

## 〈論文〉

(受理：昭和58年3月28日)

## ウェルドボンディングに及ぼす溶接条件の影響

山田 祥\*, 原賀康介\*, 斎藤 貴\*\*

## 要 旨

軟鋼板・ステンレス鋼板のウェルドボンディングに及ぼす溶接条件の影響、及びウェルドボンド継手の剪断強度の温度依存性・T型剥離強度・疲労特性を検討した。その結果を次に示す。

- 1) ウェルドボンディングでは、スポット溶接のみと比較して、ナゲット形成開始電流値、同一ナゲット径が得られる電流値、ちり発生限界電流値は、ともに低電流値側にシフトした。
- 2) ステンレス鋼板の場合は、通電時間が長くなると要求される最小ナゲット径が形成される電流値から接着剤が焦げはじめる電流値までの電流範囲は広がったが、軟鋼板では、ほとんど変化しなかった。
- 3) ウェルドボンド継手の引張り剪断試験では、端部の接着の破壊に基づく第1破断点とナゲット及びナゲット周辺の接着の破壊に基づく第2破断点の二つの破断点が認められた。
- 4) ウェルドボンド継手の第1破断点強度は、スポット溶接のみの強度が接着のみの強度より高くなる温度では、接着のみの強度より非常に高くなった。しかし接着のみの強度がスポット溶接のみの強度より高くなる温度では、接着のみの強度より低下した。
- 5) ウェルドボンド継手の疲労特性は、接着のみ・スポット溶接のみに比べて優れており併用による複合効果が認められたが、T型剥離強度は薄板では接着のみの場合と同等であり、厚板ではスポット溶接の場合と同等であり併用による複合効果は認められなかった。

## 1. 結 言

ウェルドボンディングとは、接着と抵抗点溶接(スポット溶接・プロジェクション溶接等)とを併用した工法であり、接着と抵抗点溶接のそれぞれの欠点を互いに補うものである。ウェルドボンディングは、航空機産業・自動車産業等で接合特性の向上・製造工程の合理化等を目的として開発され、種々の検討がなされているが、アルミニウムに関するものがほとんどであり<sup>1-6)</sup>、軟鋼板・ステンレス鋼板についての報告は非常に少ない<sup>7,8)</sup>。また、抵抗点溶接の3大条件(溶接電流値・通電時間・加圧力)を変化させてその影響について検討した報告も少ない<sup>7,8)</sup>。

本報告では、軟鋼板・ステンレス鋼板のウェルドボンディングに及ぼすスポット溶接条件の影響について検討し、さらにウェルドボンド継手の剪断強度の温度依存性・T型剥離強度・疲労特性を接着のみの継手、スポット溶

接のみの継手と比較検討した。

## 2. 実験方法

## 2.1 試験片の形状・寸法

図1には、スポット溶接条件の影響・剪断強度の温度依存性・疲労特性などの試験に用いた引張り剪断試験片の形状・寸法を示した。図2には、T型剥離試験片の形状・寸法を示した。引張り剪断試験片は、厚さ1.6mmの軟鋼板(SPCC-SD)同志、厚さ1.5mmのステンレス鋼板(SUS 304)同志を接合した。T型剥離試験片は、軟鋼板のみを用い、0.5mm厚同志、1.0mm厚同志、1.6

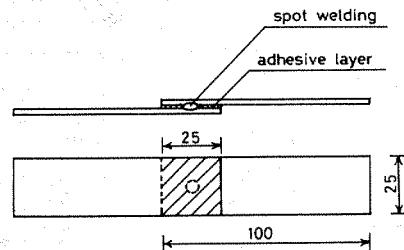


Fig. 1 Dimension and shape of lap shear specimen.

\* 三菱電機(株)材料研究所

\*\* 三菱電機(株)生産技術研究所

尼崎市塚口本町 8-1-1 〒661

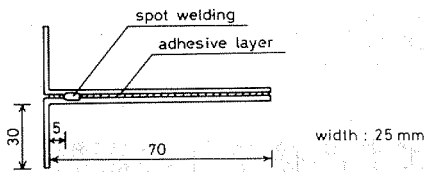


Fig. 2 Dimension and shape of T-peel specimen.

mm厚同志の接合とした。なお、スポット溶接条件の影響については、軟鋼板及びステンレス鋼板を用い、剪断強度の温度依存性については軟鋼板のみ、疲労特性はステンレス鋼板のみとした。また、接着のみ、スポット溶接のみの試験片も図1、図2に準じた。

2.2 試験片の作製方法

接着剤は、2液型変性アクリル系接着剤「ハードロック」<sup>9,10)</sup>(電気化学工業K.K.製)を用いた。被着材の前処理は、アセトン脱脂を行ない、接着剤の2液を接着面に別々に等量均一に塗布し、貼り合わせ後直ちに2.3に示すスポット溶接条件でスポット溶接を行なった。ここで用いた接着剤は、0.1φのスペーサが混入されており接着剤層厚さは均一となり膜厚の影響はでないようになっている。なお、接着剤の硬化条件は室温で5日間以上とした。また、接着のみ、スポット溶接のみの試験片についてもこの方法に準じた。

2.3 スポット溶接条件

溶接機は、90 kVAの単相交流式点溶接機を用い、電極はCu-Cr製のC型電極を用いた。ウエルドボンディングに及ぼす溶接条件の影響を調べる試験では、RWMA

Table 1 Spotwelding conditions of weldability test.

(P: welding force, t: weld time, I: welding current)

	SPCC-SD (1.6 t)	SUS 304 (1.5 t)
P(kg)	240, 360	500, 600
t(秒)	5~20	5~15
I(A)	~14000	~11000
	RWMA recommended	AWS recommended

Table 2 Spotwelding conditions of T-peel test piece, tensile shear test piece and fatigue test piece.

Test	T-peel test			Tensile shear test	Fatigue test
	SPCC-SD			SPCC-SD	SUS 304
Base metal	SPCC-SD			SPCC-SD	SUS 304
Thickness	0.5 t	1.0 t	1.6 t	1.6 t	1.5 t
P (kg)	135	225	360	360	600
t (秒)	6	10	16	16	10
I (A)	5500	7000	9000	8000	8500
Electrode diameter (mm)	4.8φ	6.4φ	7.0φ	7.0φ	7.0φ

(Resistance Welder Manufacturers Association), AWS (American Welding Society)で示されている標準条件<sup>11)</sup>を参考にして、軟鋼板、ステンレス鋼板いずれに対しても先端径が7φの電極を用いて、表1に示した範囲で溶接条件を変化させた。また、表2には剪断強度の温度依存性・T型剥離強度・疲労特性の測定に用いた試験片のスポット溶接条件を示した。スポット溶接の通電モードは、シングルパルス通電で行なった。溶接電流値は、電極間にトロイダル・コイルを挿入して実効値電流計にて測定した。加圧力は、挽み式加圧計により測定した。通電時間は、溶接機のタイマーで設定した。

2.4 評価方法

2.4.1 静的強度

引張り剪断強度及びT型剥離強度は、引張り試験機(島津製作所製 IS-5000)を用いて、引張り速度を各々10 mm/min, 50 mm/minとして測定した。剥離強度は、25℃で測定し剥離開始点の強度(最大強度)で表示した。剪断強度の温度依存性は、試験片を0℃~120℃の雰囲気温度に10分間保持した後それぞれの温度で測定した。

2.4.2 スポット溶接特性

スポット溶接時の状況及び破断後の試験片を観察し、ナゲット径・ナゲット形成条件・ティア破断条件・ちり発生条件を求めた。ウエルドボンディングの場合には、溶接時の発熱による接着剤の変化についても観察した。

2.4.3 疲労特性

疲労試験機(島津製作所製 UF-500)により引張り繰り返し荷重を1000 cycle/minで負荷して破断までの繰り返し数を求めた。

3. 結果及び考察

3.1 溶接電流値の影響

図3には、ステンレス鋼板のウエルドボンディング(以下W.B.と略す)とスポット溶接のみ(以下S.W.と略す)の溶接電流値とナゲット径の関係を比較して示した。溶接電流値が低すぎるとW.B., S.W.ともにナゲットの形成は認められなかったが、高くするに従ってナゲット径

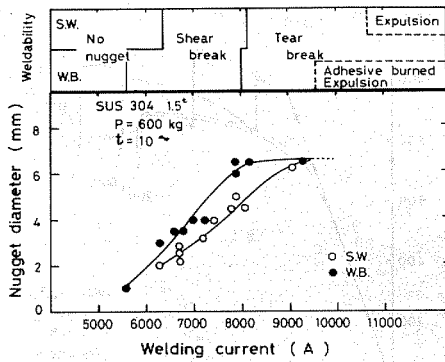


Fig. 3 Relationship between welding current, nugget diameter, and weldability. (S.W.: spotwelding, W.B.: weldbonding)

が大きくなり、破断モードがシャ-破断\*1からティア破断\*1になった。さらに溶接電流値を高くするとちりが発生したが、W.B.ではちりが発生すると接着剤が飛散し接着欠陥部が生じた。またちり発生と同時に接着剤が熱影響を受けて焦げだした。この結果より、W.B.が可能な溶接電流の下限値はナゲット形成開始電流値、上限値はちり・接着剤の焦げがともに発生しない電流値であると言える。なお、適正なW.B.を行なうための溶接電流値の下限値は、要求される最小ナゲット径が得られる電流値となる。なお、W.B.ではS.W.より低電流値でちりが発生し、また同じ大きさのナゲットが得られる電流値も低いことがわかった。この理由については以下のように推察される。すなわちスポット溶接は、母材の抵抗発熱を利用するものであり、その発熱量Qは次のように示される<sup>11)</sup>。

$$Q = 0.24 \cdot \rho \cdot l \cdot \delta \cdot I \cdot t$$

$$\delta = I/S$$

ここで、 $\rho$ は母材の固有抵抗、 $l$ は板厚、 $\delta$ は電流密度、 $I$ は全電流、 $t$ は通電時間、 $S$ は接触面積である。本実験においては、 $\delta$ 、 $l$ 、 $I$ 、 $t$ は一定であるので $Q$ は、電流密度 $\delta$ に比例する。W.B.の場合は、図4のように2枚の板間に接着剤を介在させるため母材内の通電路がS.W.の場合より制限され接触面積 $S$ が小さくなる。その結果、電流密度が高くなりS.W.より発熱量が増加するため大きなナゲットが得られると考えられる。

\*1 シャ-破断……ナゲット部の剪断破断  
ティア破断……ナゲット部以外の母材の破断

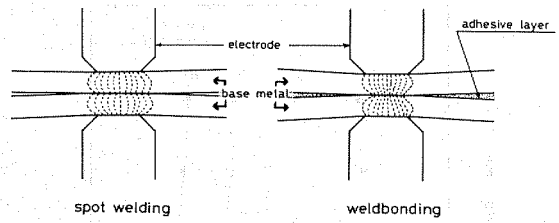
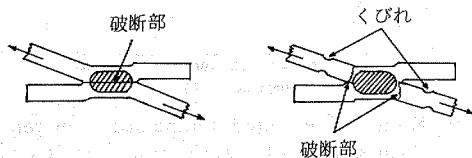


Fig. 4 Schematic welding current distribution in base metal of weldbonding and spot welding.

### 3.2 通電時間の影響

図5には、ステンレス鋼板のW.B.における溶接電流値と通電時間の関係を示した。通電時間が長くなると、ナゲット形成開始電流値、同一ナゲット径が得られる電流値、ティア破断開始電流値は、低電流値側にシフトするが、ちり及び接着剤の焦げが発生する電流値は、スポット溶接のみの場合のちりが発生する電流値と比較してほとんど変化しなかった。この結果より通電時間は長い方が要求される最小ナゲット径が得られる電流値からちり及び接着剤の焦げが発生する電流値までの溶接電流範囲が広く、W.B.が容易であることがわかった。

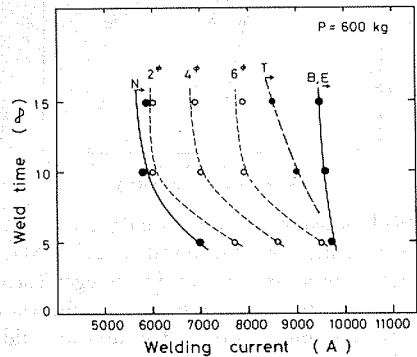


Fig. 5 Relationship between welding current and weld time for weldbonding. (SUS 304) (N: minimum current for nugget forming, T: minimum current for tear break, B: maximum current for expulsion-free, E: maximum current for adhesive did not burned)

### 3.3 加圧力の影響

図6には、ステンレス鋼板のW.B.における加圧力の影響について示した。ナゲット形成開始電流値、同一ナゲット径が得られる電流値及びちりあるいは接着剤の焦げが発生する電流値は、加圧力の高い方が高電流値側にシフトするがシフト量はいずれもほとんど等しく、S.W.のみの場合の傾向と同じでありW.B.に及ぼす加圧力の影響

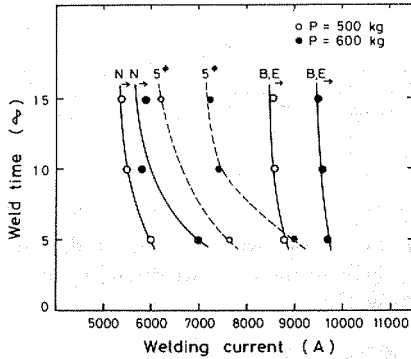


Fig. 6 Effects of welding force on weldbonding. (SUS 304)

(N: minimum current for nugget forming, E: maximum current for expulsion-free, B: maximum current for adhesive did not burned)

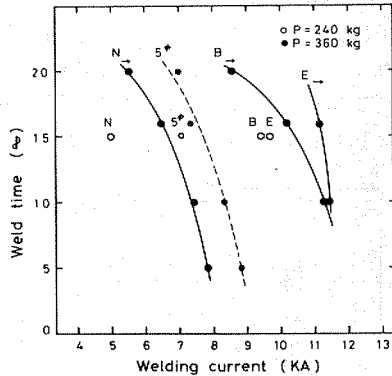


Fig. 7 Relationship between welding current and weld time for weldbonding. (SPCC-SD)

(N: minimum current for nugget forming, E: maximum current for expulsion-free, B: maximum current for adhesive did not burned)

はほとんど認められなかった。

以上には、ステンレス鋼板の場合の結果を示したが、図7には、軟鋼板のW.B.における溶接電流値と通電時間の関係を示した。ナゲット形成開始電流値及びチリが発生する電流値は、ステンレス鋼板の場合と同様の挙動を示したが、接着剤の焦げが発生する電流値は通電時間が長くなると低電流値側にシフトした。これは軟鋼板の熱伝導率がステンレス鋼板に比べて約4~5倍大きく、軟鋼板の方がナゲット周囲への熱の伝導が大きく接着剤への熱影響が大であるためと考えられる。

3.4 剪断強度の温度依存性

図8には、W.B.の剪断強度の温度依存性試験における荷重-歪曲線を示した。図のようにW.B.についてもボル

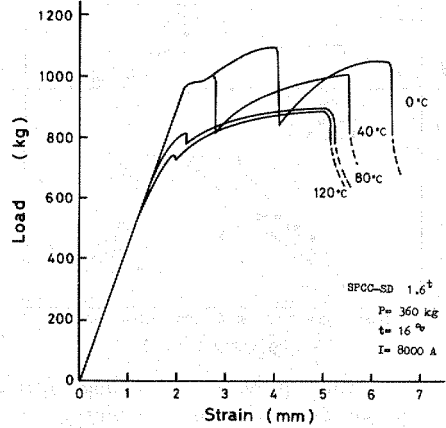


Fig. 8 Typical pattern of load-strain curves of weldbonding under each temperature.

ト・リベットを併用した場合<sup>12)</sup>と同じように二つの破断点が存在することがわかった。第1破断点は、ラップ端部の接着が破壊することに基づくものであり、第2破断点は、ナゲット及びナゲット周辺の接着の破壊に基づくものと思われる。

図9には、軟鋼板のW.B.における第1破断点、第2破断点の剪断強度の温度依存性を接着、S.W.と比較して示した。S.W.のみの強度が接着のみの強度より高い温度領域(50°C以上)では、W.B.の第2破断点強度=S.W.強度>W.B.の第1破断点強度>接着強度となり、W.B.することによりラップ端部の接着が破壊する強度は接着のみに比べて顕著に向上し強度特性改善の効果があらわれることがわかった。これに対して接着のみの強度がS.W.のみの強度より高い温度領域(50°C以下)では、接着強度>W.B.の第1破断点強度>W.B.の第2破断点強度>S.W.

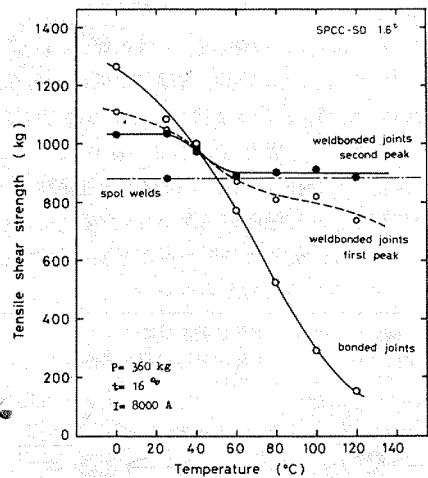


Fig. 9 Effect of elevated temperature on tensile shear strength for each joints. (SPCC-SD)

強度となり、W.B.におけるラップ端部の接着が破壊する強度は接着のみより低下した。またW.B.の第2破断点強度はS.W.強度と比較して高強度となったが、これはW.B.ではナゲット周囲に接着剤が存在しているためと考えられる。

### 3.5 T型剥離強度

図10には、軟鋼板の場合の接着、S.W.、W.B.の板厚とT型剥離強度の関係を示した。S.W.と接着の場合を比較するとT型剥離強度は、両者とも板厚に影響をうけるがS.W.の方が板厚依存性が大きかった。W.B.のT型剥離強度は、1.0 mm厚以下の薄板では接着の場合と同等、1.0 mm厚を越える板厚の場合にはS.W.強度と同等であり、板厚により接着とS.W.のいずれか高い方の強度が得られ、W.B.による複合効果は認められなかった。

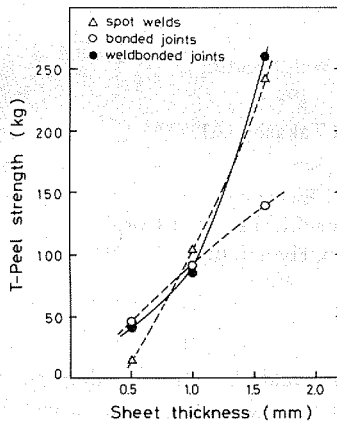


Fig. 10 Relationship between T-peel strength and base metal thickness. (SPCC-SD)  
See the Table 2 for experimental conditions.

### 3.6 疲労特性

図11には、ステンレス鋼板における接着・S.W.・W.B.の疲労特性を比較して示した。ここでは、3種類の継手とも同等の静的剪断強度(1200 kg)をもつ試験片を用いた。 $10^7$ サイクルを越える最大荷重は、S.W.では160 kg(静的剪断強度の13.3%)、接着では250 kg(20.8%)、W.B.では280 kg(23.3%)であり、W.B.では疲れ強さがS.W.・接着に比べて著しく優れており、両接合方法の複合効果があらわれることがわかった。この複合効果は、S.W.ではナゲット部に応力が集中するが、接着剤を併用することにより応力が継手全体に分散されること、また接着接合の場合には疲労試験の引張り繰り返し荷重のためクリープ変形が大であるが、S.W.を併用することによりこの変形量が小さくなることなどに起因するものと思われる。

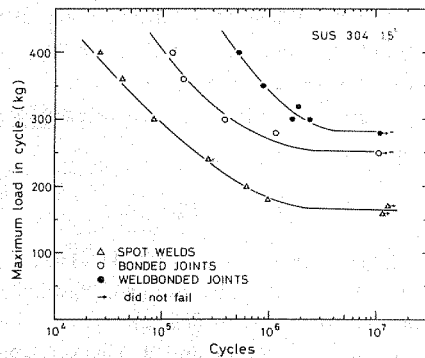


Fig. 11 Fatigue properties of each joints. (SUS 304)  
See the Table 2 for experimental conditions.

## 4. 結 言

以上の結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 適正なウエルドボンディングが行なえる溶接電流値の下限は、要求される最小のナゲット径が得られる電流値、上限はちり・接着剤の焦げがともに発生しない電流値である。
- (2) ウエルドボンディングでは、スポット溶接のみと比較してナゲット形成開始電流値・同一ナゲット径が得られる電流値・ちり発生限界電流値は、ともに低電流値側にシフトした。これは、接着剤が介在することにより電流密度が増加し発熱量が増加するためと思われる。
- (3) ステンレス鋼板の場合には通電時間は、長い方が要求ナゲット径が形成される電流値から又は接着剤の焦げが発生しはじめる電流値までの電流範囲は広がった。
- (4) 接着剤が焦げはじめる電流値は、ステンレス鋼板では通電時間にかかわらずほぼ同等であったが、軟鋼板では通電時間の増加とともに低電流値側にシフトした。
- (5) ウエルドボンド継手の引張り剪断試験では、荷重一歪曲線に、ラップ端部の接着の破壊によるものと思われる第1破断点と、ナゲット及びナゲット周囲の接着の破壊によると思われる第2破断点の二つが認められた。
- (6) 剪断強度の温度依存性試験におけるウエルドボンド継手の第1破断点強度は、スポット溶接のみの強度が接着のみの強度より高い温度領域(50℃以上)では、接着のみの強度より非常に高くなった。しかし、接着のみの強度がスポット溶接のみの強度より高い温度領域(50℃以下)では、接着のみの強度より低下した。
- (7) ウエルドボンド継手のT型剥離強度は、薄板では接着のみの場合と同等であり、厚板ではスポット溶接の場合と同等であり併用による複合効果は認められなかった。

(8) ウエルドボンド継手の疲労特性は、接着のみ・スポット溶接のみに比べて優れており、接着とスポット溶接の併用による複合効果が認められた。

本研究は、昭和57年6月9日第20回接着研究発表会において講演発表したものである。

#### 文 献

- 1) D. Fields: Adhes. Age, **16** (9) 41 (1973).
- 2) K. Forsberg and F. R. Sullivan: SME Tech. Paper, No. AD-72-710 (1972).
- 3) A. Shames, R. Rupp and J. Clarke: Congr. Int. Counc. Aeronaut. Sci., **12th**, 596 (1980).
- 4) 航空宇宙技術動向, No.40, 日本航空宇宙工業会 (1980).
- 5) J. D. Minford, F. R. Hoch and E. M. Vader: SME Tech. Pap. Ser., No. SAE-750462 (1975).
- 6) 杉山禎彦, 梅田典孝: 軽金属溶接, **17**, 251 (1979).
- 7) T. B. Jones: Weld. Mat. Fabr., **46**, 415 (1978).
- 8) 森 明彦, 安齋正明: タウラ技報, **16**, (1)9.
- 9) 原賀康介, 山田 祥, 服部勝利: 接着, **24**, 589 (1980).
- 10) 原賀康介, 山田 祥, 榊原邦夫, 服部勝利, 小林 功: 三菱電機技報, **55**, 233 (1981).
- 11) 浜崎正信: 重ね抵抗溶接, 産報出版, p.34, 119, 206 (1971).
- 12) 山口章三郎, 天野晋武, 金子 浩, 井上藤雄, 星野克巳: 日本接着協会誌, **18**, 302 (1982).

### Effects of Spotwelding Conditions on Weldbonding

Akira YAMADA\*, Kousuke HARAGA\* and Takashi SAITO\*\*

\* Materials Engineering Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.

\*\* Manufacturing Development Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.  
(1-1, Tsukaguchi-Honmachi, 8 Chome, Amagasaki, Hyogo, 661 JAPAN)

#### Abstract

Effects of spotwelding conditions such as welding force, weld time, and welding current on stainless steel and mild steel weldbonding with an acrylic adhesive were investigated, weldbonded joints strength were compared with simply adhesive bonded joints and spot welds.

The results obtained were as follows:

- (1) In case of weldbonding minimum welding current for a nugget forming and maximum welding current for expulsion-free were shifted to lower side than spotwelding.
- (2) Increase of the weld time for weldbonding of stainless steel widened the region of the welding current. The maximum welding current is defined in this case by the current over which the adhesive is burned, and is equal to or less than that for expulsion-free. There were little change in the region of the welding current for mild steel.
- (3) Two breaking point in tensile shear testing were observed for the weldbonded joints. Under the high temperature measurement of joints strength, higher than 50°C, the strength of first breaking point occurred at adhesive layer was much higher than adhesive bonded joints strength. And under the low temperature measurement of joints strength, lower than 50°C, the strength of first breaking point was lower than adhesive bonded joints and breaking strength of adhesive bonded joints was higher than spot welds strength.
- (4) The weldbonded joints in stainless steel had better fatigue properties than spot welds and adhesive bonded joints. T-peel strength of weldbonded joints in mild steel however depended on base metal thickness and was the same as the higher one of adhesive bonded joints or spot welds.

(Received: March 28, 1983)