

이종재(SKNM50-SCM440) 금형펀치의 마찰용접과 AE품질평가 (Friction Welding of Dissimilar Press Punch Materials and Its Evaluation by AE)

오세규, 박일동, 전태연*, 이원석, 이향동
(부산수대공대),(산업인력관리공단), (부산수산대 대학원)

Abstract

This paper deals with determining the proper friction welding condition and analyzing 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), 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

본 연구는 종래의 일반 펀치 재료의 내구성 결여를 탈피하고, 내마모, 내충격적인 소결초경소재(SKNM50)의 일체형으로 사용함에 따른 고가 재료의 낭비를 줄이고 고정부 부분의 기계 가공 난점을 탈피하여 개량한 것으로서, 프레스 금형 펀치 날부 일부만 소결 초경소재를 사용하고, 그의 고정부는 값싸고 절삭성이 있고 인성도 풍부한 재료를 사용하되, 이 두 이종 재료를 마찰용접에 의하여 금속학적 접합을 개발 성공시키므로써, 원가 절감과 내구성과 내충격성 향상 및 펀치 고정법 간이화 달성등 품질 향상과 원가 절감의 목적을 달성시켜 국제 경쟁력을 향상시키는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 시험편 및 실험방법

2-1 시험편

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

Table 1 Chemical composition of materials(wt. %)

Materials	WC	Ni	Cr	Mo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	Al
SKNM50	86.5	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCM440	-	0.15	1.13	1.85	0.38	0.21	0.62	0.017	0.022	-	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 (kgf/mm ²)	Yield strength σ_y (kgf/mm ²)	Elongation ϵ (%)	Hardness H_b
SCM440	105.4	92.6	12.2	315
A6061	18.2	13.7	10.1	-
Sintered materials	Specific gravity	Transverse rupture strength (kgf/mm ²)	Hardness (HvA)	
SKNM50	13.5	210	87.2	

본 실험에서 마찰용접을 하기 위한 시험편의 형상과 치수는 Fig.1과 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 가공하였다.

Fig.1은 본 실험에 사용한 시험편의 형상과 크기를 보여주고 있다.

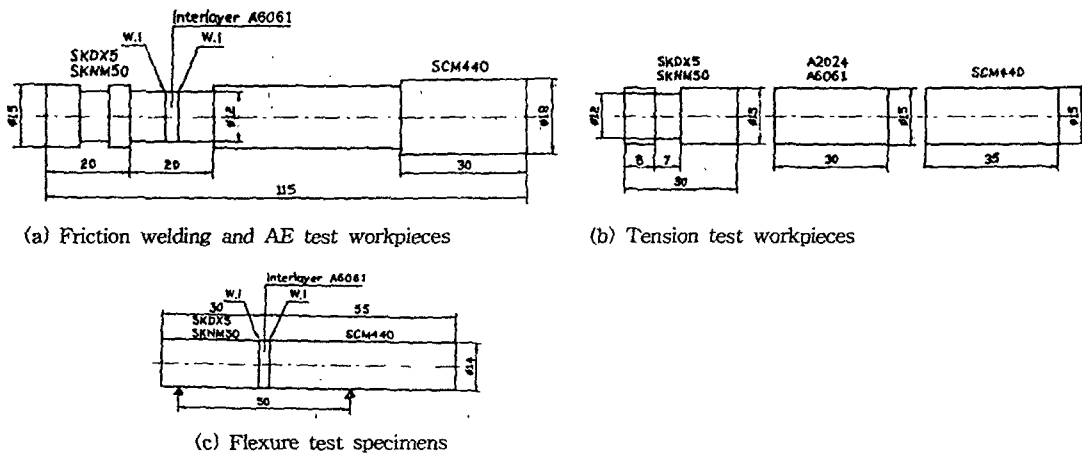


Fig.1 Shape and dimension of specimens

2-2 실험방법

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

Table 3 Welding conditions for friction welding of bar to bar

Welding Condition Case No.	Material	Rotating Speed n(rpm)	Heating Pressure P_1 (kgf/mm ²)	Upsetting Pressure P_2 (kgf/mm ²)	Heating Time T_1 (sec)	Upsetting Time T_2 (sec)	Total Upset U(mm)(U_i)	Types of test
1	SCM440 to A6061	2,000	2.6	6.2	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 to A6061	2,000	2.6	6.2	0.25	7	2.1(0.3)	Flexure
					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	2,000	1.7	3.5	1	6	1.5	Tensile
			2.2	4.4			2.3	
			2.6	5.2			3.1	
			3.1	6.2			4.6	
			3.5	7.0			6.1	
4	SKNM50 to (A6061 to SCM440)	2,000	2.6	6.2	1	6	3.9	Flexure Tensile

3. 결과 및 고찰

3-1 마찰가열시간 변화에 따른 마찰용접에서의 마찰가열시간과 기계적 성질의 상관성

3-1-1 SCM440과 A6061의 마찰용접과 AE

SCM440과 중간재 금속(A6061)간의 최적 마찰용접 가열시간(T_1)을 찾기 위하여 Table 3의 용접조건 No.1과 같이 회전수(n)를 2,000 rpm, 마찰가열압력(P_1)을 2.6 kgf/mm², 업셋압력(P_2)을 6.2 kgf/mm², 업셋시간(T_2)을 6 sec로 일정하게 하고 가열시간(T_1)을 0.25 sec~2.5 sec로 변화시키면서 마찰용접을 하였다.

마찰용접부를 발열이 나지 않도록 충분한 냉각수를 공급하여 선삭을 한 후 경면 다듬질하여 인장시험을 한 결과가 Fig.2에 나타나 있다.

Fig.3은 인장시험편의 가열시간(T_1)과 total AE count(N)와의 관계를 나타낸 것이다.

SCM440과 A6061의 마찰용접 시험편을 인장시험한 결과 OT₁Z(optimum T_1 zone)가 0.5~1.5sec였으므로(Fig.2), 이때 Fig.3에서는 ONZ(optimum N zone)가 9283~14443 counts로 나타난다.

Fig.4에서는 마찰용접 실시간 중에 측정된 total AE count(N count)와 인장강도(σ_t kgf/mm²)와의 관계를 나타내었다. ONZ(optimum N zone)이 9283~14443 counts일 때, 인장강도는 약 15.02 kgf/mm²로서 실험에서 구해졌다. 이상에서 알 수 있듯이, SCM440 - A6061의 마찰용접 이용효율이 가장 높은 최적조건인 범위($T_1 = 0.5 \sim 1.5$ sec)가 존재하며, 이때 마찰용접 실시간중에 AE누적총량(N = 9283~14443 count)을 측정하게 되면, 즉시 비파괴적으로 SCM440~A6061 마찰용접제의 이용 인장강도를 알 수 있기 때문에 AE에 의한 마찰용접 품질(강도)의 용접 실시간 평가가 가능하다는 사실이 입증될 수 있다.

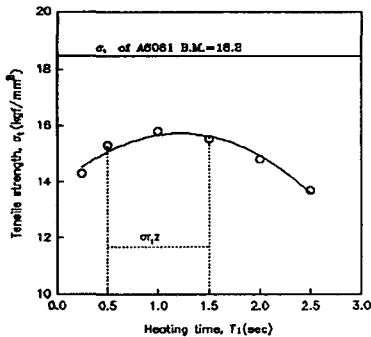


Fig.2 Relation between heating time and tensile strength of friction welded joints of interlayer(A5051) to SCM440 according to increasing heating time

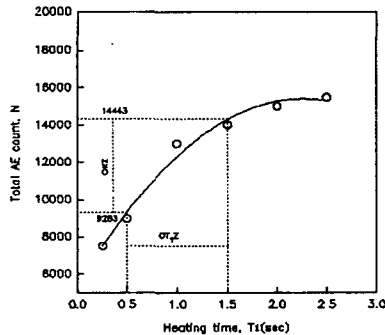


Fig.3 N Vs. T_1 in friction welding of SCM440 to A6061 specimens according to increasing heating time

3-1-2 SKNM50과 A6061의 마찰용접과 AE

Table 3의 용접조건 No.2에서와 같이 최적 마찰용접조건을 결정하기 위하여 마찰가열압력(P_1)을 2.6 kgf/mm^2 , 업셋시간(T_2)을 7 sec로 일정하게 하고 가열시간(T_1)을 0.25~2.5 sec로 변화시키면서 마찰용접을 하였다.

마찰용접 부위를 연삭가공 후 항절실험을 한 결과는 Fig.5와 같이 나타났다.

Fig.5에서 OT_1Z (optimum T_1 zone)는 1.0~1.5 sec임을 실험적으로 구해졌다.

Fig.6은 Fig.5의 마찰용접시험과 AE시험결과로서 가열시간(T_1)과 total AE count(N)의 관계를 나타내었다. 여기서 Fig.5의 $OT_1Z = 1.0\sim 1.5 \text{ sec}$ 에 대한 ONZ(optimum N zone)는 3602~3994 count이다.

Fig.5과 Fig.6에서의 항절력과 AE의 상관관계를 Fig.7에 나타내었으며, Fig.4와 Fig.7에서 $T_1 = 1.0\sim 1.5 \text{ sec}$ 일때의 ONZ(optimum N zone)가 3602~3994 count일 때, 용접부의 인장강도와 항절력이 최고로 높음이 확인되었다.

이상에서 알 수 있듯이, SKNM50과 A6061의 경우에도 마찰용접부의 항절력의 최적 마찰용접조건 범위가 존재하며, 이때 마찰용접 실시시간 중에 AE누적총량($N = 3602\sim 3994 \text{ count}$)의 측정에 의해 비파괴적으로 용접부의 항절력이 요구치에 달하는지의 여부를 평가할 수 있음을 알 수 있다.

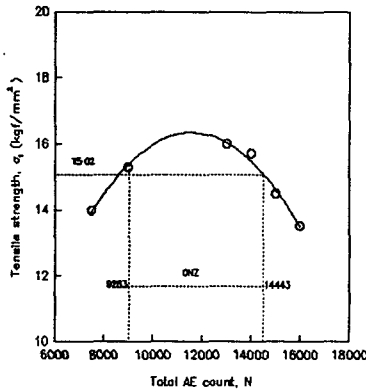


Fig.4 σ_t Vs. N in friction welding of SCM440 to A6061 specimens according to increasing heating time

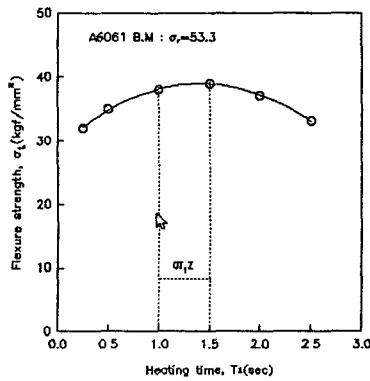


Fig.5 Relation between heating time and flexure strength of the welded joints(SKNM50 - A6061) according to increasing heating time

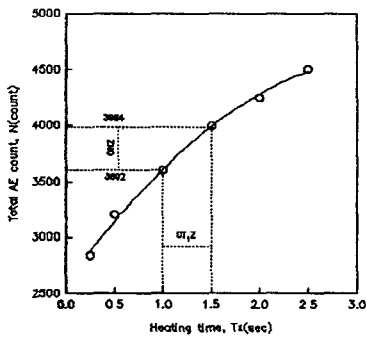


Fig.6 N Vs. T_1 in friction welding of SKNM50 to A6061 specimens according to increasing heating time

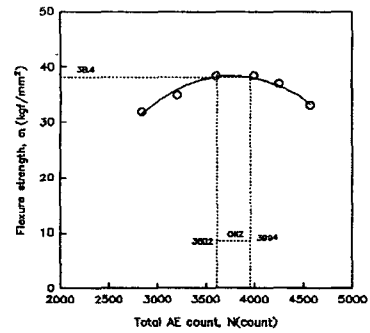


Fig.7 σ_f Vs. N in friction welding of SKNM50 to A6061 specimens according to increasing heating time

3-2 A6061에 의한 SKNM50과 SCM440과의 2단계 마찰용접강도와 AE에 중간재 길이가 미치는 영향

3-2-1 2단계 마찰용접부의 항절강도에 미치는 중간재 길이의 영향

본 실험에서는 SKNM50과 중간재(A6061)와 SCM440을 각각 2단계 공정을 거쳐서 마찰용접을 수행한 후 각 용접재에 대해 항절실험(3 point, 지점간 거리=50)을 하였다.

Fig.8은 [(SCM440-A6061)weld-SKNM50] 두 이종재에 대해 마찰용접을하여 각 용접재에 대해 항절실험을 한 결과를 나타낸 것이다. OLZ(optimum L zone)가 0.5mm~0.82mm임을 알 수 있다.

3-2-2 2단계 마찰용접부의 인장강도에 미치는 중간재 길이의 영향

Fig.9는 용접재의 인장용력(σ_t)과 중간재잔여량(interlayer) A6061과의 관계를 표시한 것으로 OLZ(optimum L zone)은 0.5~0.75 mm이며, 인장강도(σ_t)는 용접재 [(SCM440-A6061)weld-SKNM50]의 경우가 약 13 kgf/mm²(모재 A6061의 71%)이다. 인장강도는 모두 모재의 경우보다 다소 낮으나 금형편치에는 주로 압축강도가 작용하므로 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

Fig.10에서는 2단계 마찰용접한 용접부의 인장 파단면으로 매크로(macro)사진과 전자현미경(SEM)으로 촬영한 마이크로(micro) 사진이다.

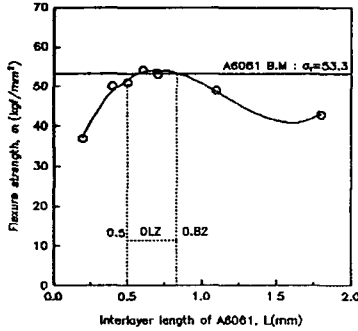


Fig.8 Relation between interlayer length of A6061 and flexure strength of the friction welded joints of [(SCM440-A6061)weld-SKNM50] by 2-steps FRW method

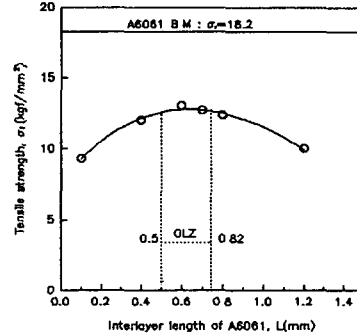


Fig.9 Relation between interlayer length of A6061 and tensile strength of the friction welded joints of [(SCM440-A6061)weld-SKNM50] by 2-steps FRW method

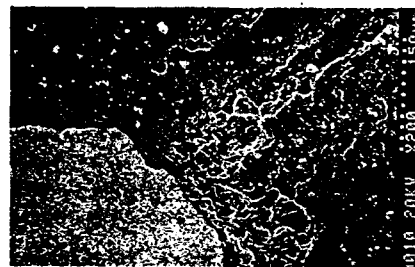
3-2-3 2단계 마찰용접 계면에서의 확산성 특성

Fig.11은 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, 용접계면(WI)을 통한 확산여부를 조사한 것이다.

이때 마찰용접조건은 최적 조건하에서 마찰용접된 SCM440과 A6061의 용접재를 중간재 A6061의 최종 잔여길이 0.6 mm되게 upset 조정하여, n=2,000 rpm, P₁=2.6, P₂=6.2 kgf/mm², t₁=1, t₂=6 sec로하여 마찰용접하였고, 이때 AE총량 N=3950 counts인 경우이다.



(a) Macroscopic tensile fracture surface



(b) Microscopic fracture surface of A6061 side with ductile fracture of A6061 and local brittle one of SKNM50, SCM440 sides by SEM

Fig.10 Macroscopic tensile-fracture surface and tensile-fractured fractographs of SKNM50-A6061- SCM440 friction welded joint by two-steps friction welding method
Welding condition : those of case No.4 in Table 3

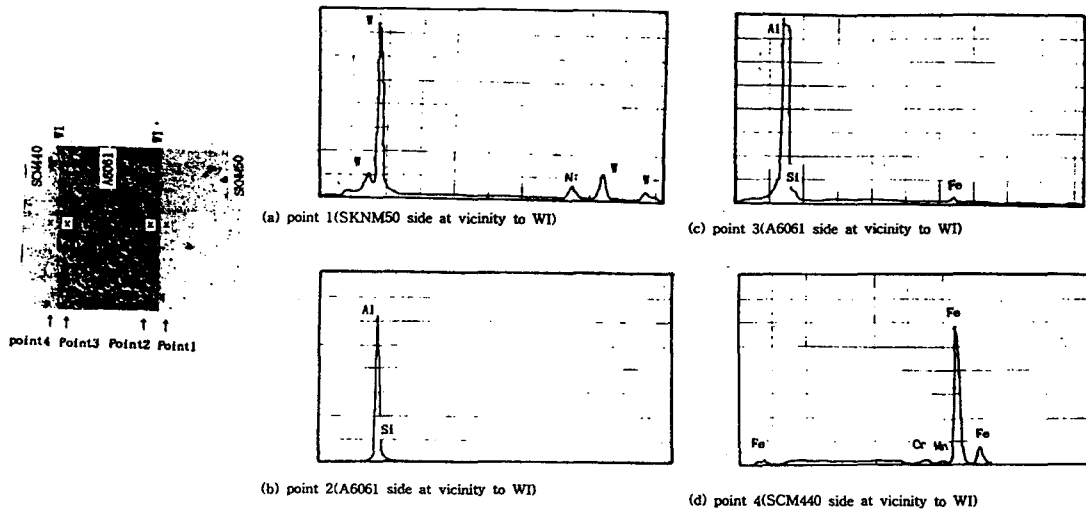


Fig.11 W, Ni, Fe, Al, Cr, Mn concentration by EDS analysis through weld interface of dissimilar friction welded joints (by 2 steps FRW method) of [(SCM440-A6061)weld-SKNM50]weld

4. 결 론

- 이중재 Press 금형편치의 마찰용접 개발과 AE품질평가를 위한 실험결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.
- 1) 2단계 마찰용접으로 SKNM50을 중간재(A6061)를 사용하여 SCM440과 단계적으로 마찰용접한 결과 [(SCM440-A6061)weld-SKNM50]weld에 대해서 스트립(strip)력을 예측할 수 있는 SKNM50의 인장강도는 중간재(A6061)의 71%였고, 이때 중간재의 최적 길이 OLZ(optimum L Zone)는 0.5~0.7 mm로 나타났다.
 - 2) [(SCM440-A6061)weld-SKNM50]weld에 대해 중간재(A6061)를 이용하므로써 금형편치에서 실제 작용되는 압축강도를 예측할 수 있는 항절실험(3 point)을 한 결과, 항절강도는 모두 중간재(A6061)의 98%였으며, 이 때 OLZ는 0.5~0.7 mm사이가 가장 좋은 것으로 나타났다.
 - 3) 2단계 마찰용접에서 이중재 금형편치를 마찰용접할 때 AE의 total count(N)가 약 4,000 count내외를 임계치로 하여 이를 마찰용접시 측정하므로써, 마찰용접부의 항절강도를 예측할 수 있음이 확인되었으므로, 타발 작업중 금형 편치의 수명을 판단하여 생산성을 높일 수 있는 비파괴평가를 할 수 있다. 다만, AE 측정시 센서의 선택, AE threshold 책정, AE의 민감성 등에 대해 주의가 필요하며, 계속된 연구가 필요하다.
 - 4) SEM의 파단면 조사에 의해, SKNM50과 A6061의 마찰용접부 인장파단면은 극소부분의 벽개취성파단이 SKNM50측에 보였으나 대부분 A6061부의 담플상의 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 확인되었고, 계속된 자료 축적을 위한 연구가 필요할 것이다.

5. 후 기

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 (“신소재 금형편치의 이중재 마찰용접에 의한 개발과 AE 품질 평가를 위한 연구”) 연구비에 의하여 연구되었음.

6. 참고문헌

- 1) (주)한국금형정보센터, 1992, “월간 금형저널”, 92년 6월호, p.90,92,100,104
- 2) 摩擦壓接研究會, 1979, “摩擦壓接”, コロナ社, P.46,145-150,184
- 3) Oh, S.K. 1986, “Application of Friction Welding to Parts of Industrial Machinery”, 한국박용기관학 회지, 10권, p.32-34
- 4) 이주석, 조경식, 최진민, 장호근, 오세규, 1988, “AE에 의한 압력용기의 안전성 평가에 관한 연구”, 한국 비파괴 검사학회지, 제8권 제1호, p.12-21
- 5) Oh, S. K., Hasui, A., Kunio, I., and Wang, K. K., 1982년, “Effects of Initial Energy on Acoustic Emission Relating to Weld Strength in Friction Welding”, Trans. Japanese Welding Society, 13(2), p.15-26