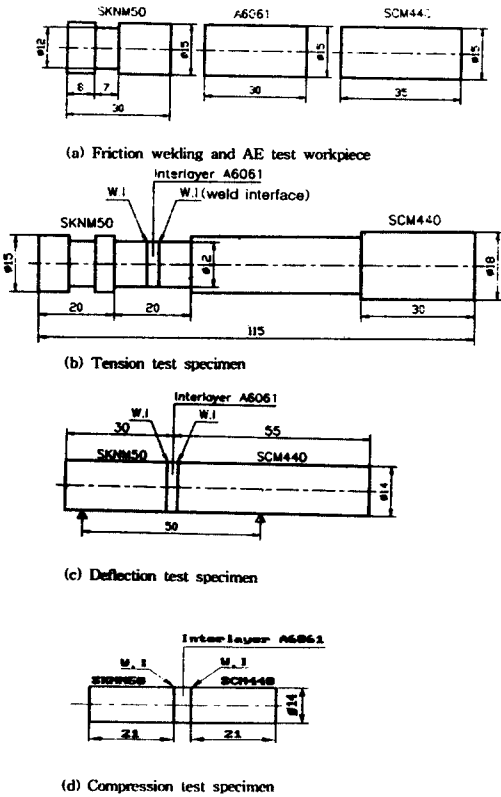


Fig. 1 Shape and dimension of specimens (unit : mm)

## 2.2 실험방법

최적 마찰용접조건을 결정하기 위하여 Table 3과 같이 회전수( $n$ )를 2000rpm으로 고정하고, 마찰가열압력( $P_1$ ), 업셋압력( $P_2$ ), 가열시간( $T_1$ ), 업셋시간( $T_2$ )을 여러 가지로 변화시키면서 마찰용접을 수행하였다.

SCM440과 A6061의 용접시는 SCM440을 마찰용접기의 회전부 유압척(hydraulic chuck)에 설치하여 2,000rpm으로 회전시키고, A6061 시험편은 고정부 유압척에 고정 설치하여 마찰용접을 하였다.

그리고 2단계 용접에서 SKNM50과 A6061-SCM440의 용접재와의 용접시는 SKNM50을 회전부 유압척에 고정시키고 A6061-SCM440용접재를 고정부 유압척에 고정시켜 마찰용접을 수행하였다.

이때 일정한 회전수( $n$ ) 하에서 축방향의 일정 가열압력( $P_1$ )을 일정 가열시간( $T_1$ ) 동안 가하여 발생한 마찰열에 의하여 접합면이 고상용접에 충분한 온도에 도달하게 되면 회전을 급정지 시킴과 동시에 축방향의 일정 업셋압력( $P_2$ )을 일정업셋시간( $T_2$ ) 동안 가하여 용접공정을 완료한다.

AE시험에서는 용접시작에서 종료시까지의 총 AE 누적량(total AE count)을 구하였고, 처짐시험은 3점굽힘시험(지점간 거리 50mm)에 의해 수행하였다. 그리하여 용접시작에서 종료까지의 측정된 AE총량과 용접후의 용접부 인장강도 및 처짐강도의 상관성을 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 마찰가열시간과 기계적 성질의 상관성

#### 3.1.1 SCM440과 A6061의 마찰용접과 AE

SCM440과 중간재 금속 A6061간의 최적 마찰용접 가열시간( $T_1$ )을 찾기 위하여 Table 3의 용접조건 No.1과 같이 회전수( $n$ )를 2,000 rpm, 마찰가열압력( $P_1$ )을 26 MPa, 업셋압력( $P_2$ )을 52 MPa, 업셋시간( $T_2$ )을 6 sec로 일정하게 하고 가열시간( $T_1$ )을 0.25~2.5 sec로 변화시키면서 마찰용접을 하였다.

마찰용접부에 가열이 일어나지 않도록 충분한 냉각수를 공급하여 선삭을 한 후 경면 다듬질하여 인장시험을 한 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. 이때 Fig. 2에서 알 수 있듯이 SCM440-A6061 용접재의 경우 모재의 인장강도( $\sigma_t = 182$  MPa)보다는 약간 미치지 못하나 그 이음 효율이 82%로서 양호한 편이므로 적정 용접조건 결정을 위한 마찰용접 이음강도로서 적합한 것으로 나타났다.

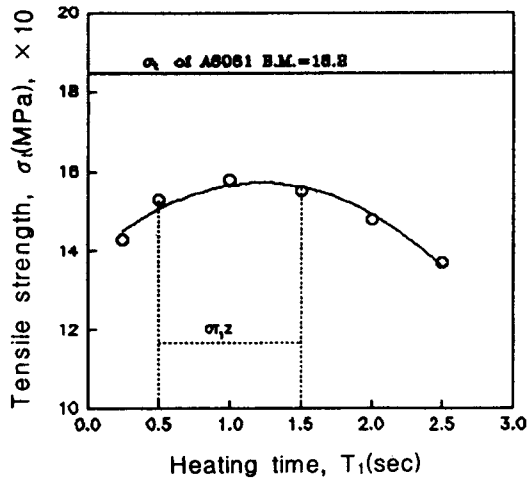
Fig. 3은 인장시험편의 가열시간( $T_1$ )과 AE 총누적량( $N$ )<sup>8~11)</sup>과의 관계를 나타낸 것이다.

SCM440과 A6061의 마찰용접 시험편을 인장시험한 결과 이음효율이 높은 경우의  $T_1$  범위로서

**Table 3** Welding conditions for friction welding of bar to bar

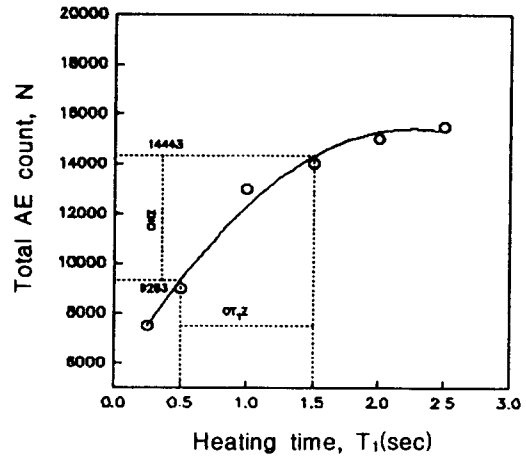
Welding Condition Case No.	Material	Rotating Speed n (rpm)	Heating Pressure P <sub>1</sub> (MPa)	Upsetting Pressure P <sub>2</sub> (MPa)	Heating Time T <sub>1</sub> (sec)	Upsetting Time T <sub>2</sub> (sec)	Total Upset U (mm) (U <sub>1</sub> )*	Types of test
1	SCM440 to A6061	2,000	26	52	0.25	6	1.9(0.2)	Tensile
	0.5				2.8(0.6)			
	1.5				5.0(2.1)			
	2.5				7.9(3.9)			
2	SKNM50 12A to A6061				0.25	7	2.1(0.3)	Deflection
	0.5	1.7(0.7)						
	1.0	3.9(1.6)						
	0.5	5.0(2.3)						
	2.0	6.9(3.4)						
	2.5	8.7(4.8)						
3	SCM440 to A6061		17	35	1	6	1.5	Tensile
	22	44	2.3					
	26	52	3.1					
	31	62	4.6					
	35	70	6.1					
4	SKNM50 to (A6061-to-SCM440) weld		26	52	1	6	3.9	Deflection Tensile

\* Note : U<sub>1</sub> is the upset during heating time T<sub>1</sub>



**Fig. 2** Relation between heating time(T<sub>1</sub>) and tensile strength(σ<sub>t</sub>) of friction welded joints of interlayer metal (A6061) to SCM440 steel

OT<sub>1</sub>Z (optimum T<sub>1</sub> zone) 가 0.5~1.5sec 였으므로 (Fig. 2), 이때 Fig. 3에서는 ONZ (optimum N



**Fig. 3** Relation between total AE count(N) and heating time(T<sub>1</sub>) in friction welding of SCM440 to A6061 specimens

zone) 가 9283~14443 counts로 나타난다.

Fig. 4에서는 마찰용접 실시시간 중에 측정된 AE 총누적량과 마찰용접부의 인장강도와와의 관계를 나

타내었다. ONZ이 9238~14443 counts일 때, 인장강도는 약 150 MPa이상임이 확인된다.

이상에서 알 수 있듯이, SCM440-A6061의 마찰용접 이음효율이 높은 최적조건인 용접가열시간 범위 ( $T_1 = 0.5 \sim 1.5$  sec)가 존재하며, 이때 마찰용접 실시시간중에 AE누적총량 ( $N = 9283 \sim 14443$  counts)을 측정하게 되면, 비파괴적으로 SCM440-A6061 마찰용접재의 이음 인장강도를 예측 할 수 있기 때문에, AE에 의한 마찰용접 품질(강도)의 용접 실시시간 평가가 가능하다.

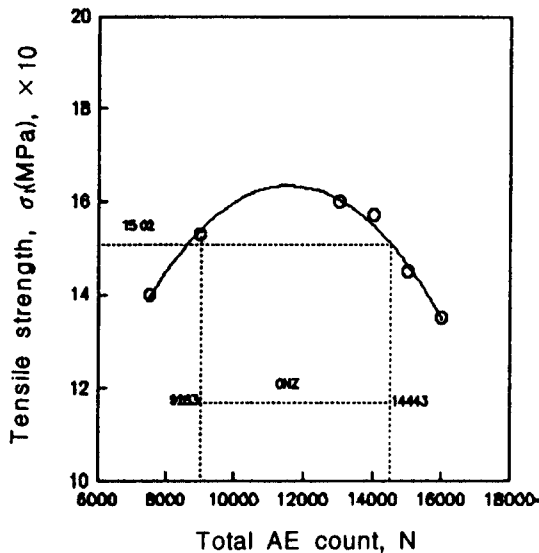


Fig. 4 Relation between tensile strength ( $\sigma_t$ ) and total AE count (N) in friction welding of SCM440 to A6061 specimens

### 3. 1. 2 SKNM50과 A6061의 마찰용접과 AE

SKNM50의 마찰용접 단면부는 다이아몬드 휠 (#1200)을 사용하여 연삭 가공을 하였고, 중간재 금속 A6061의 단면은 마찰용접하기 전 산화방지를 위하여 선삭가공 후 #1000의 샌드 페이퍼로 연마가공을 하였다. Table 3의 용접조건 No. 2에서와 같이 최적 마찰용접조건을 결정하기 위하여 마찰가열압력 (P)을 26 MPa, 업셋시간 ( $T_2$ )을 7 sec로 일정하게 하고 가열시간 ( $T_1$ )을 0.25~2.5 sec로 변화시키면서 마찰용접을 하였다.

마찰용접부를 연삭가공한 후 처짐시험을 한 결과는 Fig. 5와 같이 나타났다.

Fig. 5에서  $OT_1Z$ (optimum  $T_1$  zone)는 용접부의 처짐시험결과 이음효율이 높은 경우로서 1.0~1.5 sec임이 확인되었다.

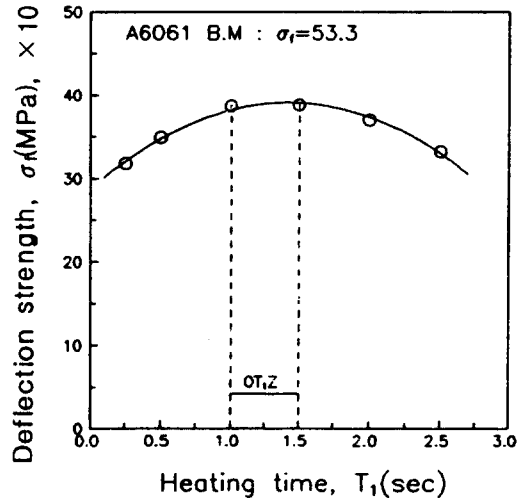


Fig. 5 Relation between heating time ( $T_1$ ) and deflection strength ( $\sigma_d$ ) of the welded joints (SKNM50-A6061)

Fig. 6은 가열시간 ( $T_1$ )과 AE 총누적량 (N)과의 관계를 나타내었다. 여기서 Fig. 5의  $OT_1Z = 1.0 \sim 1.5$  sec에 대한 ONZ(optimum N zone)는 3602~3994 count이다.

Fig. 5와 Fig. 6에서의 처짐강도  $\sigma_d$ 와 AE총누적량 N과의 상관관계를 Fig. 7에 나타내었으며, ONZ가 3602~3994 count일 때, 처짐강도(deflection strength)는 약 384 MPa로 확인되었다. 처짐시험결과 중간재(A6061) 부분의 처짐은 미소하게 나타났으며, 마찰용접면에 인접한 A6061측에서 파단이 일어났다. 그러나 용접조건이 부적합할 경우에는 그 파단면에서는 A6061이 SKNM50에 일부만이 부착되어 접합불량으로 나타났다.

이상에서 알 수 있듯이, SKNM50과 A6061의 경우에도 마찰용접부의 처짐강도의 최적 마찰용접조건 범위가 존재하며, 이때 마찰용접 실시시간 중에 AE누적총량 ( $N = 3602 \sim 3994$  count)의 측정에 의해

그 마찰용접부의 처짐강도를 예측 확인할 수 있으므로 비파괴적으로 용접부의 처짐강도가 요구치에 달하는지의 여부를 평가할 수 있음을 알 수 있다.

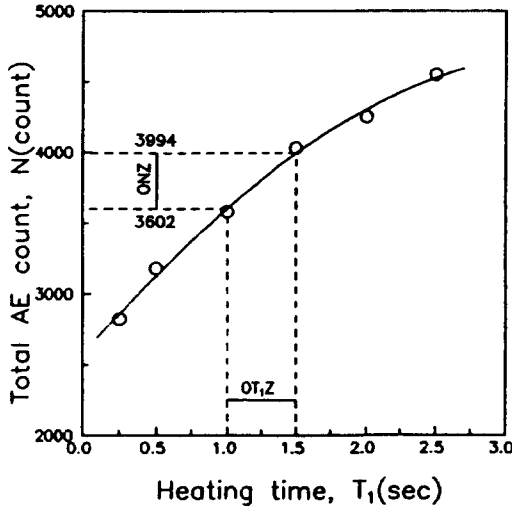


Fig. 6 Relation between total AE count(N) and heating time ( $T_1$ ) in friction welding of SKNM50 to A6061 specimens

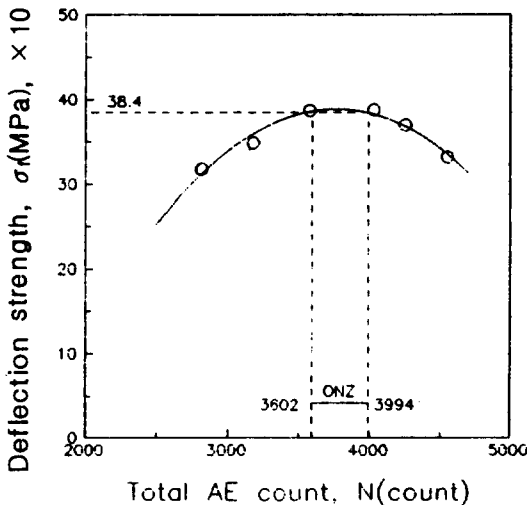


Fig. 7 Relation between deflection strength( $\sigma_d$ ) and total AE count(N) in friction welding of SKNM50 to A6061

### 3.2 (SCM440-A6061)weld-SKNM50의 2단계 용접재의 마찰용접강도와 AE 총량에 미치는 중간재 길이의 영향

#### 3.2.1 2단계 용접재의 처짐강도에 미치는 중간재 길이의 영향

본 실험에서는 SCM440과 중간재 A6061과 SKNM50을 2단계 공정을 거쳐서 마찰용접을 수행한 후 각 용접재에 대해 처짐시험을 하였다.

이 방법은 회전부인 유압척에 SCM440모재를 고정하고, 마찰회전수 ( $n$ )를 2000 rpm, 마찰가열압력 ( $P_1$ )을 26 MPa, 업셋압력 ( $P_2$ )을 52 MPa, 가열시간 ( $T_1$ )을 1 sec, 업셋시간 ( $T_2$ )을 6 sec로 선정하여 SCM440에 A6061을 마찰용접하였다. 그 후 A6061 모재부를 업셋량을 조정하기 위하여 약 4~6 mm 정도의 길이로 선삭하고 마찰용접 직전에 샌드페이퍼(#100)를 사용하여 용접할 단면부를 가공한 후 마찰용접 업셋의 치수제어법을 이용하여 SCM440과 SKNM50사이에 중간재(interlayer) A6061의 잔여량이 각각 0.2~2 mm 정도가 남도록 하였고, 중간재 A6061의 잔여량이 용접계면강도와 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

중간재 A6061의 잔여량의 측정은 정확성을 유지하기 위하여 실체현미경 (shop measuring microscope, Kyowa Optical,  $\times 40$ )을 사용하여 측정하였다.

Fig. 8은 (SCM440-A6061)weld와 SKNM50의 이종재 마찰용접을 수행하여 용접재에 대해 처짐시험을 한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 처짐강도를 이음효율 100% 이상의 높은 범위를 기준으로 하여 정한 OLZ (optimum L zone)가 0.55~0.82 mm로 나타나 있다. 그리고 처짐강도는 [(SCM 440-A6061)weld-SKNM50] 용접재의 경우는 최대 약 530 MPa이었다. Fig. 5에서는 처짐응력이 최고 400 MPa로 낮게 나타났으나, Fig. 8에서 알 수 있듯이 2단계 마찰용접에서는 OLZ = 0.55 ~0.82 mm범위내에서 처짐응력( $\sigma_d$ )이 최고 530 MPa로 매우 높게 나타났다. 그 이유는 2단계 마찰용접시 중간재 잔여량 A6061의 길이가 OLZ = 0.55~0.82 mm로 매우 좁고 SCM440측의 Fe 등의 원소가 A6061측에 2회의 마찰용접중에 그 확산량이 증가함

으로써 처짐강도가 다소 증가된 것으로 생각된다<sup>12, 13)</sup> (Fig. 12 참조).

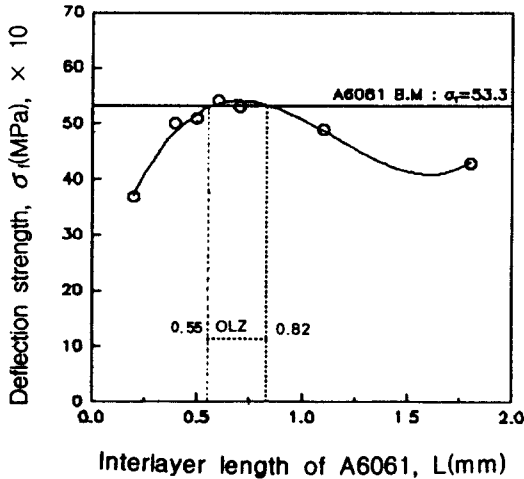


Fig. 8 Relation between interlayer length of A6061 and deflection strength of the friction welded joints of [SCM440-A6061] weld-SKNM50 by 2-steps FRW method

3. 2. 2 2단계 마찰용접부의 인장강도에 미치는 중간재 길이의 영향

SCM440에 A6061을 마찰용접한 후 중간재 A6061부분을 약 4~6 mm가 남도록 선삭가공하고, 유압측에는 SKNM50을 고정하고 유압고정부에는 SCM440을 고정하였고, 마찰용접 조건은 Table 3의 No. 4로서 즉, 마찰회전수 (n)를 2000rpm, 마찰가열압력 (P)을 26 MPa, 업셋압력 (P<sub>2</sub>)을 52 MPa로 설정하고 마찰가열시간 (T<sub>1</sub>)은 1 sec, 업셋 시간 (T<sub>2</sub>)은 6 sec로 설정하여 마찰용접을 실시하였다.

Fig. 9는 용접재의 인장응력과 중간재 잔여량의 관계를 표시한 것으로 OLZ(optimum L zone)는 0.55~0.74 mm이며, 용접재 [(SCM440-A6061) weld-SKNM50]의 인장강도 (σ)는 약 130 MPa(모재 A6061의 71%)이다. 인장강도는 모재 A6061의 경우보다 다소 낮으나 금형편치에는 주로 압축강도가 작용하므로 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

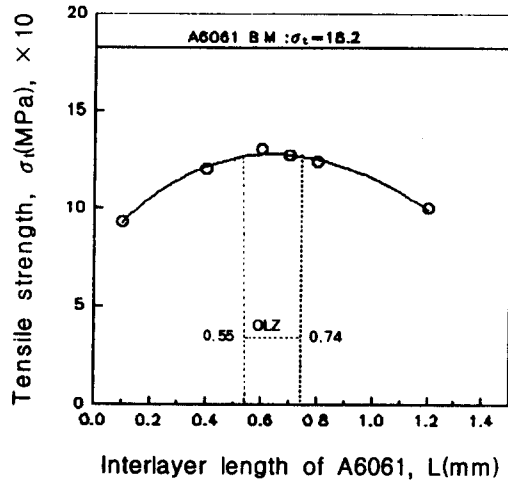
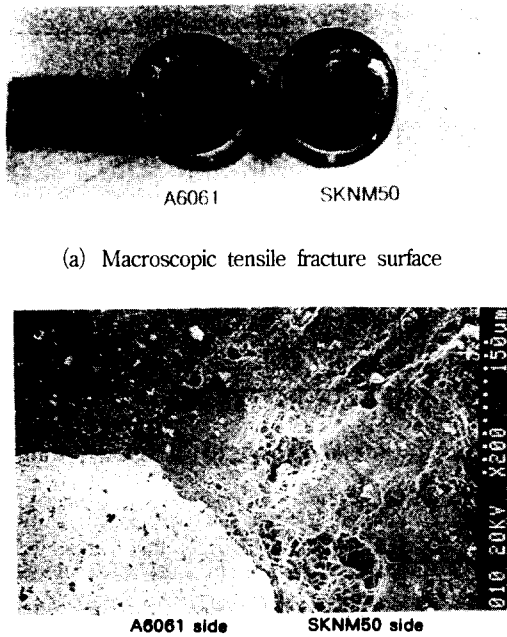


Fig. 9 Relation between interlayer length of A6061 and tensile strength of the friction welded joints of [SCM440-A6061] weld-SKNM50 by 2-steps FRW method

Fig. 10에서는 2단계 마찰용접한 용접부의 인장파단면으로 매크로 (macro) 사진과 전자현미경 (SEM)으로 촬영한 마이크로 (micro) 사진이다. Fig. 10의 (a)는 면적기준으로 파단면의 약 50%가 SCM440측 파단면에 SKNM50이 부착되어 있음이 확인되어, 이는 파단면의 약 50%가 SKNM50측 열영향부임을 알 수 있다. 한편 약 30%는 중간재 A6061이 파단된 AI 흔적이 나타났고, 나머지 약 20%는 SKNM50측과 중간재 A6061측의 마찰용접면에서 파단되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 전체적으로 매우 양호한 금속학적 접합이 이루어진 것으로 판단되었다.

Fig. 10의 (b)는 파단면의 SEM상을 나타낸 것으로 대부분 A6061부의 딥플상의 소성파단과 극소부분의 SKNM50측 벽개취성파단도 확인되었다. Fig. 10에서의 파단현상에서 마찰용접에서 발생한 발열(단조온도정도), 가압, 냉각에 의해 용점이 낮고 경도가 낮은 A6061부에서는 소성파단이 나타났고, 용점이 다소 높고 경도가 높은 취성체인 SKNM50 측에서는 벽개 취성파단이 나타남이 확인되었다.



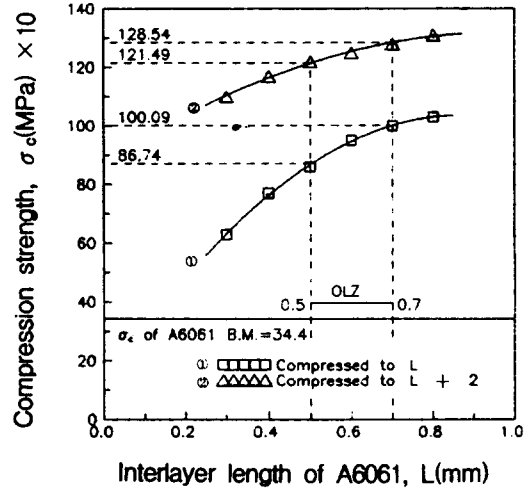
(a) Macroscopic tensile fracture surface  
(b) Microscopic (SEM) fracture surface of A6061 side with ductile fracture of A6061 and local brittle one of SKNM50 side

**Fig. 10** Macroscopic tensile-fracture surface and microscopic fractograph of [(SCM440-A6061)weld-SKNM50] friction welded joint by two-steps friction welding method

3. 2. 3 2단계 마찰용접부의 압축강도에 미치는 중간재 길이의 영향

본 실험은 적정 마찰용접 조건으로서 Table 3의 No. 4의 조건으로 마찰용접하여 중간재 A6061의 잔류길이를 0.3~0.9 mm로 하여, 금형용 펀치로서의 적합성 여부를 살펴보기 위해 Fig. 1 (d)의 압축시험편을 사용하여 압축강도 실험을 하였고, 이 압축강도에 미치는 중간재 길이의 영향을 조사하였다.

먼저 만능시험기(25톤, Toyo Baldwin)의 상부 크로스 헤드(cross head)에 변형량 측정을 위해 다이얼 게이지를 취부시켜 중간재 A6061의 잔류길이(interlayer length, L)만큼 압축했을 때의 힘을



**Fig. 11** Relation between interlayer length(L) of A6061 and compression strength for the welded joints of [(SCM440-A6061)weld-SKNM50] by 2-steps FRW method

측정하여 압축강도를 측정하였다(Fig. 11에서 ①의 경우). 이때 중간재는 소성변형의 상태로 되어 어느 일정한 압축력이 작용되면 두 재료(SKNM50과 SCM440) 사이에서 압축되어 나음을 알 수 있었고, 좌굴이 되기전 압축 변형량 약 2 mm까지의 압축강도 즉, 중간재 잔여길이(L)+2 mm만큼 압축한 경우(Fig. 11에서 ②의 경우)의 압축강도를 측정하여, 금형펀치로서의 압축강도 적합여부를 조사하였다.

Fig. 11은 A6061중간재의 잔여길이(interlayer length)와 압축강도와의 관계를 나타내었다.

Fig. 11에서 알 수 있듯이 SKNM50에 대해 2단계 마찰용접을 한 시험편을 압축실험한 결과, Fig. 8과 Fig. 9에서 용접재의 처짐강도와 인장강도를 고려한 경우 중간재의 최적 잔여길이 L은 각각 0.55~0.82, 0.55~0.74 mm였으므로, Fig. 11에서는 L= 0.5~0.7 mm로 정했을 때 용접재의 압축강도는 A6061모재의 압축강도보다 약 2배이상(중간재 길이만큼 압축시 압축강도가 약 950 MPa이므로, 모재 A6061의 276%, 중간재 길이+2 mm만큼 압축했을 때는 압축강도가 약 1250 MPa이므로 모재 A6061의 무려 약 363%나 됨)의 압축강도가 얻어질 수 있다. 그 이유는 2단계 마찰용접으로 인하



여 용접계면의 A6061측의 조직이 모재보다 치밀하게 되었고<sup>1,2)</sup>, SKNM50측과 SCM440측에서 A6061측에 대한 원소 확산에 의한 강도 증가에 기인된 것으로 생각된다<sup>12,13)</sup> (Fig. 12 참조).

3.2.4 2단계 마찰용접 계면에서의 확산성 특성

Fig. 12는 2단계 마찰용접 ((SCM440-A6061)weld-SKNM50)weld)에 의한 이음부 용접계면 (weld interface, WI)부근의 점 (point 1, point 2, point 3, point 4)에 대한 원소 (W, Ni, Fe, Al, Cr, Mn)조성성분을 EDS(energy dispersive X-ray spectrometer)에 의하여 분석하므로써, 용접계면을 통한 확산여부를 조사한 것이다(Fig. 12 (a) 참조).

이때 마찰용접조건은 최적 조건하에서 마찰용접된 SCM440과 A6061의 용접재를 중간재 A6061의 최종 잔여길이가 0.6 mm되게 upset 조정하여, n=2,000 rpm, P<sub>1</sub>=26, P<sub>2</sub>=52 MPa, T<sub>1</sub>=1, T<sub>2</sub>=6 sec로하여 마찰용접하였고, 이때 AE총량 N=3950 counts인 경우이다.

Fig. 12 (a)에서 알 수 있듯이 point 1인 SKNM50과 A6061의 용접계면에서 SKNM50측 인접지점에서는 SKNM50의 조성원소 W와 Ni만이 나타났고, Fig. 12 (c)의 point 2인 A6061측 지점에서는 역시 A6061의 조성원소중 Al과 Si 소량이 나타났으므로, 확산의 징후가 잘 나타나지 않았다. 이는 point 1과 point 2가 모두 용접계면(WI)에서 다소 먼(약 0.15~0.2mm) 모재측이었으므로, 실제 확산은 있었으나<sup>12)</sup>, 여기서는 먼 거리 관계로 잘 나타나지 않은 것으로 생각된다. 그러나 A6061과 SCM440의 용접계면에 인접한(약 0.1mm) point 3과 point 4는 Fig. 12 (d), (e)에서 알 수 있듯이, point 3에서 Al과 Si와 Fe, point 4에서 Fe, Cr, Mn가 나타난 것으로 해석되어, Fe 및 Si가 SCM440에서 A6061측으로 확산한 징후를 발견할 수 있다. 다만 Al의 확산이 (b)와 (e)의 어디서나 발견되지 않는 것은 SCM440과 SKNM50의 격자상수가 Al의 원자보다 15%정도 작기때문이라고 생각된다. 특히 Fe의 확산이 발견된 것은 Oh 등의 보고<sup>13)</sup>와 일치하며, 이는 본 연구에서 접합강도 증진효과에 도움이 되었다고 생각된다.

4. 결 론

금형편치의 이중재 마찰용접 개발과 AE품질평가를 위한 실험결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 2단계 마찰용접에 의해 SKNM50을 중간재(A6061)를 사용하여 SCM440과 단계적으로 마찰용접한 결과 ((SCM440-A6061)weld-SKNM50)용접재의 인장강도는 중간재(A6061)의 71%였고, 이때 중간재의 최적 길이 OLZ(optimum L Zone)는 0.55~0.74 mm로 나타났다.

2) ((SCM440-A6061)weld-SKNM50)용접재에 대해 중간재(A6061)를 이용하므로써 처짐실험(3 point)과 압축시험을 한 결과, 처짐강도는 모두 중간재(A6061)의 98%였으며, 압축강도는 중간재의 2배이상이고, 이 때 OLZ는 0.55~0.82 mm사이가 가장 좋은 것으로 나타났다.

3) 2단계 마찰용접방법으로 이중재 금형편치를 용접할 때 SCM440-A6061 용접의 경우 총 AE량이 약 9300~14400 count, SKNM50-A6061 용접의 경우 총 AE량이 약 3600~4000 count 일 때 각각 높은 용접부 인장강도와 처짐강도를 예측할 수 있음이 확인되었으므로, 타발 작업중 금형 편치의 강도를 판단하여 생산성을 높일 수 있는 비파괴평가를 할 수 있다. 다만, AE 측정시 센서의 선택, AE 문턱값(threshold) 책정, AE의 민감성 등에 대해 주의가 필요하며, 계속된 연구가 필요하다.

4) SEM의 파단면 조사에 의해, ((SCM440-A6061)weld-SKNM50)용접재의 마찰용접부 인장파단면은 극소부분의 벽개취성과단이 SKNM50측에 보였으나 대부분 A6061부의 딴플상의 소성파단이 확인되어 양호한 금속학적 접합이 이루어졌다고 생각된다.

5) EDS에 의해 2단계 마찰용접부의 용접계면 부근의 조성성분을 분석한 결과 Fe와 Si의 확산이 SCM440에서 A6061측으로 이루어진 것이 확인되었다.

6) AE에 의한 금형편치 마찰용접 품질의 실시간 평가가 가능함이 정량적으로 확인되었다.

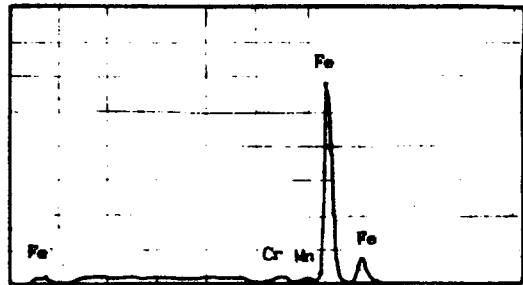
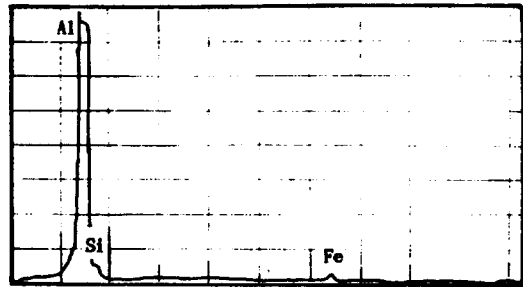
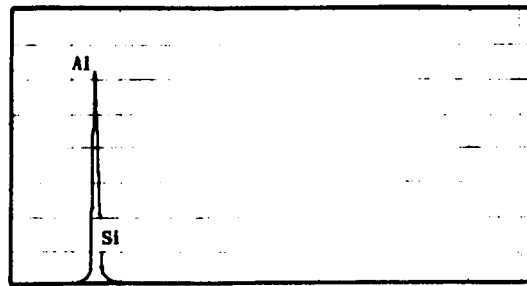
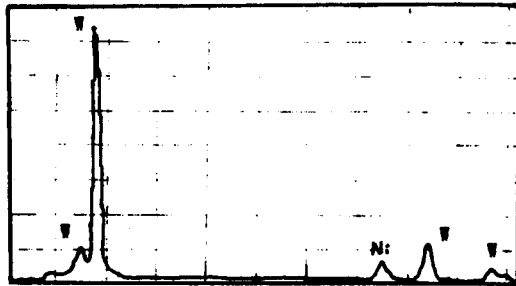
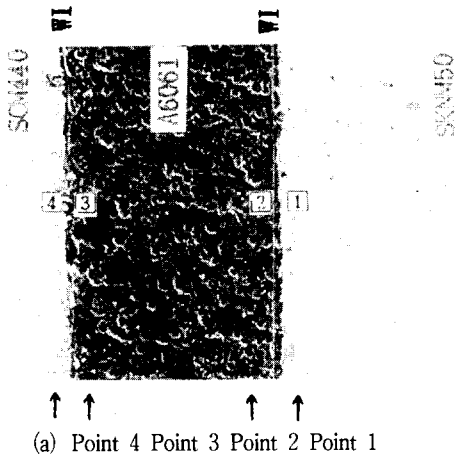


Fig. 12 W, Ni, Fe, Al, Cr, Mn concentration by EDS analysis through weld interface of dissimilar friction welded joints (by 2 steps FRW method) of [(SCM440-A6061)weld-SKNM50]

후 기

이 연구는 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었으며, 관계제위에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 摩撻壓接硏究會, 1979, "摩撻壓接", コロナ社, P. 46, 145-150, 184
2. 日本摩撻壓接協會, 1984, "摩撻壓接協會 20年誌", pp. 1-106
3. 오세규, 1986, "마찰용접의 산업기계부품 생산에의 응용", 한국박용기관학회지, 10권, p. 32-34
4. ASTM, 1972, "Acoustic Emission", ASTM STP 505
5. Spanen J. C., 1974, "Acoustic Emission, Techniques and Application", ASNT, 1974
6. Acoustic Emission Testing, 1950-Feb. 1972.

- Compiled by P.G Williams (124ref), Central electricity Generating Board Information Service, C. E. Bib. 222.
7. Acoustic Emission, 1974, "A Bibliography for 1970-1972-1973", Compiled by T.F. Brouillard Dow Chemical, REP-2059-Rev.
  8. 尾上, 他, 1976, "AE의基礎と應用", コロナ社
  9. Acoustic Emission, 1972, ASTM STP 505
  10. Acoustic Emission, 1974, Reprints from Non-Destructive Testing, IPC Press
  11. J. C. , Spanen, "Acoustic Emission, 1974, Techniques and Application, ASNT.
  12. Oh, S. K. , Hasui, A. , Kunio, I. , and Wang, K. K. , 1982, "Effects of Initial Energy on Acoustic Emission Relating to Weld Strength in Friction Welding", Trans. Japanese Welding Society, 13 (2) , p.15-26
  13. 오세규, 서강태 외 3인, 1992, "초경재 P25와 A6061, SCM440의 마찰용접성에 관한 연구", 대한기계학회 Proc. , 92. 11, p. 114-117