

국산 SPS5 스프링강의 마찰용접에 관한 연구

정 순 역\*

A Study on Friction Welding of Localized SPS5 Spring Steel

S. U. Jeong

**Key Words:** Optimum Welding Condition(최적 용접조건), Heating Time(가열시간), Heating Pressure(가열압력), Upsetting Time(업셋시간), Upsetting Pressure(업셋압력), Total Upset(총 업셋)

Abstract

This thesis studied whether friction welding of SPS5, localized torsion bar material could be accomplished or not. And then optimum welding conditions were examined and leaded through tensile, impact, torsion and hardness test after postweld heat treatment of the actual field condition.

Obtained results were as follows; Linear relationship was existed between heating time and total upset, and a quadratic equation model could be made between tensile strength and heating time. Optimum welding conditions with fine structure were as follows in case total upset(U)= 8.5mm; the number of rotations(n)= 2,000 rpm, heating pressure(p<sub>1</sub>)= 80 MPa, upset pressure(p<sub>2</sub>)= 200 MPa, heating time(t<sub>1</sub>)= 4 sec, upset time(t<sub>2</sub>)= 3 sec.

1. 서론

마찰용접에 관한 연구는 1957년 Vill<sup>1)</sup>에 의해 본격화된 이후 이에 대한 연구보고가 계속되고 있다<sup>1-3)</sup>. 특히, 마찰용접은 복잡한 형상의 용접시 재료절약, 가공시간 단축 등의 장점 때문에 기계 부품의 동종 및 이종 재료의 접합수단으로 많이 이용되고 있다<sup>4)</sup>. 특히, 마찰용접은 업셋(upset)용접이나 플래시(flash) 용접과는 달리 모재를 통하여 전류가 흐르지 않기 때문에 저항발열이 없고, 열손실이 적으며, 열영향이나 좌굴이 거의 없다는 특징이 있다. 또한, 마찰용접은 격렬한 소성유동으로 인하여 접합온도를 낮추기 때문에 결정의 조대화 및 금속간 화합물이 거의 생기지 않는다<sup>3,4)</sup>.

본 연구에서는 토션바 재료인 국산 스프링강 SPS5의 동종간 마찰용접 가능성을 조사하고, 최적용접 조건을 검토하였으며, 마찰용접한 후 현재 제작되고 있는 실제 현장 조건과 같은 열처리를 하였다. 그리고, 인장시험, 충격시험, 비틀림시험 및 경도시험 등을 통하여 용접부의 강도와 인성을 동시에 상승시킬 수 있는 마찰용접 기술을 실험에 의해 최적화하였다.

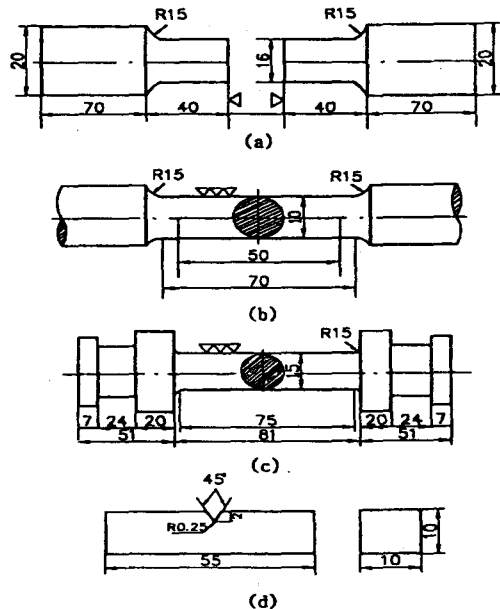


Fig. 1 Shapes and dimensions of (a) friction welding, (b) tension, (c) torsion and (d) impact test specimen.

따라서, 본 연구결과는 각종 운송기계의 핵심 부품중의 하나인 스프링강 토션바재의 설계 및 생산에 유용한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

\* 경상대학교 수송기계공학부

Table 1. Chemical composition of SPS5 steel.

C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S
0.62	0.84	0.24	0.74	0.01	0.01	0.034

Table 2. Mechanical properties of SPS5 steel.

Item	Unit	Value	
Tensile Strength(T.S)	MPa	1,265	
Yield Strength(Y.S)	MPa	1,130	
Elongation(ε)	%	9.2	
Reduction of area(φ)	%	20.5	
Hardness	Hs	410	
Heat treatment	Quenching	℃	910
	Tempering	℃	510
T.S after heat treatment	MPa	1,370	

2. 시험편 및 실험방법

본 연구에 사용된 시험편 재료는 Cr-Mo강으로서 고온가열시 탈탄이 적기 때문에 재열처리해서 사용하는 자동차 현가용 스프링강으로서 국내 H사에서 개발한 SPS5이다. 마찰용접 시험편은 직경(φ) 20 mm의 환봉으로서 형상 및 치수는 Fig. 1의 (a)에 나타냈으며, 화학적 성분은 Table 1에 도시하였는데, 본 재료의 압연조직은 경화능

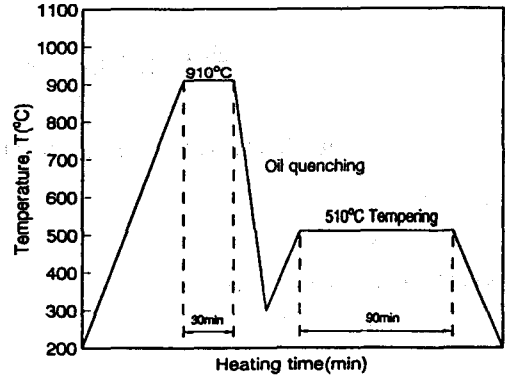


Fig. 2 Post weld heat treatment(PWHT) diagram.

이 우수한 퍼얼라이트(pearlite)에 페라이트(ferrite)가 석출된 양상을 보인다. 기계적성질은 Table 2에 나타냈는데, 스프링강의 기본적인 특성은 탄성한계 및 피로강도가 높고, 크리프(creep) 및 이완(relaxation)에 대한 저항이 크며 충분한 인성을 가져야 한다. 토션바재의 동종간에 마찰용접을 한 후, Fig. 2와 같이 현장 열처리와 동일하게 후열처리(post weld heat treatment)를 하였다.

그리고, 본 연구에 사용된 용접기는 브레이크형 마찰용접기(Model TH-25)로서 회전수( rota-

Table 3 Friction welding conditions.

Rotating speed, n(rpm)	Heating pressure, p <sub>1</sub> (MPa)	Upsetting pressure, p <sub>2</sub> (MPa)	Heating time, t <sub>1</sub> (sec)	Upsetting time, t <sub>2</sub> (sec)	Upset during t <sub>1</sub> , U <sub>1</sub> (mm)	Upset during t <sub>2</sub> , U <sub>2</sub> (mm)	Total upset, U(mm)
2,000	170	290	0.5	4	2.9	1.7	4.6
			1		3.5	1.9	5.4
			2		5.9	2.3	8.2
			3		8.9	2.5	11.4
			4		11.7	2.8	14.5
			5		13.2	3.2	16.4
	170	230	1		3.4	1.3	3.7
			2		4.8	1.4	6.2
			3		9.0	1.5	10.7
			4		11.4	1.7	13.1
			5		13.8	1.9	15.7
			6		15.2	2.1	17.3
80	200	3	1	1.0	2.0	3.0	
			2	1.3	2.9	4.2	
			3	2.6	3.9	6.5	
			4	3.5	5.0	8.5	
			5	4.1	5.3	9.4	
			6	4.6	6.1	10.7	
	40		200	1	0.2	2.5	2.7
				2	0.4	3.3	3.7
				3	0.8	4.3	5.1
				4	1.1	4.5	5.6
				5	2.3	5.1	7.4
				6	2.6	5.6	8.2

ting speed,  $n$ ), 가열시간(heating time,  $t_1$ ), 가열 압력(heating pressure,  $p_1$ ), 업셋시간(upset time,  $t_2$ )과 업셋압력(upset pressure,  $p_2$ )을 조절가능하다. Fig. 3에 마찰용접의 진행과정을 도식적으로

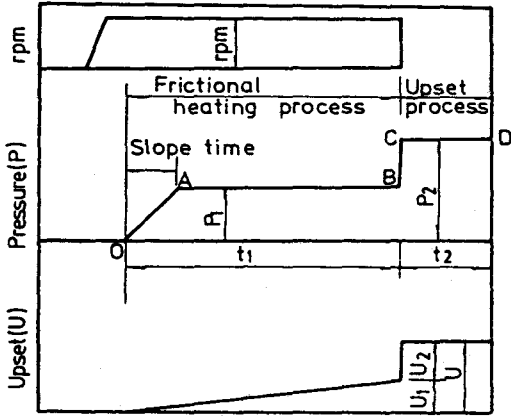


Fig. 3 Schematic diagram of (a) friction welding cycle and (b) typical welded specimen.

나타낸 것이다. 인장시험은 ASTM E8 규정에 따라 10톤 용량의 만능재료시험기(Model DYCT10TC)를 이용하여 Fig. 1의 (b)의 시험편을 사용하였으며, 인장속도는 2 mm/min으로 하였다. 비틀림시험은 회전 비틀림시험기(Model SM21)를 사용하여 ASTM E143 규정에 따라 Fig. 1의 (c)의 시험편으로 하였다. 충격시험은 Fig. 1의 (d)의 V형 노치를 가공한 후 ASTM A370 규정에 따라 샐피충격시험기(Model MAT 23)를 사용하여 충격강도를 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 마찰용접의 특징

본 시험에 사용된 토션바재인 스프링강의 마찰용접 조건을 요약하면 Table 3과 같다. 지금까지 연구된 마찰용접 실예<sup>4)</sup>의 자료를 참조한 후, 예비용접을 실시하여 용접 가능여부를 판단하고, 회전수( $n$ )를 2,000 rpm으로 일정하게 두고,  $p_1$ ,  $p_2$  및  $t_2$ 를 비교적 높게 택한 경우와 낮게 택한 경우에 대해서  $t_1$ 을 0.5~6 sec까지 1초 간격으로 다양하게 실시하였다. 이 때  $t_1$ 과  $U$ 와의 상관관계를 Fig. 4에 나타냈다.  $t_1$ 이 증가함에 따라  $U$ 는

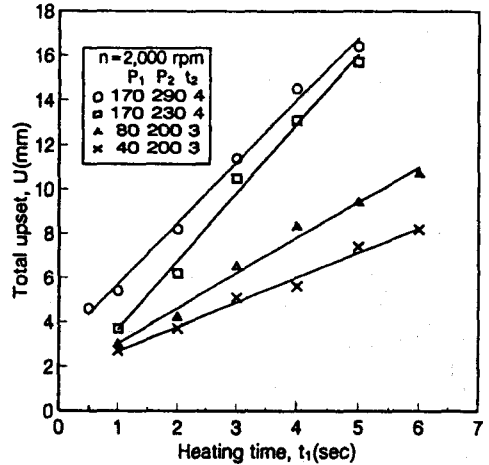


Fig. 4 Effect of frictional heating time on total upset in friction welding.

선형적인 증가를 보였으며,  $t_1$ 과  $U$ 의 회귀분석(regression analysis)에 의한 상관관계식은 다음과 같다.

$$U = a t_1 + b \quad \text{-----(1)}$$

여기서,  $a$ 와  $b$ 는 마찰용접에 따른 재료정수이다.  $p_1=170$  MPa,  $p_2=290$  MPa,  $t_2=4$  sec일 경우,  $a=2.7622$ ,  $b=2.9477$ 로서 Fig. 4의 실험데이터와 잘 일치하였다.  $t_1$ 이 증가함에 따라  $U$ 가 선형적으로 증가하며,  $p_1$ 과  $p_2$ 가 높아짐에 따라 기울기  $a$ 의 값이 급격히 증가함을 알 수 있다. 그 이유는  $p_1$ 과  $p_2$ 가 클수록 마찰용접시 용접면의 격렬

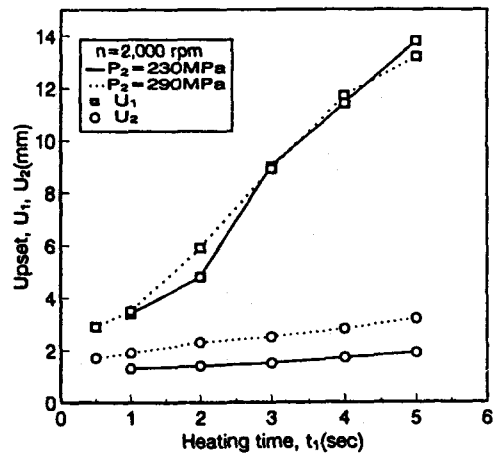


Fig. 5 Upset  $U_1$  and  $U_2$  diagram vs. heating time  $t_1$  in case of  $p_1=170$  MPa,  $t_2=4$  sec.

한 소성유동으로 인하여 많은 플래시(flash)가 유발되기 때문에 사료된다.

Fig. 5는  $p_1 = 170 \text{ MPa}$ ,  $t_2 = 4 \text{ sec}$ 로 일정할 때의 실험결과로서  $p_2$ 가 커짐에 따라  $U_1$ 과  $U_2$ 가 증가하였으며, 식 (1)의 상관관계식을 보였다. 그리고,

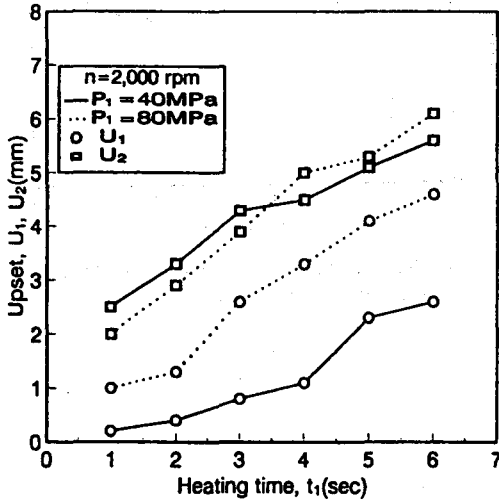


Fig. 6 Upset  $U_1$  and  $U_2$  diagram vs. heating time  $t_1$  in case of  $p_2=200 \text{ MPa}$ ,  $t_2=3 \text{ sec}$ .

업셋시간 동안의 업셋량보다 가열시간 동안의 업셋량이 많음을 알 수 있으며,  $t_1$ 이 증가함에 따라 그 경향은 심하여짐을 알 수 있다. 한편,  $p_1 = 170 \text{ MPa}$ 로 높을 때에는  $t_1$ 이 증가하여 3 sec 이상일 때에는  $U_1$ 의 값이 거의 비슷해지는 경향을 보였는데, 그 이유는 3 sec 이하에서는 가열압력의 영향이 뚜렷하나 3 sec 이상에서는 마찰가열량이 용접재 전면에 분포되어 집중되고, 소재 축방향의 온도분포가 준정상상태에 도달하므로 용접부가 재결정온도 이상으로 가열되어 유사한 소성유동을 유발하기 때문에 사료된다<sup>4)</sup>. 또한,  $p_2$ 가 60 MPa 높아지면  $U_2$ 는 전구간에서 30~60% 정도 높아지는 것으로 나타났다.

Fig. 6은  $p_2 = 200 \text{ MPa}$ ,  $t_2 = 3 \text{ sec}$ 일 때의 실험 결과로서  $p_1$ 이 증가할수록  $U_1$  및  $U_2$ 가 높게 나타났으며, 식 (1)과 같은 선형적인 증가를 보였다. 그리고, 여기서는  $p_1$ 이 낮고  $p_2$ 가 높은 경우로서  $U_1$ 보다  $U_2$ 가 높게 나타났다. 한편,  $p_1$ 이 40 MPa 높아지면  $U_1$ 은 최소 100% 이상 증가함을 알 수 있으며,  $U_2$ 는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 즉,

$p_1$ 은  $U_2$ 에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있는데, 그 이유는  $p_1$ 의 공정에서 충분한 소성유동이 유발되어 접합온도가 상당히 낮아졌기 때문에 판단된다. 이 결과는 大橋<sup>5)</sup> 등의 S45C의 경우에  $n=2,000 \text{ rpm}$ ,  $p_1 = 20\sim60 \text{ MPa}$ ,  $p_2 = 60 \text{ MPa}$ 에서 용접한 실험결과와 일치하였다.

### 3.2 기계적 특성

Table 3에 따라 용접한 용접재를 후열처리한 후 인장 및 비틀림 시험을 한 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 인장강도의 경우 4가지 조건 모두  $t_1$ 이 증가함에 따라 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 보였으며,  $t_1 = 3\sim5 \text{ sec}$ 에서 모재와 비슷하거나 약간 높은 값이 나타났다. 이 결과는 蓮井<sup>7)</sup> 등이 보고한 S25C의 탄소강에 대한 마찰용접 결과와 비슷한 경향을 보였는데, S25C 모재는 퍼얼라이트 기지에 페라이트가 석출된 양상인 반면 용접재는 마찰용접에 의한 소성변형과 열이력을 받아서 오스테나이트 입계에 페라이트와 미세 퍼얼라이트(소르바이트)가 미세하게 석출되는 조직을 보이기 때문이라고 하였다. 한편, 본 재료의 경우  $t_1$ 과  $\sigma$ 의 상관관계식은 다항회귀분석에 의해 다음과 같이 2차 방정식으로 모델화될 수 있었다.

$$\sigma = At_1^2 + Bt_1 + C \quad \text{-----}(2)$$

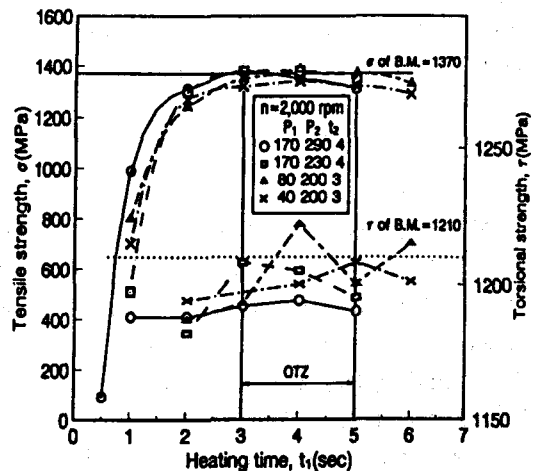


Fig. 7 Effect of heating time( $t_1$ ) on tensile and torsional strength.

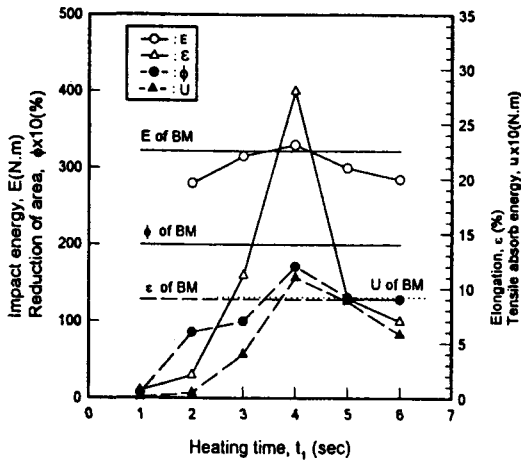


Fig. 8 Effect of heating time( $t_1$ ) on impact energy, reduction of area, elongation and tensile absorb energy(BM = base metal).

여기서, A, B, C는 재료정수이다. 비틀림 강도는 모재보다 대체로 낮은값을 보였으나,  $p_1 = 80$  MPa,  $p_2 = 200$  MPa,  $t_1 = 4$  sec,  $t_2 = 3$  sec 일 때 1,222 MPa로서 최대값을 나타냈으며, 이 경우 용접부 강도가 모재보다 12 MPa 정도 높게 나타났다.

### 3.3 최적 용접조건

인장강도가 모재와 비슷한 구간을 데이터 연결에 의해 유추한 후, 이 때의 가열시간을 Fig. 7에 도시하여 편리상 OTZ(optimum time zone)라고 명하였다.

Fig. 8은 인장 및 비틀림 강도가 모재보다 높게 나타나는 마찰용접 조건인  $p_1 = 80$  MPa,  $p_2 = 200$  MPa인 경우에 충격강도, 인장흡수에너지, 연신율, 단면수축률 등의 기계적 물성치를 동시에 도시한 것이다. 이 경우 마찰용접재의 단면수축률과 인장흡수에너지는  $t_1 = 4 \sim 5$  sec에서 모재보다 높으며, 그외 다른 기계적 특성은  $t_1 = 4$  sec에서 모재보다 우수함을 알 수 있다. 따라서, 본 마찰 용접재의 경우 인장강도, 비틀림강도, 충격강도, 인장흡수에너지, 연신율 및 단면수축률 등을 고려한 최적 마찰용접 조건은  $t_1 = 80$  MPa,  $p_2 = 200$  MPa,  $t_1 = 4$  sec,  $t_2 = 3$  sec,  $U = 8.5$  mm이다.

### 3.4 압접부 조직

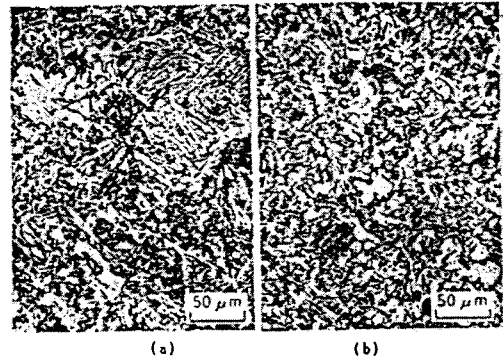


Fig. 9 Microstructure in case of (a) heating time( $t_1$ )=6 sec and (b)  $t_1$ =4 sec.

Fig. 9의 (a)는  $p_1 = 80$  MPa,  $p_2 = 200$  MPa,  $t_1 = 6$  sec,  $t_2 = 3$  sec일 경우의 압접부에서의 미세조직인 데,  $t_1 = 6$  sec로서 장시간 가열되어 마찰면 근처는  $1300^\circ\text{C}$  이상까지 도달하며 따라서, 강의 오스테나이트 온도( $A_1$  변태점) 이상으로 재가열되어 아크용접부의 열영향부에서 나타나는 것과 비슷한 경향의 결정립 조대화가 관찰되었다.

그러나, (b)의 경우는  $t_1 = 4$  sec로서 (a)에 비하여 단시간 용접의 조직으로서 강도상으로 최적용접조건을 보인 경우이다. 단시간 가열로 인하여 퍼알라이트(pearlite) 기지에 페라이트(ferrite)가 균일하게 분포된 조직으로서 비교적 치밀한 조직을 나타내었으며, 이 결과는 3.2절에서 언급된 蓮井<sup>7)</sup> 등의 연구결과와 유사한 경향을 보였다. 따라서, 본 재료의 경우  $t_2$ 의 장시간 부가용접부 조직의 조대화를 초래하므로 고마찰압력에서 3sec 정도의 단시간용접이 요구된다.

## 4. 결론

국산 토션바 재료인 SPS5 스프링강의 마찰용접에 대한 최적용접 조건과 기계적성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 마찰가열시간( $t_1$ )과 총열량(U) 사이에는 정량적으로 선형적인 상관관계가 존재하였다.
- 2) 마찰용접 후 후열처리한 용접 이음부의 인장강도( $\sigma$ )와 마찰가열시간( $t_1$ ) 사이에는 다항회귀분석법에 의해 2차방정식으로 모델화될 수 있었다.
- 3) 마찰용접재의 인장강도, 비틀림강도, 충격강

도, 인장흡수에너지, 연신율 및 단면수축율 등의 기계적 성질을 고려한 최적용접 조건은 회전수 (n)= 2,000 rpm, 가열압력( $p_1$ )= 80 MPa, 업셋압력 ( $p_2$ )= 200 MPa, 마찰가열시간( $t_1$ )= 4 sec, 업셋가열시간( $t_2$ )= 3 sec로 나타났으며, 이 때 U= 8.5 mm로 나타났다.

4) 최적용접조건으로 용접된 재료의 경우에 고마찰압력에서 3 sec의 단시간 가열로 퍼얼라이트 기지에 페라이트가 균일하게 분포된 치밀한 조직을 보였다.

### 참고문헌

1. Vill, V. I., 1962, *Friction Welding of Metals*, Svarochnoe Proizvodstvo, Vol. 3, pp.19-23.
2. Tasaki, Y. and Nakayama, N., 1970, *Friction Welding of Ni-based Superalloyed Nitriding Steel*, J. Prec. Mech. Mar., Vol. 36, pp.707-711.
3. Okita, K. and Kishimoto, W., 1979, *Studies on Friction Welding of SUS304 Austenitic Stainless(Report I)*, J. Weld. Society, Vol. 48, pp. 991-995
4. 摩擦壓接研究會, 1979, 摩擦壓接, コロナ社, pp.46, 145-150, 184.
5. 大橋, 立山, 1964, トヨタ技術, Vol. 15-4, pp.340.
6. 한국종합특수강주식회사, 1978, 특수강, pp. 141-143.
7. 蓮井, 福島, 1964, 金屬材料研究所研究報告, Vol. 7-5, pp.419.