

ボイラ溶接技術の最近の動向

田熊汽罐製造KK 播磨工場* 井 上 一 郎**

1. ま え が き

リベットで代表されたボイラドラムの接手或は水管の接合等に溶接技術が導入されて以来の、ボイラの容量、蒸気温度、蒸気圧力或いは、構造の変化等の急速な発展は今更言を費すまでもなく瞠目すべきものがあり、日々ボイラの生産に従事している我々でも時代の追従に応接の暇がない位目覚ましいものであると考えている。その驚異的發展の基礎には、溶接技術を中心とした生産技術の進展が前提となつたことはいふまでもないことであり、本稿では特にボイラ部品を代表する「圧力容器」「管類」について生産性向上を目的とした溶接法の最近の傾向を述べたいと思う。

2. ボイラ構造における溶接技術

ボイラ構造は、大は発電用大型ボイラから、小は暖房用小型ボイラまでその構造は、第1表に分類される。第1表の中非金属材料のものを除いて、金属構造物のほとんどについて溶接法が適応されているといつても過言で

第1表 ボイラ構造の構成

ボイラ	A	圧力容器……ボイラドラム、管寄、熱交換器、諸種タンク類
	B	管………蒸気管、給水管、水管、過熱器管、等
	C	鉄構造物……ボイラフレーム、ケーシング、ダクト等
	D	弁………主蒸気弁、安全弁等
	E	築 か
	F	保 温
	G	補 機 類

はない。しかし、その中でも最も特徴的なものはボイラドラムに代表される圧力容器類及び蒸気管、水管等に代表される大小様々の管類である。またそれらは、現今においては溶接法なくしては存在しないものであり、またその溶接技術は各種分野即ち、造船、車輛、橋梁、鉄骨、機械各業種の溶接に比べても、品質的に第1級の技術を要求されるものであり、またその品質の確保も厳重な諸規格、官庁検査により裏付けされている。なおボイラ本体構造の最近の傾向は、ドラムが漸次縮小化される傾向にあり、最新のモノチューブボイラでは、従来ボイラの構造的象徴であつたボイラドラムが見られなくな

第2表 鋼管の鋼種別使用比率の例

(住友金属資料)

ボ条 イ ラ 件	発 電 量 KW	66,000	75,000	125,000	156,000	220,000	265,000
	正圧/温度 kg/cm ² /°C	65/490	106/540	140/540	190/566	193/566	175/566
炭 素 鋼	0.15 C	70	65	12	45	30	27
	0.25 C	8	7	44	8	15	12
特 殊 鋼	½ M _n	15	8	10	8	15	21
	1 Cr ½ M _n	7	4	8	2	5	3
	1¼ Cr ½ M _n	—	11	16	16	13	21
	2¼ Cr 1 M _n	—	5	10	17	20	14
	18-8-Ti	—	—	—	2	2	2
銅	そ の 他	—	—	—	—	2	0.5
ボイラ管総量 (t)		450	750	1,300	1,500	2,150	2,700
%		100	100	100	100	100	100
備 考		輻射型 自然循環	輻射型 自然循環	再熱式 自然循環	再熱式 強制循環	再熱式 強制循環	再熱式 強制循環

り、ボイラ本体重量における管の比重が急速に増大してきている。また種々の管材質が使用されていることは昔日の比ではない。その何れもが種々の溶接法により接合されており、大容量ボイラでは、その溶接に関係する工数、溶接材料、溶接員数等莫大な量を占める。第2表に大容量ボイラの鋼管材質使用比率を示す。溶接箇所も工場溶接、現地溶接を含んで何万个所になるのも普通である。溶接部品質、能率の生産性向上に種々の溶接法が寄与すること大なるはいうまでもない。勿論物を生産する場合において、新溶接法が効果をあげるためには、管理ばやりの昨今、諸種の管理即ち、人事、品質、能率、工程、資材、運搬等が結合されて結実するのは論をまたない。以下順を追って「圧力容器」「管類」の生産における溶接方法の発展の傾向を記述したいと思う。

3. ボイラ構造の生産に使用される溶接法の種類

現在ボイラ、圧力容器、管類に使用されている溶接法の種類を大別すると、第3表に示す如くである。

第3表 圧力容器、管の溶接法分類

圧力容器	サブマージドアーク溶接法		{全 自 動 半 自 動
	炭酸ガスアーク溶接法		{全 自 動 半 自 動
	金属アーク溶接法		手 動
	エレクトロスラグ溶接法		自 動
	酸素アセチレンガス溶接法 金属アーク溶接法		
管	イナートガスアーク溶接法		{T I G M I G
	サブマージドアーク溶接法		
	炭酸ガスアーク溶接法		
	抵抗溶接法（フラッシュバット溶接法）		
	圧 接 法 {ガス圧接法 インダクションバット溶接法		

尚生産性向上の目的が高能率、高品質化にあるならば各種溶接法、各々使用目的に応じて初めて特徴があるものであることはいうまでもない。以下記述の便利のため圧力容器、管に分類して各種溶接法の紹介と、現状を述べることにする。

4. 圧力容器に使用される溶接法

4-1 サブマージドアーク溶接法

日本においては戦後米国から導入されて通称ユニオンメルト溶接法としてよく知られている。圧力容器の生産性向上は本法において飛躍的に増大したといつても過言ではない。往々能率向上と品質向上とは相反する利害をもつてはいるが本法においては全く両者共、相寄つて向

上したものとて特筆すべき成果を収めた。写真1に本法を使用しての高圧ボイラドラムの接手溶接作業状況を示す。写真2に150 耗 S B 49 B 鋼板を、溶接した断面マクロ写真を示す。尚サブマージドアーク溶接法に限らず、自動溶接は専用治具の完備と相まつて初めてその効果を期待できるのであつて、専門化の線に沿つて種々の専用治具が考案、実用されている。正圧容器用として



写真1 高圧ボイラドラムの周接手ユニオンメルト溶接状況

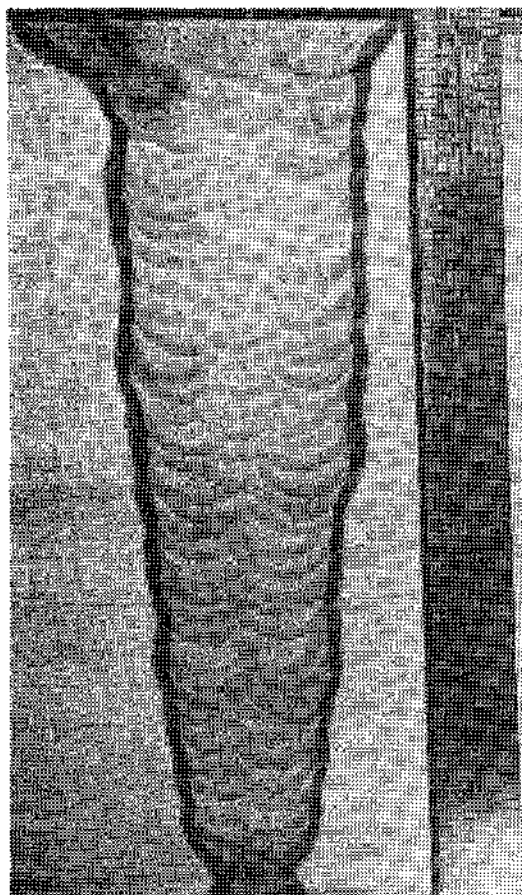


写真2 150 耗厚 S B 49 鋼板のユニオンメルト溶接部断面

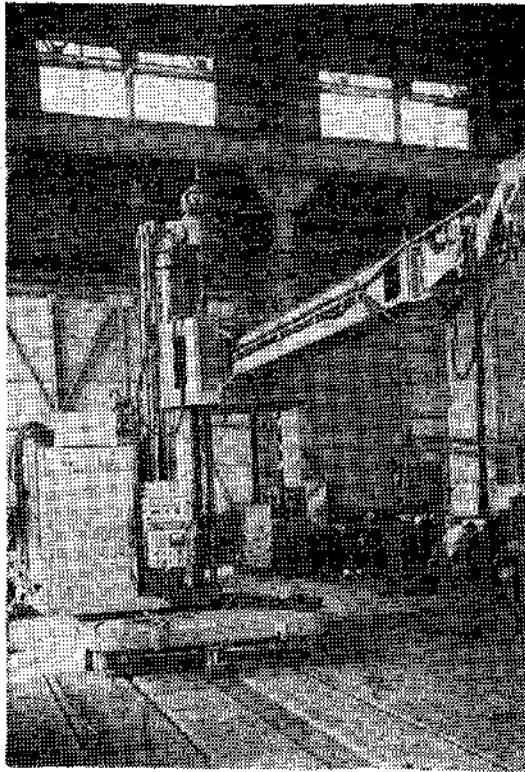
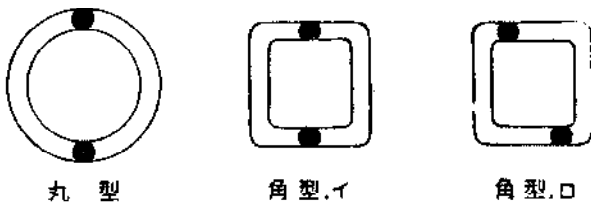


写真3 マニプレーター外観

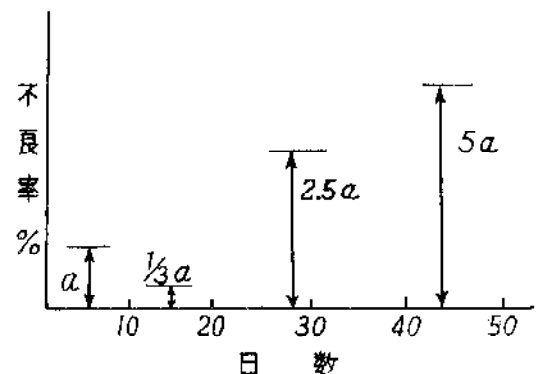


第1図 鋼板製管寄断面例

第4表 管寄長手接手開先形状変遷の1例

年次	開先形状	溶接法	年次	開先形状	溶接法
18		手溶接	28		手溶接 エオンメルト 溶接共用
24		手溶接	31		エオンメルト 溶接
27		手溶接	33		初層TIG 次層エオン メルト溶接
28		手溶接			

は、マニプレーター、サイドビーム、ポジショナー、ターニングロール等があるが、写真3にマニプレーターの外観を示す。当社では昭和18年以来ボイラ管寄胴を鋼板製で製作してきた。代表的な寸法、形状を第1図に示す。その長手接手開先形状の変遷を第4表に示す。開先形状の選定要素は約10数項目あるが、溶接方法も重要な要素の一つである。表に溶接方法も附記した。手溶接が人的要素に左右され自動溶接法に比べて非能率であるとの一つの実例として第2図に、25mm厚管寄の長手接手を同一人が普通の手溶接した場合のX線試験品質管理図を示す。横軸の日は稼働日数を示し、各種グラフはその



第2図 管寄長手接手手溶接X線品質管理図

日に判定したX線試験結果を表わす。29日目、43日目の結果に異常な不良率を示しているのは、身体の不調が主要原因と考えられ、ちなみに本人は50日目に盲腸炎で入院加療した。圧力容器主要接手では単純工数比較でサブマーゲッドアーク溶接法は手溶接に比較して普通3～5倍の能率が期待できる。

4-2 炭酸ガスアーク溶接法

炭酸ガスアーク溶接法は前述のサブマーゲッドアーク溶接法と比較して可視アークであること、姿勢溶接が可能で、シールドガスとして安い炭酸ガスを使用すること等で、大きな特徴があるが、現在全自動よりもむしろ半自動溶接の分野に大きく伸びようとしている。サブマーゲッドアーク溶接法に拘らず、全自動溶接法がもつとも能率向上に有効に役立つのは、前掲の諸種溶接治具、装置を組合せた場合である。したがってドラム諸種付属品の取付溶接において、いろいろの溶接姿勢が要求される場所、溶接線が複雑な場所、溶接治具が使用できない場合、或いは現地溶接の場合等、諸種の制約を受ける。溶接作業の高能率化として、炭酸ガスアーク半自動溶接法は最近御光をあびてきて急激に進展しようとしている。現在実用されている炭酸ガスアーク溶接法を大別すると、第5表の如くあらわされる。各方式何れもが各々特徴があり、またその使用目的に応じて適宜方式を選択せねばならないが、当社では圧力容器については作業性、

第5表 炭酸ガスアーク溶接法の分類

炭酸ガスアーク溶接法	炭酸ガスシールド法	—CO ₂ 溶接
		—CO ₂ —O ₂ 溶接
	炭酸ガスフラックス法	—有芯複合心線方式
		—磁性フラックス方式

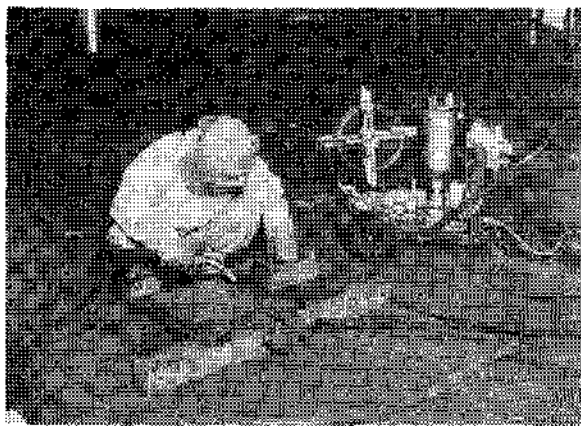


写真4 ユニオンアーク溶接機外観

第6表 ユニオンアーク溶接部接手試験結果

	抗張力 kg/mm ²	伸び %
接 手 抗 張	48.7 ^(母材切断)	—
溶 着 鉄 抗 張	52.0	34.1
自 由 曲 げ	—	45.2
側 面 曲 げ	良	
裏 面 曲 げ	良	

品質、ビード外観等の特性のすぐれた磁性フラックス方式を採用し一部使用している。写真4は、磁性フラックス方式のユニオンアーク溶接機の外観を示す。第6表に同法を施工した軟鋼板の接手試験結果の1例を示す。実際施工に当つては、本法独特の困難性もあるが、サブマージドアーク溶接で開拓された生産性向上の成果の落穂拾いの役目を受けもつて今後大いにその分野を拡めてゆくものと考ええる。

4-3 エレクトロスラグ溶接法

本法は特に超厚板の、高能率溶接を目的として開発された方法で、抵抗熱を応用して短時間に溶接が完成する。その能率性はサブマージドアーク溶接法の数倍にあがるといわれており、一部重電機器の厚板溶接に使用されているが、ボイラドラムについては、現在各社共基礎実験を実施中であり、そのうちその成果が生産に結実する日も間近いと考える。

4-4 削 溝 法

溶接法ではないが、溶接作業につきものの溶接部裏切り、仕上作業、開先加工等に製鐵工場の騒音の元凶であつたニューマチックハンマーに代つて登場した、酸素アセチレン源をもととするフレイムガウジング法、アーク溶接機を電源とするアークエヤーガウジング法は亦、溶接作業の合理化を説く場合に、切り離しえない実績をもっている。写真5は、ドラム円周接手の裏切り作業にア



写真5 アークエヤーガウジング実施状況

第7表 各種削溝法の経済性比較

方 法	ニューマチック	フレイム	アークエヤー
溝深さ mm			
4	80	100	98
6	122	100	96
7	92	100	95
10	112	100	60

ークエヤーガウジング法を適用している光景で、ニューマチックハンマー法と比較して、その経済性は第7表に示す如くである。表は軟鋼板に、溝巾及び深さに対する3方法の経済性比較を示す。他に酸素アセチレン或いは酸素プロパン自動切断による、溶接開先ガス加工法の目覚ましい生産性向上の成果は見のがしえないが、本稿の本筋を外れるので割愛する。

5. 管に使用される溶接法

ボイラに使用される管材としては、材質、寸法種々雑多なものがあり、材質としては第2表に示した炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼以外にもアルブラック、キューロニッケル等の銅合金その他の非鉄合金があり、その種類は多種多様で、しかも逐年増大の一方をたどるばかりで、かつまたその何れもが、溶接加工を前提としているために、各材質に応じて溶接方法、溶接材料、熱処理、検査方法等基準を確立せねばならない。また寸法的には

肉厚1 耗以内のものから、100 耗程度まで径も種々雑多、全く工作者泣かせの多様性である。従来ボイラドラムに代表される圧力容器類の溶接合理化は既述の如く、合理化の焦点にもなり、相当合理化の成果があがってきた観があり、反面管類はその重要性にもかかわらず、倅外におかれてきた観がないでもなかつたが、ボイラ構造の管構造化とともに近年とみにそのピッチが加速されつつある現状である。当社もこの傾向に着目して数年来管溶接の合理化の線につて調査、研究、実施を進めてきたが、以下各項目にわたつて溶接法の進歩の傾向を述べてみたいと思う。尚管長手接手溶接法としては、溶接管の需要が増大している現在、管製造メーカーの努力で、抵抗溶接、サブマージドアーク溶接、イナートガスアーク溶接等高能率溶接法を利用してその成果をあげているが、本項ではボイラ生産者の立場で、管と管との接合をとりあげて述べたいと思う。

5-1 手動溶接法（酸素アセチレン溶接、金属アーク溶接）

現在管類の突合せ接手に実用されている手動溶接法は一般的に、酸素アセチレン溶接、金属アーク溶接、アルゴンアーク溶接に大別される。各溶接法はその特有の特色により各分野に広く使用されているが、ボイラ管に適用した場合の溶接方法の分類の1 例として、最近のドイツ誌に掲載された単管式大容量ボイラの例を第8 表に示

第8 表 ドイツにおける単管式ボイラ管系溶接方法分類例

管	外 径	D	
		D ≤ 44.5mm	D > 44.5mm
管 肉 厚	S	S = 3~6mm	S > 6 mm
		適用される溶接方法	
フ ェ ラ イ ト 鋼	ST 35.5	酸素アセチレンガス溶接	酸素アセチレンガス溶接
	ST 45.8		
	15 M ₀ 3	酸素アセチレンガス溶接 T I G 溶接	アーク溶接 (T I G 溶接は初層のみ)
	13 Cr M ₀ 44		
	10 Cr M ₀ 910		
オ ー ナ イ ス テ 鋼	X 20 Cr M ₀ VW 121	T I G 溶接	アーク溶接 (T I G 溶接は初層のみ)
	X 8 Cr Ni Nb 1613		
	X 8 Cr Ni Nb 1616		
	X 8CrNiM ₀ VNb1613		

す。酸素アセチレン法は溶接技術の黎明期よりこの方、管接合法として長い寿命をもち、その一般性から広く常用されてきたが、現在アーク溶接の普及性とアルゴンアーク溶接の台頭の影響をうけて、その適用範囲は漸次狭

められつつある。特に合金鋼、ステンレス鋼或いは厚肉管からは駆逐されつつあるのが表でよくわかると思う。

5-2 裏波溶接法

本法はとりたてて項目にあげる程特殊なものでもないが、管接手の高品質化の波につてとりあげてみたいと思う。裏波溶接法とは、管突合せ接手の溶接第1 層目を特殊な溶接法、特殊な溶接棒を用いて美麗な裏波ビードを作る方法であつて、これによつて従来必要としてきたバックリングが不要になり、或いは1 層目の重大な欠陥をなくして品質性、経済性を高める意義をもっているものである。写真6 にアルゴンアーク溶接法を適用した管裏波溶接部裏波外観を示す。裏波溶接法の種類を例記すると下記の如くである。

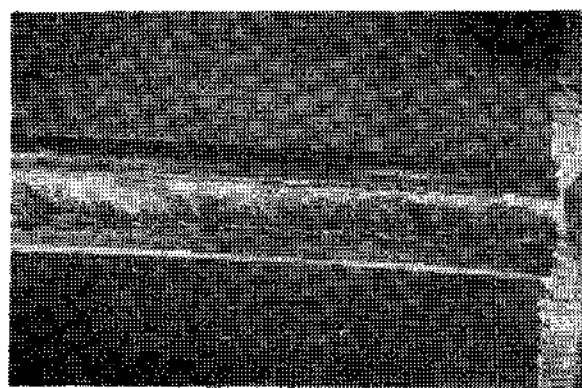


写真6 T I G, 初層溶接部裏波外観

(1) 酸素、アセチレンガス溶接法

もつとも一般的な方法であるが、良品質をうるためには相当の熟練を要するようである。

(2) 被覆棒アーク溶接法

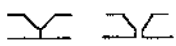
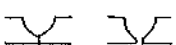
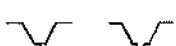
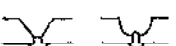
熟練した溶接士、特殊な運棒法で従来部分的に行われてきたが、最近ライム系被覆を施したいわゆる裏波アーク溶接棒が市販されて軟鋼、クロムモリブデン鋼用に実用化されてきた。現在水道配管、ガス配管等に実用化されているが、溶接棒の発展と共に今後その分野を拡大するものと期待されている。

(3) イナートガスアーク溶接法

本法のうち非消耗性電極を使用したT I G法が最も一般的に使用されており、第8 表に示されている如く実際接手には第1 層目を裏波溶接して次層以後は溶接速度の早いアーク溶接で、接手を完了するのが通例である。本法はその実用性から裏波溶接法の代名詞に使われる程急速に一般化されてきたが、また管系溶接接手を近代化した点において画期的なものと考え、第9 表にT I G初層溶接の関先例を示し、また第10表には、T I G初層と裏当金アーク初層溶接との原価比較表を示している。くわしくは拙文¹⁾を参照してもらえば幸甚と考える。

(4) そ の 他

第9表 TIG初層溶接の開先例

開先名称	添加棒方式	形 状
V	{なし あり	
U	{なし あり	
Flat Land	{なし あり	
Rolled Edge	なし	
Faced Lip	{なし あり	
Insert	なし	
G・E	なし	

第10表 TIG初層と裏当金アーク初層溶接との原価比較

	項 目	TIG初層	裏 当 金 アーク初層
材料費 (円)	裏当金材料費	—	102
	アルゴンガス費	276	—
	溶 接 棒 費	26	21
所 要 延工数 (時間)	裏 当 金 旋 削	—	0.75
	仮 付 け*	0.48	0.92
	溶 接	0.21	0.11
総 計	材 料 費(円)	302	123
	工 数(時間)	0.69	1.78

〔注〕 1. 溶接機、工具などの設備費の償却費は作業量により変動するので含んでいない。

2. * 印仮付け工数は作業員2名の延工数を示す。

炭酸ガスアーク溶接法でも可能であるが、未だ研究段階にあると考えられ、また接手開先裏に特殊な耐火物質、溶剤などを密着させてサブマーゲドアーク溶接で好結果を得る場合があるが、一般的ではない。

5-3 イナートガスアーク法

イナートガスアーク法は前述の裏波溶接法にも実用されているが、またもう一つの特徴は合金鋼、ステンレス鋼、銅合金、その他非鉄金属の溶接にもつとも高品質を

得ることが出来ることである。薄肉小径管は、前述の初層TIG、次層アークの代りに、全層TIG溶接を行うことも多い。写真7は当社がスイス、スルザー社と技術提携して製作した蒸気温度650°C、蒸気圧力、350 kg/cm²、蒸発量1.3 tonの超臨界圧テストボイラ本体外観で温度圧力共世界有数のものであり、過熱器管として本邦最初の16-13Cr-Ni-Mo-V-Nb鋼が使用されている。本鋼管の接合には本法がふんだんに使用されて、高品質を確保している。なお近年消耗性電極のMIG法の高能率性、作業性に着目して、厚肉管の溶接に本法を利用する動きが見られているが、特に現地溶接の品質、能率向上に寄与するところ大であると思われる。

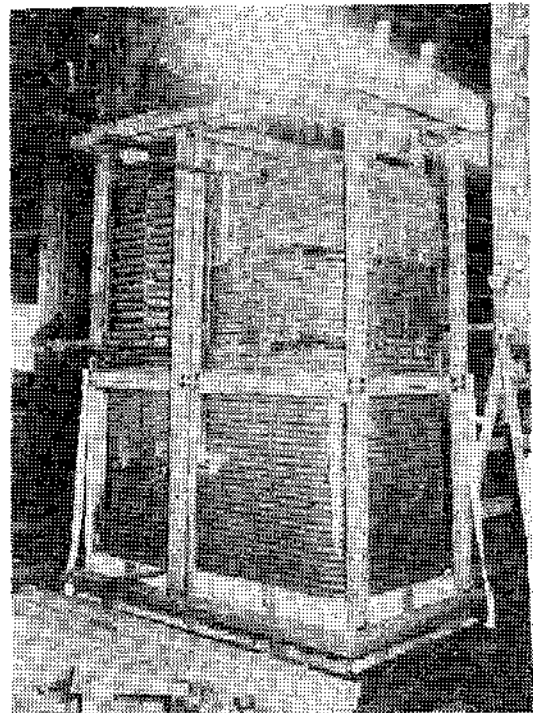


写真7 超臨界圧ボイラ本体外観

5-4 サブマーゲドアーク溶接法

炭素鋼、低合金鋼等の厚肉方径管は、溶接能率の向上の点から、ポジショナー、ターニングロール等の溶接治具と組合せて、本法で施工されることも多くなつた。しかし管系の形状、個数、場所等の制約のために適用できるのはごく一部にとどまっているのが現状であり、使用範囲の拡大のためには、溶接バンドの規格化、配管構造の単純化等解決せねばならない問題が多い。

5-5 炭酸ガスアーク溶接法

木法も、圧力容器の項に述べたが、全自動はサブマーゲド溶接法の全自動と、同様な制約があり、むしろ全自動と手動溶接の間隙をうずめるものとして、半自動化の方向にMIG溶接と共に伸びてゆくもとと考える。磁性フラックス方式は、上進溶接作業性がよいのでこれから的高能率化のホープとして期待したい。

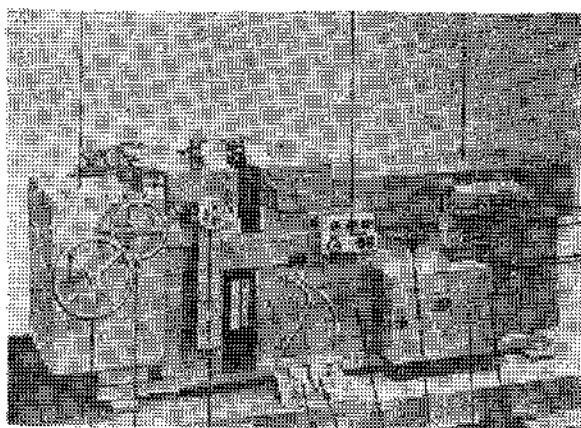


写真8 フラッシュバット溶接機外観

5-6 小径管自動溶接法

小径管自動溶接法として現用されているのは、抵抗溶接法の1分野であるフラッシュバット法と、圧接法のガマ圧接及びインダクションバット法と考える。写真8は、当社で購入したスウェーデン ASEASVETS社製、管フラッシュバット溶接機の外観写真である。フラッシュバット溶接法を利用して管の突合せの全自動溶接を行うのは可成り前から研究実用されていたが、技術的困難性のため広く実用化はされていなかったと思う。上記ASEASVETS社製のものはその困難性を克服したものとして本邦にも近年輸入されて、ボイラーメーカーで数台現在稼働している。ガス圧接法も古くから研究されているようであるが、化学的熱源を高周波熱源でおきかえたものとして、インダクションバット法は種々の特徴をもっている。原理は接手を高周波加熱で圧接温度まで加熱し、接合する方法である。本邦にも先年米国Tocco社のものが輸入実用され、国産でも生産をはじめたと聞いている。以上何れも小径管工場溶接工数及び溶接員の削減に、威力を発揮するものとして特筆するべきである。

5-7 フィン溶接機、スタッド溶接機

小径管用の溶接機として、直接突合せ溶接を行わないが、抵抗溶接法の1分野として管に鱗状の小片或いはピンを植えつけるフィン溶接機、スタッド溶接機が実用さ



写真9 ボイラ管スタッド溶接例

れている。何れも完全自動機である。尚スタッド溶接機にはアーク発生熱を利用する手動のスタッド溶接機がある。スタッド溶接製品例を写真9に示す。何れも手溶接の数倍の能率を期待できる。

6. 溶接合理化と溶接作業員

以上4、5章でボイラ生産における主な溶接法の紹介と進歩を述べたが、いかに新しい溶接技術、高能率な溶接機、高品質な溶接法が研究され設備されても、実際生産のプロセスに実用せねば生産現場としては無用の長物になりかねない。また所期の高能率、高品質を得るまでには色々の過程において様々の人的、物的障害があるものである。またそれを根気よく一つ一つ最後の障害に至るまで完全に克服せねば目的を達することができないところに、生産技術者としての悩み、ひいては喜びがあるわけである。障害のもつとも大きな要素の一つに溶接作業員の管理即ち、精神的及び技能的管理が存在する。技術革新の波にのつて作業員の、作業内容および質のあり方については、オートメーション化の裏付けとして、諸雑誌、討論会等で討議されているが、溶接作業員も、またその例に洩れない。また製罐工場における他職種作業員に比べてもつとも作業内容の発展のテンポが早いのではないかとも思われる。

特にボイラの溶接技術は他種産業のそれに比べてもつとも高品質の一つになる内容をもっている。時代の即応について一刻も等閑には付せない。最近の溶接作業員の質の変化は、

- ① 高度の知識と判断力をもつ機械作業員ともいうべき分野が引きつつある。
- ② 同じ手溶接工でも仕事内容により職種が細分化、専門化しつつある。
- ③ 溶接部の品質が高度化するにつれて重要な仕事に若年層の体力、知識欲が要求される。
- ④ 現場指導者の性格は管理面、指導面、知識面に、おいて昔Hのそれとは格段の差の能力を要求されること。

等においてあらわれてきて、人事管理上の雑多な諸問題が派生してきている。我々生産技術者においてもまたその例にもれない。技術管理、人間管理が車の両輪となつて生産を遂行し、何れもゆるがせに出きない問題であり、生産工学という分野があるならば、同じく人間（じんかん）工学ともいうべき分野も今後確立してゆかねばならないと考えている。

7. む す び

製品対称を圧力容器と管に限定してボイラ溶接法の紹介と現状とを簡単に記述したが、1会社の狭い視野から眺めたものでありまた御多聞にもれず現場匆忙の間に記述したものであり、不備の点多々あると考えるが、よろしく御寛容を乞う次第である。