

VI 工場近代化計画

VI 工場近代化計画

蘭州石油化工機器廠は、1953年に建設を開始した大型化工機器工場で、1960年代の操業開始の時期に当っては、同じ甘肅省の玉門油田に近く、かつ重工業分野の地方分散構築の国策に沿った中国第一級の化工機器生産拠点であった。

設備、機械類は当時考えられる最大級の新鋭機械類が備えられた。現在なお石油掘削機器製造に関しては中国随一のシェア (share) を保持しているとはいえ創立以来35年を経過した今日、設備の老朽化に加え、その後中国各地の新設の工業地区に建設された新鋭化工機器工場に比較して見劣りのする部分のあることは否めない。

その上、近代化を進めるに当たって幾つの特徴的な障害がある。その主なものは、

- ① 立地条件が甚だ悪い。北京から1,800km港灣、製鋼所、関連工業地区のいずれからも遠く離れており、物資の調達、製品の出荷に大きな障害がある。
- ② 運搬、通信などの基本的インフラストラクチュア (Infrastructure) が大層弱く、敏速なサービスが期待できず、したがって無駄が多い。

しかし、前記『調査の背景』で述べたとおり、今後、当分石油化工機器への国内需要は旺盛で増大の方向にあり、かつ中国西北部の新油田開発が脚光を浴びてきた現今、当工場の重要性は一層増したと言える。

さらに長期的には中国西北部の工業開発のみならず、国際市場への進出も時代の趨勢として真剣に検討する必要がある、近代化推進の機運が高まったものである。

1988年度日本国に要請のあった近代化計画調査では、この蘭州石油化工機器廠が第一位を占めた。

化学工業の進展が、より高品質な難度の高い製品を要求してくることは明らかで、従来からの石油精製 (Petroleum Refinery) 関連の機種に加え、将来石油化学 (Petro-chemical) の領域への進出が必要となっていて、技術面での格段の近代化が急速に望まれている。

企業内であっても、知識、技量が向上してきた今日、中央の計画部門に集中している計画、管理の機構をできるだけ簡素化して、担当部門毎の責任において活動を推進していく方式が柔軟性があり、しかも敏速な発展に繋がる時代に突入しているといえよう。ここに技術面での改革とともに、管理面での革新が望まれる理由がある。

世の中の急激な変化に追隨して、敏速な發展を遂げるには、柔軟な組織 (Flexible Organization) で皆が責任を持ち合い (Mutual Responsibility) 協同して近代化を進めることが肝要である。ソフトウェアの面でのプロジェクトグループ (Project Group) 制度の採用などの提言がその一例である。

すなわち、従来のピラミッド型縦わりの機構でなく、関係のある部門から少数のグループを横断的に選抜し、納期、品質、コストに責任を持たせる。その代わり予算執行、人事、社内の活動に相当の自由裁量権を与えるというものである。

詳細の提言は、近代化計画の各項目で行うが、考慮に値する提案の幾つかを述べると次のとおりである。

- ★ 自動化導入プロジェクトグループ (Project Group)
- ★ 公害対策プロジェクトグループ
- ★ 省エネルギープロジェクトグループ
- ★ フィードバック運動プロジェクトグループ
- ★ 人材教育、活性化のプログラム策定のプロジェクトグループ
- ★ 品質保証運動プロジェクトグループ
- ★ 基本方針

工場近代化の基本方針をまとめると次の 3 点に集約される。

即ち

- 1) 企業体質の強化を図ること。

これは企業の活性化、管理能力の強化、人的資源の能力開発によって達成を図る。

- 2) 客先から信頼を得ること。

これは生産量、品質、納期の保証という企業の使命を厳守することで達成を図る。

- 3) 技術開発、新市場の開拓を図ること。

これは自動化、半自動化の推進、大型化、厚物への挑戦並びにステンレス、低温材部門の強化によって達成を狙う。

- (1) 近代化計画の目標

『Ⅱ-1』蘭州石油化工機器廠の近代化への基本方針に基づき、目標とするスローガンを次の 7 項目に設定する。

- 1) 企業の足もとを固めること。

近代化に取り組む前に、工場の現状を率直に、謙虚に認識し、整理整頓、企業倫理の確立を図る。工場全体が一丸となって推進できるテーマとして『安全』を取り上げ安全をスローガンに改善を進める。

具体的目標値として、現在の休業災害度数率2.6を1.0以下にする目標に挑戦する。

2) 皆で考えること。

考える集団、即ちエンジニアリング重視の工場を目指す。

これは、一部の計画担当部門だけでなく、生産に関与するすべての人々が知恵をだしあうことを意味する。

3) 成り行き管理から科学的管理へ移行すること。

そして、マクロの管理からミクロの管理へ指向していく。

表面的な感触によって支配されず、事実に基づいた現状を数字で把握し、データで話し合う習慣を作り、目標を決めて、その達成具合をいつもチェックしながら改善の手を当てていくやり方を推進する。

4) 工場内で人材を育成すること。

技量の経験的習得だけでなく、計画的な能力開発のカリキュラム(curriculum)を設定して永続的な教育訓練を実施する。仕事を通じて知識が増え、能力のスペンが拡大して、働きにくくすることが楽しくなるような環境を作りあげる。

5) 『お客様第一』『あと工程はお客様』に徹すること。

品質を保証するとは『客先の真の要求に完全に合致すること』であるとの意識を植え付け、皆がその持ち場で『品質を作りこむ』運動を展開する。

そして品質を考える過程で『あと戻り』をやめ、『無駄』を省くことを追求する。

6) 生産性を10年で2倍に上げること。(年率8%の向上)

当面の目標である生産量17,000 TON/年は工場の整理整頓と生産工程管理の合理化によって達成は可能である。引き続きエンジニアリングの強化、固有技術の改善、管理技術の向上により、短期、中期、長期の計画を着実にこなすことによって生産性の倍増に挑戦する。

7) 技術開発でトップを目指すこと。

化工機器メーカーの生命線である溶接技術を中心に工場内での技術開発を重視する体制を作る。自動化半自動化を一層押し進めて難度の高い、付加価値の高い製品の製造をこなすようにしていく。

上記に基づき、1993年における年間総生産量17,000 TON、そのうち主要製品年間生産量14,000 TONを達成することとする。

生産量の生産品目別内訳は次のとおりとする。

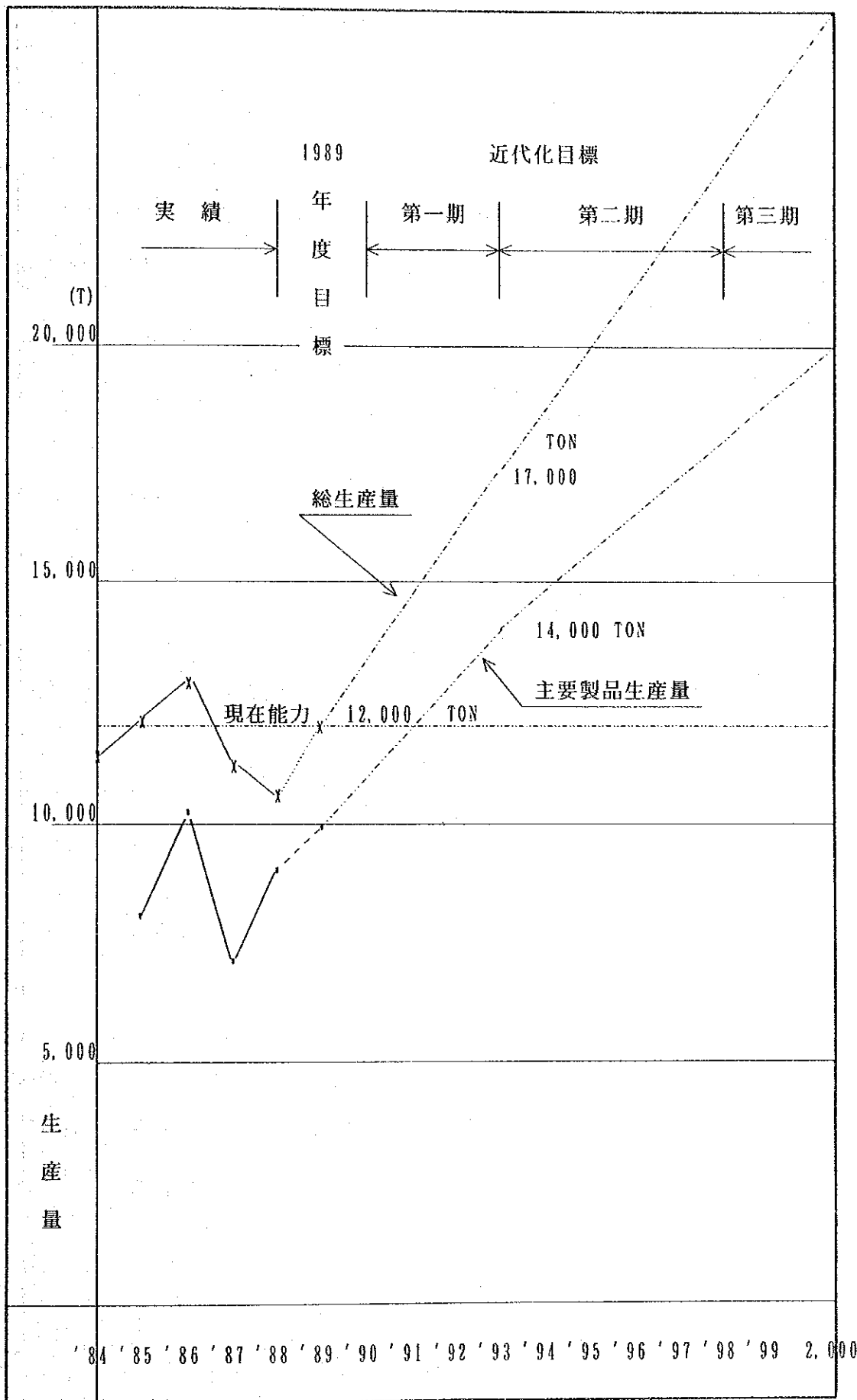
高圧容器	2,000 TON
タワー	2,000 TON
熱交換器	3,000 TON
ステンレス容器	700 TON
貯蔵タンク及び球形タンク	6,300 TON
<u>主要製品計</u>	<u>14,000 TON</u>
その他	3,000 TON
<u>総計</u>	<u>17,000 TON</u>

上記の生産目標を達成するための工場面積及び人員面での条件は次のとおりに設定する。

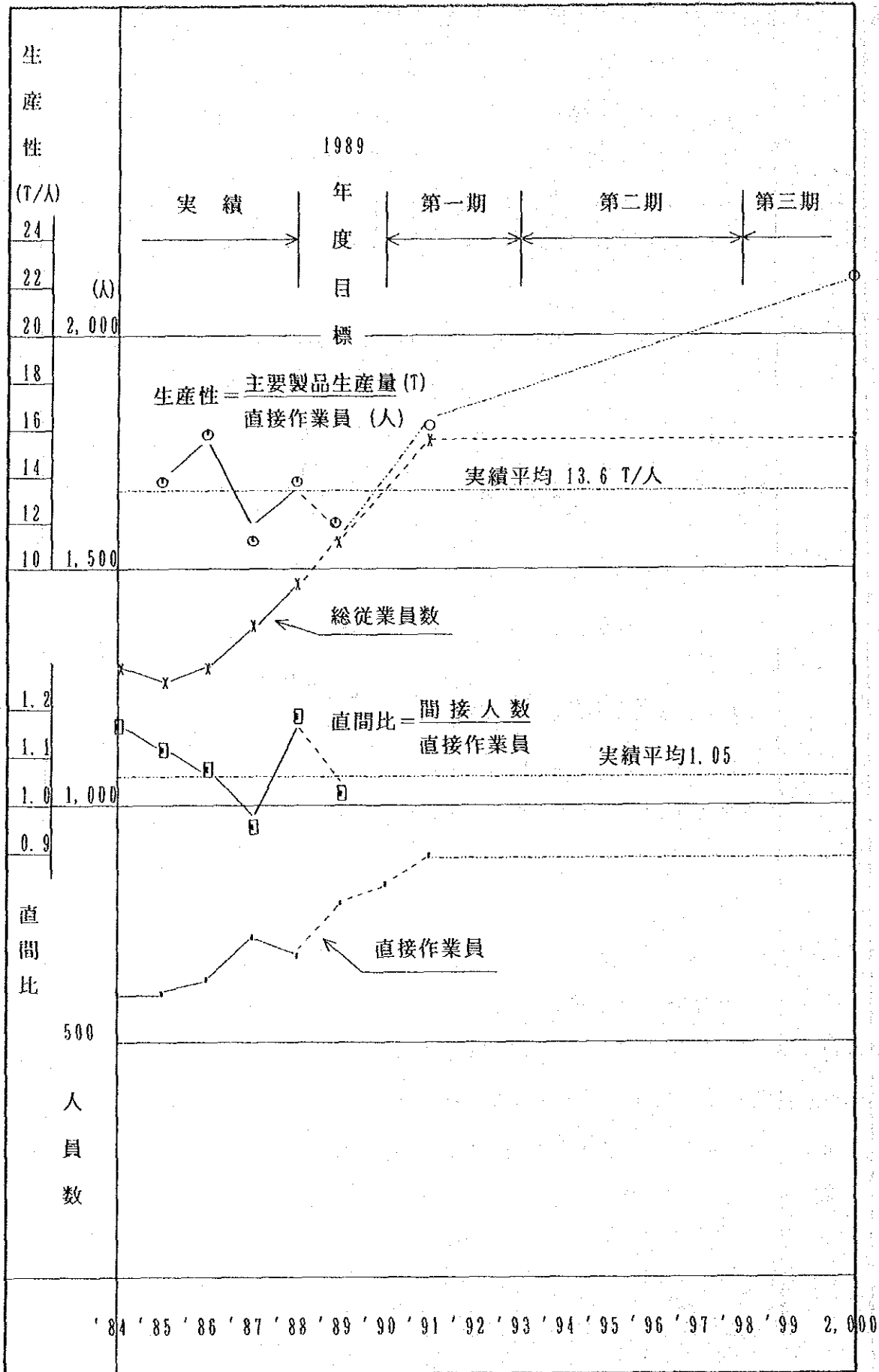
工場面積	55,000㎡	現工場主建屋、新設機械工場及び新設高圧容器工場
直接作業員	865人	1991年度迄の増員計画（表Ⅲ-4-13参照）に従う。
総従業員数	1,775人	間接人員／直接人員比を過去5年間の実績（表Ⅲ-4-2～6参照）の平均1.05とする。

さらに長期目標として21世紀における年間総生産量24,000 TON、そのうち主要製品年間生産量20,000 TONとし、これを達成するための生産性を、現状の直接作業員当たりの主要製品生産量13.6 TON／人を23.0 TON／人に向上させることを目標とする。すなわち従業員の増員は現計画の1991年度までとし以降の増員は考えないで、尚かつ工場の増設も行わないで、工場近代化により上記の目標を達成することを策定する。

上記生産計画及び人員計画を図VI-1及び図VI-2に示す。



図VI-1 生産計画



図VI-2 人員計画

(2) 近代化計画実施の基本的プログラム

工場近代化計画は基本方針に基づき、近代化を阻害する要因を明確にし、問題点の解決を目的として実施されるが、その実施計画は工場自身及び工場を取り巻く諸状況、すなわち国家の方針、一般経済状況、製品の需要の動向、新技術の動向、労働力の変化、資金状況、工場立地条件等を勘案し、決定されるものである。

本報告書は、これらの状況の考察から、工場近代化計画の実現性をより具体化し容易にするため、以下の3つの時期に時系列化する。

第一期（短期）： 現有機械設備の効率的運用と現在の生産管理制度と機能の改革を行なうとともに、生産技術の向上により生産量の拡大を図る時期とする。具体的な実施内容としては近代的生産管理システムの導入と確立、エンジニアリング部門の機能と体制の改善、全員参加のTQC運動の再構築による品質保証管理体制の確立、労働意欲向上と技能向上を目的とした教育訓練制度の導入と確立を行う時期とする。

第二期（中期）： 第一期で確立した近代的生産管理システム、エンジニアリング機能、品質保証管理体制、教育訓練制度を充実、定着させ、より一層の生産量の拡大を図るとともに新市場への参入を図る準備期間とする。生産技術の改善開発のための省力機械設備の導入や高効率機械設備への更新を行う時期とする。

第三期（長期）： 第一期及び第二期の実績に基づき21世紀を展望しての長期戦略策定の時期とする。多能工制度の導入、個人別作業管理の導入、コンピューターによる事務処理作業の合理化、新製品にたいする新しい機械設備の導入及び品質保証管理体制の完全実施により、新市場製品の商品化及び国際市場への進出を図る時期とする。

近代化の進展が計画以上に進めば、10年にわたる計画を短縮することは可能である。ただし、短期中期のステップを飛び越えて長期の目標としている最も高度な段階に挑戦することは、結局、基本体力の不足で、中途半端で瓦解するか、形式だけの近代化で実態が第一級のレベルから脱落することとなるので、厳に慎まなければならない。

具体的施策（ソフトウェア）

区分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
全般	整理整頓、清浄化 不活動資材の撤去	場所の計画を総合的に行う	有効面積の拡大
安全	安全運動の再出発 安全のエンパワリング開始 安全基準の討議 安全教育充実 規律と『しつけ』再考	（休業度数率2以下） 危険予知運動	（休業度数率1以下） 安全基準の見直し 安全管理者訓練
科学的 論理的 思考	現状を事実と数字で把握する データで話す 不具合を整理分析する 前検討をひろく行う プロジェクトエンジニアリング(PE)を始める 図面検討を始める	計画を立てて実行する(PD) PEを拡大する 設計審査(DR)開始(Design Review)	分析し改善を実施する(CA) 信頼性技法の導入
工程 管理	原単位の再認識 日程管理のシステム作りにかかる 『日程はラインで作る』	目標管理体制 班単位の2週間予定	個人別日程管理へ
人材 育成	人材能力開発プロジェクト 発足	層別研修を始める	上級管理者研修

具体的施策（ソフトウェア）（続）

区分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
人材育成 （続）	<p>技量訓練にMAG, TIG オーバレイを加える ダンデム潜弧溶接訓練</p>	<p>管理監督者訓練</p>	<p>経営管理、市場開拓 の研修 エンジニア研修を始める IB, 信頼性、メカトロニ クス、新素材</p>
品質管理	<p>TQC 活動の再構築 品質運動を始める 先ず身の周りを綺麗にし て良く見えるようにする 現状把握のデータをとる。</p>	<p>品質評価 (Quality Appraisal) を定例化する ラインで品質向上を行う X線不良率対策 異物混入防止対策 キズ直しグラインダ作業 の減少対策 仮止めピース類の最小化 対策 製品の保護対策 精度管理活動開始 フィードバック稼働 設計基準、工作基準の整備</p>	<p>品質保証体制確立 監査システムを運用する 『設計→製造→検査』 を一貫した品質管理の体 制を作る統計的品質管理 延尺、伸ばし、新工作法等 基準類の定期的見直し</p>
機 構 組 織	<p>生産管理システム再検討 工程管理はラインの責任 で行う。</p>	<p>設計で物量を把握する 工芸課は生産技術に徹する 技師張り付けは止めて ラインに移管する</p>	<p>設計部門の役割再編成 工芸部門の役割再編成 工程部門の役割再編成 組織の簡素化にかかる</p>

具体的施策（ソフトウェア）（続）

区分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
資材管理	工場内の品物を片付けて、 場所を広く使う	在庫管理の見直し 中間倉庫の縮小、統合 間接部門の合理化検討に入る	在庫管理精度の確立し ジャストインタイムの投入 本社部門と分廠機能との有機的統合 直間率の改善に入る
設備管理		加工外注関連メーカー育成	小物、板金類の外注化 設備保全部門独立 予防保全を導入する
目標管理	仕事を物量で把握する 重量、溶接長、切断長等	ステージ毎の目標管理体制 機種別生産体制からステージ別モジュール別体制へ	ノルマ制度の見直し ミクロの目標管理体制
研究開発	自動化導入準備プロジェクト 公害防止対策プロジェクト 新機種開発プロジェクト等 発足 近代化委員会設置	水質、産業廃棄物対策実現 研究開発組織の拡充 次世代の大型研究プロジェクト発足 近代化委員会拡充強化	大気汚染、騒音対策実現 資源のリサイクル化検討 省エネルギー対策にかかる 近代化委員会制度見直し

具体的施策（ハードウェア）（続）

区 分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
安 全 環 境 対 策	照明改善 設備の安全対策 安全帽、安全靴、安全帯 運搬用具の整備：天秤 ハッカ、クランプ(Hook, Cramp)、吊りワイア 溶接機器の整備：電撃防 止器、ホルダ、ハンド シールド、キャブタイア ジョイント、ガスホース 類のジョイントの漏洩防 止、治工具、吊りピース 等の点検補修 ポジショナー、ターニン グローラの点検整備 (Positionner, Turning Roll) 定盤整備、精度チェック 土間のコンクリ化 水圧試験場の基礎補強 フォークリフト増強 計部門のOA化：コピーマシ ン、ワードプロセッサ、 パーソナルコンピュータ等	照明増強 防塵マスク 計画部門のOA化	工場の全般の更新 物流、運搬の合理化 天井クレーンのリモートコ ントロール化 管理部門のOA化

具体的施策（ハードウェア）（続）

区分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
単材 工程	自動、半自動ガス切断器 プラズマ切断機 切断定盤	ケガキ定盤、レイアウトマ シン	
塑性 加工		ロール仮付用移動足場	スピニングマシン（フラン ジング用）
機械 加工	管端加工機（可搬式）	NC中グリ盤 NC穴明機 チップの <u>Throw-Away</u> 化	
組立 工程	管束組立定盤 拡管機 単胴専用ライン	定電圧電源装置（拡管用） バルンサー（拡管用）	
溶接 工程	自動、半自動化率 40% MIG 溶接機(MAG) 増強 TIG 溶接機増強	自動、半自動化率 60% MAG 増強 TIG 増強	自動、半自動化率 90% MAG 増強 TIG 増強

具体的施策（ハードウェア）（続）

区分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
溶接工程 (続)	TIG自動溶接機（管と管端部） ポジショナー増強 ターニングロールの無段変速化 タンデム自動潜弧溶接機 自動アークエアガウジング	TIG自動増強 マニピュレータ増強 オーバーレイ広幅（150mm） エレクトロスラグ溶接機 予熱の均一化 ステンレス用溶接、切断設備	アルミ製造ライン新設 アルゴン自動、半自動溶接機 自動溶接機 真空運搬装置
熱処理工程			熱効率改善、炉の再配置 各種炉の集中管理化
表面処理工程	サンドブラスト用簡易建屋 酸洗廃液処理		サンドブラスト塗装工場建設、集塵装置

具体的施策（ハードウェア）（続）

区 分	短期（すぐ始める）	中期（5年後から）	長期（10年後から）
公 害 対 策	スクラップ、ゴミの運搬処理設備 廃棄物焼却設備（排熱利用も考える）	水質と産業廃棄物対策（水圧試験用水処理も含む）	大気汚染と騒音対策
教 育 訓 練		オーディオビジュアル設備 コンピュータ教育訓練設備	訓練用工作機、全自動溶接機

1 生産工程の近代化計画

1-1 全 般

第IV編に生産工程の現状と問題点について、生産工程を8つの工程に分けて、技術、設備及び管理面等あらゆる角度から調査した内容を報告した。生産工程の近代化に対する提言は以下工程毎に詳しく述べるが、ここでは近代化の基本的な考え方を簡単に述べたい。

蘭州石油化工機器廠の設備は一部を除き短期的には、現在計画されている生産機種、生産高に対処できるだけのものは十分保有しているものの、品質及び工程管理などの管理技術面では不十分な部分が多く、国外メーカーと比較すると数段の見劣りがする。一方固有技術及び設備面においても近代化のためには、少なくとも下記のことを早急に開発あるいは導入する必要がある。

- (1) ガス切断技術の向上と可般式自動、半自動切断機の導入
- (2) M I G 溶接技術の確立
- (3) ターニングロール (Turning Roll) の無段変速化
- (4) 熱交換器の管板-管の自動 T I G 溶接の採用
- (5) 溶接品質 (R T 合格率、ビード外観) の向上
- (6) ステンレス広幅肉盛溶接技術の開発
- (7) 溶接ポジショナー (Positionner) の増強

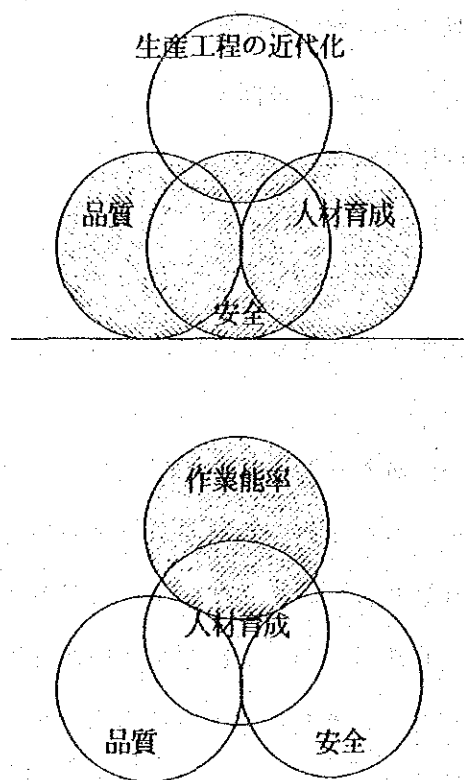
以上7項目の開発あるいは導入が早期に達成できれば、技術及び設備面では競合他社に十分太刀打ちできるようになる。

しかし、蘭州石油化工機器廠を調査したかぎりでは近代化を成功させる鍵は、生産システムの再構築と管理監督者を含めた全従業員の意識革命 (教育研修) が第一であると言わざるを得ない。この改革ができなければ、いくら技術及び設備面で優秀であっても一流には成り得ない。このメンタル面の革新は一朝一夕にして達成できるものでなく、計画的に、段階的に、かつ、永続的に実行して初めて成し遂げられるものである。

したがって、経営者の強靱な改革の意志と強力な実行力が重要となってくる。とにかく第IV編の全般で紹介したように、現段階で工場運営上欠けている基本的な諸事項を改革できれば、それだけですべての面で飛躍的に向上するはずである。そのためには生産工程は安全、品質及び人材育成を3本柱にして近代化を推進しなければならない。

安全、品質及び作業能率は三位一体であり、安全と品質が向上すれば作業能率も自然に向上するし、安全と品質が芳しくないと言作業能率もそれに比例して悪化するものである。作業能率は結果的に出てくる作業指標（原単位）であって、初めから原単位を目標に掲げて作業者の尻を叩く方向の管理は、安全と品質がおろそかになり決して得策とはいえない。この三つの因子（安全、品質、作業能率）は完全に三位一体の関係にあり、一つだけ独走することは絶対にあり得ない。一方、この三位一体の中核をなすのが人材であり、特に管理監督者の管理能力であるといえる。したがって、近代化の推進は作業能率を全面に打出すのではなく、常に安全と品質を最重点に展開する必要があるし、その運動を支えるのが人材育成である。

もう一つ近代化にとって重要となるのは、たゆまぬ技術開発である。企業を維持・発展させていくには、技術開発なしでは成し得ないし、世の中の技術に関する進歩・発展のテンポは非常に速いのでそのテンポに乗り遅れないように、技術開発に限っては人材と金と時間は惜しみなく投資する必要がある。



図VI-1-1 生産工程の近代化モジュール

1-2 単材加工

(1) ガス切断技術の向上と可搬式自動・半自動切断機の導入

現状工作機械に頼っている開先加工は、ガス切断で大多数のものを加工するように方針変更すべきである。

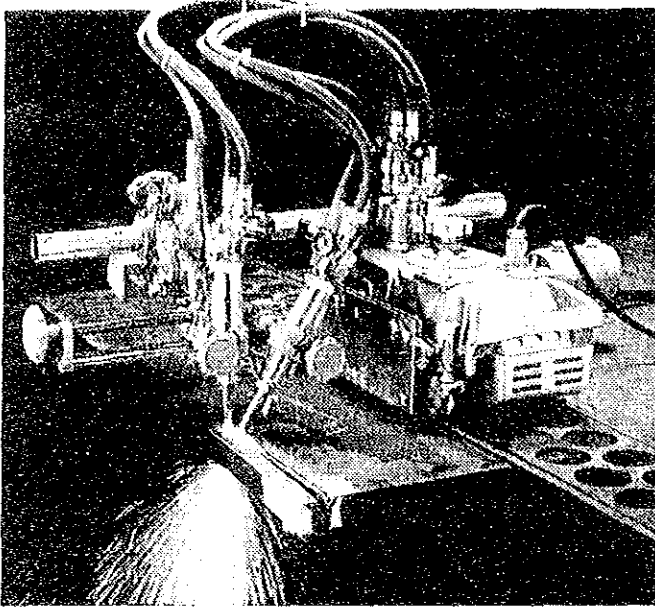
競合他社に対してコスト及び加工期間面で競争力をつけ、少しでも優位に立とうとするなら、開先加工はガス切断に切替えることが必要であり、単材加工工程近代化の第一の課題であるといえる。そのためにはガス切断技術の確立が必須となるが、切断技術は作業者の個人的技量、すなわち熟練作業であるということで、従来は切断機を開発する部門は別としてほとんどエンジニアが介入しなかった。そのためかガス切断はNC切断機等ハード面は急速の進歩を遂げたが、ソフト、すなわち切断技術そのものは旧態依然となっているものが多い。例にもれず蘭州石油化工機器廠も単材加工工程のエンジニアは一人もいない。

平面切断のみならず立体面（三次元）切断のハード及びソフトの開発、さらには切断精度向上のためにもエンジニアを投入し技術の向上を図るべきである。技術力向上のためには手っ取り早い方法として、技術の進んだ他社（中国国内になれば国外をも対象とする）で実習することを提案する。

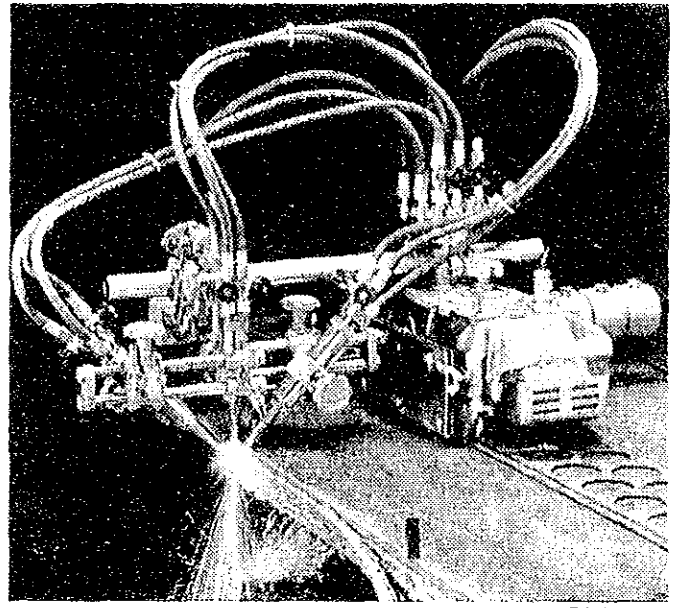
エンジニアあるいは作業員が自分のところより技術的に進んでいる会社で実習するということは、単に技術を習得するにとどまらず、彼等にとってはすべての面で刺激になり、帰社してからの行動に必ずや期待が持てるものである。

ガス切断の精度面は整備された切断機と技術が伴えば、機械加工に劣らない（製缶作業には十分な）形状を得ることが出来るし、コストおよび日程面に至っては雲泥の差が出てくる。

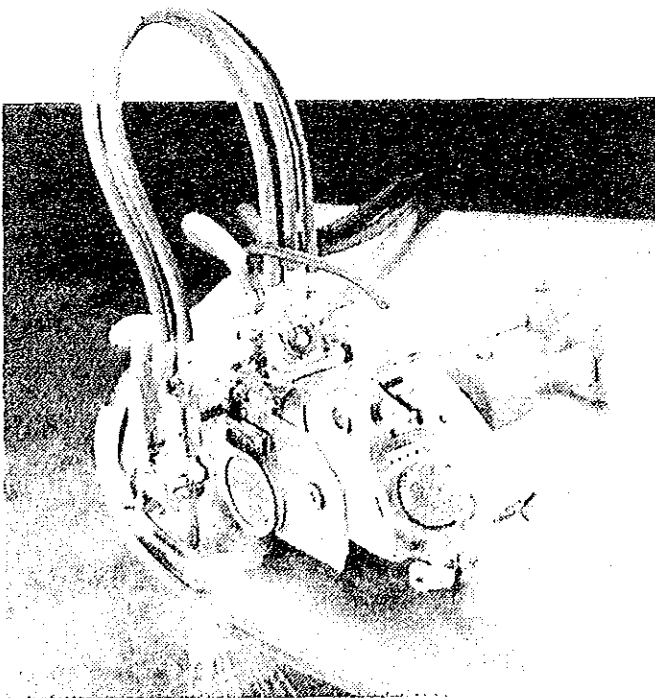
蘭州石油化工機器廠は数値制御切断機（ガントリータイプ、6本トーチ）を所有しているが稼働率が非常に低い。このような機械は大板で、かつ切断形状が複雑で、ある程度大量に流れる時に能力を発揮するが、一般的には機動力に欠けるので、なかなか稼働率があがらない。したがってその対策として機動力のある可搬式自動・半自動切断機の導入を推奨する。次ページにその代表的な切断機の写真を示す。



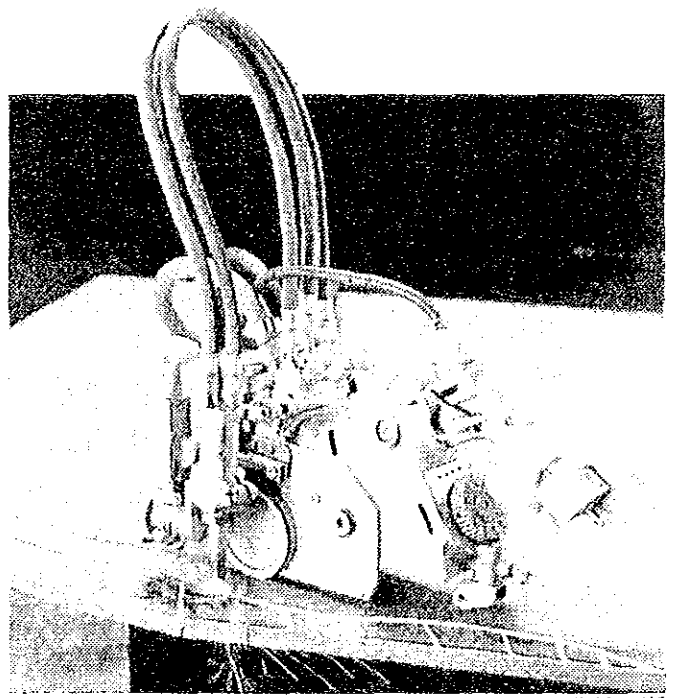
Y開先切断



X開先切断



円弧切断



曲線切断

図VI-1-2-1

(2) 寸法精度向上

現在単材加工工程を担当するエンジニアは一人もいない。専任のエンジニアを投入して寸法精度管理グループ等を設け、現状把握、問題点の摘出、改善目標の設定、挑戦、及び分析を繰返して寸法精度向上を目指す必要がある。

この運動を成功させる一つの鍵は、作業員全員に単材加工工程における寸法精度の重要性を認識させることと、全員を巻き込んだ運動にすることである。具体的な推進方法については2-5 品質管理を参照されたい。

(3) 罫書場所と切断場所を一緒にする

現状罫書完了した鋼板を罫書場所からいちいち切断定盤へ移動して切断しており、ハンドリングの無駄が生じている。可能なかぎり移動回数、移動距離を少なくすることが、生産性向上の一つの要因である。この意味においても罫書場所と切断場所を区別することは止めて、同じ場所で作業するようにレイアウトを変更すべきである。

このレイアウトを採用すれば、現状の罫書と切断の両作業エリアよりかなり少ないエリアで十分現状と同量の仕事を消化できるようになる。したがって生産量増大計画に対する場所の手当てにもなる。また、現在罫書は床に直置きしているが、これも一挙に解決することになる。

(4) ガス切断定盤のレベル向上

切断定盤は単に切断せんがための鋼板支持台ではない。H形鋼を床にただ配列するだけでなく、レベル出しを実施すべきである。10mm以内が望ましい。また、長期間使用していると切断屑の付着や地盤沈下等でレベルが変化するので、定期的なチェックとレベル再調整が必要になる。

(5) 基準線の罫書範囲

圧力容器胴板の単材工程における罫書は、基準線と切断線は勿論のこと後工程で必要となるノズル位置、トレイサポートリング等付着品の取付け位置も含めることを提案する。

なお、この方法は単材加工工程、塑性加工工程、及び組立工程の品質がある程度安定しないと、せっかく単材加工工程で罫書いても、後工程で狂いが生じて再罫書きとなる

ので、実施時期は品質の安定具合を見定めてから決定する必要がある。

また、ノズルの切断時期についても、組立工程で詳しく述べるが、可能な限り単材加工工程で切断することを推奨する。これらが実現出来れば工数削減、日程短縮が必ず達成できるので、是非挑戦すべきである。

(6) 円筒胴の周開先加工時期と方法

現状円筒胴の開先は縦継手溶接後真円修正してから円筒で加工しているが、平板で加工することを推奨する。

円筒で加工するより平板で加工する方が、真円度を気にせずに加工できるので加工が容易で、加工費も少なくすむし、加工ステップ、移動回数も減りすべての面で有利となる。特に開先を機械加工でなく、ガス切断で加工するようになれば平板で加工する方が一段とメリットが出てくる。

1-3 塑性加工

(1) 油圧プレスのお漏れ対策

プレスのお漏れはプレス本体は勿論のこと金型、さらには製品にまで油が付着するし、作業場も汚れ安全上も好ましくない。製品に油が付着すると、後工程で必ず除去しなければならず、後工程に迷惑をかけるとともに無駄な費用の発生にもつながるので、プレスのお漏れを防止すべきである。

たとえ加工中の製品であっても、すべて客先から預っている大切な品物であり、汚さず、傷付けず、大切に扱うよう心掛けるべきである。製品を床に直置きして傷を付けたり、油を付けることは論外である。このような考え方が塑性加工のみならず、すべての工程に浸透すれば、良い品質につながり、客先の評価も上がり競争力の源になることは間違いない。

このような考えからもメンテナンスを確実に実施し、油漏れを防止する必要がある。どうしても油漏れを防止できない場合は、漏れ部にオイルパン等を設け回収再利用するなど工夫し、とにかく製品及び作業場に油が付着しないようにすることが肝腎である。

(2) フランジングマシン（スピニング加工）(Flanging Machine) (Spinning) の導入

鏡を成形する機械は能力的及び台数的に必要十分であるが、中長期的には圧力容器製作日程の短縮、コスト低減、それにプレスではしわが発生して加工が困難な鏡等種々な形状の楕円あるいは皿形鏡を、いちいち金型を用意せずに成形出来るフランジングマシンの導入を推奨する。これが実現すればプレス金型の削減にもつながり、さらには場所の有効活用（生産の場として使用する）に発展する。フランジングマシンの概略を次頁に紹介する。

しかし、この機械は一般的には稼働率がそれほど高くない上に、技術的にも熟練を要するので、自社で所有するのは余り得策ではない。日本では鏡専門メーカー数社がフランジングマシンを所有しており、圧力容器メーカー各社の鏡を一手に加工している。

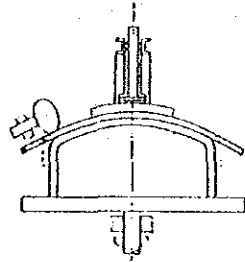
(3) プレス金型保管方法の改善

大小合せて約20台の塑性加工機械があり、そのプレス金型として約1,600セットも所有しているが、全数工場に保管しており、その占有面積が莫大である。

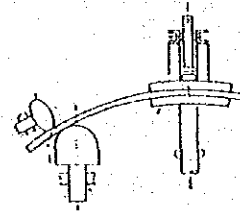
フランジングマシン

(スピニング加工)

スピニング加工は回転する心型に、円形に切断された素材を圧着固定し、これにロールを押し付けつつ送りをかけて、心型の形状になるように成形する方法（図VI-1-3-1）で、小形の薄い板の場合はろくろなどを使用して古くから行われていた。製品の径が大きくなると心型に絵型を使用するのは製作費がかかり、また、径の異なるものの成形ができないので、心型の代わりにロールを当て、素材を内外面からはさむ方式（図VI-1-3-2）がとられるようになった。球面状に加工された素材の中心部を回転主軸に固定し、鏡内面の小半径部にあたる位置に、これと等しい曲率を有するロールを固定する。鏡板の中心を保持し回転させ、鏡板外側のロールを周縁にしわが発生しないよう徐々に押し付け送りをかけて成形する。

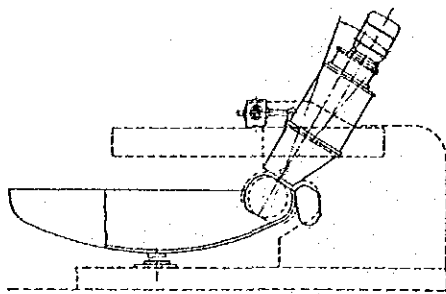


図VI-1-3-1

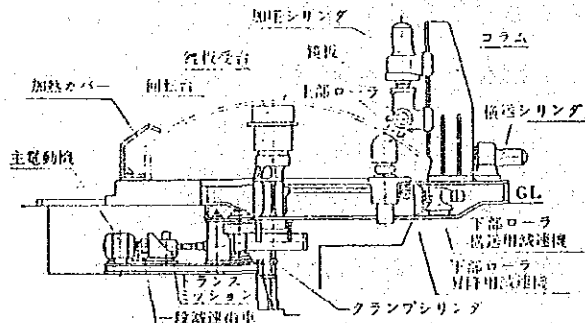


図VI 1-3-2

図VI-1-3-3に小型冷間加工用フランジングマシンの、図VI-1-3-4に大型で冷間は勿論のこと熱間でも加工できるフランジングマシンの代表的な構造図を示す。



図VI-1-3-3



図VI-1-3-4

作業場所を狭くし、作業環境を悪くしているで保管方法、保管場所について改善することが、塑性加工工程近代化の一つの課題である。

改善案として次のことを提案する。

- 1) 一度全数見直しし、今後使用する予定のないものは処分する。
- 2) 必要なものは台帳を作り、種類、使用頻度等で保管場所を区別し、保管する。
- 3) 工場内は作業場として有効に使用したいので、工場内保管は最少限にし、可能なかぎり屋外保管とする。
- 4) 金型といえども風雨にさらされるのは芳しくないので、できれば蛇腹ハウス等簡単な保管建屋を設置して、その中に保管する。

なお、屋外保管した場合、プレス工程に合わせて金型を敏速に搬入・搬出できるような運搬体制が確立されていないと、プレスに待ち時間が生じたり、せっかく工場内を整理整頓し生産の場所を広くしたにもかかわらず、金型を工場内に置きっぱなしにしていると元のもくあみになってしまうので、運搬体制の改善が必須となる。

この運搬体制の改善は金型の搬入・搬出だけでなく、材料、部品あるいは半製品等資材管理の近代化にとって重要な改革であり、是非実現させたい改革である。

(4) 寸法精度向上

塑性加工の寸法精度は、作業者の技量に負うところが多いのは確かであるがそれだからといって精度管理は作業者任せにしているのは、精度向上は望むべくもない。

主な項目についてはエンジニアが関与し、品質管理の基本であるP D C A (Plan-Do-Check-Action) サークルを確実に回して、常に具体的な実測データをもとに地道に、また忍耐強く寸法精度管理及び寸法精度向上を推進すべきである。

前にも述べたが、とにかく塑性加工はその精度が圧力容器全体の寸法精度を左右するといっても過言でないほど重要な工程であるので、このことを十分認識した上でことに当たらなければならない。

塑性加工においては次のような項目がしばしば問題になるので、その品質が安定するまでエンジニアが中心になり、T Q C手法を駆使して寸法精度向上運動を展開し、最終的には加工基準を作り上げる必要がある。

- 1) 円筒胴縦継手開先を平板で加工するときの開先角度調整基準

現状と問題点で述べたように平板で図面どおり開先を加工すると、ロール曲げ後開先合せした開先は角度が必ず狂ってくる。端曲げ加工形状によって違いが出てくるが、一般的には外面開先が大きく、内面開先が小さくなる。厚板・小径になるとその傾向が大きくなり公差を逸脱することが多くなる。

したがって、公差を逸脱しないようにするには平板で加工するときの開先角度をある程度調整する必要があるが生じてくる。厚板と曲げ径のパラメータで、平板で加工するときの開先角度調整基準を作るべきである。

2) 円筒胴端曲げ代

薄板・大径の場合は端曲げ代を付けずに曲げ加工しても、上記のような処置を施せばトラブルが生じないが、厚板・小径になると端曲げ代を付けないと開先角度が悪くなるだけでなく、開先部の丸さ形状が極端に悪くなり、要求された真円度を確保できなくなる。

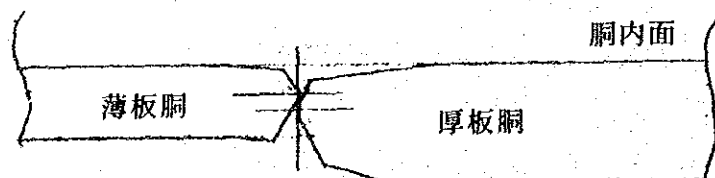
したがって、この場合も板厚と曲げ径のパラメータで端曲げ代（切捨代）の基準を作る必要がある。端曲げ代を付けた場合、端曲げ後端曲げ代を切捨てるとともに開先加工を施し、その後でロール曲げを実施することになる。

3) 円筒胴曲げ加工による伸び

これも薄板・大径の場合は、伸びを考慮せずに平板展開長を決定しても周長公差が特別にうるさくないかぎり問題にならないが、厚板・小径になると伸びが大きくなり、トラブルに進展することがある。上記2項目と同様に板厚、曲げ径等をパラメータにして基準を作らなければならない。

また、次のような現象も見逃してはならない。

円筒胴曲げを行うと周開先部の周長が胴中心部の周長より必ず大きくなる。同じ板厚の胴同志を連胴にするときは、周継手部内面が少し凹むが品質上特に問題にならない。しかし、板厚の違う胴の場合は周開先部周長の大きくなる度合いが違うので、開先合せすると下図のように目違いが生じるし、鏡と溶接される胴の場合は鏡の周開先を図面寸法どおりに加工すると、目違いが大きすぎ、かつ開先リップが合わずに不合格になることがあるので注意を要する。



(5) 円筒胴ロール曲げ後の開先合せ（板付け）時期・方法の改善

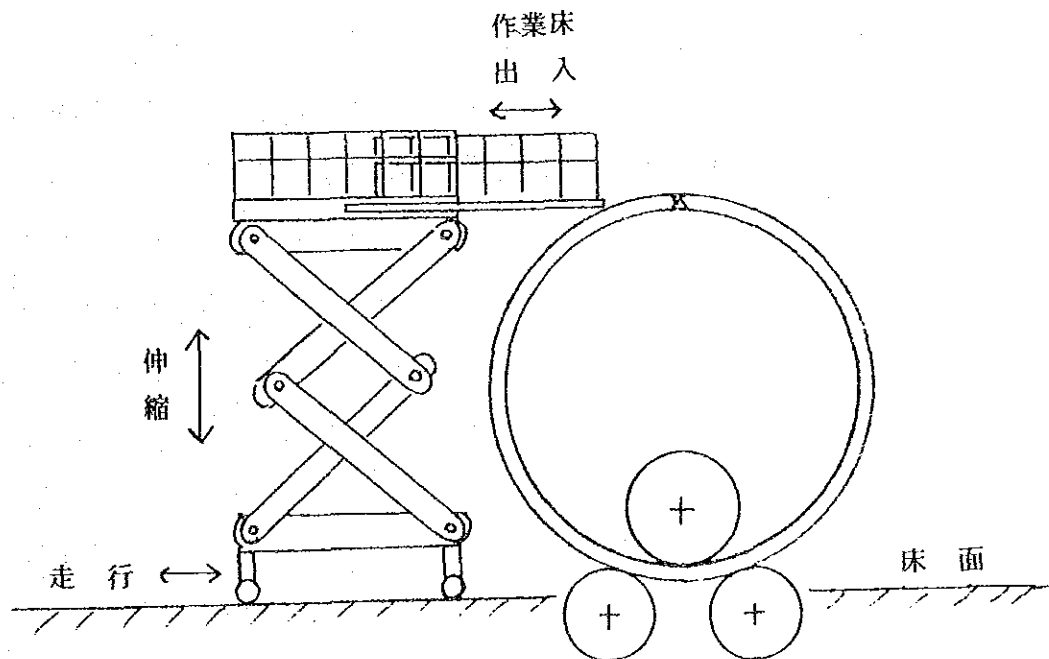
円筒胴をロール曲げ後ロールから下ろさずに、そのままロール上で開先合せを行う技術確立し、溶接組の助けを借りずにロール作業者が自分自身で開先合せを行い、仮付まで実施すべきである。

ロールから下ろして次工程（組立）で開先合せする方法は、ベンディングロールの仕事が大量にあり、ベンディングロールが日程的にネックマシンとなっている場合はやむを得ないが、そうでなければ総合的に考えればロール上で開先合せを実施する方が数段有利である。

開先合せ、すなわち仮付溶接の方向は内面と外面の2通りが考えられるが、一般的には大径（2.5m～3m以上）は内面、それ以下の小径は外面仮付が採用されている。

内面仮付の場合は、曲げ終わった単胴の内面に入って作業することになるので特別な対策を講じなくとも作業できるが、外面仮付の場合は単胴の上で作業することになり、なんらかの対策を講じないと危険が伴ない、安全面でも品質面でも問題がある。

図VI-1-3-5にその対策としての移動式伸縮作業架台の概念図を紹介する。



図VI-1-3-5 ベンディングロール用移動式伸縮架台概念図

(6) 熱間加工の酸化スケールによる傷防止

熱間加工は鋼板を約900℃に加熱して加工するので、加熱の際に発生した酸化スケール(Scale)を曲げ加工時に巻き込み傷が付きやすい。鋼板を加熱する前に酸化スケール防止剤を塗布して、スケール発生を極力抑え、傷を付けないように改善する必要がある。

加熱前に鋼板をサンドブラストで錆を落とすとともにアンカーパターン(Anchor Pattern)をつくり、その後で酸化スケール防止剤を塗布すればスケール発生を防止でき、ロール加工、あるいはプレス加工でスケールを巻き込むことが少なくなり、飛躍的に表面状態が良くなる。ただし、加熱中に異物が鋼板上に乗っかっていることもあるし、また、加工するとわずかではあるがスケールが剥離するので加工途中で適時エアブロー(Air blow)で異物、スケールを除去する必要がある。また、曲げ加工完了後、再度サンドブラストで酸化スケール防止剤及び付着しているスケールを除去しなければならないことはいうまでもない。

(7) 設備のレイアウト改善

プレス・ベンディングロールのレイアウトが悪く、材料及び半製品の流れを阻害しているとともに、デッドスペース(Dead Space)が多く非常に無駄を感じる。これらの設備は棟が違ったり、遠く離れた位置に設置されているので、その機械毎に加熱炉を併設せざるをえず加熱炉のレイアウト、および基数にも影響を及ぼしている。

このような設備は簡単には移設できないので、すぐに解決できる問題ではないが近代化達成10年後工場全体のレイアウトを見直す機会に検討すべきである。

1-4 機械加工

1-4-1 スローアウェイ チップ (Throw-away Tip)

(1) 中国では、バイト (Bite) にしてもカッター (Cutter) にしてもチップは、ろう付けタイプを使用しているが、これをスローアウェイタイプに移行していくのが望ましい。スローアウェイ チップというのは図VI-1-4-1~2に示すように3角形又は4角形の1枚のチップに6個ないし8個の研磨された切刃を有し、これをクランプ (Cramp) 又はピン (Pin) によりホルダー (Holder) に締付け、機械加工により刃先が、摩耗、破損すると次々に切刃を交替し、最後にはチップを捨てるものである。

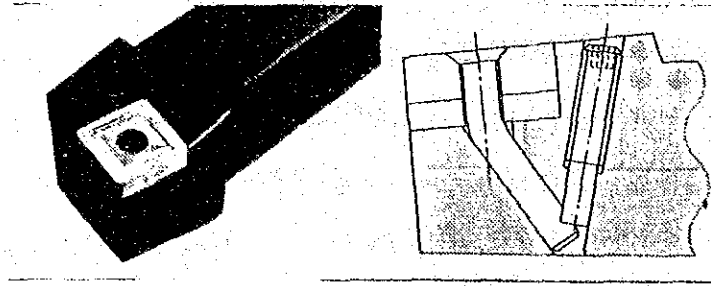
スローアウェイ チップの利点は

- 1) 再研磨は不要 …… 再研削設備不要、砥石不要
- 2) バイト、カッターは機械に装着されたままで新刃に交換できる …… 取外し、取付けや機械の待ち時間が減少し機械稼働率が向上。
- 3) 工具寿命が向上する …… 工具費減少。
- 4) 工具量が減少できる …… 保管場所面積縮小、工具管理容易。

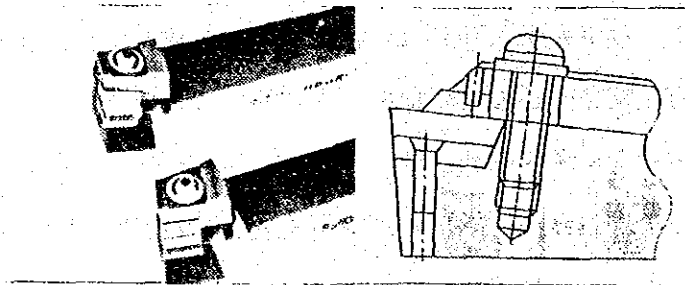
である。これ等の点で経済性を比較すると、ろう付け型に比べ、格段に優れているといえる。

(2) 次に入手の問題であるが、中国国内の工具製造会社からスローアウェイ チップを購入するのが難かしいとなると輸入品に頼らざるを得ないわけである。日本の工具製造業社が1987年にスローアウェイ チップを輸出した実績を図VI-1-4-3に示す。中国にもわずかに輸出していることが分る。

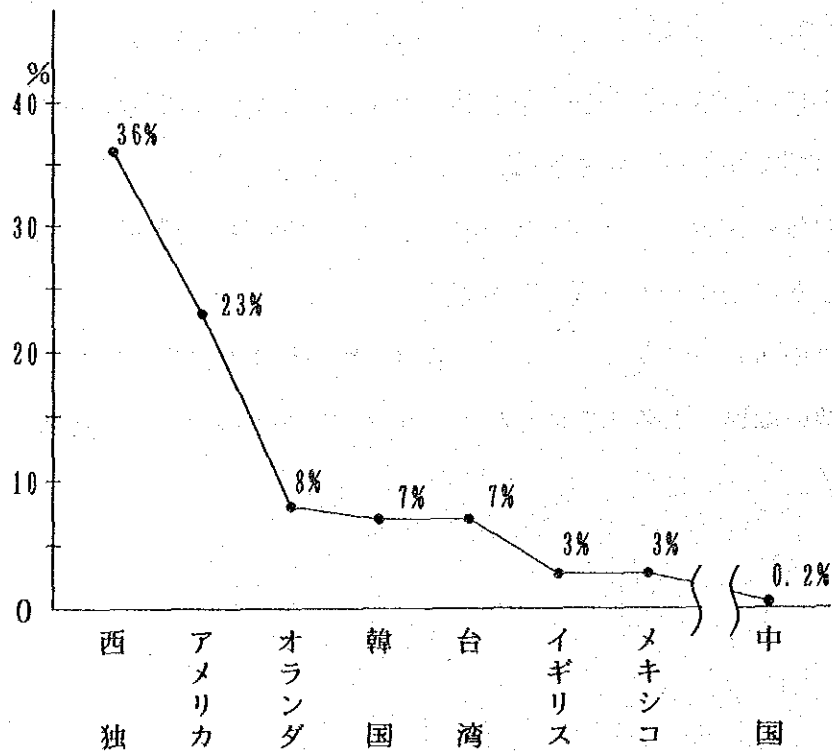
(3) 日本でのスローアウェイ チップの普及率が現在90%程度であることから中国の普及も時間の問題であると考えられる。参考に日本でのチップ材質別生産実績を附表一(1)に示す。



図VI-1-4-1 ピン式スローアウェイ バイト



図VI-1-4-2 クランプ式スローアウェイ バイト



図VI-1-4-3 1987年スローアウェイ チップ輸出国実績

1-4-2 ノズルフランジ(Nozzle Flange)のねじ加工

(1) 蘭州石油化工機器廠での問題点の一つに、ノズルフランジの植込みボルトのねじ加工があげられる。ねじ切りをタップにて加工する際、切粉の排出がうまくいかず、タップとねじ面の間に切粉がはさまり、粗い面になったり、刃先が欠けたりし、悪い場合にはタップがねじ面に喰い込み取外せなくなることもある。この傾向は大径ねじになるにつれ多く発生する。タップを手作業で廻す場合には加工中の負荷変動を感知し、逆転させ切粉を排除した後再び加工に入ることができるためトラブルを回避できる。

ところが大径(50φ以上)になると手動では加工できず、ボール盤等の機械に装着し加工するが、機械では手動のように微妙な負荷変動を感知し止めたり逆転したりすることができず、機械力が勝るため強引に加工をすることで上記のような現象が発生する。このため、タップと機械のスピンドルの間に過負荷検知装置を入れたりする場合もあるが、すぐに過負荷で止まり能率面で問題が残る。

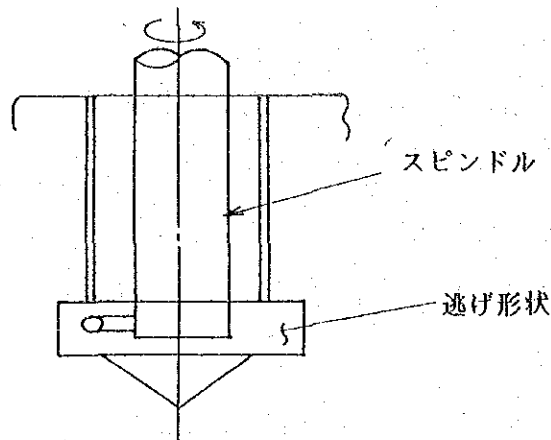
(2) この問題を根本的に解決する方法として、数値制御(NC)中ぐり盤による1本バイトのネジ切り加工を提案する。

1本バイトのネジ切り加工の利点は

- 1) タップと異なり、中ぐり加工を行うと同じで切粉の排出はスムーズであり、回転と送りを同期させることにより、ピッチ精度の良い加工ができる。
- 2) バイトは、総型バイトとし、切削速度を変化させることで要求の面粗さを出すことが可能となる。
- 3) タップは、荒、中、仕上げと少なくとも3工程でネジを切るが、これが1工程でできる。

ことである。一方、1本バイトの問題点は、

- 1) タップとは異なり高速でバイトが回転するため、ネジ加工終了後止めても、送りは急停止するがスピンドルは、慣性で回転するためそのショックでチップが欠けることである。このため底部の逃げ形状を図VI-1-4-4のごとくする必要がある。



図VI-1-4-4 バイト加工によるネジ穴形状

- 2) 設備的な問題はNC付中ぐり盤の設置と刃先の形状精度の良い総型バイトの入手である。これらはいずれにしても解決しなければならない。

1-4-3 管板穴明加工

- (1) 蘭州石油化工機器廠は熱交換器の生産量が高く、このため管板の加工、とりわけ穴明け加工が多い。

現状での管板の穴明け加工は、基準となるゲージプレート (gauge Plate) を製作し、このゲージプレートに合わせて穴の位置決めを行っている。したがって穴の位置精度はゲージプレートに依存しており、そのため精度が要求される。ゲージプレートは現在、野書に合わせて機械加工しており、必ずしも高精度のものといえない。

- (2) そこで、数値制御 (NC) ボール盤の使用が、精度面、能率面で有効である。

NC ボール盤の使用方法は、

- 1) ゲージプレート製作に使用する。
- 2) 位置決め加工のみ行って、他の機械で残加工を行う。NC機の使用率を上げる。
- 3) NC機で初めから最終加工まで行う。

と幾種類か考えられる。

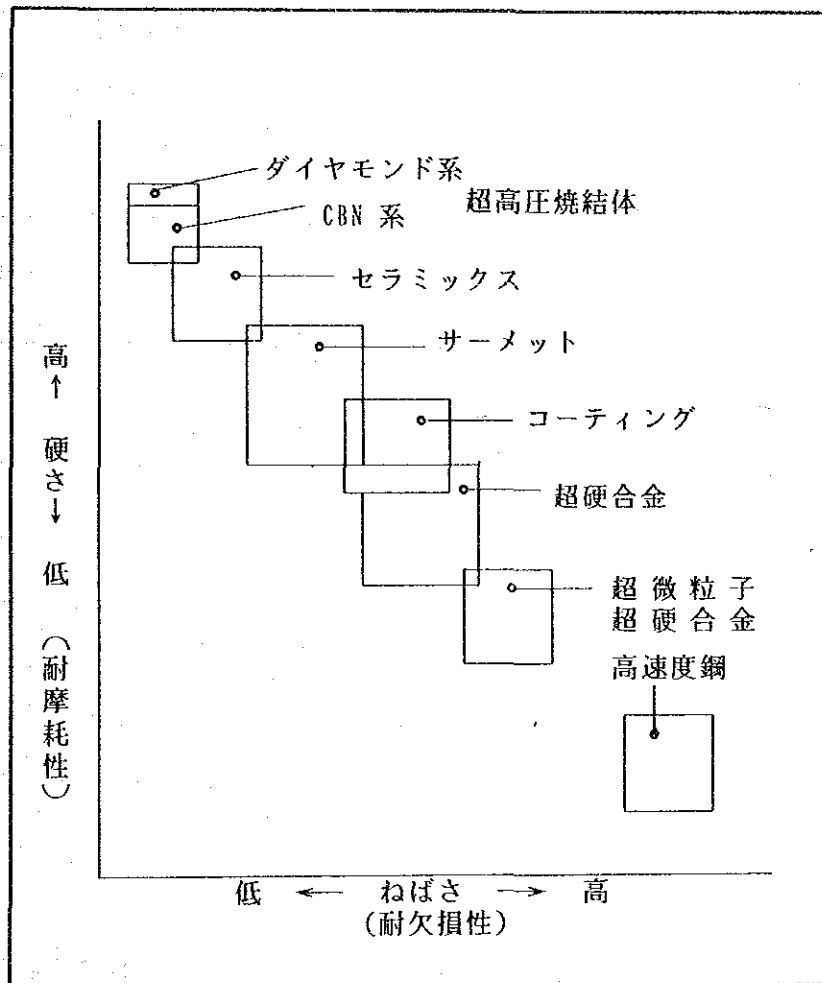
附表- (I) 日本でのチップ材質別生産実績

現在、日本で切削工具のチップ材として使用されているものを区分すると

- a) 炭化タングステン(WC)系超硬合金(Tungsten)
- b) 窒化チタン(Tin)系コーティング(Coating)
- c) 炭化チタン(Tic)、窒化チタン(Tin)系サーメット
- d) 窒化ケイ素(Sin)系セラミックス
- e) 立方晶窒化ほう素(CBN)系、超高压焼結体

等に分類される。

これらの材質の特性比較をしたのが図VI-1-4-5である。



図VI-1-4-5 チップ材質の特性比較

日本での生産実績を材質別に表わすと表VI-1-4-6となる。

表VI-1-4-6 日本でのチップ生産実績 (1987年)

チップ材質	生産量 (%)
超硬合金	37
コーティング	36
サーメット	22
セラミックス	5
超高圧焼結体	—
計	100

1-5 組立

1-5-1 組立全般

(1) 前準備

- 1) 組立工程には部材、部品が前工程から送られてくるが、当日組立てるだけの物量が組立て場所に準備されている状態が理想的である。しかし、そこまでたどりつくには並大抵のシステムの改善では実現できないし、長期間の試行錯誤が必要となるが、それにも増して管理監督者を含む全従業員の意識改革が重要である。意識改革についてはいろいろな機会に述べているのでここでは割愛するが、とにかく工場内に置いておく物量を可能なかぎり少なくすることが生産工程近代化の第一歩となる。

また、小物部品の保管についてはパレットなどを使用して仕分けするとともに、保護すべきものは保護し、いざ使用する時にトラブルのないように管理する必要がある。パレットは運搬の合理化にもつながるので、早急に改善したい項目の一つである。論ずるまでもなくパレットのみならずあらゆる物は直角・平行に配置することが整理・整頓の基本である。

- 2) 組立工程に送られた部材、部品は合格品でなければならないことは当然であるが、現実にそれが守られていないなら自衛手段として、事前に自分達で品質をチェックし、不合格品は前工程へ返品し修正させるべきである。自分で加工した物を他人からクレームをつけられて面白いと感じる人は一人もいないはずである。したがって、以降は改善されて合格品が入荷するようになることが期待できる。

とにかく入荷した部材、部品が図面どうりの合格品でなければ、前工程へ戻し修正させるよう徹底させるべきであるし、後工程はすべてお客様であるという思想を全員に浸透させなければならない。

(2) 基準線の考え方

現状基準線は野書かれているものの、ほとんど無視されており基準線として活用されていない。圧力容器の寸法精度管理には単材野書き時の基準線を組立てから溶接完了まで生かし続け、切断精度、組立精度及び溶接変形等についての寸法のすべての基準として活用し、ステップごとの寸法管理を確実に実行することが必要である。

そのためには、まず寸法精度管理の基準線の重要性を工場としてしっかりと位置付け

関係者に徹底させることが要求される。すなわち基準線の罫書き位置、表示方法及びポンチ (Punch Mark) の打刻要領等を統一し、誰が見ても基準線であることが容易に確認できるように基準線罫書き標準要領書 (仮称) を作成し、関係者全員に徹底させなければならない。

(3) 生産性フロー、作業ステージの改善

単材工程、塑性加工工程及び熱処理工程を除いては、現状生産フローは基本的には機種別、棟別になっているが、下記の半製品については専用の作業ステージを設け、固有技術・技能を最大限に生かし生産性を高めたい。

これらの半製品は機種によって製品の大きさ、形状、材質等が異なるが、共有技術としてまとめて専門化し、各機種について横断的に半製品化するステージを設けることを提案する。

- 1) 鏡 (ノズル、ラグ等付着品の取付けを含む)
- 2) 単胴
- 2) スカート、サドル類
- 4) ノズル単品等小物部品

生産ラインを上記のような単品部品、単品ブロック製作ラインと、大組立てラインに分けて、それぞれのラインがより効率的に高品質の製品を生産するようにしたい。大組立てラインは単品部品、単品ブロックの供給を受けて効率よく敏速な流れに変える。一方単品ブロック製作ラインは固有技術・技能の蓄積を生かして、品質レベルの高い製品を製作し大組立てラインへ供給する。

(4) 胴のノズル穴加工時期の変更

現状は連胴後 (2～3 連胴あるいは最終連胴) 罫書、切断を実施しているがⅡ-1-2 単材加工で述べたように平板で加工する加工方法の確立を推奨する。

この方法が確立できれば日程短縮並びにコストの低減が期待できる。勿論すべてのノズル穴が平板で加工できるわけでない。胴内径、ノズル穴径、それに胴板端面からのノズル位置等によっては平板で穴を明けていると、曲げ加工時穴近傍が変形し、後工程でトラブルの元となる。したがって、それらを勘案し、平板で加工する穴、連胴にしてか

ら加工する穴等を区分けしなければならず、経験と理論でまずは基準を作る必要がある。その後実施に移し不具合があればその都度基準を修正しグレードアップしていくことが大切である。

(5) 溶接部のグラインダー仕上げは溶接した本人に実施させる

特別な要求がありグラインダー仕上げする場合を除き、溶接部をグラインダー仕上げするということは、溶接部に欠陥があり補修しているに等しく、工数面で余計な費用が発生するだけでなく、品質面で見掛けは良くなっても決して良好な状態とはいえない。グラインダー仕上げする必要のないビード形状に早く溶接できるよう個々人の技能をアップさせる必要がある。

現在取付組の作業員が溶接部のグラインダー仕上げを実施しているが、溶接した本人に実施させるようにしないと溶接の技量がなかなか上がり、ビード形状が良くならない。溶接した本人にグラインダー仕上げまで責任を持って実施させれば、グラインダー作業は作業員にとって苦痛で嫌な作業の一つであるから、グラインダーをかけなくてもよいビード形状に溶接するよう自然に自覚が出てきて、徐々にではあるがビード形状が良くなるものである。勿論、教育・訓練も並行して実施する必要があることは論ずるまでもない。

また、グラインダー仕上げしなくてもよいビード形状の見本を作製しておくことも必要である。

(6) 自主検査

品質管理についてはⅡ-2-5で詳述するが、ここでは寸法・外観に関する装配工段の自主検査について簡単に紹介する。

品質を安定させるには各々の生産工程の中で品質を作り込むことが基本である。すなわち、各作業工程で作業員自ら品質をチェックし責任をもって良い品物を次の工程へ送り込む、あるいは前工程から送り込まれた部材及び部品等の事前チェックを実施するシステムが確立されていないとなかなか品質は安定しない。

このチェック作業を自主検査と称し、当然あらゆる工程、作業員一人一人にこの思想を浸透させることが大切であるが、工段の中にあっては取付組が主導権をもって推進すべきである。勿論、従来どうり主要な部分あるいは客先に対する正式な検査業務は検査

課が担当することには変わりはない。

(7) 作業員の教育指導

組立て作業は先にも述べたがその主たるものは、溶接せんがための補助作業であり、部材及び部品の形が完全であれば、その組立て作業は運搬作業と仮付け作業のみでこと足りるのであって、いわゆる組立て作業の介入する余地はないはずである。

しかし、現実はそのような状態を達成することは不可能であり、組立て部材及び部品等に即応した技量が必ず要求されるので、溶接と違って系統だった教育訓練はなかなか困難である。

したがって、基本動作の教育のみで直ちに作業現場に配置し、後は現場において作業対象物の状況に即応した教育をすることが組立て作業員の教育指導の根本である。それゆえに組立て作業員の教育指導にとっては組長・班長が重要な役割を担っていることになる。

組長・班長は技量の第一人者であると同時に、作業員を教育指導するリーダーであるべきであり、その役割をはっきりと課すべきである。

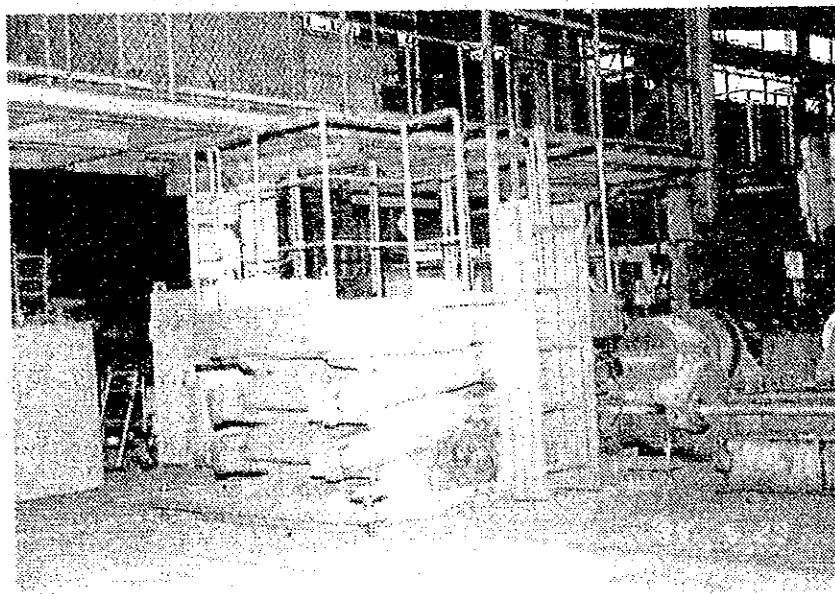
(8) 野書定盤及びレイアウトマシンの導入

2次野書も取付組が実施しているが、残念ながら機械加工用の野書とか、球面あるいは円筒面への、周長でなく弦長寸法で野書かなければならないときに主として使用する精密野書定盤がない。高品質の熱交換器や各種圧力容器を製作していくには無くてはならない設備の一つである。8 m × 8 m程度の大きさの精密野書定盤と、定盤上での野書作業には必要不可欠のレイアウトマシンを導入することを推奨する。

この野書定盤の平坦度は 0.5 mm以下が望ましいし、定期的（1回／年）に平坦度を測定して基準値より悪くなっている場合は、修正し常に正常な状態を維持しなければならない。

(9) 高所作業足場の紹介

高さ方向に伸縮自在の高所作業足場を紹介するので採用を検討されたい。



図VI-1-5-1 高所作業足場

1-5-2 熱交換器の組立

(1) チューブ管端部の磨き

- 1) 磨き長さを揃えるには、単に作業員に対して磨き長さを揃えろという指示を出すだけでは、簡単には改善されないだろう。作業員の誰がやってもそれほど神経を使わずに容易に磨き長さが一定になるよう、磨き工具等に工夫をこらすべきである。この程度の作業は作業員レベルが高ければ、作業員自から工夫すべきものであるが、作業員がその都度作業方法をあれこれ考えなくても、確実に、速く、安全に、かつ楽に作業できるように、管理監督者あるいは工芸課で工夫して指示すべきである。

例えば、磨き工具にストッパーを設け、必要な長さのところまで挿入すれば磨き工具がそれ以上奥へ入らないようにする等の工夫が必要である。

- 2) 磨きは挿入日程に合わせて、可能な限り挿入直前に実施すべきであり、早くても2～3日前、理想は前日である。磨き終わったチューブを長期間保管し、ホコリ、ゴミ等の付着、特に錆びを新たに発生させてはならない。もしこのような現象が発生すると、挿入直前に再度磨かなければならず無駄な作業となる。また、そのまま挿入することは品質上絶対に許されるものでない。

(2) 管束（Uチューブ）組立

- 1) 必ず管板とパッフルプレート相互の通り芯を出してから組立てること。芯が出ていないと挿入に苦勞するし、無理やり挿入することになるので、チューブに傷を付けることになり品質も芳しくない。そのためには芯出し用の治具を考案することを提案したい。同時に作業姿勢も考慮し、楽に、無理なく作業できるようにすべきである。
- 2) 1-3-1 (6)項で述べたように、組立て前の各部材は取付組が事前にチェックし、不具合箇所の有るものは前工程へ返品し、図面通りの品質に修正させるべきである。これを実行しないと、部材そのものの品質がいつまでたっても良くならないし、それにも増して完成品の品質に悪影響を及ぼすことになる。すなわち、各々の工程で品質を作り込まないと、完成品の品質はおぼつかないことになる。また、この考え方を導入しないと組立てが常に苦勞するし、組立て工数の低減もできず、総合的に考えればマイナス要因が大きい。

(3) 拡管

1) 小形軽量拡管機の導入と位置決め治具が必要である。図VI-1-5-2に示すような簡単な治具を使用するだけで、拡管機を容易に所定の位置に移動することができるので、拡管機の芯出しも容易になり、拡管順序も抵抗なく基準どおり施工できるようになる。

また、熱交換機本体を移動することなく、チューブの挿入を完了しだい、直ちに同じ場所で治具を設置し拡管作業に入れるので、移動による無駄な工数が省ける。

さらに、この位置決め治具は、管-管板の溶接に自動TIG溶接機を採用すればそのまま利用できるので一挙両得である。

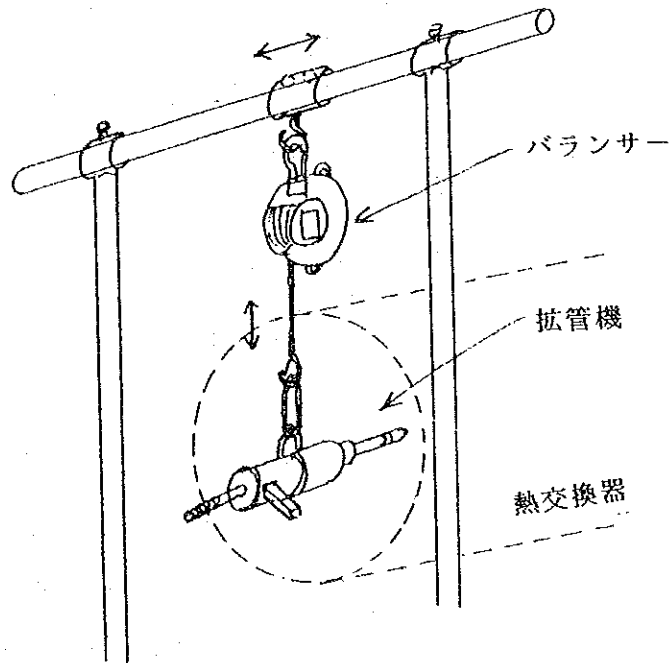


図 VI-1-5-2 拡管機位置決め治具

2) チューブの突出し長さは必ず両端とも一定の長さに揃えてから拡管しなければならない。最初片端の突出し長さを揃えてチューブを挿入し、突出し長さを揃えた側を拡管・溶接する。次に反対側の突出し長さを機械加工で一定の長さに揃えてから拡管・溶接する。

チューブ突出し長さを揃えるための管端部機械加工用専用機械の採用を提案する。詳細はVI-1-4 機械加工を参照されたい。

3) 拡管は電圧一定のもとで電流で拡管率を制御し、安定した拡管を実施しないと熱交換器の品質は保証できない。

中国の電力事情による電圧の変動に対しては定電圧電源装置を採用することを提案する。

(4) フランジシール(Flange Seal)面の保護

機械加工面少なくともフランジシール面は、製作途上に異物や傷が付かないように、なんらかの保護をすべきである。特に、打傷、溶接のアークストライク(Arc Strike)及びスパッタ(spatter)等が付かないようにしなければならない。

(5) 管-管板の溶接

手溶接からTIG溶接に変更することを提案する。詳細はVI-1-6 溶接を参照されたい。

(6) ボルトの締付け

スパナを使って手あるいは手だけでは締め切れないときには、ハンマーでスパナを叩くなどしてボルトを締付けているが、次の理由からトルクレンチあるいはボルトテンショナーの採用を提案する。

- 1) 各ボルトを均一に締付ける。
- 2) 過荷重によるボルトの破損及びねじ部の損傷を防止する。
- 3) 作業能率の向上。

1-6 溶接工程の近代化

1-6-1 管 理

(1) 溶接の工程計画と実施状況の一致

溶接計画は工芸課にて実施しており、工作要領、溶接条件等についてはW P S 又は W I R で指示されている。

しかしながら現地での施工状況を見ると問題が多い。作業姿勢が悪かったり、足場の状況がよくなかったり、また溶接対称物の開先形状等である。計画の中に詳細な作業指示が記入してある指示書にしていく必要がある。詳細な作業指示については工芸課がリーダーシップをとり、作業を実施する工段長及び作業者の意見をとり入れてつくりあげていくことである。より楽に、よい品質の仕事をする為に計画の段階で知恵と経験を生かす集団になるべきである。すなわち作業一つ一つについて現状を考え、工夫の入った溶接計画をつくりあげる事である。また計画通り現場において実施できているかどうか監督し、指導する機能についても強化する必要がある。

本来この監督、指導の業務は溶接の組長、班長が実行するべきであると考え、専任スタッフを配置して工段長が指揮するのも一つの方法である。

(2) 溶接設備の整備

溶接機器については安全、品質面から整備された機器を工場に配置するという考え方を工場の中に浸透させること、またその組織・機能を持たすよう提案したい。

すなわち工場に配置してある溶接用機器のすべてが整備済みであり健全なものであるということである。

溶接機、電源、トランス、ターニングロール、ポジショナー等については点検責任部門、蘭州石油化工機器廠においては設備能源課にて確実に行うことである。特に自動溶接機については一台毎にカルテ（診断書）を作り、その機械の特性が分る様にし、作業する人に伝達することである。また機械の特性が良好であってもアークの状態、ビード形状等まで確認をしておく必要がある。その機能を持った溶接機器の専門家を養生していく必要がある。

機械装置の点検、電気計装品の点検、アーク状態の点検等が効率よく実施できることである。

設備、機械に異常が起った時に作業員からの素早い情報伝達の機能も重要となる。溶接士一人一人の教育も合わせて取り組むテーマである。

溶接機器メンテナンスセンターを設備能源課の中に設置し工段と協力体制を確立することを提案する。

(3) 溶接士の技量管理及び指導

手溶接であれ、自動溶接であれ、溶接品質のできばえについては溶接士一人一人の技量に負う所が大変多い。工場の溶接品質向上は溶接士の技量向上と一体である。

現在各工段における溶接の組長は20人～30人の溶接士に対して作業指示、監督を行っており、その管理スパンは広い。

圧力容器においては高い品質レベルの溶接を要求されるのでもう少し管理スパンを狭めて10人以内の溶接士に指示、指導が必要であると判断する。特に組長、班長については溶接の第一人者を配置し、作業員の信頼を得られる人でないと解決しにくいテーマである。前項で述べたとおり詳細な作業指示に基づいて確実に施工する体制を確立する必要がある。

組長、班長の教育が最重点課題であるが、教育を平行して進める必要があるとすれば各工段長の下に技量優秀で、指導力のある溶接指導員を配置して現場でのOJTを進めるのも良い方法である。

溶接士については個人別に技量レベルが分る様に管理・指導することも是非必要である。技量の評価基準は当工場にて決定すればよいことであるが、RTの成績、作業スピード、ビード形状、状況判断、仕事に対する熱意等であろう。半年毎に見直しを行い溶接士の技量向上のデータにできれば良い。

(4) 溶接作業場所の整理、整頓、清掃

溶接作業場所周辺を美しい環境に保つ運動を展開したいものである。良い仕事、良い溶接は美しい作業環境から生れるという認識である。溶接作業場所から不用不急の半製品、治具を取除くこと、溶接機の周辺には物を置かないこと。作業員の通路を確保すること、また溶接ケーブル、ホース等については床面直置き、とぐる巻き等はしないでラック(Rack)等の使用を直角、平行に布設すること等である。

溶接作業は粉塵、スラグ(Slag)等職場が汚れやすい作業である。溶接作業の前、後及び作業中の清掃を行う事により良い作業環境を保持する事が可能となる。作業場周辺の異常にいつも目を向けて美しい状況を保つことにより、溶接品質の向上につながると確信する。溶接開先の形状、開先内のごみ、ほこり、水、油等の不純物が入らないようにすることができる。

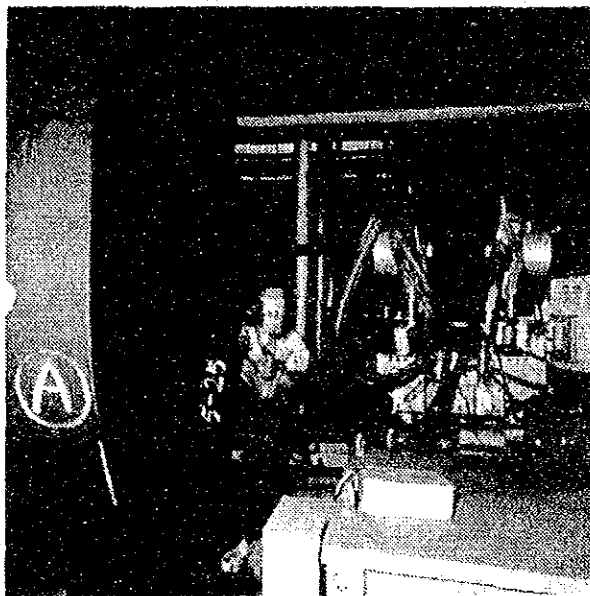
最終的には工場全域からごみ、ほこり等を一扫することである。

1-6-2 施工及び技術

(1) 溶接作業の位置及び姿勢

蘭州石油化工機器廠では手溶接を主体に溶接している。溶接の基本要素は安定した姿勢を維持することである。問題点で指摘したとおりかがみ込んだ姿勢であったり、また身体が伸びきった状態であったり良くない姿勢で作業している。

溶接対象物の位置と目の位置について配慮した作業計画作業段取りに目を向ける必要がある。置き方、反転、移動また作業用足場の布設をすると作業者が楽になり良い溶接が施工できる。作業者の姿勢についていつも関心を持ち、考えて工夫改善する習慣をつけたい。



図VI-1-6-1 正しい姿勢での溶接作業

(2) 仮止め溶接、裏はつり (Gouging)、タブ板溶接

仮止め溶接、裏はつり、タブ板溶接についてはそれぞれ本溶接前の準備作業における溶接にかかわる作業である。

仮止め溶接については本溶接の一部となるケースもあるし、また溶接対象物の寸法、形状を保持するための機能を有している。仮止め溶接についても本溶接と同様の管理をすることが望ましい。

仮止め溶接のピッチ、仮止め溶接長さ、層数、溶接位置等についてWIR（溶接指示書）等に正確に指示すべきである。

裏はつりについても形状の標準化を図りWIRに寸法、サイズを記載し管理項目にして正しく施工する。特に自動溶接SAW溶接については形状通り実施しないと溶接欠陥の原因になる。裏はつりについてはエアーガウジングとグラインダー作業との組合せで実施されるが現状ガウジング作業は溶接士、グラインダー作業は組立士が実施している。裏はつりの寸法精度の品質をキープするという点から考えると1人の作業者がガウジングとグラインダー作業を行う方が良い。それを溶接士が行えば裏はつり形状の品質と溶接品質の関係が良く理解され、全体の溶接品質向上につながると思われる。タブ板は単胴長手溶接のサブマージアーク溶接においてスタートタブ、エンドタブとして継手両端に取付けられる。タブ板の長さが短かかったり、平坦度が悪かったり、1枚板で開先がなかったりすると、その目的を達せず、継手のスタート部に欠陥が多発する。本溶接と同じ管理が必要である。

(3) 予熱の実施

低合金鋼、厚板の溶接施工には予熱は重要である。

予熱管理は予熱の指示、温度計測、確認であり予熱作業が安全に効率よくできる事が望ましい。

予熱計画、治具、バーナーの整備が必要となる。

ポイントは下記のとおりである。予熱管理を主体にしたグループ例えば予熱管理センターを設けて当工場の予熱の実施状況をチェックした方が良いと考える。

指 示 : 予熱温度の指示はWPS、WIRによる

実 施 : 全体予熱又は継手近傍の部分予熱

実施方法 : 炉内予熱、バーナーによる予熱

実 測 : 表面温度計又は温度チョークにより母材長面だけでなく板厚全体の均一加熱

治 具 : 品物の形状によく相応したバーナーの開発、バーナーの固定治具、ホース導設治具の開発



図VI-1-6-2 品物の形状に合った予熱状態

1-6-3 溶接の自動化及び効率の向上

(1) 溶接の自動化

溶接の自動率が現在30%であり、毎年計画的に自動化率の向上を図り、10年後には60%~70%までにする必要がある。まず現在自動溶接の主体になっているサブマージアーク溶接の適用範囲の拡大を図ることである。

容器、本体の単胴連胴については内外面共に実施することである。サブマージアーク溶接については溶接の周辺設備の整備を進めることである。また500φ~800φの比較的小径の内面溶接については小型溶接機の開発及び足場架台等の開発が必要となる。

また自動化の第1ステップとして半自動溶接の早期導入を提案したい。構造物、スキッド・サドル等についてはCO₂半自動溶接方法であり、耐圧部本体についてはMIG溶接方法の適用である。現在手溶接(SMAW)にて実施している方法を今後10年以内に50%~70%はMIG、又はCO₂溶接に移していくことである。特にMIG溶接については世界の主流となっており、設備機器のメンテナンス、技量管理をして導入することにより品質、効率共に有効であり、職場の姿を変える力になると確信する。自動溶接の取り組む時の前提条件の整備が急がれる。

前提条件

- 自動溶接機のメンテナンス
- 溶接開先の精度管理
- 技量管理
- 教育、標準化

自動化ポイント

	現 状	方 向
圧力容器本体胴	S A W	タンデム化、狭開先化
ノズル、スカート	S M A W	M I G半自動溶接
肉 盛 り	S A W	エレクトロスラグ化
管 / 管 板	S M A W	自動T I G溶接

※ 本体胴については板厚25mm以下はM I Gに移していくことを提案する。

1-6-4 溶接品質について

(1) 溶接品質管理のしくみ

溶接品質向上の狙いは客先の要求品質に合致することである。一致させれば良いということだけでなく後戻り工程、補修修理工程をなくして一回で合格させることにある。すなわち溶接本工程のみならず溶接前後工程についても含めて仕組みを考える必要がある。

各工程手順に適切な区切りをつけて、仕事を分業化しその各分業工程ごとに品質をつくり込んでいく体制づくりを進めることである。

溶接品質の仕組み上のポイント

1) 溶接品質が工場全体のトータルシステムであること。

すなわち溶接品質の重要性を工場の経営幹部がよく認識しており、関係各部門に目標が体系化されていて、抜け穴がないようになっていること。

2) 品質計画が明確でフィードバックに対して迅速に対応し計画の変更が出来ること。

すなわち品質計画の変更が品質レベルの向上を示すバロメーターであること。

3) 品質情報伝達の機能が良好であること。

すなわち経営幹部の方針が作業者までスピーディーに滞留なく伝達され、指示として実行されること。同時に現場の情報、データが会社幹部に早く分ること。言い換えれば本日溶接されたRT対象部の成績が1ヶ月も遅れて判明するシステムでないことである。今日の溶接のできばえは2-3日中には判明し、すぐ手が打てることである。

(2) 溶接品質管理の管理点

溶接品質管理を進める上で工場に合致した管理項目と目標を設定することがスタートとなる。その目標に対して現状の姿がどうなっているか現状把握、認識をすることが改善への第1歩を踏み出すこととなる。

経験的に管理項目であると思われる点は次のようなものである。

溶接品質の高度化だけでなく溶接前工程の品質、主として組立や取付け精度さらにさかのぼれば単品部材寸法の正確さ、すなわち寸法精度管理まで広げて考えるべきである。

管理項目

- 1) 溶接品質
 - 自動化率
 - 技量管理
 - 教育訓練
 - RT合格率
 - UT合格率
 - 外観、寸法合格率
 - 溶接記録の内容

- 2) 寸法精度
 - 溶接開先寸法
 - 溶接開先部の保護、養生
 - 溶接変形、収縮
 - 組立寸法精度
 - 単品曲げ精度

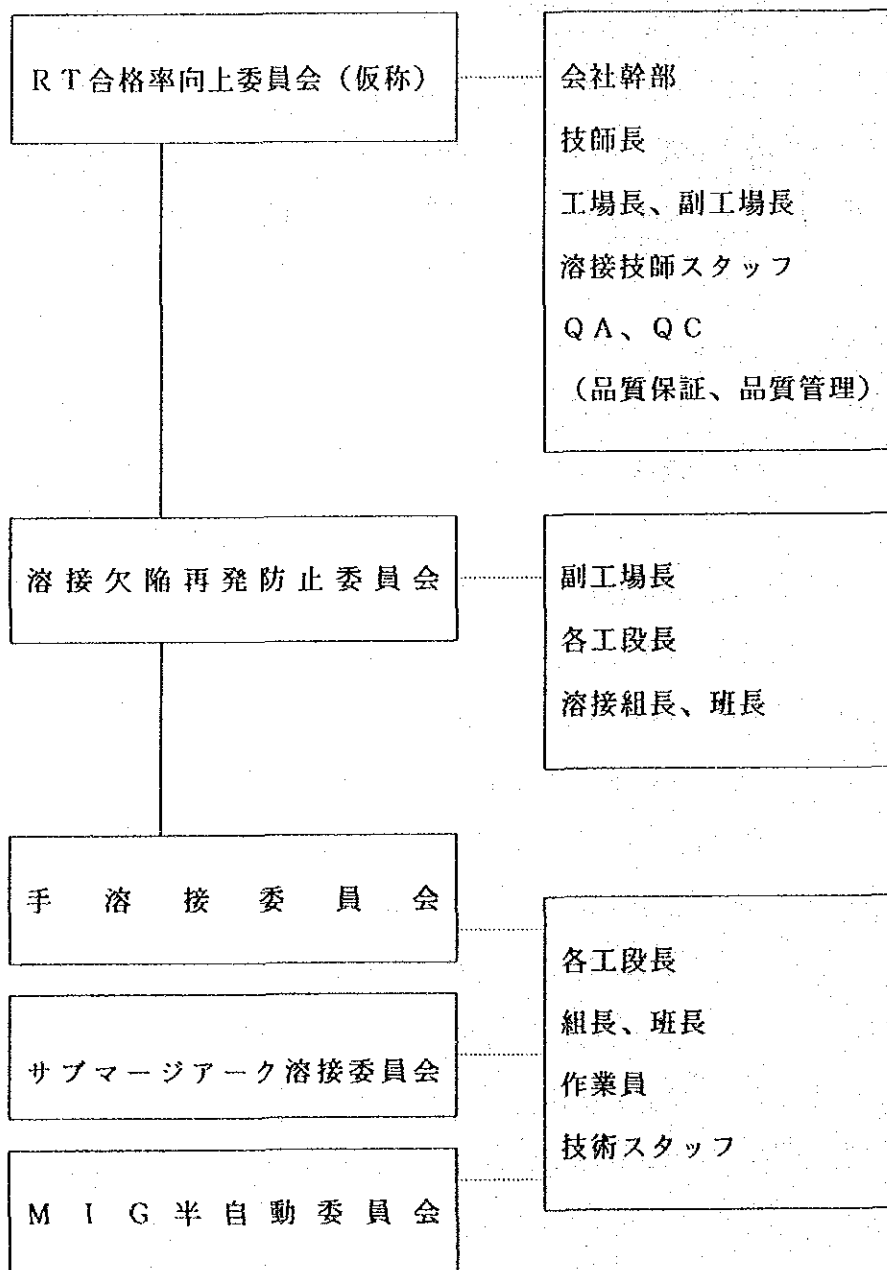
- 3) 標準化
 - 技術基準、作業工法の見直し、改善

- 4) 事前検討
- ・ 重要工事については会社幹部の入った事前検討の仕組みづくり
 - ・ 一般工事については作業員まで含めた品質を中心とした品質会議の開催

(3) R T 補修率低減対策

1) R T 合格率向上委員会の設立

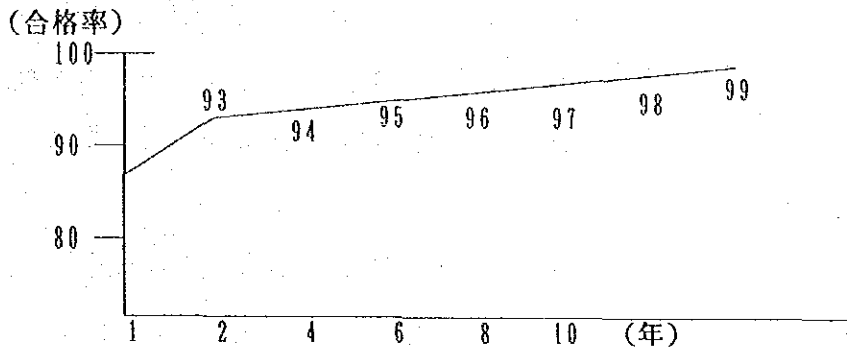
当工場としてR T 補修率の低減が工場の近代化を進める上で最重点課題であるという認識に立ち、本社を中心としたR T 合格率向上委員会（仮称、溶接品質向上委員会）を設けて溶接品質に関する問題を検討し、解決する機関の設置を提案したい。



2) 目標の設定

現在のRT合格率はフィルムベースで85%~87%である。

長期展望にたった目標設定を委員会にて立案すべきである。

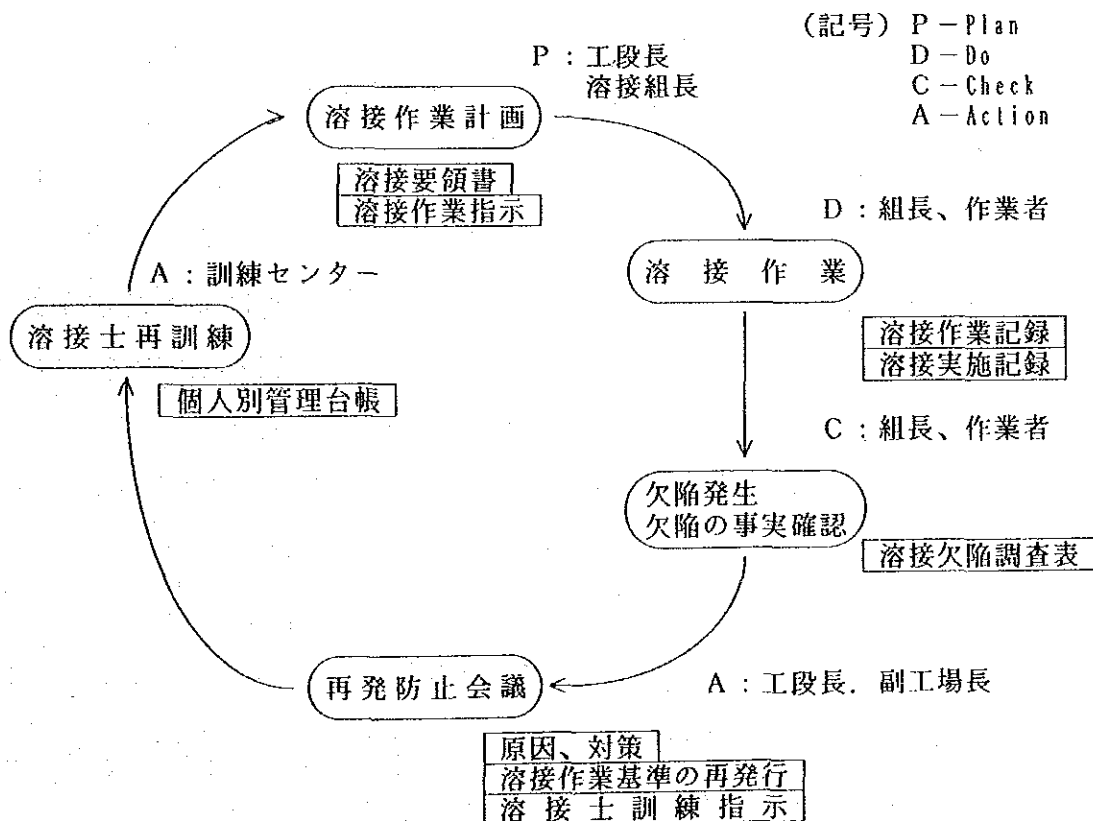


3) RT合格率向上の具体的施策

i) 再発防止制度の確立

溶接作業計画~溶接作業~欠陥発生~再発防止会議~溶接士の再訓練~作業計画への反映、このサイクルを工場に定着させることである。誰が何をやるか、誰が責任者であるかを明確にして継続して実施することが一番近道である。

再発防止制度を例として示すと次のとおりである。



図VI-1-6-4 RT合格率向上のPDCAサークル例

ii) 溶接実施記録の作成

放射線検査を行う溶接部についてすべて実施記録を残し溶接補修率低減対策の元本の資料とする。

溶接実施記録についての責任者は工段長として、資料作成は組長が望ましい。

溶接実施記録の記入項目について当工場の関係者が決定すればよいが本資料が溶接欠陥の原因調査のときに対応できる項目についてはカバーしておく必要がある。

本実施記録は毎週、毎月集計できて品質会議等に報告しなくてはならない。

参考までに実施記録に残した方がよいと思われる項目は次のとおりである。

- ・ R T フィルム判定 No. 及び判定日
- ・ R T 撮映月日
- ・ 溶接実施日
- ・ 工事 No.
- ・ 継手 No.
- ・ 継手名称
- ・ フィルム枚数
- ・ 不合格枚数
- ・ 溶接方法
- ・ 材質
- ・ 板厚
- ・ 開先形式
- ・ 溶接姿勢
- ・ 溶材の銘柄
- ・ 予熱温度
- ・ 溶接士氏名
- ・ 溶接調査表 No. *

※ 溶接調査表とは溶接欠陥 1 枚毎ごとについての欠陥の内容について更に詳細に調査したカルテである。

本実施記録の集計と内容を分析することにより溶接補修率低減についての第一歩が踏み出せるものである。

iii) 溶接欠陥調査表の作成

前記溶接実施記録を残すことにより、当工場の溶接補修の状況についてある程度把握できる。

S A W と S M A W の割合、個人別の補修率、材質、板厚、溶材別に現状の把握ができる。現状の把握及びウィークポイントはつかまえても原因の追求及び対策には結びつきにくい。そこで溶接欠陥調査表が必要となる。

溶接欠陥調査表は下記の項目がカバーしている事が望ましい。

- ・ 不具合の発生状況
 - 工事名称、継手 No. 、不具合の内容
- ・ 不具合の事実
 - 溶接実施日、R T 撮影日、溶接士名、作業場所
 - 溶接方法、姿勢、開先形状、母材・溶材
 - 使用機械

溶接欠陥部のガウジング施工者

欠陥の種類、サイズ、欠陥の位置

・ 原因

溶接士及び組長が不具合の事実より具体的に記入する。

・ 対策

原因より再発防止の点から今後の対策を具体的に記入する。

溶接欠陥調査表の記入ならびに分析し原因対策まで書き指示、指導を続けることが真の原因に近づき、有効な対策が打てるようになる。工場幹部の協力体制がないと息長く続ける事は困難である。しかしこれを実行しないと溶接欠陥の削減には決してつながらない。

iv) 溶接士の個人別管理

溶接品質のできばえ、特に溶接補修率の低減には溶接士個人個人の技量とやる気に負うところが大きい。そのために溶接士について正しい技量の把握と品質のできばえを記録に残し、表彰制度に結びつけたい。

指導、教育につないでいくことが不可欠である。

個人別の管理台帳を整備しておくことである。

評価は次の3点より行うのが良いと考える。

① 溶接補修率データ

② 組立、班長の総合評価

・ 仕事のスピード、個有技術等

③ 定期的な社内技量テスト

・ 外観、曲げ、RT等

v) 溶接機のメンテナンス

・ 蘭州石油化工機器廠で使用している溶接機すべてについて整備点検を行う必要がある。手溶接機（SMAW）、サブマージアーク溶接機、TIG溶接機、特殊溶接機について種類ごとに分類して順次行うことが望ましい。設備のところでは述べたとおりメンテナンス部隊を編成し実施することを提案する。

・ 点検整備の方法について日常点検、定期点検、性能維持点検、故障時点検整備等あるが性能の面からの点検に重点を置きたい。

・ 溶接機についても使用の仕方についても区別して行うのが良い。自由使用、制限使用、借出し使用等である。

vi) 再発防止会議

溶接品質を中心にした再発防止会議（仮称、溶接品質会議でもよい）を工場内に設けて溶接品質の方針決定、現状把握、基本施策の決定等を行うようにすることを提案する。

工場幹部が月1回溶接を主体に討議する場である。

又RTのできばえを主体にした工段長、組長、班長、全員と技術スタッフを入れた品質会議を行いたい。意見交換を通して工場全体の溶接についての情報交換を行い、工場全体へ溶接品質の重要さを動機づける場にしたい。

毎月1回溶接にかかわる責任者が集まり、RTの溶接欠陥についての事実と原因、対策等について具体的に進めることもよい方法である。

vii) 期待できる効果

前述したとおり溶接補修率低減について本格的に取り組み日々改善が起り工場特有の有効な対策が生れてくることが期待できる。事例を下記に示す。

期待できる対策例

a) サブマージアーク溶接

- 縦継手のスタート部に欠陥が多い
 1. タブ板の重要性の再確認
寸法精度の向上、タブ板長さの標準化
 2. 機械の整備（キャリジ、ワイヤー、送給モーター）
 3. 付帯設備の整備（レール、品物の傾斜）
- 開先バックチップ溶接部にスラグ巻き込み欠陥が多い（初層2層目）
 1. バックチップの幅、深さを標準化する
 2. 溶接ビードをよく見てアンダーカットは手直しGrの実施
 3. 1パスから2パスに振り分ける時の寸法を標準化する

b) Cr-Mo鋼手溶接

- Cr-Mo鋼の溶接はスラグ巻込み、ブローホール等の欠陥が多い。
 1. 電流に対して敏感で強い電流で溶接しないこと
 2. 凸ビード、アンダーカットは確実にグラントーで修正する
 3. アーク長をつめて、アークはできるだけ切らないで棒1本使いきる
 4. バックステップを採用する

1-6-5 溶接技術開発

(1) 開発の方向

溶接品質の向上と共に新しいニーズに対応した技術開発が最重点課題である。技術開発の方向は「品質」を確保することと少ない労力で楽に施工していく工法の実現である。言い換えれば品質と原単位の向上、あわせて世の中のニーズに合致することである。

新しい技術を開発し、実用化するのには2年から3年の期間と多大の経営資源を必要とする。そのために重点を絞り、計画的かつ継続的に推進することが重要である。広く世界の動向を見、客のニーズをつかみ、自分達の実力を分析し研究開発長期ビジョンを打ち出すことが基本である。

(2) 圧力容器の溶接には、その継手の材質、構造、施工場所、要求品質の条件から最適な溶接方法が選定される。

溶接方法の種類とその特徴を表VI-1-6-5に示す。

表VI-1-6-5 溶接方法の種類

溶 接 方 法	自動/手動	特 徴	能 率
1. サブマージアーク (SAW)	自 動	高能率で均一な品質。 厚板に有利。	7
2. 被 覆 ア ー ク (SMAW)	手 動	どこにでも適用できる。 溶接士の技量に品質が左右 される。	1
3. M I G (GMAW)	半自動	心線が自動供給のため被覆 アークより能率がよい。 なめらかなビード形状が得 られる。	2
4. T I G (GTAW)	手 動	小径パイプの初層の裏波 溶接に使用。 薄板に適す。	0.1

蘭州石油化工機器廠の施工方法は手溶接70%、自動溶接30%程度の割合であり、自動化率は30%と低い。自動化率を高めることが品質の安定、能率の向上につながる。具体的な施策は手溶接(SMAW)を半自動MIG溶接(GMAW)に変換することと、サブマージアーク溶接(SAW)の適用範囲の拡大である。

図VI-1-6-6に溶接施工方法の近代化を、図VI-1-6-7に溶接の近代化計画を示す。なお、各項目の詳細については1-6-6項以降に述べる。

溶接施工法の近代化

略 図	継手位置	溶接方法		参 照
		現 状	近 代 化	
	① 長手継手	SAW	SAWの狭開先溶接又は SAWのタンデム	1-6-6 1-6-7
	② 周継手	SAW	(2極)溶接	
	③ ノズルネック継手	SMAW	GTAW+GMAW	1-6-8
	④ ノズル/本体	SMAW	GMAW	1-6-10
	⑤ 補強板	SMAW		
	⑥ スカート/鏡	SMAW		
	⑦ 内着品取付部	SMAW		
	⑧ 外着品取付部	SMAW		
	⑨ 管/管板	SMAW	自動TIG	1-6-9
	⑩ 胴・肉盛	SAW	} ESW	1-6-11
	⑪ 鏡・肉盛	SAW		
	⑫ ノズル・肉盛	プラズマアーク	プラズマアーク 又は GMAW	

(説明) SAW : サブマージアーク溶接(自動)
 SMAW: 手溶接
 GTAW: TIG溶接
 GMAW: MIG溶接
 ESW : エレクトロスラグ溶接

図VI-1-6-6 溶接施工方法の近代化

項目		I 期	II 期	III 期
全	1 自動化率の向上 (現状 30%)	← 自動化 40% →	← 自動化 60% →	← 自動化 80% →
	2 技量の向上と溶接補修率の低減 (現状 13%)	← 補修率 5% →	← 補修率 3% →	← 補修率 1% →
般	1 サブマージアーク溶接のタンデム化	試験	実施	大
	2 サブマージアーク溶接の狭開先化	調査	試験	実施
技	3 小径管の片側溶接化 (初層TIG溶接の採用)	訓練	実施	大
	4 管と管板のシール溶接の自動溶接化 (自動TIG溶接の採用)	調査	試験	実施
術	5 手溶接の半自動MIG溶接への移行	教育	訓練	実施 (非耐圧部)
	6 エレクトロスラッグ・オーバーレイ溶接の採用	調査	試験	実施 (耐圧部)
				大

図VI-1-6-7 溶接の近代化計画

1-6-6 タンデムSAW溶接法

溶接の生産性向上のため、サブマージアーク溶接の高能率化が進められ、種々の高能率溶接法が実用化されている。高能率化の方向としては次の3つが考えられる。

- 1) 大電流化
- 2) 多電極化
- 3) 溶加材充てん法

圧力容器の溶接継手に対しては、通常品質要求が厳しいために上記のうち1)と3)は適用が難しい。

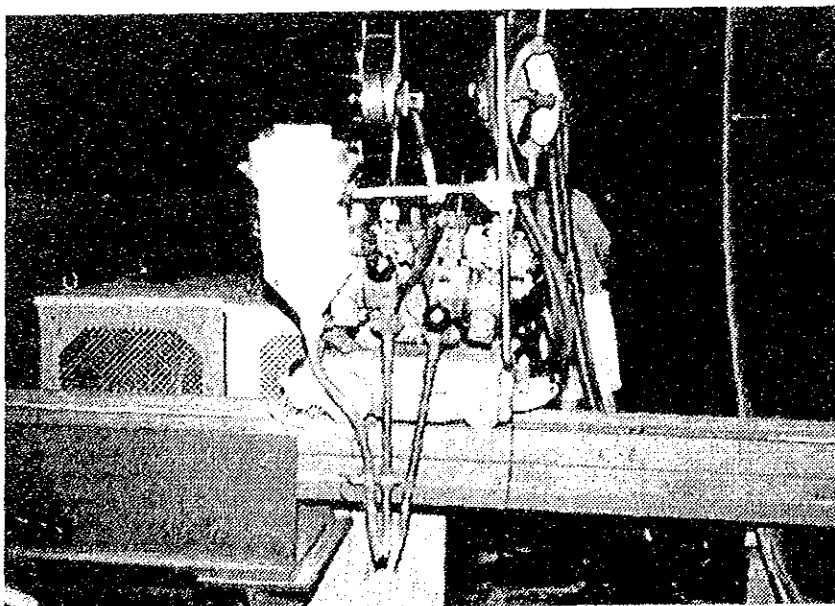
すなわち大電流化の場合は継手の衝撃値が低下するケースが多く、また溶加材充てん法では溶け込み不足等の溶接不良が発生しやすい。

したがって圧力容器に適用するサブマージアーク溶接(SAW)の高能率化としては多電極化がよく、通常2電極SAWすなわちタンデムSAWが一般的である。

タンデムSAWは2本の電極を使用し、1つの溶融プールに同時にアークを飛ばして溶接を行う方法であり、電極が2本になっても溶接速度を2倍にすることにより通常のシングルSAWとほぼ同じ入熱量となるため、継手性能はシングルSAWと同様に優れた値を得ることができ、この結果圧力容器に適した高能率溶接法といえる。

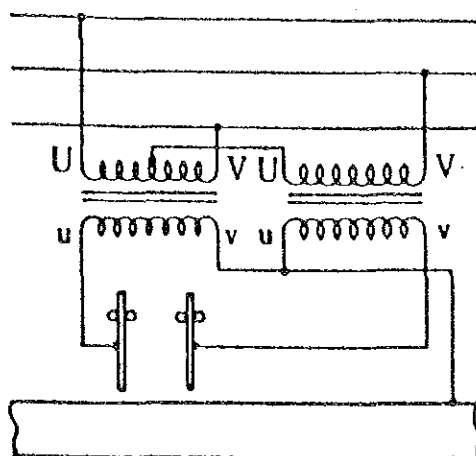
(1) タンデムSAW法の概要

タンデムSAW溶接機を図VI-1-6-8に示す。



図VI-1-6-8 タンデムSAW溶接機

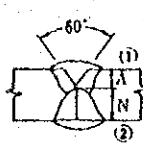
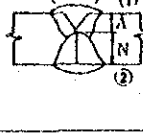
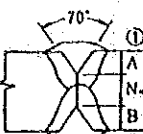
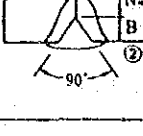
溶接電源は3相交流にスコット結線で配線した2台の交流電源が通常使用される。図VI-1-6-9にスコット結線の形状を示す。



図VI-1-6-9 スコット結線図

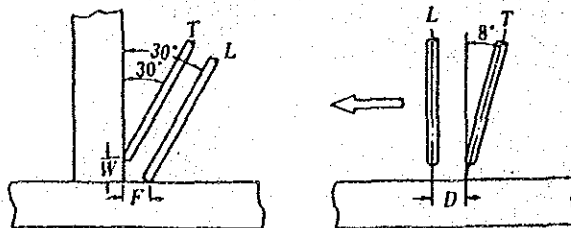
次にタンデムSAWの溶接条件の例を表VI-1-6-10と表VI-1-6-11に示す。

表VI-1-6-10 2電極突合せ継手サブマージアーク溶接条件の例

板厚 (mm)	開先形状	A (mm)	N (mm)	B (mm)	電極 区分	電極 ワイヤ径 (mm)	溶接 電流 (A)	アーク 電圧 (V)	溶接 速度 (cm/min)	
9		3	6	—	1	L T	4.0 4.0	850 750	32 34	180
					2	L T	4.0 4.0	850 750	34 38	
12		4	8	—	1	L T	4.8 4.8	900 800	32 34	140
					2	L T	4.8 4.8	900 800	34 38	
19		5	8	6	1	L T	4.8 4.8	850 720	32 38	100
					2	L T	4.8 4.8	1,050 880	32 41	
25		8	8	9	1	L T	4.8 4.8	980 840	32 36	90
					2	L T	4.8 4.8	1,100 900	35 40	

表VI-1-6-11 2電極水平すみ肉溶接条件例

脚長 (mm)	電極 区分	電極 ワイヤ径 (mm)	W (mm)	F (mm)	溶接 電流 (A)	アーク 電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	電極間隔 D (mm)
6	L	4.0	2	4	700	32	150	15
	T	4.0			550	33		
8	L	4.8	3	6	800	35	100	15
	T	4.0			600	32		
12	L	4.8	6.5	10.5	900	38	70	130
	T	4.0			600	30		



(2) タンデム S A W の導入ステップ

- 1) タンデム S A W の適用個所を決め、溶接装置、溶接材料を選定する。。
- 2) まず 1 台の溶接機を導入し、溶接士を一人選定し適用個所の材質、板厚に合せた試験板を溶接して適正条件を設定する。
- 3) 開先形状はシングル S A W と同一形状が採用できるが、施工条件が異なるので十分な確認が必要である。
表を参照しながら計画的に試験溶接を行い、ビード外観、R T、断面マクロ写真等により施工条件の確認を行う。
- 4) 適正条件が得られたらその条件で施工した試験板に対して、機械試験を行い、継手性能の確認を行う。
- 5) 確認後、適正条件を含めて、タンデム S A W の溶接施工要領書を作成し、以後の訓練、施工の基本とする。

(3) タンデム S A W 溶接工事適用上の注意事項

1) 施工条件の決定

電流、電圧、溶接速度以外に重要なのは、極間寸法ワイヤーの突出し長さ、ワイヤーの狙い位置と離心度である。

2) 安定した施工状態

周溶接の際の容器回転速度が安定していることと長手溶接の際の継手面の水平度が一定していることが必要である。このためには容器の真円度が重要であり、長手継手の余盛による回転変化をなくすため、ターニングローラー走行部の余盛の平滑削り等の配慮が必要である。

また作業架台の振動、ゆれを極力少なくするため、他からの影響を排除するように、柱に設置されている作業架台は、独立した架台が望ましい。

3) 溶接士による確認

サブマージアーク溶接中、開先壁面と溶着金属の溶込み状態やビードの凹凸を常時

溶接士が観察し、電極位置を変化させたり、次層に入る前にスラグを除去し、表面状態が悪い場合にはグラインダーで手入れをすることが欠陥発生防止につながる。このためには、溶接士が欠陥発生原因とビード形状の相関関係を理解していなければならない。それには

- a) 溶接士への教育
- b) 溶接士への検査結果（RT、UT、PT、MT）の通知

が大事である。

4) その他の注意事項

- a) 溶接機と被溶接物との移動ズレをコントロールするためトーチに倣い装置をつけて自動的に制御する方法とトーチ先端に先行ガイド（針金状のもの）をつけて溶接士が手動で制御する方法がある。
- b) フラックスの散布量は、ワイヤー突出部がかぶさる程度とする。
又、板厚が厚くなるとスラグ剥離性の良い狭開先用フラックスを使用するとよい。
- c) 電極チップの摩耗状態を観察し、早めにチップを交換することが大切である。目安は25kgワイヤーコイルごとの交換。
- d) アーク電圧については、溶接機に付いている計器で計測するのではなく、電圧計で単独に計測するとともに、計器の較正が必要である。又溶接速度も実際にストップウォッチを使用し実測することが必要である。溶接機の計器にはバラツキが大きく、同一条件を再現するには難があるからである。
- e) 先行電極はワイヤーを溶かし、後行電極はビード形状を整える働きがある。両極の一般的な関係を表VI-1-6-12示す。

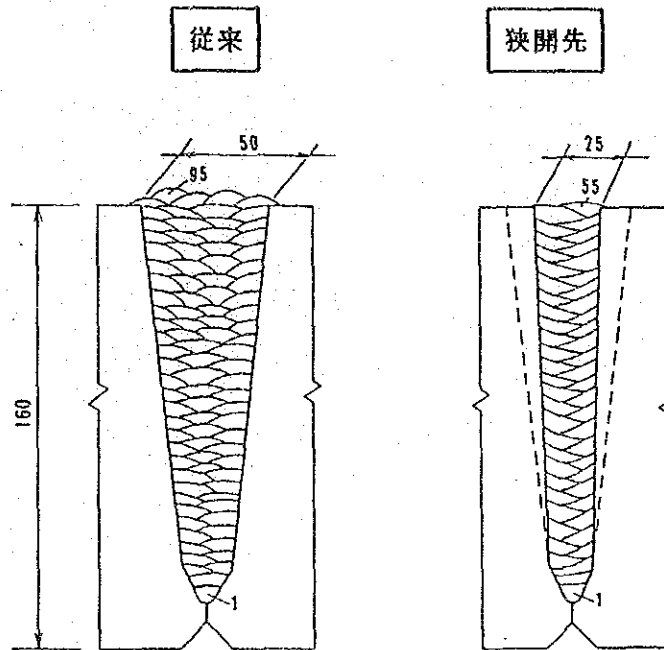
表VI-1-6-12 2電極の一般的関係

	先行極 (L)	後行極 (T)
電 流	高く (1.0)	低く (0.7~0.9)
電 圧	低く (1.0)	高く (1.1~1.2)
ワイヤー突出し量	1.0	長く (1.2)

1-6-7 狭開先溶接法

(1) 高压容器の板厚増加に伴ない、種々の高能率溶接方法が研究開発されているが、その一つに狭開先によるサブマージーク溶接法がある。

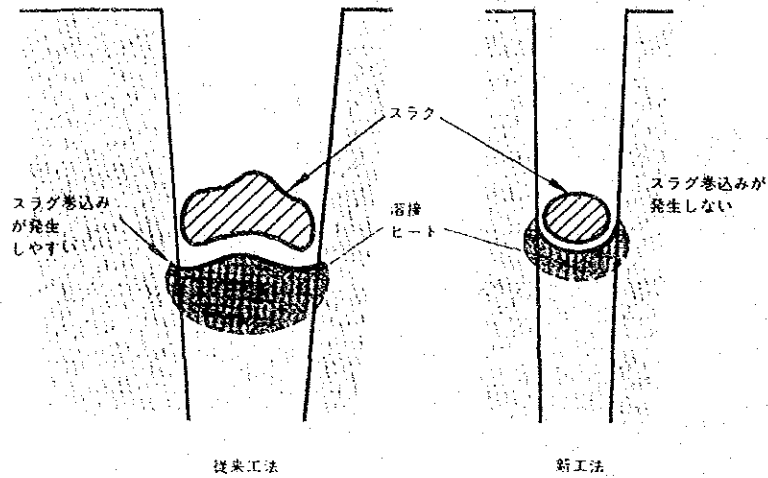
図VI-1-6-13に従来の開先と狭開先の形状比較の一例を示す。



溶着量	100 (%)	65 (%)
PASS数	95	55

図VI-1-6-13 開先形状の比較例

(2) 狭開先サブマージドアーク溶接法は、ビード形状を凹形になるようフラックス成分の開発を行い、かつフラックスの剥離性の改良により、スラグ巻き込みのない溶接法を可能にしている。図VI-1-6-14に溶着ビードの説明を示している。



図VI-1-6-14 溶着ビードの説明図

(3) 狭開先溶接法の長所と短所

長所は

- 1) 溶着ビード数減少のため、溶着時間の短縮が図れる。
- 2) 溶着ビード数減少のため、溶着変形量が低減する。
- 3) 積層法の単純化のため、溶着欠陥の減少。
- 4) 溶着入熱を低く制御できるため、強度や靱性の確保が容易。

である。

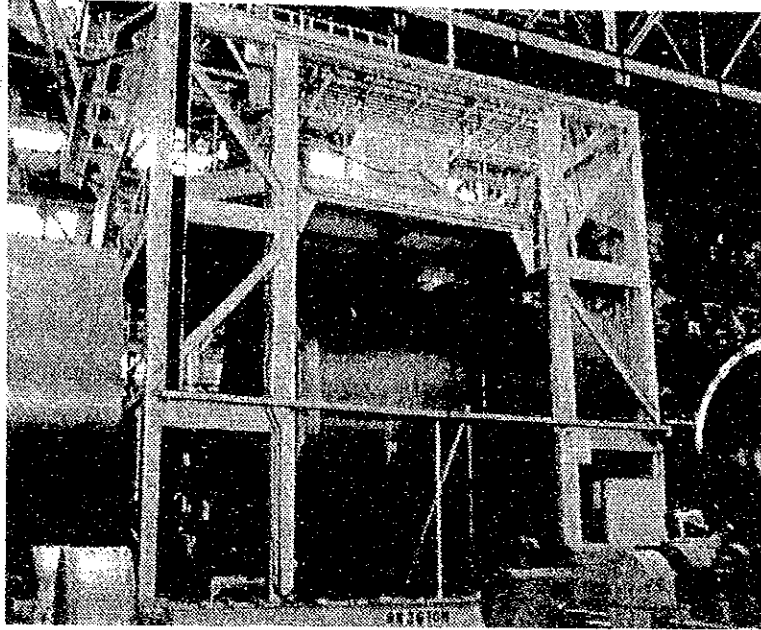
一方短所は

- 1) 開先寸法精度が溶着品質に影響するため、前工程（開先加工、取付け）に時間がかかる。
- 2) 補修が発生した際、補修作業に時間がかかる。

である。

このため、導入時点での十分な試験・研究が必要である。

(4) 狭開先溶接作業例を図VI-1-6-15と図VI-1-6-16に示す。



図VI-1-6-15 本体胴の狭開先溶接作業例



図VI-1-6-16 狭開先溶接部詳細

1-6-8 TIG溶接 (GTAW)

(1) TIG溶接法の概要

1) TIG溶接法は、タングステン電極と被溶接物の間にアークを発生させ、そのアーク熱により、他から供給する溶加材（棒）を用いて溶接する方法であるが、薄物では溶加材を供給しない場合もある。溶加材を手で供給する手動TIG溶接と、自動的に供給される自動TIG溶接がある。

2) TIG溶接の重要な応用として、ステンレス鋼管又は压力容器の突合せ第1層の溶接がある。小径管では裏側から溶接ができず、裏当てリングもおきにくいので、アルゴンガスバックング (Argon Gas Backing) (管内にアルゴンガスを満たす) をすることにより、良好な裏波を得ることができる。

このため、小径のパイプの全層溶接や、Cr-Mo鋼のように予熱を必要とする材質のパイプの片側溶接の初層に適用されている。

(2) TIG溶接の長所と短所

TIG溶接の特徴をより明確にするために、その長所と短所をあげる。

1) 長所としては何といても高品質できれいなビードの溶接ができるということに尽きる。これはイナートガス (Inert Gas) によってアークならびに溶融池を完全に大気からシールド (sealed) (遮蔽。この目的で流すガスをシールドガスという。) するため、溶接によって溶接金属に酸素、窒素、水素などのガスや不純物が全く入らないことと、イナートガス中でタングステン電極と母材間で発生するアークが極めて安定で、溶接ビードがきれいで平滑に仕上げられることである。また、交流電源を使用することにより、クリーニング作用を利用してアルミニウム、マグネシウムなどの溶接においてはそれら金属の表面酸化物を除去しながら溶接できることなどである。

2) その他の長所としては、溶接電流が約10~500Aの広範囲にわたってアークの安定性が良いため、入熱の調節が容易にでき、薄板の溶接や各姿勢の溶接など精密な溶接ができることや、アークが安定でかつ溶融池をよく見ることができるので溶接作業がしやすいことなどである。

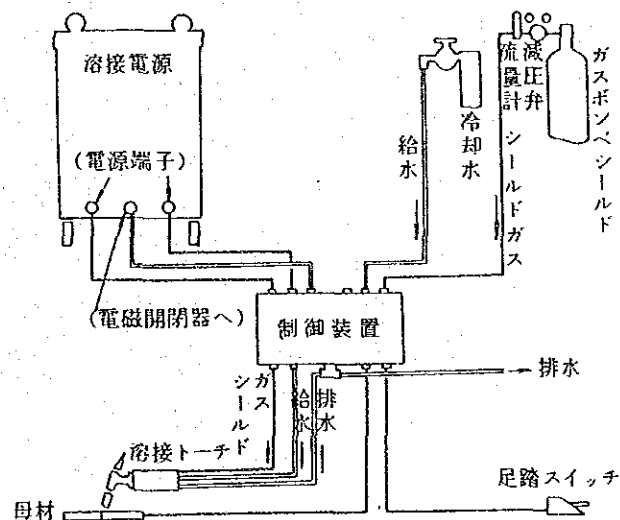
全姿勢で安定した溶接ができることから配管の自動溶接はTIG溶接を中心に開発、実用化されている。図VI-1-6-18は全姿勢TIG溶接を示している。

3) 一方、短所としてはアルゴンガスなどのイナートガスの価格がやや高いことと、溶接の能率がやや低いことである。しかしながら最近では、溶接の能率よりも高品質性

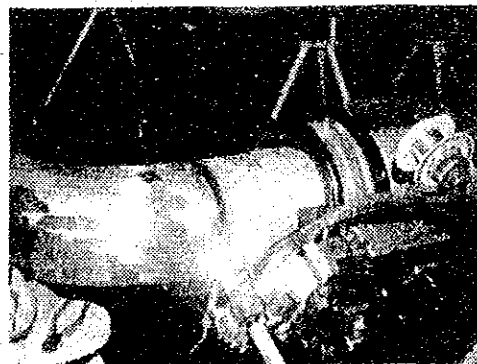
が重視されるとともに、精密溶接や非鉄金属の溶接が多くなり、TIG溶接の利用が従来よりも大きく増加していることも事実である。

(3) TIG溶接装置

TIG溶接機は一般に図VI-1-6-17の構成図のように、溶接電源、溶接トーチ、制御装置と付属機器（ケーブル、ホース類、流量計不減圧弁など）により構成されている。



図VI-1-6-17 TIG溶接装置の構成



写真VI-1-6-18 全姿勢TIG溶接の作業例

1-6-9 熱交換器の管と管板の自動TIG溶接

(1) 概要

1) 管と管板との溶接は以前より必要に応じて採用されてきたが、近年石油精製ならびに石油化学の著しい進展に伴い製品の複雑多様化により機器内を流れる物流、高温高圧力に耐える条件の要求が頻繁になった。

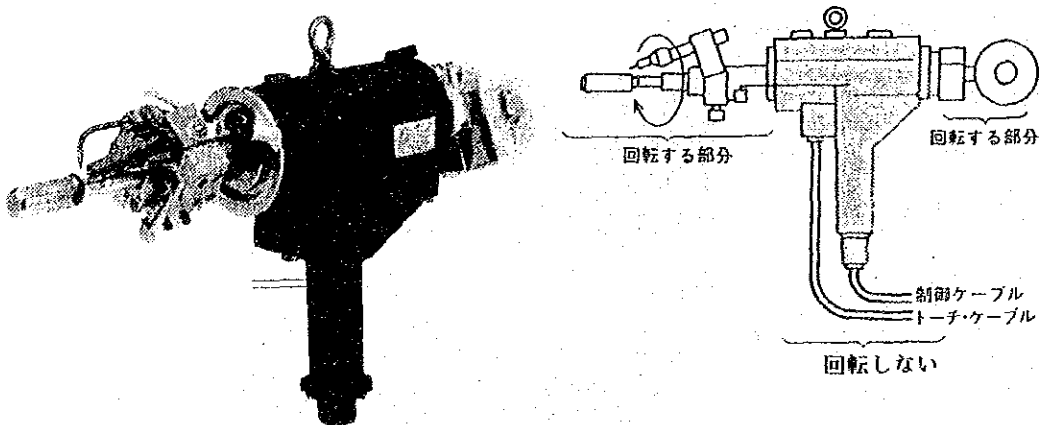
装置の連続安全操業を図る目的の一端として管板と管の溶接が多くの機器に採用されることにより溶接機、溶材ならびに溶接技術の開発が行われ、従来のアーク溶接より薄物などに条件の良いTIG溶接法に重点が置かれ、良好な成果を得られるようになった。

当初は溶接姿勢確保のため重量物の機器の管板を水平にし下向姿勢で作業を行ってきたが、製品ならびに安全作業（高所作業と重量物の立掛け）の面より好ましくなく、作業性向上の目的により機器を横置きしたままでの作業が溶接構造設計ならびに溶接技術の研究により安定した製品を得られるようになった。

2) 日本のM社により開発されたチューブ自動シール溶接機は横向で全姿勢でのシール溶接作業を自動化したもので電流をパルス波で制御することにより、管の全周の溶接ビードが均一化した結果が得られるようになった。溶接ヘッド形状を図VI-1-6-19に示す。

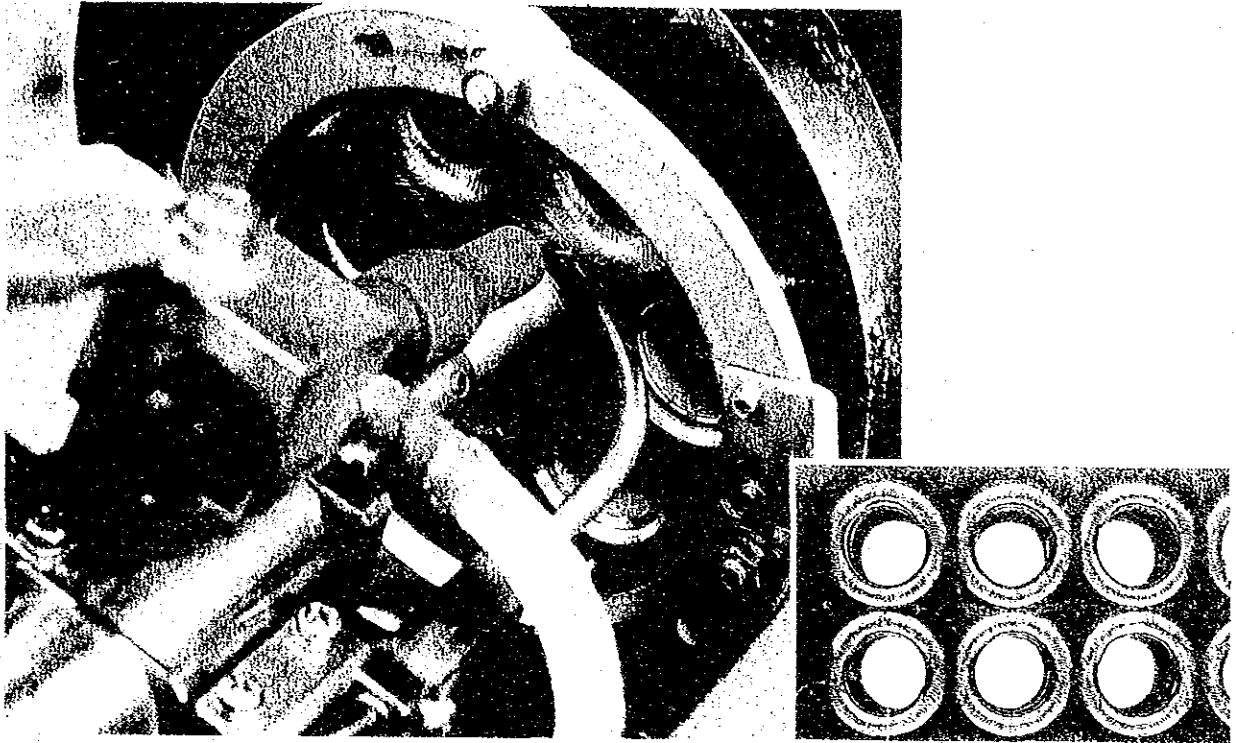
また、自動シール溶接機の主仕様を附表-1に示す。

ロータリー構造

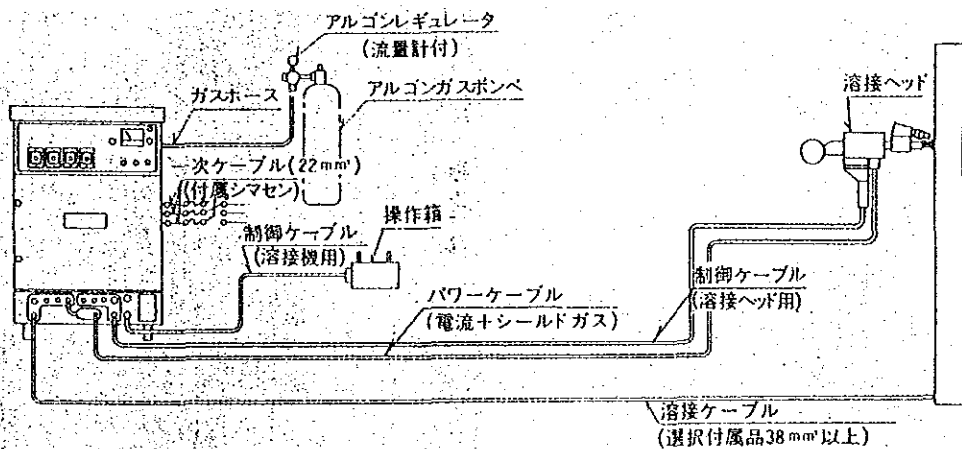


図VI-1-6-19 自動シール溶接機の溶接ヘッド形状

3) 自動シール溶接の作業例を図VI-1-6-20に、また自動シール溶接装置の構成を図VI-1-6-21に示す。



図VI-1-6-20 自動シール溶接の作業例



図VI-1-6-21 自動シール溶接装置の構成

(2) 溶接の種類

管の溶接取付けを必要とする場合の溶接方法は次の2種とする。

1) 強固溶接 (ストレングスウエルド) (strength weld)

溶接は原則としてTIG溶接とするが開先形状については十分な溶込みが得られるものとする。採用の目的は管板と管の洩れを溶接で完全に止めることであり肉盛層数は複数層とする。

2) 洩れ止め溶接 (シールウエルド) (sealed weld)

溶接は原則としてTIG溶接とする。従来拡管により止められる安全な圧力は30kg/cm程度を目安として設計されてきたが圧力の高低に関係なく機器を流れる物流性状、温度差、流体の脈動振動などの原因による漏洩を防ぐため拡管による洩れ止め施工と併せて洩れ止め溶接を施す。この場合の溶接層数は1層盛りが普通である。

(3) 溶接作業手順の例

表VI-1-6-22 管/管板溶接作業手順例

作業手順	注意事項
1) 管板穴清掃と管端 みがき加工 ↓	a) 管板、バブルプレートの管穴にばり等の管を傷めるものがないこと。 b) 管端はサンドペーパー (Sand Paper) で酸化被膜等を除去。 c) 管板の管穴に油脂、ほこりが付着してないこと。
2) 管挿入 ↓	
3) 肌付拡管 ↓	a) 本拡管に先立ち、溶接作業時、管が移動しないようにする。拡管率は3%を目標。 b) 拡管順序は管板に歪を生じないように、調整させながら行う。
4) 管端開先加工と清掃 ↓	a) 管板から管の突出しを規定寸法に加工する。 切削油は使用しない。 b) 組立時の油脂、錆、水分、切粉の除去。

<p>5) 溶 接</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>a) 溶接順序は管板に歪を生じないように調整させながら行う。</p> <p>b) 多層溶接の場合、各層溶接後目視検査を行う。</p> <p>c) TIG溶接時、風を避ける。</p>
<p>6) 検 査</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>a) 目視にてピンホール、アンダーカット等無いことを確認。</p> <p>b) カラーチェックにてブローホール、ピンホールの無いことを確認。</p>
<p>7) 本 拡 管</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>a) 拡管率</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炭素鋼、低合金鋼 6～7% ・ステンレス鋼 7～8%
<p>8) 管板シール面修正</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>a) 溶接及び拡管作業による管板面の歪みが規定値を超えた場合にシール面の修正加工を行う。</p>
<p>9) 耐圧及び気密試験</p>	

附表-1

自動シール溶接機の主仕様

1) 溶接ヘッド

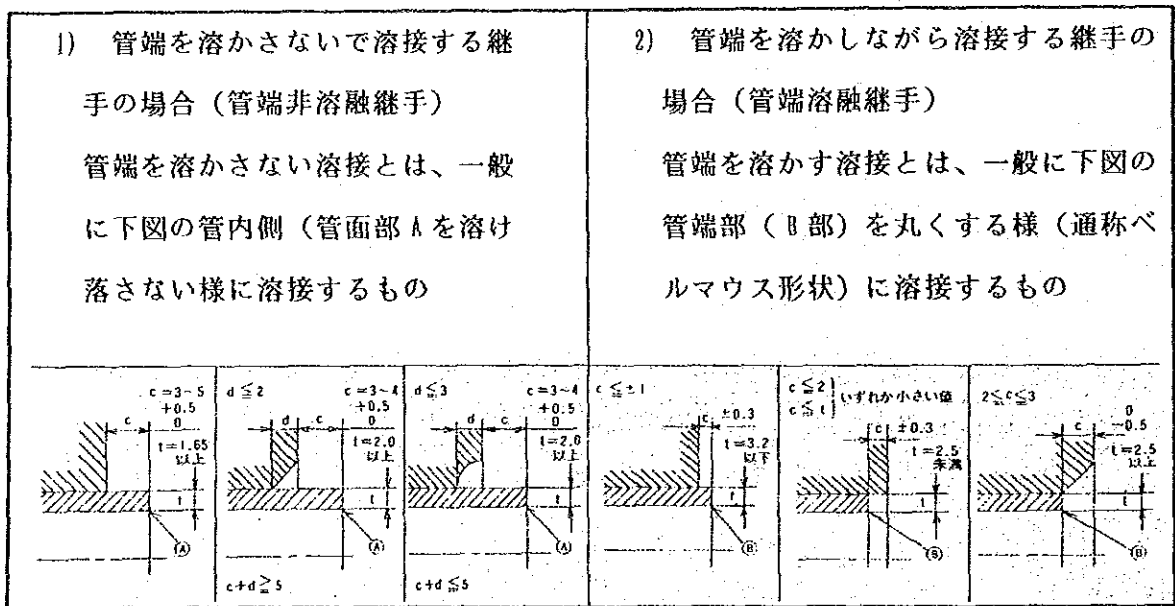
- a) 可能チューブ外径 $\phi 15.9 \sim \phi 60.3$
- b) ヘッド回転速度 0.6 ~ 4.0 rpm
- c) ヘッド重量 7.5 ~ 8.5 kg
- d) 冷却方法
 ヘッド …… 自然空冷又は水冷
 トーチ …… 自然空冷
- e) 定格電流 180A

2) 電源

- 定格入力 16kVA
- 定格電流 300A
- 入力電圧 3 ϕ 200V
- 周波数 50/60Hz
- 電流範囲 10~300A

3) 継手形状の種類

継手形状の種類を図VI-1-6-23に示す。



図VI-1-6-23 シール溶接継手形状

1-6-10 半自動パルスMIG溶接

(1) パルスMIG溶接とは

- 1) MIG溶接 (GMAW) はTIG溶接におけるタングステン電極を自動的に供給される溶加材 (ワイヤー) に置き換えた方法で、溶接士がトーチを手動で操作しながら溶接するので、半自動溶接といえる。

MIG溶接は、溶接速度が早く溶加材の成分がほとんどそのまま (98%以上) 溶着される大変高能率な溶接法であり、従来被覆アーク溶接 (SMAW) で施工されていたすみ肉溶接から突合せ溶接までのほとんどの継手に適用できる万能タイプの溶接法である。

- 2) ところが、従来のMIG溶接は能率はSMAWの約2倍あってもブローホールやビード外観、適用姿勢に制約があるため、圧力容器の溶接には適さなかった。

そこで、これ等の欠点を解決した新しいMIG溶接であるパルスMIG溶接が現われ、圧力容器に適用されその実績も上っている。

パルスMIG溶接は、パルス (Pulse) 電流制御により、1パルスに1溶滴が移行するアーク現象を示し、このため

- a) スパッターが発生しない
- b) ブローホールがない
- c) アーク長が短かく、低電流施工のため全姿勢溶接が可能
- d) ビード外観が良好でAS Weld (溶接のまま) でPT検査が出来る

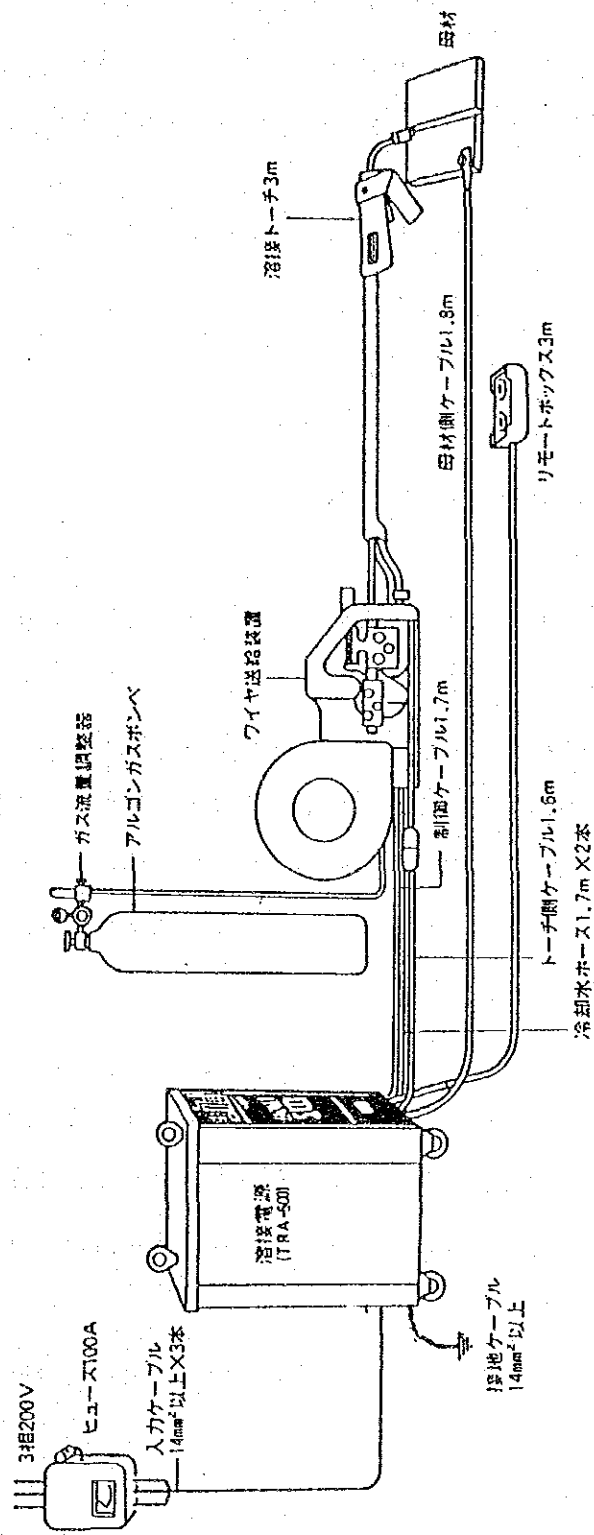
ことが特徴である。

- 3) 表VI-1-6-24は圧力容器への適用からみた被覆アーク溶接と各種半自動溶接の比較を示している。

また図VI-1-6-25はパルスMIG溶接装置の構成を表わしている。

表VI-1-6-24 圧力容器への適用からみた被覆アーク溶接と各種半自動溶接の比較

項目	① 被覆アーク SMAW	② CO ₂ (100%CO ₂)	③ 従来のMIG (80%Ar+20%CO ₂)	④ パルスMIG (C/S:90%Ar+10%CO ₂) (ステンレス:99%Ar+1%CO ₂)
スパッタ	多い。グラインダー要(Gr)	多い。グラインダー要	少ない	最も少ない
PT 対象継手	技量要す	不可	ブロー多く不可	①技量要す、機器管理 レベル管理必要 ②④よりも向上
ビードの仕上	全面グラインダー	全面グラインダー	部分グラインダー	AsWeldでPT可能 (溶接のまま)
適用姿勢	全姿勢	下向のみ	下向、立向、水平	全姿勢
溶材入手		—	—	ソリッドワイヤーで可 (全鋼種について入手可)
自動化	不可	不可	欠陥多く不良	最良
ヒューム	多い	パルスMIGと同程度		最も少ない
能率	1.0	1.5	1.5	2.0
メンテナンス	容易	中	中	複雑
他	—	化工機には不可	ブローホールは不可避	メンテナンス、管理に 重点をおく必要あり



図VI-1-6-25 パルスMIG溶接装置の構成

(2) パルスMIG溶接の導入のステップ

1) 導入の考え方

a) エンジニア及び指導員の養成の必要性

パルスMIG溶接はいかに外乱を排除して、最良のコンディションを維持できるかがその特質を引き出す重要なポイントである。そのためエンジニア及び指導員を養成して

- 溶接の原理、管理要領、取扱マニュアルの熟知
- トラブル事例と対策の理解
- メンテナンス体制の確立
- 溶接士の養成と導入後の監督

を十分に行えるようにしなければならない。

b) 溶接士の教育

溶接経験のある人なら一般操作は簡単なので容易に使うことができる。しかし、重要な箇所の施工については今まで述べたとおり、パルスMIGの特質の理解度が非常に重要である。そのため、以下の対策が必要である。

- 導入にあたっては1週間以上の「講義+実技」の訓練が必要である。
- 社内判定によりRTと外観評価を行って、溶接士をグレード管理する必要がある。
- 溶接士に対し不具合のフィードバック体制を作り、実例を通して品質の維持向上を図ること。

c) メンテナンス体制

被覆アーク溶接は例外として、パルスMIG溶接は他のTIG溶接やサブマージアーク溶接と同様、メンテナンスをできるようにしなければならない。特に重要なのはトーチ、送給装置の清浄維持であり定期的に点検整備をするシステムを確立せねばならない。

また、部品補充、故障修理（非常に少ないが）についても体制を確立せねばならない。

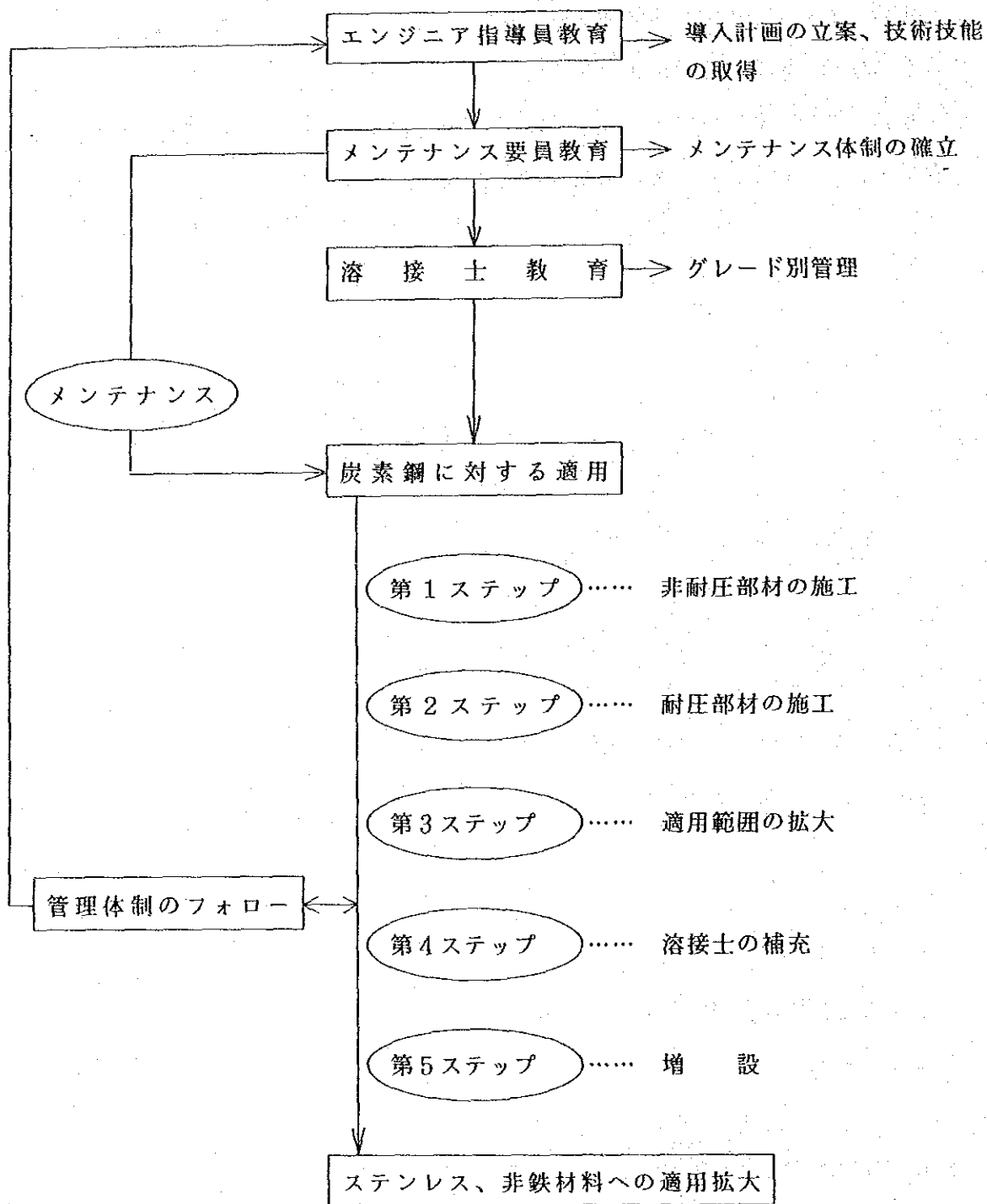
2) 導入のステップ

パルスMIG溶接の導入については（他の溶接方法の導入についてもいえることだが）常に到達の度合によって次のステップへ進む必要がある。溶接という管理要素の強い技術は、単に設備の導入で飛躍的に能率や品質が向上するものではないことを銘

記すべきである。具体例を図VI-1-6-26に示す。

この例でも判るように、低いグレードから高いグレードへ順次進めていくことが最も重要であり、この過程で管理体制のフォローがなされないと直ちに品質の低下につながるため、不具合の原因と対策を常にフィードバックしていく必要がある。

また、高いグレードへ上げていくには実験確認をエンジニア、指導員中心に進め、自信の持てる状態になってから初めて次のステップへ上がるようにせねばならない。



図VI-1-6-26 MIG溶接導入ステップの一例

(3) パルスMIG溶接の長所と短所

長所は

- 1) スパッターが少なく、アークが安定している。
- 2) プローの発生がSMAWに比べ少ない。
- 3) 全姿勢で使用でき、良好なビード外観が得られる。このためパルスMIG溶接では、PT検査のためのグラインダー仕上げが不要である。
- 4) 溶接能率は被覆アーク溶接(SMAW)の2倍であり、しかもSMAWが使用できる継手箇所は、トーチ寸法による制限を除けばすべてに適用できる。

短所は

- 1) 施工条件を設定するためには、種々の技術的裏付けをとりながら導入していく必要があるため、実機適用までに時間がかかる。
- 2) 溶接士の技量は、SMAWに比べ高度に要求される。
- 3) 機械のシステムが複雑であり、専用のメンテナンス要員が必要である。
- 4) このため、完全実用化には段階を経る必要がある。

例えば、最初はサドル、スカート等の非耐圧部品に適用し、最後に胴本体の周、長手継手に至る。

- 5) 機械のインシヤル コスト、ランニング コスト(Initial Cost, Running Cost) がSMAWに比べ高い。

(4) まとめ

SMAWに比べ、操作が複雑であるが、品質、経済性の面から見て、パルスMIG溶接の導入は中国近代化に不可欠である。

1-6-11 エレクトロスラグ オーバーレイ (Electro-slag Overlay) 溶接

(1) 肉盛溶接の種類

- 1) 化学反応容器の内面は耐食性を確保するために、SUS308、SUS347などのステンレス鋼が内張りされる。内張りの方法としては、鋼板板厚が40mm以下の場合には、経済的見地からロールクラッド法や爆接クラッド法が用いられることが多く、板厚が50mmをこえると溶接による肉盛りクラッド法が大半を占める。

現在、用いられているステンレス鋼の肉盛溶接の方法とその特長を表VI-1-6-27に示す。

- 2) 肉盛溶接技術の評価は、次の観点から行われる。
 - a) 電極組成の低減及び母材からのCピックアップの低減のため、母材溶け込み率(希釈率)を低値に保つ。
 - b) 能率を高めるため、電極幅をなるべく広くする。
 - c) 溶接手直しを低減するため、パス間継目部を含むビードの平滑度を高める。

表VI-1-6-27 ステンレス鋼の内盛溶接に適用されている溶接方法とその特長

溶接方法	適用例	特長
被覆アーク溶接	・ 広範囲	1) 希釈率は通常15～20%になる。 2) 溶接材料の種類が多く、特別な溶接装置が不要で汎用性 が大きい。
ティグ溶接	・ 細径ノズルの内面肉盛溶接 ・ クラッド鋼の内盛溶接 ・ 熱交換器管板の内盛溶接	1) 希釈率は通常10～20%にコントロールされている。 2) 希釈率の安定化のためには溶接の自動化が好ましい。 3) 低炭素の溶接金属が得られやすい。 4) 清浄度の高い溶接金属が得られる。
プラズマ アーク溶接	・ 管板の内盛溶接 ・ クラッド鋼の内盛溶接	1) 逆極性プラズマアーク溶接法では希釈率5%以下。 2) 通常のプラズマ溶接では希釈率5～10%にコントロール されている。 3) 希釈率の安定化には溶接の自動化が好ましい。 4) ワイヤ通電方式、2ワイヤ方式などで高能率化が可能。
ミグ溶接	・ 小径管、ノズル内面の肉盛溶接 ・ 管板、フランジの内盛溶接	1) パルス電源を使用し希釈を少なくする必要がある。パル ス電源を使用した場合、希釈率は20～30%。 2) 希釈率の安定化のために、溶接の自動化が必須。
マグ溶接	・ 小径管、ノズル内面の肉盛溶接 ・ 管板、フランジの内盛溶接 ・ クラッド鋼の内盛溶接	1) 希釈率は通常20～30%。 2) ミグ溶接に比較して溶接外観が美しい。 3) 希釈率の安定化には溶接の自動化が好ましい。
带状電極 肉盛溶接	・ 各種圧力容器の内面肉盛溶接 ・ 管板の内盛溶接 ・ 大径ノズル内面の肉盛溶接	1) 希釈率は通常サブマージアーク溶接タイプのもので15～ 20%、エレクトロスラグ溶接タイプのもので5～15%。 2) もっとも高能率な肉盛溶接方法。

(2) 带状電極肉盛溶接

圧力容器の内面肉盛溶接に用いられている带状電極肉盛溶接には、現在サブマージアーク溶接法 (SAW) とエレクトロスラグ溶接法 (ESW) の2種類がある。

(3) SAW肉盛法

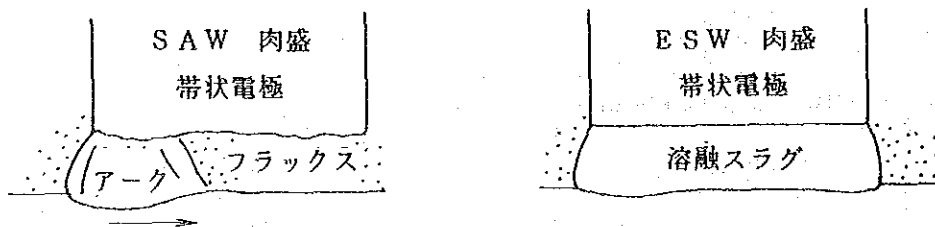
1) すなわち、アーク溶融の場合には、図VI-1-6-28に示すように、アークは電極の一部から発生し、それが電極幅方向に移動することによって溶け込みが完成する。しかし、アークの移動は必ずしも均一ではなく、母材を溶融させずに移動することもある。この現象は電極幅が広いほど顕著となるので、電極幅は実用上75mmに制限されている。また前パスのスラグが完全に除去されていない部分にはアークが発生せず、スラグ巻き込みとして欠陥となる。

2) SAWバンド (Band Arc) 肉盛法は、溶け込み率が15~20%であり、75mm幅電極まで使用できて能率も良いので、ビード側端部に欠陥が発生しやすい欠点を伴うものの、現在もっとも多用されている。

(4) ESW肉盛法

1) ESW肉盛溶接の場合には、高温スラグが溶接した母材は前パスのクラグ残りの有無にかかわらず溶融し、安定した溶け込みが得られる。

熱源アークからスラグのジュール (Jule) 発熱に換えたことにより溶け込み率を10%程度に低減し、電極幅を150mmまで実用化している。



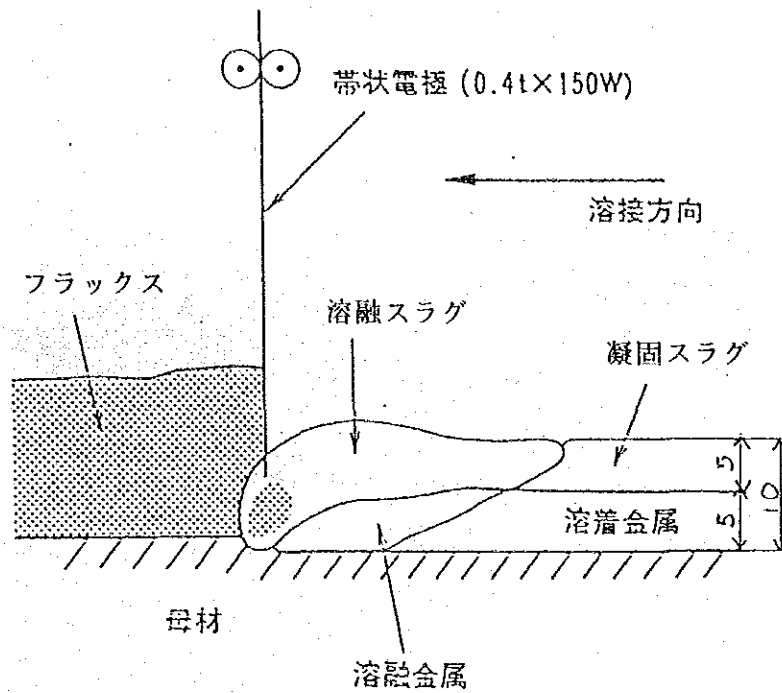
アークの移動に伴わない溶融

熔融スラグに接した母材
表面が溶融

図VI-1-6-28 SAWとESW肉盛溶接の溶融特性比較

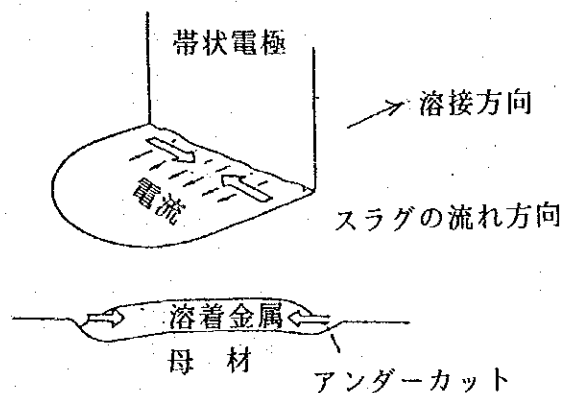
2) ESW肉盛溶接法は、図VI-1-6-11-3に示すように、電極直下から後方に形成された熔融スラグ浴の抵抗発熱を利用するもので、10mm程度の浅い溶融池内で安定した

スラグ通電を行う必要がある。



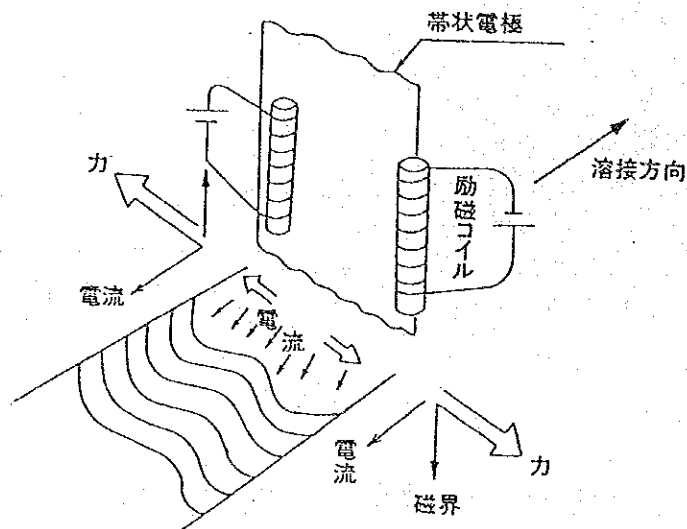
図VI-1-6-29 ESW肉盛溶接図

- 3) ESW肉盛溶接法では、図VI-1-6-30に示すように、電流は電極から溶融池後方に平行に流れる。このような平行電流は、通電されているスラグに近接力を与えて、溶融スラグや溶融金属を溶融池側端から内部に流動させる。このため溶融池端部の溶融金属は不足して、アンダーカットを生成しやすい。



図VI-1-6-30 平行溶接電流に起因するアンダーカット発生機構

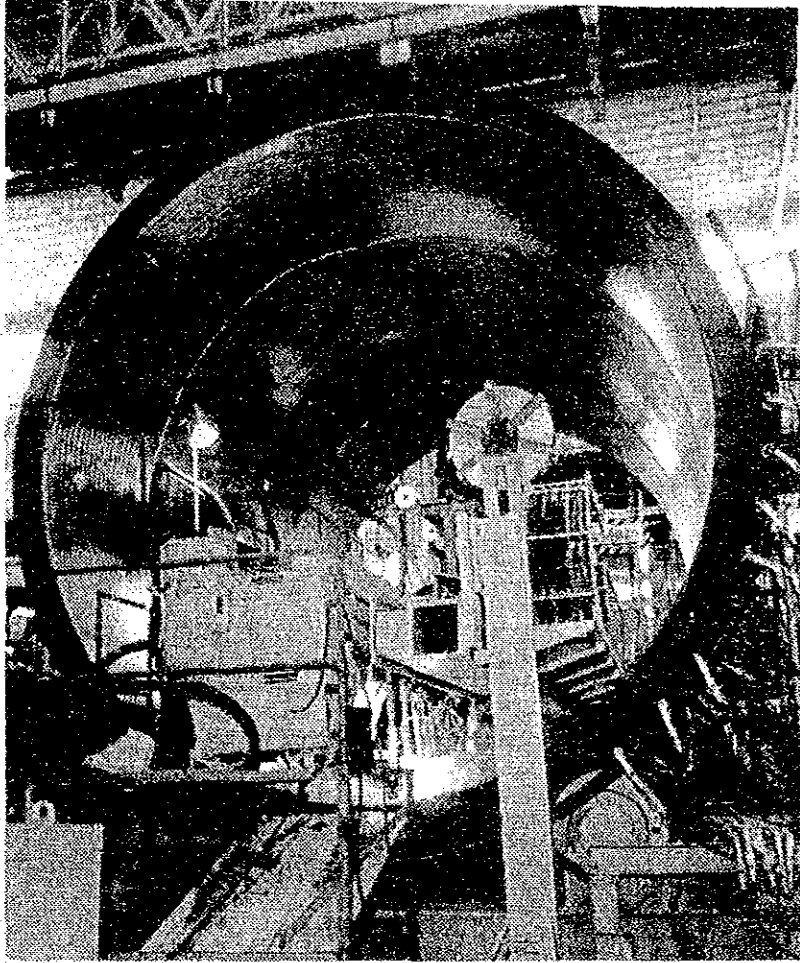
- (4) そこで図VI-1-6-31に示すように励磁コイルを設け、外部磁界を作用させて、溶融スラグや溶融金属の流動をコントロールして、ビードの平滑化を高めると共に、アンダーカットの防止を果たす方法が用いられている。



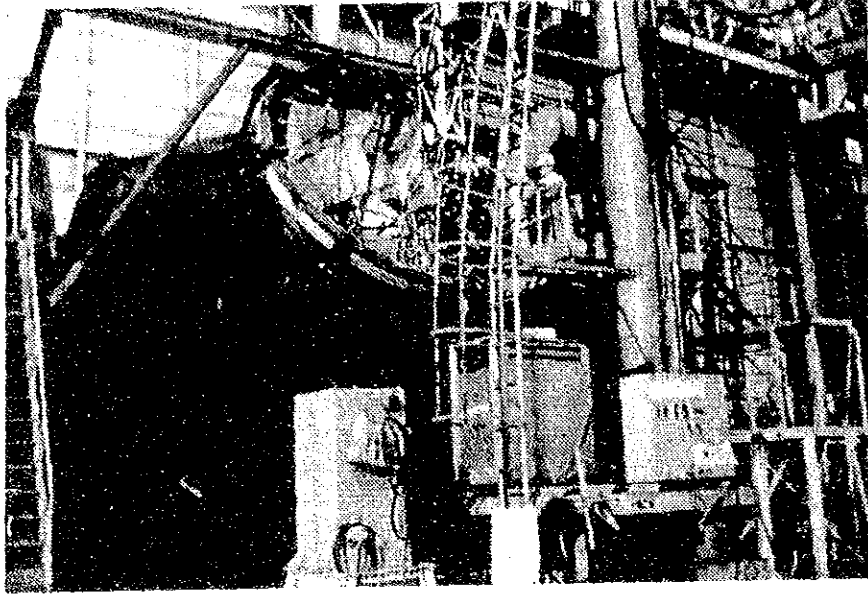
図VI-1-6-31 外部磁界法説明図

(5) SAW肉盛法とESW肉盛法の比較

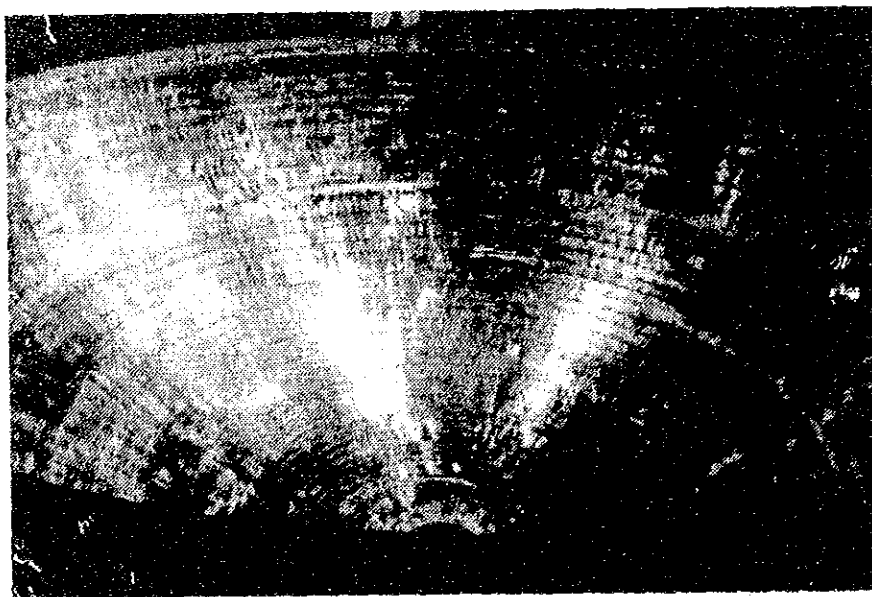
- 1) (1)-2)項で述べた、肉盛溶接技術の評価点から両方法を比較すると、下記3点で有利なESW肉盛法を提案する。
 - a) 母材溶込み率が少ない。(SAWの約1/2)
 - b) 電極の広幅化が容易(SAWの2倍)
 - c) 外部磁界により、ビードの平滑がなされる為
 - ・ アンダーカットが出ない
 - ・ 表面仕上げなしで、UT、PT検査が出来る
- 2) ESW肉盛法による胴及び半球鏡内面の肉盛溶接施工例を図VI-1-6-32～34の写真に示す。



图VI-1-6-32 本体洞ESW肉盛溶接作业例



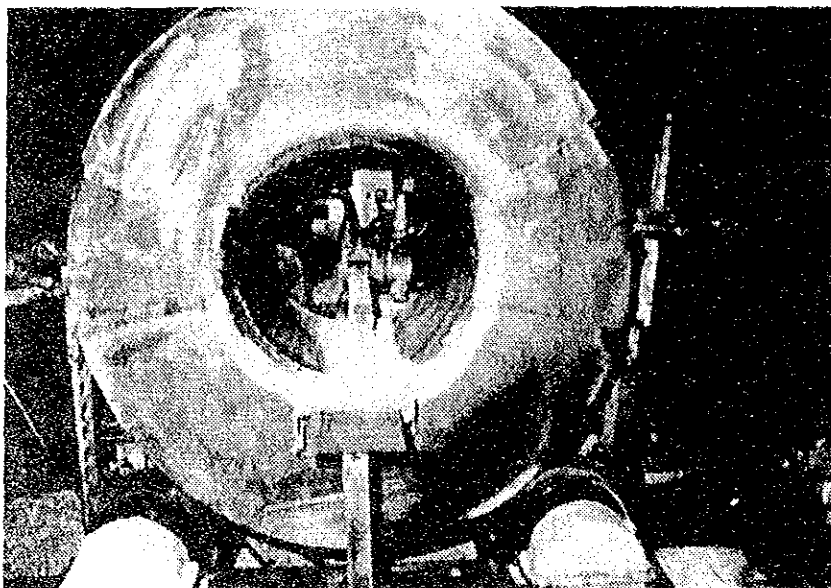
図VI-1-6-33 鏡内面ESW肉盛作業例



図VI-1-6-34 ESW肉盛施工後の鏡内面

(6) ノズルの肉盛溶接

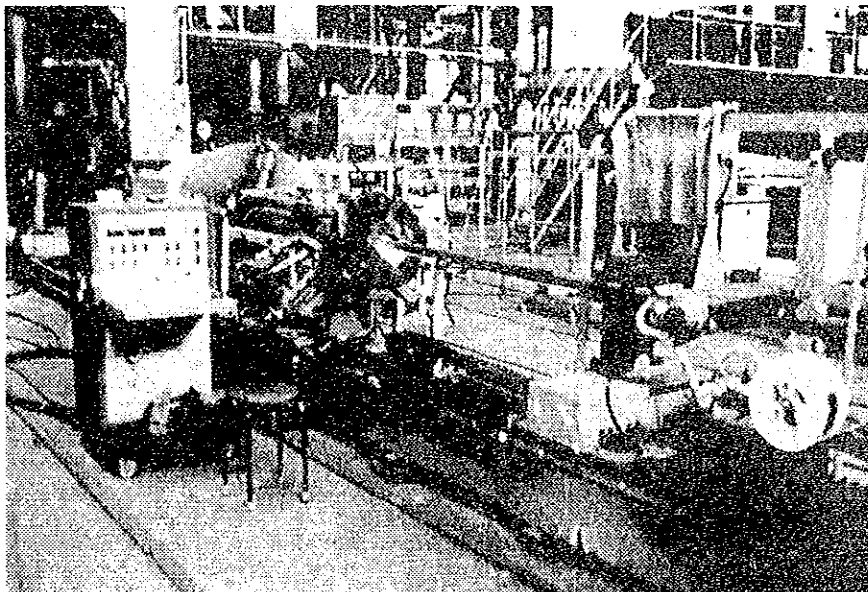
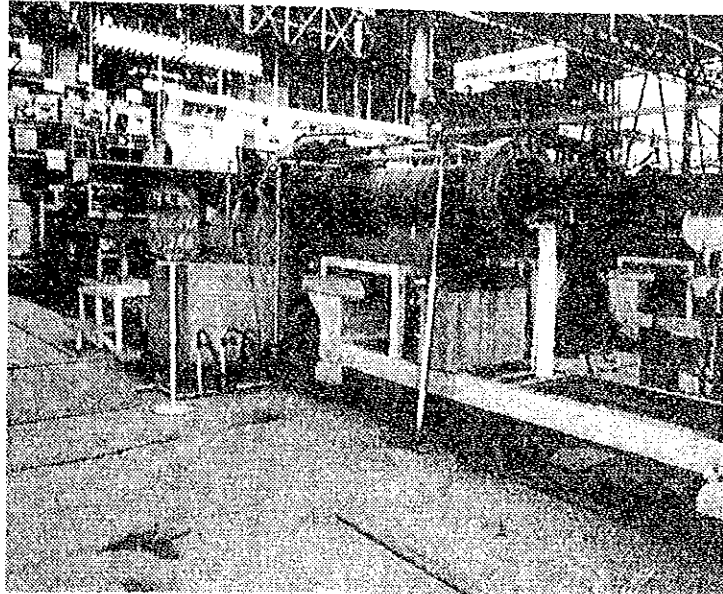
大径ノズル内面には、25mm幅のESW肉盛法が、小径ノズル内面については、MIG溶接(GMAW)による肉盛が、またフランジのリング溝部の肉盛には、TIG溶接(GTAW)が使用されている例を図VI-1-6-35から写真38に示す。



図VI-1-6-35 エレクトロスラグ溶接によるノズル内面肉盛溶接



図VI-1-6-36 自動TIG溶接によるノズルリング溝部肉盛溶接



図VI-1-6-37~38 自動MIG溶接によるノズル内面肉盛溶接

1-6-12 溶接設備の改善

溶接工程の改善を要する設備は次のとおりである。

(1) 単胴専用ライン

単胴の長手溶接専用のラインを設置し、各工段にて製作している単胴を集中的に製作する。単胴ラインで製作された単胴を滞留なく、既設の連胴ステージで連胴にする。単胴・連胴ステージの概念図をVI-1-6-39に示す。

(2) ポジショナー (Positionner)

(3) 無段変速ターニングローラー (Turning Roll)

(4) マニプレーター (Manipulator)

(5) フラックス回収バキューム (Vacuum) 装置

(6) 自動アークエアガウジング装置 (Arc-Air Gouging)

(7) 溶接機

a) パルスMIG溶接機

b) 管/管板の自動溶接機

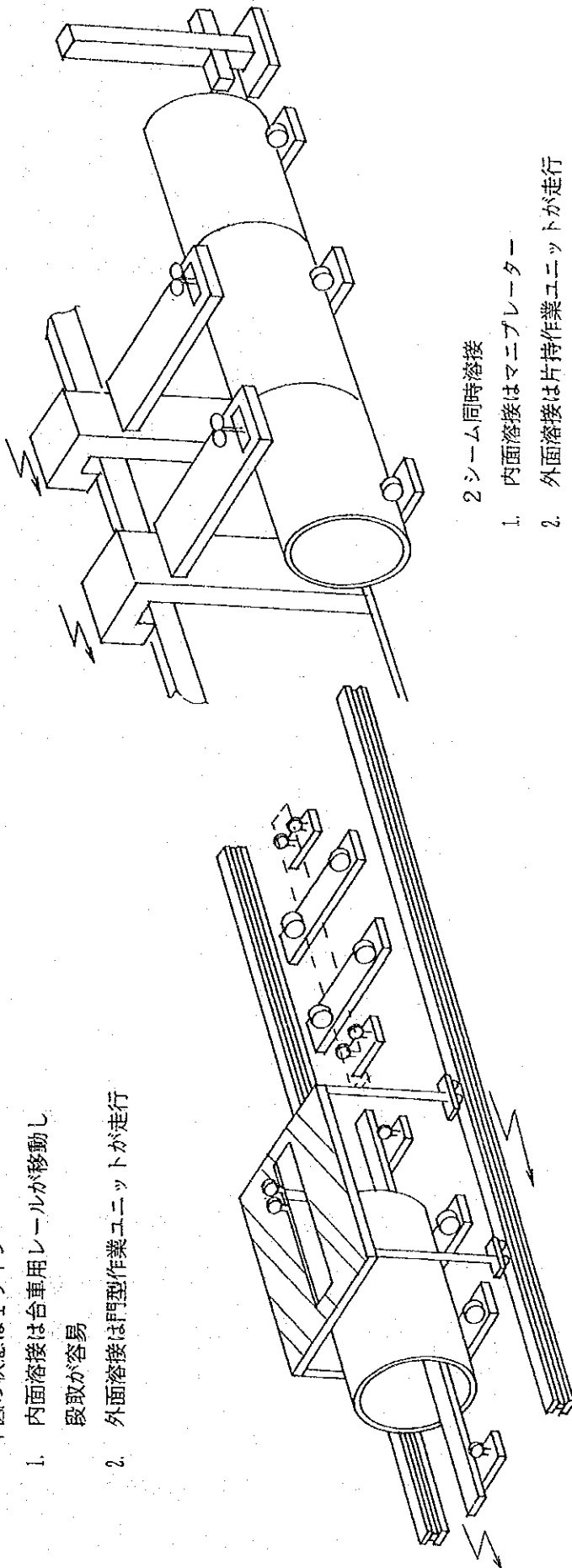
c) エレクトロスラグ肉盛溶接機

d) SAWタンデム溶接機

具体的な導入スケジュールについてはVI-7-3節を参照されたい。

下図の状態は1ライン

1. 内面溶接は台車用レールが移動し
段取りが容易
2. 外面溶接は門型作業ユニットが走行



2シーム同時溶接

1. 内面溶接はマニプレーター
2. 外面溶接は片持作業ユニットが走行

単 洞 ス テ ー ジ (新 設)

連 洞 ス テ ー ジ (既 設)

図VI-1-6-39 単洞・連洞ステージ概念図