

摩擦熔接된 Engine Valve用鋼 SCr4-SUH31 및 SCr4-SUH3의 熱處理에 關한 研究

國立釜山水產大學

教授 吳 世 奎

A Study on Heat Treatment of Friction Welded Engine Valve Materials SCr4-SUH31 & SCr4-SUH3

by
Sae Kyoo Oh

Abstract

This study deals with the experimental results of not only the friction weld joints and their mechanical properties but also the optimum heat treatment in order to obtain the better welding character, eliminating the latent stress and the hardness peak which appears at the weld zones of heat resisting steel (SUH31, SUH3) and low alloyed steel (SCr4) friction welds, while joining them under the selected optimum friction welding condition.

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

- 1) It was proved quite reasonable that the welding condition of speed=3,000rpm, heating pressure $p_1=8\text{kg/mm}^2$, upsetting pressure $p_2=20\text{kg/mm}^2$, heating time $t_1=2\text{sec}$ upsetting-time $t_2=2.5\text{sec}$ was selected as the optimum welding condition from the former study¹⁾ of SUH3-SUH31 friction weld, and also the former and this study agreed substantially with each other in the friction welding characteristics.
- 2) It was also proved quite satisfactory that the optimum heat treatment condition of the friction welded valve materials SCr4-SUH31 & SCr4-SUH3 is selected $600^\circ\text{C} \times 30\text{min.}$, room air cooling to eliminate the latent stress and the hardness peak at weld zones.
- 3) It is advisable that to take hardening and tempering of the weld materials before welding and then weld them and heat treat 600°C is better for improving weld strength, in order to eliminate the decarburizing phenomenon which appears at weld interface when the heat resisting steel and the low alloyed steel joints take hardening and solution heat treatment after friction welded.

1. 序 論

船用, 陸用 diesel engine 및 自動車 engine의 排氣 Valve의 head部分은 耐蝕性·耐酸化性·高強度의 것이 要求되고, 850°C 의 高溫에서도 그 性能을 발휘할 수 있는 耐熱鋼이라야 하며, stem部分은 耐摩耗性鋼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 있음은 주지의 사실이다. 이러한 特殊 異種材質의 Valve 接合은 外國에서는 摩擦熔接^{1,2,3)} 및 慣性摩擦熔接^{4,5,6,7,8)}에 依하고, 國內에서는 flash butt熔接 및 摩擦熔接에 依存하고 있으며, 摩擦熔接法이 flash butt 熔接보다 熔接強度 및 生産性面에서 더욱 우수하지만^{9,10)}, 摩擦熔接의 技術의 面에서의 問

題點 改善, 最適熔接條件 決定 및 熔接性能의 改善 및 熱處理法이 要求되고 있다. 이에 筆者는 1974年, 文教部研究助成費에 依한 “밸브材料의 摩擦熔接에 關한 研究”. 에서, 耐熱鋼의 壓接을 爲한 最適摩擦熔接條件 設定 및 改善法을 發表한데 이어 本 論文에서는 最適摩擦熔接條件 下에서 摩擦熔接된 Valve用鋼의 熱處理問題를 다루게 되었다.

1965年 Val'ter et al.¹²⁾은 高合金鋼과 低合金 perlitic steel과의 摩擦熔接에서 最適熔接과 熱處理條件 設定을 시도하였고, Vill' et al.¹³⁾은 各種 異種材質의 最適摩擦熔接條件과 熱處理條件을 決定하여 母材와 同一한 強度와 延性이 있는 熔接部를 얻었고, 1966年 Scott et al.¹⁴⁾은 Al-Fe合金과 stainless, 摩의 摩擦熔接에서 600°C 熱處理 때의 金屬學的 試驗을 하였고, 1968年 Vernik et al.¹⁵⁾은 두 Cr-Ni鋼의 摩擦熔接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 et al.¹⁶⁾

은 Copper-Stainless鋼의 摩擦熔接에서의 最適鋼 處理를 論하였고, 1972年 Moore¹⁷⁾는 Udimet 700 TD-Nickle의 慣性摩擦熔接部가 760~980°C 에서 母材와 같은 強度를 얻었음을 發美하였다. 그러나 valve用鋼 SCr4-SUH31 및 SCr4-SUH3의 最適摩擦熔接 및 熱處理條件에 關한 研究發 表를 國內外에서 아직 찾아보기 힘들다.

本 研究에서는, 最適熔接條件에서 摩擦熔接된 valve用鋼 SCr4-SUH31과 SCr4-SUH3의 熔接部 부근에 存在하는 殘留應力이나, hardening에 依해 生진 硬度的 peak를 제거하고, 強度上 熔接性能을 改善할 수 있는 後熱處理에 關한 研究가 引張試驗, 현미경 組織檢査 micro-vickers硬 度試驗 등을 通하여 수행되었다.

2. 試驗 方法

2-1. 試驗片

使用材料는 Valve生産에 使用되던 日製 排氣

Table 1. Chemical Composition

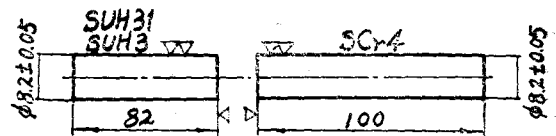
Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Others
SCr4	0.38~ 0.43	0.15~ 0.35	0.60~ 0.80	—	—	0.90~ 1.20	—	—	—	—
SUH31	0.35~ 0.44	1.50~ 2.50	<0.60	<0.040	<0.030	14.00~ 16.00	13.00~ 15.00	—	2.00~ 3.00	—
SUH3	0.35~ 0.45	1.80~ 2.50	<0.60	<0.030	<0.030	10.00~ 12.99	—	0.70~ 1.30	—	Cu<0.30

valve用鋼으로서, head部는 耐蝕性·耐酸化性· 高温強度가 높은 austenite耐熱鋼 SUH31 및 燒 入硬化性과 耐摩耗性이 높은 耐熱鋼 SUH3이며 stem部는 低合金鋼인 SCr4이고, 그 化學組成은 Table 1에, 機械的 性質은 Table 2에 나타내었다. 摩擦熔接 材料는 Fig. 1의 (a)와 같이 실제 Valve 生産에 쓰이는 材料의 寸수 그대로 하였고, 熔接面은 turret선반에서 Hss절단 bite로 切

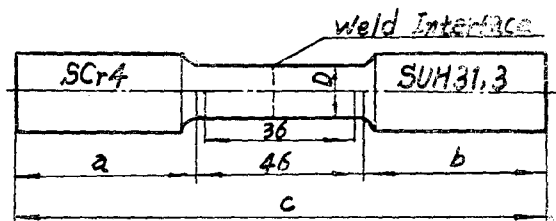
Table 2. Mechanical Properties

Materials	Tensile Strength (kg/mm ²)	Hardness mHv
SCr4	76	260
SUH31	94	310
SUH 3	80	280

斷된 面 그대로 두었다. 引張試驗을 위한 試片



(a) Friction Weld Specimen



D: $\phi 8 \pm 0.05$ & $\phi 7 \pm 0.05$
a, b, c: As Welded

(b) Tension test Specimen

Fig. 1. Dimension of test specimen.

은 摩擦熔接 후 Fig. 1의 (b)와 같이 KS B0801의 規定으로서 平行部 지름(D), 포점거리(G)를 $G=3.54D$ 에 의하여 旅削 및 研削加工하였고 硬度試驗과 顯微鏡組織寫眞을 위한 試片은 摩擦熔接한 후 軸方向으로 2等分하였고, 그 熔接部 橫斷面은 表面 確削加工과 polishing을 하였다.

2-2. 實驗方法

使用機械는 摩擦熔接用으로서 Toyoda FW 15型 摩擦熔接機이며, 試片製作用으로서 turret旅盤, 高速旅盤, 圓筒研削機, 表面研削機 等이며, 熱處理用으로 electric muffle furnace가 使用되었고, 試驗用으로 50ton olsen type hydraulic universal testing machine, micro-vickers hardness tester, metallurgical microscope等

Table 3. Friction Welding Conditions & heat treatments.

Joint materials	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-SUH31	3,000	8	20	2	2.5	600°C×30min., A. C.
SCr4-SUH3	3,000	8	20	2	2.5	600°C×30min., A. C.

引張試驗은 Table 3의 熔接條件下에서 摩擦熔接된 것을 Fig. 1 (b)와 같이 加工하여 試驗하였고, 熱處理한 경우와 안한 경우를 비교하였다. micro-vickers hardness tester를 使用하여, load는 500g, 外周部에서 1mm內部에 對하여 熔接面 左右로 20 μ , 50 μ , 100 μ , 300 μ 간격으로, 熔接面에서 左右 약 5mm까지, 熱處理한 경우와 안한 경우를 比較하여 硬度分布를 調査하였다.

顯微鏡 組織機查는 外周部로부터 2mm內部的 熔接部 組織을 檢査하고, 使用된 腐蝕液은 HNO₃ 10cc, HCl 30cc, glycerol 30cc이다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. 引張試驗

SCr4와 SUH31 및 SCr4와 SUH3를 Table 3의 條件에 따라 摩擦熔接한 후에, 引張試驗을 熱處理한 경우와 안한 경우에 실시한 結果는 Table 4

이다.

最適摩擦熔接條件은 SUH₃-SUH31의 壓接試驗에서 얻은 最適條件¹¹⁾인 "回轉數 3,000rpm, 摩擦効熱壓 $p_1=8\sim9, 5\text{kg/mm}^2$, upset壓 $p_2=22\text{kg/mm}^2$, 摩擦効熱時間 $t_1=4\sim5$ 초, upset時間 $t_2=2\sim2.5$ 초, upset量 약 6.7~7mm"에서와 기타 各種 文獻^{18,19,20,21,22,23)}에서 세밀히 조사한 結果 Table 3과 같이 決定되었고, 摩擦熔接하였다.

殘留應力 및 硬度의 peak를 除去하기 위한 熱處理條件은, 종래의 各種 data^{9,11,12,13,14,15,16,17,24)}로부터 종합하여 600°C×30min. air cooling을 선택하여, 熱處理한 후, 引張試驗, 顯微鏡組織檢査 및 microvickers硬度試驗을 熱處理 前과 後에 比較 실시하여 熱處理의 타당성 여부를 判定하도록 하였다.

와 같다.

3-2. Micro Vickers 硬度試驗

外周部로부터 1mm 깊이의 熔接面 左右 各各 5mm까지 熱處理前과 後 (600°C×30min. temperating, A. C.)의 경우에 硬度試驗한 結果의

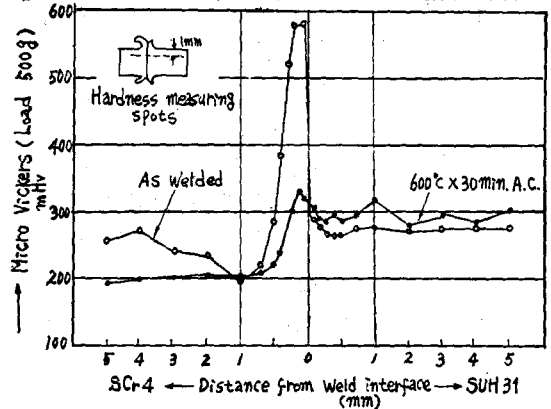


Fig. 2. Hardness distribution near the weld interface of friction welded SCr4-SUH31. Weld Condition: $p_1=8\text{kg/mm}^2$, $p_2=20\text{kg/mm}^2$, $t_1=2\text{sec}$, $t_2=2.5\text{sec}$.

Table 4. Results of tension test (heat treatment 600°C×30min., A.C.)

Joint materials	Tensile strength before heat treat. (kg/mm ²)	Tensile strength after heat treat (kg/mm ²)	Amount of Upset (mm)	Remarks
SCr4-SUH31	74	59	5.4	Fractured at parent
	75	60	5.5	
	72	57	5.7	SCr4 only after heat treated.
	72	59	5.8	
	74	60	5.4	
SCr4-SUH3	74	59	5.4	Fractured at Parent
	76	61	5.6	
	75	60	5.6	SCr4 after heat treated.
	74	59	5.4	
	74	58	5.7	

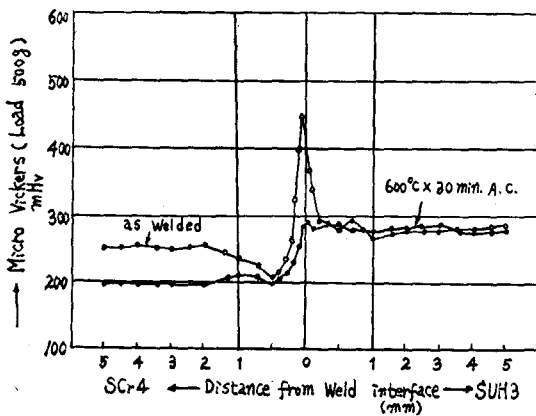


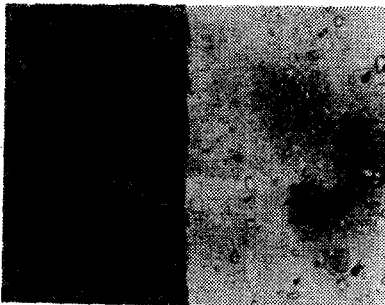
Fig. 3. Hardness distribution near the weld interface of friction welded SCr4-SUH31. Weld condition: $p_1=8\text{kg/mm}^2$, $p_2=20\text{kg/mm}^2$, $t_1=2\text{sec}$, $t_2=2.5\text{sec}$.

橫方向 斷面 硬度分布線圖를 Fig. 2와 Fig. 3에 各各 SCr4-SUH31과 SCr4-SUH3에 對해서 表示 하였다.

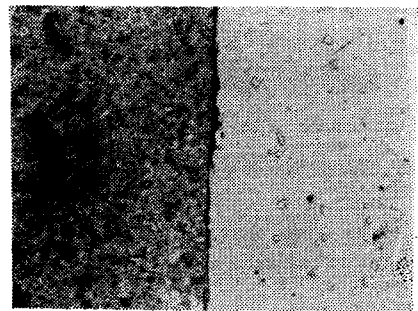
3-3. 顯微鏡 組織檢査

最適熔接條件下에서 即, 3,000rpm, $p_1=88\text{kg/mm}^2$, $p_2=20\text{kg/mm}^2$, $t_1=2\text{sec}$, $t_2=2.5\text{sec}$ 때 摩擦熔接한 것을 熔接部의 橫方向으로 2등분한 面을, HNO₃ 10cc, HCl 30cc, Glycerol 30cc의 腐蝕液을 使用하여 5分 deep etching시킨후, 熔接部의 外周에서 2mm 길이 的 組織을 檢査한 組織寫眞을 Fig. 4와 Fig. 5에 各各 SCr4-SUH31과 SCr4-SUH₃에 對해 表示하였다.

(A)는 熱處理하지 않은 경우이고, (B)는 熱處理한 경우(600°C×30min, tempering, 室內

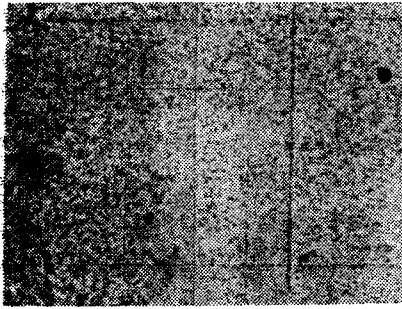


Weld zone of SCr4-SUH31, x200.
(A) AS welded

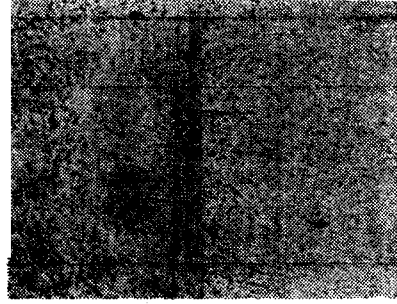


Weld zone of SCr4-SUH31, x200.
(B) Heat treated (600°C×30min, A.C.)

Fig. 4. Micro-structure of friction welded SCr4-SUH31. Etching: HNO₃ 10cc, Hcl 30cc, Glycerol 30cc. Weld condition: $p_1=8\text{kg/mm}^2$, $p_2=20\text{kg/mm}^2$, $t_1=2\text{sec}$, $t_2=2.5\text{sec}$.



Weld zone of SCr4-SUH3, x200.
(A) AS welded



Weld zone of SCr4-SUH3, x200.
(B) Heat treated (600cx30min, A. C.)

Fig. 5. Micro-structure of friction welded SCr4-SUH31. Etching: HNO₃ 10cc, Hcl 30cc, Glycerol 30cc, Weld condition: $p_1=8\text{kg/mm}^2$, $p_2=20\text{kg/mm}^2$, $t_1=2\text{sec}$, $t_2=2.5\text{sec}$.

空冷)의 것이다.

3-4. 考 察

Table 4에서 알 수 있듯이, 熱處理에 의해 引張強度가 약 20% 떨어지며, 이때 모두 SCr4母材에서 파단이 생겼으므로, SCr4의 強度로 생각할 수 있다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 알 수 있듯이, micro vickers 硬度試驗 結果, 熔接時의 局部効熱과 急冷 및 forging 效果에 의하여 SCr4側의 熔接面附近이 硬化되고, 그 最高硬度는 SCr4-SUH31에서 mHv 580, SCr4-SUH3에서 mHv 450, 硬度增加範圍는 外周部 1mm 길이에서 熔接面으로부터 1.1mm 사이이며, 熱影響部는 熔接面에서 左右 약 1mm 程度로서 매우 좁다. 또 熔接部附近에 급격히 硬度低下된 곳이 확인되고, 이 경향은 母材硬度가 높은 SUH31側이 심하다. 이는 熔接時의 局部加熱에 의한 뜨임軟化(tempering softening) 때문인 것으로 생각된다. 그리고 熔接面附近에 殘留應力 및 硬度不均衡이 심한데 이는 熱處理로서 대체로 均一化된 것을 확인할 수 있다. 이러한 특징은 모두 SUH3-SUH31의 摩擦熔接試驗의 研究¹¹⁾과 대체로 잘 一致함을 알 수 있다.

顯微鏡組織檢査 結果로서 Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이, 그 組織이 正常的이고, 熔接缺陷이 전혀 發見되지 않았다는 것은, 本 熔接試驗에서 종래의 研究結果¹¹⁾를 적용하여 채택한 熔

接條件이 最適熔接條件이었음을 다시 立證된 셈이다.

耐熱鋼(SUH31, SUH3)과 低合金鋼(SCr4)의 熔接材를 700°C, 850°C 등의 高溫으로 熱處理하면 耐熱鋼中の Cr이 carbon과의 강한 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, 熔接部의 強度를 低下시키게 된다. 따라서 이러한 脫炭을 極力防止함과 同時에, 熔接境界部의 硬度의 급격한 段差 peak를 없애기 위해 (Fig. 2, Fig. 3 참조) 後熱處理로서 600°C×30min., air cooling을 종래의 data를 통해 選定하였다^{9,11,12,18,14,15,16,17,24)}. 이 熱處理(tempering)를 行한 結果 Fig. 2와 Fig. 3의 어느 경우에서도 알 수 있듯이 硬度의 peak가 사라졌고 硬度回復이 이루어졌다. 한편 이때 SCr4의 強度가 60kg/mm² 前後로 약 20% 정도 떨어지는데 (Table 4 참조), 이는 熔接後 熱處理로서 調質化에 의해 上記 現象이 생기므로 아예 애당초 熔接材를 燒入(hardening) 및 tempering한 후 熔接하고, 그리고 나서 600°C 熱處理하는 것이 理想的이라고 생각된다(어떤 경우에는 tempering을 생략해서, 熔接後에 母材의 tempering을 겸해서 600°C 熱處理하는 것도 한 方法이 될 것이다).

4. 結 論

valve用鋼 SCr4-SUH31 및 SCr4-SUH3을 研

究選定된 最適摩擦熔接 條件下에서 壓接을 하고 이때 생기는 熔接部의 殘留應力 및 硬度的 peak 等 熔接缺陷을 除去 및 熔接性能改善을 爲한 熱處理에 對하여 實驗研究한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) valve用鋼 SCr4-SUH31 및 SCr4-SUH3의 壓接을 爲한 最適摩擦熔接 條件으로서 回轉數 3,000rpm, 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 $t_1=2\text{초}$, upset, 時間 2.5초를 選定한 것은 매우 타당하였으며, 熔接性能上的 특징은 SUH3-SUH31의 摩擦熔接의 경우¹¹⁾와 대체로 잘 一致하였다.

(2) 熔接部의 殘留應力 및 硬度的 peak를 除去하기 爲하여, 從來의 Deta에서 $600^\circ\text{C}\times 30\text{min}$ A.C.를 選定하여 熱處理한 경우, 매우 良好하였다.

(3) 耐熱鋼과 低合金鋼의 摩擦熔接後에 鑄入(hardening) 다음에 溶體化處理(solution heat treatment)가 되면 熔接境界部에 脫炭(또는 浸炭) 現象이 생기며, 이를 해결하기 爲하여는 熔接前에 hardening 및 tempering하고 나서 熔接하고, 200°C 後熱處理하는 편이 強度上 좋을 것이다. 한편, tempering은 省略하고 熔接後 母材의 tempering을 겸하여 $600^\circ\text{C}\times 30\text{min}$, A.C. 熱處理하는 것도 한 方法이다.

References

- 1) M. Okamura, Welding Technique, Vol. 18, No. 7, p. 103-106, 1970.
- 2) S. Hukushima, Welding Technique, Vol. 19, No. 3, p. 94-101, 1971.
- 3) G.F. Eya & Tehirov, AW, Vol. 18, No. 3, p. 55-58, 1965.
- 4) Brit. Pat. No. 1, 127,465, Ford Motor Co. Ltd., London, 18 Dec., 1968.
- 5) Anon, West. Masch. Steel Weld, 60(2), p. 20-23, Feb., 1969.
- 6) T.L. Oberle, C.D. Loyd & M.R. Calton Welding Journal, Vol. 46, No. 6, p. 511-516, June, 1967.
- 7) T.L. Oberle, C.D. Loyd & M.R. Calton Welding Journal, Vol. 87, No. 6, p. 104 June, 1965.
- 8) S.K. Oh, 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, J. of JWS, Vol. 39, No. 6, p. 515-530, 1970.
 - 11) S.K. Oh, Journal of the Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 3, p. 221-232, 1974.
 - 12) Val'ter, I.G. & Komarcheva, E.S., Energomashnostronie, No. 12, p. 26-29, Dec., 1965.
 - 13) V.I. Vill' & E.S. Komarchera, Automatic Welding, Vol. 18, No. 3, p. 36-39, March, 1965.
 - 14) M.H. Scott & I.F. Squires, British Welding Journal, Vol. 13, No. 3, p. 151-164, March, 1966.
 - 15) V.S. Vernik, N.G. Geinrikhsdorf, T.J. Voronchikhina & O.A. Anfilatov, Automatic Welding, (9) p. 57-59, Sept., 1968.
 - 16) D.C. Willingham & M.H. Scott, The Welding Institute Research Bulletin, Vol. 12, No. 7, p. 191-4, July, 1971.
 - 17) Thomas J. Moore, Welding Journal, Vol. 51, No. 4, p. 253-62, April, 1972.
 - 18) R.I. Zakson, V.D. Voznesenskii, Nutraktorosel Khozmash, Welding Production, No. 10, p. 63-70, 1959.
 - 19) K. Nakamura, S. Nakahara, Y. Aoyagi & M. Yano, Mech. Lab Report, Vol. 24, No. 4, p. 25-35, 1970.
 - 20) U.N. Khudongov et al., Automalicheskaya Svarka, No. 4, p. 51-52, April, 1970.
 - 21) W. Lucas, The Welding Inst. Research Bulletin, Vol. 12, No. 9, p. 258-9, Sep., 1971.
 - 22) S.K. Oh, Journal of the Society of Naval Architecture in Korea, Vol. 9, No. 2, p. 43-48, 1972.
 - 23) S.K. Oh, S.C. Kim, J. of Busan Tech. Jr. College, No. 13, p. 147-159, Feb., 1973.
 - 24) AWS, "Welding Handbook", Chap. 50. Friction Welding, 50.3-50.37, 1970.
- 저자소개: 부산수산대학 교수. 박용기제공학과장 대학원기관학과주임교수 한국박용기관학회 사업이사