

◎ 論 文

토션바材의 摩擦熔接에 관한 研究(II)

—熔接 後熱處理가 摩擦熔接 品質에 미치는 影響—

吳 世 奎*, 李 鍾 斗**

(1990년 12월 5일 접수)

Study on Friction Welding of Torsion Bar Material(II)

—Effect of PWHT on Friction Weld Quality—

Sae-Kyoo Oh and Jong-Doo Lee

Key Words : PWHT(Post Weld Heat Treatment) (용접후열처리), Tensile Strength(인장강도), Torsional Strength(비틀림 강도), Impact Energy(충격에너지), Hardness Distribution of HAZ(열영향부의 경도분포), Micro Structure(미시조직)

Abstract

This paper deals with investigating experimentally the effects of PWHT on the weld quality such as strength, toughness, hardness and micro-structure of the welded joints in friction welding of torsion bar material SUP9A bar to bar.

The results obtained are summarized as follows ;

1) It was certified that the condition of the post-weld heat treatment(PWHT) for the friction welded joints was very satisfactory because both strength and toughness of the joints were improved as almost same as those of the base metal or better by the PWHT.

2) The peak of hardness distribution of the friction welded joints can be eliminated by PWHT, resulting in being almost equalized at the weld interface, the HAZ(heat affected zone) and the base metal.

3) The micro-structure of the base metal, HAZ and weld interface(WI) of friction welded joints welded at the optimum welding condition consists of the same sorbite structure obtained by PWHT and fined sorbite at WI, resulting in increasing toughness as well as strength, and no micro structural defect has been found at the friction welded zone.

* 正會員, 釜山水產大學校 工大 機械工學科

** 正會員, 釜山工業大學 金型工學科

1. 緒 論

摩擦熔接法은 다른 熔接法에 비해 機械的인 面과 經濟的인 面에서 많은 잇점을 지니고 있다. 값비싼 鍛造나 鑄造대신에 몇가지의 形狀 部品들을 結合하여 比較的 複雜한 製品製作이 可能하고 自動化가 容易하여 製品의 大量生産이 수월하며, 熔接部 品質의 再生産性이 높기 때문에 自動車 工業과 工具製造業등 여러 分野에서 그 使用 範圍가 점차 넓어지고 있다.¹⁾

한편, 機械的 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들이²⁾⁶⁾ 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 된후 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이⁷⁾ 活潑하여 同種 및 異種 耐熱鋼의 接合法으로 널리 使用되고 있으나, 토션바(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가 어렵고 그 資料도 거의 없는 실정이다.

따라서 본 研究에서는 國內外的으로 自動車, 列車, 航空機, 船舶 等の 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 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, 熔接 後熱處理(PWHT)가 摩擦熔接品質(強도와 韌性)에 미치는 影響을 實驗的으로 糾명한 것으로서, 第1報⁸⁾에 이은 第2報이며, 본 研究 結果가 陸上, 海上, 海中의 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 車兩 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.

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이며, 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이고, 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.

또, 車兩 弦架用 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 一般的이고, 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 韌性を 얻는다.⁹⁾

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명하기 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.

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 ²	125	
Yield strength	kgf/mm ²	110	
Elongation	%	9	
Reduction of area	%	20	
Hardness	H _B	363~429	
Heat treatment temperature	Quenching	℃	830~860
	Tempering	℃	460~520
Tensile strength after heat treatment	kgf/mm ²	137	

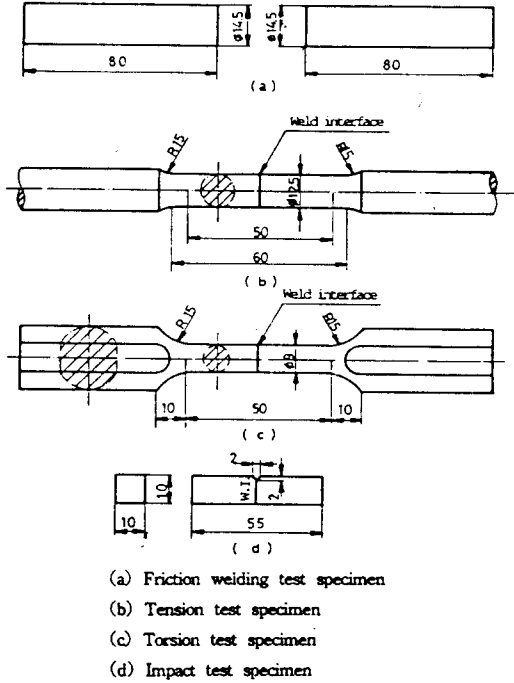


Fig. 1 Shapes and dimensions of test specimen

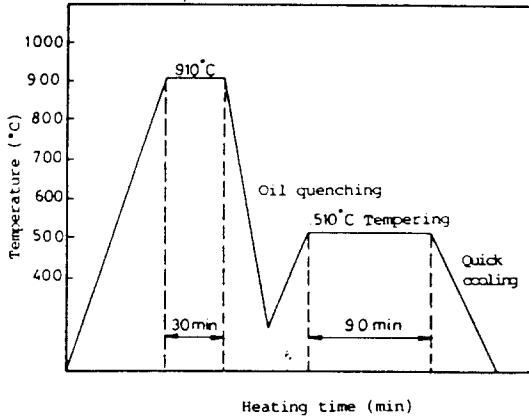


Fig. 2 Post weld heat treatment(PWHT) diagram

Table 3 Friction welding condition

Material	Rotating speed $n(\text{rpm})$	Heating pressure $P_1(\text{kgf}/\text{mm}^2)$	Upsetting pressure $P_2(\text{kgf}/\text{mm}^2)$	Heating time $t_1(\text{sec})$	Upsetting time $t_2(\text{sec})$	Upset during t_1 $U_1(\text{mm})$	Upset during t_2 $U_2(\text{mm})$	Total upset $U(\text{mm})$
SUP9A to SUP9A	2,000	8	20	4	3	3.3	5.0	8.3

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)이며, 本 實驗에 使用된 摩擦熔接 條件은 前報⁸⁾에서 最適 摩擦熔接條件으로 決定된 것으로서 Table 3과 같다.

引張試驗에 使用된 引張試驗機는 Toyo Bawldwin UTM-25T로서, 引張速度 $2\text{mm}/\text{min}$ 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 $50\text{kgf} \cdot \text{m}$ 의 비틀림 試驗機로서 Fig. 1(c)와 같은 試驗片으로 비틀림 速度 $25\text{deg}/\text{min}$ 으로 行하였다.

衝擊試驗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 未熱處理材에 對해 Fig. 1(c)와 같이 製作한 後 複合衝擊 試驗機로서 打擊速度 $4.89\text{m}/\text{sec}$ 로 衝擊 破斷시켰다.

硬度試驗은 微小 硬度試驗機(micro Vickers hardness tester)를 使用하여, 荷重(load) 200g , 壓入時間(running time) 20sec 로 하였다. 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 未熱處理材와 熱處理材를 比較하였다.

微視組織 檢査를 하기위한 試驗片은 硬度 試驗片과 같은 試驗片을 研磨한 後 알콜 97%, 질산(nitric acid) 3% 溶液에 15秒동안 腐蝕시킨 後 깨끗한 清水에 洗滌하여 試驗片을 完成하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 熔接 後熱處理가 摩擦熔接部의 強度 및 韌性에 미치는 影響

Fig. 3은 後熱處理의 影響을 調查하기 위해 最適條件에서 摩擦熔接을 수행한 後 熔接部에 대한 熱處理材와 未熱處理材 및 母材의 境遇에 대해서 強度와 韌性을 比較하여 나타낸 것이다.

그림에서 熔接 後熱處理材의 引張強度, 비틀림 強度 연신율과 단면수축율은 未熱處理材보다 훨씬 높고, 母材보다도 거의 같거나 다소 높은 傾向이 있음이 確認되었다. 충격치는 모재와 거의 같게 나온 것은, 일반적으로 마찰용접재가 떨어지는데 반해 우수한 편이라 할 수 있다.

따라서 本 實驗에 使用한 熔接 後熱處理 條件은 매우 滿足스러운 것으로 생각된다.

3.2 熔接 後熱處理가 摩擦熔接部의 硬度에 미치는 影響

最適條件에서 摩擦熔接한 熔接材를 熔接部의 硬度에 미치는 熱處理 效果를 調查하기 위해서 熔接 後熱處理材와 未熱處理材에 대해 硬度試驗을 한 結果를 Fig. 4에 나타내었다.

大部分의 材料의 境遇 摩擦熔接面을 中心으로한 熱影響部에서 높은 硬度가 나타나며, 摩擦熔接面에서 멀어질수록 母材의 硬度값에 近接한다는 것은 摩擦熔接의 一般의인 事實이다.¹⁰⁾

本 實驗에서 Fig. 4와 같이 熔接後 未熱處理材에 대해서는 熔接境界面(W. I.)부에 硬度값의 피크(peak)部가 나타났고, 特히 熔接後 未熱處理材의 境遇 HAZ部의 硬度값이 減少하는 것은 壓接時의 局部加熱에 의한 뜨임軟化(tempering softening)에 의한 것이라 思料된다.

熱處理材에 대해서는 피크部가 나타나지 않는 것은 Fig. 3의 熔接 後熱處理條件에 의해 熔接部의 硬度완화와 内部應力이 除去 되었기 때문이라 생각된다.

또한, 그림에서 母材部의 硬度값이 未熱處理材에 비해 熱處理材가 母材의 硬度와 비슷하게 완화

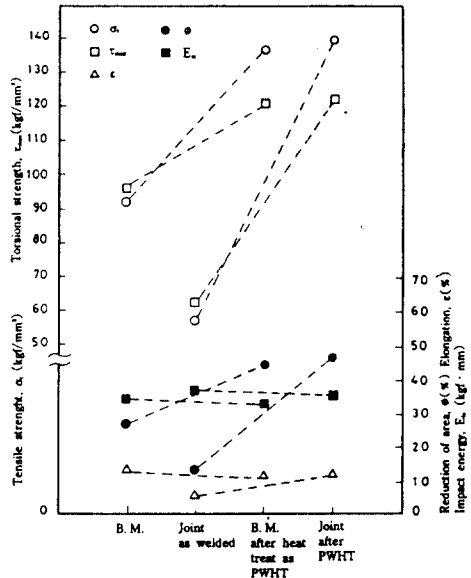


Fig. 3 Effect of post weld heat treatment on strength and toughness of friction welded joints(SUP9A)

Welding condition : $n=2000rpm$, $P_1=8kgf/mm^2$, $P_2=20kgf/mm^2$, $t_1=4 sec$, $t_2=3sec$
 PWHT condition : as in Fig. 3

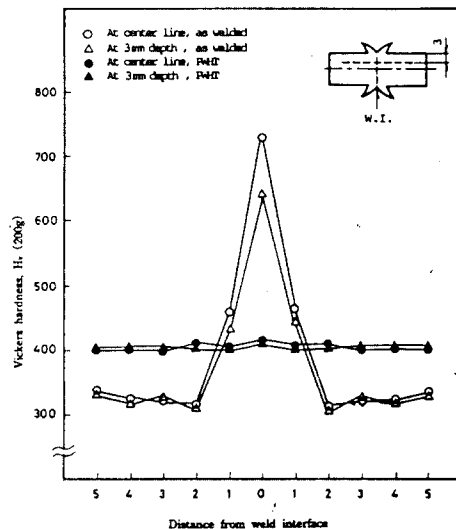


Fig. 4 Hardness distribution near the weld interface of friction welded joints of SUP9A bar to bar

Welding condition : $n=2000rpm$, $P_1=8kgf/mm^2$, $P_2=20kgf/mm^2$, $t_1=4 sec$, $t_2=3sec$
 PWHT condition : as in Fig. 3

되어 스프링강 SUP9A種에 대해서는 반드시 熱處理를 해야 된다는 것이 確認되었다.

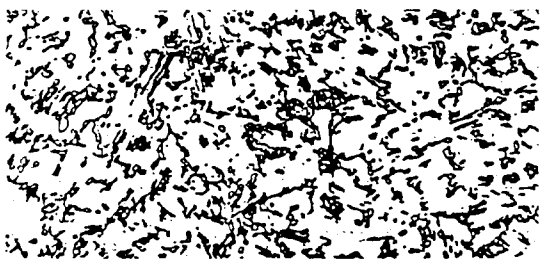
3.3 熔接 後熱處理가 摩擦熔接部の 金屬組織에 미치는 影響

最適條件에서 摩擦熔接한 熔接材를 熱處理材와 未熱處理材에 대해서 熔接部和 熱影響部 組織을 檢査하기 위해 從中心線上에서 摩擦熔接面 W. I. (weld interface) 左右 $400\mu\text{m}$ 附近的 組織寫眞을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

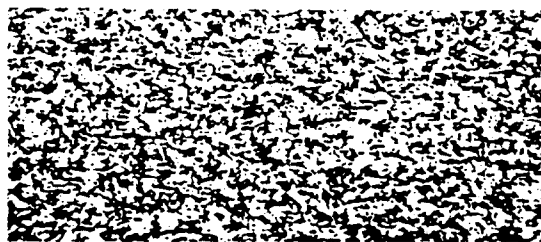
Fig. 5(a)는 熱處理前 母材의 組織으로서 壓延鋼材의 炭素含量이 公積組成을 가지고 있고 페라이트(ferrite)와 퍼얼라이트(pearlite)이지만 퍼얼라이트 중의 시멘타이트(cementite)가 粒狀化 途中에 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5(b)는 熱處理後의 母材의 組織으로서 全體가 소르바이트(sorbite) 組織임을 알 수 있다.

Fig. 6은 最適條件에서 摩擦熔接後 熱處理한 境遇의 組織으로서 W. I., HAZ部, 母材 어디서나 소르바이트 組織임을 알 수 있고, 特히 熔接境界面(W. I.)의 組織은 緻密하게 나타났고, 組織上의 缺陷은 전혀 發見할 수 없었다.



(a) Base metal before PWHT



(b) Base metal after PWHT

Fig. 5 Micro structures of base metal(SUP9A) before and after post weld heat treatment
PWHT condition : as in Fig. 3

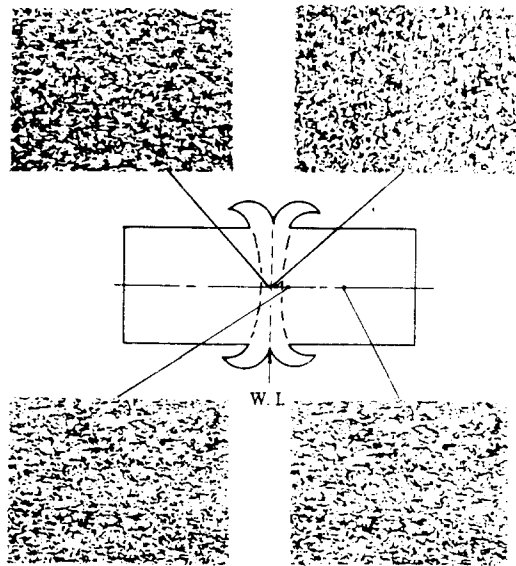


Fig. 6 Micro structure of friction welded joints of SUP9A bar to bar

Welding condition : $n=2000\text{rpm}$, $P_1=8\text{kgf/mm}^2$, $P_2=8\text{kgf/mm}^2$, $P_3=20\text{kgf/mm}^2$, $t_1=4\text{sec}$, $t_2=3\text{sec}$

PWHT condition : as in Fig. 3

4. 結 論

토션 바材인 SUP9A의 스프링강의 同種鋼奉에 대한 摩擦熔接의 最適熔接條件下에서 熔接하고 實現場 條件과 同一하게 後熱處理를 한 後 熔接部の 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) 熔接後 實現場 熱處理 條件에서 熱處理한 熔接部는 母材以上の 強도와 韌性을 向上시킬 수 있고, 같은 熱處理를 한 母材와 거의 같거나 다소 높은 強도와 韌性을 얻을 수 있다.

2) 摩擦熔接部の 硬度分布는 PWHT에 의해 硬度的 peak가 消滅되어 均一한 分布를 얻을 수 있다.

3) 摩擦熔接部の HAZ部和 W. I.部の 微視組織 檢査 結果 最適條件下에서 摩擦熔接後 熱處理된 試驗片의 組織은 強도와 韌性을 向上시키는 소르

바이트 組織으로서 매우 緻密한 組織이며, 組織上의 缺陷은 發見할 수 없었다.

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 Report, 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. Jnl. Res. Suppl. 54(4), p. 183-197, 1969

- 5) Schober, D. and S. Buchhloz, "Reibschweissen des Werkstoffes 37 MnSi 5", Schweisstechnik (Berlin), p. 455-456, 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) Oh, Sae-Kyoo and Jong-Doo Lee, "Study on Friction Welding of Torsion Bar Material(D)-Optimization of Friction Welding Technique -", J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 4, No. 1, p. 101-109, 1990
- 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. Korean Welding Society, Vol. 3, No. 2, p. 1-9, 1985



★ 科學技術人의 信條 ★

우리 科學技術人은 科學技術의 暢達과 振興을 通하여 國家發展과 人類福祉社會가 이룩될 수 있음을 確信하고 다음과 같이 다짐한다.

- 우리는 創造의 精神으로 眞理를 探究하고 技術을 革新함으로써 國家發展에 積極 寄與한다.
- 우리는 奉仕하는 姿勢로 科學技術 振興의 風土를 造成함으로써 온 國民의 科學的 精神을 振作한다.
- 우리는 높은 理想을 指向하여 自我를 確立하고 相互 協力함으로써 우리의 社會的 地位와 權益을 伸張한다.
- 우리는 人間의 尊嚴性이 崇尚되고 그 價値가 保障되는 福祉社會의 具現에 獻身한다.
- 우리는 科學技術을 善用함으로써 人類의 繁榮과 世界의 平和에 貢獻한다.