

<論 文>

異種鋼의 摩擦壓接時 壓接時間 變化에 따른 強度舉動

—SM45C 와 SUS304 材의 경우—

宋 森 弘* · 朴 明 果**

(1987年 4月 28日 接受)

The Behavior of Strength on Friction Welding of Dissimilar Steels by Various Heating Time

—In Case of SM45C and SUS304 Materials—

Sam Hong Song and Myong Gwa Park

Key Words: Interface(압접면), Welded Zone(용접부), Heat Affected Zone(열 영향부), Flash(플래쉬), Amount of Upset(업셋량)

Abstract

Friction welding is a fusion process in which the necessary heat is generated by clamping one of the two pieces to be welded in a stationary chuck and rotating the other at high speed with an axially applied load. It is essentially a variation of the pressure welding process but utilizes a novel heating method. In addition to the foregoing advantages, it has also been reported excellent for welding dissimilar materials. Therefore, this study reported on investigating the strength behavior for the frictionally welded domestic structural steel SM45C and SUS304.

The results obtained by the experiments are as follows.

(1) The highest tensile strength of the best friction welded specimen (B4) is about 3% lower than that of SM-45C base metal, and 9% lower than that of SUS304 base metal. The heat treated specimens (850°C 1hr A.C) have almost same value of tensile strength.

(2) The strain of SM45C base metal is 27.3% and that of SUS304 is 42%, that of the best friction welded specimen (B4) appeared as 11.9% which is about 50% lower than the base metal, so, this same phenomenon appeared in all the other welding conditions.

(3) The bending strength of SM45C base metal is 123kgf/mm² and that of SUS304 is 127 kgf/mm². The best specimen (B4) appeared as 121kgf/mm² which is almost same bending strength for both base metals.

(4) The friction welded condition involving maximum strength is determined by $P_1=8\text{kgf/mm}^2$, $P_2=22\text{kgf/mm}^2$, $T_1=10\text{sec}$, $T_2=2\text{sec}$, and amount of upset 7.6mm.

* 正會員, 高麗大學校 工科大學 機械工學科

** 正會員, 韓國航空大學 航空機械工學科

(5) The interface of two dissimilar materials are mixed strongly, and welded zone is about 1.03mm and also the heat affected zone is about 2.36mm at SM45C while about 1.85mm at SUS304, therefore the welded zone and heat affected zone are very narrow to compare with those of the other welding materials.

1. 序 論

摩擦壓接到 關한 研究는 1958 년경 소련의 V.I. Vill⁽¹⁾의 指導아래 VNIIESO(소련연방전기용접기연구소)에서 金屬壓接到 對한 것을 實用化한 후 各種 炭素鋼의 摩擦壓接到 中心으로하여 많은 研究가 進行되고 있다. 摩擦壓接材의 強度에 影響을 주는 壓接條件으로서의 5 가지 因子(브레이크형 마찰압접의 경우)는 回轉數, 加熱壓力, 壓接壓力, 加熱時間 및 壓接時間이며, 壓接材의 最高 強度值를 求하는 方法은 解析的으로 구할수 없고, 從來에 研究한 것을 보면 위의 條件을 2~3 條件으로 變化시켜 壓接한 後 引張強度 및 굽힘強度를 求하여 最高強度值를 決定하고 있다. Toshisuke⁽²⁾는 SM45C와 SM45C를 상기 5 가지 條件下에서 壓接하여 생긴 壓接량과 引張強度와의 關係를 求하였고, M.B. Hollander⁽³⁾는 AISI4140-SUS304를 回轉速度, 加熱壓力, 加熱時間을 變化시켜 摩擦壓接한 後 最適壓接 사이클을 求하고, 引張試驗한 結果로 最適壓接 條件을 구하였다. Hazlett^(4,5)는 SAE 1020과 AISI 4130을 加熱壓力, 壓接壓力, 壓接量을 變化시켜 引張強度 및 壓接部의 組織을 檢査한 結果 壓接強度는 壓接壓力에 따라 다르고 最適條件을 초과하면 오히려 強度가 떨어진다고 하였다. 또 Hasui⁽⁶⁾는 S45C 조질강봉과 S25C 압연봉을 壓接한 結果 壓接되기 시작하는 直後에 回轉을 停止하도록 調整하는 것이 좋으며 壓接 지연시간을 1 초로 하였을 때 적은 壓接량으로도 充分한 이음강도를 얻을수 있다고 하였다. 그러나 摩擦加熱時間 變化에 따른 壓接量의 變化에 대하여 強度變化를 체계적으로 研究한 것은 많지 않다.

本 論文에서는 國產 構造用 鋼인 SM45C와 SUS304材를 摩擦加熱壓力와 壓接壓力를 서로 變化시키고 壓

接시간을 2 秒로 고정하여 壓接時間 10 秒를 기준으로 하여 變化시키면서 摩擦壓接한 後 壓接時間 變化에 따른 引張強度의 變化와 壓接량 變化에 따른 引張強度 및 굽힘強度를 考察하였다. 또 最高 強度值를 나타내는 壓接條件을 求한 後 微小 硬度值 및 異種材의 壓接部에서 微小하게 變化하는 조직변화도 함께 考察하였다.

2. 試驗片 및 實驗方法

2.1 試驗片

試驗片 素材는 國產構造用 鋼材인 SM45C와 SUS304인 $\phi 16\text{mm}$ 丸棒을 使用하여 壓接試片을 Fig. 1과 같이 加工하였다. 特別히 壓接面은 선삭한 後 다듬질 하였다. 各 材料의 化學的 조성은 Table 1과 같고 機械的 性質은 Table 2에 表示하였다.

摩擦壓接時 SM45C를 回轉시켜 壓接한 후 일부 불림熱處理 (850°C 1hr A.C.) 하고 KS B081 (10호) 引張試片으로 Fig. 2와 같이 加工하였고 굽힘試驗片은 KS B0803(나호) 試片 $\phi 12.5\text{mm}$ $l=250\text{mm}$ 로 加工하였다.

Table 2 Mechanical properties of base metals

Materials	Ultimate tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of section area (%)
SM45 C	66.5	27.3	49.9
SUS 304	70.0	42.0	59.0

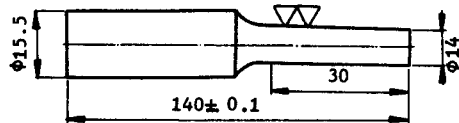


Fig. 1 Dimension of base metal

Table 1 Chemical composition

(wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
SM45C	0.48	0.29	0.69	0.034	0.016	0.05	0.11	0.01	0.09
SUS304	0.08	0.42	1.39	0.059	0.013	8.04	18.05	—	—

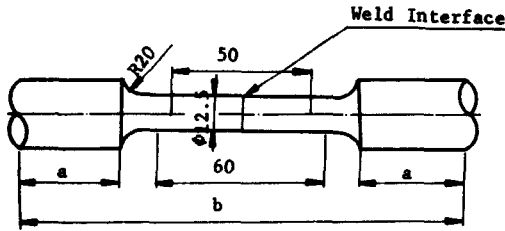


Fig. 2 Tensile test specimen

또 微小硬度試驗과 현미경 組織檢査를 위한 試片은 Fig. 3과 같이 摩擦壓接 試片을 軸方向으로 2等分한 後 샌드페이퍼의 메쉬(Mesh)(150°, 320°, 400°, 600°, 800°, 1000°, 1200°,) 순으로 연마하고 電解研磨하였다.

2.2 實驗方法

本實驗에 使用된 摩擦壓接機는 Fig. 4와 같이 S社에 있는 Toyoda F.W.-15H 型인 브레이크형을 使用하였으며, 試驗片 製作用으로 Copy 型 旋盤, 表面研削機等이며, 熱處理用으로 전기 머플로가 使用되었고, 引張과 굽힘시험은 만능시험기(S.K.F. hydraulic universal testing machine, 20T)를 使用하였다. 또, 壓接部의 組織 및 微小硬度試驗을 하기 위하여 금속현미경과 미소경도기(Micro-Vickers hardness tester)를 利用하였다.

Fig. 5는 摩擦壓接 行程에 對한 加壓力 사이클을 표시한 것이다. 피압접재의 한쪽(SM45 C)을 回轉시키고 고정속인 다른쪽(SUS304)에 軸方向으로 加熱壓力 P_1 을 加하여 發生한 摩擦熱에 의해 接合面이 充分한 溫度에 達할때 回轉을 急停止시키고 이때 軸方向에 P_2 를 加하여 壓接行程이 완료된다. 즉 압접단의 접촉으로부터 단조온도에 達할때 까지의 곡선 OAB를 加熱과정이라고 하고 OA를 압력경사라고 하는데 이 과정은 加熱時 壓力를 規定壓力까지 上昇시키는데 必要한 것이다. 이 과정에 걸리는 時間을 경사時間이라하고 이 壓力경사는 壓接工程 初期에 發生하는 最大 토크를 감소시키기 위해 必要하며, 加壓力를 時間에 對하여 直線的 또는 曲線的으로 增加시킨다. AB間은 一般적으로 一定壓力으로 유지시키고 이때의 壓力을 摩擦加熱 壓力(P_1)이라고 한다. 또 壓接과정은 가열과정 종료후 즉 B에서 回轉을 급정지하여 加壓하는 BCD의 과정으로서 回轉 급정지후 加壓力를 壓接壓力(P_2)이라고 한다. 類似 材質에 대한 摩擦壓接의 各種文獻⁽¹⁻³⁾을 參

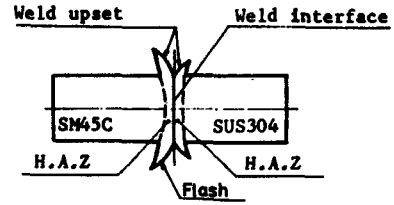


Fig. 3 Cross section through a friction weld joining the SM45C and SUS304

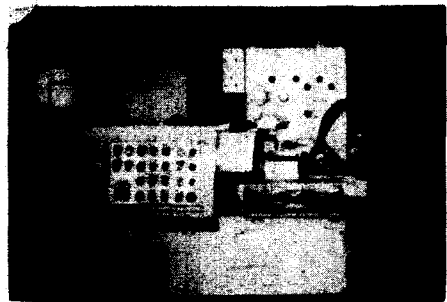


Fig. 4 Toyoda F.W. 15H friction welder used for weld experiment

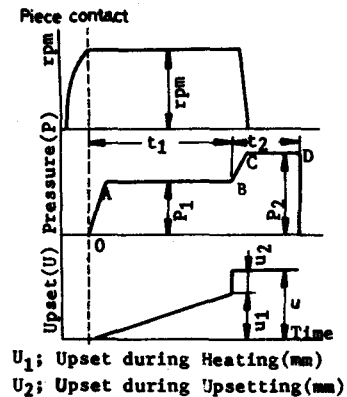


Fig. 5 Welding cycle of F.W.

밀히 조사한 結果 加壓力를 높이고 壓接時間은 約 10 秒⁽⁷⁾로 보고되어 있어 本 研究에 있어서는 參考文獻(8)을 참조하여 摩擦加熱壓 $P_1=6\text{kgf/mm}^2$ 를 8kgf/mm^2 로 올리고 壓接壓力 $P_2=20\text{kgf/mm}^2$ 에서 22kgf/mm^2

로 증가시키고 壓接時間 10 秒를 기준으로 하여 最高強度를 나타내는 壓接條件을 發見하기 위해 壓接時間을 넓게 變化시키면서 試片을 摩擦壓接하였다. 回轉速度는 材料와 參考文獻(8, 12, 14)를 고려하여 저속인 3000rpm으로 고정하는 것이 좋았다. 引張試驗은 熱處理한 경우와 안한 경우를 比較하여 引張強度가 충분하고, 同時에 굽힘試驗을 통하여 屈曲의 延性を 얻을 수 있는 最高強度值를 나타내는 壓接條件을 發見코져 시도하였다. 硬度試驗은 미소경도기(Micro-Vickers hardness tester)를 사용하여 하중 50gr, 時間 15秒를 주어 軸의 中心線과 中心線에서 2.7mm 떨어진 外周를 따라 인터페이스를 기준으로 하여 左右로 20 μ m 간격마다 3개소, 30 μ m 간격마다 3개소, 50 μ m 간격마다 5개소, 100 μ m 간격마다 6개소, 200 μ m 간격마다 10개소 등의 硬度에 대해 熱處理한 경우와 안한 경우를 比較하여 인터페이스에서 左右 約 6mm까지의 硬度分布를 調査하였다. 顯微鏡 組織檢査는 인터페이스에서 壓接部組織, 熱影響部組織, 母材組織等을 比較 檢査하였고 熱處理⁽⁹⁾는 불림처리로서 850°C로 加熱한 후 爐內에서 1時間 유지한 後 空冷시켰다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 壓接條件에 따른 強度變動

Table 3은 업셋시간을 2秒로 고정하고 加熱壓力(P_1)과 업셋壓力(P_2)을 變化시키고 加熱時間을 여러 단계로 變化시켜 摩擦壓接한 條件과 업셋량 및 非熱處理材의 引張強度와의 關係를 表示한 것이다. 壓接條件의 選定方法은 一般의으로 $P_2 = (2 \sim 3)^{11)} P_1$ 의 關係가 있다고 하였으나 이 關係는 炭素鋼의 壓接에는 잘 맞고 있으나 異種材의 壓接에는 잘 맞지 않는다. 따라서 근사치를 利用하게 된다. 즉 參考文獻(1~8)을 참조하여 $P_1 = 6 \text{ kgf/mm}^2$, $P_2 = 20 \text{ kgf/mm}^2$ 로 壓接한 것을 A材, $P_1 = 8 \text{ kgf/mm}^2$, $P_2 = 22 \text{ kgf/mm}^2$ 로 壓接한 것을 B材로 하였다. 引張強度가 가장 낮은 값은 약 55 kgf/mm²로서 A1, A5, A6材에서 나타났고, A材中 引張強度가 가장 높은 값은 A4, A8材로서 59kgf/mm²로 나타났다. B材의 경우에 낮은 引張強度값은 B1材에서 55.9kgf/mm²이고 B4材에서는 64kgf/mm²로서 最高의 引張強度가 나타났으며, SM45C 母材에 比較하여 約 3%, SUS304 母材에 比較하여 約 9% 低下하고 있다. Fig. 6, Fig. 7은 加熱時間에 대하여 熱處理材

Table 3 Friction welding conditions and results for tension test

Speci. No.	rpm	P_1 (kgf/mm ²)	P_2 (kgf/mm ²)	Time(sec)		Δl (mm)	σ_r (kgf/mm ²)	Broken place	
				T_1	T_2				
A	1	3,000	6	20	5	2	2.9	55.3	SUS W.Z.
	2		"	"	7	"	4.2	55.7	INT
	3		"	"	10	"	5.5	56.6	SUS W.Z.
	4		"	"	12	"	6.5	59.0	"
	5		"	"	14	"	7.8	55.2	"
	6		"	"	16	"	8.4	54.5	INT
	7		"	"	18	"	9.3	55.5	"
	8		"	"	20	"	10.8	59.0	SUS W.Z.
B	1	3,000	8	22	6	2	4.2	55.9	"
	2		"	"	7	"	5.9	58.0	"
	3		"	"	8	"	6.5	62.2	"
	4		"	"	10	"	7.6	64.0	"
	5		"	"	12	"	9.0	62.4	"
	6		"	"	14	"	10.1	58.0	"
	7		"	"	16	"	11.3	57.0	INT

P_1 : Heating pressure P_2 : Upsetting pressure T_1 : Heating time T_2 : Upsetting time
 Δl : Amount of upset INT : Interface W.Z. : Welded zone

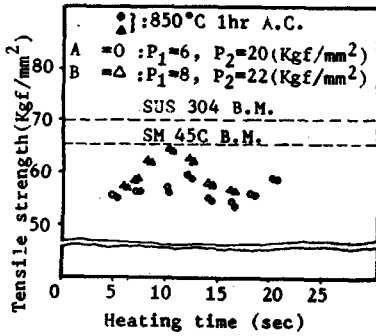


Fig. 6 Tensile strength V.S. heating time

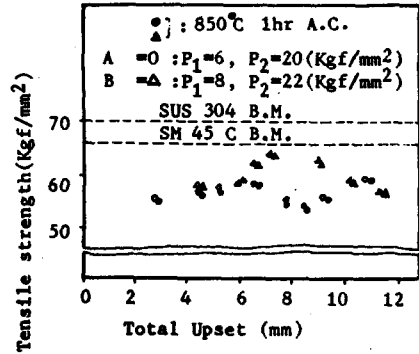


Fig. 8 Tensile strength V.S. amount of upset

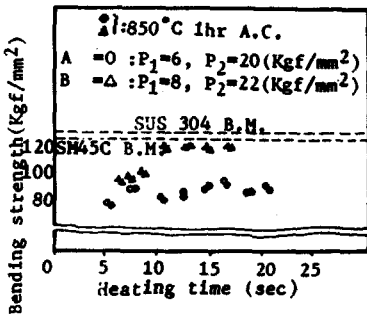


Fig. 7 Bending strength V.S. heating time

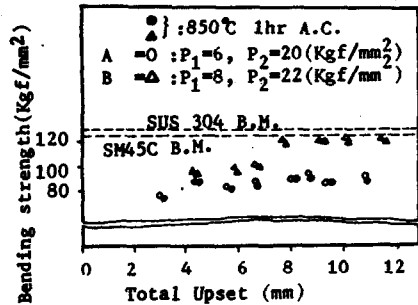


Fig. 9 Bending strength V.S. amount of upset

와 非熱處理材의 引張強度 및 굽힘強도를 表示한 것으로 A材의 경우는 壓接條件에 따라 지그재그형을 하고 있으나, B材의 경우는 대략적인 曲線變化를 하고 있다. 引張強度가 熱處理한 後 약간 내리는 듯 하나 문제가 될 정도가 아니다.

引張強度는 加熱時間 10秒에서 最大值을 나타내고 굽힘強度는 121.1kgf/mm²로서 SM45C 母材와 거의 비슷하다.

Fig. 8과 Fig. 9는 전 업셋량 變化에 대하여 引張強度 및 굽힘強도를 구한 것으로 最高引張強度 및 굽힘強도를 얻을 수 있는 범위는 업셋량이 7~9mm 사이이며 이 경우에는 업셋량 7.6mm에서 最高強度值을 보이고 있다.

Fig. 10(a), (b)는 加熱時間 變化에 대하여 연신을 단면 수축율을 표시한 것으로 加熱時間 10秒에서 最大值을 나타내고 있으며 10秒로 壓接한 B4材에서 最高引張強度를 얻을 수 있다. 壓接한 材料는 局部加熱 및 空氣中에서 冷却되어 SM45C 母材에 比하여 연신율은 50% 以下로 줄어들었으며 이러한 現象은 壓接材 전체

에서 일어나고 있고 불림 熱處理材에서도 거의 비슷한 현상이 나타난다.

Fig. 11은 加熱時間 T_1 과 업셋량 Δ/mm 을 표시한 것으로 A材와 B材가 모두 直線의인 變化를 하고 있어 서로 비례하고 있으며 最高強度值을 나타내는 10秒에서 B材의 경우를 보면 업셋량 7.6mm을 구할 수 있다. 이상의 결과로 最高強度를 나타내는 壓接條件은 $P_1=8kgf/mm^2$, $P_2=22kgf/mm^2$, $T_1=10$ 秒, $T_2=2$ 秒로서 업셋량 7.6mm로 결정할 수 있다.

이와같은 최저강도는 摩擦時의 입열량의 大小 및 발생의 溫度의 高, 저에 따라서 좌우된다고 생각되는 때, 이것은 또 가열압력 (P_1), 압전가열시간 (T_1), 압전압력 (P_2), 업셋시간 (T_2) 등의 壓接因子에 의하여 변화한다고 生覺된다. 즉 摩擦壓接時, 이러한 摩擦에 의한 입열량 때문에 摩擦부위의 국부적인 금속조직들이 변화하고 그 결과 각 부위의 機械的 性質은 달라진다고 生覺된다. 입열을 들면, P_1 , T_1 을 일정하게 하고 특히 P_2 를 작게 하면, 마침입열량도 작고, 최고 온도도

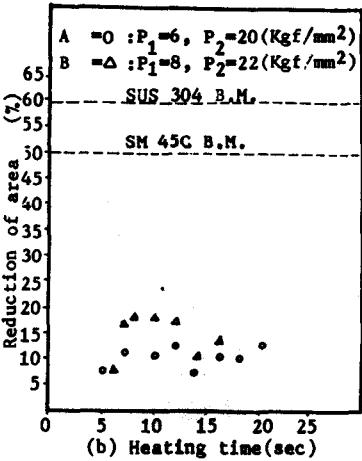
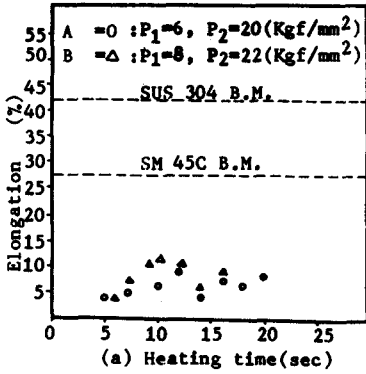


Fig. 10 Strain and reduction of area V.S. heating time

Fig. 12는 SUS 304에서 파괴된 A1, A3, A8, B1, B4, B5材의 인장파단된 것으로서 SUS304의 熔接部에서 파단 되었으므로 SM45C 측의 試片을 表示한 것이다.

파단부를 확인하기 위하여 나이탈(Nital) 3%의 용액으로 SM45C 측을 부식 시켰으므로 SUS304 측은 부식이 되지 않아 파단부를 확인 할수가 있었으며 SUS 304의 熔接部는 인터페이스에서 약 240 μ m 정도이며 Fig. 13(b)의 測定 結果로 證明할 수 있다.

또 摩擦壓接材의 韌性의 값이 要求值를 만족하는지를 알아보기 위하여 S.K.F. 韌性재료시험기에 韌性 시험장치를 부착하고 스펀의 길이 140mm, 폭올반

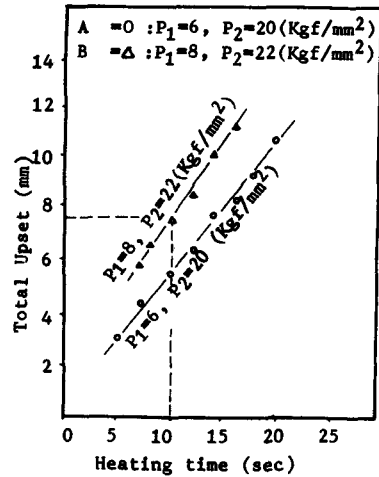


Fig. 11 Total upset V.S. heating time

낮으므로 壓接時 結合力도 좋지 못하고 조직도 불균질 조직으로 되어 引張強度는 낮게 나타난다고 생각된다. 반면 P_1, T_1 을 일정하게 하고 P_2 를 너무크게 하면 마찰입열량도 너무크고 최고온도도 높으므로 壓接時 結합은 잘되나 고열때문에 극부의 조직들은 거칠어지고 따라서 인장강도도 낮아진다고 생각된다. 그러나 P_1, T_1 을 일정하게 하고 P_2 를 적당히 조절하면 마찰입열량 및 최고 온도도 적정값을 나타내므로 壓接時 結合力도 좋아지고 또한 금속조직도 중간정도의 비교적 균질조직을 유지하게 되어 결국 인장강도는 최적값을 갖는다고 생각된다. 물론, 마찰입열량의 측정을 구체적으로 하여 이것이 기계적인 성질에 미치는 영향에 대해서는 추후 검토가 필요하다고 生覺된다.

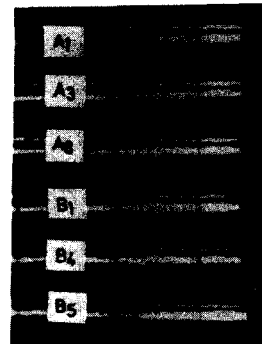


Fig. 12 Appearance of fractures of tensile tested specimen (F.W.) (SM45C side) numbers are welding conditions spec. No.

경 R15mm의 펀치를 때하여 實驗한 結果 Fig. 14에서와 같이 A1, A3, B1材의 경우는 約 168°까지 구부림이 가능하였고, B4, B6, B7材는 約 110°까지 구부림이 가능하였으며, 열처리한 시편도 거의 비슷한 양상을 나타내고 있다.

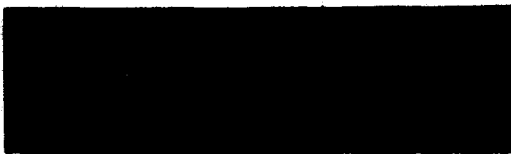
또 摩擦壓接材의 壓接部의 形態와 強度와의 關係를 考察하고자 引張強度에 따라 A1, A8 및 B1, B4材를 때하여 Fig. 14에 표시하였다. SUS 304 측은 高溫強度가 크고 熱傳導度가 적은 關係等의 物理的 性質의 相異에 의하여 SUS304의 플래쉬(flash)는 SM 45 C에 比하여 작게 나타나고 있으며 摩擦時間이 길면 갈수록 플래쉬의 發生量이 많아지며, 또 壓接線은 다른 맞대

기 熔接과는 달리 방사선 형상을 하고 있으며, 熱影響部의 크기는 대략 육안으로도 볼 수 있고 中央部에서 軸에 直角方向으로 갈수록 약간 넓어지고 있다. 또 同種材料의 壓接과는 달리 SUS 쪽에서 凹型을 하고 있는 것이 특징이다.

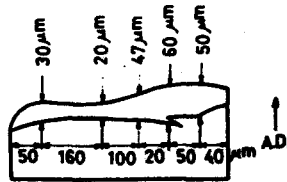
Fig. 15에서와 같이 最高強度值를 나타내는 플래쉬는 兩 異種材料의 플래쉬의 차이가 적을수록 強度值가 크게 된다고 生覺한다.

3.2 마이크로 비커스 硬度值와 強度

微小硬度試驗은 荷重 50gr, 荷重時間 15秒를 주어 軸의 中心線과 中心線에서 2.7mm 떨어진 外周를 따라 인터페이스를 기준으로 하여 左右로 20 μ m 간격마다 3개소, 30 μ m 간격마다 3개소, 50 μ m 간격마다 5개소, 100 μ m 간격마다 6개소, 200 μ m 간격마다 10개소 등으로 左右 約 6mm 까지 引張強度가 낮은 A1, B1材



40 μ m (a)



(b)

Fig. 13 Appearance of fractured SUS 304 W.Z. part by tensile test

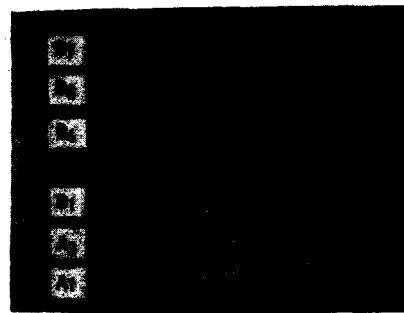


Fig. 14 Appearance of bending tested F.W. specimens (Left SM45C, Right SUS304)

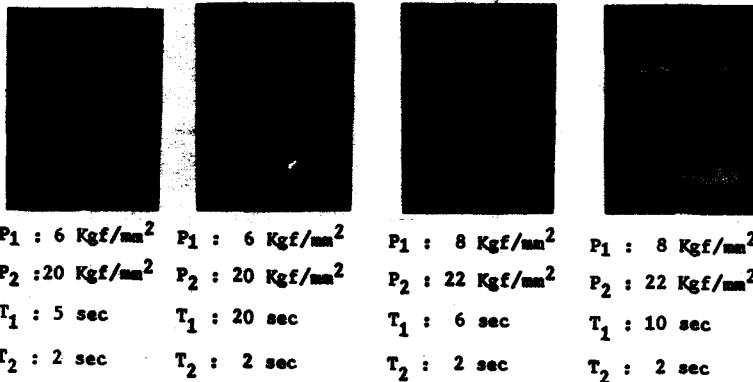


Fig. 15 Appearance of friction welded joint section (Left SM45C, Right SUS304)

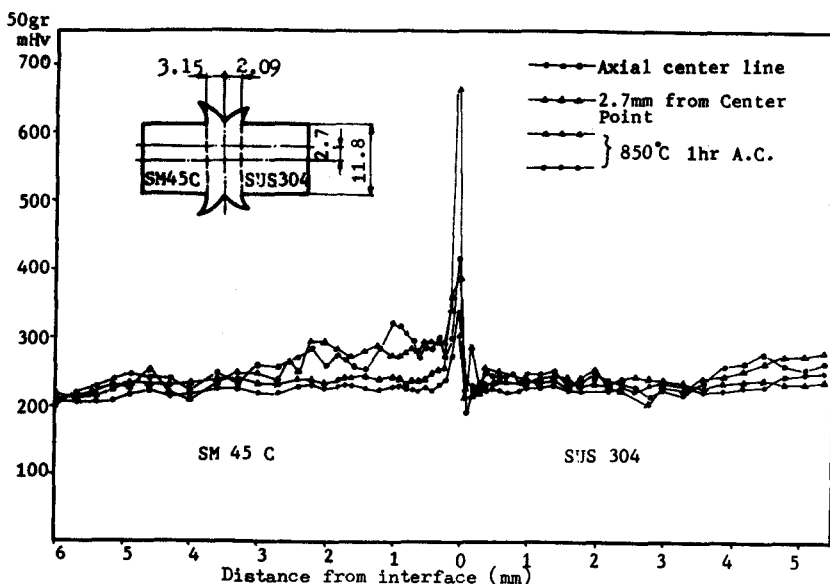


Fig. 16 Hardness distribution near the weld interface of F.W. (SM45C & SUS304)

Table 4 Average micro vickers hardness and strength

	Average micro vickers hardness (mHV)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Bending strength (kgf/mm ²)
A ₁	208	55.3	79.2
A ₂	215	59.0	94.1
B ₁	210	55.9	93.1
B ₂	220	64.0	121.1

와 引張強度가 높은 A₂, B₂ 材에 대하여 硬度分布를 調査하고 各 材料의 平均 硬度值와 引張強度, 굽힘強度와의 關係를 Table 4에 表示하였다.

引張強度가 가장 높은 B₂ 材의 경우에 平均硬度值는 約 $H_v=220$ 정도이고 引張強度는 64kgf/mm^2 , 굽힘強度는 121.1kgf/mm^2 로서 Fig. 16에 인터페이스 左右로 6mm까지 非熱處理材와 熱處理材의 硬度分布를 表示하였다. 인터페이스 부근은 壓接時에 局部加熱과 急冷 및 단조효과에 의하여 硬化되어 非熱處理材의 경우 $H_v=665$ 로서 硬度值는 半徑方向이 增加하는 方向으로 增加함을 나타내고 있다.

熱處理材(850°C 1hr, A.C.)는 인터페이스에서 $H_v=410$ 정도로 低下하였으며 壓接面 부근의 잔류응력 및

硬度不均衡은 熱處理로서 대체로 均일화 되었다. 또 B₂ 壓接材의 熱影響部는 SM45C 측이 約 2.4mm, SUS304 측이 約 1.9mm 程度로서 매우 협소하게 나타나고 있으며 非熱處理材나 熱處理材의 경우 SUS304 측의 壓接部에서 硬度 低下를 보여 破壞의 起點이 되었다고 生覺한다.

3.3 顯微鏡 組織檢査

Fig. 17은 摩擦壓接部의 金屬組織의 一例이다. 最高強度를 나타내는 壓接條件에서 壓接된 B₂ 材를 Fig. 15와 같이 2等分으로 절단하여, 먼저 SM45C 部分을 나이탈(Nital) 3% 溶液으로 부식 시킨다음 SUS 304 측을 HNO_3 5cc, HC 18cc, H_2O 8cc, 溶液을 使用하여 7分間 부식시켜 인터페이스, 熔接部, 熱影響部, 母材의 組織을 非熱處理材의 경우 Fig. 17(a)와 熱處理한 경우 Fig. 17(b)에 組織寫眞을 表示하였다.

寫眞에서 알 수 있듯이 그 組織이 正常的이고 溶接 결합이 전혀 發見되지 않았다. 인터페이스에서는 두 異種材料의 粒子가 강열하게 혼합되어 熔融物이나, 粒子成長이 없는 微細粒子의 混合組織을 하고 있다. SM 45C 측은 인터페이스에서 約 3.2mm 떨어진 곳에서 母材의 組織이 나타나는데 母材는 페라이트와 퍼얼라

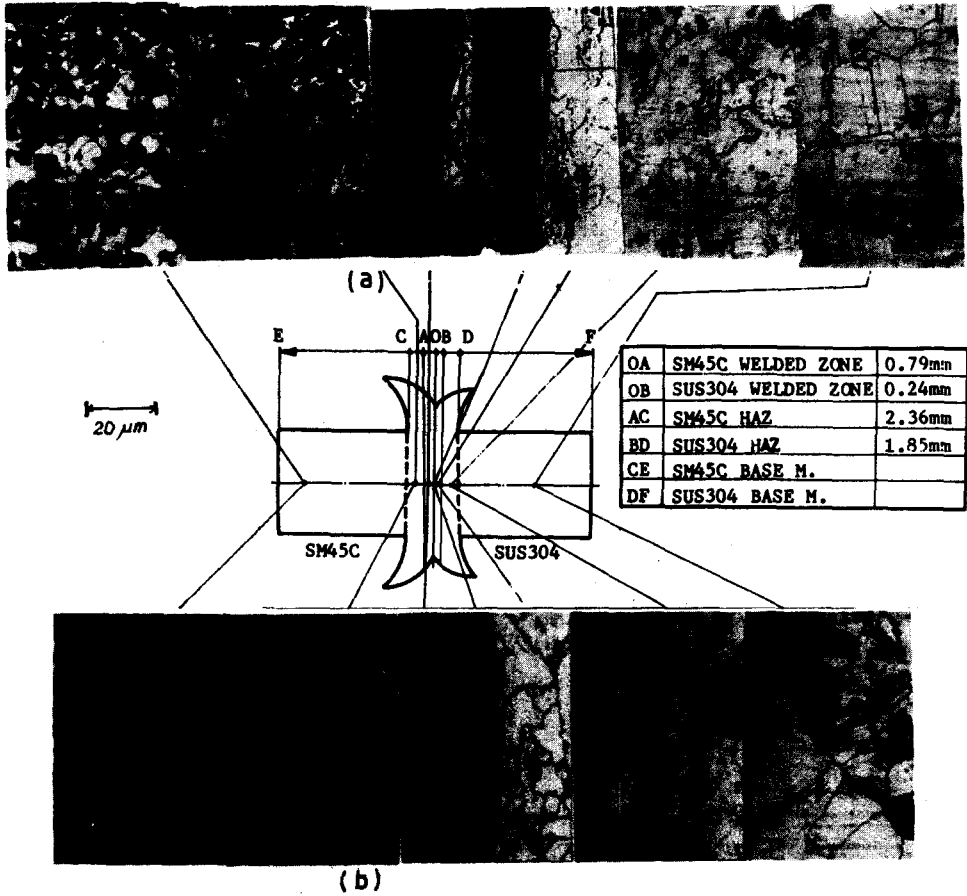


Fig. 17 Micro structure of F.W. SM45C and SUS304

이트 조직을 하고 있으며 熱影響部에서는 마치 鍛造한 조직과 같이 아주 微細한 조직이 현소하게 나타나고 있고 熔接部는 마르텐사이트 조직을 나타내고 있다. 壓接線은 방사선 형상을 하고 있는 것을 재확인 할 수 있다. SUS 304의 母材는 오스테나이트 조직으로 인터 페이스에서 約 2.1mm에서 부터 母材의 조직이 나타나며 熱影響部는 섬유조직이 완전히 방사선 형상을 하고 있고, 熔接部에서 硬度低下가 나타나는때 母材硬度가 높은 SUS304 쪽에서 심하다. 이는 熔接時에 局部加熱에 의한 불연연화(tempering softening) 때문인 것으로 생각된다.

熱處理 조직은 마르텐사이트가 슬 화이트와 炭化物 조직으로 되었고 SUS-304 측은 열처리후 오오스테나이트(austenite) 基地에 未熔解 炭化物과 微細析出 炭化物이 있는 조직이 되었다.

4. 結 論

國產構造用 材料인 SM45C와 SUS304를 壓接時間을 變化시켜 壓接하고 強度變動을 調査하여 最高強度 値를 얻을 수 있는 壓接條件을 구하고자 實驗研究한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 母材의 引張強度는 SM 45 C가 約 66.5kgf/mm²로서 摩擦壓接된 試片中 가장 強度가 큰 試片(B4材)의 경우 64kgf/mm²이므로 SM45C 母材에 比하여 約 3% 低下하고 SUS304 試片에 대하여는 約 9% 低下하고 있고 熱處理 (850°C 1hr, A.C.)材의 경우는 引張強度가 건자와 비슷하다.

(2) 延신율은 SM45C가 27.3%로 壓接한 B4材의 경우는 11.7%로서 50% 이하로 줄어 들었으며 이러한 현

상은 壓接材全體에서 일어났으며, 熱處理材(850°C 1hr, A.C.)에서도 거의 같은현상이 일어났다.

(3) 굽힘強度는 SM 45C 母材가 123kgf/mm², SUS-304 母材가 127kgf/mm²로서, 壓接한 B4 材의 경우는 121.1kgf/mm²로서 母材와 거의 비슷한 強度를 나타내었다.

(4) 最高 強度值를 나타내는 壓接條件은 回轉數 3000 rpm, $P_1=8\text{kgf/mm}^2$, $P_2=22\text{kgf/mm}^2$, 摩擦加熱時間 $T_1=10$ 秒, 壓接時間 $T_2=2$ 秒로서 이에 총壓셋량은 7.6mm 로 결정되었다.

(5) 인티페이스에서는 두 異種材料가 강력하게 혼합되었고, 熔接部는 約 1.03mm 정도이고 熱影響部는 SM45C 가 約 2.36mm, SUS 304 가 約 1.85mm 程度로 他 熔接材에 比하여 매우 협소하게 나타났다.

參 考 文 獻

- (1) Vill, V.I., 1962, "Friction Welding of Metals", A.W.S., Inc. N.Y.
- (2) Toshisuke, 1965, "Study on Welding Condition for Steel by F.W.", J.S.W.E., Vol. 34, No.8, pp. 794~800.
- (3) Hollander, M.B., 1963, "Friction Welding Parameter Analysis", W.R.S., No. 11, pp.495~501.
- (4) Hazlett, T.H., 1962, "Pro. of Friction Welded Plain Carbon and Low Alloy Steel", W.J., No. 2, pp. 49~52.
- (5) Hazlett, T.H., 1962, "Pro. of Friction Welds between Dissimilar Metals", W.J., No. 10, pp. 448~450.
- (6) Hasui, A., 1967, "Study on Friction Welding (1)", J.S.M.E., Vol. 36, No. 6, pp.628~632.
- (7) Sae Kyoo Oh, 1974, "Study on Friction Welding of Valve Haterials", K.S.M.E., Vol. 14, No. 3, pp. 221~231.
- (8) S. Yamada, 1966, "Mov of C. Cr and Ni in SUS 27 and S45C Welded by Friction Welding", J.S.M.E., Vol. 49, No. 564, pp.49~60.
- (9) 張勝彥等, 1980, "金屬熱處理", 珍文社, 日本 pp. 184~275.
- (10) Nagamura, 1966, "Friction Welding", J.S.M.E., Vol. 49, No. 564, pp.49~60.
- (11) Hashimoto, T., 1968, "Inf. of Surface Treatment on Mec. Pro. of Pressure Welds", J. S. W.E., Vol. 37, No. 10, pp.1080~1087.
- (12) Hasui, A., 1963, "Friction Welding", J.S.W.E., Vol. 32, No. 9, pp.763~769.
- (13) Hasui, A., 1977, "Friction Welding of Al and Carbon Steel", J.S.W.E., Vol. 46, No. 12, pp.858~862.
- (14) 奥山和己, 1983, "異種金屬의 摩擦壓接", W.T., No. 1, pp.24~29.
- (15) Cheng, C.J., 1963, "Trans. Temp. Distribution During F.W. of Two Dissimilar Mateials in Tubular Form", W.R.S., No. 5, pp.233~240.
- (16) 摩擦壓接研究會, 1976, "摩擦壓接", 日本 p.196.
- (17) A.S.M., 1981, "Source Book on Innovative Welding Process", Friction Welding, pp.3~92.