

摩擦熔接에 의한 超硬工具材와 金屬間的 壓接技術開發과 AE에 의한 品質評價⁺

오 세 규* · 전 태 언** · 박 일 동*** · 오 명 석**** · 이 주 석*****
(95년 12월 20일 접수)

Friction Welding of Sintered Hard Tool Materials to Metals and Its Quality Evaluation by AE

Sae-Kyoo Oh* · Tae-Eun Jeon** · Il-Dong Park*** · Myeong-Suk Oh**** · Joo-Suk Lee*****

Key Words : Acoustic emission(AE, 음향방출), Friction welding(FRW, 마찰용접), Flexure strength(항절강도), Welding condition(용접조건), Weld interface(WI, 용접경계면), Base metal(BM, 모재부), Heat affected zone(HAZ, 열영향부)

Abstract

This paper deals with determining the proper friction welding condition and analyzing various mechanical properties of friction welded joints of sintered carbide tool materials (K20, P25 and SKDX5 for the blade part of drill or press punch) to alloy steel (SKH4, SCM440 for the shank part of drill or press punch), the alloy steel to aluminum(A6061 for the interlayer material between the blade part and the shank) and sintered carbide tool materials to aluminum. And also acoustic emission test will be carried out during friction welding to evaluate the weld quality.

1. 서론

우리 나라 금형 업계는 초정밀 금형의 설계능력이 부족하고, 정밀가공 기술, 드릴, 금형 부품(핀치,

다이, 펀딩)의 내구화와 정밀화 및 국산화, 열처리 및 표면 처리 기술의 낙후로 정밀도 및 내구구성 면에서 많은 문제점을 안고 있다.¹⁾ 따라서, 특히 이들 금형부품중 가장 높은 내마멸성과 내충격성

+ 이 연구는 1994년도 재단법인 산학협동재단의 지원에 의한 연구과제("마찰용접에 의한 초경공구재와 금속간의 압접기술개발과 AE에 의한 품질평가")의 연구결과임.

* 부산수산대학교 공과대학 기계공학과

** 부산수산대학교 공과대학

*** 대구기능대학

**** 부산공업대학교 금형공학과

***** KIMM

의 내구성을 요구하고 가장 중요한 부품 중의 하나인 금형 펀치의 개량화 기술개발이 시급히 요청되며, 이에 관한 연구가 절실히 필요한 실정이다.

본 연구에서는 종래의 일반 드릴 및 펀치 재료의 내구성 결여를 탈피하고, 내마모, 내충격재인 소결 초경소재(K20, P25 및 SKDX5)의 일체형으로 사용함에 따른 고가 재료의 낭비를 줄이고 고정 부분의 기계 가공상의 난점을 탈피하여 개량하고자 하였다. 그리고, 프레스 금형 펀치의 날 부분만 소결 초경소재를 사용하고, 그외 고정부는 값싸고 절삭성이 있고 인성도 풍부한 재료를 사용하되, 이 두 이종 재료를 마찰용접에 의하여 금속학적 접합을 개발 성공시키고자 하였다. 그리하여, 원가 절감과 내구성과 내충격성 향상 및 펀치 고정법 간이화 달성등 품질 향상과 원가 절감의 목적을 달성시켜 국제 경쟁력을 향상시키는데 기여할 수 있도록 하였다^{2),3)}.

2. 시험편 및 실험방법

2-1 시험편

본 실험에 사용된 시험편 재료는 드릴용 날부의 K20, P25와 샹크부의 SKH4, SCM440과 더불어 내열성과 내마모성 및 내부식성이 비교적 강한 SKH4, SCM440 구조용 합금강을 사용하였다. 그리고 고온 내마모성과 충격성이 강하여 자장내에서 성형하는 프레스 금형 재료로서는 우수한 성능을 가지고 있는 WC-Ni계인 비자성 초경합금 SKDX5를 사용하였다. 마찰용접에 관한 실험에 사용된 중간재는 용접성이 우수하고 열팽창계수가 비교적 작은 알루미늄 환봉재인 A6061을 사용하였다. 그 화학적 성분은 Table 1과 같고 기계적 성질은 Table 2와 같다.

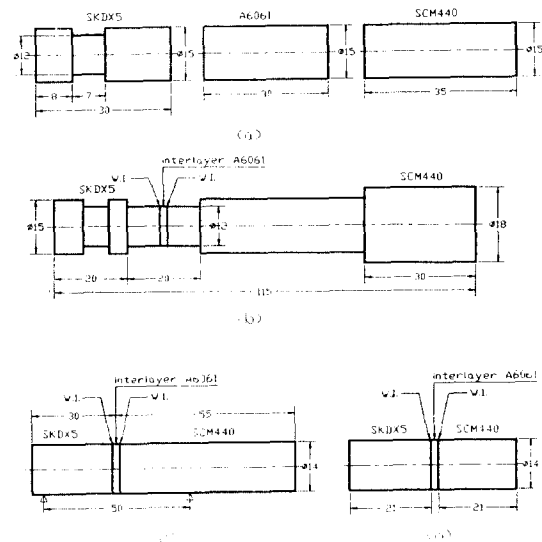
Table 1 Chemical composition of materials(wt. %)

Materials	WC	Ni	Co	Mo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	Al
K20	93	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P25	92	-	6.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SKDX5	84.5	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SKH4	-	-	9.8	-	0.8	0.35	0.4	-	-	4.21	-	-	-
SCM440	-	0.15	-	1.85	0.38	0.21	0.62	0.017	0.022	0.95	0.11	-	-
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 σ_t (MPa)	Yield strength σ_s (MPa)	Elongation ϵ (%)	Hardness H_b	
SKH4	646	400	41.2	261	
SCM440	1054	926	12.2	315	
A6061	182	137	10.1	-	
Sintered materials	Bending crack strength σ_b (MPa)	Compression strength σ_c (MPa)	Elastic modulus E (MPa)	Thermal expansion factor ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	Hardness H_v
K20	1700	5300	620,000	4.9	1,780
P25	1800	4800	570,000	5.5	1,650
SKDX5	2700	5500	530,000	-	1,060

마찰용접을 위한 시험편은 모재를 Fig. 1의 (a)와 같이 가공하여, 마찰용접과 동시에 AE실험을 수행하였다. SKDX5 모재는 고경도 재료이므로 용접단면의 가공 및 마찰용접의 용이성을 위해 다이아몬드 휠을 이용하여 마찰용접 부분을 가공하였다. Fig. 1의 (b)는 용접시험편의 인장강도를 알기 위한 시험편으로 KS 규격(KSB 0801 14A)에 따라 선삭과 연삭가공을 하였으며, (c)와 (d)에 항절시험편과 압축시험편을 나타내었다.



(a) Friction welding and AE test workpieces
 (b) Tension test workpieces
 (c) Flexure test specimens
 (d) Compression test specimens

Fig. 1 Shape and dimension of specimens

2-2 실험방법

최적 마찰용접조건을 결정하기위하여 Table 3 과 같이 회전수(n)를 2000 rpm으로 고정하고, 마찰가열압력(P_1), 업셋압력(P_2) 및 업셋시간(T_2)을 예비실험을 통하여 표기에서와 같이 고정하였고 가열시간(T_1)을 여러가지로 변화시키면서 마찰용접을 수행하였다. SKH4, SCM440과 A6061의 용접시에는 SKH4, SCM440을 마찰용접기의 회전부 유압척(hydraulic chuck)에 설치하여 2,000 rpm으로 회전시키고, A6061 시험편은 고정부 유압척에 고정 설치하여 마찰용접을 하였다. 그리고 2단계 용접에서는 K20, P25 및 SKDX5와 A6061-SKH4, SCM440의 용접재와의 용접시는 K20, P25 및 SKDX5를 회전부 유압척에 고정시키고 SKH4, SCM440을 고정부 유압척에 고정시켜 마찰용접을 수행하였다^{4), 5), 10)}.

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 시킵니다. 동시에 축방향의 일정 업셋압력(P_2)을 일정 업셋시간(T_2) 동안 가하여 용접공정을 완료하였다.

Table 3 Welding conditions for friction welding of bar to bar

Material for friction welding of bar to bar	Rotating Speed n(rpm)	Heating Pressure P_1 (MPa)	Upsetting Pressure P_2 (MPa)	Heating Time T_1 (sec)	Upsetting Time T_2 (sec)
K20 to A6061	2000	38	75	3~6	7
SKH4 to A6061		38	75	3~6	7
P25 to A6061		38	75	0.5~4.0	7
SCM440 to A6061		38	75	0.5~4.0	7
		17~35	26~70	0.5~3.0	
SKDX5 to A6061	13~35	26~70	0.5~3.0	7	

3. 결과 및 고찰

3-1 마찰가열시간과 기계적 성질의 상관성

3-1-1 K20과 A6061 및 SKH4와 A6061의 마찰용접

일정한 마찰 가열압력 P_1 , 업셋압력 P_2 하에서 가열시간 T_1 의 증가에 따른 인장강도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 이 그래프에서 가열시간 3초에서 A6061모재의 인장강도에 조금 못 미치는 154 MPa 까지 증가했다가 4~5초시 감소하여 6초일 때 3초의 경우와 비슷한 강도를 나타내었다. 이 경우에 마찰용접부의 인장강도는 모두 은 경납땜 (Ag-brazing) 시편의 인장강도를 초과하였으며 인장강도가 최대치를 나타내는 가열시간 3 초와 6 초 일때가 적정 마찰용접 조건으로 판단된다. Table 3의 용접조건에 따라 SKH4와 A6061을 마찰용접한 결과, 가열시간(T_1)에 대한 용접부의 인장강도와 상관관계는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 가열시간 3 초에서 120 MPa로서 가장 높게 나타났고, 은 경납땜 시편의 인장강도를 넘었다. 이 때 파단면은 접합경계면에서 발생되었다.

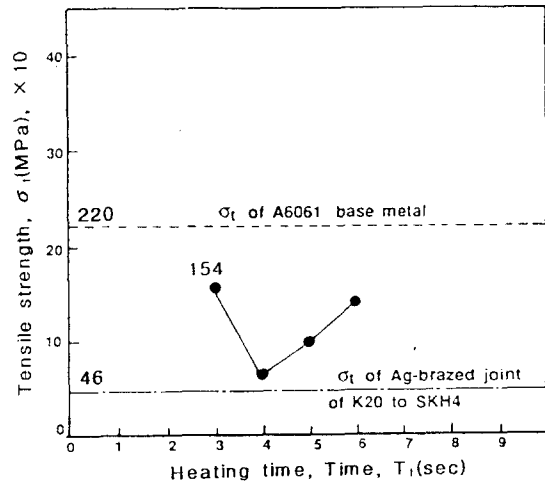


Fig. 2 Relation between heating time and tensile strength for the welded joints(K20-A6061)

Welding conditions : $P_1=38$ (MPa), $P_2 = 75$ (MPa), $T_2 = 7$ (sec)

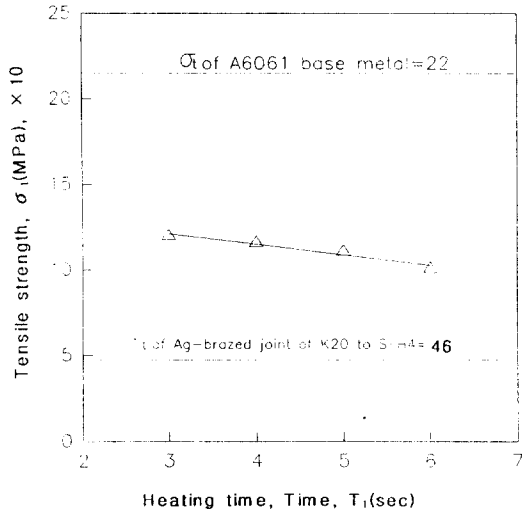


Fig. 3 Relation between heating time and tensile strength for the welded joints(SKH4-A6061)

Welding conditions : P₁ = 38 (MPa), P₂ = 75 (MPa), T₂ = 7 (sec)

3-1-2 P25와 A6061 및 SCM440과 A6061의 마찰용접

Table 3과 같은 마찰용접 조건 하에서 P25와 A6061을 용접한 결과, 가열시간(T₁)에 대한 용접부의 인장강도와와의 상관관계는 Fig. 4와 같다. Fig. 4의 그래프를 보면 인장강도가 가열시간 1초에서 195 MPa의 최고치를 나타낸 후 감소하였고, 모재 A6061의 인장강도(220 MPa)에는 못 미치지만 가열시간 1~2초에서 인장강도가 은 경납땜된 시편의 인장강도(40 MPa) 보다 약 4.8배로 높기 때문에 가열시간이 1~2초일때가 현재의 은 경납땜의 이용효율보다 훨씬 높아 마찰용접성이 양호함을 알 수 있다. 이때 가열 시간이 1~2초일 때 총 열셋양이 4.1에서 5.0 mm 이었다. 인장파단은 대부분 A6061측에서 파단되었으나 일부만이 P25접합부 근방의 모재부에서 파단하여 대체로 양호한 접합이라 생각된다.

Table 3의 용접조건에 따라 SCM440과 A6061을 마찰용접할 때 가열시간에 대한 용접부의 인장강도와와의 상관관계는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 가열시간 1초에서 최대값을 나타내었다가 3초까지 점

차 감소한 후, 3초 이후 강도가 약간 회복하였고, 모든 가열시간에서 은 경납땜된 시편의 인장강도보다 높게 나타났다. 이들 조건중 최대인장강도를 나타내고 있는 1초에서 마찰용접재의 경우가 경납땜의 경우보다 약 2.5배의 이용강도가 확인되어 본 실험에서는 가열시간 1초일 때가 가장 양호한 용접조건이라고 생각한다. 이 때 인장파단은 대부분 A6061에서 생겼다.

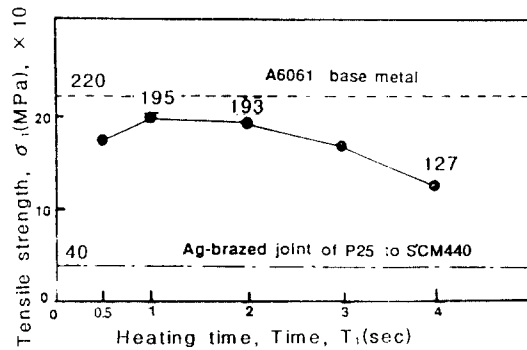


Fig. 4 Relation between heating time and tensile strength for the welded joints(P25-A6061)

Welding conditions ; P₁ = 38 (MPa), P₂ = 75 (MPa), T₂ = 7 (sec)

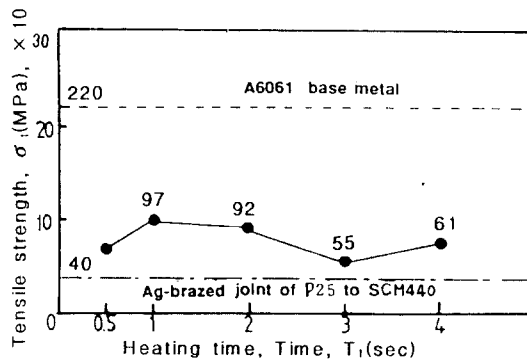


Fig. 5 Relation between heating time and tensile strength for the welded joints(SCM440-A6061)

Welding conditions : P₁ = 38 (MPa), P₂ = 75 (MPa), T₂ = 7 (sec)

3-1-3 K20-A6061-SKH4 및 P25-A6061-SCM440의 2단계 마찰용접

K20과 SKH4와의 사이에 중간재 금속을 삽입하여 마찰용접하는 과정중의 한 가지 방법으로 2단계 마찰용접을 수행하였다. 이 방법은 회전부인 유압축에 K20 모재를 고정하고 유압고정부에 A6061 모재를 고정하여 적정조건인 마찰회전수(n) 2,000 rpm, 마찰가열압력(P_1) 38 MPa, 엷셋압력(P_2) 75 MPa, 가열시간(T_1) 3초, 엷셋시간(T_2) 7초로 마찰용접한 후, A6061 모재부를 약 10 mm 정도의 길이로 절단하고 마찰용접 엷셋의 치수제어법을 이용하여 K20과 SKH4 사이에 A6061이 0.5~1 mm 정도가 남도록 SKH4와 재용접하였다.

본 연구에서는 2단계 마찰용접을 이용하여 은경남뿔 시편의 인장강도(46 MPa)보다 약 3배로 높은 약 120 MPa의 접합강도를 얻을 수 있었다.

P25와 SCM440과의 사이에 중간재 금속(A6061)을 이용한 2단계 마찰용접의 경우에는 적정조건인 마찰회전수(n) 2,000 rpm, 마찰가열압력(P_1) 38 MPa, 엷셋압력(P_2) 75 MPa, 가열시간(T_1) 1초, 엷셋시간(T_2) 7초로 마찰용접한 후, 가장 접합강도가 양호한 0.5~0.7 mm에서의 용접결과는 은경남뿔 용접재의 최대 인장강도보다 3.3 배로 높은 132 MPa의 인장접합강도를 실험적으로 얻을 수 있었다.

3-1-4 SCM440과 A6061의 마찰용접과 AE

SCM440과 중간재 금속(A6061)간의 최적 마찰용접 가열시간(T_1)을 찾기 위하여 Table 3의 용접조건과 같이 회전수(n)를 2,000 rpm, 마찰가열압력(P_1)을 26 MPa, 엷셋압력(P_2)을 52 MPa, 엷셋시간(T_2)을 7초로 일정하게 하고 가열시간(T_1)을 0.5~3.0초로 변화시키면서 마찰용접을 하였다.

마찰용접부를 발열이 나지 않도록 충분한 냉각수를 공급하여 선삭을 한 후 경면 다듬질하여 인장시험을 한 결과가 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서와 같이 SCM440-A6061 용접재의 경우 모재의 인장강도($\sigma_t=182$ MPa)보다는 미치지 못하나 그 이음 효율이 82%로서 매우 양호한 편이므로 마찰용접 이음강도로서 적합한 것으로 나타났다.

Fig. 7은 인장시험편의 가열시간(T_1)과 AE총량(N)과의 관계를 나타낸 것이다. SCM440과 A6061의 마찰용접 시험편을 인장시험한 결과 OT₁Z가 0.5~1.5초

였으므로(Fig. 6), 이때 Fig. 7에서는 ONZ(optimum N zone)가 9283~14443 counts로 나타난다.

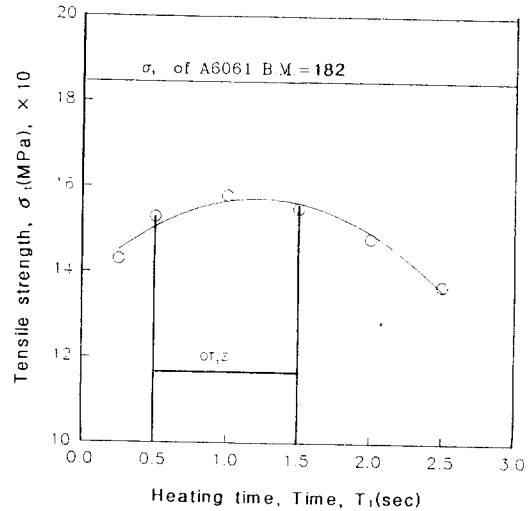


Fig. 6 Relation between heating time and tensile strength of friction welded joints of interlayer(A6061) to SCM440 according to increasing heating time
Welding conditions : $P_1 = 26$ (MPa), $P_2 = 52$ (MPa), $T_2 = 7$ (sec)

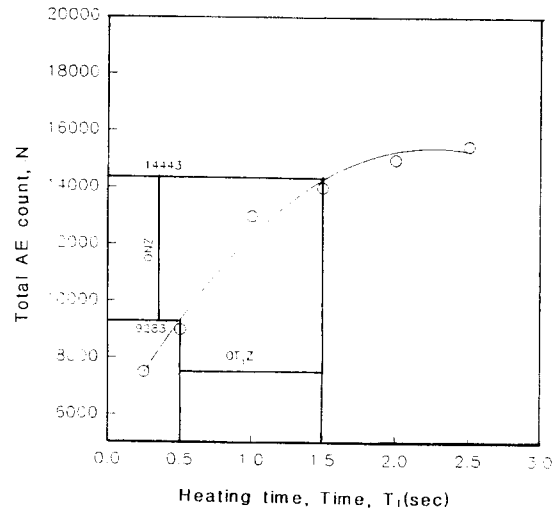


Fig. 7 N Vs. T_1 in friction welding of SCM 440 to A6061 specimens according to increasing heating time
Welding conditions : same as those in Fig. 6

Fig. 8에서는 마찰용접 실시시간 중에 측정된 AE 총량(total AE count, N)과 인장강도(σ_t , MPa)와의 관계를 나타내었다. ONZ이 9238~14443 counts일 때, 인장강도는 약 150.2 MPa로서 실험에서 구해졌다. 이상에서 SCM440-A6061의 마찰용접 이음효율이 가장 높은 최적조건의 범위($T_1 = 0.5 \sim 1.5$ 초)가 존재하며, 이때 마찰용접 실시시간중에 AE 총량($N = 9283 \sim 14443$ count)을 측정하게 되면, 즉시 비파괴적으로 SCM440~A6061 마찰용접재의 이음인장강도를 알 수 있기 때문에 AE에 의한^{6,7,8,9)} 마찰용접 품질(강도)의 용접 실시시간 평가가 가능하다는 사실이 입증될 수 있다.

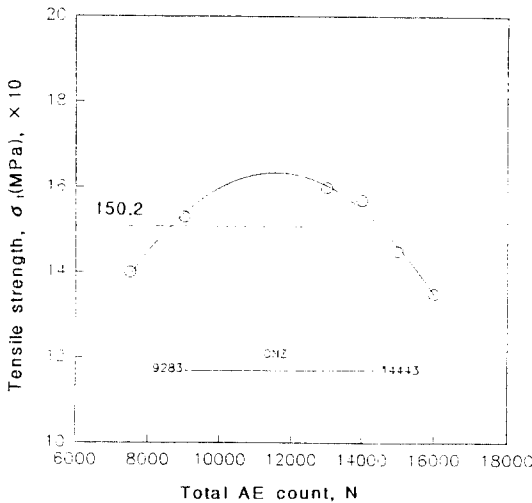


Fig. 8 σ_t Vs. N in friction welding of SCM 440 to A6061 specimens according to increasing heating time
Welding conditions : same as those in Fig. 6

3-1-5 SKDX5와 A6061의 마찰용접과 AE
SKDX5의 마찰용접 단면을 다이아몬드 휠을 사용하여 경면연삭을 한 후 중간재 금속(A6061)을 선삭가공하여 마찰용접부를 샌드 페이퍼(#1000)로 마무리 가공을 한 후 산화가 되기 전에 Table 3의 용접조건과 같이 회전수(n) 2,000 rpm, 가열시간(T_1), 업셋시간(T_2)을 각각 1초, 7초로 일정하게 하고, 마찰가열압력(P_1)을 13~35 MPa, 업셋압력(P_2)을 26~70 MPa로 변화시키면

서 마찰용접을 하였다. 마찰가열압력과 업셋압력과의 관계는 일반적으로 업셋압력을 마찰가열압력보다 약 2배 정도로 하였으며 최적 P_1, P_2 의 범위를 항절시험을 통하여 구하고자 하였다. 마찰용접 부위를 연삭가공 후 항절시험을 한 결과는 Fig. 9와 같이 나타났다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 OPZ는 26~31 MPa이고, OP₂Z는 52~62 MPa이며, 이때 항절력은 약 241 MPa 이었다.

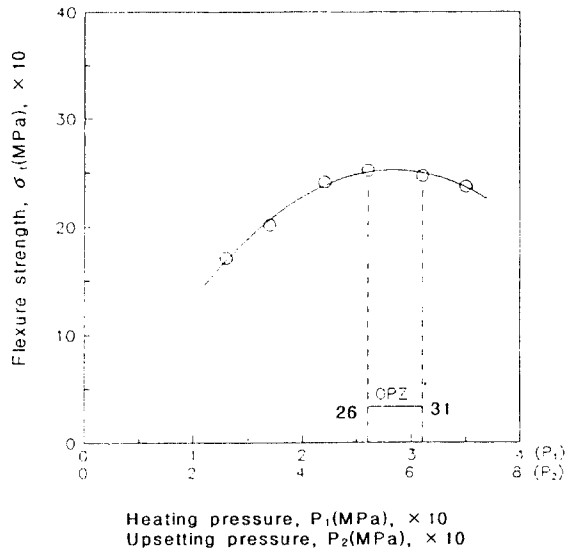


Fig. 9 Relation between heating pressure(P_1), upsetting pressure(P_2) and flexure strength for the welded joints(SKDX5 - A6061 bar) according to increasing heating pressure and upsetting pressure
Welding conditions : $P_1 = 13 \sim 35$ (MPa), $P_2 = 26 \sim 70$ (MPa), $T_1 = 1$ (sec) $T_2 = 7$ (sec)

Fig. 10은 마찰압력(P_1, P_2)과 AE 총량(N)과의 관계를 나타낸 것으로 시험편을 항절실험한 결과 OP₁Z가 26~31 MPa, OP₂Z가 52~62 MPa 일 때, ONZ는 3926~4455 count로 나타난다.

Fig. 11에서는 AE 총량 (N)과 항절력(σ_t)과의 관계를 나타낸 것으로 Fig. 10에서 구한 ONZ = 3926~4455 count 일 때, 항절력은 약 241 MPa가 됨을 알 수 있다.

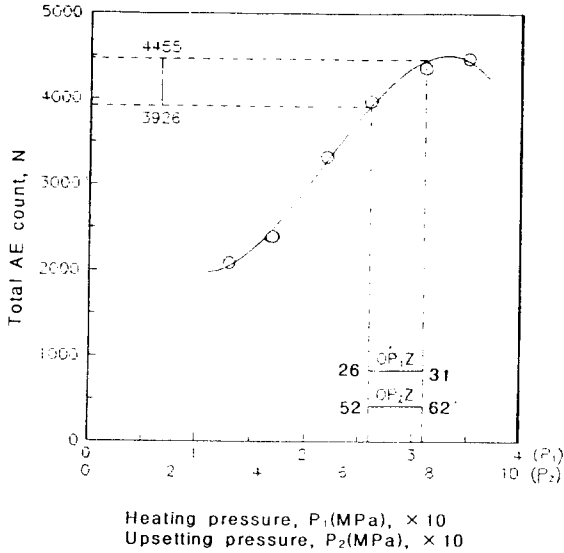


Fig. 10 N Vs. P_1 , P_2 in friction welding of SKDX5 to A6061 specimens according to increasing heating and upsetting pressure
Welding conditions : same as those in Fig. 9

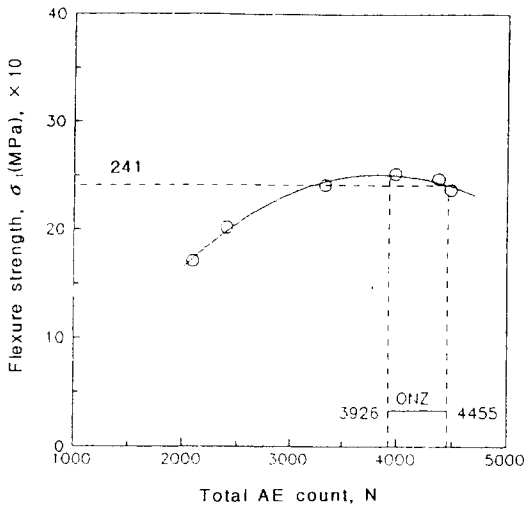


Fig. 11 σ_f Vs. N in friction welding of SKDX5 to A6061 specimens according to increasing heating and upsetting pressure
Welding conditions : same as those in Fig. 9

이상에서 알수 있듯이, SKDX5와 A6061의 마찰 용접의 경우에도, SCM440과 A6061에서와 마찬가지로 마찰압력 P_1 , P_2 의 증가에 따라 σ_f 가 어느 정도 증가하였다가 감소하는 양상을 나타내고 있고, AE량도 증가 양상을 나타내며, P_1 , P_2 의 최적 범위가 존재하며, 또한 용접실시간중 AE 총 누적량을 측정하여 마찰용접부의 항절력을 용접시간에 평가할 수 있음을 확인할 수 있었다. 한편 여기서 구한 SKDX5와 A6061의 마찰용접시 P_1 , P_2 의 최적범위가 $P_1 = 26 \sim 31$ MPa, $P_2 = 52 \sim 62$ MPa인데, SCM440과 A6061의 $P_1 = 26$ MPa, $P_2 = 52$ MPa로 적절한 용접조건이었음을 유추할 수 있다.

3-2 A6061에 의한 SKDX5와 SCM440과의 2단계 마찰용접 강도와 AE에 중간재 길이가 미치는 영향

3-2-1 2단계 마찰용접부의 항절강도에 미치는 중간재 길이의 영향

본 실험에서는 SKDX5와 중간재(A6061)와 SCM440을 중간재(A6061)와 SCM440을 각각 2단계 공정을 거쳐서 마찰용접을 수행한 후 각 용접부에 대해 항절실험(3 point, 지점간 거리=50)을 하였다. 이 방법은 회전부인 유압척에 SCM440모재를 고정하고, 실험에서 구한 최적조건으로서 마찰회전수(n)를 2000 rpm, 마찰가열압력(P_1)을 26 MPa, 업셋압력(P_2)을 52 MPa, 가열시간(T_1)을 1 초, 업셋시간(T_2)을 7초로 선정하여 SCM440에 A6061을 마찰용접하였다. 그 후 A6061 모재부를 업셋량을 조정하기 위하여 약 4~6 mm정도의 길이로 선삭하고 마찰용접 직전에 샌드 페이퍼(#1000)를 사용하여 용접할 단면부를 가공한 후 마찰용접 업셋(upset)의 치수제어법(dimension control method)을 이용하여 SKDX5와 SCM440 사이에 중간재(A6061)의 잔여량(interlayer)이 각각 0.2~2 mm 정도가 남도록하였고, 중간재(A6061)의 잔여량이 용접계면강도와 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

중간재(A6061)의 잔여량의 측정은 정확성을 유지하기 위하여 실체현미경(X40, Kyowa Optical)을 사용하여 측정하였다.

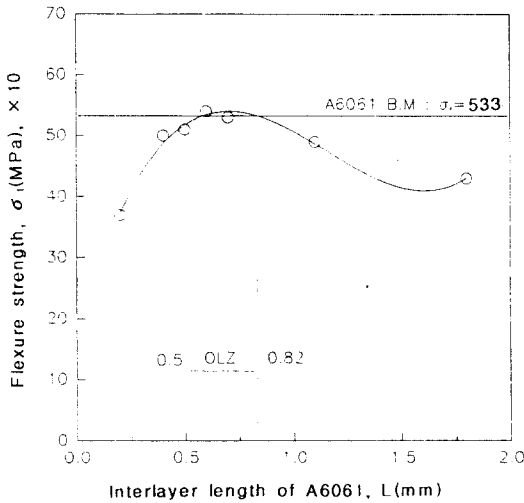


Fig. 12 Relation between interlayer length of A6061 and flexure strength of the friction welded joints of [(SCM440-A6061)weld-SKDX5] by 2-steps FRW method

Welding conditions : $n = 2,000$ (rpm), $P_1 = 26$ (MPa), $P_2 = 52$ (MPa), $T_1 = 1$ (sec), $T_2 = 7$ (sec)

Fig. 12는 [(SCM440-A6061)weld-SKDX5]형식의 두 이종재에 대해 마찰용접을하여 각 용접재에 대해 항절실험을 한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 2단계 마찰용접에서는 OLZ = 0.5~0.82 mm범위 내에서 항절응력(σ_f)이 최고 550 MPa의 결과로 매우 높게 나타났다.

그 이유는 2단계 마찰용접시 중간재 A6061의 잔여량 길이가 LOZ = 0.5~0.82 mm와 같이 매우 좁아 SCM440측의 Ni 등의 원소가 A6061측에 2회의 마찰용접중에 그 확산량이 증가함으로써 또한 이러한 확산층과 소결재의 마찰용접시 용접면 좌우의 미세하고 치밀한 조직층에 새로운 확산층이 형성되어 항절강도가 최고 2배 이상으로 향상된 것으로 생각된다.

3-2-2 2단계 마찰용접부의 인장강도에 미치는 중간재 길이의 영향

Fig. 13은 용접재의 인장응력(σ_t)과 중간재

A6061 잔여량(interlayer)과의 관계를 표시한 것으로 OLZ는 0.5~0.75 mm이며, 인장강도(σ_t)는 용접재 [(SCM440-A6061)weld-SKDX5]의 경우는 약 115 MPa(모재 A6061의 63%)로 인장강도가 가장 높게 나타났다. 인장강도는 모두 모재의 경우보다 다소 낮으나 금형편치에는 주로 압축강도가 작용하므로 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

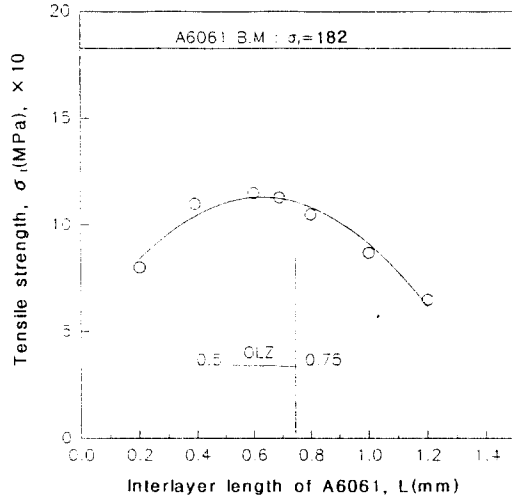


Fig. 13 Relation between interlayer length of A6061 and tensile strength of the friction welded joints of [(SCM440-A6061)weld-SKDX5] by 2-steps FRW method

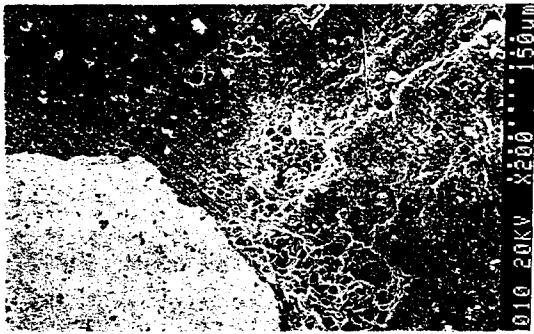
Welding conditions : $P_1 = 26$ (MPa), $P_2 = 52$ (MPa), $T_1 = 1$ (sec), $T_2 = 7$ (sec)

Fig. 14에서는 2단계 마찰용접한 용접부의 인장파단면으로 매크로(macro)사진과 전자현미경(SEM)으로 촬영한 마이크로(micro) 사진이다. Fig. 14에서 알 수 있듯이 (a)는 파단면의 약 50%가 SCM440측 파단면에 SKDX5가 부착되어 있음이 확인되어, 이는 파단면의 약 50%가 SKDX5측 열영향부임을 알 수 있다. 한편 약 30%는 중간재 A6061이 파단된 Al혼적이 나타났고, 나머지 약 20%는 SKDX5측과 중간재 A6061측의 마찰용접면에서 파단되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 전체

적으로 매우 양호한 금속학적 접합이 이루어진 것으로 판단되었다. (b)는 대부분 A6061부의 딴플상의 소성파단과 극소부분의 SKDX5측 벽개취성파단도 확인되었다.



(a) Macroscopic tensile fracture surface



(b) Microscopic fracture surface of A6061 side with ductile fracture of A6061 and local brittle one of SKDX5, SCM440 side by SEM

Fig. 14 Macroscopic tensile-fracture surface and tensile-fractured fractographs of SKDX5-A6061-SCM440 friction welded joint by 2-steps FRW method

Welding conditions : $n = 2,000$ (rpm), $P_1 = 26$ (MPa), $P_2 = 52$ (MPa), $T_1 = 1$ (sec), $T_2 = 7$ (sec)

3-2-3 2단계 마찰용접부의 압축강도에 미치는 중간재 길이의 영향

본 실험은 최적 마찰용접 조건으로서 Table 3의 조건으로 마찰 용접하여 중간재 A6061의 잔여길이(interlayer)를 0.3~0.9 mm로 하여, 금형용 펀치로서의 적합성 여부를 살펴보기 위해 압축강도 실험

을 하였고, 이 압축강도에 미치는 중간재 길이의 영향을 조사하였다.

먼저 UTM (30톤, 동광 model)의 상부 크로스 헤드(cross head)에 변형량 측정을 위해 다이얼 게이지를 취부시켜 중간재 A6061의 잔여량길이(interlayer length, L)만큼 압축했을 때의 힘을 측정하여 압축강도(compression strength of interlayer)를 측정하였다. 이때 중간재는 소성변형의 상태로 되어 어느 일정한 압축력이 작용되면 두 재료(SKDX5와 SCM440) 사이에서 압착되어 나옴을 알 수 있었고, 좌굴이 되기전 압축 변형량 약 2 mm까지의 압축강도를 측정하여, 금형펀치로서의 압축강도 적합 여부를 조사하였다.

Fig. 15는 A6061중간재의 잔여길이(L, interlayer length)와 압축강도(σ_c)와의 관계를 나타내었다. 그림에서 용접재의 압축강도 σ_c 는 중간재 길이 L의 증가와 더불어 점차 증가하는 경향이고, OLZ = 0.5~0.7mm일때 용접재의 압축강도는 중간재의 27배 이상이나 됨이 확인되었다.

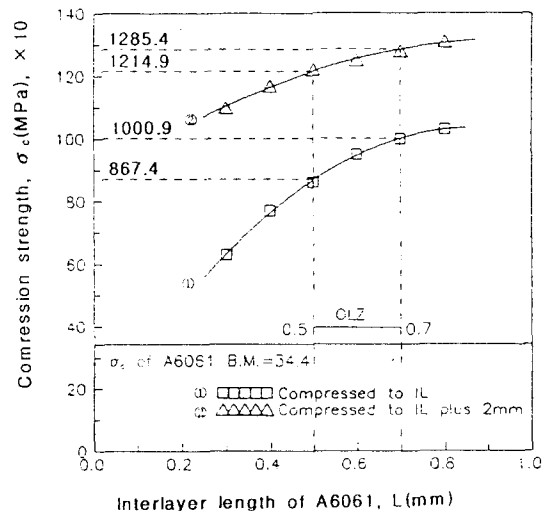


Fig. 15 Relation between interlayer length(IL or L) of A6061 and compression strength for the welded joints of SKDX5-A6061-SCM440 by 2-steps FRW method
Welding conditions : same as those in Fig. 14

3-2-4 2단계 마찰용접중 발생한 AE총량과 중간재 길이와의 상관성

Fig. 16은 마찰용접시 발생한 AE누적총량 N(total AE count)과 중간재 잔여길이 L(interlayer length)과의 관계를 나타낸 것으로 L이 증가할수록 N이 거의 직선적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

그런데 Fig. 16에서 구한 OLZ=0.5~0.7 mm에서의 AE총량 N의 값이 약 4000 count내외가 될 때 용접재 강도와와의 상관성이 예측 가능할 것이 기대된다. 즉, 중간재 길이가 0.5~0.7 mm이고, 이때 항절강도는 약 540 MPa(Fig. 12), 인장강도는 약 120 MPa이상(Fig. 13), 압축강도는 약 950 MPa(Fig. 15)이 됨을 예측할 수 있게 되고, AE에 의한 용접강도의 실시간 평가가 가능하게 될 것이다. 이는 앞으로의 계속된 연구가 필요하다고 생각된다.

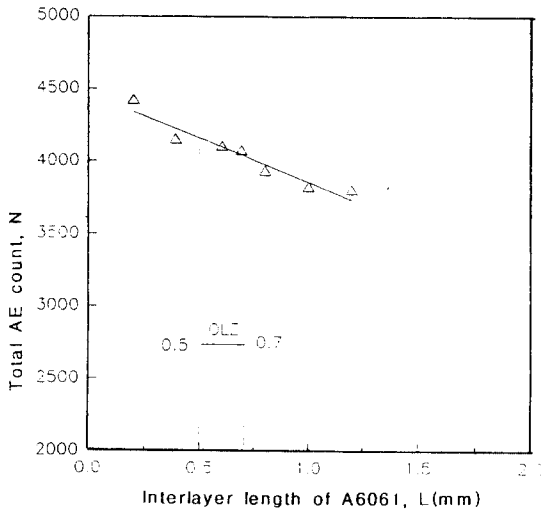
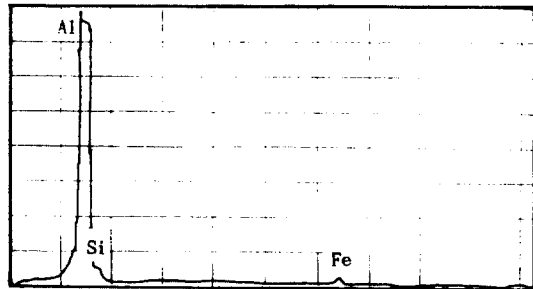
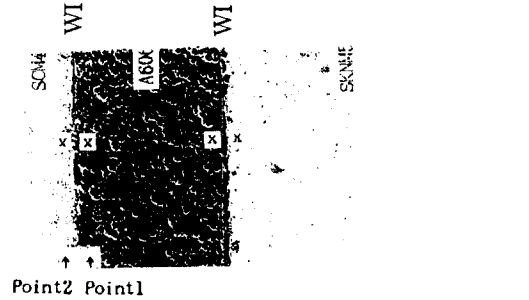


Fig. 16 N Vs. L in friction welding of SCM440-A6061 weld to SKDX5 by 2-steps FRW method
Welding conditions : n = 2,000 (rpm), P₁ = 26 (MPa), P₂ = 52 (MPa), T₁ = 1 (sec), T₂ = 7 (sec)

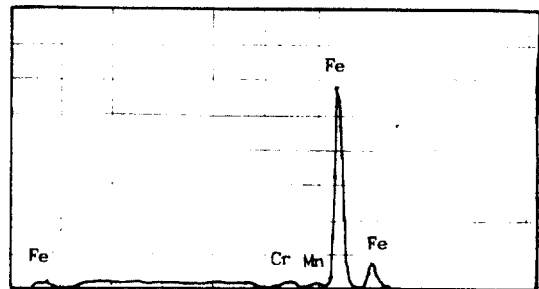
3-2-5 2단계 마찰용접계면에서의 확산성 특성

Fig. 17은 2단계 마찰용접[(SCM440-A6061) weld-SKDX5]에 의한 이음부 용접계면(weld interface, WI)부근의 점(point 1, point 2)에 대한 원소(W, Ni, Fe, Al, Cr, Mn)조성성분을 EDS(energy dispersives

X-ray spectrometer)에 의하여 분석하므로써, 용접계면(WI)을 통한 확산여부를 조사한 것이다.



(a) point 1(A6061 side at vicinity to WI)



(b) point 2(SCM440 side at vicinity to WI)

Fig. 17 W, Ni, Fe, Al, Cr, Mn concentration by EDS analysis through weld interface of dissimilar friction welded joints(by 2 steps FRW method) of [(A6061-SCM440) weld-SKDX5]weld
Welding conditions : n=2,000 (rpm), P₁=26 (MPa), P₂=62 (MPa), t₁=1 (sec), t₂=6 (sec), IL=0.6 (mm) (N=3950 count)

그림에서 알 수 있듯이 point 1에서 Al과 다소 많은 Si와 Fe, point 2에서 Fe, Cr, Mn이 나타난 것으로 해석되어 Fe 및 Si가 SCM440에서 A6061측으로 확산한 징후를 발견할 수 있다. 다만 Al의 확산층이 어디서나 발견되지 못하는 것은 SCM440과 SKDX5의 격자상수가 Al의 원자보다 15% 정도 작기 때문이며, 업셋력이 높을 수록 Al은 마찰 용접에서 생성된 Al 합금층과 함께 플래시(flash)로 밀려나기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결 론

드릴과 엔드밀의 공구류 날부인 K20 및 P25와 생크부인 SKH4 및 SCM440의 각각의 마찰용접을 수행하였고, 금형재료 SKDX5를 펀치날부로서 여기에 고정부에 적합한 재료로서 SCM440을, 친화력이 앞의 두 이중재에 강한 A6061을 사용하여 마찰 용접에 의해 금속학적 접합시험을 수행하였다. 이때, 용접실시간에 AE 총누적량을 측정하여 용접이 음부의 각종 강도와의 상관성을 조사하여 AE에 의한 실시간 품질평가에 관한 연구를 수행하였다. 그리하여 프레스 금형펀치의 마찰용접에 의한 초경공구재와 금속간의 압접기술 개발과 AE에 의한 품질평가를 연구한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) K20과 SKH4와의 사이에 중간재금속인 A6061을 삽입한 2단계 마찰용접에서 은 경납 접합재 시험편의 이음인장강도보다 훨씬 상회하는 약 3 배(120 MPa)의 접합강도를 얻을 수 있었다.

2) P25와 SCM440과의 사이에 중간재 금속인 A6061을 이용한 2단계 마찰용접에서 은 경납땜에 의해 용접한 용접재의 접합강도보다 훨씬 상회하는 약 3.3배(127 MPa)의 접합강도를 얻을 수 있었다.

3) 2단계 마찰용접으로 SKDX5를 중간재(A6061)를 사용하여 SCM440과 단계적으로 마찰용접한 결과 [(SCM440-A6061)weld-SKDX5]weld에 대해서 스트립(strip)력을 예측할 수 있는 SKDX5의 인장강도는 중간재(A6061)의 63%였고, 압축강도는 중간재의 27배 이상이나 되었고, 이때 중간재의 최적 길이 OLZ는 0.5~0.7 mm로 나타났다.

4) [(SCM440-A6061)weld-SKDX5]weld에 대해 중간재(A6061)를 이용하므로써 금형펀치에서 실제

사용되는 압축강도를 예측할 수 있는 3점 항절실험을 한 결과, 항절강도는 모두 중간재(A6061)의 103%이었다.

5) AE에 의한 금형펀치 마찰용접 품질의 실시간 평가가 가능함이 확인되었고, 계속된 자료 축적을 위한 연구가 필요할 것이다.

6) EDS에 의해 2단계 마찰용접부의 용접계면부근의 조성성분을 분석한 결과 Fe와 Si의 확산이 SCM440에서 A6061측으로 이루어진 것이 확인되었다.

5. 참고문헌

- 1) (주)한국금형정보센터, "월간 금형저널", 92년 6월호, p. 90, 92, 100, 104, 1992
- 2) 摩擦壓接研究會, "摩擦壓接", コロナ社, p. 46, 145-150, 184, 1975
- 3) 오세규, "산업기계 부품생산을 위한 마찰용접의 응용", 한국박용기관학회지, 10권, p. 32-34, 1986
- 4) Vill, V. I, "Friction Welding of Metals", 3, p. 19-23, 1962
- 5) AWS Brazing Manual, 1976
- 6) 이주석, 조경식, 최진민, 장호근, 오세규, "AE에 의한 압력용기의 안전성 평가에 관한 연구", 한국 비파괴검사학회지, 제8권 제1호, p. 12-21, 1988
- 7) Oh, S. K., A. Hasui, I. Kunio, and K. K. Wang, "Effects of Initial Energy on Acoustic Emission Relating to Weld Strength in Friction Welding", Trans. Japanese Welding Society, 13(2), p. 15-26, 1982
- 8) ASTM, "Acoustic Emission", ASTM STP505, 1972
- 9) ASTM, "Monitoring Structural Integrity by AE", ASTM STP 571, 1975
- 10) Aritoshi, M., K. Okita, T. Enjo and K. Ikeuchi, "Friction Welding of Copper-50 Mass % Tungsten Sintered Alloy to Oxygen Free Copper", J. the Japan Welding Society, Vol.6, No. 1, p. 17-22, 1988