《 特 別 講 演 》

プラスチック溶接の概要およびわが国における発展*

大 西 巖**

General description on the WELDING OF PLASTIC
and its development in Japan*

by Iwao Onishi**

は し が き

溶接はその対象となる材料が主として金属であり、非金属材料の溶接は金属にくらべて徹々たる量にすぎなかった。しかるに近年に至り、高分子化学の発展に伴い、優秀なプラスチックが多量に生産され、工業用材料としても盛んに使用されるようになった。従ってこの材料の溶接も看過し得ぬことになり、その接合技術は溶接工学の重要な一角を占めるにいたった。国際溶接会議 (IIW) においても昭和37年 (1962)、第16分科会としてプラスチック溶接の委員会が追加され、1963年始めてこの会議が開かれたことは周知のところである。

わが国でも相当以前からプラスチックの溶接が行なわれ、大阪大学でもいち早く研究課題としてとりあげていたが、その成果の発表はおそく、溶接学会誌上に最初の研究報告が見られたのは昭和34年 (1959) であった¹⁾。また専門委員会ができたのは今から10年前であり、昭和35年10月、日本溶接協会の研究委員会として発足した。その後、国際溶接会議第16分科会が設置されるや日本溶接会議 (JIW) においても、これにあわせて昭和38年第16分科会を設けたのである。協会研究委員会および JIW 第16分科会委員長は共に筆者が就任した。従ってこの分科会の委員としては、さきのプラスチック研究委員会の幹事全員が就任することとし、国内研究委員会の重複をさけ、合同委員会として事業と研究に精力を集中した。かくして現在まで、すでに50回近い研究集会を重ね、プラスチック溶接技術の啓蒙と向上開発につとめるとともに多くの研究成果をあげてきた。

以下、本文においては前記両委員会としての、および委員個人としての研究成果をも含めて、プラスチック溶接の概要を一通り記述したい。溶接学会々員各位の参考になるならば幸いである。

I. プラスチックとは

先にも述べたごとく、大多数の会員諸賢は金属溶接の専門家であり、プラスチックの如き非金属材料に対する関心が薄いと思われるので、材料そのものに対して多少説明を加えておきたい。

有機化合物の種類は現在約50万種と称されており、その分子量はメタン (CH_4) の16を最低に、数万、数十万あるいはそれ以上となっていく。しかし数千という所ものはきわめて少く、この谷間を境界として有機化合物を分子量的に高低2群にわけ得る。また分子量の巨大であることと小さいことは次章において述べるごとく、これら化合物の化学的、物理的諸性質を著しく異にする原因となり、この分類を意義あらしめている。

雲母、石棉などは無機高分子物質であるが、蛋白質、澱粉、繊維素、化繊、ゴム、合成樹脂などは有機高分子に属している。また有機高分子の多くは、低分子物質の縮合反応、付加反応などによる重合によってできる。プラスチックは合成樹脂を主体とするものであって、これに適度のプラスチックシーを与えるために可塑剤を、熱や光に対抗するための安定剤を、磨耗や衝撃などに対する抵抗力を与えるための充填剤を、また色相や透明度のために顔料を、その他望ましい性質をえるための種々のものが加えられている。

元来、プラスチックという言葉は形容詞であり、正しくはプラスチックと称すべきであろうが、辞書をひもとけばプラスチックは形容詞の他にまたプラスチックと同じとなっている。

II. 高分子的特性について

物資の原子間の結合力を一次原子価力、分子間の結合力を二次原子価力と称している。固体分子は平衡位置を中心に熱運動 (振動) をしているだけで、固体中を自由に移動しえないが、固体が加熱され液体となっていく場合、分子振動は激しくなる。プラスチックの溶接の多く

* 原稿受付 昭和46年4月13日 (46年度春季全国大会記念講演)
** 名 誉 員 大阪大学名誉教授 Honorary Member, Faculty of Engineering, Osaka University

は、このステージにおいて行なわれる。

分子振動がさらに激しくなると、分子は平衡位置から移動することが可能であり、従って規則的な分子配列などは見られず、分子間力は弱い。団体の融解は熱エネルギーを得て分子運動が激しくなり、分子間の結合が切れることによって生じる現象である。（熱分解の方は熱エネルギーによる原子の振動が大となり、遂に原子間結合が切れることによって起こる）。

分子の形状が線状（糸状、鎖状）で長大なものが結集している高分子物質では、結晶構造、無定形構造、これらの中間構造などが含まれようから、二次原子価結合の弱화가長い分子全体に亘って均一には起こり得ない、従って見掛けの融点も低分子の場合のごとく一定したものではなく、ある温度範囲内にまたがる。溶剤に対する膨潤性なども低分子物質とは異り、巨大分子などがゆえに、高分子の特性を持つにいたる。

高分子物質の分子量が増大するにつれ、融点は上昇し、また溶解されにくくなる。さらに一次原子価力によって原子が立体的に配置、結合されていくと分子量はきわめて増大すると考えられ、一般的に物質は不融、不溶の性質を帯びるにいたる。

III. プラスチックの歩み、用途など

ポリ塩化ビニルは1923年（大正12年）ドイツで発明され、1930年から1940年にかけてシート、バー、パイプなどに造られた。高圧法によるポリエチレンは1935年イギリスで発明され、排水管、消防用ポータブルパイプなど

に用いられた。さらに低圧法による高密度ポリエチレンが開発されていった。高圧法によるポリエチレンは単にポリエチレンと称されるが、後者はハイゼックスとも呼ばれ、前者よりも耐熱性、剛性、強度とも大である。

1950年にはスチレン共重合体パイプが造られるようになり、水道管、排水管、油送管などに用いられている。最近ではポリプロピレン、ポリカーボネートなどの優れた材料が出現し、さらにそれぞれ異なる特性を有する新材料が続々と開発、生産されている。たとえば耐熱性が400°Cに耐え得る材料もあり、強度の著しく向上したものもあり、強化プラスチックでなくても強度メンバーとして用いられることが多くなり、プラスチックは工業用材料としてますます用途を広めている。

表一は溶接用プラスチックの一例とその性質であり、図一は各種プラスチックの最高使用温度である。また表二はプラスチックの用途例を示す。

次に各国のプラスチック生産量を図二に示す。わが国の昭和44年の生産量は450万トンであり、昭和45年は約500万トンの消費量と推定されている。つまり日本人一人当たりが1年間にそれぞれの体重にほぼひとしい量のプラスチックを消費していることになる。やがては日本はもちろん、地球表面はこの耐食性に優れた材料によって覆われる時がくるかも知れない。

図一3に日本におけるプラスチックの生産推移を示す。ユリア樹脂、フェノール樹脂などは非溶接用であるが、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンなどはいわゆる溶接用であり、全体の70%

表一 溶接用プラスチックの諸性質

溶 接 用 プラスチック	機械的性質		熱的性質		特 性	用 途
	引張強さ kg/mm ²	圧縮強さ kg/mm ²	耐熱温度 °C	変形温度 °C		
塩化ビニル樹脂	0.7~6.9	0.6~10.0	65~85	55~80	強度、電気絶縁性、耐薬品性大、可塑性によりゴム様になる。	フィルム、シート、板、管として耐薬品物、セルロイド、ゴム、金属の代用、電気絶縁材料
塩化ビニリデン樹脂	2.8~5.0	3~4	70~93	55~80	ポリ塩化ビニルより耐薬品性大、強靱、難燃性	金網代用、耐摩耗性シート、カバー、耐薬品用成形品、パイプ、フィルム
ポリエチレン樹脂	1.2~3.5	2.5~7.0	100~110	65~100	水より軽い比重0.94、柔軟、耐薬品、電気絶縁性、耐水性大。	電線被覆、電波機器用品、瓶、容器、包装材料、可燃性に要注意。
スチロール樹脂	3.0~6.5	7.0~11.5	65~95	70~100	電気絶縁性、耐水性、耐薬品性大、失透性、脆性。	高周波絶縁物、ラジオ部品、食器、玩具、雑貨。
酢酸ビニル樹脂	3.1~6.3	—	60~70	—	無色、接着性大、溶剤に可溶、耐熱性小。	塗料、接着剤、ビニロン原料、艶出し剤
ポリビニルアセタール樹脂	—	—	—	—	無色透明、密着性良。	フィルム、安全ガラス中間層、接着剤、塗料。
メタアクリル酸メチル樹脂	5.0~7.3	8~13	60~90	70~100	無色透明、強靱、耐薬品性大、キズが付き易い。	風防ガラス、広告装飾、雑貨、医薬品、照明器具、ガラス代用。
ポリアミド樹脂（ナイロン）	5.0~8.3	2.5~9.5	130~140	70~90	強靱、滑り良く耐摩耗性、耐熱性大、耐アルカリに弱い。	合成繊維、小型歯車、耐摩耗用品、機械部品。
弗 索 樹 脂	1.0~2.0	0.5~1.3	260	120~132	強靱、耐薬品、高温、低温に耐える、高価。	高度電気絶縁材料、耐薬品物、パッキング。
織 維 素 系 プラスチック	1.4~7.0	5~19	60~110	50~100	透明~可撓性~加工性良好。	難燃性セルロイド、写真、フィルム、成形品。

図-1 各種プラスチックの最高使用温度

図-3 主要プラスチックの我が国における生産量の推移

以上が溶接用の材料と見てよからう。

表-2 プラスチックの用途別

産業部門別	用 途
建 築	屋根材、日除け、天窗、仕切用、手摺、ドア、樋、
船 舶	ボート、エアダクト、パイピング、ライニング、
	断熱材、積載品、安全網
自 動 車	ボディ、スクーターボディ、タンク車、計器盤、
	ファンブレード、内装品
車 両	壁材、床面材、洗面器、衛生器物、屋根材、椅子、
	天井板、吊手、荷物受
化学工業	化学プラント、タンクライニング、容器、パイプ
航空機	ミサイル胴体、燃料タンク、エアダクト、窓枠、
	壁面断熱、翼端部、移動格納庫、内装品
電気工業	各種絶縁物、電線覆、モーターコア、器具計器類

(高木、西、松田：溶接技術 昭和37年1月号)

図-2 プラスチック主要生産国の生産量の推移

IV. 熱可塑性(溶接用)プラスチック

プラスチックには加熱により軟化し(さらに強く加熱すれば熔融する)、冷却により硬化することを繰返す熱可塑性のサーモプラスチックと、加熱により硬化し、さらに加熱するとも軟化の現象をほとんど示すことなしに分解するにいたる熱硬化性のサーモセッティングプラスチックとがある。前者は線状の重合体であり、後者は立体的網状重合体である。

熱可塑性プラスチックの線状に結合している炭素は熱により、ある範囲内で自由に動きうる。線状分子の熱によるこのような運動をミクロブラウン運動と称し、さらに加熱されて温度が上昇すると軟化し、流動を始める。これはミクロブラウン運動とともに分子全体として回転運動を行なうためであり、これをマクロブラウン運動と称している。このような状態は溶接に望ましいものであり、二次原子価力、一次原子価力さらにはメカニカルインターロッキングなどによって合体強度を得る。

一般に溶接に適するものは線状分子構造のプラスチックであるが、線状高分子であっても熱を加えることによって容易に分解を起こすようなプラスチックは溶接に適しない。このようなものは立体網状分子構造のプラスチックと同じく、接着その他の方法で合体、接合を行なう。

強化プラスチック（FRP）といえは熱硬化性プラスチックをガラス繊維、炭素、石棉などの繊維で強化したものであり、宇宙船空機材、車両、漁船、建築、貯槽、容器など強度メンバーとして使用されており、強度以外の優れた特性をも有しているが、溶接には適していない。最近では熱可塑性プラスチックを強化した熱可塑性強化プラスチック（FRTP）が工業化され、市販されるようになってきた。この材料の溶接は今から採りあげるべき重要問題の一である。

V. 溶接用プラスチックの判別

プラスチックはX線、赤外線吸収スペクトル、燃焼法、乾溜発生ガス、溶剤法、物理化学常数などによって識別されるが、手軽で簡単な方法は燃焼特性の観察である。これは試験片を無色のブンゼン火焰にあて、その時の試料の状態、生じる煙の特徴、臭気、燃焼速度などから大体的見当をつけ、さらに比重を測定することによって識別する方法である。しかし、同種のプラスチックであっても可塑剤、安定剤、充填剤、顔料などの含有によって判定を誤る場合もあるから注意しなければならない。アメリカで行なわれているバーニングテストは厚さ 3 mm、長さ 76 mm の試験片を数秒間マッチあるいはブンゼンバーナーの火焰中に入れ、発火すればただちに焰からとり出し、煙の状況や材料のうけた影響を観察するのである。

表一 3 は数種の溶接用プラスチックの燃焼特性と比重をまとめたものである。また熱可塑性かどうかを知るだけならば、260°C 前後に加熱して容易に軟化するかどうかを見ればよい。

VI. プラスチックの溶接

プラスチック溶接の最初は炭火、火焰、電熱などを直接熱源とする簡単な方法、熱鋸による方法などであったと想像されるが、やがて熱風溶接用の精巧なホットゼットガンや溶接用熱盤などの熱器具が現われ、さらに摩擦溶接、抵抗線加熱溶接、高周波溶接、超音波溶接などが実用されるに至つたと考えてよからう。容器、構造物などの現場溶接には熱風溶接が広く使用されており、一定製品の製造には超音波その他の方法、シートの溶接には高周波マシンなどのさかんに使用されていることは周知のところである。

(A) 熱風溶接

現在使用されているホットゼットガンの機構はヘッドライアーに小さいエアコンプレッサーを備えたようなものであり、ただ熱風の温度が高くなる点とノズルによって噴流が細く速くなった点だけが異なっている。1937～1938年、Reinhardt (米)、Henning (独) などによって造られたガンの原理は共に簡単なものであったが、次第に精巧、軽量となり、現在の如く多くの要求を満足し得るものに発展した。図一 4 (a) はガス加熱によって熱風の得られるもの、(b) は電気加熱によって熱風の得られるものの原理を示す。電気加熱式はガス加熱式にくらべ、軽量で、加熱用ガスを使用する煩雑さが避けられる。図一 4 (c) はわが国の最近の製品の一例である。

圧縮空気あるいは不活性ガスをこの装置に送り、溶接に適する温度に加熱し、熱風として溶接部の供給する。このために圧力調整器がついている。トーチの出口におけるガス温度の測定はノズル先端から 10 mm あるいは

表一 3 溶接用プラスチックの燃焼による識別

溶接用プラスチック材料	比 重	燃 焼 特 性			
		燃焼速度* (cm/min)	臭 気	煙 の 特 徴	試 料 の 状 態
セルローズ・アセテート ブチレート (CAB)	1.15～1.22	1.3～3.8	酪酸臭あり	暗黄色煙（僅かに黄色端あり）	熔融滴下しながらもえつづける
ポリアミド (ナイロン)	1.09～1.14	自然性なし	羊毛、毛髪に燃焼臭あり	青色煙（先端黄色）	熔融滴下し泡立つ
ポリエチレン					
低密度ポリエチレン	0.910～0.925	2.5～2.8	パラフィンの燃焼臭あり	底部は青色、上部は黄色煙	熔融滴下
中密度ポリエチレン	0.926～0.940	2.5～2.8	"	"	"
高密度ポリエチレン	0.941～0.965	2.5～2.8	"	底部は青色、上部黄色煙、白色煙	"
ポリプロピレン	0.90～0.91		パラフィンの燃焼臭あり	底部は青色、上端は黄色煙、白色煙	熔融滴下
ポリ塩化ビニル (PVC)					
硬質ポリ塩化ビニル	1.35～1.45	自然性なし	塩素臭あり	黄色煙、底部は緑色、白色煙	軟化、炭になる
軽質ポリ塩化ビニル	1.35～1.45	"	"	"	"
スチレン共重合物 (ABC)					
Type I	1.00～1.08	3.3	人工灯用ガス臭あり	橙黄色煙、濃黒煙を発生スが出る	軟化、炭になる
Type II	1.06～1.08	3.3	"	"	"

* 燃焼速度：ASTM No. 635-44 参照

図-4 ホットゼットガン

5 mm (独) のきよりで行なう。溶接ガスの温度はプラスチックの種類に応じて適当に調節するが、トーチの先端と被溶接材とのきよりを変えることによってもある程度の調整は可能である。熱風溶接の条件としては母材および溶接棒の清浄、溶接ガスの種類、温度、圧力のほかに溶接棒とその保持角度、押し付け圧、棒の寸法、溶接速度などが重要である。

溶接棒材質は一般に母材よりも可塑剤が多く、従って軟化温度、強度などがやや低くなる。直径のあまり大きいものは棒内外の温度差の関係で使用されない。ビード継目を滑らかにするために棒先端を鋭く切落しておく等々。これらの従来から熟知され、かつ実施されているような諸点については紙数の都合上割愛し、プラスチック研究委員会および委員の業績について報告したい、ただプラスチック熱風溶接の要領が金属融接と趣を異にしている点だけは特記して置く必要がある。

プラスチック溶接では母材局部および溶接棒端の両者を完全に溶融せしめるのではなく、両者の接触する表面

図-5 押付ローラー

のみをわずかに溶融に近からしめ、接合すべき個所(開先内)に溶接棒が間違いなく填入されるように、溶接棒を同じ強さで軽く押し続けなければならない。この加圧力のいかに溶接速度、加熱温度などからみ合つて溶接強度に大きく影響する。手加減による加圧よりもローラーなどによる加圧の方が好結果が得られる。図-5は加圧ローラーの一例を示す。

(B) 塩ビ熱風溶接諸条件の決定

研究委員会の大きな業績の一はポリ塩化ビニル(PVC)の熱風溶接における諸条件の摘出であり、そのために多くの基礎的実験が全委員の分担によって行なわれた(1963)。すなわち母材の熱による影響の数々を明らかにし、開先形状、削角角度、ルートギャップ、熱風温度、溶接速度、押し圧などとの関係を明らかにし²⁾。また予

表-4 熱処理効果

ゲルブの深さ (mm)	熱処理方法	引張強度 (kg/cm ²)	P/Po (%)	破断箇所
1.10	熱処理後溶接 (100°C, 60min 水冷 溶接)	3.93	74.0	溶接ビード 2 熱影響部 2
1.23	熱処理後溶接 (100°C, 30min 水冷 溶接)	5.01	94.0	溶接ビード 3 熱影響部 1
0.88	溶接後熱処理 (溶接100°C 30min 水冷)	3.67	69.0	溶接ビード 4
0.78	無処理の溶接 試験片	3.59	67.5	溶接ビード 4

表-5 溶接部の衝撃強さ (kg·cm/cm²)

溶接温度	180°C	200°C	225°C	250°C
溶接速度				
80 mm/min	1.61	—	—	—
100	2.56	4.65	5.35	3.04
150	1.67	3.13	3.48	5.39
200	1.48	2.34	4.48	4.58
250	—	—	2.51	2.81

注) ① 母材の衝撃強さ 3.25 kg·cm/cm² ただし、Vノッチ入り、溶接部の衝撃試験片はノッチを入れていない。

② 測定温度 20°C

③ N=5

表-6 溶接部の引張り強さ (kg/cm²)

溶接温度	180°C	200°C	225°C	250°C
溶接速度				
80 mm/min	272.3	—	—	—
100	318.3	314.8	265.0	227.2
150	244.6	331.8	276.6	294.5
200	168.9	299.4	306.5	399.0
250	—	—	305.4	327.8

注) ① 母材の引張強さ 624.5 kg/cm²

② 測定温度 20°C

③ 試験数各 5 本づつ

④ 溶接後は室温に放冷する

表一 継手溶接強度と継手効率

材 料	抗 張 力 kg/mm^2						継 手 効 率 %				
	母 材	溶 接 ガ ス					溶 接 ガ ス				
		空 気	アルゴン	10% 水素混入 アルゴン	窒 素	10% 水素含有 窒素	空 気	アルゴン	10% 水素混入 アルゴン	窒素	10% 水素含有 窒素
ポリ塩化ビニル (硬質塩化ビニル)	6.55	4.05	4.21	5.27	4.07	5.14	61.9	64.2	80.5	62.2	78.5
低圧法ポリエチレン (高密度ポリエチレン)	3.24	1.88	2.50	2.75	2.72	5.11	57.9	77.2	84.9	83.9	96.0
高圧法ポリエチレン (低密度ポリエチレン)	1.53	0.97	1.47	1.53*	1.23	1.24	63.4	96.1	100.0*	80.4	80.6

ただし、板厚：2mm、溶加材の径：3mm、60°V形下向突合シングル溶接、*は母材破断

図一 6 加熱による成分の放出

熱温度や溶接棒の種類、寸法についてあるいは引張試験の要領や試験温度の影響に対するチェック、各種熱処理の影響、非破壊検査などについて詳細な実験を行なった。これらの結果が後に述べるプラスチック技術検定(JIS)の完成にも大きく寄与している。これらの結果の二、三を取り出して示せば表一4～表一6、図一6のごとくである。

なお、使用する熱風としては空気の使用されることが多いが、ガスの種類によって溶接部強さの異なることが委員2名の共同研究によって明らかにされている。表一7は塩ビの熱風溶接条件の実験よりも3年前に発表された研究結果である³⁾。また委員の一人はポリプロピレン、

ポリエチレン、ポリカーボネートなどの高分子材の溶接における各種雰囲気の種類、温度などの影響をくわしく報告している⁴⁾。

(C) プラスチック溶接の技術検定

プラスチック熱風溶接の技術検定試験案の立案が委員会の事業の一としてとりあげられ、昭和39年の春から検討を重ねた。その結果、昭和41年に WES, 昭和45年に JIS-Z-3831 としての制定をみるにいたった。昭和42年から現在までに、全国で約100回の試験を実施し、2,000名近い合格者を出している。

昭和44年京都において開催された国際溶接会議では、JIW 第16分科会委員のほとんど全員が出席し、Welding of Plastics in Japan (Doc. No. XVI-131-69) によっ

図一 7 試験片および開先の形状、寸法

て現況を紹介し、わが国溶接の著しい進歩を示した。またこの際示した溶接技術検定規格 (JIS) は海外からの出席者によって懇望され、年末に日本語のまま規格全文を送付した。これがニューヨークのケログ社で英訳され、IIW 1970 年大会で発表された由である。

JIS 検定においては空気を溶接ガスとしたホットゼット法を用い、母板は厚さ 2mm, および 10mm の硬質ビニル板 (JIS K-6745 に規定する 1 種, 1 号) を使用する。また溶接棒の引張強さは 5.0 kg/mm^2 以上で、直径を 3mm とした。母板、溶接棒の強さの決定についても多くの実験、検討が必要であった。受験者は下向、立向、上向などの姿勢で溶接を行なうほか、これら母板の開先加工をも行なう。図-7 は試験片および開先の形状、寸法であり、表-8、表-9 はそれぞれ試験の級別、各級に対する合否判定規準を示す。

表-8 試験の級別

級別	試験材 板 厚	継手の種類	溶 接 姿 勢	試験方法
1 級	2mm	突合せ溶接	上向・立向・下向	引張試験
	10mm	"	下 向	
2 級	2mm	"	立向・下向	"
	10mm	"	下 向	

表-9 各級に対する合否判定基準

級別	試験片板厚 (mm)	溶接姿勢	試験片個数		引張強さ (kg/mm^2)
			小 計	合 計	
1 級	2	F, V, OH	9	12	3.2
	10	F	3		2.9
2 級	2	F, V	6	9	2.9
	10	F	3		2.7

今、合否判定規準を一見するに、単なる数字の羅列に過ぎないが、これを決定するためには種々の基礎的な実験から出発し、多くの実験、検討が重ねられ、ようやく成ったものであり、委員全員の努力の結晶と称すべきである。

(D) 自動熱風溶接機およびフロー溶接機

熱風溶接による継手強度の一定化をはかり、溶接の信頼度を向上させる手段の一として溶接の自動化が考えられる。自動溶接機としてはすでに二、三の市販品、試作品が発表されていたが、研究委員会は共同研究のテーマとしてこの問題をとりあげた。まずカルライスター社 (スイス) の半自動溶接機を参考として検討を加え、委員の数名は図-8 に示すとき機構の自動溶接機を提案し、委員会に報告した。

半自動式においても、溶接棒と母材は熱風により同時に加熱されるが、溶接棒の押し付けは人手によって行な

図-8 自動溶接機の要部

っている、自動式では

- (1) 溶接棒の送りと加圧を自動的、連続的にする
- (2) ノズル先端を一定きより、角度に保持する
- (3) 溶接線を所定の速度で前進、後退する
- (4) 溶着部を適当に加圧、成形するローラーを備える

溶接ビードは手溶接にくらべて美しい外観となるが、継手強度については手放しで向上を求め得ると考えることは危険である。溶接諸条件はもちろん、開先の精度から改めてかかることにより、始めて信頼度の向上が得られることを明らかにした。

元来ホットゼットガンによる溶接は、溶接棒と母材局部の実際に融かされるのは表面のみで、内部は軟化状態あるいは剛体のままである (直径のあまり太い溶接棒が不向きな原因も多くはここにある)。従って溶接棒の押し圧はどうしても必要となる。委員の一人は溶接棒端を完全に溶融し、母材面も充分溶融にいたらしめて溶接するための溶接機 (フロー溶接機) を考案し、1961年に新技術開発事業団に原案を提出した。

この原理は押出成型機のように、あらかじめ充填材をホッパーに挿入しておき、これを連続的に加熱してシリンドラに送り、軟化、溶融にいたらしめる。溶融した充填材はスクリーシヤフトにより、溶接開先中へ自動的に充填されていく。一方、開先部の加熱は別のノズルからの熱風によって充分に行ないうる。金属の融溶に似たプラスチック溶接がこれによって行なわれる。この種の溶接機は Canadian Aviation Electronic 社で考案され、1964年わが国においてプラスチックフローガンの名称で市販された。その機構は前記のものにかよっているが、ピストル型の製品としてコンパクトにまとまっている。ただ、溶接棒を細かいビレットとしてガンに装入し、50cm 程度を溶接すると再びビレットを装入する必要があること、開先部の予熱が不充分となり易いなどの欠点があった。前記委員はこれらの点を指適し、改良を進めてその結果を委員会に報告した。普通のホットゼ

(a) 普通の熱風溶接ビード断面

(b) フロー溶接ビード断面

図-9 ビード断面形状の比較

ァトガン溶接とフローガン溶接との差が図-9のビード断面の形状に現れている。

なお、フローガンによる溶接強度がホットセットガンによる溶接よりも優れていることが発表されているが⁵⁾、金属接合にも過熱により材質が劣悪化することがあるように、プラスチックも材質により過熱劣化があるので温度調整には充分の注意が必要であることを指適している。

(E) 全溶接構造高速艇の試作

サーモプラスチックの溶接製品は枚挙にいとまがないが、これを強度材として用いた開発例の一を述べる。強度材としては FRP が使用されることは周知のところであるが、値段の点、成型の点、さらに溶接の点において熱可塑性プラスチックに劣っている。

委員の一人は数名の補助者と共に、サーモプラスチック製モーターボートの設計から製作までを貫通した。設計に先だち、材料の静的、動的諸性質をつぶさに調査し、万遺漏なきを期した。模型実験では、水槽実験と強度実験を試み、前者により船型の決定、後者により内部の構造を決定した。浸水沈没のうれいをなくするため、船底、船側は小区割、全二重構造としている。従って構造は複雑であり、その工作は溶接を使用して始めて可能

写真-1 透明塩晶製ボート底部構造

写真-2 試運転中のボート

と称しても過言ではない。材料は透明および不透明の塩ビで、厚さは 5 mm を主とし、継手には X 型開先を用い、直径 3 mm の溶接棒で熱風溶接を行なった。写真-1 はボートの構造、写真-2 は完成を示す。

サーモプラスチック溶接構造の強度材としての可能性を求める一例として高速艇を選んだ理由は

- (1) 使用する温度雰囲気が常温附近であること
- (2) 耐食性の要求される用途であること
- (3) 船体表面の塗装を要しないこと
- (4) 比較的軽量で済むこと
- (5) 塑性加工し易く、自由な船型が選べること
- (6) 溶接構造であるため、剛性の不充分なところは充分な構造にできること
- (7) 補修の容易なこと
- (8) 静的、動的の構造物試験が可能であること
- (9) 研究費、人員規模

第1号艇は全透明船、全長 4.5 m、幅 1.8 m、深さ 0.5 m、定員 5 名、22 馬力船外機付、最高速度 40 km/h であった。これは次の第2号艇と共に第3号艇のための試験に供された。

第3号艇は全長 4.5 m、幅 1.5 m、深さ 0.6 m、重量約 0.3 ton、時速 60 km となっている。昭和41年8月23日、三菱重工神戸造船所で開かれた溶接学、協会共同のプラスチック高速艇シンポジウムで公開、神戸港内で試運転を行い喝采を博した。技術的な詳細は大阪科学技術センター会誌の研究者報告に記載されている。

(F) 木材の熱風溶接

なお溶接製ボートに関連して特記しておきたいことは、同一研究者によって行なわれた木材の接着溶接（仮称）についてである。

金属ろう接で融接に似た形式をとるものにブレース溶接と称されるものがある如く、木材などの接着でプラスチック溶接の形式をとる方法が彼によって提案実施されている。筆者はこれを接着溶接と仮称した。3号艇より

も稍小型の高速艇の建造に当り、プラスチックの他に一部木材を使用した。この木材と木材とはもちろん、プラスチックと木材の接合にもこの方法が採用されている。

この方法では、まず開先部を清浄して汚物を除去し、木材開先面にプライマーを施す。このプライマーは木材細胞間の空隙(ルーメン)に浸入し、木材と静電的に、および投錨的に結合する。この前処理の施された開先面に熱風溶接を行なうしだいである⁶⁾。木材やリノリウム、木材とセラミックなどの接合用に便利な方法と考えられる。

写真-3は木材の溶風溶接部断面であり、(a)は60倍、(b)は100倍、(c)は400倍で示す。倍率が大きいものではルーメン中に浸入したプライマーがよく見え

写真-3 木材の接着溶接部

- (a) 60倍
- (b) 100倍
- (c) 400倍

る。

(G) 太陽熱によるプラスチックの溶接

プラスチックの溶接に太陽熱を利用する方法が委員二、三名の共同研究として行なわれた。集光には種々の方法が考えられるが、装置(反射鏡)の前方(太陽側)に集光する方法は、作業者や被溶接材が光の入るのを妨げることがあるので、図-10に示すごとく後方集光式とした。この場合、反射鏡面全体は使用できないので、凸レンズを併用している。

直径 35 cm のポリ塩化ビニル円筒の内側に計算によって得られた曲率のフレームを接着で固定し、これにアルミニウム箔をはって反射鏡を作製した。なお、支持台が太陽の方向に向いていることを確認すると同時に刻々の入射熱量を測定する照準兼日射計その他の所属具一切を作製した。さらに溶接の作業性と溶接局部への集光を

図-10 溶接用集光装置

図-11 円錐形ガラス棒による光の全反射

よくするため、図-11に示すごとき円錐台型透明ガラス棒を用いた。

溶接母材は厚さ 2mm の透明および帯色の塩ビを使用した。最初の実験では溶接可能であることを明らかにしたのみで、溶接強度の方はあまり優秀ではなかったと委員会に報告された。これは直径 3mm の溶接棒を全表面的に加熱することが幾分難しかったためと考えられる。接溶棒を細くし、トーチチップに相当する部分に一段のくふうを施せばさらに作業し易くなり、強度も向上することと考えられる。写真-4 は溶接装置、写真-5 は太陽熱によるプラスチック溶接を示す。

写真-4 太陽熱溶接装置

写真-5 太陽熱によるプラスチックの溶接

(H) 熱鍔溶接、熱盤溶接、フリクション溶接

熱鍔を使用する溶接は古くからシートなどに行なわれており、鍔の形は用途により種々のものがある。2枚のシートの内面を楔型鍔で同時に加熱し、圧力をかけるもの、ローラーで外面から加熱、加圧するものなどがある。手溶接では鍔の方が移動することが多い。

熱器具の一種として熱盤がある。これはパイプその他

の肉厚物の溶接に使用されることが多い。清浄な熱盤面に溶接すべき部品のそれぞれの端面を接触せしめ、端面が適温にまで上昇すれば、品物を盤面からはずして加圧する方法である。熱盤は普通はニクロム抵抗線をニッケルメッキや、クロームメッキの鋼板で覆ったものが多い。委員会では市販熱盤の盤面温度分布を測定し、器具性能の向上に資した。

プラスチックのフリクション溶接はあまり広く行なわれている方法ではないが、Welding Handbook Vol. 3 (1959) によればその機構は金属のフリクション溶接と同様であるが、回転数、時間、圧縮力などの諸条件が異なっている。継手効率は母材強さの $\frac{1}{2}$ 以下であるが、接合面積を増して継手強さを向上するために、突合せ部はスカーフを造って重ね、あるいは嵌合部とし、そのギャップを広い目としておいて廻転、圧接することが行なわれる。溶融温度の異なる材料の接合には突合せ部のそれぞれの面積を変えることによって調整することもある。

プラスチック研究委員会の委員の数名は共同研究を行ない、摩擦板溶接を考案し、研究結果⁷⁾を委員会に報告している。これは回転円板の両面に溶接すべきプラスチックの端面を押しあて、端面が適温に上昇した際に、円板を上方または下方へはずし、同時に品物を加圧接合する方法である。この方法によれば品物を回転させないため、普通のフリクション溶接では不可能と思われる長尺物や複雑な形状のものを接合することができる。回転円板の材料として、金属では熱が品物端面に蓄積せず、木材では摩擦熱で円板面が炭化し、品物の端面を汚す。研究者は強化プラスチックであるポリエステル樹脂製の回転円板を推奨している。

(I) 高周波溶接、超音波溶接

ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ナイロンなどには高周波溶接が行なわれており、一般には薬品包装などに見受けられる。この溶接原理はサーモプラスチックに高周波電流を通じ、材料中のイオンと電子を交互に入れかえて分子運動を起こさせ、内部に均一に発熱させ、材料を軟化、溶融にいたらしめて溶接するのである。薄物接溶に適し、溶接の自動化に注目されている。普通は 10~70 MC 程度の交流で、出力 0.2~3 kW の発振器を有するものが多い。

高周波ミシンと称されているものは連続溶接用であり、0.1~0.2mm 程度のフィルム溶接には出力 200 W、周波数 65 MC の普通型、レインコート縫合などには 300 W、工業用の特に幅広の用途には出力 1~3 kW が使用されている。2枚の平行な平板電極の間に誘導体である被溶接物を挟み、電極に高周波電界を印加する形式のものが多い。

一方、ポリエチレン、ポリプロピレン、テフロンなどの極性の小さいプラスチックは高周波損失係数が極めて少く、材料中に熱が発生しにくい。これらの材料は超音波振動を与えると、この振動エネルギーは材料内部に引張り、圧縮の作用を生じて、弾性変形から塑性流動へと分子の激しい動きを生じ、熱となって材料を軟化する。また溶接面の摩擦発熱が効力を示すとも考えられ、この溶接機構は数年前パリで開かれた IIW 第16分科会の宿題の一となった。

超音波を使用すると、被溶接部表面に水分があっても除去する必要がないので、液体容器の自働シーリングなどにはまことに好都合である。水中で品物を回転しながら溶接されることもあり、また厚物溶接では能率をあげるために他の加熱方法と併用することも行なわれる。

発振周波数は 17~18 KC から数十キロサイクルまであり、出力は数十ワットからキロワットまで数々のものが使用される。なお超音波の伝達溶接は被溶接部に伝達されるまでに、その間のプラスチックが容易に弾性変形を生じてエネルギーを吸収するので、一般に軟質プラスチックには適用しにくいようである。

高周波、超音波によるプラスチックの溶接、ならびに溶接機に関する研究、開発はそれらの溶接機メーカーによって行なわれることが多く、それぞれの専門家によって研究委員会に公開、報告されてきた。

VII. その他の研究

プラスチック研究委員会の行なった仕事には、たびたびの講習会やプラスチック溶接用語の検討など種々のものがある。また関連研究としては非破壊試験特に困難視されてきた X線透過試験が専門委員の努力によってすでに実施に移されたのを始めとして、溶接には必須とも考えられる塑性加工技術についても研究が行なわれている。

さらにプラスチックの熱切断についての研究報告も行なわれ、また溶接部の劣化、低温性、耐候、耐水などについても委員会あるいは個人としての研究が行なわれている。合成樹脂による金属の接着研究やライニングなどの研究もこの委員会の仕事であり、多くの研究成果を挙げているが、紙数の都合上割愛する。

一方、強化プラスチック (FRP) 構造物については、委員の中にこの方面の権威者が含まれており、常に全委員の啓蒙につとめると共に研究上の参考として種々の資料を与えてきた。昭和45年9月には、特に FRP とその加工、接着についての講習会を開いている。FRP の接合は冒頭に述べたごとく、溶接以外の方法によって行なわれるが、熱可塑性強化プラスチック (FRTP) は溶接

によって接合し得るものであり、現在プラスチック溶接としては幾多研究すべき問題を残しているが、それらの中、重要なものとしてこれを探りあげる必要がある。

VIII. FRTP とその溶接

FRTP の出現はプラスチック材料の新しい発展であり、その加工と溶接の問題は目下の急務と考えられる。FRTP はガラス繊維、炭素繊維その他の繊維層をプラスチック層でサンドウィッチとして加熱、加圧して拡散を行なわしめたものである。

委員の一人はガラス繊維による強化ポリエチレン (ホットプレスにより 110°C/hr の加熱速度で 70°C まで加熱、200 kg/cm² で加圧し、拡散のため 10 min 放置、60°C まで 2hr を要して徐冷) の厚さ 0.4 mm シートをインパルスシーラーによって重ね溶接し、溶接のための加熱温度と継手強さとの関係を明らかにしている。

その結果を見るに、溶接温度は 180°C が良好であり、温度の低い場合は相互拡散が不充分であり、溶接部の FRTP 化が充分でなく、温度が高すぎると樹脂の流動と加熱により好ましくない結果となる。また溶接時間については 60 min 程度が良好であり、それ以上長くなれば樹脂の流動が大きくなりすぎ、ガラス繊維をとりまく樹脂に欠陥を生じるものができて材料の強度が低下する。また溶接時の圧縮力は 1.33 kg/cm² 程度がよく、過大となると溶接部樹脂の流出が著しくなり、過小の場合は樹脂の相互拡散が不充分となって、ともに好ましくない結果となる。

これらの詳細は、ポリ塩化ビニルを主体とした FRTP の溶接性などと共に昭和46年の溶接学会誌上に報告される予定である。

む す び

以上はプラスチック溶接の概要と、過去10か年間にわたって日本溶接協会プラスチック研究委員会、IIW 第16分科会の共同研究委員会が、あるいは委員個人が行なった業績と研究を抄録的に述べた。

プラスチックの溶接は今や世界的に溶接の一分野として確固たる地位を占めるにいたっている。わが国においても10年前から活発な研究委員会を持ち、委員の努力によって多くの業績をあげている。わが国のプラスチック生産量が世界第2位に躍進しているのに対し、その溶接の方がこれに追いつき得るかとの一抹の不安を持たれる方もあろうが、現実にはわが国のプラスチック溶接は今や諸外国の注視的であり、数々の業績中には彼らを凌駕するものも多く、心安らぐとともにいささか誇りを感じるのである。

しかしながら工業技術の進歩は日進月歩であり、一刻もゆるがせになし得ない。今後は多くのフィールドにおいて、より多くの人々により立派な研究が行なわれ、現在のプラスチック研究委員会が遙かに霞むことを願ってやまない次第である。

参 考 文 献

1) 溶接学会誌；昭和34年（1959）6号，7号，10号

昭和35年（1960）1号，昭和36年（1961）3号，7号

昭和37年（1962）2号，11号

2) 溶接技術；昭和38年（1963）5号

3) 溶接学会誌；昭和36年（1961）7号

4) 溶接界；昭和40年（1965）2号

5) 溶接学会冶金研究委員会；昭和41年（1966）2月

溶接技術；昭和41年（1966）4号

6) 溶接技術；昭和41年（1966）9号，

溶接学会誌；昭和43年（1968）2号

7) 溶接学会誌；昭和40年（1965）11号

IIW 文献紹介

十字隅肉溶接継手の片振引張疲れ寿命への塗装の影響

XIII-587-70, 1970

“Etude de l'influence d'enduits sur la tenue à la fatigue par traction ondulée d'éprouvette en croix soudée en angle” G. Barrez, C. Leymonie

はじめに、今日までなされた塗装の疲れ強さへの影響に関する諸研究をまとめ、1) 塗装による雰囲気からの絶縁が疲れ強さに影響すると考えられるが、さらに塗料により差異があること（良いものは、ドデシルアルコール、アラルダイト、パラフィン油、ポリエステルなどである）。2) 効果は荷重形式によって異なり、一般に曲げの場合に効果が大きく、軸応力の場合は切欠がある場合を除いては効果が少ないこと。3) 金属と塗装被膜との間の物理化学的結合が今後研究すべき重要なファクターであること、を述べている。

本研究では、23種の市販塗料と5種の純粋な有機化合物について平滑および切欠の回転曲げ疲れ寿命への影響をしらべ、そのうちもっとも効果の大きかった3種の塗料をえらび、十字隅肉継手の片振引張疲れ強さの向上度をしらべている。

1. 塗料選択試験

供試材として規格 AIR-0830 鋼を用い、8φの片持ち回転曲げ疲れ試験により、塗装なしの試験片、塗装した試験片での疲れ寿命の比較を行なった。平滑、切欠き付きの両方についてしらべた結果、23種の市販塗料と5種の有機化合物のうちもっとも良い効果が見られたのは、次の3種である。

A. GUPA-FIXE (塗料名) ; Gussolit, Strasbourg

B. ZIS-217 ; Zentralinstitut für Schweisstechnik der Deutschen Demokratischen Republik

C. Rhodester 1110T ; Rhône Polenc, Paris

これら塗料 A, B, C の3種は切欠試験片の場合で、5～10倍以上の寿命の向上が見られた。

2. 十字隅肉溶接継手における塗装の効果

以上の試験で選択した塗料 A, B, C を、十字隅肉溶接継手（母板 5t, 立板 10t, 巾50）に塗装した場合の片振引張疲れ強さの比較を行った。

供試材は母板 A42C (C: 0.125, Mn 0.63, Si 0.17) および立板 XC12 である。

疲れ強さの決定は、ステアケース法で行い、塗装なし試験片15本による 2×10^6 回強度、平均、19.0 kg/mm²、標準偏差 0.65 kg/mm² に対し、塗料した試験片では、

塗料 C で 7.5～10%

“ B で 10～15%

“ A で 15～20%

の強度の向上が見られた。

なお試験片はいずれもサンドブラストを行ない、塗装はそのまま行なっている。破断位置はいずれも溶接止端部であった。

3. 結 論

以上より十字隅肉溶接継手の片振引張疲れ強さは塗装により向上することが確認された。塗装の効果が塗料によって異なる原因については、今後の物理化学的研究による解明にまたねばならない。長い鎖状化合物がよいという示唆 (IIW, XIII-476-67) によって選んだ有機化合物は今回の試験ではなんの効果も見出されなかった。ここで選んだ3種の塗料はいずれも水と非親和性であるが、この点だけが疲れ強さ向上度を決定するのではなく、さらに塗料と金属との相互作用が問題であろう。 (抄訳：NKK, 川原正言)