

ウェルドボンディングの諸特性

三菱電機(株) 材料研究所高分子材料技術部

山田 祥, 原賀 康介

1. ま え が き

ウェルドボンディングとは、図1に示したように接着と抵抗点溶接とを併用した工法であり、接着接合と抵抗点溶接の欠点を互いに補なうものである。表1には、スポット溶接・接着・ウェルドボンディングの長所および短所について示した。ウェルドボンディングには大別して2つの目的がある。第1の目的は接合特性の改善である。これは、剝離・衝撃強度が低く、また耐クリープ性に劣る接着接合の欠点を抵抗点溶接で改善し、疲労特性に劣る抵抗点溶接の欠点を応力集中の小さい接着接合で改善すること等である。第2は、接着工程の合理化を目的とした仮固定である。すなわち接着時の固定治具の代用として抵抗点溶接を行ない、室温硬化型の接着剤を使

用する場合の硬化待ち時間を短縮し、加熱硬化型の接着剤を使用する場合には接着組立て後の塗装の焼付熱を利用して接着剤の硬化を行なう等である。上記2つの目的以外に抵抗点溶接をすることにより部材間の電気伝導性を保ち電着塗装を可能にする、接着接合部があるため抵抗点溶接部の腐食が防止できる、シール性が向上する等の効果が期待される。

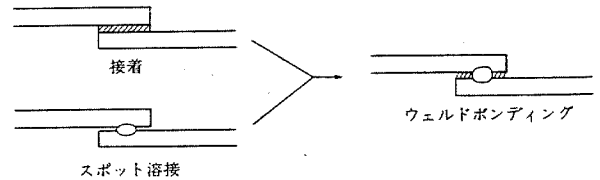


図1 ウェルドボンディングとは

表1 スポット溶接, 接着, ウェルドボンディングの特徴

	スポット溶接	接 着	ウェルドボンディング
長 所	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率 ・自動化が容易 ・高強度で安定 ・ランニングコストが安い ・電氣的導通がとれる ・耐久性にすぐれる 	<ul style="list-style-type: none"> ・応力の分散(面接合) ・薄板の接合に適 ・歪がない ・水密, 気密, 防振が同時に可能 ・異種材料の接合が可能 ・疲労特性に優れている ・被着材の変質なし ・電気絶縁 ・断熱 ・意匠性に優れる ・軽量化 	<ul style="list-style-type: none"> ・接着とスポット溶接の特徴を同時に得ることが可能 ・疲労特性の向上(接着のスポット溶接単独以上の特性) ・剝離抵抗性向上(接着の欠点をカバー) ・保持用治具, プレスetc 不要(接着の欠点をカバー) ・シール性の付与(スポット溶接の欠点をカバー) ・耐久性の向上
短 所	<ul style="list-style-type: none"> ・応力の集中(点接合) ・熱による被着材の変質 ・歪取りが必要 ・被着材がある程度の厚さと強度をもっている必要がある ・腐食しやすい ・振動, 疲労に弱い ・シール性がない ・意匠性に劣る ・異種材料の接合に不適 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐熱性(～250, 300℃) ・養生時間が必要 ・バラツキ ・工程管理(表面処理, 計量, 混合, 塗布)が厳しい ・保持用治具, プレスetc 必要 ・剝離, 衝撃強度が低い ・耐久性について不明点が多い ・導通がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・接着剤を介しての溶接性(スポット溶接単独とは異なる) ・金属表面の清浄化(溶接に適した表面処理と接着に適した表面処理は逆) ・接着剤による電極の汚染 ・接着剤の硬化に伴ない溶接電流値を変化させる必要がある(2液反応型接着剤)

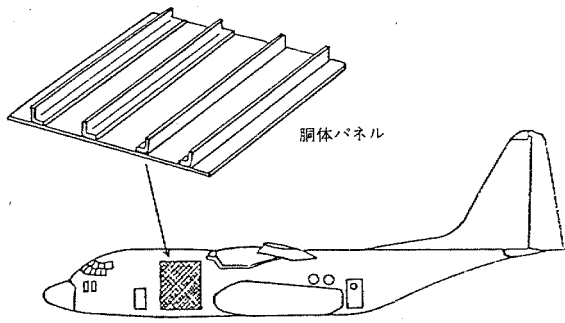


図2 C-130H輸送機のウェルドボンディング適用箇所。(米国)

図2 C-130H輸送機のウェルドボンディング適用箇所(米国)

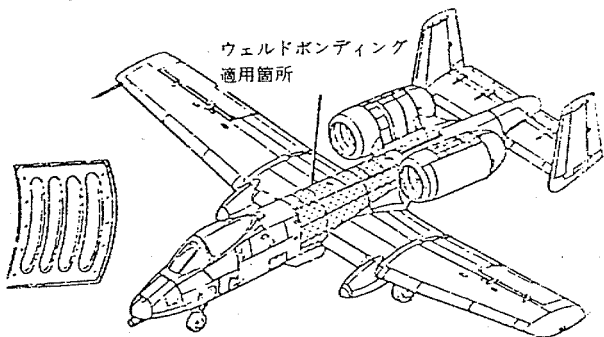


図3 A-10A攻撃機のウェルドボンディング適用箇所(米国)

ウェルドボンディングは、ソ連の航空機に初めて使用され、¹⁾²⁾航空機産業・自動車産業では一部すでに導入されている。その例を図2～4に示した。²⁾ウェルドボンディングについてはこれまでも種々の検討結果が報告されているが、アルミニウムを対象としたものがほとんどであり、^{7)～7)}軟鋼板・ステンレス鋼板についての検討は非常に少ない。⁸⁾⁹⁾これはアルミニウムでは母材強度に較べてスポット溶接強度が非常に低く、ウェルドボンディングすることにより強度面で大きく改善されるのに対し、軟鋼板・ステンレス鋼板ではスポット溶接強度が高く強度面で大きな改善とならないと考えられているためであろう。しかし破壊までのエネルギーを考えると顕著に大きくなり、その他の特性の向上を考え合わせると十分検討する価値がある。また構造部材としても軟鋼板・ステンレス鋼板の占める割合は大きく、ウェルドボンディングの導入による接合特性の向上・接着工程の合理化・生産性向上に大きな効果をもたらすことが期待される。このような観点から軟鋼板・ステンレス鋼板のウェルドボンディングを中心にスポット溶接条件の影響、ウェルドボンド継手の強度特性についてスポット溶接継手・接着接合継手と比較検討した例を紹介する。

2. ウェルドボンディング可能な溶接条件範囲

図5には、軟鋼板の場合のスポット溶接時とウェルドボンディング時の状態を溶接電流値と通電時間の関係で

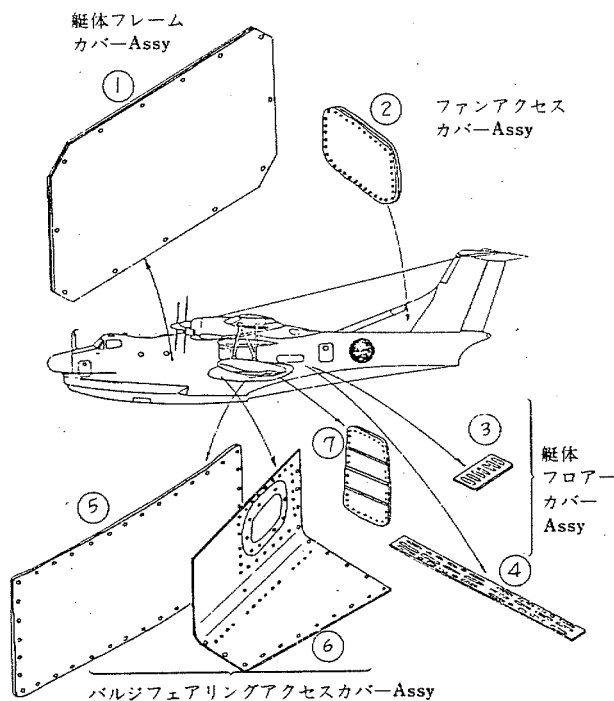
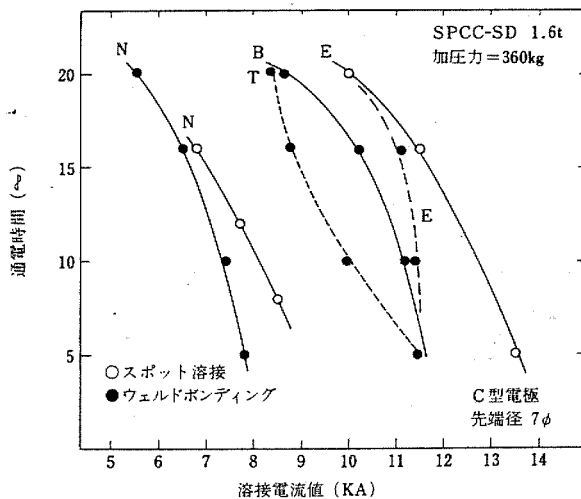


図4 US-1飛行艇のウェルドボンディング適用部分(日本)



N: ナゲット形成開始点 T: ティア破断開始点
B: 接着剤が焦げ始める点 E: チリ発生開始点

図5 ウェルドボンディングにおける溶接電流値と通电時間の関係

示した。¹⁰⁾ウェルドボンディングでは、ナゲット形成開始電流値・ちり発生開始電流値はいずれも通常のスポット溶接単独の場合と比較して低電流値側にシフトしている。図6には、ステンレス鋼板の場合のウェルドボンディングとスポット溶接のみの溶接電流値とナゲット径の関係を示した。¹⁰⁾ウェルドボンディングでは、スポット溶接のみより低い電流値でナゲットが形成し、同一電流値では大きなナゲットが形成することがわかる。

これは、図7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スポット溶接の場合より制限され電流密度が高くなることおよび接触抵抗が大きくなることにより発熱量が増加し、スポット溶接単独の場合より低電流値でナゲットが形成し始め、同一電流値では大きなナゲットが得られると考えられる。

図8の例⁸⁾では、ウェルドボンディングはスポット溶接と比較して溶接条件範囲が低電流値側にシフトしかつ範囲が狭くなっている。また図9の例⁹⁾では、ちりの発生し始める電流値は同一であるかわずかに低電流値となり溶接条件範囲が狭くなっている。

以上からウェルドボンディングにおける溶接条件範囲は、スポット溶接単独の場合と較べ変化するものといえ

る。実際のスポット溶接では、ちりが発生する条件でも行なわれているが、ちりが発生する条件では接着剤が飛散して接着剤層に欠陥ができること、熱影響で接着剤が劣化すること、および飛散した接着剤のため作業環境が汚染されたりして望ましくない。接着剤の焦げが始まる条件とちりが発生し始める条件は、図5、6のように一致する場合と一致しない場合があるのでウェルドボンディングに際しては、あらかじめ十分なテストをしておくことが必要である。

3. ウェルドボンド継手の特性

3.1 引張り剪断強度

図10には、ウェルドボンド継手の引張り剪断試験における荷重-歪曲線を示した。¹⁰⁾ ウェルドボンディングでは、ボルト・リベットを併用した場合¹¹⁾と同じように2つの破断点が存在する。ここで第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

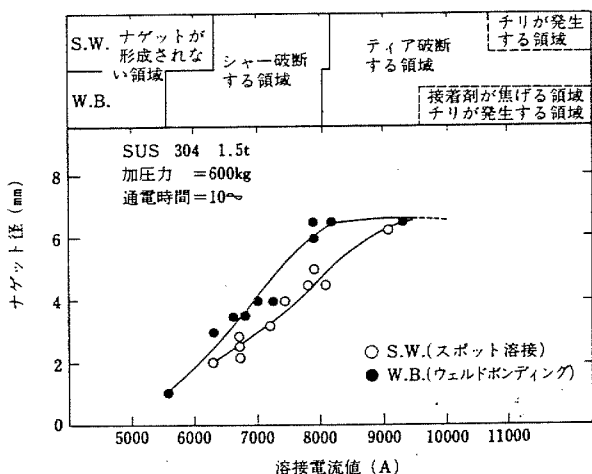


図6 溶接電流値とナゲット径、破断試片の状態

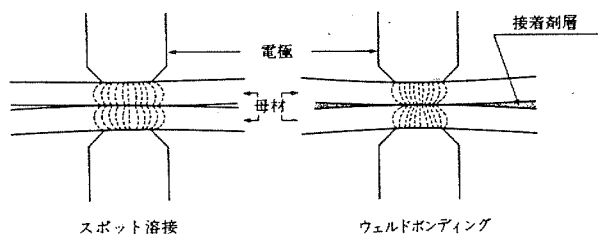


図7 スポット溶接とウェルドボンディングにおける電流の流れ方の模式図

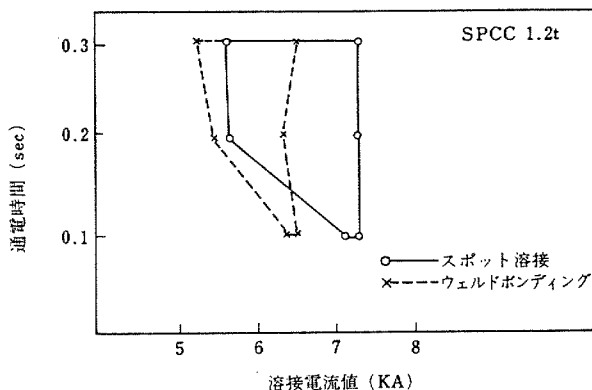


図8 スポット溶接とウェルドボンディングの溶接性の比較

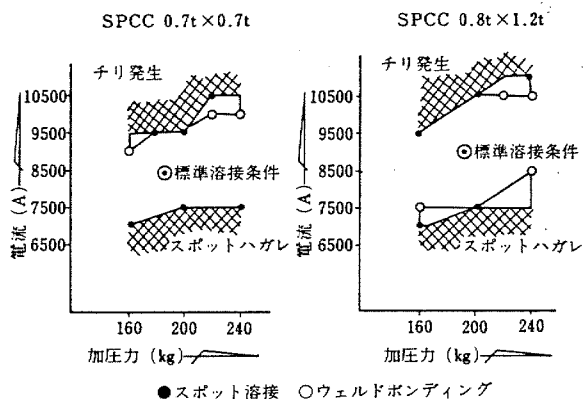


図9 スポット溶接とウェルドボンディングの溶接性の比較(通電時間8~)

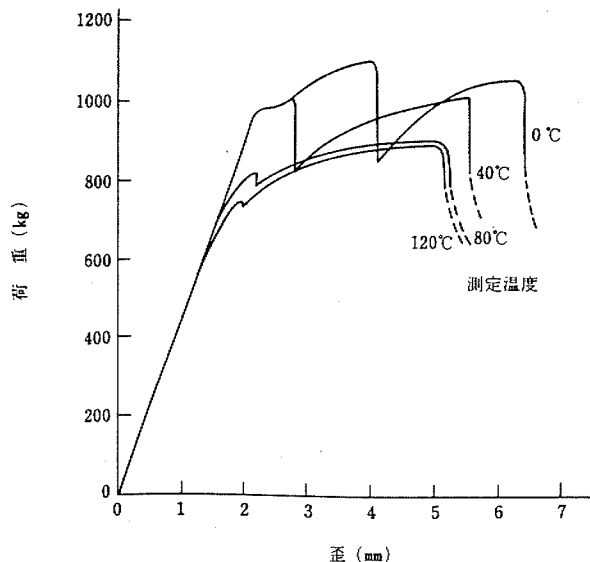


図10 ウェルドボンディング試片の荷重-歪曲線

点はナゲットおよびナゲット周辺の接着の破壊に基づくものである。

図11には、溶接電流値とウェルドボンディングの引張り剪断強度の最大値の関係を接着接合・スポット溶接のみの強度と比較して示した。接着強度の方がスポット溶接強度より高い条件下では接着強度(第1破断点)、スポット溶接強度の方が接着強度より高い条件下ではスポ

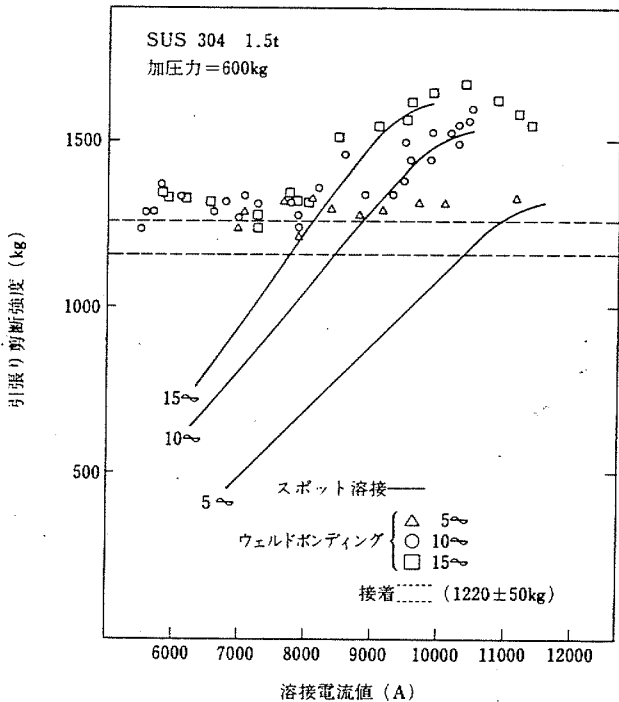


図11 溶接電流値と引張り剪断強度の関係

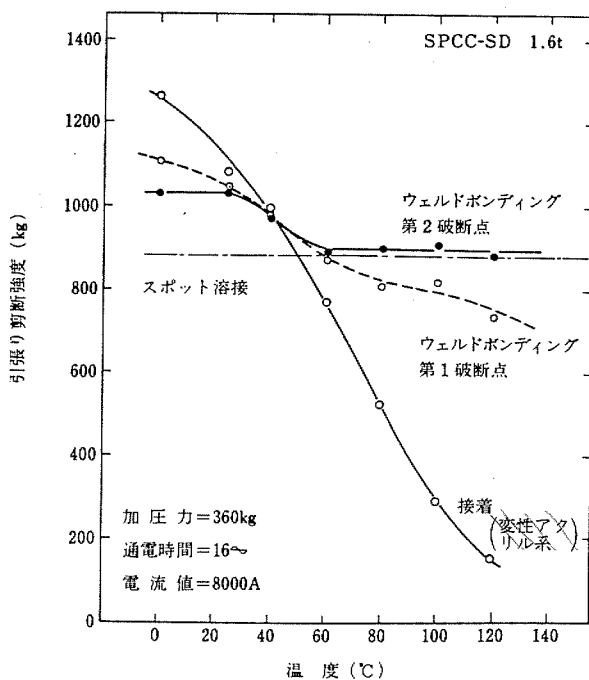


図12 ウェルドボンディング, 接着, スポット溶接の引張り剪断強度の温度依存性

ット溶接強度(第2破断点)が、ウェルドボンディングの最大強度としてあらわれることがわかる。

3.2 引張り剪断強度の温度依存性

図12には、軟鋼板におけるウェルドボンディングの第1破断点強度、第2破断点強度の温度依存性を接着接合・スポット溶接のみと比較して示した。¹⁰⁾ 接着接合強度は温度の上昇とともに直線的に低下するのに対して、ウェルドボンディングにおいては、高温域でラップ端部の接着が破壊する強度は接着接合に較べて顕著に向上し強度特性改善の効果があらわれる。また第2破断点強度は、低温域でスポット溶接強度と比較して高強度となっているが、これはナゲット周辺の接着剤の接着強度があらわれているためと考えられる。

3.3 T型剥離強度

図13には、軟鋼板の場合の接着接合・スポット溶接・ウェルドボンディングの部材板厚とT型剥離強度の関係を示した。¹⁰⁾ 接着接合とスポット溶接の場合を比較するとT型剥離強度は、両者とも板厚の影響をうけるがスポット溶接の方が板厚依存性の大きいことがわかる。ウェルドボンディングのT型剥離強度は、1.0mm厚以下の薄板では接着接合と同等、1.0mm厚を越える板厚の場合にはス

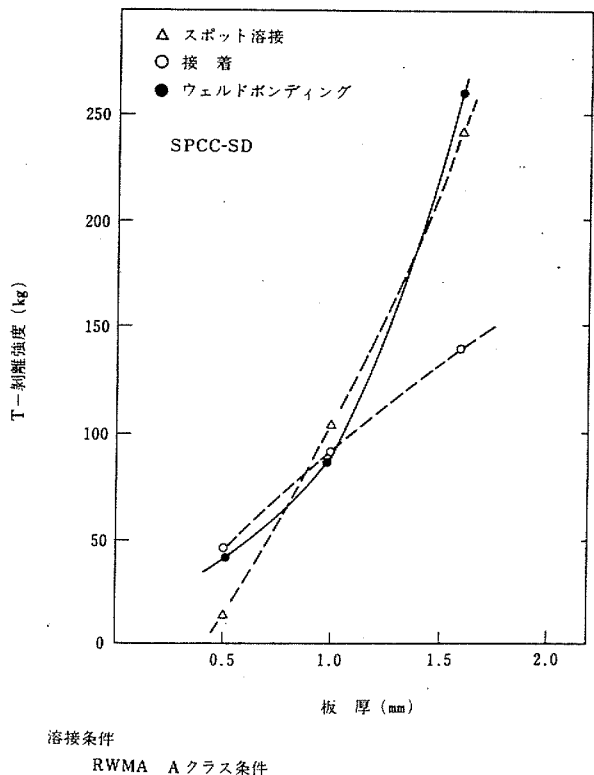


図13 ウェルドボンディング, 接着, スポット溶接のT型剥離強度の接合部材板厚依存性

ポット溶接強度と同等であり、板厚により接着とスポット溶接のいずれか高い方の強度が得られ、接着強度とスポット溶接強度の複合効果は認められない。

3.4 クリープ特性

図14には、クリープ破断特性を示した。¹²⁾ ここでリベットボンディングというのは、リベットと接着とを併用した工法であり、アメリカではスクールバスで実施されており¹³⁾、ウェルドボンディングとともに注目を集めている工法である。図14よりウェルドボンディングは、接着接合・リベットボンディングに比べ、継手の破断をおさえるのに効果的であることがわかる。また図15には、クリープ変形量の比較を示した。¹²⁾ 接着接合・リベットボンディングと比較してウェルドボンディングでは、初期変形のみでその後はほとんど変形しないことがわかる。

3.5 疲労特性

ウェルドボンディングを行なうと疲労特性が一般に向上すると言われており、アルミニウムについての報告は数多くある。^{11) 5) 6) 14)} 図16には、ステンレス鋼板における接着接合・スポット溶接・ウェルドボンディングの疲労

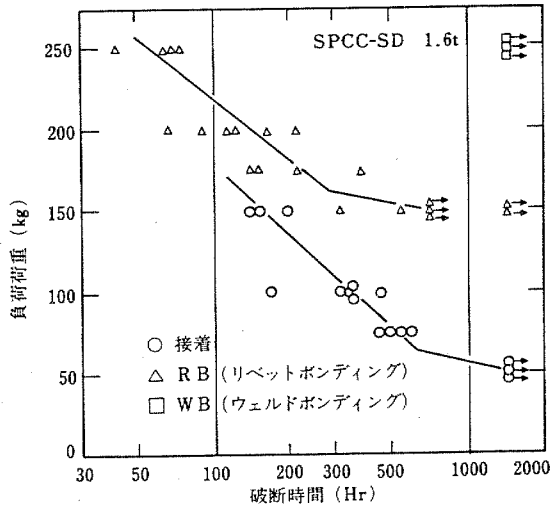


図14 クリープ破断特性 (60°C 90%RH 雰囲気曝露) 溶接条件: 加圧力=360kg, 通電時間=16[〃], 電流値=8000A

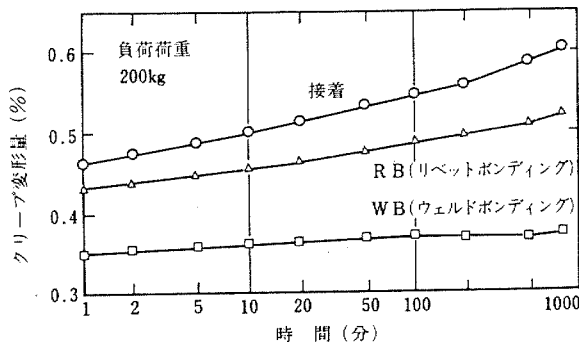


図15 クリープ変形量 (60°C)

特性を比較して示した。¹⁰⁾ ここでは3種類の継手とも同等の静的剪断強度 (1200kg) をもつ試験片を用いた。ウェルドボンディングでは疲れ強さがスポット溶接・接着接合と比較して著しく優れており、接着接合・スポット溶接の両接合法の複合効果があらわれていることがわかる。この複合効果は、スポット溶接のみ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わたって分散されること、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量が大であるが、スポット溶接を併用することによりこの変形量が小さくなること等に起因するものと考えられる。

4. むすび

以上述べたようにウェルドボンディングは、接着接合・スポット溶接の両接合法の長所が相乗して一石二鳥の接合法であるといえる。ただし被着材の表面処理が問題となる場合がある。たとえばアルミニウムなどでは種々の表面処理が実施されているが、スポット溶接のためには表面の酸化膜層を除去した方がよく、接着のためには表面に均質で強固な酸化膜層を形成した方がよいという風に全く逆の表面処理方法となっている。しかしこの問題も近年、アドバンスドウェルドボンディング¹⁵⁾という方法で解消されつつある。

ウェルドボンディングは、1960年代にソ連で開発された後、現在まで20年が経過しているが、実機への適用事例は未だ少ないのが現状である。しかしウェルドボンディング・リベットボンディング等は、構造接着工法の1つとして特にウェルドボンディングは適用範囲が広いので今後普及する可能性が大きいといえるであろう。

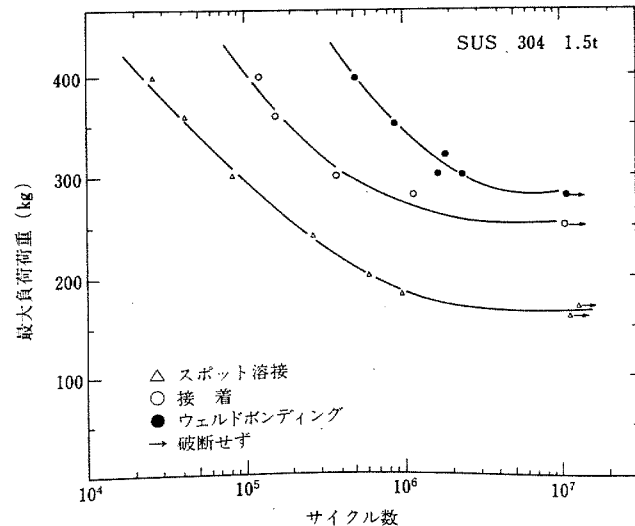


図16 ウェルドボンディング, 接着, スポット溶接試片の疲労特性 溶接条件: 加圧力=600kg, 通電時間=10[〃], 電流値=8500A

参 考 文 献

- 1) 浜崎正信：溶接技術 25 (3) 19 (1977)
- 2) 航空宇宙技術動向 No40 (1980) 日本航空宇宙工業会
- 3) D. Fields : Adhes. Age, 16 (9) 41 (1973)
- 4) K. Forsberg, F. R. Sullivan : SME Tech. Pap., AD72-710 (1972)
- 5) A. Shames, R. Rupp, J. Clarke : Congr. Int. Council. Aeronaut. Sci., 12th 596 (1980)
- 6) J. D. Minford, F. R. Hoch, E. M. Vader : SME Tech. Pap. Ser., NoSAE-750462 (1975)
- 7) 杉山禎彦, 梅田典孝：軽金属溶接, 17 251 (1979)
- 8) T. B. Jones : Weld. Mat. Fabr., 46 415 (1978)
- 9) 森明彦, 安齋正明：タウラ技報 16 (1) 9
- 10) 山田祥, 原賀康介, 斎藤貴：日本接着協会誌投稿中
- 11) 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)
- 12) 原賀康介, 山田祥, 谷尚記：第21回接着研究発表会講演要旨集 (1983)
- 13) Justin. C. Bolger : Tech. Pap. Ser. . Soc. Automot. Eng., P18 (1978)
- 14) F. Eichhorn, H. Stepanski : Bänder Bleche Rohre, 21 (2) 74 (1980)
- 15) T. R. Croucher : Air Force AFML-TR-79-4006 (1979)

製 品 情 報

小物ワーク (最大ワークサイズ450×450×80mm) 専用アーク溶接ロボット 「パナロボAW-0400 (分離型・一体型)」

松下産業機器 (金澤二三男社長, 本社=大阪府豊中市) では, このほど, 操作性, 溶接教示作業が容易 (溶接経路をなぞりながらティーチング可能な) な, 小物ワーク溶接用ロボット「パナロボAW-0400」を発売した。AW-0400は, 分離形 (標準タイプ) と一体形の2タイプあり, 溶接電源を除く標準価格は350万円。

AW-0400は, アーク溶接ロボットでは初めて, 4軸横閏節形アームを採用, 上下軸に取付けた溶接トーチ先端を人手で溶接ワークの溶接経路を直接なぞりながらティーチングできるダイレクト教示や, 従来のティーチングボックスによる電気的移動教示, テンキーによるNC教示——などの機能を有し, 加工対象, 用途による状況に応じた教示が選択できる。

運転操作は, パナロボAW-3000で採用したCRTによる日本語対話誘導方式のため, 使い勝手はよさそうだ。このほかに, 溶接用として, 溶接条件制御機能 (溶接開始, 停止など7条件), 2点教示で2点間を直線で結ぶ直線補間機能, そして同一種類の加工対象が位置移動した

場合なども改めて教示しなくても対処できる平行シフト機能やパレタイジング機能を有しているの, 溶接用のほかに周辺作業への応用を可能にしている。

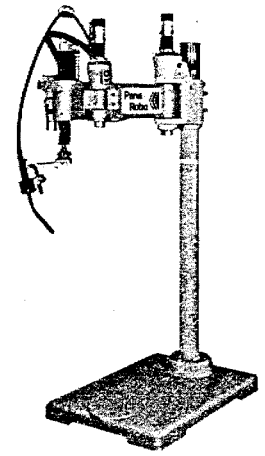
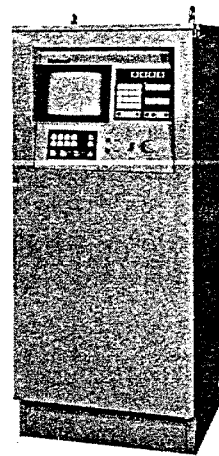
〈パナロボAW-0400の主な特長〉

(1) 教示作業が容易=ダイレクト教示, 誘導教示, NC教示機能を有し, ケースバイケースで幅広い対応が図れる。

(2) 操作性の向上=CRTによる日本語対話誘導方式の採用で, ロボット操作・溶接作業が初めての者でも操作可能。

(3) 小形化・小スペース設置=新サーボ駆動機構の開発と合理化設計から, 小形・低コスト化を実現設置スペースも小スペース化した。

(4) 作業機能が豊富=溶接条件制御機能, PTP, 直線補間機能に加え, 平行シフト機能, パレタイジング機能から,



溶接用・溶接工程周辺作業と, 応用範囲を拡大。

(5) 制御装置分離形, 一体形の2タイプ=ロボット本体基本部は, コンパクトサイズで, 設置条件・作業形態に応じて選択でき, また専用溶接システムの一部としてユニットロボットとして適用が図れる。

〔松下産業機器(株)生産システム機器事業部=大阪府豊中市稲津町3-1-1, ☎06-862-1121〕

* *