

◎ 論 文

# 토션 바材의 摩擦熔接에 관한 研究(I)

—마찰용접기술의 최적화에 대하여—

오 세 규\* · 이 중 두\*\*

(1990년 5월 3일 접수)

## Study on Friction Welding of Torsion Bar Material(1)

—Optimization of Friction Welding Technique—

Sae-Kyoo Oh\* and Jong-Doo Lee\*\*

**Key Words :** Heating time(가열시간), Upsetting time(업셋시간), Heating pressure(가압력), Upsetting pressure(업셋압력), Optimum heating time zone(최적가열 시간범위), Optimum upset zone(최적업셋량 범위)

### Abstract

The friction welding has more technical and economic advantages than the other welding processes. As this welding process has the characteristics such as curtailment of production time, materials, cost reduction, etc., it has been widely used in production of various mechanical components which have complex shapes.

So, this paper deals with optimizing the friction welding conditions and analyzing various mechanical properties of the friction welded joints of torsion bar material SUP9A bar to bar. The results obtained are summarized as follows :

- 1) The quantitative relation between heating time( $t_1$ , sec) and total upset( $U$ , mm) can be obtained. The empirical formula obtained is :

$$U = 3.29 t_1 + 1.6$$

- 2) The tensile strength( $\sigma$ , kgf/mm<sup>2</sup>) of friction welding joints as post weld heat treated (PWHT) depends upon heating time( $t_1$ , sec) quantitatively and the empirical formula obtained is :

$$\sigma_t = -5.1 t_1^2 + 44.90 t_1 + 45.2$$

- 3) It is certain that the optimum condition for friction welded joints of SUP9A steel bars of diameter 14.5mm is, considering on various properties such as tensile strength, torsional strength, impact energy and strain of the joints after PWT :

$$n = 2000rpm, P_1 = 8kgf/mm^2, P_2 = 20kgf/mm^2, t_1 = 4sec, t_2 = 3sec$$

\* 정회원, 부산수산대학교 공대 박용기계공학과

\*\* 부산공업대학 금형공학과

- 4) The tensile strength, torsional strength and hardness were increased with the increasing carbon equivalent, but toughness was decreased.

## 1. 緒 論

最近에는 高溫 腐蝕環境 또는 荷重의 作用部分 만 特性 材質을 使用하는 등 異種材의 摩擦熔接을 하므로써 材料節減 및 生産原價 節減 등이 크게 기대가 된다.

여기에, 機械의 特性과 熱流動에 의한 熔接部의 機械的 性質 變化 및 最適 熔接條件 등에 관한 多數의 論文들이<sup>1-6)</sup> 發表되었다.

摩擦熔接에 대한 研究는 1957年 蘇聯의 Vill에 의해 最初로 開發이 本格化된 후 그 接合性이 優秀하고 品質改良과 生産原價가 節減됨이 立證되어 여러 學者들에 의해 그 研究活動이<sup>7)</sup> 活潑하여 同種 및 異種 耐熱鋼의 接合法으로 널리 使用되고 있으나, 토션 바(torsion bar)의 材料인 스프링鋼의 摩擦熔接과 熔接後 熱處理의 影響에 관한 研究는 高炭素 含有때문에 試圖를 하지 않았고 그 資料도 거의 없는 실정이다.

다만, Oh 등에 의해 스테빌라이저(stabilizer)나 토션 바 材料인 日産 SUP7 同種間의 摩擦熔接을 豫備實驗으로서 修行한 結果<sup>8)</sup>, 本 材料에 대한 摩擦熔接의 最適化 技術과 適切한 熱處理法을 開發하면 從來의 鍛造法 工程보다 더욱 經濟的이고 우수한 品質의 接合部를 얻을 수 있는 可能性을 기대할 수 있음이 확인되었다.

本 研究의 重要성과 必要性은 國內外的으로 自動車, 列車, 航空機, 船舶 등의 産業機械 部品으로 널리 必須的으로 쓰이는 비틀림 모멘트의 吸收 및 緩衝用인 토션 바(torsion bar)의 從來 製造工程은 바의 兩端을 스템의 지름보다 크게 鍛造하여 세레이션(serration)을 機械加工하므로써 工程이 複雜하고 高價의 鍛造機械에 대한 維持費, 故障의 頻發, 鍛造缺陷, 製品不良 등 生産 原價가 매우 높은 편이다.

이에 대해 세레이션 部分만이 所要의 지름으로 機械加工後 所要의 지름보다 작은 스템(stem)에 熔接했을때 그 熔接品質이 母材보다 低下되지 않는다면, 生産工程의 簡素化로써 原價節減과 材料

의 節減, 生産時間의 節減, 生産의 自動化, 多量生産化가 可能하여 약 30~40%의 原價節減을 기대할 수가 있다.<sup>8)</sup>

따라서 本 研究에서는 토션 바 材料인 스프링鋼 SUP9A 同種間의 摩擦熔接 條件最適化를 開發하고 熔接한 試驗片을 實現場 條件과 같은 熱處理를 한後 引張試驗, 비틀림試驗, 衝擊試驗 및 硬度試驗을 통하여 熔接部의 強度와 韌性を 同時에 높일 수 있는 摩擦熔接 技術을 實驗에 의해 最適化하고, 炭素當量이 摩擦熔接 品質에 미치는 影響을 규명하므로써 熔接品質의 信賴性을 向上시키고, 熔接後 熱處理에 따른 特性을 研究 考察하여 토션 바材 스프링鋼에 대한 摩擦熔接 最適條件을 實驗적으로 도출하고, 本 研究 結果가 各種 運送機械의 不可缺한 要素인 스프링鋼 토션 바의 設計에 有用한 基礎資料가 되도록 하였다.

## 2. 試驗片 및 實驗方法

### 2.1 試驗片

本 實驗에 使用된 試驗片 材料는 自動車 弦架用 스프링鋼인 日産 SUP9A이다.

그 化學的 成分은 Table 1과 같고, 機械的 性質은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition of material(wt. %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
SUP9A	0.61	0.25	0.81	0.21	0.25	0.16	0.84

Table 2 Mechanical properties of material

Item	Unit	Value	
Material		SUP9A	
Tensile strength	kgf/mm <sup>2</sup>	125	
Yield strength	kgf/mm <sup>2</sup>	110	
Elongation	%	9	
Reduction of area	%	20	
Hardness	Hs	363~429	
Heat treatment temperature	Quenching	°C	830~860
	Tempering	°C	460~520
Tensile strength after heat treatment	kgf/mm <sup>2</sup>	137	

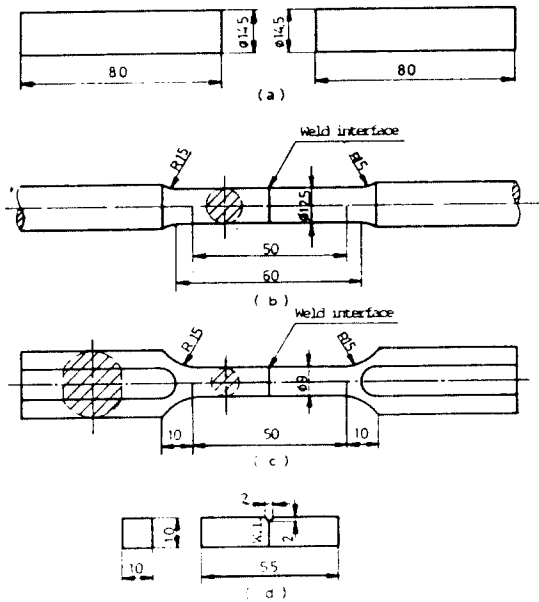
本 實驗에 使用된 試驗片의 形狀과 值數는 Fig. 1에 나타내었다.

摩擦熔接 試驗을 하기 위한 試驗片은 母材를 Fig. 1(a)와 같은 形狀值數로 旋削加工하였다.

Fig. 1(b)는 熔接試驗片의 強度를 알기 위한 引張試驗片의 形狀值數로서 KS規格(KSB0801 14A)에 따라 旋削한 後 研削하고, 平行部 表面은 에머리 페이퍼(emery paper) #4/0부터 #1/0까지 研磨하였다.

Fig. 1(c)는 熔接試驗片의 비틀림 強度를 알기 위한 비틀림 試驗片의 形狀值數로서 旋削한 後 研削하고, 平行部 表面을 사포 600번에서 1200번까지 研磨하였다.

Fig. 1(d)는 샤르피(Charpy) 衝擊試驗片의 形狀과 值數로서 熔接境界面에 노치를 加工하였다.



- (a) Friction welding test specimen
- (b) Tension test specimen
- (c) Torsion test specimen
- (d) Impact test specimen

Fig. 1 Shapes and dimensions of test specimen

노치 加工時 노치感度의 影響을 最少化하기 위하여 와이어(wire) 放電 加工機를 使用하였다.

또, 自動車 弦裂用 스프링鋼은 硬化된 狀態에서 機械加工하기가 매우 어려우므로 母材는 풀림(annealing) 처리한 狀態로 供給되는 것이 一般의이고, 따라서 機械加工에 使用할 目的으로 製作된 後에는 담금질과 뜨임(quenching and tempering) 處理를 하여 원하는 硬度和 韌性을 얻는다.<sup>9)</sup>

本 研究에서도 熔接된 試片을 담금질 및 뜨임 處理를 한 後에 이와 같은 熱處理가 熔接部에 어떠한 影響을 미치는지를 糾明하기 위해서, 實現場條件인 Fig. 2에 따라 後熱處理(PWHT)한 後에 熔接部의 引張, 비틀림, 衝擊 및 硬度 試驗結果를 未熱處理 熔接部의 境遇와 比較 檢討하였다.

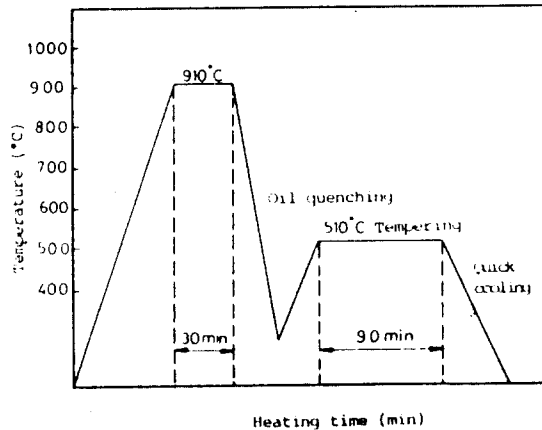


Fig. 2 Post weld heat treatment(PWHT) diagram

## 2.2 實驗裝置 및 實驗方法

摩擦熔接 試驗에 使用한 熔接機는 連續運轉 摩擦熔接機(continuous drive brake type friction welding machine)이다.

最適 摩擦熔接 條件을 決定하기 위하여 Table 3과 같이 回轉數( $n$ )를 一定하게 하고 摩擦加壓力( $P_1$ ), 壓셋壓力( $P_2$ ), 加熱時間( $t_1$ ), 壓셋時間( $t_2$ )을 變化시키면서 摩擦熔接을 修行하였다.

Table 3 Friction welding condition

Material	Roating speed n(rpm)	Heating pressure $P_1(kgf/mm^2)$	Upsetting pressure $P_2(kgf/mm^2)$	Heating time $t_1(sec)$	Upsetting time $t_2(sec)$	Upset during $t_1$ $U_1(mm)$	Upset during $t_2$ $U_2(mm)$	Total upset $U(mm)$	
SUP9A to SUP9A	2000	17	29	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	
				1		4	2.4	1.3	3.7
				2			4.8	1.4	6.2
				3			9.0	1.5	10.5
				4			11.4	1.7	13.1
		5	13.8	1.9	15.7				
		8	20	1	3	1.0	2.0	3.0	
				2		1.5	2.8	4.3	
				3		2.6	3.9	6.5	
				4		3.3	5.0	8.3	
				5		4.1	5.5	9.6	
				6		4.6	6.1	10.7	
		4	20	1	3	0.2	2.5	2.7	
				2		0.4	3.3	3.7	
				3		0.9	4.2	5.1	
				4		1.3	4.5	5.8	
				5		2.3	5.1	7.4	
				6		2.6	5.6	8.2	

引張試驗에 使用된 引張試驗機는 Toyo Bawldwin UTM-25T로서, 引張速度  $2mm/min$ 으로 修行하였다.

母材 SUP9A와 熔接材를 Fig. 1(b)와 같은 形狀 值數로 引張試驗片을 加工한 後 引張試驗을 修行하였다.

비틀림 試驗은 容量  $50kgf \cdot m$ 의 비틀림 試驗機로서 Fig. 1(c)와 같은 試驗片으로 비틀림 速度  $25 deg/min$ 으로 行하였다.

衝激試驗은 Table 3의 摩擦熔接 條件下에서 熔接한 試驗片을 Fig. 2의 熱處理 條件에 따라 熱處理를 行한 各 試驗片과 未熱理材에 對해 Fig. 1(c)와 같이 製作한 後 複合衝擊試驗機로서 打擊速度  $4.89m/sec$ 로 衝擊 破斷시켰다.

硬度試驗은 微小 硬度試驗機(micro vickers har-

dnness tester)를 使用하여, 荷重(load)  $200g$ , 壓入時間(running time)  $20sec$ 로 하였고, 試驗片 外周部에서  $3mm$  内部와 中心部에 對하여 熔接境界面 左右로  $1mm$  間隔으로 熔接面 左右  $5mm$  까지의 硬度에 對해 未熱理材와 熱理材를 比較하였다.

### 3. 結果 및 考察

#### 3.1 토션 바용 스프링鋼의 摩擦熔接 技術의 最適化

##### 3.1.1 摩擦熔接 條件과의 相關性

最適 摩擦熔接 條件을 決定하기 爲해 Table 3의 條件대로 熔接했을때 加熱時間  $t_1(sec)$ 과 upsetting 量  $U$

(mm)와의 相關關係 調查結果는 Fig. 3과 같다.

여기서, 加熱時間  $t_1$ 과 總 upset量  $U$ 사이에는 定量的 相關關係가 成立하며 최소자승법을 利用한 回歸解釋法에 의해 電算된 實驗式은 다음과 같다.

$P_1 = 17 \text{ kgf/mm}^2, P_2 = 29 \text{ kgf/mm}^2$ 일 때 ;

$U = 2.95t_1 + 2.8$

$P_1 = 17 \text{ kgf/mm}^2, P_2 = 23 \text{ kgf/mm}^2$ 일 때 ;

$U = 0.57t_1 + 3.1$

$P_1 = 8 \text{ kgf/mm}^2, P_2 = 20 \text{ kgf/mm}^2$ 일 때 ;

$U = 3.29t_1 + 1.6$

$P_1 = 4 \text{ kgf/mm}^2, P_2 = 20 \text{ kgf/mm}^2$ 일 때 ;

$U = 1.55t_1 + 1.3$

이때 寄與率(coefficient of determination)은 97.8%로서 信賴性이 매우 높음을 알 수 있다.

또한 Fig. 4와 Fig. 5는 Table 3의 條件대로 熔接했을 때 加熱時間  $t_1$ 과  $t_1$ 동안의 加熱 upset量  $U_1$

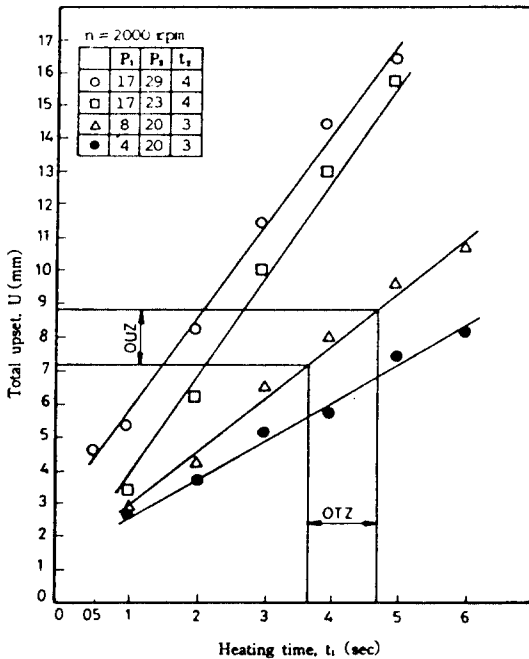


Fig. 3 Effect of frictional heating time on total upset in friction welding of SUP9A( $\phi 14.5$  mm)

Welding condition : as in Table 3  
 OTZ : Optimum heating time zone  
 OUZ : Optimum upset zone

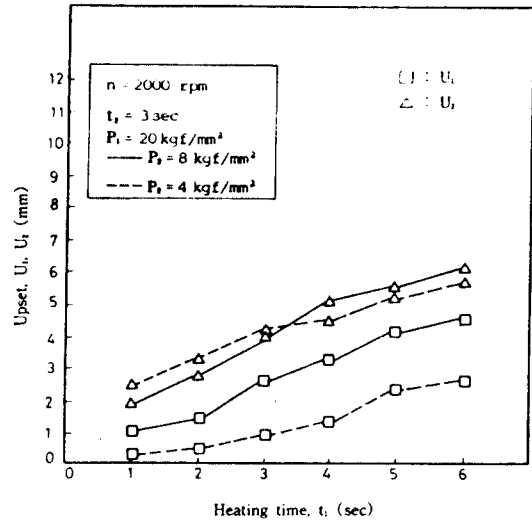


Fig. 4 Upset  $U_1$  and  $U_2$  diagram vs. heating time  $t_1$

Welding condition : as in Table 3

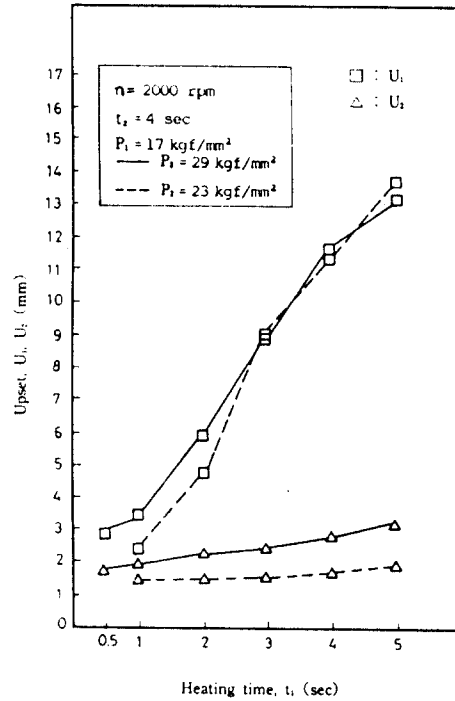


Fig. 5 Upset  $U_1$  and  $U_2$  diagram vs. heating time  $t_1$

Welding condition : as in Table 3

(mm), 加壓時間  $t_2$  동안의 加壓압셋量  $U_2$ (mm)와의 相關關係로서 摩擦加壓力  $P_1$ (kgf/mm<sup>2</sup>), 壓셋壓力  $P_2$ (kgf/mm<sup>2</sup>)이 낮아지면  $U_2$ 가  $U_1$ 보다 많아짐을 알 수 있다.

3. 1. 2 摩擦熔接條件이 後熱處理된 熔接部の 引張強度 및 비틀림 強度에 미치는 影響

Table 3과 같은 熔接條件下에서 摩擦熔接한 熔接材를 Fig. 3과 같은 熱處理條件으로 後熱處理하여 引張試驗과 비틀림 試驗을 行하였을때 加熱時間  $t_1$ (sec)의 變化에 따른 引張強度  $\sigma_t$ (kgf/mm<sup>2</sup>)와 비틀림 強度  $\tau_{max}$ (kgf/mm<sup>2</sup>)과의 相關關係는 Fig. 6과 같다.

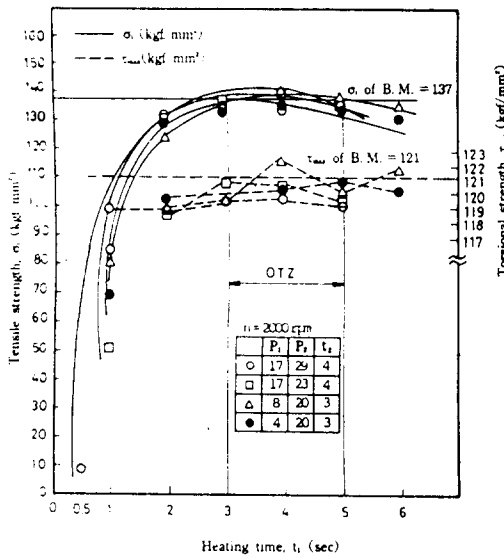


Fig. 6 Effect of frictional heating time on tensile strength and torsional strength of friction welded joints(SUP9A,  $\phi 14.5mm$ ) post-weld heat-treated

Welding condition : as in Table 3  
PWHT condition : as in Fig. 3

이 그림에서 알 수 있듯이  $t_1$ 이 3~5sec 範圍에서 熔接部の 引張強度가 母材보다 높게 나타나고  $t_1$ 이 3.6~4.4sec 範圍에서 비틀림 強度도 높게 나타남을 알 수 있다.

또한 Fig. 6에서 보는 바와 같이 熔接部の 引張

強度  $\sigma_t$ (kgf/mm<sup>2</sup>)와 加熱時間  $t_1$ 사이에는 相關性이 存在하며, 電算된 實驗式은 다음과 같다.

이때 寄與率(coefficient of determination)은 92.3%이다.

$$P_1 = 17 \text{ kgf/mm}^2, \quad P_2 = 29 \text{ kgf/mm}^2 \text{ 일 때 ;}$$

$$\sigma_t = -13.14t_1^2 + 94.52t_1 + 18.5$$

$$P_1 = 17 \text{ kgf/mm}^2, \quad P_2 = 23 \text{ kgf/mm}^2 \text{ 일 때 ;}$$

$$\sigma_t = -12.16t_1^2 + 90.98t_1 + 20.5$$

$$P_1 = 8 \text{ kgf/mm}^2, \quad P_2 = 20 \text{ kgf/mm}^2 \text{ 일 때 ;}$$

$$\sigma_t = -5.08t_1^2 + 44.90t_1 + 45.2$$

$$P_1 = 4 \text{ kgf/mm}^2, \quad P_2 = 20 \text{ kgf/mm}^2 \text{ 일 때 ;}$$

$$\sigma_t = -5.89t_1^2 + 50.75t_1 + 33.4$$

3. 1. 3 摩擦熔接 條件이 後熱處理된 熔接部の 韌性に 미치는 影響

Fig. 7과 Fig. 8은 Table 3의 熔接條件에서 摩擦熔接 했을때 加熱時間  $t_1$ 의 變化에 따라 衝擊吸收 에너지  $E_{ia}$ (kgf · m), 引張吸收 에너지  $E_{ta}$ (kgf · m), 延伸率  $\epsilon$ (%) 및 斷面收縮率  $\phi$ (%)와의 相關關係이다.

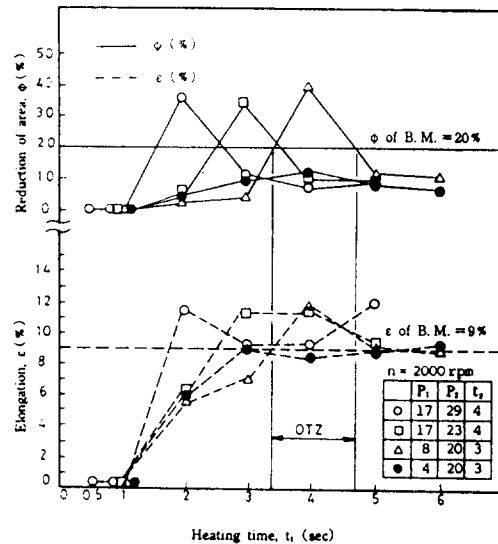


Fig. 7 Effect of frictional heating time on elongation and reduction of area of friction welded joints(SUP9A,  $\phi 14.5mm$ ) post-weld heat-treated

Welding condition : as in Table 3  
PWHT condition : as in Fig. 3

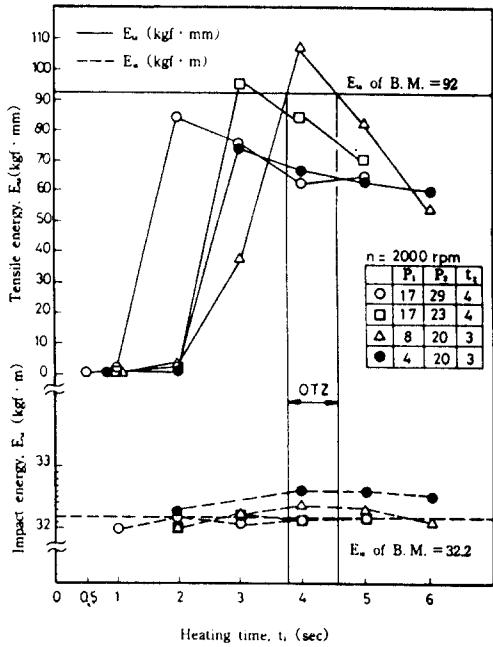


Fig. 8 Effect of frictional heating time on tensile and impact absorb energy of friction welded joints(SUP9A,  $\phi 14.5mm$ ) post-weld heat-treated  
 Welding condition : as in Table 3  
 PWHT condition : as in Fig. 3

Fig. 6의 摩擦熔接 이음效率이 100%를 넘는 範圍인 加熱時間 3~5sec 사이에서 延伸率에 가장 높게 나타나는 範圍는 Fig. 7에서 3.3~5sec이고 이때의 斷面收縮率은  $P_1=8kgf/mm^2$ ,  $P_2=20kgf/mm^2$ 의 條件에서 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 그리고 Fig. 8에서의 이 領域은 引張吸收에너지는 母材보다 높게 나타났지만 衝擊吸收에너지는 母材와 비슷하게 나타났다.

3.1.4 實驗에 의한 摩擦熔接의 最適化

Fig. 9는 摩擦加熱時間  $t_1(sec)$ 이 Fig. 2와 같은 後熱處理를 한 摩擦熔接材의 引張強度  $\sigma_t(kgf/mm^2)$ , 延伸率  $\epsilon(\%)$ , 斷面收縮率  $\phi(\%)$ , 비틀림 強度  $\tau_{max}(kgf/mm^2)$ , 衝擊에너지  $E_{is}(kgf \cdot m)$  및 引張吸收에너지  $E_a(kgf \cdot mm)$ 에 미치는 影響을 實驗的으로 求한 結果를 나타낸다.

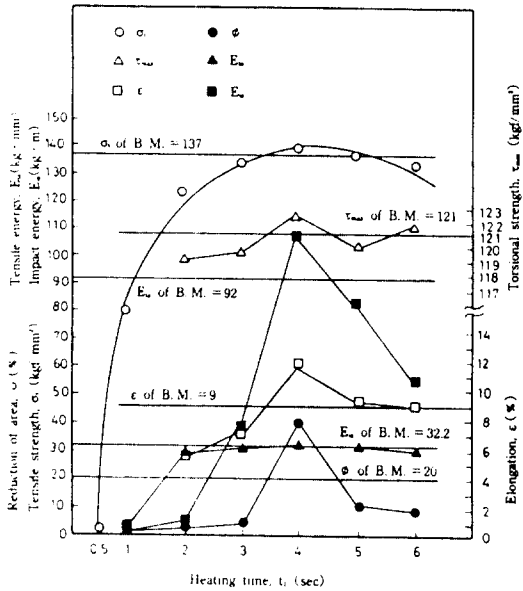


Fig. 9 Effect of frictional heating time on tensile strength, torsional strength, reduction of area, elongation, tensile energy, impact energy of friction welded joints(SUP9A,  $\phi 14.5mm$ ) post-weld heat-treated  
 Welding condition :  $n=2000rpm$ ,  $P_1=8kgf/mm^2$ ,  $P_2=20kgf/mm^2$ ,  $t_2=3sec$   
 PWHT condition : as in Fig. 3

그림에서 熔接部의 引張強度가 母材보다 높은 境遇 즉, 이음效率이 100% 이상인 範圍가 存在하며, 이때 熔接部의 延伸率  $\epsilon$ , 斷面收縮率  $\phi$ , 비틀림 強度  $\tau_{max}$ 도 높게 나타남을 알 수 있다.

따라서  $\phi 14.5mm$ 의 SUP9A 摩擦熔接 最適條件은 安全性을 考慮하여,  $n=2000rpm$ ,  $P_1=8kgf/mm^2$ ,  $P_2=20kgf/mm^2$ ,  $t_1=4sec$ ,  $t_2sec$ 로 함이 妥當함을 알 수 있다. 이때 總 壓셋量 U는 8.3mm이다.

引張 및 비틀림 破斷은 延伸率에 높을수록 熔接境界面(weld interface)에서 멀리 떨어진 母材에서 破斷되며 破斷 樣相은 一般的인 컵-콘(cup and cone) 形態를 나타낸다. 그리고 延伸率에 낮을수록 破斷 位置는 熔接境界面に 가까워지고 脆性破壞 樣相을 보여준다.

이는 延伸率에 낮은 部分은 熔接熱의 過多 혹은 不足으로 因하여 熔接部 附近에서 破斷되며 脆性破壞 樣相을 보여준다고 생각된다.

특히 本 實驗에 使用한 試驗片과 같은 炭素當量 (carbon equivalent)이 매우 높은 材料에 대해서는 熔接이 困難한데 비해<sup>10)</sup>, 本 摩擦熔接 條件에 의해 龜裂과 같은 熔接缺陷이 없는 優秀한 熔接部를 얻을 수 있었다.

### 3.2 炭素當量이 摩擦熔接部의 品質에 미치는 影響

#### 3.2.1 各種 스프링鋼의 炭素當量과 機械的 性質

各種 스프링鋼(SUP6, SUP7, SUP9A)의 炭素當量과 機械的 性質을 구한 結果는 Table 4와 같다. 炭素當量은 使用하는 目的에 따라 여러가지 式으로 表現될 수 있으나<sup>11)</sup>, 本 研究에서는 Table 4에 表示된 것 中에서 C.E. (3)에 해당되는 것으로서 變態된 組織의 硬度를 代表하는 炭素當量을 取하여 炭素當量에 따른 機械的 性質을 比較하였다.

#### 3.2.2 炭素當量과 熔接部의 強度 및 韌性과의 相關性

Fig. 10은 炭素當量의 變化에 따라 摩擦熔接部의 引張熔接部의 引張強度  $\sigma_t$ ( $kgf/mm^2$ ) 토크  $T$ ( $kgf \cdot m$ ), 衝擊值  $E_t$ ( $kgf \cdot m/mm^2$ ), 硬度  $H_v$ 와의 相關關係를 나타낸 것이다.

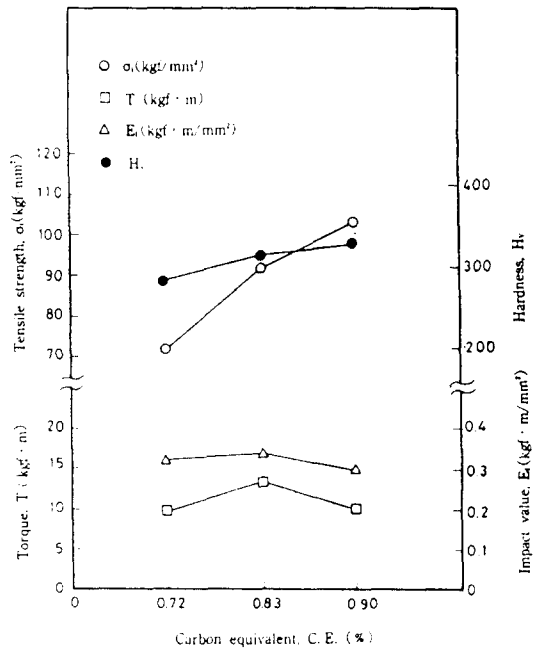


Fig. 10 Relationship between strength and toughness of welded joints and carbon equivalent

Table 4 Carbon equivalent and mechanical properties of base metals

Metals	Carbon equivalent <sup>#)</sup>			Tensile strength $\sigma_t$ ( $kgf/mm^2$ )	Torque $T$ ( $kgf \cdot m$ )	Impact value ( $kgf \cdot mm/mm^2$ )	Hardness $H_v$
	C.E.(1)	C.E.(2)	C.E.(3)				
SUP6	1.01	0.91	0.90	103	10.3	0.30	332
SUP7	1.29	0.72	0.72	72	10.0	0.32	286
SUP9A	0.88	0.91	0.83	92	13.7	0.34	316

#) Quoted from The Welding Encyclopedia, pp. C-10.

$$C.E(1) = C\% + \frac{Mn}{4}\% + \frac{Si}{4}\% \text{ for most carbon steels}$$

$$C.E(2) = C\% + \frac{Mn}{6}\% + \frac{Cr}{5}\% + \frac{Mo}{4}\% \text{ for hardenability}$$

$$C.E(3) = C\% + \frac{Mn}{6}\% + \frac{Ni}{20}\% + \frac{Cr}{10}\% + \frac{Cu}{40}\% - \frac{Mo}{50}\% - \frac{V}{10}\% \text{ for hardness transformed structure}$$



여기서, 炭素當量이 增加할수록 引張強度와 비틀림強度 및 硬度는 增加하나 韌性은 減少하는 一般的인 傾向을 보인다.

#### 4. 結 論

토션 바材인 SUP9A의 스프링鋼의 同種鋼奉에 대한 摩擦熔接의 最適化를 開發하고, 實現場 條件과 同一하게 後熱處理를 한 後 熔接部의 機械的 性質을 實驗的으로 규명하므로써, 토션 바材의 摩擦熔接에 關하여 研究한 結果는 다음과 같다.

- 1) 摩擦加熱時間  $t_1(sec)$ 과 總 疊셋量  $U(mm)$ 사이에는 直線의 相關關係가 成立하며, 電算된 實驗式은 다음과 같다.

$$U = 3.29t_1 + 1.6$$

- 2) 熔接 後熱處理(PWHT;  $90^\circ C \times 30分$  加熱後  $70^\circ C \times 15分$ 의 기름담금질,  $510^\circ C \times 90分$ 의 뜨임)한 摩擦熔接 이음部의 引張強度  $\sigma_t(kgf/mm^2)$ 는 摩擦加熱時間  $t_1(sec)$ 에 定量的으로 依存하며 電算된 實驗式은 다음과 같다.

$$\sigma_t = -5.08 t_1^2 + 44.90 t_1 + 45.2$$

- 3)  $\phi 14.5mm$ 의 SUP9A 鋼奉의 摩擦熔接에서 PWHT 後의 引張強度, 비틀림強度, 衝擊置, 斷面收縮率, 延伸率 및 引張吸收에너지를 考慮한 摩擦熔接 最適條件은  $n=2000rpm$ ,  $P_1=8kgf/mm^2$ ,  $P_2=20kgf/mm^2$ ,  $t_1=4sec$ ,  $t_2=3sec$  이다. 이때 總 疊셋量  $U=8.3mm$ 이다.
- 4) 스프링鋼의 種類에 따른 炭素當量이 增加할수록 引張強度와 비틀림強度 및 硬度는 增加하나 韌性은 減少한다.

#### 附 記

本 研究는 1989年度 韓國科學財團 研究費 지원에 의한 결과임(과제번호 091-0907-043-1).

#### 參 考 文 獻

- 1) Ellis, C.R.G., "Friction Welding, where Industry Used it", Welding Design and Fabrication, Aug., p. 78~81, 1981
- 2) Ellis, C.R.G. and E.D. Nicholas, "Metallurgical Characteristics and Mechanical Properties of Cold Drawn mild Steel Friction Welds", TWI Member Repor, May, p. 39~69, 1969
- 3) Squire, I.F., "Thermal and Mechanical Characteristics of Friction Welding Mild Steel," British Welding Journal, Nov., p. 652~657, 1966
- 4) Ellis, C.R.G., "Continuous Drive Friction Welding of Mild Steel", Weld. Jrnl. Res. Suppl. 54 (4), p. 183~197, 1974
- 5) Schober, D. and S. Buchhloz, "Reibschweissen des Werkstoffes 37 MnSi 5", Schweisstechnik (Berlin), p. 4551456, 1974
- 6) Hasui, A. and A. Tanka, "Friction Welding of Cr-Mo Steel and Carbon Steel", Transact. of Japan Weld. Soc., p. 30~35, 1979
- 7) Vill, V.I., "Friction Welding of Metals", Svarochnoe Proizvodstvo. 3, p. 20~22, 1962
- 8) 오세규, 윤명환, 김선진, 하경준, "스프링강의 마찰용접에 관한 연구", 한국박용기관학회 춘계학술강연회 초록집, pp. 85~89, 1988
- 9) ASM, "Metals Handbook", 8th ed., Vol. 2, pp. 235
- 10) Na, S.J., and S.D. Kim, "Influence of Carbon Equivalents on Steel Friction Welds, Similar Steels", J. the Korean Welding Society, Vol. 3, No. 2, p. 1~9, 1985
- 11) Jefferson, T.B., "The Welding Encyclopedia", Monticello Books, Inc. Lake Zurich, 1974