

# SM45C의 중실축과 중공축의 마찰용접 특성에 관한 연구

구건섭\*, 최원용<sup>+</sup>

(논문접수일 2010. 10. 26, 심사완료일 2010. 10. 29)

## A Study on the Mechanical Properties of the Friction Welding with Hollow and Solid Shaft of SM45C

Keon Seop Koo\*, Won Yong Choe<sup>+</sup>

### Abstract

The present study examined the mechanical properties of the friction welding with hollow and solid shaft of SM45, of which the diameter is 25.2mm and 33mm. Friction welding was conducted at welding conditions of 2,000rpm, friction pressure of 50MPa, upset pressure of 70MPa, friction time of 0.4sec to 1.4sec by increasing 0.2sec, upset time of 2.0 sec including variable such as friction time are following. Under these conditions, a tensile test, a hardness test and a microstructure of weld interface were studied. The results were as follows : When the friction time was 1.0 seconds under the conditions, the maximum tensile strength of the friction weld happened to be 1,094MPa, which is 120% compared with the tensile strength of SM45C base metal. The upset length linearly increased as friction time increased. According to the hardness test, the hardness distribution of the weld interface was formed from 475Hv to 739Hv. HAZ(Heat Affected Zone) was formed from the weld interface to 2mm of SM45C.

**Key Words** : Friction welding(마찰용접), SM45C(기계구조용 탄소강), Hollow and Solid shaft(중공축, 중실축), HAZ(용접 열영향부) Weld interface(용접부)

## 1. 서론

마찰용접(Friction welding, FRW)은 아크(Arc)용접작업

시 발생하는 유해광선, 흠(fume), 가스 등의 인체에 유해물질이 발생되지 않아 친환경적이며, 용접 시 추가되는 용가재, 용제(flux) 등의 추가재료가 소요되지 않아 용접비용이

\* 한국폴리텍IV대학 흥성캠퍼스 산업설비자동화과 (kskoo@kopo.ac.kr)

주소: 대전광역시 유성구 지족동 980-3번지

+ (주)코야비스 연구개발팀

절감되며, 용접 전 준비사항인 개선 홈 가공 등이 필요치 않고 용접시간이 짧아 용접공정이 절약된다. 특히 아크(Arc) 용접으로 효율적으로 접합하기 어려운 기계부품 축(shaft) 류의 용접에 대단히 우수한 용접특성이 있다. 동종재료는 물론 접합이 곤란한 이종금속, 비철금속까지 접합이 가능한 특성을 가지고 있으며, 가열식 고상용접으로 피용접재에 회전 운동과 함께 가압 시 접촉면에 발생하는 마찰열을 이용하여 접합하는 용접방법으로 접촉면이 용융되기 전 일정온도에 도달하였을 때 압력을 가하여 소성변형을 일으키면서 접합된다<sup>(1)</sup>.

따라서 접합 후의 강도가 우수하며 용접 신뢰성이 좋다. 또한 두 소재간의 소성유동으로 인하여 금속 결정의 조대화나 금속간 화합물이 생기 기 어려울 뿐만 아니라 모재 부에 미치는 열 영향이 적어 용접변형이 적고 치수 정밀도가 높다<sup>(2)</sup>. 최근 기계부품의 재료와 에너지 절감을 위해 마찰용접에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(3-5)</sup>. 자동차의 조향장치 부의 Steering Wheel Shaft에서 사용되는 핸들축은 내구성, 강성, 강도 등이 우수해야 하며, 특히 여러 부품 중 큰 충격 및 굽힘과 인장력을 받는 Shock Absorber, Drive Shaft, Cam Shaft, Propeller Shaft 등 여러 축 부분은 우수한 기계적 성질이 요구된다<sup>(6)</sup>. 본 연구에서는 기계적성질이 우수하고 값이 저렴한 기계구조용탄소강(SM 45C)를 사용하여 용접부에 대한 접합특성 및 기계적특성을 고찰하기 위해 마찰시간, 절삭가공 깊이 및 Up-set 량을 변수로 용접조건을 변화시켜 용접부의 인장강도시험, 경도시험 및 현미경 조직분석, 파면 육안검사 등을 시행하여 최적 용접조건을 고찰하여 보았다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료 및 시험편

#### 2.1.1 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 기계구조용 탄소강인 SM45C를 사용하였으며, 화학조성과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2와 같다. 마찰용접의 시험편 형상은 Fig. 1과 같이 중실축 직경은 33mm, 중공축 외경은 25.2mm, 내경은 19.7mm이

Table 1 Chemical composition(wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
0.45	0.19	0.70	0.016	0.021	0.008	Bal

며 중실축과 중공축 각각의 길이는 100mm이며, 용접부 형상변화에 따른 접합특성을 고찰하기 위하여 중실축과 중공축 접합면을 둥근(U)형상으로 가공하였다.

#### 2.1.2 실험장비

본 실험에 사용된 마찰용접기는 브레이크 타입(NSF-30 H, revolution : 2,000rpm, maximum axial force: 98,000N) 이고, 인장시험을 위해 만능재료시험기 (model: DYHU-50-AD, Dae Yeong)이고, 경도시험을 위해 마이크로 비커스 경도시험기(model: MVK-H1, Mitutoyo Co., Jap)이고, 광학현미경(model : Bi-12882, Uintron Co., U.S.A)을 사용하였다.

#### 2.1.3 실험조건

일반적으로 기계부품 축류의 마찰용접 시 중실축과 중공축 각각 축방향의 수직단면의 피 용접면에 추가적 가공이 필요치 않지만 접합면 형상변화에 의한 용접부의 기계적성질의 변화를 알아보기 위해서 본 실험에서는 Fig. 1과 같이

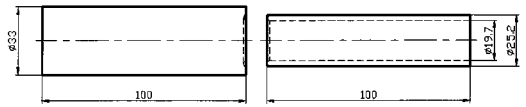


Fig. 1 Shape of friction welding specimens

Table 2 Mechanical properties

Tensile strength (MPa)	Bending strength (MPa)	Elongation (%)
910	1,982	11

Table 3 Friction welding conditions

Spindle revolution (N, rpm)	Friction pressure (P <sub>1</sub> , MPa)	Upset pressure (P <sub>2</sub> , MPa)	Friction time (t <sub>1</sub> , sec)	Upset time (t <sub>2</sub> , sec)
2,000	50	70	0.4	2.0
			0.6	
			0.8	
			1.0	
			1.2	
			1.4	

중실축과 증공축 끝 단면부 각각의 접합면을 등근(U)형상으로 가공하였다. 등근(U)형상으로 가공한 시험편과 가공하지 않은 시험편을 예비실험을 통해 적절한 마찰압력 P1, 업셋압력 P2를 산출하여 용접부 강도를 향상시킬 수 있는 시간 규제법을 활용하여 Table 3과 같은 용접조건으로 본 실험을 실시하였다.

### 2.2 실험방법

본 연구에서 인장시험은 Table 3과 같은 용접조건으로 용접한 후 시험편을 제작하여 시험을 실시하였으며, 인장시험편은 Oakawa 등<sup>(7)</sup>이 사용했던 노치시험편을 Fig. 2과 같이 제작하였다. 경도시험을 위하여 용접시험편의 축 단면을 절단하여 폴리코트(polycoat)로 마운팅한 시험편을 샌드페이퍼 #200~#1500의 순으로 연마한 후, 그라인딩 폴리셔(model : 95-2810)에서 알루미늄 파우더 1 $\mu$ m, 0.5 $\mu$ m의 분말을 증류수와 혼합하여 폴리싱 하였다. 용접부 경도시험은 마이크로 비커스 경도시험기이고, 측정은 하중 500gf 으로 용접계면 중심에서 양쪽 원주방향으로 0.25mm의 일정한 등간격으로 용접부를 측정하였다. 조직검사는 광학현미경을 이용하였으며 시험편 준비는 용접부를 측방향에 수직으로 용접계면을 절단하여 채취한 시험편을 폴리코트(Ploycoat)로 마운팅한 다음 용접단면을 샌드페이퍼로 #200~#1500 순으로 1차 연마한 후 2차 연마재로 입경 0.5 $\mu$ m의 알루미늄

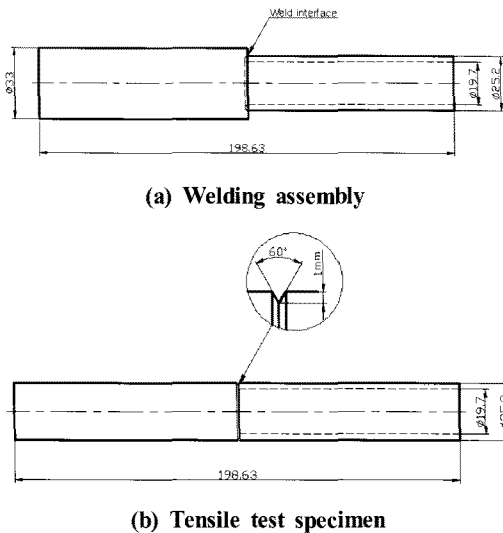


Fig. 2 Welding assembly and Tensile test specimen of the friction welding

파우더를 증류수와 혼합하여 사용하였고, 그라인드 1 $\mu$ m, 0.5 $\mu$ m의 분말을 증류수와 혼합하여 사용하였고, 그라인드 폴리셔(model : 95-2810)로 폴리싱하였다. 시험편의 부식은 나이트랄(nital 3%)로 에칭액을 만들었으며, 시험편을 에칭액에 약 3sec 담근 후에 에칭액 제거를 위하여 물세척하고 알코올로 최종 세척하여 전기드라이어로 다시 충분히 건조시켰다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 인장시험

용접부 인장강도 시험을 위해서는 회전수 2,000rpm, 마찰압력 50MPa, 업셋압력 70MPa, 마찰시간 1.0sec, 업셋시간 2.0sec로 하고, 용접계면으로부터 중실축 축방향으로 절

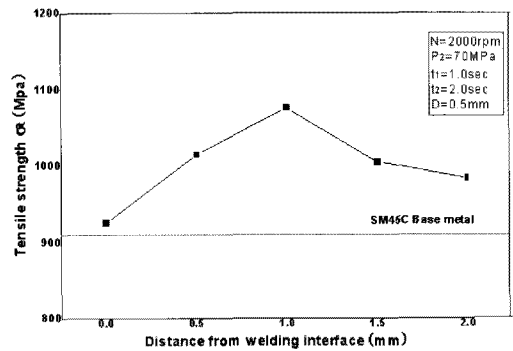


Fig. 3 Relationship between processing depth and tensile strength

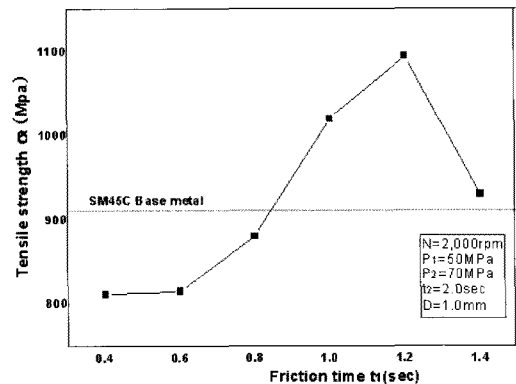


Fig. 4 Relationship between processing friction time and tensile strength

삭깊이가 0.5~2.0mm까지 0.5mm간격 변화로 마찰용접 하였으며, Fig. 3에서와 같이 절삭깊이가 1.0mm에서 최대 인장강도 1,076MPa,이 되었다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 최적의 절삭깊이를 1.0mm로 하고 마찰시간을 0.4sec에서 1.4sec까지 0.2sec 간격으로 변화시켜 마찰용접을 하였다.

최대 인장강도는 절삭깊이 1.0mm, 마찰시간 1.2sec일 때이며 이때의 인장강도는 1,094MPa이다. 이는 중공축 모재 (SM45C) 인장강도 910MPa의 120%이다. 최저 인장강도는 마찰시간이 0.4sec일 때이며 이 때 인장강도는 811MPa이다. 최저 인장강도는 중공축 모재 인장강도의 89%이다. 마찰시간이 0.4sec일 때 최저 인장강도가 나온 것은 마찰시간이 충분치 못하여 마찰열이 충분히 발생치 않았기 때문으로 판단된다. 마찰시간이 증가함에 따라 계속적으로 인장강도가 증가하지 않고 1.2sec 이후에 인장강도가 급격히 감소하는 것은 용접계면 밖으로 배출되는 플래시 양으로 접합면 온도가 낮아져 적정 용접온도 조건이 되지 않아 인장강도가 급격히 감소된 것으로 판단된다.

인장시험 결과 파단면은 Fig. 5에서 중실축과 중공축의 인장시 파단면을 마찰시간에 따라 배열하였다. 마찰시간이 0.4~1.4sec로 증가할 때 인장파단면을 관찰한 것으로. 마찰시간이 증가함에 따라 플래시양이 증가 하였으며, 0.4sec, 0.6sec일 경우에는 플래시가 중실축 단면 쪽으로 생성되었

	0.4 sec	0.6 sec	0.8 sec
SM45C solid shafts			
SM45C hollow shafts			
	1.0 sec	1.2 sec	1.4 sec
SM45C solid shafts			
SM45C hollow shafts			

Fig. 5 fracturs of Friction welded joint in tensile test

고, 0.8sec이후에서는 플래시가 중공축 쪽으로 형성되는 것을 볼 수 있는데, 이것은 마찰시간이 증가함에 따라 플래시 양이 많이 생성되어 중공축 쪽으로 플래시 유입양이 증가 되어진 것으로 판단된다.

### 3.2 업셋길이 변화

일반적으로 Fig. 6은 절삭깊이와 마찰시간 변화에 따른 업셋길이 변화를 측정된 것으로 절삭깊이 변화에 따른 최대 업셋길이는 축방향으로 절삭깊이가 2.0mm일 때 3.1mm이며, 절삭깊이가 0~1.0mm구간에서 업셋의 증가량의 크기보다 1.0mm 이후의 업셋 증가량 크기가 크게 감소된 것을 알 수 있으며, 절삭깊이가 1.0mm일때 최적의 상태라고 판단 된다. Fig. 7과 같이 마찰시간 변화에 따른 최대 업셋길이는

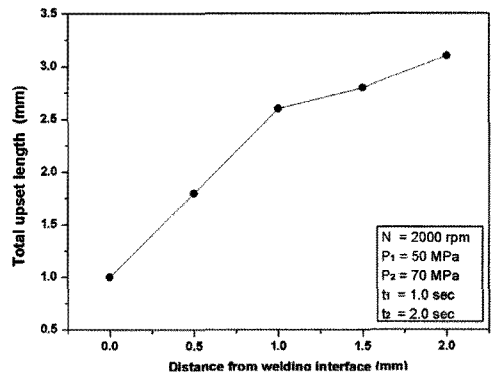


Fig. 6 Relationship between processing depth and upset length

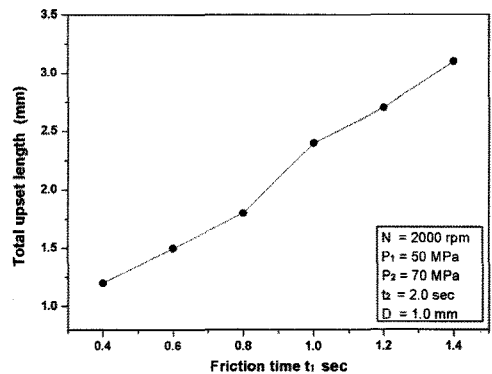


Fig. 7 Relationship between processing friction time and upset length

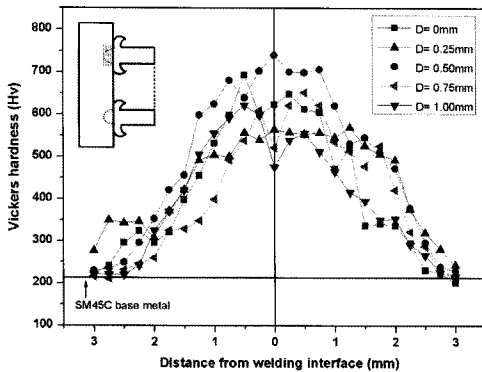


Fig. 8 Hardnes Hardness distributions of friction weld

마찰시간이 1.4sec일 때 3.1mm로 절삭깊이 증가에 따라 증가하였다.

### 3.3 경도시험

경도값을 측정한 Fig. 8은 마찰용접조건(마찰압력 50MPa, 업셋압력 70MPa, 마찰시간 1.0sec, 업셋시간 2.0sec)시 축방향 절삭깊이 0mm~1.0mm까지 0.25mm 등 간격으로 축방향의 용접단면을 절단가공 후 경도시험편을 제작하여 경도값을 측정한 그래프이며, 측정부위는 용접계면상의 1/2 지점을 0점으로 맞추어 축의 원주방향으로 좌우로 3 mm씩 총 6mm를 각각 0.25mm 간격으로 측정하였다. 용접면에서 최저경도 값은 절삭깊이 1.0mm일 때 475Hv이며, 최대경도 값은 절삭깊이 0.5mm일 때 739Hv로 측정되었으며, 전반적으로 경도값 변화는 용접계면상에서 깊이 2.0 mm 근처까지 급격한 경도 상승이 나타났으며, 절삭깊이 변화에 따라서는 절삭깊이가 1.0mm부터 0.75mm, 0.25mm, 0mm, 0.5mm 순으로 경도값이 증가되었다. 이것은 마찰용접 시 국부가열에 의한 Annealing 효과와 업셋압력 작용에 의한 내부응력 영향인 것으로 판단되며, 경도의 급상승 및 하강현상은 마찰용접 시 발생하는 마찰열에 의해 고온이 된 절삭면과 열영향부가 공랭하면서 조직 변화가 발생했기 때문에 판단된다.

### 3.4 용접부의 미세조직

Fig. 9, Fig. 10은 최적의 용접조건으로 마찰용접한 시험편의 용접계면과 모재부를 현미경으로 100배, 1,000배 촬영하여 관찰한 현미경 사진이다. Fig. 9는 등근(U) 형태의 접합면을 100배 현미경 조직사진으로 마찰용접 시 소성유동과 플래시의 외부로의 배출이 유용한 구조로 이상적인 접합면

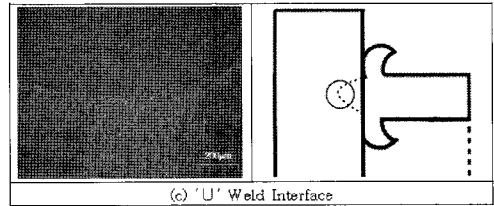


Fig. 9 Location of microstructure (X100)

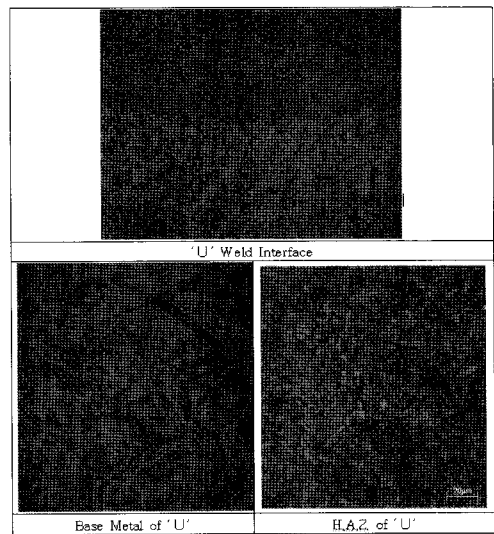


Fig. 10 Location of microstructure (X1000)

의 사진이며, Fig. 10은 용접계면, 모재부, 열영향부의 1000배 현미경 조직 사진이다. 뚜렷한 소성유동 흔적이 없고 열영향부 경계가 명확하지 않으며 모재부측에 특유의 섬유질과 흡사한 결정배열 모양이 나타난다. 모재는 전형적인 저탄소강 조직으로 ferrite가 커다랗게 형성되어 있으며, 열영향부 사진은 마찰용접 시 받는 고온 고압의 영향으로 모재 보다 작고 거친 계면을 형성하고 있으며 곳곳에 pearlite와 martensite가 생성된 모습을 보이고 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 SM45C 강을 중심축과 종공축 각각 용접 마찰면에 등근(U) 형상으로 가공하여 용접조건, 회전수 2000rpm, 마찰압력 50MPa, 업셋압력 70MPa, 업셋시간 2sec로 고정하여, 마찰시간을 0.4~1.4sec사이를 0.2sec씩, 절삭깊이를 0~2.0mm 사이를 0.5mm씩 용접조건을 변화

주고 용접하여 용접부의 인장강도시험, 파면 육안검사, 경도 시험 및 현미경 조직검사 등을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최적의 마찰용접조건은 절삭깊이 1.0mm, 마찰시간이 1.2sec이고, 최대 인장강도가 1,094MPa로 증공축 모재 인장강도에 비해 약 120%이었다.
- (2) 용접계면의 경도 분포는 절삭깊이 0.5mm의 용접계면에서 최대 739Hv로, 절삭깊이가 1.0mm인 용접계면에서 최저 475Hv이었다.
- (3) 용접부의 현미경 조직검사 결과 용접계면은 고온과 냉각에 의해 조직이 미세화 되어 경도 상승에 영향을 주었으며, 마찰용접 시 플래시의 외부 방출이 원활하게 이루어져 이상적인 접합면 형상이 이루어졌다고 판단된다.

### 참고 문헌

- (1) Vill, V. I., 1957, "Friction Welding of Metals," *Svarochne Proizvodstvo*, Vol. 3, No. 9, pp. 8~23.
- (2) Lee. S.-Y. and Yun, B.-S., 2001, "Heat Transfer Analysis of Friction Welding of A2024 to SM45C," *J. of KSMTE*, Vol. 10, No. 1, pp. 65~70.
- (3) Jeong, H.-S., 1997, "Fundamentals and Basic Application of Friction Welding," *J. of KWS*, Vol. 15, No. 6, pp. 1~12.
- (4) Spindler, D. E., 1994, "What Industrial Needs to Know about Friction Welding," *Welding Journal*, Mar, pp. 37~42.
- (5) Nicholas, E. D., 1997, "Where Industry Uses Friction Welding," *Welding Design and Fabrication*, Aug, pp. 74~76.
- (6) Jeong, J.-H., 2001, "A study on the Welding Properties of SM25C Carbon Steel Rod and SMn420 Alloy Steel Pipe," A Thesis for a M.S., Chung-Nam University, Republic of Korea.
- (7) Oagawa, K., Yamaguchi, H., Kaga, S., and Sakaguchi, K., 1993, "Optimization of Friction welding Condition for S45C Carbon Steel Using a Statical Technique", *Transactions of the Japan Welding Society*, Vol. 24, No. 2, pp.133~139.