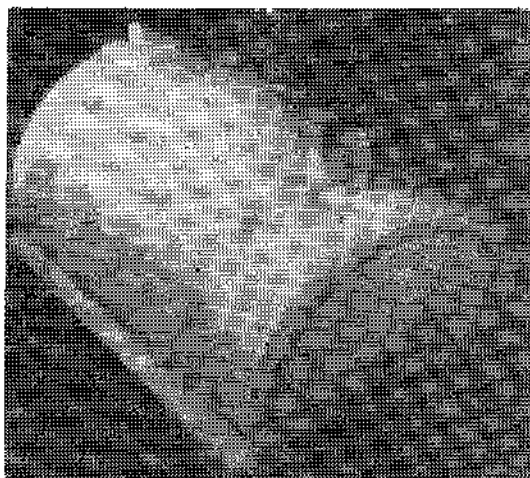


プラスチックの溶接

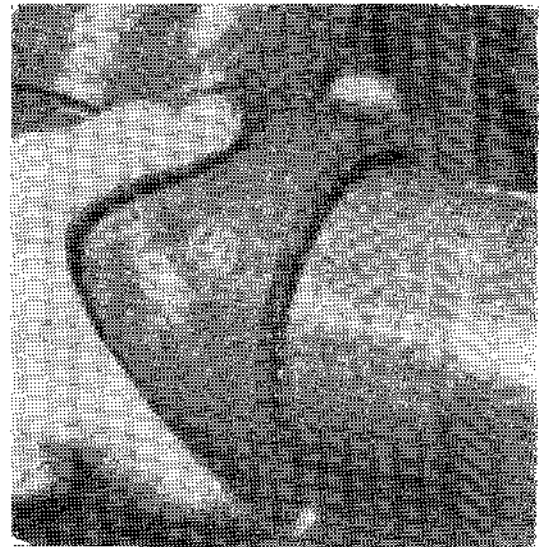
大阪大学工学部・工博 木 村 博

1. 緒 言

最近のわが国のプラスチック工業は年産約60万トンにもなり、これは鉄鋼の450万トン相当の容積となる。1959年度のわが国の粗鋼生産高は、米国の9,200万トンソ連の6,500万トン、西ドイツの2,830万トン、英国の2,240万トンに次いで5位の1,700万トンとなっている。すなわち、これらの値と比較すると、プラスチックはわが国においてさき近代的な工業材料として重要な意義を有している。なお、このプラスチック工業は日進月歩あらゆる分野に進出し、とどまるところを知らない。1923年ドイツで発明されたポリ塩化ビニルは1930～1940年代にかけてシート、バー、パイプなどにつくられ、すぐれた耐蝕性ともろもろの特性で認められてきた。特に戦時、欧米において硬質塩化ビニルの優秀性が認められ、耐薬品用材料として使用されたようである。用途の普及に伴って加工の問題が重視され、接合法として溶接、溶剤による接着、接着剤による接合および機械的接合法が考えられるようになった。一方、1933年イギリスで発明された高圧法によるポリエチレンは1945年に初めてパイプとしてつくられた。さらに1954年には、従来のポリエチレンよりも耐熱性、剛性、強度共に大きい低圧法による高密度ポリエチレンが誕生している。高圧法によるポリエチレンは通常、単にポリエチレンと呼ばれ、一方、低圧法によるポリエチレンは普通、ハイゼックス



第1図 植込みボルト用のあて板と蒸気ジャケットを溶接により接合したポリプロピレンのタンク



第2図 3 in 径のパイプを90°のエルボに接着

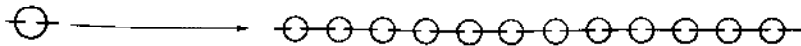
と呼ばれている。高圧法によるポリエチレン・パイプは1947年に排水管、消防用ポータブル・パイプに利用されている。1958年度のアメリカにおけるポリエチレンの生産高は5,000万ポンドにも達している。1950年にはスチレンの共重合体のパイプが造られるようになり、水道管、排水管、油送管として役立つ。最近ではポリプロピレンとかポリカーボネートなどの優秀な材料が出現している。プラスチックには熱により軟化するもの、硬化するものがある。前者を熱可塑性プラスチック(サーモプラスチック)、後者を熱硬化性プラスチック(サーモセッティングプラスチック)という。熱可塑性プラスチックは熱により軟化し、更に加熱すると溶融するものであるから、その接合には溶接法が適している。溶接法としては金属の溶接におけるごとく、種々の方法がある。このプラスチックは可塑剤、安定剤、顔料、重合度などによつて強度および溶接性の異なることはもちろんである。また、溶接のために熱を加えることによつて容易に分解をおこすようなプラスチックはたとえ線状高分子物質であつても溶接には適しない。熱可塑性プラスチックの中でも、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリスチレンなどは最も溶接に適しており、工業用材料としても最も多く生産されているプラスチックである。

最近ではプラスチックの発達と共に、その溶接法も進歩し、熱風溶接法から、熱器具溶接法、摩擦溶接法、

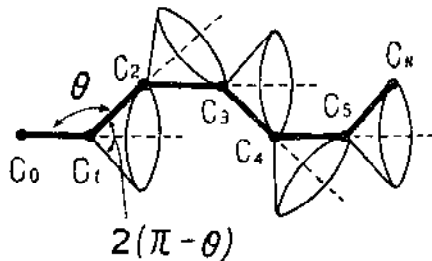
高周波溶接法に至るまで種々の方法が用いられている。更に、技術の発達によつて溶接の自動化、製品の大量生産方式も考えられるようになった。ここでは現在知られているプラスチックの最近の溶接の概要を中心として資料と使用実績について応用面の紹介をこころみた。

2. 熱可塑性プラスチック

溶接の対照となる熱可塑性プラスチックについて少し説明しておく。国内高分子工業のトップをしめる塩化ビニル（昭和36年5月の生産量はポリマー 24,742トン、コポリマー 1,328トン、ペースト 372トン、モノマー 1,562トン）を初めとして、ポリエチレン、ポリスチレン、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルアルコール、ポリビニルアセタール、メチルメタクリレート、ポリアミド（ナイロン）、弗素樹脂、ポリ醋酸ビニルなどは、加熱すると軟くなり、容易に曲げることが出来るようになるし、冷却してやれば、もとのように固くなる。こういった系統のプラスチックを熱可塑性プラスチックと云い、一般に熱可塑性プラスチックは1次元の線状分子構造である。単量体が高分子化合物に変る数には官能基が2個以上存在しなければならない。官能基とは反応にあずかる基のことであつて、これが2個ある時は



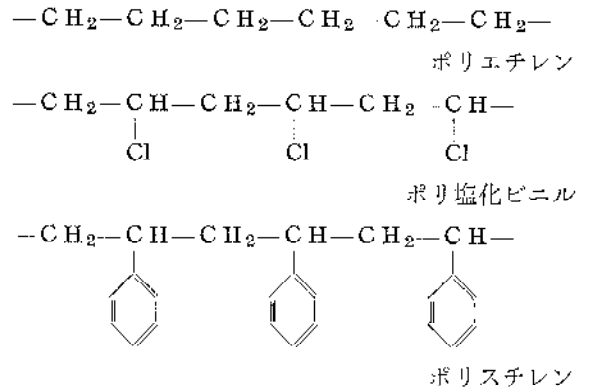
のように線状重合物が生成される。これは人体、物理的变化のみであり、熱に対して弱く、分子量の大きいもの程、耐熱性がよくなる。熱可塑性プラスチックは有機溶剤に溶解するが、分子量が増加すると、溶解性は減少する。不飽和結合の重合によつて得られるプラスチックはほとんど熱可塑性プラスチックであり、縮合型のプラスチックの一部もこれに入る。一般に熱可塑性プラスチックは炭素原子が線状（鎖状）に結合をしており、図の如く単一の炭素結合のまわりに自由回転を生



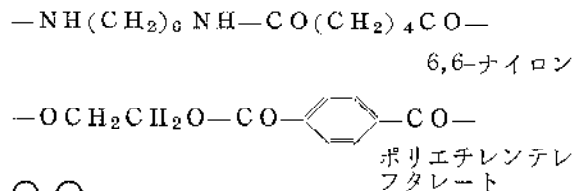
ることが出来る。炭素の原子角 θ が一定で、 C_2 は C_0-C_1 の延長軸を中心として $2(\pi - \theta)$ なる頂角の円錐上に自由に運動し得る。 $C_3C_4 \dots$ も同様で、鎖状分子は無数に多くの自由な配位をとり、全体は絶えず変化し曲りくねつて動き得る。このような線状分子の熱による運動をマイクロブラウン運動といい、さらに加熱されて温

度が上昇すると軟化し流動を生ず。これはマイクロブラウン運動と共に分子全体として回転運動をともなうためであつて、これをマイクロブラウン運動という。溶接はかかる状態において分子間力、1次結合力、さらにメカニカル・アンカー・エフェクトによつて結合するものである。化学的には次のような構造を有している。

連鎖的重合体



段階的重合体



3. 溶接用プラスチックの鑑識法

プラスチックの識別の方法としてX線、赤外線吸収スペクトル、燃焼法、乾留発生ガス、溶剤法、物理化学常数などがあるが、ここでは熱可塑性プラスチックの中でも溶接に多く使用されているプラスチックに手軽に応用できそうな方法について簡単に説明する。プラスチックの最も簡単な識別の方法は、そのものの燃焼特性を観察する方法である。すなわち、鑑識せんとする試料の薄片を無色のベンゼン焰にあて、その時の試料の状態、焰の特徴、臭気、燃焼速度から大体の見当をつけ、さらに比重を測定することによつて識別する方法である。

このとき、注意しなくてはならぬことは、同種のプラスチックであつても軟化剤、可塑剤、顔料、染料、充填剤、安定剤等が含有されている場合があるから、誤りをおかすことがある。第1表は溶接用として一般に使用せられている熱可塑性プラスチックの燃焼鑑識法を手軽に利用出来るようにまとめたものである。一方、熱可塑性プラスチックであるか、溶接に向かない熱硬化性プラスチックであるかは、一般に、500°F前後の温度に加熱して、容易に軟くなるものを熱可塑性プラ

第 1 表 熱可塑性プラスチックの燃焼鑑識法

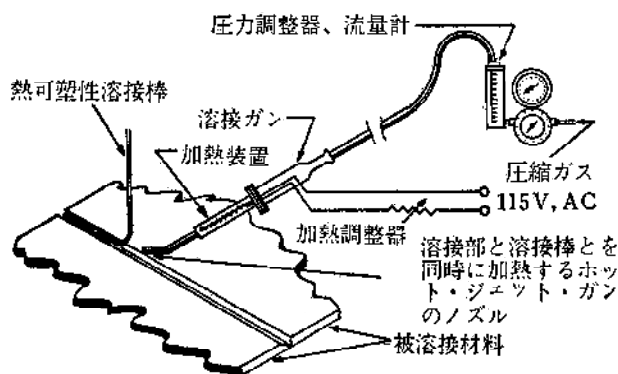
材 料	比 重	燃 焼 特 性			試料の状態
		燃焼速度* (in/min)	臭 気	焰 の 特 徴	
セルローズ アセテート ブチレート (CAB)	1.15~1.22	0.5~1.5	酪酸臭あり	暗黄色焰 (僅かに青色端あり) スス若干	熔融滴下しながらもえつづける
ポリアミド (ナイロン)	1.09~1.14	自燃性なし	羊毛, 毛髪 <small>の燃焼臭あり</small>	青色焰 (先端黄色)	熔融滴下し泡立つ
ポリエチレン					
低密度ポリエチレン	0.910~0.925	1.0~1.1	パラフィンの燃焼臭あり	底部は青色, 上端は黄色焰	熔融滴下
中密度ポリエチレン	0.926~0.940	1.0~1.1	"	"	"
高密度ポリエチレン	0.941~0.965	1.0~1.1	"	底部は青色, 上端は黄色焰, 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, 上端は黄色焰, 白色煙	熔融滴下
ポリ塩化ビニル (PVC)					
硬 質	1.35~1.45	自燃性なし	塩素臭あり	黄色焰, 底部は緑色, 白色煙	軟化, 炭になる
軟 質	1.35~1.45	"	"	"	"
スチレン共重合物 (ABC)					
Type I	1.00~1.08	1.3	人工灯用ガス臭あり	橙黄色焰, 濃黒煙を発生しススが出る	軟化, 炭になる
Type II	1.06~1.08	1.3	"	"	"

* 燃焼速度: ASTM No. D 635-44 参照

チックスと判定しているようである。アメリカにおけるバーニングテストは試験片 (1/8" 厚, 3" 長) を数秒間マッチあるいはブンゼンバーナーの焰に入れ、発火すると直ちに焰から取出して焰の性質と材料がうけた影響について観察している。この方面の文献としては、Modern Plastics Encyclopedia の Identification of Plastics (1950年版の 992~1,000頁), 高分子材料試験法 1 (神原周) の高分子材料分析鑑識法 (189~252頁) が非常に参考になると思う。

4. 熱風溶接

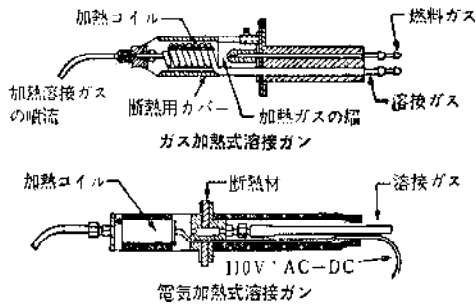
熱風溶接については R.C. Reinhardt, A. Henning などの研究が報告されている。すなわち、1937年 R.C. Reinhardt がおこなった装置は第 3 図に示す如き簡単なトーチであり、電熱により気体を加熱して、高温ガスを溶接部と溶接棒に噴流として与えている。これが Dow Chemical Co. の U.S. Patent No. 2,220,545 となっている。一方、独逸では I.G. Farbenindustrie の研究所あたりでは塩ビの溶接に関する研究がさかんにおこなわれ、同所の A. Henning は 1938年 5月 1 日に出願し、1943年 8月 12日に特許を得ている。両者の着相はほとんど同様と考えてよい。これらはいずれも初期のプラスチックの溶接法であつて、今日の如くプラスチックが盛大に実用化せられた現在では多くの要求を満足するも



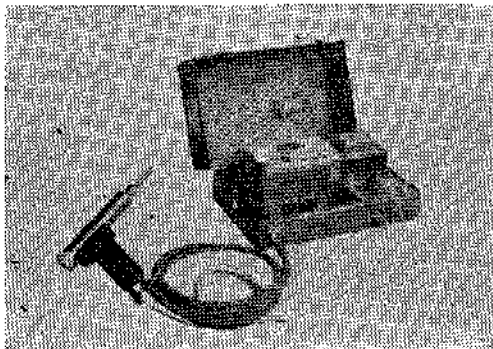
第 3 図 プラスチックの溶接に用いられている代表的熱風溶接法の装置—ホット・ジェット・ガンによつて加熱せられた溶接ガスは被溶接部と溶接棒とを同時に助熱する。

のではない。これらのプラスチックの溶接法は金属の溶接とほぼ同様な考えで出発している。J.A. Neuman (W.E. July 1955) は金属の溶接とプラスチックの溶接の発展には似た所があると称している。また、筆者のポリ塩化ビニルの低温度における諸性質の最近の研究で、低温脆性、寸法効果などについて鋼と類似の傾向を示していることが明らかになったが、これまた興味深いことである。すなわち、金属の溶接の考えでスタートしたプラスチックの溶接はやはり、トーチと溶接棒を用いた溶接であつた。プラスチックのトーチとしては電

熱式によるものとガス加熱式によるものがあり、原理は同様で圧縮空気あるいは不活性ガスなどを加熱装置（溶接トーチあるいはホット・ジェット・ガンと言う）に送り、溶接に適する温度に加熱し、熱風にして溶接部に供給する。すなわち、気体を加熱する熱気（無火焰）トーチ（第4図）と圧力調整器が必要であり、材料とし



第4図 ガス加熱式と電気加熱式溶接用ホット・ジェット・ガンの概略図。ホット・ジェット・ガンの先端のノズルから出る溶接ガスの噴流は、圧力調整器と温度調整器であらかじめコントロールされてある。



第5図 市販されている熱風溶接装置

ではガスと母材のほかに溶接棒を準備する。第5図は市販されている国産の熱風溶接装置で、電圧調整、溶接ガス圧力調整および過熱を防ぐための安全装置がもうけられており、加熱コイルの温度と溶接用吹管火焰の強さを変えることにより高温気体（空気、窒素、アルゴン、水素混入窒素、水素混入アルゴン、その他）の温度を調節することができる。また、実際の溶接にあたっては、トーチの先端と母材との距離を変えることによっても（140～300℃）ある程度の調整は可能である。トーチの出口における溶接ガスの温度はプラスチックの種類によって適当に調節する。実際の溶接にあたっては主として溶接ガスの温度、圧力、溶接棒の角度、加圧力、大きさ、溶接ガスの種類、および溶接速度に注意しなくてはならない。現在、アメリカで採用されている溶接条件を第2、3表に、また、わが国で最も多く用いられているポリ塩化ビニルの種々の板厚に対する標準溶接要項を第4表に示した。これによると接手効率は板厚が大きくなる

第2表 熱風溶接法における突合せ溶接の条件





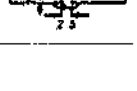
被溶接材料の厚さ (in)	突合せ間隙 (in)	溶接棒の寸法 (in)	ホット・ジェットガンのノズルの直径 (in)
3/32 ~ 1/8	1/32 ~ 1/16	3/32	1/8
1/8 ~ 5/32	1/16 ~ 1/32	1/8 ~ 5/32	5/32
1/4 ~ 3/8	1/16 ~ 1/32	5/32 ~ 3/16	1/4

第3表 種々な熱可塑性プラスチックの溶接ガスの温度

材 料	溶接ガスの温度範囲 (°F)
セルロース アセテート ブチレート	525~575
ポリアミド (ナイロン)	625~675
ポリエチレン	
低密度ポリエチレン	500~550
中密度ポリエチレン	525~575
高密度ポリエチレン	550~600
ポリ塩化ビニル	
硬 質	500~550
軟 質	475~525

と次第に低下する傾向を示しており、普通最も多く用いられている板厚 4 mm 以下のものについては 80%以上の値はさほど問題ではない。薄板の溶接においては厚板よりも低い温度と圧力の溶接ガスが必要である。溶接速度は板厚の大小、ガスの温度、圧力、開先形状、母材の性質などによって定まる。ガスの圧力と温度を一定にして溶接速度を増加すると、最適速度までは溶込みは増加し、それ以上速くなると溶込みはかえって減少する。あまり速くすると不完全溶接の原因やアンダーカットなどの欠陥を生じる。この場合の溶接速度は溶接者の疲労、セッティングなどの時間を考慮に入れておらないから、溶接場所や品物、その他の関係で適当に調整することが望ましい。アメリカでは溶接ガスの温度を、5~10 psi の圧力においてホット・ジェット・ガンの先端から 1/4" のところで測定している。溶接ガスとしては一般に圧縮空気を使用するが、窒素やアルゴンなどの不活性ガスが使用せられることもある。第5表は各種の溶接用プラスチックに種々のガスを用いて溶接した場合の引張強さと接手効率を示している。すなわち、各材料に適した溶接ガスが存在し、適当なガスを選ぶことによって溶接強度はいちじるしく向上する。不活性ガスは比較的有効であるが、開先形状、単層、多層のいかににかかわらず、水素を混入せしめることにより80%以上の接手効率が充分期待できるようになる。なお、第5表のデータは板厚

第4表 ポリ塩化ビニルの標準溶接条件

接合の形	板厚 (mm)	溶接 方式	ビード 層数	溶接棒 の直径 (mm)	溶接ガス ス圧力 kg/cm ²	溶接ガス 温度 (°C)	溶接 速度 (m/h)	溶接棒の 消費量 (gr/m)	接合 強度 kg/mm ²	接合 効率 (%)
	2	下向	4	3	0.10	200	2.0	33.2	5.2	91
	4	下向	6	3	0.14	202	1.5	49.8	4.7	82
	6	下向	8	3	0.19	210	1.4	66.4	4.2	66
	8	下向	10	3	0.21	217	1.3	83.0	3.6	63
	10	下向	12	3	0.21	220	1.3	99.6	3.1	54

第5表 接手溶接強度と接手効率

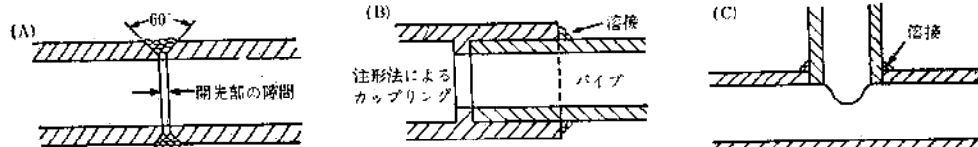
材 料	母 材	抗 張 力 kg/mm ²					接 手 効 率 %				
		溶 接 ガ ス					溶 接 ガ ス				
		空 気	アルゴン	10%水素混 入アルゴン	窒 素	10%水素 含有窒素	空 気	アルゴン	10%水素混 入アルゴン	窒 素	10%水素 含有窒素
塩 ビ	6.55	4.05	4.21	5.27	4.07	5.14	61.9	64.2	80.5	62.2	78.5
ポリエチレン (チーグラ法)	3.24	1.88	2.50	2.75	2.72	3.11	57.9	77.2	84.9	83.9	96.0
ポリエチレン (I. C. I.)	1.53	0.97	1.47	1.53	1.23	1.24	63.4	96.1	100.0	80.4	80.6

ただし、板厚：2 mm，溶接棒の直径：3 mm 60°V 型下向突合シングル溶接

2 mm，溶接棒の直径 3 mm の 60°V 型下向突合単層溶接によるものである。溶接操作はパイプ、シート、バーその他の形状により多少異なる。パイプの溶接はほぼ第6図のような方法があつて、第6図(A)は60°V型突合溶接をしたもので、突合部分には数 mm の間隙をとり、多層溶接をおこなつている。第6図(B)は注型法によつて作られた接手を用いてパイプの接合をおこなつ

いようである。また、ストレンクス・メンバーの1部となる場合は、メイン・パイプにブランチ・パイプよりも小さい直径のあなを開けておき、その周辺を70~100°C に加熱して軟化せしめ、外部に口をさらに開けるようにして冷却し、ブランチ・パイプを、そのもち上げられたメイン・パイプのあな部分に外挿して、その部分を第6図(B)の要領で溶接する。この方法によると、応力

集中による破損や、内部流体のリークの懸念が比較的少ない。溶接棒は、最近溶接性をよくするための塑化と材料強度ならびに化学的



第6図 パイプ溶接

た場合のパイプと接手の結合を一層大きくし、かつ、内部からの流体のリークを防ぐために溶接施工をおこなつたものである。第6図(C)はメイン・パイプよりブランチ・パイプを溶接によつて連結したものである。最近では大口径管を除いては、注型法によつてチーズをつくり、第6図(B)の方法によつて結合している場合が多

性質などの点より検討が加えられ、市販の溶接棒ではビードの形状の調整や溶接操作も比較的容易となり、溶接強度も増加している。しかし、塑化を増すと機械的諸性質、化学的抵抗および電気絶縁性にまだ問題があるようである。その他、製品を着色するために着色剤として染料を加えたり、あるいは充填剤として微細なカーボ

ン・ブラックの如く特に抵抗力、磨耗強度を向上するもの、繊維質（繊維、織布、紙）の如く衝撃強度を向上するもの等を加えることがある。特に溶接棒においては可塑剤および安定剤の種類、量の撰択が重要であつて、種々性能の異つた製品が得られる。可塑剤の適当なものを適当な量を配合することによつて、溶接加工時の塑性をよくし、低温時の弾性を与えるもので、可塑剤を 50 p.h.r 程度用いると加工は極めて容易となり、溶接後の製品は常温において柔軟性を有するようになる。可塑剤としては普通に DOP, D_nOP, DBP, BPBG, BBP, TOP, BZX, LBP, AAR, 塩化パラフィン, DOA, MIZ などを用いている。安定剤は溶接加工時の熱分解の防止および使用時の紫外線による光分解防止のために用いられている。すなわち、サーモプラスチックを溶接する際は加熱して、軟化溶解せしめて接合するのであり、成型加工に当つては相当長時間高温に保つて樹脂を軟化溶解せしめて所定の形にする。また、加工された製品は屋外などで高温かつ強力な紫外線の下に長時間暴露される場合もあるので、これらの苛酷な加工および使用条件に耐える手段として安定剤が使用せられる。これは既述のように熱安定作用と光安定作用の2つの作用があつて或る程度関連しているものようである。併し安定剤の種類によつて前者の作用の著しいものと後者の作用の著しいものとがあり、また2種類の安定剤を併用すると相乗効果を生じ、影響の更に著しい場合がある。たとえば透明製品用にオルソ 珪酸鉛とシリカケルを混合沈澱させたもの、半透明製品用として鉛白 $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ が使用されている。その他、ラウリル酸ジブチル錫 $[(C_{11}H_{23} \cdot COO)_2 Sn(C_4H_9)_2]$ (熱安定性大、高価)、鉛の中性、1塩基、2塩基などの石鹼（廉価）、ステアリン酸金属石鹼（消剤の作用）、カドミウム石鹼（耐光性大）などが一般に用いられている。これらは樹脂に加えた場合の定安作用、機械、物理、化学などの諸性質がそれぞれ異なつているので、そのプラスチックの溶接条件、用途、加工条件によつて合理的に撰択しなければならない。最近では、これらの点を考慮された、比較的溶接性のよい溶接棒が市販せられている。また、溶接棒の形状が溶接強度におよぼす影響も考えられており、円形、矩形、3角形、4角形、6角形および8角形などの断面を有する直線状のものとコイル状のものがあるが、このうち溶接強度、使用条件、製作の難易および経済上の点などから現在では円形と矩形断面の線状溶接棒が一般に用いられている。円形断面の溶接棒の直径は2, 3, 4, 5 mm が普通のもので、母材溶接部の寸法、形状により適当に選ぶ。また、棒の大きさは溶接作業条件やトーチの大きさ、容量などによつても支配される。平滑、均等で応力分布の様なビードをつくるためにも、また、棒を母材

第6表 溶接棒の寸法および重量 (P.V.C)

呼称 φ	直径 mm	長さ mm	重量 g/本	本数/kg	包装単位
2 mm	2	1,000	4.55	220	5kg ダンボール箱
3	3	1,000	10.53	95	“
4	4	1,000	18.20	55	“

第7表 溶接棒の種類 (P.V.C)

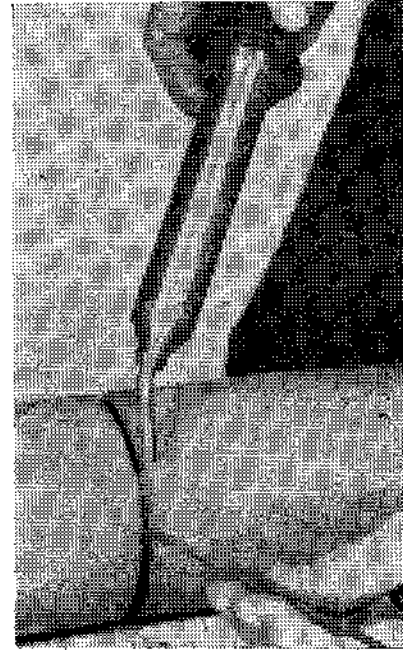
標準色	用途
グレー	工業用プレート、パイプ用
ホワイト	一般プレート、パイプ用
クリヤー	透明プレート用、看板用
ラインブルー、スカイブルー、ライトグリーン	耐硫化用プレート、パイプ用

第8表 溶接棒の押し圧

溶接棒の径 mm	溶接棒の押し圧 kg
2	0.7~0.8
3	1.0~1.5
4	2.0~2.5

の溶接部に確実に押しつけ易いためにも直径一定の丸棒が望ましい。第6~8表は市販のポリ塩化ビニルの溶接棒の寸法、種類、ならびに溶接棒の直径と母材に溶接する場合の溶接棒の押し圧との大体の関係を示す。また、金属の溶融溶接では母材局部および溶接棒の両者を完全に溶解せしめるのであるが、プラスチックの溶接ではこの両者が実際に溶解する表面は僅かで、内部は軟化の状態あるいは剛体のままであつて、母材面あるいは間隙中へ溶接棒が納まるように僅かの圧力を加えると溶融面が一つの均一なものになつて溶接できるのであるから、できるだけ溶解して溶接される部分を多くする方が、溶融溶接に近づき、より完全な溶接となりうるわけである。従つて、小径の溶接棒を用いた多層溶接をおこなう方が、加熱される表面、すなわち、展開面積は増加し、溶融溶接の状態となり、大径の棒を用いた場合よりもはるかによい溶接結果が得られるようである。従つて、最近では4, 5 mm の溶接棒は特殊な場合を除いてほとんど用いられなくなり、2 mm の棒が多く用いられて、特に溶接個所の溝の底の部分には小径の溶接棒を使用し、溝の上部には大径の溶接棒を使用するのが適当である。板の厚さと溶接棒の大きさとの関係は前述のような理由のため、その時の溶接条件によつて決定すべきである。溶接棒の継ぎ方については溶接開始直前に溶接棒の先端を予熱軟化せしめ、その部分を小刀で斜に切断する。つぎに溶接中に溶接棒が短くなつたときは小刀で斜に切り落とし、この斜の切口の上に、更に先端を熱し斜に切つた

新しい溶接棒を重ねて溶接を継続する。なお、溶接をおこなうにあたっては溶接棒に引張り応力を残さないように溶接速度を溶接棒の溶融状態に合わせておこない、溶接棒を無理に引伸さないように注意しなければならない。もし引張り応力を残したまま多層溶接をおこなうと、内部の残留応力のために、前のビードに切筋あるいは陥欠を生ずることがある。また溶接棒の保持角度は、それぞれのプラスチックによつて適当な値があつて、溶接棒の押し力、溶接棒の速度などと共に常に一定の正しい条件で溶接することが望ましい。現在プラスチックの溶接として実用に供せられている樹脂の主なものに、硬質 P.V.C, ポリエチレン, スチロール, ポリアミドなどである。これらのうち溶接棒として硬質 P.V.C およびポリエチレン (高圧法～低圧法) は既に市販されているが、その他は母材を適当に加工して使用されている現状である。後者は母材と同質であつて、溶接棒としては好ましくないことは明らかであるが、いまだ適当なものが市販されるに至っていない。また、スチロールの溶接には母材より加工して溶接棒をつくる場合が多いので 5~10mm 巾の带状のものが多く用いられる。ポリエチレンの溶接では母材および溶接棒の表面の前処理が溶接強度に大きく影響する。最近市販されている溶接棒では相当改良されているが、溶接棒の製造時の残留応力に問題があるようである。すなわち加熱、溶融に伴つて内部応力のため、溶接中に棒が伸縮して切れる場合があり、切れなくとも溶接強度に大きく影響する。これは製造過程において内部応力を残さないようにすると共に残留応力のある場合はその緩和法について考えるべきであらう。熱風溶接の操作は、まず、被溶接部と溶接棒の前処理にはじまる。すなわち、溶接直前にエメリー・ペーパーで研磨し、除塵して清潔にしてから、それぞれの局部をアルコール、アセトン、ベンジンなどで脱脂する。次に、それぞれのプラスチックに応じた溶接条件にあつて溶接器の調整をおこなつてから実際の溶接にかからなくてはならない。溶接操作はトーチの先を軽く上下に織るように動かし、溶接棒の予熱と表面の溶融および母材局部を均一に加熱する。この時のトーチと局部との距離は $\frac{1}{2}$ " 位で適温、適圧になるように調節する。第7図は溶接ガンのノズルから噴出する溶接ガスによつて溶接部と溶接棒が一樣に加熱せられている様子で、熱風溶接の操作を示すものである。独逸では一般に溶接棒を押す、加圧力を 1~3 kg, 溶接速度を 60~110 mm/min, ノズル口先の溶接ガス温度を 250~300 °C, 溶接接手効率を60%以上を標準としている。従来、溶接速度はプラスチックの種類、厚さ、溶接部の形状、溶接棒の種類などによつて変るものであるが、大体、硬質のものには 4~8 m/h, 軟質のプラスチックには 6~10m/h の速度が多い。従来、こ



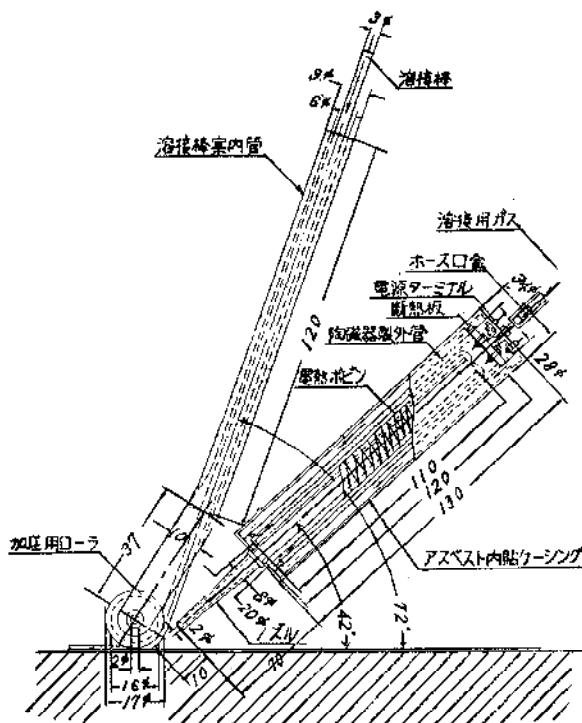
第7図 3in パイプの熱風溶接の操作

れらの溶接操作は全く手加減によつていたが、この加圧力の大小が溶接速度、温度にうまく適合しているかどうか、溶接強度に大きく影響する。加圧力の大きい時は溶接棒の溶着力大でビード巾も大きくなるが、溶接速度は低下し、溶接棒の使用効率は悪い。また、加圧力の小さい時は溶接棒の母材に溶着している力は小でビード巾も小さくなるが、溶接速度は大となる。これらの諸点を改善するために、溶接棒の保持と送りを自動的におこなう加圧用ローラーを使用した装置が、まず独逸で考案された。すなわち、作業者は左手に溶接棒を装置した加圧用ローラーを、右手にホット・ジェット・ガンを持つ。加圧用ローラーは溶接線の進行方向に対してポリ塩化ビニル、スチロール、低圧法ポリエチレンなどの硬質プラスチックの場合は約 90°, サラン、高圧法ポリエチレンなどの軟質プラスチックの場合は約 45° の角度に保持する。独逸では1957年に DIN 16931 として、これらの加圧用ローラーなどを規定しており、Udylite 社は製品として市販している。なお、この中には带状溶接棒に対するものも含まれている。第8図はアメリカで製品化された半自動熱風溶接器の溶接操作を示している。これらはいずれも、溶接棒の送りと保持を自動化したもので、溶接速度、溶接棒の加圧力、溶接棒の保持角度などは、やはり手加減によつてゐる。わが国においても1960年、岩谷産業株式会社において半自動熱風溶接機の市販をこころみている。これは、溶接棒の送り速度もコントロール出来るように、小型モーターを内蔵したものであるが、やはり、溶接棒の加圧力、溶接棒の保持角度などは手加減であり、人手によつておこなわなくてはならないようである。当研究室は、一連の研究において溶接条



第8図 プラスチックス・パイプの半自動熱風溶接

件の適正と均一な溶接が必要となり1957年、研究用の全自動溶接機を完成し、現在も、溶接性試験に必要な全ての溶接試験片は本機によつてゐる。これは、溶接速度、溶接棒の送り、溶接棒の保持、溶接棒の保持角度、溶接棒の加圧力、溶接温度、溶接ガス圧力の調整、溶接部とホット・ジェット・ガンのノズル先端との距離など全て自動化せられており、セッティング後は全く人手を必要としないものである。第9図は、自動機の主たる機構を示



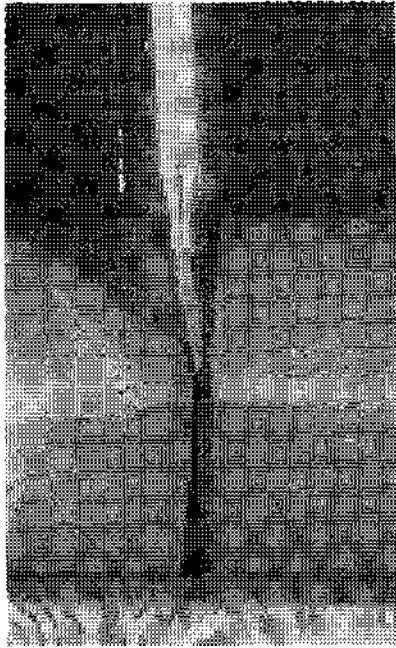
第9図 プラスチックスの自動溶接機の主たる機構

すものであつて、溶接棒案内管、加圧用ローラーおよびホット・ジェット・ガンよりなつてゐる。この溶接棒案内管の立上り角度はそれぞれの被溶接材であるプラスチックの種類によつて異なるが、この図はポリ塩化ビニ

ルの場合を示している。この装置によつて、溶接棒はホット・ジェット・ガンのノズル先端から噴流する熱風によつて適当に軟化溶融し溶接部に挿入されるが、さらに溶接棒の送りと溶接を確実にするため、加圧用ローラーで一定の荷重を溶接棒に加える。なお、加圧用ローラーで溶融軟化状態の溶接棒を加圧していくために仕上り面は非常に美しくなつた。溶接棒が順次溶接されるにつれて溶接棒は、案内管に保持せられつつ連続的に供給され、手溶接の場合における溶接棒の持ちかえによる欠陥の発生はなくなつた。ホット・ジェット・ガンの内部構造は外側ケーシングと陶磁器製外管との間にも溶接用ガスの通気をおこなわしめ、熱伝導面積の増大と熱効率の改善をおこなつた。また、これは同時に内部の各機構の過熱による故障防止に役立つこととなつた。すなわち、溶接用ガスは圧縮機および圧力調整器によつて適当な圧力にして、ホット・ジェット・ガンのホース口金より導入し、断熱板の円周にあげられた孔より外側ケーシングと陶磁器製外管の間を通る。この間、電源ターミナル部分、ケーシング内側と陶磁器製外管を冷却して自らは温度上昇しつつ、陶磁器製外管の先端円周にもうけられた孔より陶磁器製外管の内側と電熱ピンの間を通る。この間にさらに温度が上昇し、電熱ピンの他端より内側に入り、加熱せられて溶接温度となり、ノズル先端より噴出するようにした。つぎに自動溶接送り装置には溶接線に平行におかれたレールの上を一定速度で正逆走行可能のクラッチ付装置を用いた。

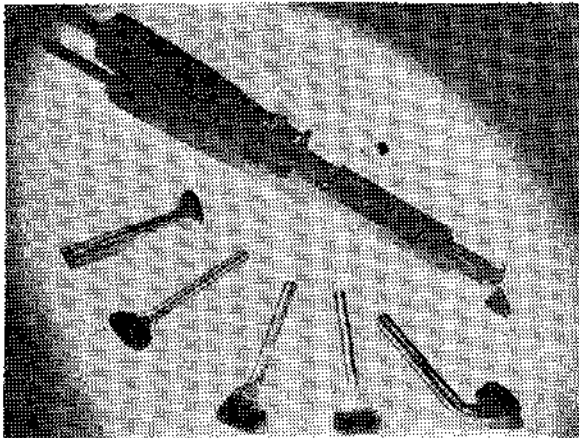
5. 熱器具溶接

各種のサーモプラスチックの溶接に用いられるもので、同一形状のものを多く溶接する場合などは便利なものである。加熱器具に溶接部を充分適温になるまで接触加熱し、さらに加圧して局部の軟化溶融につれて圧着せしめる。加圧は局部の固化するまでおこなつてゐる。加圧力は普通 5~10 psi が用いられてゐる。熱器具はニッケル・メッキされた鋼かアルミニウムが用いられてゐる。この熱器具は 400~700°F の範囲で、溶接材料に適した温度に調節出来る。この方法はセルロイドの製造に使用されて来た方法で、多数の箔を適当な厚さにまで重ね合せ、熱と圧力で合体させる。熱器具を使用してプラスチックを溶接する最初の特許はスイスの Lonza Electricitats Werke und Chemische Fabriken A.G. Gampel (1933) が得てゐる。第10図は熱器具溶接のガンで、溶接前に局部に接触加熱して、その端面を軟化溶融せしめるための特別なチップを持つてゐる。Henning の装置は、フラッシュバット溶接の如きチェックにプラスチックのパイプを挟んで溶接をおこなつてゐる。ニッケル鍍金した熱盤を中央に挟み、パイプ両端が加熱

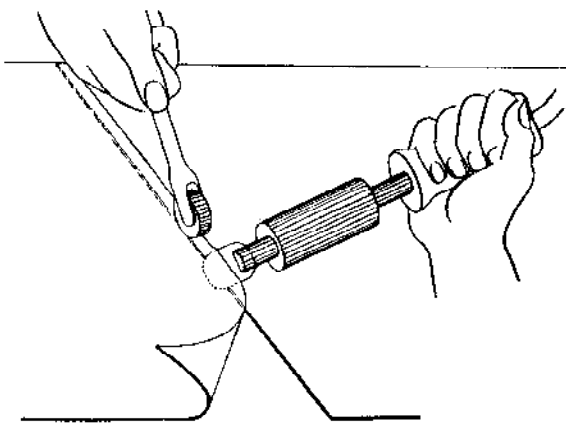


第10図 熱器具溶接ガン

されると熱盤を除去し、加圧するのである。Saran 技法と称されるのはこれを手溶接化したようなものである。Sarun にはお好み焼に使用するような熱板の上にパイプ

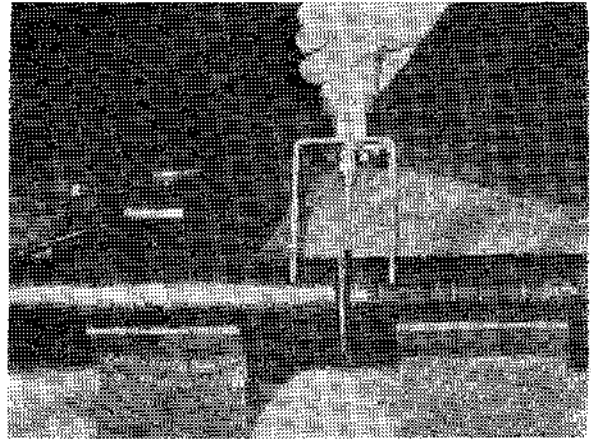


第11図 熱器具溶接に用いるシーム・ウエルダーのコテ

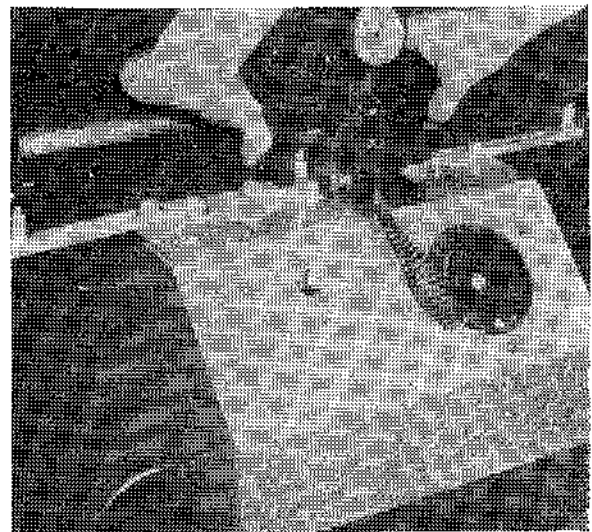


第12図 熱器具溶接におけるシーム・ウエルダーの溶接操作

の先端をあてがって加熱しておき、加熱されたら人力で押しつけて接合する場合もある。第11図は薄板あるいはフィルムの重ね接手に用いる熱器具を示しており、ガン先端の加熱板を取り換えられるようになっている。第12図は、その溶接操作を示しており、加熱板であるコテを溶接局部に接触させて加熱軟化溶解せしめ、加圧用ローラーで、そのあとを溶接していく。第13、14図は電気コ

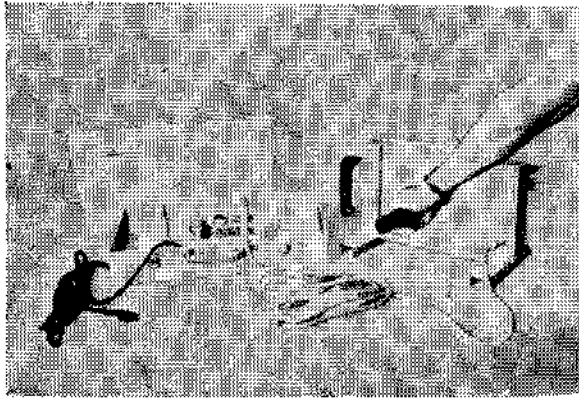


第13図 電気コイルの輻射熱によって、パイプを加熱溶接しているところ



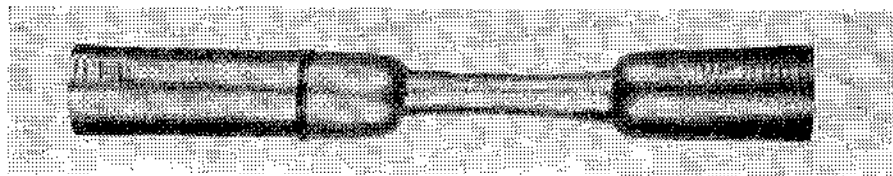
第14図 接合まえに直線状のポリエチレン・パイプを熱器具によって加熱しているところ

イルの輻射熱と輻射熱によって加熱せられた熱板によって加熱され、溶接されているパイプを示している。前者はパイプの両端は電気コイルからの輻射熱によるものであつて直接加熱板は接触しないが、後者は輻射熱によって加熱せられた熱板がパイプの両端に直接接触して加熱するものである。第15図は日立製作所より市販されている熱器具溶接の装置により、パイプを溶接するために両端面を加熱しているところである。この装置は 600W の熱源を有し、熱板表面温度を 150~280°C の範囲に調整出来るようになっており、その温度調整の精度は ±



第15図 日立ポリウエルダーによるパイプの熱器具溶接

20°C である。また、ポータブルケース内に全てセットせられており、そのケースの寸法は 125×250×440mm、総重量約 7 kg である。加熱板の大きさは 195×240mm であつて、この大きさ内の端面のものは自由に溶接出来るので、パイプなら 5 in までの特殊管、大口管も溶接出来る。第16図はポリウエルダーによつて熱器具溶接したポ



第16図 溶接後のポリエチレンパイプを引張試験した結果

リエチレン・パイプを引張試験した場合の流動変形の状態を示しており、母材部分で変形しても、溶接部には異常はみとめられない。溶接操作は、パイプの溶接のような場合、端面の内側の面取りを、ナイフまたは面取器でおこない清浄にする。面取りはパイプの内厚の1/2まで、60°の頂角の円錐状面取器により加工する。面取り加工をしない場合は、パイプ内面のバリが過大となり、使用上支障を来すことがある。次に、パイプの面取部を第15図の如く直接加熱板に接触保持し、ポリエチレンの場合は 10~20秒、ポリ塩化ビニルの場合は 1分程度加熱し、パイプの両端面を 2~3 mm 溶融させる。パイプを加熱板からはなし、すばやく溶融面をねじり気味につき合せ溶接する。第9表は熱器具溶接で各種のプラスチックを溶接する場合の熱板の表面温度の標準の値を示すものである。

第9表 熱器具溶接の熱板表面温度

硬質ポリエチレンパイプ	220°~260°C
軟質ポリエチレンパイプ	190°~230°C
温泉用ポリエチレンパイプ	230°~270°C
硬質塩化ビニールパイプ	210°~250°C
軟質塩化ビニールパイプ	180°~220°C

6. 摩擦溶接

摩擦溶接は2つの被溶接部の表面を加圧しながら一方を固定し、他方の溶接面を回転させて摩擦熱を発生せしめ軟化あるいは溶融させて溶接する特徴は (1) 速く溶接できる。通常1回の溶接時間は30~40秒もあれば充分である。(2) 特別な溶接装置を必要としない。普通にはドリル・プレスとか旋盤が用いられている。(3) 高温ガスによる影響をうけない。(4) 溶剤、セメント、溶接棒などを要しない。一方、欠点としては品物の形が限定されること、精度を保持する溶接でないことなどがあげられる。この Spin Welding に必要な表面速度は通常次式によつて与えられる。

$$V = \frac{4\pi W}{3} \left[\frac{(\gamma_0^3 - \gamma_1^3)}{(\gamma_0^2 - \gamma_1^2)} \right]$$

ただし、V : 平均表面速度 in/sec

W : 角速度 r.p.s

γ_0 : 外半径 in

γ_1 : 内半径 in

接触圧力は 10~200 psi の範囲内で摩擦によつて軟化溶融された溶接面が完全に接触しうる圧力でなくてはならない。第10表は Spin Welding における 2~3 の材料についての溶接条件であり、第11表は Spin Welding で得られる溶接強度の例について、まとめたものである。第17図は中空の部材を摩擦溶接する場合の接合部の代表的な形状を示しており、第18図は立体の部材を摩擦溶接する場合の接合部の代表的な形状を示すものである。

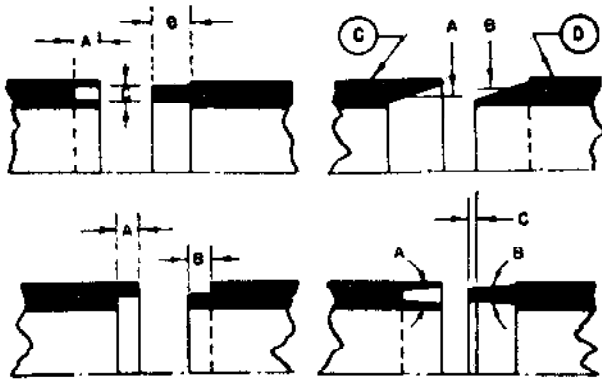
第10表 スピン溶接の条件

材 料	平均速度 (ft/sec)	初めの加圧力 (lb/in ²)
ナイロン	5~50	25~150
アセタール	5~35	25~150
アクリル樹脂	10~35	15~125
ポリエチレン	5~60	10~100

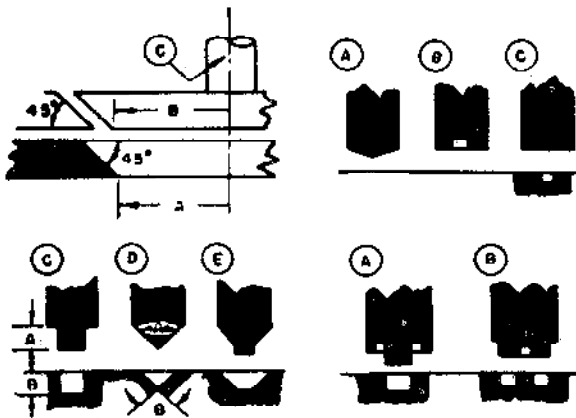
第11表 スピン溶接の強度*

溶接材料	ポリエチレン	アクリルナイロン	アセタール
ポリエチレン	70~95	—	—
アクリル	—	75~85	—
ナイロン	—	—	50~70
アセタール	—	30~35	25~55
			30~70

* 強度：母材強度比



第17図 中空メンバーを摩擦溶接する場合の代表的端面



第18図 立体メンバーを摩擦溶接する場合の代表的端面

7. その他の溶接

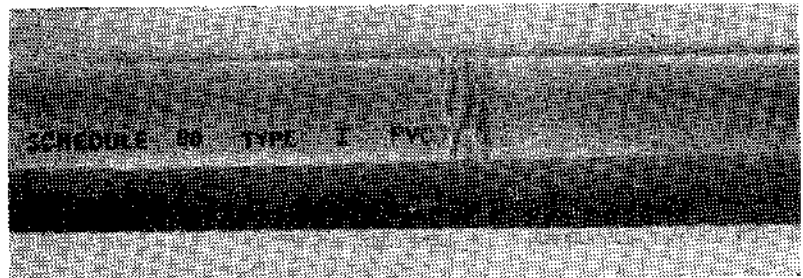
高周波溶接はサーモプラスチックに高周波電流を流して内部摩擦を起させ、これにともなう内部熱を利用して軟化溶融せしめ溶接する方法である。薄物の溶接に適しており、溶接の自動化に注目されている。普通10~40メガサイクル程度の交流で出力0.5~10KWのものが使用せられている。原理は摩擦熱を電氣的に発生させるもので、電気絶縁性材料であるプラスチックにイオンと電子を交互に入れかえて分子運動を起させ、内部に均等に発熱させるものである。普通数mm以下のシートの溶接では2~7kg/cm²の加圧力と3~6秒程度の溶接時間が採用されている。

また、電気抵抗熱を利用した溶接がある。これはサーモプラスチックのパイプ、チューブの接合に用いられている。これは接合部材にティーズ、エルボー、ジョイント等を特別に製作し用意されている。接合部材の内部は電気抵抗体としてNi-Cr合金をシールドしておき、その一端からリード線を取り出して6Vの蓄電池に接続し、発熱するよう

に作られている。原理は電気抵抗体に電流を流して抵抗熱を発生せしめ、これによつて、ジョイントの内面を軟化、融合し溶接するのである。また、多数のプラスチックの円形ブロックを円筒器内に重ねあわして、外部より電熱その他で加熱し、これに圧力を加えて1本の円柱にする方法もある。金属の高温圧接に似た方法である。この円柱からベニヤ板の製造工程にある如く、任意の厚さで皮をむいて行けば前記の広面積の厚物が安価で得られる訳である。リノリウムに比し、丈夫であり、着色も任意におこない得るから建築関係などには好適の材料となる。ソリュウション溶接は溶剤の作用でプラスチックの表面を軟化し、前者同様機械的投錨効果(Mechanical Anchor Effect)、分子間力(Vander Waal's Force)とか二次結合力)および化学結合力が重畳して作用する。この溶剤は後に蒸発してしまうのであるが、接手のプラスチックは幾分稀釈されたことになる。その他、熱硬化性プラスチックを主剤とした2液性の接着剤で接合することもある。最近では、サーモプラスチックの接着のみならず、サーモセッティングプラスチック(熱硬化性プラスチック)は勿論のこと、溶接の困難な金属の接合にまでかかる接着剤が用いられている。この方面へのプラスチック接着剤の進出はますますさかんになることと思われるが、詳細に就ては頁数の関係で、非常に特殊なものの溶接と共に割愛した。

8. 応用例

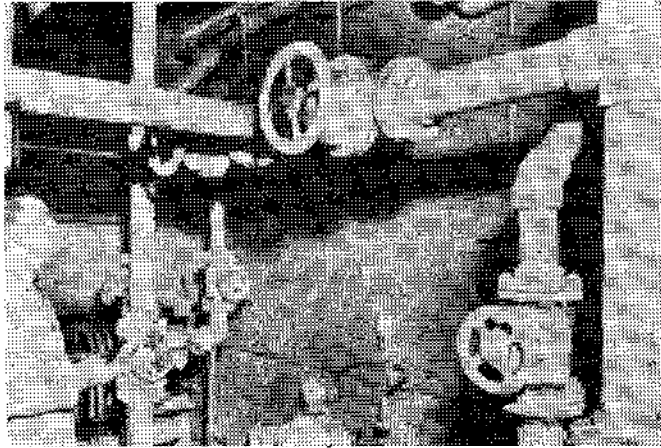
第19図はポリ塩化ビニルのパイプを熱風溶接法により突合溶接したものである。ポリエチレンのパイプは直径1/4inから30in位までのものが一般に作られており小さい径のものから4in径位のは400ftの長さにコイル状に巻いて用意されている。最も一般的なのは、4in径の20ft長さのものである。ポリ塩化ビニル



第19図 熱風溶接されたポリ塩化ビニルのパイプ

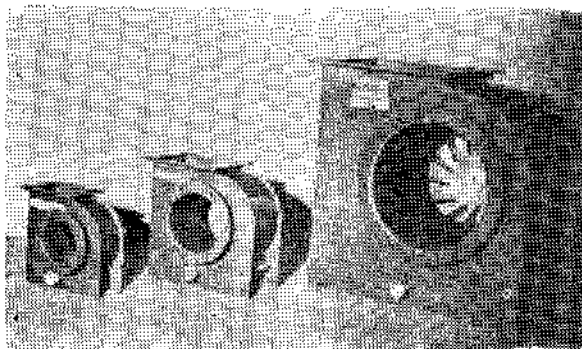
のロッドは3/32inから41/2in径程度のもので、長さ10ft位までのものが多く作られている。また、ブロックとしては2~4in厚で、12in²位のもので一般的である。ポリエチレン・ロッドは10inまでの直径で、4ft長さのものが用意されている。平板とブロックは

10 in 厚さまでで、その重さは 100 lb までのものが作られている。ナイロン・ロッドは標準 5 in 径で、最大 12 in 径、長さ 6 in から 4 ft のものが用意されている。また、アクリル・ロッドは 6 in 径、72 in 長さまでのものが作られている。第20図は35%硫酸を輸送するための



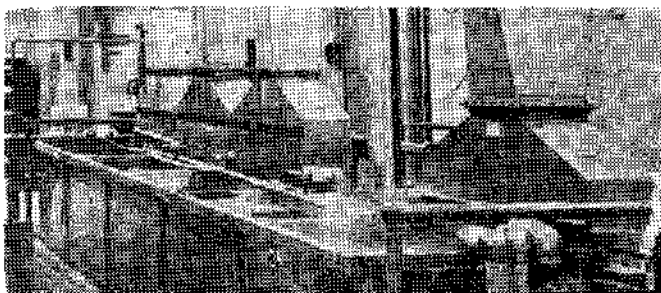
第20図 硫酸輸送用ポリエチレンのパイピング

3 in および 4 in のポリエチレン・パイプのパイピングの実例を示している。これはチタニウム・ジオキサイド製造工場に使用せられており、175°F までの温度に対して安全である。第21図はファンおよびブローの火

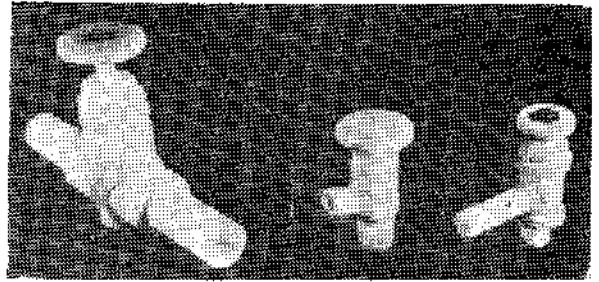


第21図 ポリ塩化ビニルとポリエチレンを用いて溶接によって作られた送風機

型のものがポリ塩化ビニルおよびポリエチレンを用いて作られた実例であつて、室温より 140°F までの温度範囲の運転に適している。第22図は腐蝕性雰囲気で使用されるフードとダクトにポリ塩化ビニルが用いられている

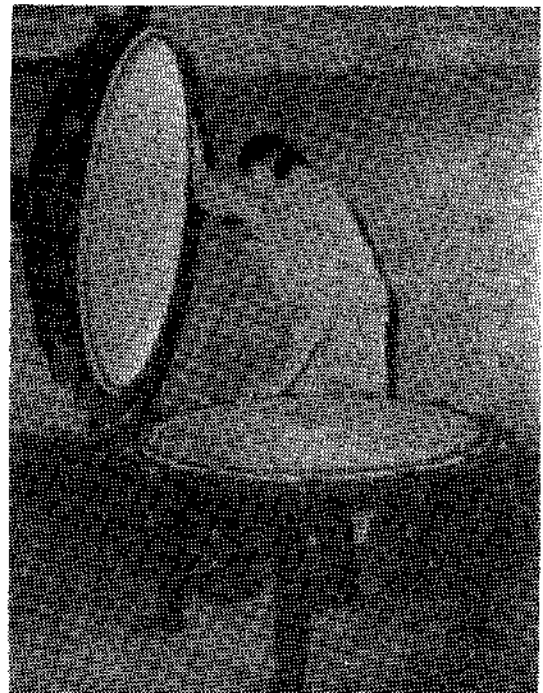


第22図 腐蝕性雰囲気用ポリ塩化ビニル製フードとダクト



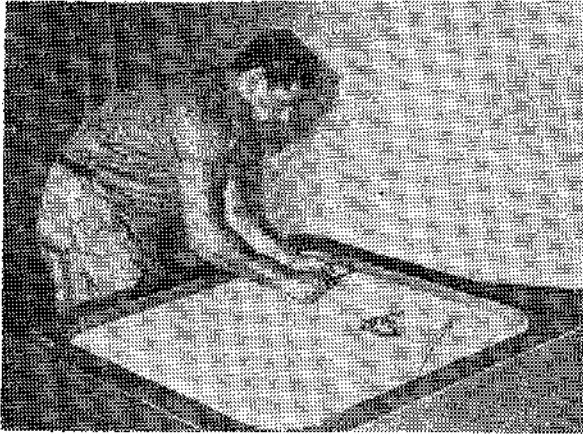
第23図 ポリエチレンの溶接によって作られたバルブとじや口

ことを示している。第23図はポリエチレンの溶接製のバルブとじや口で、熱風溶接によるものである。普通ポリ塩化ビニルおよびポリエチレンの溶接によつて作られており、アングル・バルブ、ストレート・バルブとYバルブがある。また、注型法によつて作られる場合もある。第24図は腐蝕性物質から容器を保護するためのポリエチレンの溶接による内張りの状態を示している。普通、ライニング用としてポリエチレン、ポリ塩化ビニル、トリフルオルクロロエチレン、ポリプロピレンなどの熱可塑性プラスチックが用いられ

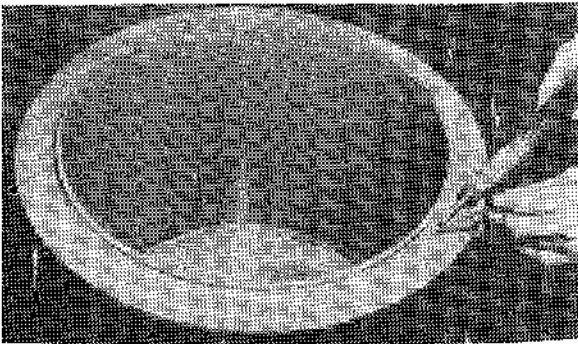


第24図 ポリエチレンのライニング

ている。これは、溶接が容易なことから成型加工が容易なためであつて、一般に容器が出来上つてから、施工がおこなわれる。第25図はポリエチレンの溶接で、内張したキャビネットで、容器の熱膨脹係数と異つているため、熱応力を吸収するための十分な可撓性を有している。第26図はポリエチレンを用いて溶接によつて組立てられた小型のタンクで、熱風溶接法が用いられている。このようなタンクの容量は 2,000 gal. までのものが多い。



第25図 ポリエチレンの溶接で内張されたキャビネット



第26図 ポリエチレンの溶接によつて作られたタンク

9. 結 言

プラスチックの溶接というと誰しも直ちにホット・ジェット・ガンによる熱風溶接法を連想し易い。それ程この方法によるプラスチックの溶接法が親しまれもし普及もしているといえる。ここで述べた各種のプラスチックの溶接法は現在おこなわれている溶接法と、研究されつつある溶接法についても一応一通りの説明をしておいたが、これらの溶接法はいまだいづれも完成されたものではなく幾多の困難な問題を含んでいる。すなわち、溶接条件の確立、溶接法および溶接装置の確立、溶接機構の解明、残留応力の除去、使用条件による強度の低下、大型チーズ、溶接効率の改善、用途拡大、時効、透明度、超音波応用、溶接材料の研究、接着および接着剤等枚挙にいとまがない。これらのプラスチックの溶接法がそれぞれの特長を生かして適材適所に應用されれば工業界各方面およびわれわれ日常生活に将来幾多の利益をもたらすであろう。

文 献

- 1) J. A. Neuman and F. J. Bockhoff : Modern Plastics Encyclopedia, 806 (Sep., 1957).
- 2) J. A. Neuman : Welding Handbook, 48.1 (1959).
- 3) 大西, 木村 : 溶接界, 10, No. 1, 45 (1958).
- 4) 大西, 木村 : 溶接学会誌, 28, No. 1~2, 4~10, 75~79 (1959).