

機關排氣 밸브用鋼(SCr4—21-4 N, SUH3—21-4 N)의 摩擦壓接과 熱處理에 관한 實驗的 研究

吳 世 奎*

An Experimental Study on Friction Welding and Heat Treatment of Engine Exhaust Valve Steels(SCr4—21-4 N, SUH3—21-4 N)

Sae Kyoo OH*

Abstract

This is an experimental study on friction welding and heat treatment of engine exhaust valve materials whose welding combination is SCr4 as stem to 21-4N as head and SUH3 to 21-4N. In this study, not only the experiments of friction welding under the selected optimum welding condition and the examination of the mechanical properties were carried out, but also the heat treatment of friction welded specimens under the two selected conditions was taken to obtain the better welding character, eliminating the latent stress and the hardness peak which appeared at the welded zones of heat resisting steel(21-4N, SUH3) and low alloyed steel (SCr4) friction weldments.

The results obtained by the experiments and consideration in this study are as follows:

1) It was experimentally proved quite reasonable that 'speed=3,000 rpm, heating pressure $p_1=8$ kg/mm², upsetting pressure $p_2=20$ kg/mm², heating time $t_1=3$ sec, upsetting time $t_2=2.5$ sec' was selected as the optimum welding condition for friction-welding the engine exhaust valve materials SCr 4 to 21-4 N and SUH 3 to 21-4 N.

2) The results of the previous study and this one on friction welding of such dissimilar materials as SUH 3-SUH 31, SCr 4-SUH 31, SCr 4-SUH 3, SUH 3-CRK 22, SCr4—21-4 N and SUH3—21-4 N agreed with each other substantially in the friction welding characteristics at welded interface zones.

3) It was also certified quite satisfactory that '600°C×30 min. ×room air cooling' as an optimum heat treatment condition of the friction welded materials SCr 4—21-4 N and SUH 3—21-4 N was experimentally determined to eliminate the latent stress and the hardness peak at welded zones.

4) About 20% of the tensile strength before heat treatment of friction welded specimens was decreased after heat treatment 600°C×30 min. ×air cooling, but the location of fracture was moved from heat affected zone to parent SCr 4 & SUH3.

5) Microscopic examination of the weld joints friction-welded and heat-treated under the above mentioned conditions revealed that the weld zone is very narrow and has a fine grained intermixed structure without any welding defects.

6) The above mentioned conditions can be also utilized as friction welding parameters of the other dissimilar materials for engine valve production.

* 釜山水産大學, National Fisheries University of Busan.

1. 序 論

船用·陸用 diesel engine 및 自動車 engine의 排氣 valve의 head部는 耐蝕·耐酸化性·高強度의 것이 要求되고 850°C의 高溫에서도 그 性能과 耐久性을 발휘할 수 있는 耐熱鋼이라야 하며, stem部는 耐摩耗性耐熱鋼이라야 engine의 壽命을 延長시킬 수 있으며, 오늘날의 高速運行에 있어서 그 性能과 安全을 기할 수 있을 것이다. 이러한 特殊 異種材質의 排氣 valve 接合은 外國에서는 摩擦壓接^{1), 2), 3)} 및 慣性摩擦壓接⁴⁾⁻⁸⁾에 依하고, 國內에서는 수입에 의존하고 있고, 摩擦壓接法이 flash butt 熔接 등 他壓接法보다 熔接強度 및 生産性面에서 더욱 우수하지만^{9), 10)}, 國內 개발을 위해서는 摩擦壓接의 技術的 面에서의 問題點 改善과 最適壓接條件 決定 및 壓接性能의 改善과 熱處理法이 要求되고 있다. 이에 著者는 '앨브 材料의 摩擦熔接에 관한 研究¹¹⁾'에서 耐熱鋼의 壓接을 위한 最適摩擦壓接條件 設定 및 改善法을 發表한데 이어, 摩擦壓接된 engine valve 用鋼 SCr 4-SUH 31 및 SCr 4-SUH 3의 熱處理에 관한 研究¹²⁾를 시행한 후, 그 계속적 研究로서 本論文에서는 最適摩擦壓接條件의 타당성을 시험하고 그 條件下에서 摩擦壓接된 排氣앨브用鋼의 熱處理問題를 다루고자 하였다.

1965年 Val'ter 等¹³⁾은 高合金鋼과 低合金 perlitic steel 과의 摩擦壓接에서 最適壓接과 熱處理條件 設

定을 시도하였고, Vill' 等¹⁴⁾은 各種 異種材質의 最適摩擦壓接條件과 熱處理條件을 決定하여 母材와 同一한 強도와 延性이 있는 壓接部를 얻었고, 1966年 Scott 等¹⁵⁾은 Al-Fe合金과 stainless 鋼과의 摩擦壓接에서 600°C 熱處理에의 金屬學的 試驗을 하였고, 1968年 Vernik 等¹⁶⁾은 두 Cr-Ni 鋼의 摩擦壓接에서 熔接缺點 제거와 生産向上을 위한 熱處理의 效果를 發表하였고, 1971年 Willingham 等¹⁷⁾은 copper-stainless 鋼의 摩擦壓接에서의 最適熱處理를 論하였고, 1976年 Fukushima¹⁸⁾는 同種材質 및 異種材質의 대표적 摩擦壓接條件 決定을 實驗적으로 성취하였다. 그러나 engine exhaust valve 用鋼 SCr 4-21-4 N 및 SUH 3-21-4N의 最適摩擦壓接 및 熱處理條件에 관한 研究發表는 國內外에서 아직 없다.

本 研究에서는 最適壓接條件에서 摩擦壓接된 排氣 valve 用鋼 SCr 4-21-4 N 과 SUH 3-21-4N의 壓接部부근에 存在하는 殘留應力이나 hardening에 依해 생긴 硬度的 peak 를 제거하고, 強度上 壓接性能을 改善할 수 있는 熱處理에 關해서 引張試驗, 顯微鏡 組織檢査, micro-vickers 硬度試驗 등을 通하여 論하였다.

2. 實驗方法

2-1. 試驗片

使用材料는 engine valve 生産에 使用되던 日製排氣 valve 用鋼으로서, head部는 耐蝕性·耐酸化性·

Table 1. Chemical composition.

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	others
SCr 4	0.38~ 0.43	0.15~ 0.35	0.60~ 0.80	—	—	0.90~ 1.20	—	—	—
SUH3	0.35~ 0.45	1.80~ 2.50	<0.60	≤0.030	≤0.030	10.00~ 12.00	—	0.70~ 1.30	Cu<0.30
21-4 N	0.475~ 0.575	≤0.25	8.0~ 10.0	≤0.040	≤0.040	20.0~ 22.0	3.25~ 4.50	—	N 0.38~ 0.50

Table 2. Mechanical properties.

Materials	Tensile strength(kg/mm ²)	Hardness mHv
SCr 4	76	260
SUH3	80	280
21-4N	94	340

高溫強度가 높은 耐熱鋼 21-4 N 이고, stem部는 低合金鋼인 SCr 4와 鑄入硬化性 및 耐摩耗性이 높은 耐熱鋼 SUH 3이며, 그 化學組成을 Table 1에, 機械的 性質은 Table 2에 나타내었다. 摩擦壓接 材料는 Fig. 1의 (a)와 같이 실제 valve 生産에 이용되는 材料의 3배로 使用하였고, 壓接面은 turret 선 밑에서 HSS 절단 bite로 切斷된 面 그대로 두었다. 引張試驗을 위한 試片은 摩擦壓接 후 Fig. 1의 (b)

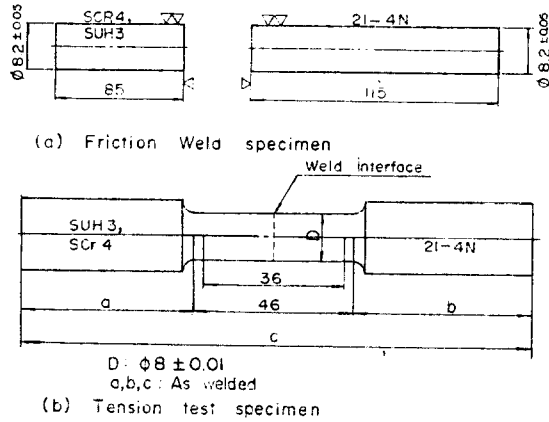


Fig. 1. Dimension of test specimens.

와 같이 KS B0801의 規定으로서 平行部지름(D), 표점거리(G)를 $G=3.54D$ 에 의하여 旋削 및 研削加工하였고, 硬度試驗과 顯微鏡組織寫眞을 위한 試片은 摩擦壓接한 후 軸方向으로 2等分하였고, 그 壓接部 橫斷面은 表面 研削加工과 polishing을 하였다.

2-2. 實驗方法

使用機械는 摩擦壓接用으로서 Fig. 2와 같이 Toyota FW 15型 摩擦壓接(熔接)機이며, 試片製作用으로서 turret 旋盤, 高速旋盤, 원통研削機, 表面研削機 等이며, 熱處理用으로 electric muffle furnace가 사용되었고, 試驗用으로는 50 ton Olsen type hydraulic universal testing machine, micro-vickers hardness tester, metallurgical microscope 等이다.

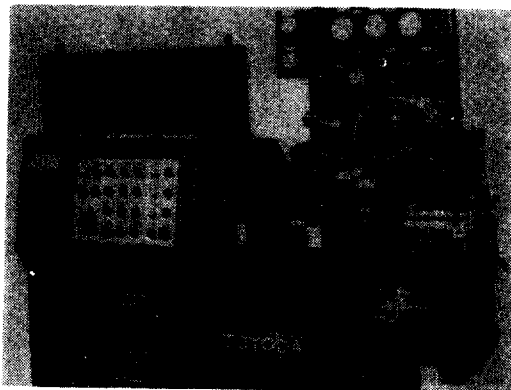


Fig. 2. Toyota FW 15 friction welder used for weld experiment.

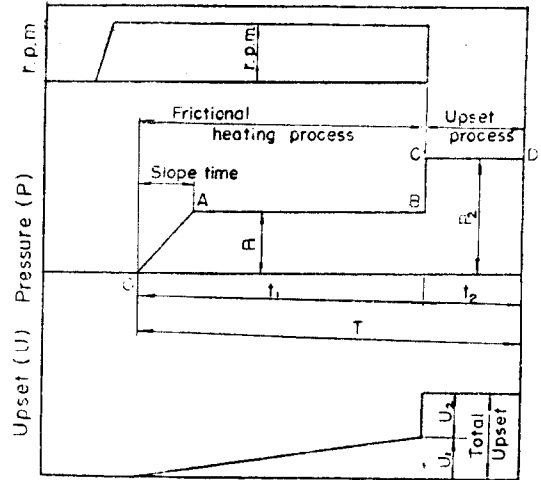


Fig. 3. Welding cycle of friction welding.

Fig. 3에 摩擦壓接行程에 對한 加壓力 cycle을 表示하였다. 被壓接材의 一方(SCR 4, SUH 3)을 回轉시키고, 固定側의 他方(21-4 N)은 軸方向의 加熱壓力(p_1)을 加하여, 發生한 摩擦熱에 依해 接合面이 壓接에 充分한 溫度에 達할 때에 回轉을 急停止시키고, 이때 軸方向의 upset 壓力(p_2)을 加하여 壓接行程이 完了된다²⁾. 即, 그림에서 壓接端의 接觸으로부터 溶解域에 達할 때까지의 OAB間을 加熱過程으로 하고 OA間의 壓力漸增過程을 壓力 slope, 이때의 時間을 slope time으로 하고, 이 壓力 slope는 壓接工程初期에 發生하는 最大 torque를 減少시키기 위해 必要하며, 加壓力을 時間에 對해 直線的 또는 曲線的으로 增加시킨다. A로부터 B까지는 通常의 一定 壓力으로 유지시키고, 이때의 壓力을 摩擦加熱壓力(p_1)으로 한다. 또, upset過程은, 加熱過程終了後, 即 B에서 回轉을 急停止하여 加壓하는 BCD의 過程으로서, 回轉 急停止後의 加壓力을 upset壓力(p_2)으로 한다.

最適摩擦壓接條件은, SUH 3-SUH 31의 壓接試驗에서 얻은 最適條件¹¹⁾인 '回轉數 3,000 rpm, 摩擦加熱壓 $p_1=8\sim 9.5 \text{ kg/mm}^2$, upset壓 $p_2=22 \text{ kg/mm}^2$,

摩擦加熱時間 $t_1=4\sim5$ 초, upset 時間 $t_2=2\sim2.5$ 초, upset 量 $6.7\sim7\text{mm}^2$ 에서와 기타 各種 文獻^{12,18-24,26,27)}에서 세밀히 조사한 結果, Table 3과 같이 決定되고, 摩擦壓接하였다.

殘留應力 및 硬度的 peak 를 除去하기 위한 熱處理條件은, 종래의 各種 data^{9,11-17,24)}로부터 종합하여 $600^\circ\text{C}\times30\text{min.}$, air cooling 과 $700^\circ\text{C}\times30\text{min.}$, air cooling 을 선택하여 熱處理하여 比較하였다.

引張試驗은, Table 3의 壓接條件下에서 摩擦壓接한 것을 Fig. 1 (b)와 같이 加工하여 試驗하였고, 熱處理한 경우와 아닌 경우를 比較하였다.

micro-vickers hardness tester를 使用하여, load 는 500g, 外周部에서 1mm 内部에 對하여 壓接面 左右로 20μ 간격, 50μ , 100μ , 300μ 간격으로, 壓接面에서 左右 약 5mm까지, 熱處理한 경우와 아닌 경우의 硬度分布를 比較 調査하였다.

顯微鏡組織檢査는, 外周部로부터 1mm 内部의 壓接部組織을 檢査하고, 使用된 腐蝕液은 HNO_3 10cc, HCl 30 cc, glycerol 30cc이다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. 摩擦壓接 結果

Fig. 1(a)의 시편을 Table 3과 같은 壓接條件下에서 摩擦壓接한 結果를 Table 4에 表示하였다.

3-2. 引張試驗 結果

摩擦壓接된 SCr4-21-4 N 및 SUH3-21-4 N 을 Fig. 1(b)와 같은 引張試片으로 加工한 후, 引張試驗을 열처리한 경우와 아닌 경우에 실시한 結果를 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Friction Welding conditions & heat treatments.

Material combination	Welding condition					Heat treatment after welding
	Speed rpm	Heating press. p_1 (kg/mm ²)	Upset press. p_2 (kg/mm ²)	Heating time t_1 (sec)	Upset time t_2 (sec)	
SCr4-21-4 N	3,000	8	20	3	2.5	600°C×30min., A. C. & 700°C×30min. A. C.
SUH3-21-4 N	3,000	8	20	3	2.5	

Table 4. Results of friction welding & tension test

Material Combination	Total length before weld l_1+l_2 , mm	Total length after weld L, mm	Frictional heating pressure p_1 , kg/mm ²	Upsetting pressure p_2 , kg/mm ²	Frictional heating time t_1 , sec	Upsetting time t_2 , sec
SCr4-21-4 N	① 200	194.1	8	20	3	2.5
	② 200	194.2	8	20	3	2.5
	③ 200	194.3	8	20	3	2.5
	④ 200	194.2	8	20	3	2.5
	⑤ 200	194.3	8	20	3	2.5
	⑥ 200	194.3	8	20	3	2.5
	⑦ 200	194.4	8	20	3	2.5
	⑧ 200	194.2	8	20	3	2.5
	⑨ 200	194.3	8	20	3	2.5
	⑩ 200	194.2	8	20	3	2.5
	⑪ 200	194.4	8	20	3	2.5
	⑫ 200	194.3	8	20	3	2.5

機關排氣 밸브 用鋼의 摩擦壓接과 熱處理에 關한 實驗的 研究

SUH3-21-4 N	⑬	200	194.4	8	20	3	2.5	
	⑭	200	194.2	8	20	3	2.5	
	⑮	200	194.3	8	20	3	2.5	
	⑯	200	194.8	8	20	3	2.5	
	⑰	200	194.9	8	20	3	2.5	
	⑱	200	195.2	8	20	3	2.5	
	⑲	200	195.0	8	20	3	2.5	
	⑳	200	195.1	8	20	3	2.5	
	㉑	200	195.2	8	20	3	2.5	
	㉒	200	195.1	8	20	3	2.5	
	㉓	200	194.9	8	20	3	2.5	
	㉔	200	194.9	8	20	3	2.5	
	㉕	200	194.8	8	20	3	2.5	
	㉖	200	194.9	8	20	3	2.5	
	㉗	200	194.8	8	20	3	2.5	
	㉘	200	195.0	8	20	3	2.5	
	㉙	200	195.0	8	20	3	2.5	
	㉚	200	194.9	8	20	3	2.5	
	Material combination	Rotating speed, rpm	Total upset U, mm	Tensile strength before heat treat, kg/mm ²	Tensile strength, kg/mm ²		Remarks	
					Heat treat 600°C×30 min×A. C.	Heat treat 700°C×30 min×A. C.		
	SCr4-21-4 N	①	3000	5.9	72	—	—	Fractured at heat affected zone
		②	3000	5.8	74	—	—	
		③	3000	5.7	73	—	—	
		④	3000	5.8	75	—	—	
		⑤	3000	5.7	76	—	—	
		⑥	3000	5.7	—	58	—	Fractured at parent SCr 4
		⑦	3000	5.6	—	56	—	
		⑧	3000	5.8	—	57	—	
		⑨	3000	5.7	—	58	—	
		⑩	3000	5.8	—	59	—	
⑪		3000	5.6	—	—	60	Fractured at	
⑫		3000	5.7	—	—	56		

吳 世 奎

SUH3-21-4 N	⑬	3000	5.6	—	—	53	heat
	⑭	3000	5.8	—	—	54	affected
	⑮	3000	5.7	—	—	55	zone
	⑯	3000	5.2	80	—	—	Fractured
	⑰	3000	5.1	81	—	—	at
	⑱	3000	4.8	80	—	—	heat
	⑲	3000	5.0	80	—	—	affected
	⑳	3000	4.9	82	—	—	zone
	㉑	3000	4.8	—	75	—	Fractured
	㉒	3000	4.9	—	74	—	at
	㉓	3000	5.1	—	72	—	parent
	㉔	3000	5.1	—	72	—	SUH 3
	㉕	3000	5.2	—	73	—	
	㉖	3000	5.1	—	—	72	Fractured
	㉗	3000	5.2	—	—	72	at
	㉘	3000	5.0	—	—	71	heat
	㉙	3000	5.0	—	—	70	affected
	㉚	3000	5.1	—	—	72	zone

3-3. Micro Vickers 硬度試驗 結果

外周部로부터 1mm 長이의 壓接面 左右 各各 5mm 까지 熱處理前과 後(600°C×30min. normalizing, A. C.)의 경우에 硬度試驗한 結果의 橫方向 斷面 硬

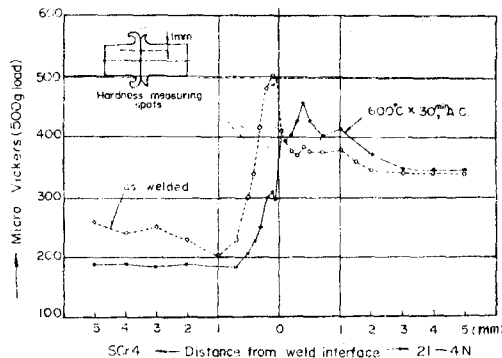


Fig. 4. Hardness distribution near the weld interface of friction welded SCR4-21-4 N. Weld condition: $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, $p_2=20 \text{ kg/mm}^2$, $t_1=3 \text{ sec}$, $t_2=2.5 \text{ sec}$.

度分布線圖를 Fig. 4와 Fig. 5에 各各 表示하였다.

3-4. 顯微鏡 組織檢査

最適壓接條件下(3,000rpm, $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, $p_2=20$

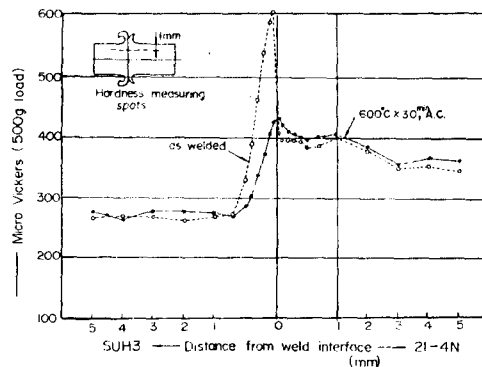
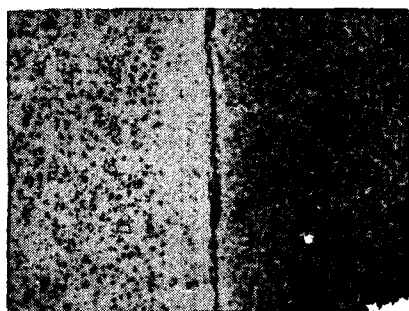
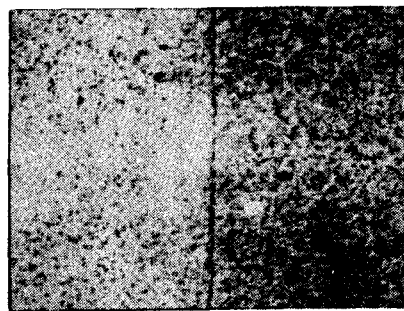


Fig. 5. Hardness distribution near the weld interface of friction welded SUH3-21-4 N. Weld condition: $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, $p_2=20 \text{ kg/mm}^2$, $t_1=3 \text{ sec}$, $t_2=2.5 \text{ sec}$.



Weld zone of SCr4-21-4N, $\times 200$
(A) As welded

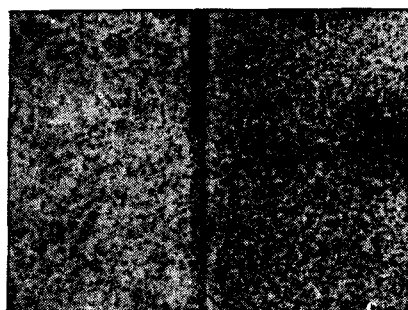


Weld zone of SCr4-21-4N, $\times 200$
(B) Heat treated(600°C \times 30min, A. C.)

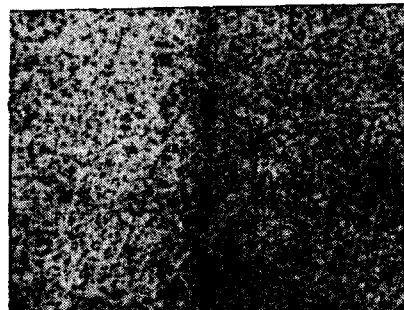
Fig. 6. Micro-structure of friction welded SCr4-21-4N.

Etching: HNO₃ 10cc, HCl 30cc, Glycerol 30cc.

Weld condition: $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, $p_2=20 \text{ kg/mm}^2$, $t_1=3 \text{ sec}$, $t_2=2.5 \text{ sec}$.



Weld zone of SUH3-21-4N, $\times 200$.
(A) As welded



Weld zone of SUH3-21-4N, $\times 200$.
(B) Heat treated(600°C \times 30 min, A. C.)

Fig. 7. Micro-structure of friction welded SUH3-21-4N

Etching: HNO₃ 10cc, HCl 30cc, Glycerol 30cc.

Weld condition: $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, $p_2=20 \text{ kg/mm}^2$, $t_1=3 \text{ sec}$, $t_2=2.5 \text{ sec}$.

kg/mm², $t_1=3 \text{ sec}$, $t_2=2.5 \text{ sec}$)에서 摩擦壓接한 것을 壓接部의 橫方向으로 2등분한 面을, HNO₃ 10cc, HCl 30 cc, Glycerol 30cc의 腐蝕을 使用하여 5分, deep etching 시킨 후 壓接部의 外周에서 2mm 길이 의 組織을 檢査한 組織寫眞을 Fig. 6과 Fig. 7에 各 各 SCr4-21-4 N과 SUH3-21-4 N에 對해 表示하 였다. (A)는 熱處理하지 않는 경우이고, (B)는 熱 處理한 경우(600°C \times 30 min, normalizing, 室內 空 冷)의 것이다.

3-5. 考 察

Table 4에서 알 수 있듯이, 600°C \times 30 min \times air cooling의 normalizing 열처리를 한 경우, 引張強度가 熱處理 前보다 약 20% 떨어지는 것은 SCr 4-SU H 3 및 SCr 4-SUH 31의 摩擦壓接¹²⁾의 경우와 매우

一致하며, 이때 모두 SCr 4 및 SUH 3 母材에서 과 단이 생겼다. 그러나 700°C \times 30 min \times air cooling의 normalizing 熱處理를 한 경우는 열영향부에서 과 단이 생겼으므로, 前者의 熱處理條件이 더 우수하다고 생각된다.

Fig. 4와 Fig. 5에서와 같이 micro vickers 硬度試驗 結果, 壓接時의 局部加熱과 急冷 및 forging 効 果에 의하여 SCr 4 및 SUH 3 個의 壓接面이 硬化되 고, 그 最高硬度는 SCr 4-21-4 N에서 mHv 505, SUH 3-21-4 N에서 mHv 600, 硬度增加範圍는 外周 部 1mm 길이에서 壓接面으로부터 약 1.2mm 사이이 며, 熱影響部는 壓接面에서 左右 약 1mm程度로서 매우 좁다. 또 壓接部 附近에 급격히 硬度低下된 것 이 확인되고, 이 경향은 母材硬度가 높은 21-4 N 측 이 심하다.

이는 壓接時의 局部加熱에 依한 불립軟化 때문인 것으로 생각된다. 그리고 壓接面 附近에 殘留應力 및 硬度不均衡이 심하다. 耐熱鋼(SUH31, SUH3, 21-4 N)과 低合金鋼(SCr4)의 壓接材를 700°C, 850°C等의 高溫으로 熱處理하면 耐熱鋼中의 Cr이 carbon 과의 強한 親和力을 가지고 있으므로, 低合金鋼의 carbon이 耐熱鋼側으로 移動하여 脫炭現象을 일으키며, 壓接部의 強度를 低下시키게 된다. 따라서 壓接缺陷인 이러한 脫炭을 極力 防止함과 同時에, 壓接境界部의 硬度的 급격한 段差 peak 를 없애기 위해 (Fig. 4, Fig. 5 참조) 後熱處理로서 600°C×30 min, air cooling 을 하므로써 대체로 均一化된 것 을 확인할 수 있다. 이러한 특징은 SCr 4-SUH 31, SCr 4-SUH 3¹²⁾에서와 매우 잘 一致하며, SUH 3-SUH 31, SUH 3-CRK 22의 最適摩擦壓接條件決定에 關한 研究¹¹⁾²⁰⁾에와 대체로 一致함을 알 수 있었다. 또한, ‘異種材質의 摩擦壓接의 경우 一定回轉速度에서 完全한 壓接을 얻기 爲해서는 加熱壓(p_1)과 加熱時間(t_1)을 適切히 選定해야 한다’는 Fukushima¹⁸⁾의 보고대로, 本實驗에서 $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, $t_1=3 \text{ sec}$ 를 選定한 것은 매우 만족할만한 것이었다고 확인 되었다.

顯微鏡組織檢査 結果는, Fig. 6과 Fig. 7에서 알 수 있듯이, 그 組織이 正常的이고, 두 異種材質이 보다 強力하게 溶合되어 치밀하고 조밀한 組織이며, 壓接部의 熱影響部도 매우 좁고, 壓接(熔接)缺陷이 전혀 發見되지 않았다는 것은, 本摩擦壓接試驗에서 종래의 研究結果¹¹⁾²⁰⁾를 적용하여 채택한 摩擦壓接條件이 最適이란 것이 다시 立證된 셈이다.

4. 結 論

機關밸브用鋼 SCr4-21-4N 및 SUH3-21-4N을 研究選定된 最適摩擦壓接條件下에서 摩擦壓接을 하고 이때 生기는 壓接部의 殘留應力 및 硬度的 peak 等 壓接缺陷의 除去 및 壓接性能改善을 爲한 熱處理에 關하여 實驗研究한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 排氣 valve用鋼 SCr4-21-4N 및 SUH3-21-4N의 摩擦壓接을 爲한 最適條件으로서 回轉數 3,000 rpm, 摩擦加熱壓 $p_1=8 \text{ kg/mm}^2$, upset 壓 $p_2=20 \text{ kg/mm}^2$, 摩擦加熱時間 $t_1=3$ 초, upset 時間 2.5초를 選定한 것이 매우 타당함이 實驗의으로 立證되었다.

(2) 異種材質 SUH3-SUH31, SCr4-SUH31, SCr4-SUH3, SUH3-CRK22, SCr4-21-4N 및 SUH3-21-4N의 摩擦壓接에 關한 著者の 從來 研

究와 本研究 結果는, 壓接部의 壓接特性이 서로 매우 一致하였다.

(3) SCr4-21-4 N 및 SUH3-21-4 N의 摩擦壓接部의 殘留應力 및 硬度的 peak 를 除去하기 위한 最適熱處理條件은 600°C×30 min×air cooling의 normalizing임이 확인되었다.

(4) 이때 熱處理後에는, 熱處理前의 引張強度의 약 20%가 감소했으나, 破斷 位置는 熱影響部로부터 母材 SCr 4 및 SUH 3 側으로 移動하였다.

(5) 上記 最適條件下에서 摩擦壓接되고 熱處理된 壓接部의 顯微鏡 組織檢査 結果, 壓接部가 매우 좁고 壓接缺陷이 없으며, 치밀하고 조밀한 組織의 우수한 壓接이었음이 확인되었다.

(6) 上記 最適條件은, 機關 valve 生産을 爲한 他異種材質의 摩擦壓接條件으로도 應用될 수 있을 것이다.

References

- 1) M. Okamura, "Friction Welding (2)," Welding Technique, Vol. 18, No. 7, S. 103-106, 1970.
- 2) S. Hukushima, "Friction Welding(3)," Welding Technique, Vol. 19, Nn. 3, p. 94-101, 1971.
- 3) G. F. Eya & Tehirov, "The Friction Weling of Marine Engine Valve's," AW, Vol. 18, No. 3, p. 55-58, 1965.
- 4) Brit. Pat. No. 1, 127, 465, Ford Moter Co. Ltd. London, 18 Dec., 1968.
- 5) Anon, "Inertia Welding Permits New Metal-Joining Combinations," West. Masch. Steel Weld, 60(2), p. 20-23, Feb., 1969.
- 6) T. L. Oberle, C. D. Loyd & M. R. Calton, "Inertia Welding—An Efficient Joining Technique." Metal Progress, Vol. 87, No. 6, p. 104, June, 1965.
- 7) T. L. Oberle, C. D. Loyd & M. R. Calton, "Inertia Welding Dissimilar Metals," Welding Journal, Vol. 46, No. 6, p. 511-516, June, 1967.
- 8) S. K. Oh, "On the Application of Inertia Friction Welder," Welding Technique, KWS, Vol. 3, No. 1, p. 25-30, 1973.
- 9) ASM, "Metals Handbook," Vol. 6, Friction Welding, p. 507-518, 1971.
- 10) A. Hasui, "Status of Friction Welding," J. of JWS, Vol. 39, No. 6, p. 515-530, 1970.

- 11) S. K. Oh, "Study on Friction Welding," of Valve Materials—On Improving the Friction Weld Quality for Exhaustive Valve Materials SUH3-SUH31—" Journal of the Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 3, p. 221-232, 1974.
- 12) S. K. Oh, "Study on Heat Treatment of Friction Welded Engine Valve Materials SCr4-SUH31 & SCr4-SUH3," J. of Busan Tech, Jr. College, No. 16, p. 169-177, Dec., 1975.
- 13) Val' ter, I. G. & Komarcheva, E. S., "Friction Welding of High-alloyed Metals used in Diesel Superchargers," Energomashinostroiye, No. 12, p. 26-29, Dec., 1965.
- 14) V. I. Vil' & E. S. Komarchera, "Research into Techniques for Friction Welding Ferrous Metals," Automatic Welding; Vol. 18, No. 3, p. 36-39, March, 1965.
- 15) M. H. Scott & I. F. Squires, "Metallurgical Examination of Aluminium/Stainless Steel Friction Welds," British Welding Journal, Vol. 13, No. 3, p. 151-164, March, 1966.
- 16) V. S. Vernik, N. G. Geinrikhsdorf, T. J. Voronchikhina & O. A. Anfilatov, "Friction Welding of Steel Sub-Assemblies Operating in Conditions of Wear in an Aggressive Medium," Automatic Welding(9), p. 57-59, Sept, 1968.
- 17) D. C. Willingham & M. H. Scott, "The Temperature Stability of Copper-Stainless Steel Friction Welds," The Welding Institute Research Bulletin, Vol. 12, No. 7, p. 191-4, July 1971.
- 18) Sadao Fukushima, "Study on Selection of Welding conditions in Continuous Drive Friction Welding Process," Japanese National Research Institute For Metals, Vol. 13, No. 4, p. 139-151, 1976.
- 19) R. I. Zakson, V. D. Voznesenskii, "Power and Heat Parameters of Friction Welding," Nutraktorosel Khozmash, Welding Production, No. 10, p. 63-70, 1959.
- 20) K. Nakamura, S. Nakahara, Y. Aoyagi, & M. Yano. "Study on Friction Welding(II)—Optimum Welding Conditions for Plain Carbon Steels," Mech. Lab Report, Vol. 24, No. 4, p. 25-35, 1970.
- 21) U. N. Khudongov et al., "A System of Recording the Operating Parameters in Friction Welding," Automalicheskaya Svarka, No. 4, p. 51-52, April. 1970.
- 22) W. Lucas, "Effect of Selected Process Parameters on Joint Strength and Microstructure of Mild Steel Friction Welds," the Welding Inst. Research Bulletin, Vol. 12, No. 9, p. 258-9. Sep., 1971.
- 23) S. K. Oh, "Effects of Rotational Velocity on Weld Character of Inertia Friction Welded IN 713 C-SAE 863," Journal of the Society of Naval Architecture in Korea, Vol. 9, No. 2, p. 43-48. 1972.
- 24) S. K. Oh, "The Proper Welding Parameters Determination in Inertia Friction Welding of Steel Tubes and Bars," J. of Busan Tech. Jr. College, No. 13, p. 147-159, Feb., 1973.
- 25) AWS, "Welding Handbook," Chap. 50, Friction Welding, 50.3-50.37, 1970.
- 26) S. K. Oh, "Study on Friction Welding of Valve Materials(the 2nd Report)—On Determining the Optimum Welding Condition for Joining the Exhaustive Valve Materials SUH3-CRK22—" J. of Busan Tech. Jr. College, Vol. 17, p. 211-222, 1976.
- 27) S. K. Oh, "A Study on the Optimum Inertia Welding Parameters Determination for Tubular Transition Joints of Steel Shaft to Nickel-Base Superalloy," J. of Busan Tech. Jr. College, Vol. 18, p. 203-214, Dec. 1977.