

# 토션 바材의 摩擦熔接에 관한 研究

## Study on Friction Welding of Torsion Bar Material

오 세 규, 이 종 두, 정 손 역, 전태연\*, 이백섭, 노유현  
(부산수대) (부산공업대) (한 연구소) (부산수산대 대학원)

### 1. 서 론

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 通하여 熔接部의 強도와 韌性を 同時에 높일 수 있는 摩擦熔接 技術을 實驗에 의해 最適化하고, 스프링鋼에 대한 摩擦熔接 最適條件을 實驗의 으로 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

本 實驗에 使用된 試驗片 材料는 自動車 齒輪用 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                              | H <sub>s</sub>      | 363-429 |         |
| Heat treatment temperature            | Quenching           | ℃       | 830-860 |
|                                       | Tempering           | ℃       | 460-520 |
| Tensile strength after heat treatment | kgf/mm <sup>2</sup> | 137     |         |

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 料明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.

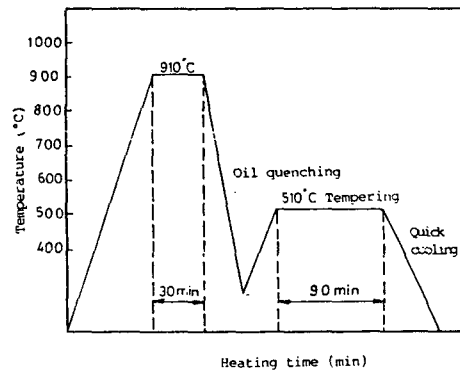


Fig. 2 Post weld heat treatment(PWHT) diagram

### 3. 結果 및 考察

#### 3.1 토션 바用 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 위해 加熱時間 t<sub>1</sub>(sec)과 咬設量 U (mm)와의 相關關係 調査 結果는 Fig. 3과 같다.

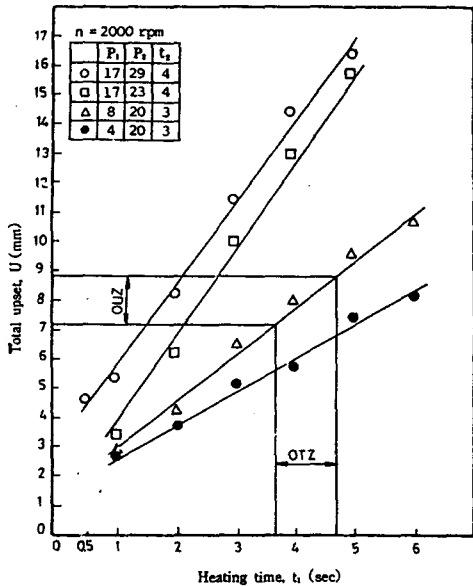


Fig. 3 Effect of frictional heating time on total upset in friction welding of SUP3A(φ14.5 mm)  
 Welding condition : as in Table 3  
 OTZ : Optimum heating time zone  
 OUZ : Optimum upset zone

또한 Fig. 4와 Fig. 5는 Table 3의 조건대로 용접했을 때 가열시간  $t_1$ 과  $t_2$ 동안의 가열업셋값  $U_1$  (mm), 가열시간  $t_2$ 동안의 가열업셋값  $U_2$ (mm)와의 상관관계로서 摩擦加壓力  $P_1$ (kgf/mm<sup>2</sup>), 업셋壓力  $P_2$ (kgf/mm<sup>2</sup>)이 낮아지면  $U_2$ 가  $U_1$ 보다 많아짐을 알 수 있다.

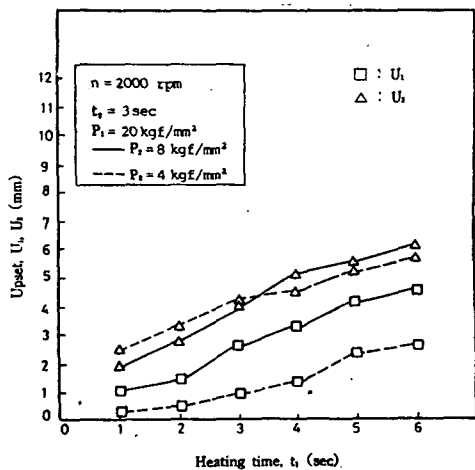


Fig. 4 Upset  $U_1$  and  $U_2$  diagram vs. heating time  $t_1$   
 Welding condition : as in Table 3

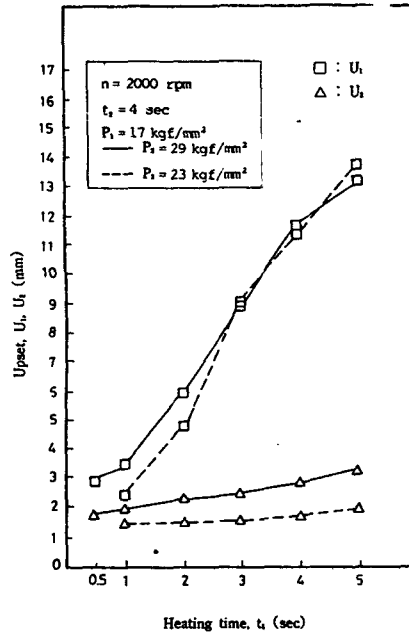


Fig. 5 Upset  $U_1$  and  $U_2$  diagram vs. heating time  $t_1$   
 Welding condition : as in Table 3

Table 3 Friction welding condition

| Material     | Rotary speed (rpm) | Heating pressure P <sub>1</sub> (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Upsetting pressure P <sub>2</sub> (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Heating time t <sub>1</sub> (sec) | Upsetting time t <sub>2</sub> (sec) | Upset (mm) U <sub>1</sub> | Upset (mm) U <sub>2</sub> | Total upset (mm) |
|--------------|--------------------|--|--|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| SUP3A = 2000 | 17                 | 29   | 4  | 0.5                               | 1                                   | 2.5                       | 1.7                       | 4.2              |
|              |                    |  |  | 1                                 | 1                                   | 1.5                       | 1.9                       | 3.4              |
|              |                    |  |  | 2                                 | 1                                   | 1.9                       | 2.3                       | 4.2              |
|              |                    |  |  | 3                                 | 1                                   | 2.9                       | 2.5                       | 5.4              |
|              |                    |  |  | 4                                 | 1                                   | 11.7                      | 2.8                       | 14.5             |
|              |                    |  |  | 5                                 | 1                                   | 13.2                      | 3.2                       | 16.4             |
|              | 8                  | 20   | 3  | 1                                 | 1                                   | 2.4                       | 1.3                       | 3.7              |
|              |                    |  |  | 2                                 | 1                                   | 4.8                       | 1.4                       | 6.2              |
|              |                    |  |  | 3                                 | 1                                   | 9.0                       | 1.5                       | 10.5             |
|              |                    |  |  | 4                                 | 1                                   | 11.4                      | 1.7                       | 13.1             |
|              |                    |  |  | 5                                 | 1                                   | 22.8                      | 1.9                       | 24.7             |
|              |                    |  |  | 6                                 | 1                                   | 1.0                       | 2.0                       | 3.0              |
| 4            | 20                 | 3  | 1  | 1                                 | 1.5                                 | 2.0                       | 3.5                       |                  |
|              |                    |  | 2  | 1                                 | 2.8                                 | 2.0                       | 4.8                       |                  |
|              |                    |  | 3  | 1                                 | 4.1                                 | 2.0                       | 6.1                       |                  |
|              |                    |  | 4  | 1                                 | 4.4                                 | 2.1                       | 6.5                       |                  |
|              |                    |  | 5  | 1                                 | 8.8                                 | 2.1                       | 10.9                      |                  |
|              |                    |  | 6  | 1                                 | 10.2                                | 2.2                       | 12.4                      |                  |

### 3.1.2 摩擦溶接條件이 後熱處理된 溶接部の 引張強度 및 비틀림 強度에 미치는 影響

Table 3과 같은 용접條件下에서 摩擦溶接한 溶接材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하였을 때 加熱時間  $t_1$ (sec)의 變化에 따른 引張強度  $\sigma$ (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.

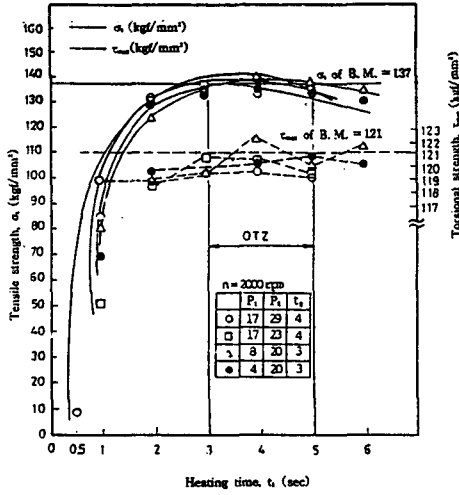


Fig. 6 Effect of frictional heating time on tensile strength and torsional strength of friction welded joints(SUP9A, φ14.5mm) post-weld heat-treated

### 3.1.3 實驗에 의한 摩擦熔接의 最適化

Fig. 7는 摩擦加熱時間  $t_i$ (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<sup>2</sup>), 延伸率  $\epsilon$ (%), 斷面收縮率  $\phi$ (%), 比動靚強度  $\tau_{max}$ (kgf/mm<sup>2</sup>), 衝擊에너지  $E_u$ (kgf·m) 및 引張吸收에너지  $E_s$ (kgf·mm)에 미치는 影響을 實驗的으로 求한 結果를 나타낸다.

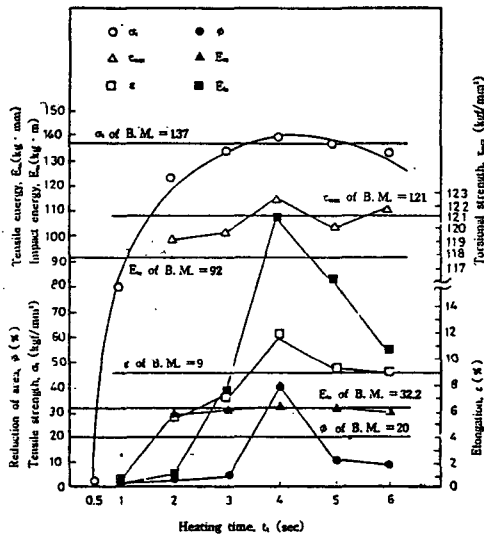


Fig. 7 Effect of frictional heating time on tensile strength, torsional strength, reduction of area, elongation, tensile energy, impact energy of friction welded joints(SUP9A, φ 14.5mm) post-weld heat-treated

## 4. 結 論

트션 材인 SUP9A의 스프링鋼의 同種鋼種에 대한 摩擦熔接의 最適化를 開發하고, 實現시 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, 트션 材의 摩擦熔接에 關하여 研究한 結果는 다음과 같다.

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

$$U = 3.29t_i + 1.6$$

- 2) 熔接 後熱處理(PWHT: 90°C×30分 加熱後 70°C×15分와 기름담금질, 510°C×90分의 드림)인 摩擦熔接 接合部의 引張強度  $\sigma_t$ (kgf/mm<sup>2</sup>)는 摩擦加熱時間  $t_i$ (sec)에 定量的으로 依存하며 電算된 實驗式은 다음과 같다.

$$\sigma_t = -5.08 t_i + 44.90 t_i + 45.2$$

- 3) φ14.5mm의 SUP9A 鋼種의 摩擦熔接에서 PWHT 後의 引張強度, 比動靚強度, 衝擊靚, 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  $n=2000$ rpm,  $P_1=8$ kgf/mm<sup>2</sup>,  $P_2=20$ kgf/mm<sup>2</sup>,  $t_1=4$ sec,  $t_2=3$ sec 이다. 이때 總 熔接量  $U=8.3$ mm이다.

## 參 考 文 獻

- 1) Schober, D. and S. Buchholz, "Reibschweißen des Werkstoffes 37 MnSi 5", Schweißtechnik (Berlin), p.4551456, 1974
- 2) Hasui, A. and A. Tanka, "Friction Welding of Cr-Mo Steel and Carbon Steel", Transact. of Japan Weld. Soc., p.30-35, 1979
- 3) Vill, V.L., "Friction Welding of Metals", Svarochnoe Proizvodstvo, 3, p.20-22, 1962  
하경준, 윤명환, 김선진, 오세규, "스프링강의 마찰용접에 관한 연구", 한국박용기관학회 춘계학술강연회 초록집, pp.85-89, 1988
- 4) ASM, "Metals Handbook", 8th ed., Vol. 2, pp. 235