

# 탄소강(SM25C)의 접합면적의 변화에 따른 마찰용접의 접합특성에 관한 연구

박근형\*, 민택기<sup>+</sup>, 운영주<sup>++</sup>, 박창수<sup>+++</sup>  
(논문접수일 2005. 10. 13, 심사완료일 2005. 11. 23)

## A Study on the Joint Properties according to the Friction Welding Area Change of Carbon Steel(SM25C)

Keun Hyung Park\*, Taeg Ki Min<sup>+</sup>, Young Joo Yoon<sup>++</sup>, Chang Soo Park<sup>+++</sup>

### Abstract

This study investigates the properties as the difference friction welding area on SM25C steel rod. The tensile and bending strength and of welded joints, the hardness distribution of welds, the microstructure of welds and the tensile fracture surfaces were mainly investigated through this experiment. The fixed friction welding conditions were revolution 2000rpm, friction pressure 70Mpa, friction time 1.5sec, upset pressure 100Mpa, upset time 2.0sec, upset length 2.8mm and changeable friction welding parameter was friction welding area.

**Key Words** : Friction Welding(마찰용접), Bending Strength(굽힘강도), Microstructure(조직), Hardness Distribution(경도분포), Tensile Strength(인장강도), Welding Condition(용접조건), Friction Time(마찰시간)

## 1. 서론

마찰용접은 이종재료를 접합하기 위한 수단으로 널리 이용되고 있다. 접합 시 금속간 화합물의 형성을 억제하기 때문에 용접하기 어려운 이종금속 간의 접합을 훌륭히 할 수 있게 하고, 용접 시 용접 변수를 적절히 조절함으로써 각 재

료의 장점을 살린 매우 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있어 용접 품질에 대한 신뢰성이 높아 기계구조물의 안정성, 강도 및 경제적인 측면에서 많이 사용되어 왔다<sup>(1-4)</sup>. 이러한 마찰용접으로부터 다양한 재료와 형상을 용접하기 위하여, 마찰용접 시 최적의 조건을 찾고자 마찰시간, 업셋시간, 마찰압력, 업셋압력 등의 변수를 다양하게 변화시킨 연구가 많이

\* 충남대학교 대학원 기계공학과 (khyupark@nate.com)  
주소: 305-710 대전광역시 유성구 봉명동 홍인오피스텔 1203  
+ 충남대학교 기계공학과  
++ (주)미래이앤지  
+++ 조선대학교 대학원 생산기공공학과

시행되어 왔다<sup>(5,6)</sup>. 이러한 연구를 보면, 마찰로 인하여 생성된 열은 접촉면에서만 국한되지 않고 접촉, 표면을 따라서 어떤 두께로 된 층을 형성하여 온도영역을 이루게 된다. 이러한 영역은 실제 접촉점에서 반구형을 지니게 되고 어느 정도 깊이에서는 등은 표면을 형성하게 된다<sup>(7-9)</sup>. 즉, 열영향부의 축방향으로의 모양이 외주부(Circumference)에서 그 영역이 가장 크고, 중심부로 갈수록 그 영역이 점차 작아지게 된다. 이러한 형상은 접합부에 외력이 가해질 경우 접합 단면에 불균일한 응력을 발생시켜, 응력집중을 일으키므로, 미세하게 기계적 성질을 저하시킬 수 있다. 따라서, 본 연구는 이러한 점에 착안하여 위와 같은 열영향부의 형상이 만들어지는 원인 중 한가지로 생각되는 마찰부의 단면적을 고려하기 위함이며, 또한 직접 발열이 발생하는 부위로서 마찰부 단면적에 따른 접합부의 기계적 성질을 고찰해 볼 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 기계적 성질이 우수하고 값이 저렴한 SM25C 봉재를 사용하여, 마찰시간, 업셋시간, 마찰압력, 업셋압력의 최적조건하에서 마찰용접된, 지름 20mm의 SM25C 환봉의 업셋길이를 측정하여, 그 업셋길이가 회전축과 고정축의 재료가 동일한 길이만큼 flash로 소모된다고 가정하고, 그 업셋길이를 양분하여 회전축과 고정축 각 재료의 마찰되는 부분의 단면적을 선반으로 가공하여, 마찰용접시 마찰부 단면적의 변화에 따른 기계적 특성을 연구하여, 마찰부의 단면적 변화가 접합부의 기계적 특성에 어떤 영향을 주는지를 고찰해 보고자 한다.

## 2. 시험편 및 실험 방법

### 2.1 실험 방법

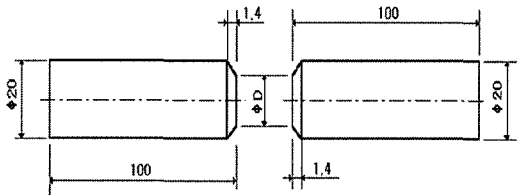
본 연구에서 마찰용접의 제어방식으로는, 마찰 용접 후 용접부의 특성을 알아보기 위하여 직접 마찰이 이루어져 발열이 되는 부분의 단면적을 독립변수로 하여, 이 단면적의 변화에 따른 종속변수인 인장강도 및 굽힘강도를 노치 인장시험편을 사용하여 마찰부 단면적 조건에 따른 SM25C 탄소강의 인장과 굽힘강도를 실험을 통해서 얻었으며, 용접면에서 반지름 방향의 경도 및 조직들에 대한 관찰을 실시하였다.

예비 실험을 통하여 마찰압력  $P_1$ , 업셋압력  $P_2$ , 마찰시간  $T_1$ 을 여러 가지 경우로 설정하고 실험한 다음, 최대 인장강도가 나오는 조건에서 지름 20mm의 마찰부 단면적을 갖는 시험편을 마찰용접하여 이로부터 나온 업셋길이를 측정하였다. 이 실험을 거쳐 측정된 업셋길이는 회전축과 고정축의 재료가 동일한 길이만큼 flash로 소모되는 것으로 가정하고 Fig. 1과 같이, 그 업셋길이를 양분하여 회전축과 고정축 각

재료의 마찰부를 업셋길이에 해당되는 부분만큼 마찰부의 지름을 선반 가공하여 각 단면적 별로 마찰용접을 실시하였다.

회전수는 척에 고정된 용접시험편이 스핀을 일으키지 않고 충분한 발열이 일어날 수 있는 2000rpm으로 하였고, 마찰압력은 70Mpa로 설정하였다. 또한 업셋압력은 용접 시험편에 가압력에 의한 변형을 주지 않는 범위에서 100Mpa로 설정하였고, 회전척에서 돌출된 시험편의 길이는 20mm가 되도록 하였다.

이와 같은 용접 조건하에서 마찰부의 지름 D를 일정한 간격으로 변화시켜 실험을 실시하였으며, 이때 사용된 SM25C 탄소강 환봉의 화학 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 나타내었고, 용접조건은 Table 3에 나타내었다. 그리고, 실험에 사용된 시험편은 치수에 따라 인장과 압축 시험편을 각각 5개씩 총 50개를 사용하였다.



Diameter of friction area D  
(D=12mm, 14mm, 16mm, 18mm, 20mm)

Fig. 1 Dimensions of test specimen

Table 1 Chemical compositions of SM25C(Wt. %)

	C	Si	Mn	Cr	P	Ni	S	Fe
SM25C	0.26	0.15	0.50	-	0.03	-	0.065	Bal.

Table 2 Mechanical properties of SM25C

	Tensile strength (MPa)	Bending strength (Mpa)	Hardness (Hv)	Elongation (%)
SM25C	575	1283	210	33

Table 3 Friction welding conditions

Spindle revolution (N)	Friction pressure ( $P_1$ )	Upset pressure ( $P_2$ )	Friction time( $t_1$ )	Upset time( $t_2$ )	Friction Diameter (D)	Upset Length (L)
2000rpm	70Mpa	100Mpa	1.5sec	2.0sec	20mm	2.8mm
					18mm	
					16mm	
					14mm	
					12mm	

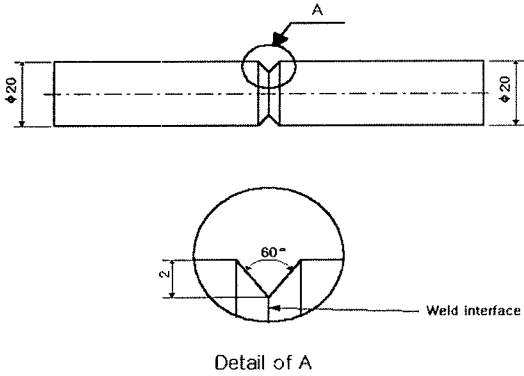


Fig. 2 Tensile test specimen

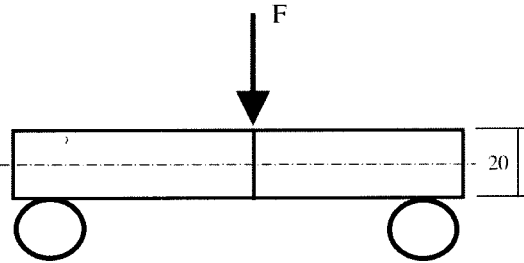


Fig. 3 Bending test specimen

인장시험편은 Fig. 2와 같은 인장 시험편을 만들고, 접합부에 노치를 주어 인장 시험을 실시하였다.

인장시험은 시험편의 상하부위를 측정면으로 부터 30mm씩 동일하게 인장 시험기에 물린 후 축방향으로 하중을 가하여 인장강도를 측정하였다.

그리고, 굽힘시험편은 Fig. 3과 같이 굽힘 시험편을 만들었고, 마찰 용접된 시험편의 마찰부 Flash만을 제거한 후 삼점 굽힘 방법으로 굽힘 강도를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인장시험

Fig. 4은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 70Mpa, 업셋압력 100Mpa, 마찰시간 1.5sec, 업셋시간 2.0sec, 업셋길이 2.8mm의 조건으로 마찰부의 단면적을 일정하게 변화시켜 접합하였을 때, 마찰부의 단면적과 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다. 위의 조건에서 모재와 마찰부의 지름이 같은 경우(D=20mm)로 마찰용접후, 계측하여 얻어진 업셋길이에 기초하여 그 업셋길이에 해당되는 부분의 단면적 변화에 따

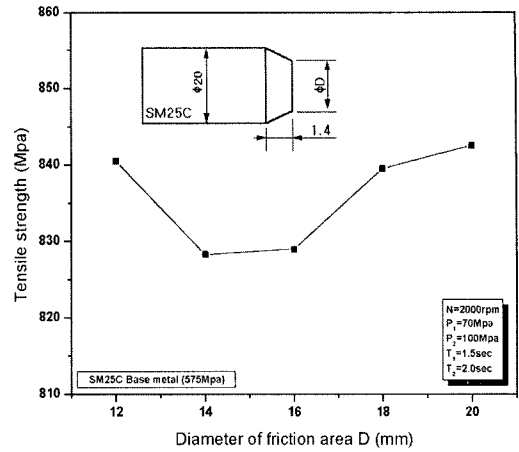


Fig. 4 Relationship between diameter of friction area D and tensile strength

라 인장강도가 어떻게 변하는지 실험하였다.

Fig. 4에서 보여주는 바와 같이, 마찰부의 지름이 모재와 같은 경우인 D=20mm에서 모재의 단면적보다 좀더 작아진 D=14mm까지는 일정하게 인장강도가 감소하다가 마찰부의 지름 D=12mm에서는 반대로 급격히 증가하여, D=20mm에서의 인장강도와 거의 일치하게 나오는 것을 볼 수 있다. 마찰부의 지름 D=12mm에서 인장강도의 값이 급격히 증가한 것은, 마찰부의 지름 D=14mm 이후부터는 단면적에 대하여, 업셋압력은 일정하지만 단면적의 크기가 작아짐으로 하여, 업셋압력의 크기가 기존의 압력보다 상대적으로 크게 작용하였으며, 또한 이러한 압력으로 인하여 마찰용접시 발생이 더 크게 발생하였기 때문으로 사료된다.

결과적으로, 이 실험에서 업셋길이가 일정할 때, 마찰부의 지름 D의 변화에 따른 인장강도는, 마찰부 단면적이 일정하게 감소할 때 접합부의 인장강도의 값도 비례하여 감소하다가 모재 단면적의 49~36%에 해당되는 단면적의 마찰용접에서는 인장강도의 값이 반대로 증가하여, 마찰부 단면적 36%부근에서는 모재와 마찰부 단면적이 같은, 마찰부 지름 D=20mm에서의 인장강도의 값과 큰 차이가 없다.

#### 3.2 굽힘시험

Fig. 5은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 70Mpa, 업셋압력 100Mpa, 마찰시간 1.5sec, 업셋시간 2.0sec, 업셋길이 2.8mm의 조건으로 마찰부의 단면적을 일정하게 변화시켜 접합하였을 때, 마찰부의 단면적과 굽힘강도와의 관계를 나타낸 것이다.

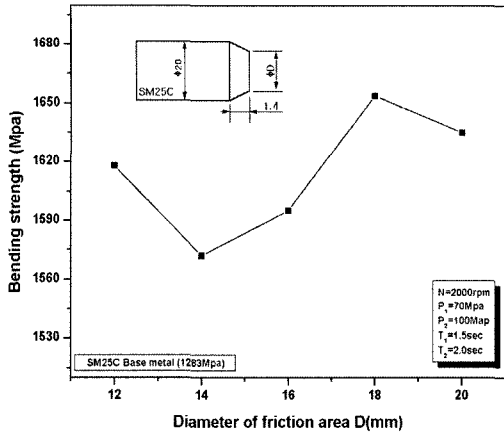


Fig. 5 Relationship between diameter of friction area D and bending strength

용접부의 굽힘강도는 인장강도와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 마찰부 지름 D=20mm와 D=18mm의 구간에서 굽힘강도는 증가하다가, 마찰부 단면적이 감소함에 따라 굽힘강도 역시 비례하여 감소하며 마찰부 지름 D=14mm에서부터 증가하여 D=12mm에서는 D=20mm에서의 굽힘강도의 값과 큰 차이를 보이지 않고 있다.

SM25C 봉재는 냉간 인발재로서 이것의 용접부에서는 재결정 온도 이상으로 가열된 영역이 연화되고, 강도는 저하된다. 이 때문에, 적어도 모재와 동등의 강도가 요구될 때에는 연화역의 폭을 좁히는 용접조건 선택이 중요하다. 즉, 인장강도에서와 비슷하게 D=14mm에서부터 D=12mm까지 강도의 값이 증가하는 것은, 이 지름의 범위에서 마찰용접을 하게 되면 용접부의 연화역이 감소되었기 때문으로 사료된다. 따라서 굽힘강도의 시험에서도 인장강도에서처럼 마찰부의 단면적이 모재 단면적의 36%에 이르러서는 모재와 마찰부 단면적이 같은 경우에서의 굽힘강도의 크기와 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

그리고, D=18mm에서 D=20mm보다 굽힘강도가 크게 나온 이유는 경도와 조직의 형상에 따라 인장강도와 굽힘강도가 시험편 일부에 다소 차이가 있기 때문으로 사료된다.

### 3.3 조직 시험

Fig. 6과 Fig. 7는 회전수 2,000rpm, 마찰압력 70Mpa, 업셋압력 100Mpa, 마찰시간 1.5sec, 업셋시간 2.0sec, 업셋길이 2.8mm의 조건에서 마찰부의 단면적에 일정한 변화를 주어 접합한 경우에 용접면의 조직을 400배로 확대한 현미

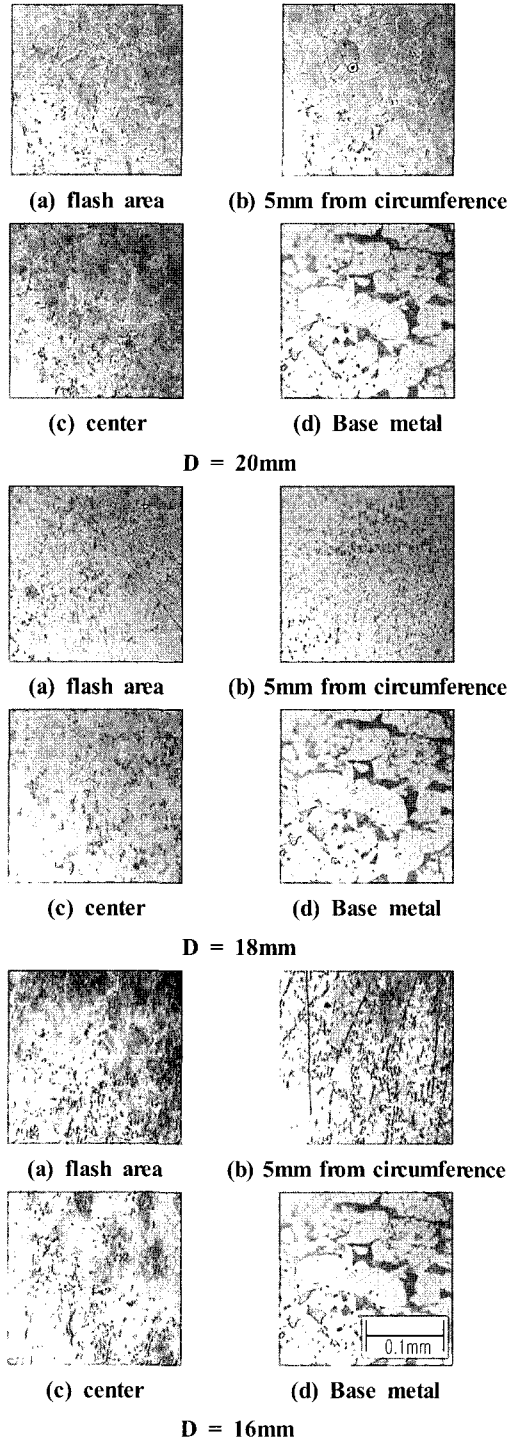


Fig. 6 Microstructure of friction welds(D=16, 18, 20mm)

경 조직이다. Fig. 6과 Fig. 7의 사진 (a)는 마찰용접후 flash의 조직을 보여주고 있으며, (b)는 외주부로부터 중심방향으로 5mm 떨어진 곳의 조직이며, (c)는 용접부 중심의 조직, 그리고 (d)는 모재조직을 나타내고 있다.

사진에서 보는 바와 같이, SM25C 강은 페라이트와 펄라

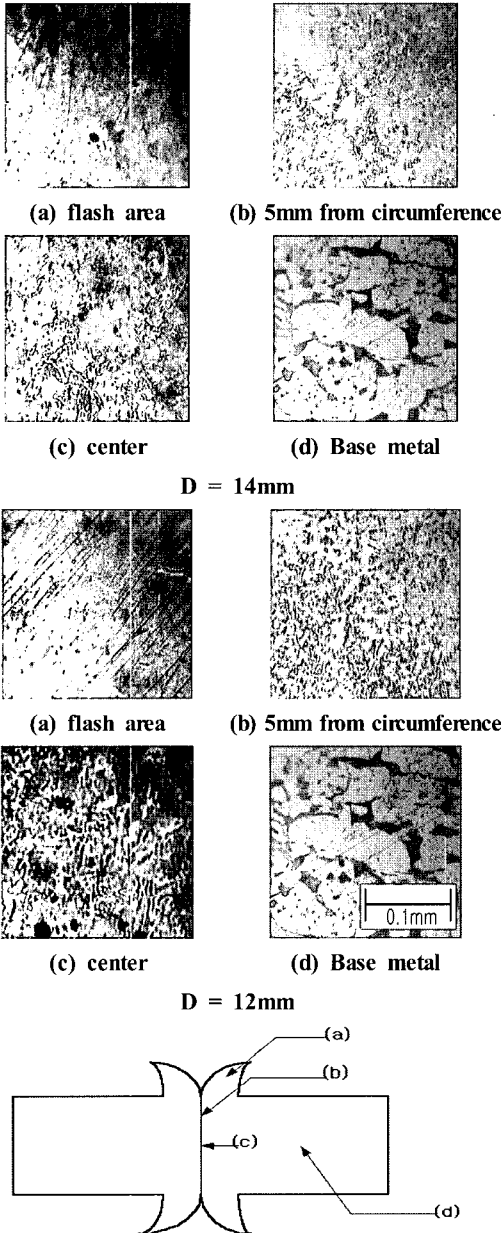


Fig. 7 Microstructure of friction welds(D=12, 14mm)

이트가 나타나고 있으며, 모재에서 열영향부로 갈수록 탄소의 확산 이동에 의해 페라이트와 펄라이트 조직이 점차 미세화 되었으며, 모재에서 나타난 페라이트와 펄라이트

조직들은 접합부 근처에서 유동라인들을 형성하면서 외주 방향으로 방향이 바뀌었다. 이러한 유동방향의 급격한 변화는 이 영역내의 온도 기울기가 급격하다는 것을 보여주며 이러한 소성 영역에서의 유동은 모재 축 방향에 수직으로 형성되고, 용접면에 평행하고 바깥 방향으로 방사형을 나타낸다.

Fig. 6과 Fig. 7로부터 마찰부 지름 D에 따른 용접면의 반지름 방향으로의 조직을 보면, 마찰부 지름 D=20mm부터 D=14mm까지는 마찰용접면의 조직에는 큰 차이를 보이지 않고 있지만, D=12mm인 경우에는 용접면의 중심으로부터 외주부로 갈수록 D=20mm의 것보다 페라이트의 결정입도가 더 치밀하게 형성되어 외주부 부근의 열영향부(HAZ)에서는 섬세한 베이나이트 또는 저탄소 마르텐사이트의 구조를 보여주고 있다. 또한 이곳에서 경도가 높게 나타날 것으로 예상된다.

### 3.4 경도 시험

Fig. 8는 마찰부 지름 D의 변화에 따른 마찰용접부 용접면의 비커스(Vickers) 경도 분포를 보여주는 도표로서, 용접면의 중심부에서 외주까지 반지름 방향으로 0.2mm 간격으로 경도값을 측정된 결과이다.

Fig. 8의 경도분포 값을 마찰부 지름 D에 따라 살펴보면, D=18mm에서부터 D=14mm까지의 경도분포는 그 형태가 비슷한 값을 취하지만, D=20mm와 D=12mm의 경우를 보면, 그 값들의 분포가 서로 현저히 다를 수 있다.

우선 D=20mm의 경우 용접면의 중심부에서 경도값이

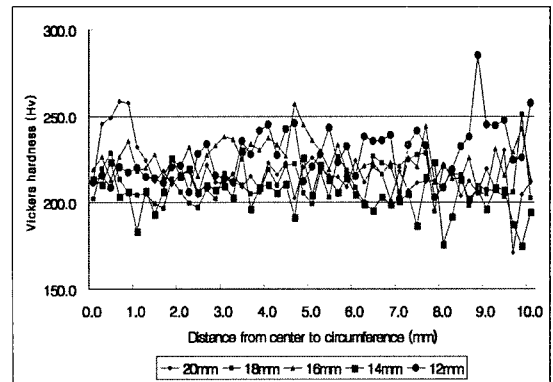


Fig. 8 Hardness distributions from center to circumference on weld interface

증가하다가 외주부로 갈수록 그 값이 감소하는데 반해,  $D = 12\text{mm}$ 의 경우에는 용접면의 중심에서는 경도가 낮고 외주부로 갈수록 부분적으로 경도값의 상승이 있음을 볼 수 있다. 이러한  $D = 12\text{mm}$ 의 경우에서 볼 수 있는 경도값의 상승 원인은 Fig. 6과 Fig. 7에서 보여주는 것과 같은 용접면의 중심부에서 외주부 방향으로 진행할수록 형성되어지는 조직이 엷어질수록 동시에 용접부가 열간, 냉간가공 과정을 겪으면서 섬세한 조직으로 형성되었기 때문이다. 따라서 엷어질수록 조직이 일정하게 하였을 경우, 마찰부의 지름이 작을수록 용접면에서의 경도값은 중심부에서 외주부로 갈수록 점차 증가함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 SM25C 탄소강 봉재끼리 마찰용접시, 마찰부 지름의 크기를 일정하게 변화시켜 그에 따른 인장강도, 굽힘강도, 조직 및 경도에 대한 실험을 시행하여 보았다. 사용된 용접조건은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 70Mpa, 엷어질 압력 100Mpa, 마찰시간 1.5sec, 엷어질시간 2.0sec, 엷어질길이 2.8mm로 고정하였고, 마찰부 지름  $D$ 를 독립변수로 선택하여 변화를 주면서 마찰용접하여 용접부의 기계적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 용접부의 형상을 관찰한 결과, 마찰부의 지름  $D$ 가 작아질수록 flash의 두께는 작아지며, 그 반지름의 크기는 증가하였다. 또한,  $D < 20\text{mm}$ 인 경우, 용접 후의 플래시로부터 용접면의 구분이 확실치 않게 되었다.
- (2) 인장 및 굽힘시험 결과, 엷어질 길이를 회전축과 고정축에 1.4m로 일정하게 한 조건에서,  $14\text{mm} < D < 20\text{mm}$ 에서 인장강도는 용접지름  $D$ 와 비례하여 감소하다가,  $12\text{mm} < D < 14\text{mm}$ 에서 반대로 증가하여 단면적이 36%( $D = 12\text{mm}$ )일 때는 단면적 100%( $D = 20\text{mm}$ )일 때 나타내는 인장강도 크기의 99% 이상 되는 인장 및 굽힘강도의 크기를 나타냈다. 인장강도의 최대값(842.5Mpa, 모재강도의 168%)은  $D = 20\text{mm}$ 일 때, 굽힘강도의 최대값(1654 Mpa, 모재강도의 177%)은  $D = 18\text{mm}$ 일 때 나타났다.
- (3) 용접면의 조직시험 결과, 모재와 열영향부에서의 조직은 뚜렷하게 구분되었다.  $D = 20\text{mm}$ 일 때의 조직은 용접면의 중심부에서 외주부로 가면서 탄소의 확산이 다소 이루어진 것으로 보이나, 그 정도의 차이에는 큰 변화가 없다. 그러나  $D$ 가 작아지면서 외주부의 방향으로 갈수록 탄소의 확산이 활발히 이루어져 점차 미세한 조직으로 되었다.

- (4) 경도 측정 결과,  $D = 20\text{mm}$ 인 경우의 경도측정에서는 용접면의 중심부( $0 \leq L \leq 1.0\text{mm}$ ) 최대값 258Hv를 얻었으며,  $L \geq 1.5\text{mm}$ 부터는 대체적으로 균일한 분포를 이루고,  $L = 9.8\text{mm}$ 에서 최소 경도값 171Hv를 나타냈다. 이와는 반대로,  $D = 20\text{mm}$ 인 경우, 외주 부근의  $L = 9\text{mm}$ 에서 최대 경도값 285Hv를 나타냈다.  $D = 18\text{mm} \sim 14\text{mm}$ 의 경도측정에서는  $D$ 에 따른 경도값의 차이는 보이고 있지만, 대체적으로 적은 변화율을 나타내면서 균일한 양상을 보이고 있다.

#### 참고 문헌

- (1) Spindler, D. E., 1994, "What Industry Needs to Know about Friction Welding," *Welding Journal*, March, pp. 37-42.
- (2) Nicholas, E. D., 1977, "Where Industry Uses Friction Welding," *Welding Design and Fabrication*, August, pp. 74-76.
- (3) Tomas H. Hazlett, 1962, "Properties of Friction Welds between Dissimilar Metals," *Welding Research Supplement*, Oct. pp. 448s-450s.
- (4) Vill, V. I., 1957, "Friction Welding of Metals," *Svarochne Proizvodstvo*, Vol. 3, No. 9, pp. 8-23.
- (5) Yun, B. S., 1998, "A Study on Insert Metal in Friction Welding of A2024 to SM45C," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 7, No. 6, pp.19-27.
- (6) Kim, U. W. and Kim, T. K., 2001, "A Study on the friction weldability of inconel alloy-stainless steel", *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 10, No. 2, pp. 73-78.
- (7) Cheng, C. J., 1962, "Transient Temperature Distribution during Friction Welding of Two Similar Materials in Tubular Form," *Welding Research Supplement*, Vol. 41, No. 12, pp. 542s-550s.
- (8) Yu, D. P., et al, 1971, "Scope for Temperature Regulation in the Friction Welding of Dissimilar Materials," *Svar. Proiw*, No. 2, pp. 1-3.
- (9) Duan, L., Du, S., and Shi, W., 1994, "Energy Transformation Analysis during Friction Welding of Superalloy Inconel 718," *China Welding*, Vol. 3, No. 1, pp. 29-34.