한국공작기계학회논문집 Vol.16 No.1 2007. 2.
Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers

# SM20C 摩擦熔接部의 노치 깊이에 따른 機械的 性質 硏究

이세경*, 정준모+, 박천봉++, 민택기+++

(논문접수일 2006. 7. 7, 심사완료일 2006. 10. 18)

# A Study on Mechanical Properties According to the Depth of Notch in SM20C Friction Welding Zone

Se-Gyoung Lee*, Jun-Mo Chung+, Chun-Bong Park++, Taeg-Ki Min+++

## Abstract

The present study examined the mechanical properties of the friction welding zone of solid and hollow shafts made with SM20C according to the depth of the notch. Friction welding was conducted at welding conditions of 2,000 rpm, friction pressure of 60㎫, friction time of 1.4 seconds, upset pressure of 100㎫, and upset time of 2.0 seconds. In the tensile strength test, the tensile strength decreased as the depth of the notch increased. Tensile strength was moderately high when the depth of the notch was 2mm. The tensile strength of the welding zone increased as the friction revolution radius increased, because the latter led to the generation of adequate friction heat. According to the hardness test, hardness likewise increased as the friction revolution radius increased. In the bending test, the bend strength of the solid shaft decreased when the depth of the notch was 0-2mm but increased when the latter was 3-5mm. With regard to the hollow shaft, the bend strength drastically decreased when the depth of the notch was 3-4mm. Upon examination it was found that the microstructure became finer when the friction revolution radius increased.

**Key Words** : Friction welding(마찰용접), SM20C, Friction time(마찰시간), Friction pressure(마찰압력), Tensile strength(인장강도)

## 1. 서 론

마찰용접[1~3]은 접합시 금속간 화합물의 형성을 억제하기 때문에 용접하기 힘든 이종금속 간 접합에 많이 사용되어 왔다[4]. 마찰용접은 각 재료의 장점을 그대로 유지하면서 용접 후 매우 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있어, 용접 품질

* 충남대학교 대학원 기계공학과 (prince54@empal.com)
주소: 305-764 대전시 유성구 궁동 220번지
+ 충남대학교 대학원 기계공학과
++ 충남대학교 교육대학원
+++ 충남대학교 기계공학과

에 대한 신뢰성[5,6], 용접기계구조물의 안정성, 우수한 강도[7,8] 및 경제적인 측면을 고려할 때 매우 유용한 방법이다. 그러나 마찰용접은 마찰용접부에 플래시가 발생하고, 사용 전에 이 플래시를 제거해야 하며, 어떤 경우에는 용접부를 일정한 깊이로 가공할 필요도 있다. 따라서, 마찰용접부 가공에 따른 기계적 특성[9]을 고찰하는 것은 공학적으로 매우 의미 있는 일이다.

본 연구에서 강판, 강봉, 볼트 등 기계산업 등에서 많이 사용되어온 SM20C를 마찰용접한 후, 용접부에 노치를 가공하고 노치깊이에 따른 기계적 성질을 고찰함으로써, 마찰용접부의 용접품질을 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

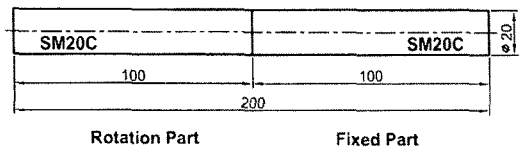
본 실험에 사용된 재료는 SM20C로 화학조성과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 마찰용접 시

**Table 1 Chemical compositions of materials(Wt. %)**

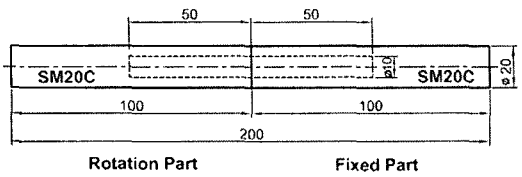
| Elements | C | Si | Mn | P | S | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SM20C | 0.19 | 0.29 | 0.49 | 0.11 | 0.09 | Bal. |

**Table 2 Mechanical properties of materials**

| Materials | Mechanical properties | | |
|---|---|---|---|
| | Tensile strength(㎫) | Bending strength(㎫) | Hardness (Hv) |
| SM20C | 624 | 1,313 | 220 |




**(a) Solid shaft**




**(b) Hollow shaft**

**Fig. 1 Shape and dimensions specimen for friction welding material**

험편의 형상은 Fig. 1과 같이 중실축(Solid shaft)은 직경 ø20mm 환봉을 길이 100mm씩 절단 가공하였고 중공축(Hollow shaft)은 중실축의 크기에 ø10mm 드릴로 직경의 중심에서 축 방향으로 50mm 중공을 만들어 제작하였으며 마찰용접 직전에 용접면을 정밀하게 선삭가공하고 이물질 제거를 위해 아세톤으로 세척하였다.

본 실험에 사용된 마찰용접기는 브레이크 타입(NSF-30H)으로, 디스크 방식의 브레이크와 압력을 얻기 위한 유압장치, 용접 사이클을 제어하기 위한 시간·유압 제어장치 등으로 구성되어 있다. 마찰용접부의 기계적 시험을 위해 최대용량 50ton의 만능재료시험기(Model: DYHU-50-AD)를 사용하였으며, 경도시험은 마이크로 비커어즈 경도시험기(Model: MVK-H1)를 사용하였다.

본 실험은 문헌연구 및 1,2차 예비실험을 통하여 얻은 최적조건에서 마찰용접을 한 후, 용접부에 노치가공 후 인장시험, 굽힘시험, 조직검사, 경도시험을 하였다. 문헌연구[7,10]를 통하여 SM20C와 물리적 특성이 유사한 금속은 회전수 2,000rpm, 업셋압력 100㎫, 업셋시간 2sec에서 높은 인장강도가 나타난다는 것을 알았다. 이를 바탕으로 마찰용접에서 가장 중요한 변수인 마찰압력과 마찰시간을 보다 정확하게 구하기 위하여 회전수, 업셋압력, 업셋시간을 문헌연구에서 얻은 값으로 각각 설정한 후, 마찰시간을 0.8sec에서 2.0sec까지 0.2sec씩 증가시키는 1차 예비실험을 하였다. 실

**Table 3 Friction welding conditions**

| Spindle revolution (N, rpm) | Friction pressure ($P_1$, ㎫) | Friction time ($t_1$, sec) | Upset pressure ($P_2$, ㎫) | Upset time ($t_2$, sec) | Tensile strength (㎫) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,000 | 70 | 0.8 | 100 | 2 | 562 |
| | | 1.0 | 100 | 2 | 566 |
| | | 1.2 | 100 | 2 | 569 |
| | | 1.4 | 100 | 2 | **576** |
| | | 1.6 | 100 | 2 | 574 |
| | | 1.8 | 100 | 2 | 575 |
| | | 2.0 | 100 | 2 | 571 |
| 2,000 | 50 | 1.4 | 100 | 2 | 570 |
| | 60 | 1.4 | 100 | 2 | **583** |
| | 70 | 1.4 | 100 | 2 | 576 |
| | 80 | 1.4 | 100 | 2 | 572 |
| | 90 | 1.4 | 100 | 2 | 570 |

험결과 마찰시간이 1.4sec에서 최고의 인장강도 576㎫이 나타났고, 이 결과를 이용하여, 마찰시간을 1.4sec로 고정한 후 마찰압력을 50㎫에서 90㎫까지 10㎫까지 증가시키면서 2차 예비실험을 하였다. 실험 결과 60㎫에서 최고의 인장강도 583㎫가 나타났으며, 이 실험결과를 Table 3에 나타내었다.

노치깊이(L)에 따른 인장강도의 변화를 연구하기 위하여 용접 부위에 나사바이트를 이용하여 60°의 각도의 노치를 주었고, 중실축은 1～5mm, 중공축은 1～4mm까지 1mm씩 노치깊이를 증가시켜 Fig. 2와 같이 시험편을 제작하였다. 굽힘시험은 만능재료시험기를 이용하여 3점지지법으로 하였다. 굽힘 시험편은 인장시험편과 같이 제작하였고, Fig. 3과 같이 실험하였다. 굽힘강도는 다음 식 (1)으로 구하였다.

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{8P_{\max}\ell}{\pi d^3} \tag{1}$$

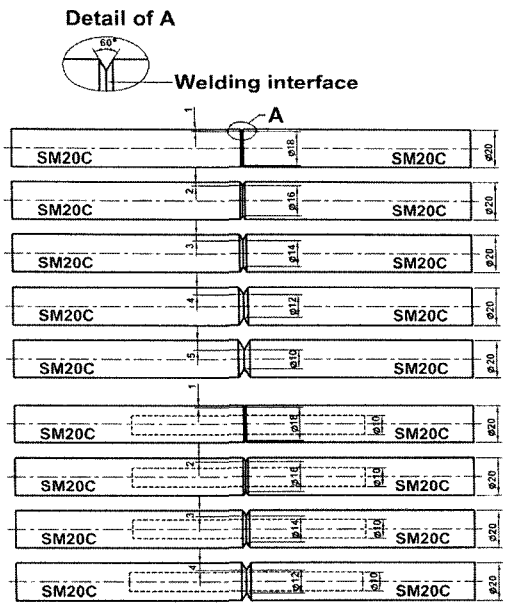



**Fig. 2 Tensile and bending test specimen**

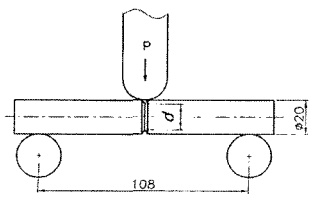



**Fig. 3 3-Point bending test**

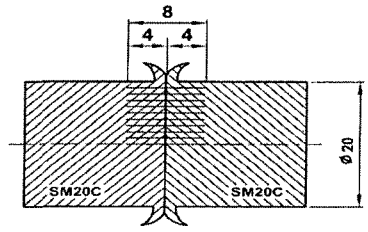
여기서,

$\sigma_b$ : 굽힘강도, $M$ : 굽힘모멘트

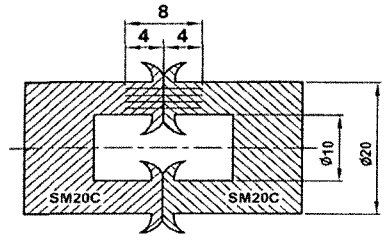
$Z$ : 단면계수, $P_{\max}$ : 최대하중

$\ell$ : 지점간 거리, $d$ : 굽힘부 직경

조직검사는 광학현미경을 이용하였으며 시험편 준비는 축 단면을 절단하여 채취한 시험편을 폴리코트(Polycoat)로 마운팅(Mounting)한 다음 용접단면을 샌드페이퍼(Sand-paper) 입도 #200, #600, #1200 순으로 표면을 연마한 다음 연마재 1㎛의 알루미나 파우더를 증류수와 혼합하여 그라운드 폴리셔로 폴리싱 하였다. 시험편의 부식은 질산과 물의 비율을 1:9로 혼합하여 에칭액을 만들었으며 시험편을 에칭액에 1초간 담근 후 에칭액 제거를 위해 2분간 흐르는 물에 세척하고 드라이어로 다시 2분간 건조시켰으며 위 부식 과정은 과부식을 방지하기 위해 신속히 처리하였다. 경도시험은 용접시험편의 축 단면을 절단하여 연마(Polishing) 한 후, 마이크로비커어스 경도시험기의 클램프에 고정시킨 후 하중을 200g으로 설정한 후 Fig. 4와 같이 용접표면에서 용접중심부쪽으로 거리(D) 1mm씩 증가하면서 용접계면 수직방향으로 양쪽 4mm씩 총 8mm에 대해 0.2mm 간격으로 경도 측정하였다.




**(a) Solid shaft**




**(b) Hollow shaft**

**Fig. 4 Hardness measurement point of perpendicular direction from the welding section**

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 인장시험

인장시험 결과 Fig. 5과 같이 나타났다. 중실축과 중공축을 비교하기 위해 결과를 함께 표기했으며, 마찰용접은 문헌연구 및 1,2차 예비실험을 통해 얻은 최적조건 [마찰용접기 회전수(N) 2,000rpm, 마찰시간($t_1$) 1.4sec, 마찰압력($P_1$) 60MPa, 업셋시간($t_2$) 2.0sec, 업셋압력($P_2$) 100MPa]에서 수행하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이, 실험범위 내에서 인장강도는 중실축과 중공축 모두 노치깊이(L)가 증가할수록 선형적으로 감소하는 특성을 갖는다. 따라서 노치깊이 변화에 따라 인장 강도 값이 어느 정도 예측 가능하다는 것을 알 수 있다. 다만, 노치깊이가 2mm일때, 중실축과 중공축 모두 선형적 틀에서 다소 인장강도가 높음을 알 수 있다. 이 것은 마찰용접 조건에서 마찰 회전반경이 8mm전 후인 곳에서 충분한 마찰열로 인하여 소성 유동이 원활히 이루어졌기 때문에 발생한 현상으로 보인다. 최대 인장강도는 중실축에서 노치깊이가 1mm일 때 585MPa이며, 이 값은 모재의 인장강도 624MPa의 94%에 해당된다. 이것으로 마찰회전 반경이 클수록 충분한 마찰열이 발생하여 용접강도가 높아진다는 것을 알 수 있다. 중실축과 중공축의 인장강도가 노치깊이 1mm에서 약 150MPa정도 차이가 나며, 노치깊이가 커질수록 그 차이는 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 업셋압력으로 중실축의 중심부는 플래시 배출이 억제되어 조직이 치밀해졌지만, 중공축의 중심부는 플래시 배출이 용이하여 조직이 치밀해지지 못하였기 때문으로, 마찰용접은 용접부의 형상도 용접강도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

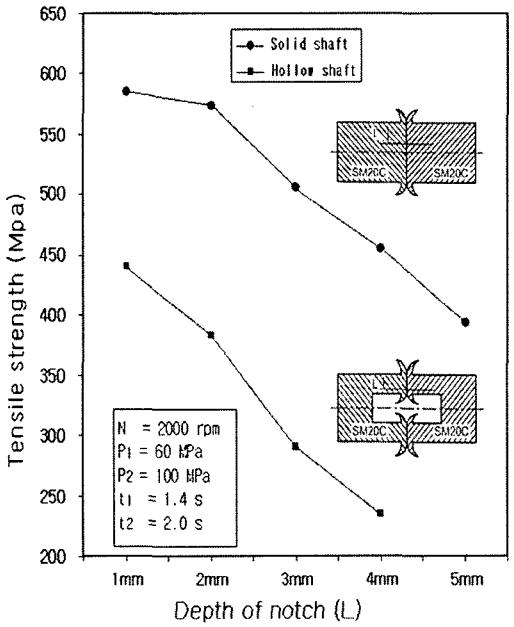
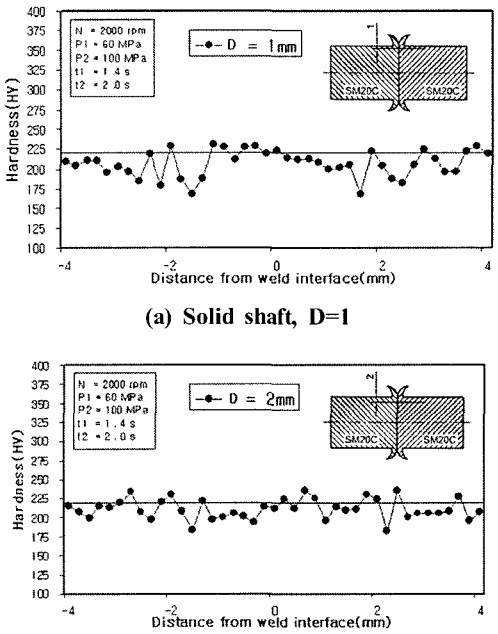



**Fig. 5 Relationship between tensile strength and depth of notch (L)**

### 3.2 경도시험

Fig. 6은 중실축, 중공축의 용접부를 용접표면에서 용접중심쪽으로 거리(D)를 1mm씩 증가하면서 용접계면에 수직한 방향으로 양쪽 4mm(열영향부, HAZ)씩 총 8mm에 대해 0.2mm 간격으로 경도 측정한 결과를 각각 나타낸 것으로, 그림내의 실선은 SM20C의 모재경도(Hv 220)를 표시한 것이다. D=1mm에서 D=10mm까지 각각을 살펴보면, 경도는 조직에 따라 많은 변화를 보이고 있다. 특히 중실축, 중공축 모두 용접표면에서 용접중심쪽으로 거리(D)가 증가할수록 모재경도보다 높은 점들이 점점 감소하는 현상이 나타난다. 이것은 마찰회전반경이 작을수록 발열량이 불충분[11]하기 때문인 것으로 사료된다. 마찰회전반경이 작을 수록 용접부의 강도가 저하하는 인장강도의 실험결과와 일치한다.

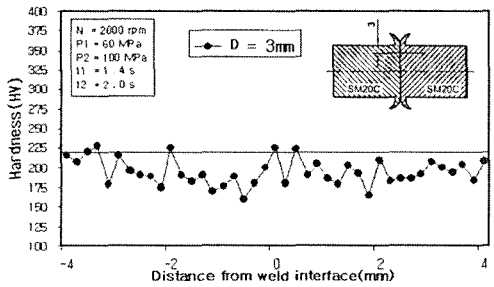



**(a) Solid shaft, D=1**

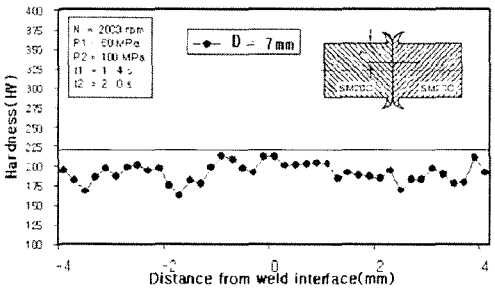



**(b) Solid shaft, D=2**

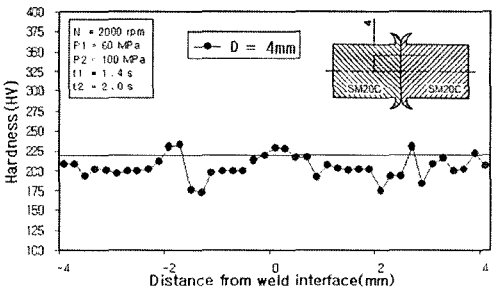
**Fig. 6 Relationship between hardness and distance from weld interface in Solid shaft and Hollow shaft**



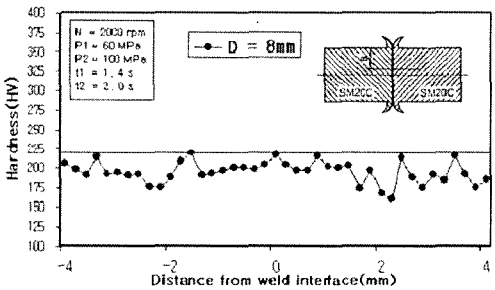

(c) Solid shaft, D=3



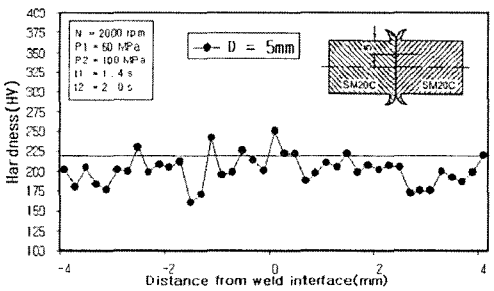

(f) Solid shaft, D=7



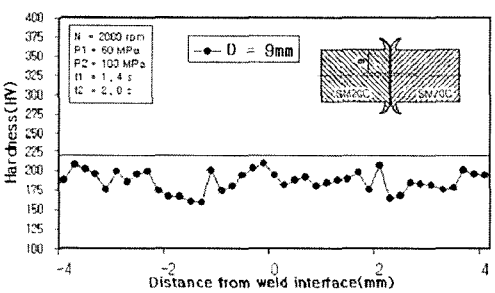

(d) Solid shaft, D=4



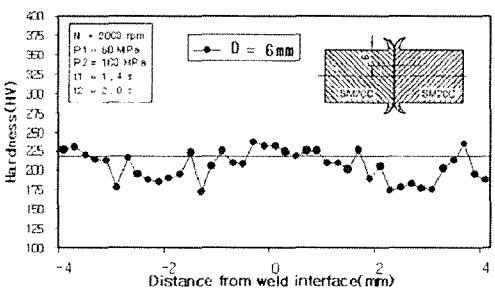

(g) Solid shaft, D=8



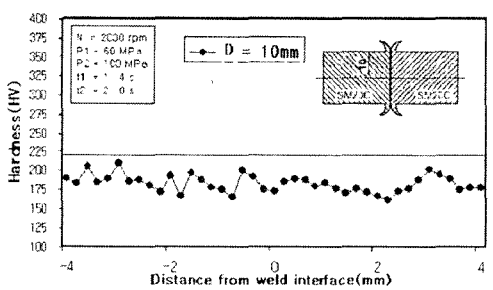

(e) Solid shaft, D=5




(h) Solid shaft, D=9

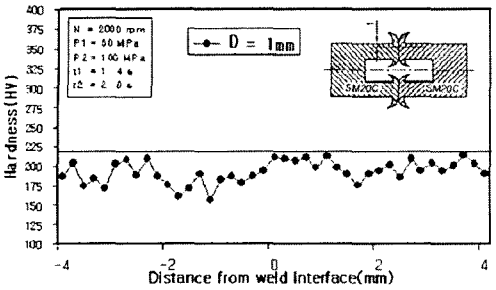



(e) Solid shaft, D=6

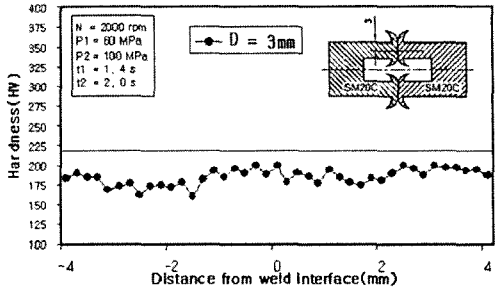



(i) Solid shaft, D=10

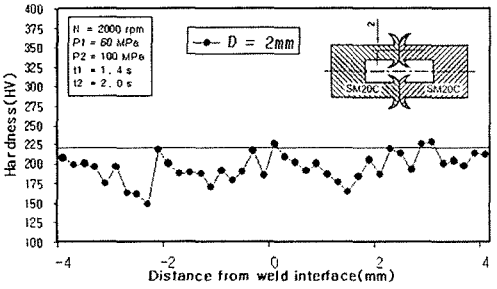
**Fig. 6 Relationship between hardness and distance from weld interface in Solid shaft and Hollow shaft (Continue)**



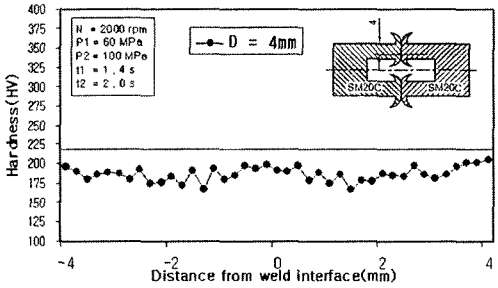

(j) Hollow shaft, D=1




(k) Hollow shaft, D=3




(j) Hollow shaft, D=2




(l) Hollow shaft, D=4

**Fig. 6 Relationship between hardness and distance from weld interface *in Solid shaft and Hollow shaft (Continue)***

### 3.3 굽힘시험

마찰용접에서는 일반적으로 재료의 섬유조직이 업셋과정

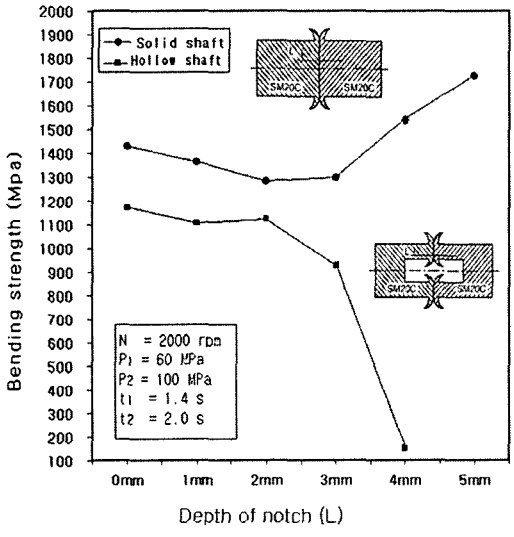



**Fig. 7 Relationships between the bending strength and depth of notch (L)**

시 플래시로 배출되는데, 이때 용접계면에 대하여 평행하게 배열되어 평행하게 늘어지기 때문에 반경방향에 대한 활발한 흐름이 일어난다. 그림 Fig. 7에 알 수 있듯이, 중실축에서는 굽힘강도가 노치깊이(L) 0～2mm까지는 감소하다가 3～5mm까지 다시 상승하는데 비하여, 중공축은 노치깊이(L)가 3～4mm에서 급격히 감소한다. 이는 업셋압력으로 중실축 중심부는 플래시 배출이 원활하지 못해 조직이 치밀해져 강도가 강해진 것이고, 중공축은 업셋 압력에 대하여 중심부 내부로 플래시가 원활히 유동함에 따라 조직이 치밀하지 못해 강도가 약해진 것으로 보인다. 최대굽힘강도는 중실축 노치깊이가 5mm에서 1,701㎫을 얻었으며 이는 모재의 130%에 해당된다.

### 3.4 접합부의 현미경 조직

Fig. 8 및 Photo 1은 중실축의 용접부를 용접표면에서 용접중심쪽으로 1mm 간격으로 용접면[(d)～(n)], 열영향부(b), 모재(a), 플래시(c) 사진이다. Photo 1의 (a)는 모재 부분으로 흰부분은 페라이트를, 검은 부분이 펄라이트를 나타내며, 모두 편상조직이다. (b)는 열영향부로 편상조직과 미세 조직이 나타난다. (d)～(n)은 용접경계면에 대해 용접표

면에서 용접중심쪽으로 거리(D)를 1mm 간격으로 나타낸 것으로, 전체적으로 편상조직이 미세화되어 있다. D가 증가함에 따라 조직의 미세화 정도가 차이가 있는데, D=0, 1에서는 마찰열에 의하여 미세화가 진행되었고, D=8, 9, 10에서는 플래시 배출이 원할하지 못하여 압력상승으로 인하여 조직이 치밀해진 것으로 사료된다.

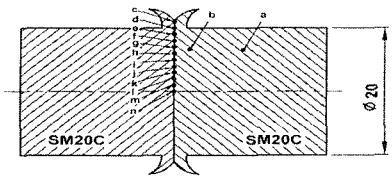



Fig. 8 Microscope photograph point of the solid shaft

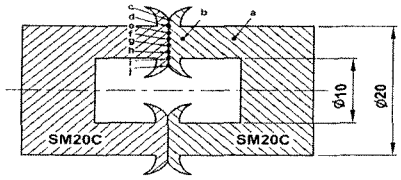



Fig. 9 Microscope photograph point of the hollow shaft

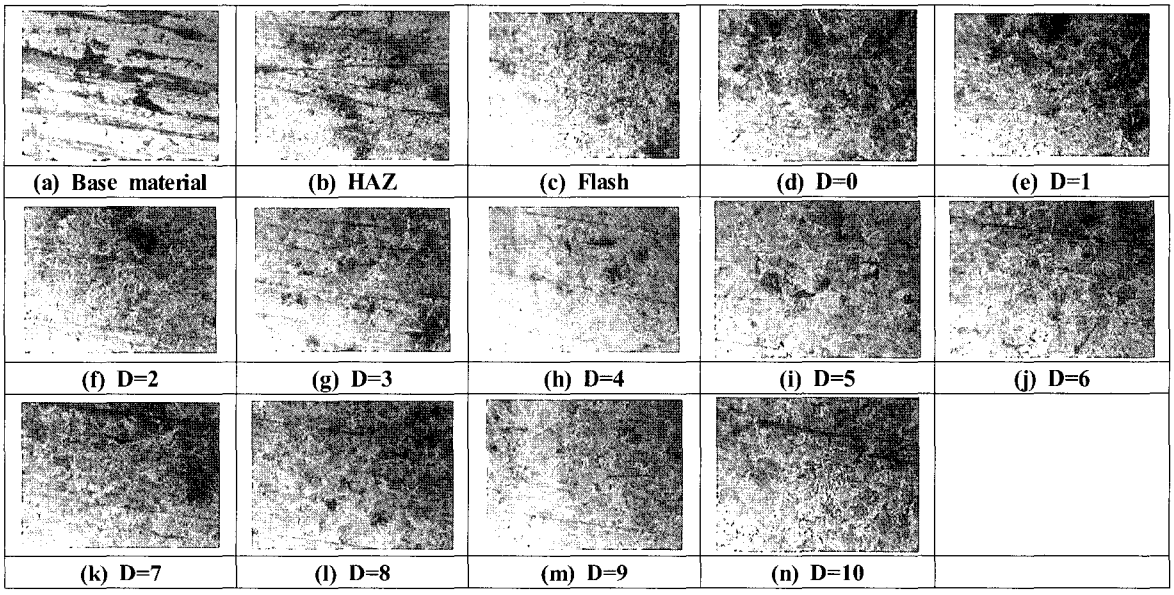



Photo 1 Microstructure of the solid shaft friction welds(Mag.400)

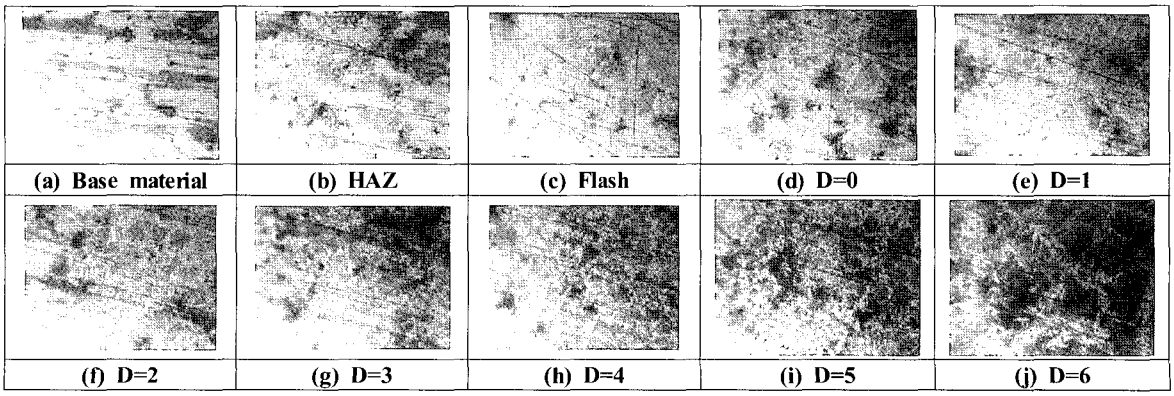



Photo 2 Microstructure of the hollow shaft friction welds(Mag.400)

Photo 2은 중공축을 Fig. 9에 나타난 점을 촬영한 조직사진으로 (a)는 모재이고 (b)는 열영향부이며, 중실축과 같은 조직을 보인다. (d)~(j)는 용접부의 용접표면에서 용접중심쪽으로 거리(D)를 1mm 간격으로 나타낸 것으로 중실축과 같이 편상조직이 미세화 되었는데, 차이는 중실축과 달리 D=5, 6에서 플래시 배출이 용이하여 압력상승에 따라 조직이 치밀해지지 못한 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 기계구조용 탄소강 중에서 강관, 강봉, 강판, 볼트, 리벳 등에 사용되는 SM20C 재질로 이루어진 중실, 중공축의 마찰용접부를 노치가공하여 노치깊이에 따른 기계적 특성을 고찰하였다.

(1) 인장시험 결과 중실축과 중공축 모두 노치깊이가 증가함에 따라 인장강도가 감소하며, 노치깊이가 2mm일 때 인장 강도가 다소 높게 나타남을 알 수 있다. 마찰회전반경이 클수록 용접부의 강도가 높았으며, 최대인장강도는 중실축에서 노치깊이가 1mm일때 585㎫으로 모재의 인장강도 624㎫의 94%에 해당되었다.

(2) 경도시험결과 마찰회전반경이 작은 곳은 충분한 발열이 발생하지 아니하여, 용접표면에서 용접중심쪽으로 거리가 증가할수록 용접부 경도가 감소하는 현상이 나타났다.

(3) 굽힘시험결과 중실축에서는 굽힘강도가 노치깊이 0~2mm까지는 감소하다가 3~5mm까지 다시 상승하였으며, 반면에 중공축은 노치깊이가 3~4mm일때 급격히 감소한다. 이것은 업셋압력으로 중실축 중심부는 플래시 배출이 원활하지 못해 조직이 치밀해져서 굽힘강도가 강해진 것이고, 중공축은 업셋 압력에 대하여 중심부 내부로 플래시가 원활히 유동함에 따라 조직이 치밀하지 못해 굽힘강도가 약해진 것으로 사료된다.

(4) 용접계면의 조직사진 결과, 중실축은 마찰 회전반경이 큰 쪽은 마찰열로 인하여 미세화되었고, 마찰 회전반경이 작은쪽은 업셋압력 증가로 조직이 미세화되었고, 중공축은 마찰 회전반경이 큰 쪽에서만 미세화되었다.

## 참 고 문 헌


(1) Min, T. K., 1992, *Properties of Friction Welding Between the Back Metal of Bushing Part and Flange Part in A-Sn Alloy Metal Bearing*, Dong-A University, Busan, Korea, pp. 4~5.

(2) Lee, S. Y. and Yun, B. S., 2001, "Heat Transfer Analysis of Friction Welding of A2024 to SM45C," *Transaction of KSMTE*, Vol. 10, No. 1, pp. 65~70.

(3) Spindler, D. E., 1994, "What Industrial Needs to Know about Friction Welding," *Welding Journal*, Mar, pp. 37~42.

(4) Nicholas, E. D., 1997, "Where Industry Uses Friction Welding," *Welding Design and Fabrication*, Aug. pp. 74~76.

(5) Toms, H. H., 1962, "Properties of Friction Welds between and Dissimilar Metals," *Welding Research Supplement*, Oct. pp. 448~450.

(6) Vill, V. I., 1957, "Friction Welding of Metals," *Svarochne Proizvodstvo*, Vol. 3, No. 9, pp. 8~23.

(7) Park, K. H., Min, T. K., Yoon, Y. J. and Park, C. S., 2006, "A Study on the Joint Properties According to the Friction Welding Area Change of Carbon Steel(SM25C)," *Transaction of KSMTE*, Vol. 15, No.1, pp. 102~107.

(8) Kang, S. B., 1997, *Properties of Friction Welding Between Cu-W Sintering Alloy and Cu*, Chung-Nam National University, Daejon, Korea, pp. 10~13.

(9) Lee, S. J., 2005, *A Study on Mechanical Properties According to the Radius Change Position of Outer Circumference in A5083 Friction Welding*, Chung-Nam National University, Daejon, Korea, pp. 21~38.

(10) Chung, H. O., 1999, *A Study on the Friction Welding Properties of SM25C Steel Rod and STS304 Austenite Stainless Plate*, Chung-Nam National University, Daejon, Korea, pp. 12~15.

(11) Yun, B. S., 2000, *A Study on the Mechanical Properties of A2024 and SM45C*, Chung-Nam National University, Daejon, Korea, pp. 25.