

SCNcRM-2B와 SM25C의 마찰용접특성에 관한 연구

이세경*, 심영만⁺, 민택기⁺⁺

(논문접수일 2006. 2. 28, 심사완료일 2006. 6. 2)

A Study on the Properties in Friction Weldability of SCNcRM-2B and SM25C

Se-Gyoung Lee*, Young-Man Sim⁺, Taeg-Ki Min⁺⁺

Abstract

This study deals with the friction welding of SM25C and SCNcRM-2B; The friction time was variable conditions under the conditions of spindle revolution 2,000rpm, friction pressure of 100MPa, upset pressure of 150MPa, and upset time of 4.0 seconds. Under these conditions, the microstructure of weld interface, tensile fracture surface and mechanical tests were studied, and so the results were as follows.

1. When the friction time is 2.0 seconds, the tensile strength of friction welds was 874MPa, which is around as much as 117% of the tensile strength of base metal(SM25C), the bending strength of friction welds was 1,354MPa, which is around as much as 108.9% of the bending strength of base metal(SM25C).
2. At the same condition, the maximum vickers hardness was Hv443 at SCNcRM-2B nearby weld interface, which is higher Hv20 than condition of the friction time 0.5 seconds.
3. The results of microstructure analysis show that the structures of two base materials have fractionated and rearranged along a column due to heating and axial force during friction, which has affected in raising hardness and tensile strength.

Key Words : Friction welding(마찰용접), Friction time(마찰시간), Friction pressure(마찰압력), Tensile strength(인장강도), SCNcRM-2B, SM25C

* 충남대학교 대학원 기계공학과 (prince54@empal.com)

주소: 305-764 대전시 유성구 궁동 220번지

+ 충남대학교 산업대학원

++ 충남대학교 기계공학과

1. 서론

마찰 용접은 비가열식 고상(固相)용접으로 피용접재에 회전운동과 함께 가압시켜 접촉면에서 발생하는 마찰열을 이용하여 접합하는 용접방법⁽¹⁾으로 접촉면이 용융되기 전 일정한 온도에 도달하였을 때, 압력을 가하면 소성변형을 일으키면서 접합되므로 접합강도가 우수하고, 신뢰성이 좋으며, 격심한 소성운동으로 결정의 조대화나 금속간 화합물이 생기기 어렵고, 접합부에서만 발열하므로 일반 용접에 비하여 열효율이 높다.

또한, 마찰용접법은 국부적인 마찰열에 의해 접합부에서만 열이 발생하기 때문에, 타 용접에 비해 용접온도가 낮아 금속간 화합물의 발생이 적고 고온균열이 적으며, 매우 좁은 열영향부(HAZ)⁽²⁾를 만들고, 용접시 용접변수를 적절히 조절함으로써 각 재료의 장점을 살린 매우 우수한 기계적 성질을 얻을수있어 용접품질에 대한 신뢰성이 높아 기계구조물의 안전성, 강도 및 경제적인 측면에서 많이 사용되어 왔다.⁽³⁻⁶⁾

일반적으로 SCNCRm-2B는 매우 우수한 강인강으로 구 조용 Ni-Cr강에 0.3%이하의 Mo을 첨가해서 강인성을 증가시키고 담금질성을 향상시킬 뿐만 아니라 뜨임 매질성을 완화시킨 저합금강이다. 일반적으로 자동차의 크랭크축, 연결봉, 강력볼트, 기어 등의 중요 기계부품에 광범위하게 활용됨에 따라, 산업현장에서 SM25C⁽⁷⁾와의 결합의 필요성이 매우 높아졌다.

본 연구에서는 기계적 성질이 우수하고 값이 저렴한 SM25C와 보통탄소강보다 경화능이 크며 내충격성 및 내피로성이 높은 SCNCRm-2B를 마찰용접하여 용접부에 대한 접합특성 및 신뢰성을 고찰하고자 하였고, 이를 위하여 마찰 시간을 주요 변수로 하여 용접부에 대한 인장강도 시험, 굽힘강도 시험, 접합부의 파단형상, 현미경 조직분석, 경도시험 등을 실시하여, 기계적성질의 향상과 용접결함을 극소화시킬 수 있는 최적의 마찰용접 조건⁽⁸⁾을 찾아내고자 하는데 연구의 목적을 두었다.

2. 실험재료 및 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 SM25C와 SCNCRm-2B 이다. SM25C는 Table 1과 같은 성분의 환봉을 구입하였으며, SCNCRm-2B는 전기로에서 용해하여 건조형으로 제작된 주형에 주입하여 제작한 후 담금질(850℃에서 4시간 30분 유지한 후 수냉)과 템퍼링(620℃에서 3시간 30분 유지한 다음 노냉후 수냉)처리를 하였다. 재료의 화학 성분과 기계적

성질을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

본 실험에 사용된 마찰용접기는 브레이크 타입(NSF-30H, 남선기공, Revolution: 2,000rpm, Maximum axial force: 98,000N)으로, 회전축, 고정축, 회전을 급정지시키기 위한 디스크 방식의 브레이크와 압력을 얻기 위한 유압펌프, 유압 실린더, 피스톤 등의 유압장치, 플래시 제거장치, 용접 사이클을 제어하기 위한 시간·유압 제어장치, 고정척 테이블의 운동을 제어하기 위한 리미트스위치 등으로 구성되어 있다.

마찰용접부의 기계적 시험을 위해 최대 용량 50ton의 만능재료시험기(Model: DYHU-50-AD, Dae Yeong)를 사용하였으며, 경도시험은 마이크로 비커어즈 경도시험기(Model: MVK-H1, Mitutoyo Co., Jap)를 사용하였다. 예비실험을 통하여 회전수, 압력, 시간 범위를 설정하였다. 회전수는 척에 고정된 용접시험편이 스핀(spin)을 일으키지 않고 충분한 발열이 일어나는 2,000rpm으로 하고, 마찰압력은 충분한 발열을 할 수 있는 100MPa의 압력으로 하였다. 같은 방법으로 엇압력 또한 용접 시험편에 척킹(chucking)력에 의한 변형을 주지 않는 범위 내에서의 최대 압력인 150MPa로 설정하였다.

Table 1 Chemical compositions of materials(Wt. %)

Materials Elements	SCNCRm-2B	SM25C
C	0.22	0.24
Si	0.49	0.25
Mn	1.24	0.50
P	0.015	0.03
S	0.01	0.03
Ni	1.80	-
Cr	0.70	-
Mo	0.22	-
Fe	Bal.	Bal.

Table 2 Mechanical properties of materials

Materials	Mechanical properties			
	Tensile strength (MPa)	Bending strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
SCNCRm-2B	1,150	1,985	11.2	251
SM25C	748	1354	35	198

위의 조건하에서 용접부의 강도를 향상시킬 수 있는 시간 규제법을 활용하여, 마찰시간을 변수로 하여 실험하였다.

Table 3과 같은 용접조건으로 본 실험을 실시하였으며, 인장시험편은 Fig. 1과 같이 제작하였다.

마찰용접부의 굽힘강도를 시험하기 위하여 Fig. 2와 같이 지그(jig)에 펀치의 하중작용점이 용접계면에 위치하도록 시험편을 장착하고 크로스헤드(cross head)의 이송속도를 1mm/min로 설정하여 굽힘시험하였다. 굽힘강도는 다음 식 (1)으로 구하였다.

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

여기서, σ_b : 굽힘강도, M : 굽힘모멘트, Z : 단면계수,

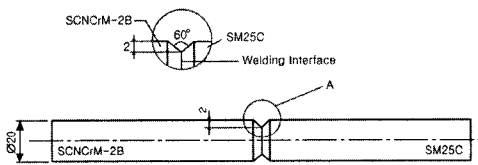


Fig. 1 Specimen of tensile test

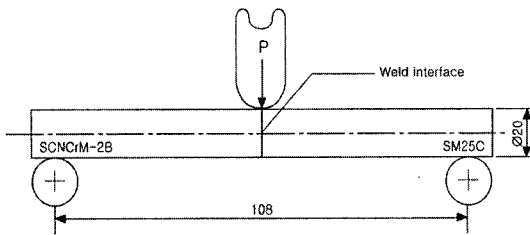


Fig. 2 3-Point Bending test specimen

Table 3 Friction welding conditions

Spindle revolution (N, rpm)	Friction pressure (P ₁ , MPa)	Upset pressure (P ₂ , MPa)	Friction time (t ₁ , sec)	Upset time (t ₂ , sec)
2,000	100	150	0.5	4.0
			1.0	
			1.5	
			2.0	
			2.5	
			3.0	
			3.5	

P_{max} : 최대하중, ℓ : 지점간 거리, d : 시험편 직경

조직검사는 광학현미경을 이용하였으며 시험편은 선반과 밀링머신을 이용하여, 축단면을 절단한 다음 채취한 시험편을 폴리코트(ploycoat)로 마운팅한후 용접 단면을 #200, #600, #800, #1500의 샌드페이퍼(sandpaper)로 1차 연마한 후 2차 연마재로 입경 1 μ m의 알루미나 파우더를 증류수와 혼합하여 사용하였고, 그라인드 폴리셔(Model 95-2810)로 폴리싱하였다. 시험편의 부식은 피크린산(picric acid)과 물의 비율을 1:9로 혼합하여 에칭액을 만들었으며, 시험편을 에칭액에 10sec ~ 30sec간 담근후 에칭액 제거를 위하여 흐르는 물에 세척하고 알코올로 최종 씻어내어 드라이어로 다시 2분간 건조시켰으며 위 부식과정은 과부식을 방지하기 위해 신속히 처리하였다.

경도 시험은 용접시험편의 축 단면을 절단하여 연마(polishing)한 후, 마이크로비커스 경도시험기의 클램프에 고정시킨 후 하중을 200g의 하중으로 설정한 후 Fig. 3과 같이 원주로부터 중심부 쪽으로 길이(D)를 1, 3, 5, 7, 9mm씩 증가하면서 경도를 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접부 형상 및 단면

Photo 1은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 100MPa, 업셋압력 150MPa, 마찰시간 2.0sec, 업셋시간 4.0sec, 업셋길이 4.5mm의 조건에서 마찰부의 마찰시간(t₁)의 변화에 따른 용접부 외관의 변화를 나타낸 것이다.

Photo. 1에서 보여주는 바와 같이, 마찰시간 t₁=0.5sec로부터 t₁=3.5sec까지 0.5sec씩 마찰시간이 증가함에 따라서 플래시(flash)가 증가하였고, 강도가 낮은 SM25C의 반지름이 점점 커지고 있는 반면에, 그 두께는 점차 줄어들고 있음

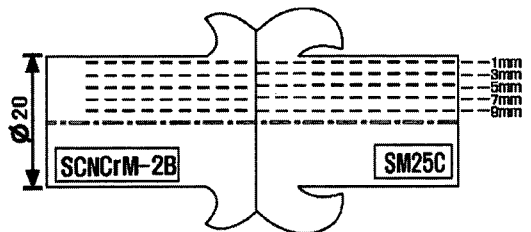


Fig. 3 Hardness measurement point of perpendicular direction from the welding section

을 알 수 있다. $t_f=0.5\text{sec}$ 와 $t_f=1.5\text{sec}$ 의 차이는 크게 나지 않지만, 마찰시간 $t_f=2.0\text{sec}$ 와 $t_f=3.5\text{sec}$ 에서는 플래시(flash) 형상에 큰 변화가 있음을 볼 수 있다. 이사진에서 볼 수 있듯이 SM25C측의 플래시가 크게 발생하는 반면, 강도가 높은 SCNcRM-2B측의 플래시는 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 접합부의 단면사진을 보면 SCNcRM-2B쪽은 용접시 발

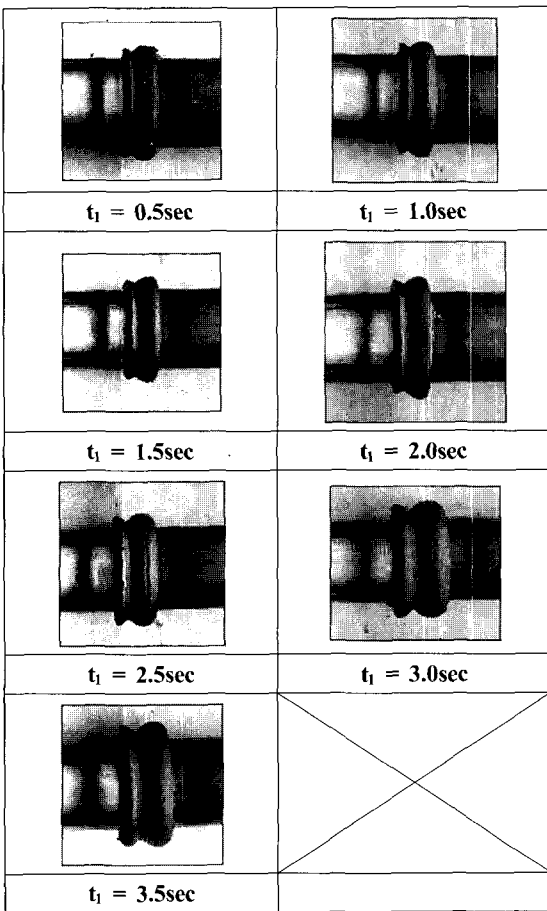


Photo. 1 Appearance of welded joint

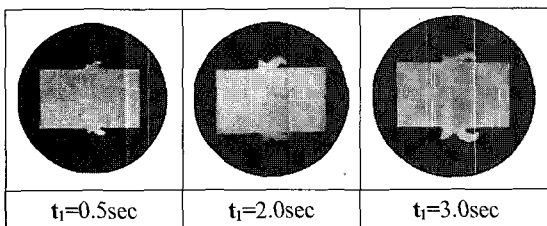


Photo. 2 Shape of flash

생하는 열에 의하여 용접부 주위에 산화막이 형성되어 있다. Photo. 2는 위와 같은 조건에서 마찰시간 t_f 의 변화에 따른 플래시(flash)의 형상을 단면에서 관찰한 것이다.

3.2 인장시험

Fig. 4는 회전수 2,000rpm, 마찰압력 100MPa, 업셋압력 150MPa, 업셋시간 3.0sec, 4.0sec에서의 마찰시간 0.5sec에서 3.5sec까지 0.5sec간격으로 변화시킨 마찰용접부의 인장강도를 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 인장강도는 마찰시간이 증가함에 따라서 증가하다가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 최고 인장강도는 마찰시간이 2.0sec일 때로, 이 때의 인장강도는 874MPa로 이는 SM25C의 모재 인장강도(748MPa)의 약 117%에 해당한다. 마찰시간이 증가하면서 2.0sec를 정점으로하여 인장강도가 감소하는 추세를 보이고 있다.

Photo. 3은 마찰시간 변화에 따른 인장파단면을 나타내고 있는데, 보이는 바와 같이 SM25C에서 파괴되는 것을 알 수가 있다. 여기서 SCNcRM-2B의 단면에서 외주부의 단면이 열을 받아 색이 변한 것을 볼 수 있고, 덤플이 2.0sec일 때 잘 발달한 것을 볼 수 있다.

3.3 굽힘시험

Fig. 5는 인장강도에서와 같은 조건으로 마찰변화에 따른 굽힘강도를 실험한 분포도이다.

일반적으로 마찰용접 접합부에서는 재료의 섬유조직이 업셋과정시 소성화된 영역의 플래시로 배출하게 되는데 이

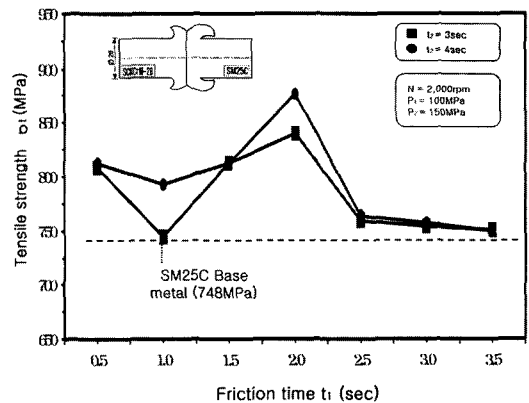


Fig. 4 Relationship between friction time and tensile strength

Upset Pressure Time (t_1)	SCNCRM-2B	SM25C
(a) 0.5sec		
(b) 1.0sec		
(c) 1.5sec		
(d) 2.0sec		
(e) 2.5sec		
(f) 3.0sec		
(g) 3.5sec		

Photo. 3 Friction welded joints fractured in tensile test

때 용접면에 대하여 평행하게 재배열된다. 이러한 조직의 재배열은 축에 대한 수직방향의 부하(loading) 시 취약한 성질을 갖는 것으로 여겨지고 있다. 이러한 수직방향의 기계적



(a) $t_1 = 3.0$ sec(Bending angle 6°)



(b) $t_1 = 2.0$ sec(Bending angle 19°)

Photo. 4 Bending test specimen

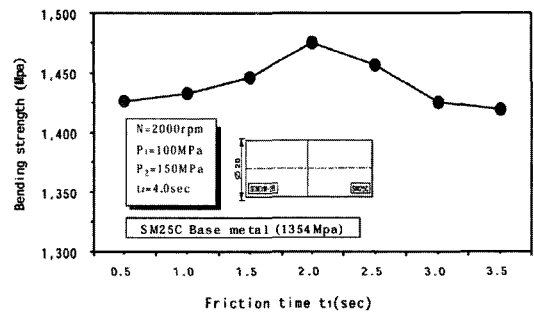


Fig. 5 Relationships between friction time and bending strength

성질을 평가하기 위한 방법으로는 굽힘시험, 전단시험이 있는데 본 연구에서는 굽힘시험을 실행하였다.

Fig. 5에서 나타나듯이 마찰시간이 0.55sec일때 1,423MPa로, 낮은 굽힘강도를 보이다가 서서히 증가하면서 2.0sec일 때 SM25C의 모재 굽힘강도(1,354MPa)에 비해 약 108.9%에 해당하는 1,475MPa로 만족할 만한 강도를 얻었고 이후 1,425MPa, 1,419MPa로 감소하였다. 이는 앞에서 설명한 인장강도 도표와 유사한 경향을 보이고 있다.

마찰시간이 3.5sec에서 굽힘강도가 낮은 것은 마찰용접 초기의 엷개과정에서 과다한 발열에 의해서 재료의 소성유동이 상대적으로 커져 엷개압력이 충분히 작용하지 못하여 접합력이 떨어진 것으로 사료되며 2.5sec를 정점으로 감소하는 것은 2.0sec일 때 보다는 많은 플래시 배출로 새롭게 드러나는 모재가 열량이 커져 상대적으로 많은 소성유동이 기인하여 접합이 제대로 이루어지지 않은 것으로 여겨진다.

Photo. 4는 마찰시간 변화에 따른 휘어진 모양을 보여주고 있으며 마찰시간이 3.0sec, 2.0sec일 때를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 모든 시험편은 적은 굽힘각에서도 용접면에서 균열이 발생하였다. 마찰시간이 2.0sec일

때 굽힘각은 19도로 가장 큰 굽힘강도를 나타내고 있다.

3.4 용접부의 미세조직

Photo. 5는 SCNCRM-2B와 SM25C를 최적조건(마찰압력 100MPa, 업셋압력 150MPa, 마찰시간 2.0sec, 업셋시간 4.0sec)에서 마찰용접한 시험편의 플래쉬부, 용접계면과 HAZ, 모재부를 나타내는 현미경조직(100배율)이다. 여기서 보면 SM25C쪽이 SCNCRM-2B쪽에 비해 과부식이 되는 현상을 볼 수 있다. 이는 SCNCRM-2B가 SM25C에 비해 내식성 원소인 니켈(Ni), 크롬(Cr)을 많이 함유하여 내식성이 강하기 때문으로 사료된다.

또한 모재의 섬유조직 배열이 미세한 형태로 계면근처에 분포되어 있는 것을 볼 수 있는데 이는 마찰과정과 업셋과정 시 열에 의한 소성변형, 가압력에 의한 기계적 단절현상 등에 의해 조직이 미세화된 것으로 사료된다.

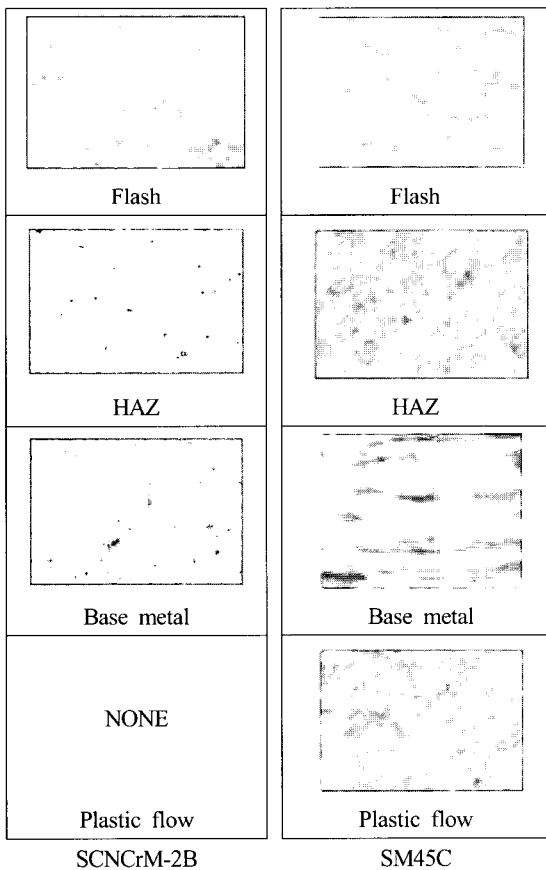


Photo. 5 Microstructure of friction weld(Mag. 100)

SCNCRM-2B는 SM25C와 비교하여 고온강도가 높고 열전도가 낮은 등의 물리적 성질의 차이에 의하여, SCNCRM-2B의 플래시(flash)는 SM25C의 플래시보다 매우 작게 나타났다. SM25C는 인발된 봉재로서 흰부분의 페라이트(ferrite)와 검은색부분의 펄라이트(pearlite)가 층상(層狀) 조직을 이루고 있으며, 축방향으로 방향성을 지니고 있다. 또한, 열영향부의 폭이 SCNCRM-2B에 비해 매우 넓으며, 모재에서 열영향부로 갈수록 탄소의 확산이동에 의해 페라이트(ferrite)와 펄라이트(pearlite) 조직이 점차미세화 되었고, 모재에서 층상(層狀)구조의 형태로 나타난 조직들은 접합부 근처에서 유동라인들을 형성하면서 원주방향으로 방향이 바뀌었다. SCNCRM-2B의 모재 및 열영향부(HAZ)의 조직은 길이 방향으로 방향성을 지니고 있고, 접합시 SM25C의 방향과 직각을 이루며 접합되므로 접합 특성상 SM25C에서 소성유동이 활발하게 이루어지고 SCNCRM-2B 측에서는 분자의 운동이 활발하게 되지 않는다.

3.5 경도시험

Fig. 6은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 100MPa, 마찰시간 2.0sec, 업셋압력 150MPa, 업셋시간 4.0sec의 최적조건에서 외주부에서 중심부쪽으로 1mm, 3mm, 5mm, 7mm, 9mm부분을 용접계면에서 수직방향으로 측정하여 나타난 경도 분포를 보여준다.

경도 분포의 특징을 살펴보면 용접계면과 그 근처에서 경도가 크게 상승한 것을 알 수 있다. SM25C의 경우 용접계면으로부터의 거리가 3.0mm ~ 4.5mm가 되는 구간에서 낮은 경도 172Hv ~ 174Hv가 나왔는데 이는 경도가 상승하기 직전에 어닐링 효과에 따라 경도가 낮아진 것으로 보이며, SCNCRM-2B의 경우는 2.5mm ~ 4mm구간에서 나타

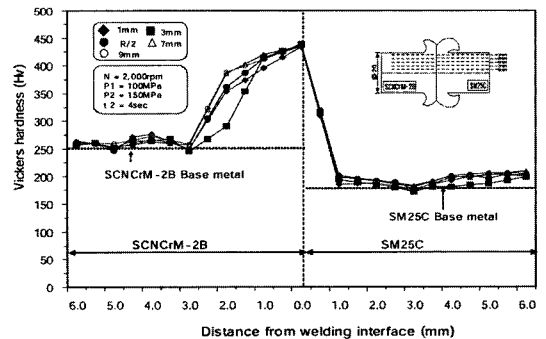


Fig. 6 Hardness distributions of friction weld

났다.

여기서 열영향부(HAZ)는 모재 경도보다 높아진 부분, 즉 SM25C와 SCNCrM-2B는 모두 약 5.0mm부분인 것을 알 수가 있었다. 최대 경도값은 SCNCrM-2B에서 나타났는데, $t_1=2.0\text{sec}$ 조건에서 Hv 443이었으며, 이는 $t_1=0.5\text{sec}$ 조건의 최대 경도값 Hv423에 비해 Hv20정도 높은 것이다.

최대 인장강도를 얻은 조건($t_1=2.0\text{sec}$)에서의 경도분포의 특징은 SCNCrM-2B와 SM25C 모두 용접계면 근처에서 열영향부로 인하여 경도값이 상승하는 현상이 나타났으며, 경도 상승량은 SCNCrM-2B쪽에서 현저했는데, SCNCrM-2B쪽 최대경도는 모재경도(Hv251)보다 Hv192 높은 Hv443까지 나타났으며, SM25C쪽에서의 최대경도는 Hv224로 모재경도 Hv198보다 Hv26 정도 상승하는데 그쳤다. 이와 같이 두 재료의 용접계면 근처에서의 경도상승은 업셋압력에 의한 기계적 단점효과 등으로 설명할 수 있으며, 경도가 저하되는 현상은 마찰열에 의한 결정립의 미세화와 용체화처리의 효과 때문이라고 생각된다. 이 부분은 현미경 사진에서 관찰 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 SM25C와 SCNCrM-2B를 회전수 2,000 rpm, 마찰압력 100MPa, 업셋압력 150MPa, 업셋시간 $t_2=4\text{sec}$ 로 고정하고 마찰시간(t_1)을 변수로 마찰용접하여 용접부의 인장강도, 굽힘강도, 현미경 조직, 경도시험등을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 인장시험한 결과 마찰시간이 2.0sec일 때 모재 인장강도(SM25C) 748MPa보다 약 117%에 해당하는 874MPa를 얻을 수 있었다.
- (2) 굽힘시험 결과 인장시험과 마찬가지로 마찰시간이 2.0sec일 때 모재 굽힘강도(SM25C) 1,354MPa보다 약 108.9%에 해당하는 1,475MPa를 얻을 수 있었다.
- (3) 용접부의 현미경 조직사진 관찰 결과, 모재의 조직과 열영향부의 조직은 명확히 구분되었으며, 플래시의 조직은 조대화 되었음을 알 수 있었고, 용접부 부근의 조직은 마찰과정상의 마찰열과 가압력 등에 의해 미세화되었고, 원주방향으로 재배열되었다. 이는 접합부의 경도상승과 인장강도에 영향을 끼친 것으로 사료된다.

- (4) 접합부에서 조직과 경도를 기준으로 평가한 열영향부(HAZ)의 폭은 SCNCrM-2B, SM25C 모두 약 5.0mm이었다. SCNCrM-2B와 SM25C의 경도 분포는 최고 경도를 보이는 접합면으로부터 점차로 감소하는 형태를 보이고 있으며, SCNCrM-2B용접부의 최대경도는 Hv 443(마찰시간 2.0sec)으로, 마찰시간 0.5sec 조건의 경우에 비해 Hv20정도 높았으며, SM25C 용접부의 최대경도는 Hv224로 모재(Hv198)보다 Hv26 정도 높은 경도값을 얻었다.

참고 문헌

- (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, Daejeon, Korea, pp. 10~13.