講 義

造船溶接における技術革新の今後のありかたとこれに
付随する問題点ならびにその対策に関する考察(補遺)

山 本 登, 寺 井 清

Innovation of Welding in Shipbuilding and Observation
About the Problems Annexed to its Application (Supplement)

by Noboru Yamamoto and Kiyoshi Terai

第4章 自動化概論

1. まえがき

以上3章にわたって筆者は造船溶接の技術革新の今後を指向するとともに, その導入体制のありかたに言及した。しかしこれらにおいては議論を完全な形のものとしてと努力すればするほどその思考の過程は本質的な論理形体をとらざるを得ず, いきおい筆者の述べる説明が難解な文体となったことは否めないと思う。本章においては上述の欠を補うべく, 造船溶接の自動化を事例にとってその具体例を示し, あわせて筆者の説く溶接技術管理を解説する手段の1助としたいと考える。

さて図-12は最近3年間における全国主要造船所の溶接近代化の進展状況を自動化率ならびに専用化率により示したものであるが, これによると自動化率は昭和38, 39, 40年にわたって12.1, 12.7, 12.3%と12%合を低迷している。特に40年に12.3%とわずかながらも前年から後退したことは, 最近船台工程の溶接自動化の熱が高まっている折柄だけに, 意外とも遺憾ともいふべき結果といえよう。

もっともこの点について造船では船体構造の大きさ, 複雑さを説く以前の問題として溶接長で全体の80%を占

図-12 造船溶接の自動化, 専用化に関する最近の変遷

めるところのスミ肉継手をすべて高能率な専用棒で溶接しているから, 自動化率が他産業より低いとの意見もだされるかもしれない。しかし筆者の造船所においてはおなじく図-12に示すごとくもちろん突合継手にかぎっての話であるにもかかわらず, 自動化率は年々着実に3%程度の増加をみせており昭和40年平均で17%, さらに同年末現在においては20%合を超えるところまでいたっている。しかもいっぽうスミ肉溶接をはじめとする手溶接の分野でも専用化が増加しこの点でも全国平均をはる

原稿受付 昭和41年7月23日

正 員 川崎重工業(株) Member, Kawasaki Dockyard Co., Ltd.

かに上回る現状にある。ただし筆者がこれらの成果を得た理由の最大のものは個々の新しい技術改善の探求に由来することはもちろんではあるが、また同時にこれらの導入に際して巨視的立場からそれぞれの造船における比重を比較検討してその推進に関して総合的計画を確立したからにはかならない。

以下にその大要について示し読者の御参考に供したい。

2. 溶接自動化の総合的計画

船体の溶接はもちろん内業、地上、船台の3工程に分けて施工されるが、そのそれぞれにおいてどの範囲までの溶接が自動化されるであろうかを巨視的な態度で論じた資料は少なくとも現在までのところではみあたらないようである。表一5はこのような初心者的な疑問に答えて作製した結果であるが、このような primitive とも思えるものが現実には案外不明のままのこされることが多いのでいまここにその大要を説明しておこう。すなわち表一5ではまず継手を工程別ならびに部材の種別に18コのグループ(群)に分類している。ただしすでに述べた理由から自動化の対象はすべて突合継手にかぎっており、スミ肉継手は専用型溶接棒によるものとしてここでは議論の対象からはずしておく。さてこの場合溶接姿勢には上向のをぞくすべてが含まれるが、上向の場合は結局は下向の片面溶接で解決されると考えて終局的には下向に含めることになる。そして下向にはユニオンメルト法を主として使用するが、これの補助手段としてたとえばシーリングビードなどにオープンアーク法を併用することがある。また立向にはエレクトロスラグ法、エレクトロガス法あるいは消耗ノズル式エレクトロスラグ法が使用されるであろうし、さらに横向にはユニオンメルト法、 CO_2 ガスアーク法、オープンアーク法のうちのいずれかが適用されることになろう。つぎに適用の対象となる部材の種類であるが、これはそれぞれに対する自動化率が経験と計算から定量的に把握できるかぎりにおいて細分化したものである。この結果内業、地上、船台の各工程はそれぞれ2, 3, 13コの群に分割されるのであるが、各群には参考までにそれぞれの継手の工事量の大体の基準(criterion)を付記しておいた。

以上からいま自動化の推進限界をながめると、内業の小組立工程においては約4%, また地上の大組立工程においては15%となり、結局定盤上工事のみでも19%の多きに上るが、いっぽう難度のいちじるしく大きいと考えられる船台工程では群数こそ多いが自動化率の合計はせいぜい7%にすぎず、しかもその半数ちかくは上甲板や底部外板のバットとシームに集中されているから、結局自動化の効果を定量的にみるかあるいはまた定性的にみ

るかによってそのアプローチの意義には千差が生じることとなろう。たとえば現在のところ造船における自動化率の全国平均値は12%台であるからこれのすべてが定盤上工事により求められた数字であるとしても、難度の比較的少ない定盤での自動化はなお7%ちかくがのこされることになり、これのみでも船台上工事で求められる全部に匹敵する。もちろん技術者としての立場からいえば、技術的に難度の大きいものほどそれをのりこえてすすむときのよろこびは大きいにはちがいないであろうけれども、いま観点を生産性のうち最大の魅力と考えられる能率向上にすれば、この点に対する自動化の総合的效果はもちろん自動化率の大きいものほど大であるから、この定盤上にのこされた7%という数字はなによりもさきに処理されてしかるべきであろう。

とまれ自動化の限界はこういった点のすべてを解決してもなお26%すなわち全体の4分の1程度にすぎない。しかし欧州の造船所ではブロックの大組立に際してロンヅ材と板材との取合のスミ肉継手にも自動溶接を適用しているのでこれを専用溶接棒(主としてD4327)により施工しているわが国造船所と外国の造船所の双方の結果を単純に比較することは妥当でないし、またこれについての詳細の議論は別の機会にゆずることにするが、たとえ上記のスミ肉に自動溶接を適用しても自動化率はせいぜい12%程度であるから、以上を総合しても自動化率の最大限は38%どまりであるということになる。

3. 自動化推進上の問題点

さて表一5には溶接の自動化に際して解決しなければならぬところの定性的な問題点の内容をも明らかにしているので、いまこれらについてその詳細をながめてみよう。ただし問題点は溶接材料と溶接機器の両者にあると考えられ第1群から第18群までにはそれぞれ異なったものが示されているが、このなかには多くの共通した因子とたとえば単独でも自動化率の大きいものでは影響するところが大きいのでこの点から表一5に示す問題点をまとめてみると溶接材料面では(1)片面自動化、(2)高能率化、(3)対傾斜性の改善の3点、また溶接機器面では(4)溶接機の可搬性の改善、(5)高能率化、(6)ヘッドの登はん能力の改善、(7)半自動溶接の実用化の4点となり、このうち(2)と(5)ならびに(3)と(6)はそれぞれおなじ因子となるから、大きな問題点は大体5コということになる。いまこれら問題点を発生するための母体となった造船所の周辺状況について順をおってながめてみよう。

3.1 片面自動化

この方法についてはすでに一般の認識がふかくあらためて詳細を説明するまでもあるまい。しかし継手の単位

表一5 船体溶接の自動化の進展内容とこれに付随する溶接固有の問題点

群	工程	溶接姿勢	溶接法	適用対象	溶接工事量			自動溶接適用上の問題点		自動化率 (溶接材料重量比)
					単位継手長	板厚	頻度	溶接材料面	溶接機器面	
1	内業	下向	UM	小組部材一般 (頻度の多い内構材 単位長の大なる板材)	2~12m	12~30mm	—	なし	ヘッ드의軽量化 (B,C級)	2%
2	"	"	"	小組部材一般 (すべての下向継手)	大半が 2m以下 (300mm以下を除く)	大半が 20mm以下	非常に 多数	断面 ($t \leq 16\text{mm}$) の one pass 溶接	ヘッ드의軽量化 (A,B級)	2%
3	地上	"	"	平面ブロックの板 つぎ	12~16m	12~30mm	"	片面自動化	高能率化	~9%~
4	"	準下向傾 ($7^\circ \times 7^\circ$)	UM, OA	曲り外板	~10m~	15~22mm	比較的 多数	対傾斜性の改善	①ヘッ드의軽量化 (A,B級) ②溶はん能力の 改善 ③半自動溶接の 併用	5%
5	"	下向	UM	ビルヂ外板	12~16m	25~30mm	"	なし	ヘッ드의軽量化 (B,C級)	1%
6	船台	下向 (微小傾斜)	"	底部外板シーム	3~16m	"	"	片面自動化	ヘッ드의軽量化 (A級)	2%
7	"	"	UM, OA	底部外板バット	0.5~1m	"	多数	"	ヘッ드의特殊化, 軽量化(A級)または 半自動化	~0.2%~
8	"	"	"	ボットムロンズの フランジ材	~150mm~	~25mm~	"	"	ヘッ드의軽量化 (A級)または 半自動化	~0.2%~
9	"	"	UM	サイドロンズのウ エップ材	~500mm~	12~15mm	"	"	"	~0.3%~
10	"	"	"	上甲板	10~16m	25~30mm	比較的 多数	"	高能率化	2%
11	"	"	"	第2, 3甲板 フラット, 上構	2~10m	10~20mm	若干	"	ヘッ드의軽量化 (A,B級)	~0.5%~
12	"	立向	ES, EG	側外板 (横縁継手)	14~21m	18~22mm	"	高能率化	①溶接継手先端 部の処理 ②ヘッ드의可搬 性(クレーン への依存性) の改善	~0.4%~
13	"	"	"	縦壁 (横縁継手)	"	12~18mm	"	"	板厚差に対する 処置	~0.3%~
14	"	準立向	"	曲り外板 (横縁継手)	5~22m	"	"	"	オーバーハング 曲面の溶接に対 するヘッ드의特 殊化	~0.2%~
15	"	立向	CES	一般短小継手 (ボットムロンズの ムエブ, サイドロ ンズのフランジ)	0.5~1m	15~20mm	多数	アークスタート 部の処理	ヘッ드의軽量化	~0.3%~
16	"	"	"	デッキロンズのウエ ップ(デッキ板厚を含む)	300~500mm	25~30mm	"	—	異形断面への移 行部における欠 陥の除去	~0.3%~
17	"	横向	UM, CO ₂ , OA	側外板 (横縁継手)	12~16m	18~22mm	若干	片面自動化	①高能率化 ②ヘッ드의可搬 性の改善	~0.3%~
18	"	"	"	縦壁 (横縁継手)	"	12~18mm	"	"	"	~0.2%~
1~18	全工程	下立横 向向 向	合 計	—	—	—	—	—	—	26%

注) UM:ユニオンメルト法 ES:エレクトロスラグ法
 OA:オープンアーク法 EG:エレクトロガス法
 CO₂:CO₂ ガスアーク法 CES:消耗ノズル式エレクトロスラグ法

長さの大なる船体ブロックでは、他の構造物と異なった問題点もでてくるのである。表-6 はもっとも一般的な片面自動溶接を3種えらんでそれぞれの造船における得失を論じた結果である。これらには一長一短があてい

ちがい、優劣をきめることができないが、筆者のところではこのうちフラックス-銅バックング法（神鋼 FCB 法）を使用している。この方法ではとけこみとか巨視的ビード外観の点では良好な結果が得られ、全般的に中庸

表-6 片面自動溶接（ユニオンメルト法）における各種バックング方法の得失

バックング	フラックス	問 題 点				
		開先精度	バックングの密着性	仮付け	板厚差	うらなみ形状
銅バックング	一般用	開先間隙の許容精度がややきびしい。継手の直線度を要する。	完全でなければならない	ふつうの仮付けでは問題にならない	板厚差に応じて当金を変えねばならない	美麗
フラックスバックング	RF-1 (神鋼)	許容度が大	緩やかでよい	"	特別な処置を要しない	ややビードはば、高さが不揃いになる傾向がある
フラックス-銅バックング	PFI-45 (神鋼)	開先間隙の許容精度がややきびしい	"	"	板厚差が 3mm を超えるものについては曲面をもつ当板を用意せねばならない	ややビードはばが不揃いになる傾向があるが、全般的な形状は良好である

表-7 片面自動溶接法（神鋼 FCB 法）による施工条件と能率面に与える効果

工程	板厚 (mm)	溶接法	開先形状	溶接装置	溶 接 条 件				溶 接 材 料		能 率
					バ ス	電 流 (amp)	電 圧 (volt)	速 度 (cm/min)	心 線	フラックス	
地上工程	12	両面溶接		SW-24 (単電極 I ² R 法)	①	700~800	37~40	50~60	US 43 6.4 mmφ	PFH-45	100
					②	750~850	38~42	"	"	"	
	16	片面溶接		SW-24 (単電極)	①	800~1000	38~40	25~40	US 43 4.8 mmφ	PFI-45	120~150
	20	両面溶接		SW-24 (単電極 I ² R 法)	①	900~1000	37~40	35~40	US 43 6.4 mmφ	PHF-45	100
					②	1000~1150	38~42	"	"	"	
		片面溶接 (I)		SW-24 (単電極 I ² R 法)	①	1250~1350	36~38	34~40	US 43 4.8 mmφ	PFI-45	~100~
					②	850~950	40~45	"	"	"	
船台工程	12	両面溶接		交流アーク溶接 および KTW No.1	①~③	400~450	27~30	30~45	NA 50 3.2 mmφ	—	100
					④~⑥	170~200	22~25	15~25	LB 52 5 mmφ	—	
	16	片面溶接		SW-61 (単電極)	①	750~900	33~38	35~40	US 43 4 mmφ	PFI-45	500~800
					②	"	"	"	"	"	
	20	両面溶接		交流アーク溶接機 および SW-61 (単電極)	①, ②	170~200	22~25	15~25	LB 52 5 mmφ	—	100
					③, ④	600~900	33~38	30~35	US 43 4 mmφ	PFI-45	
	25	片面溶接		SW-24 (単電極 I ² R 法)	①	1250~1350	36~38	34~40	US 43 4.8 mmφ	PFI-45	250~350
					②	850~950	45~50	"	"	"	

を得た感じであることから選択の対象となったものである。表-7はこのFCB法を採用した場合の施工条件と能率を示す。この表ではまず全体を地上と船台の2工程に分けそれぞれを薄板($t=12\sim16\text{ mm}$)と厚板($t=20\sim25\text{ mm}$)のグループに分けて扱っているが、いまこの結果を表の右端に示す能率を中心にながめてみよう。

まず地上工程をながめた場合薄板のグループでは片面自動溶接の採用で20~50%の能率向上がみられるが、厚板ではおなじ単電極の溶接機を使用するかぎりでは能率の向上は認められない。しかしこれに2モータータンデムの多電極用ヘッドを使用すれば能率はいっきよに倍増することになる。しかし実際には2モーターのタンデムでは作業員が2人は必要であるからこの能率向上分は帳消しとなり結局もとのままということになる。これに反して船台工程の場合には両面溶接の場合片側はどうしても上向姿勢の手溶接となるから、この点で比較の基準が低能率となるのはまぬかれず、これを片面溶接としたと

きの能率向上はいちじるしく大となる。したがって以上の結果から、地上と船台とはおなじ片面自動化といってもおのずから重点の異なることがわかる。すなわち地上工程の場合片面自動化はいわば無反転型ともいふべきものでこれは明らかに工程の促進をねらったものであり、船台工程のものは姿勢変更型ともいふべきもので、このほうは明らかに能率の向上にその最大の目的を求めることができるのである。

3.2 高能率化(高速度化)

自動溶接を高能率化しようという問題は従来しばしば議論の対象となってきた。なぜならば造船において操業度を高めるのに neck point はつねにこのような機械設備への依存度の高い工程に求められるからである。そしてこれが両面溶接から片面溶接へと変換されると設備への依存度がますます高まると同時に、1パスで上面までいっきよに仕上らないときのスラグの剝離性の不良を除去したいという技術上の欲求からも、この高能率化

表-8 自動溶接の高能率化のための諸策

改善部分	溶接方法	施工法の大要	能率向上 (標準法 = 100)	作業管理上の問題点		
				溶接ヘッド の追加部品	ヘッドの概 算追加重量	溶接施工に際して 追加されるべき必 要な作業要素
機 械 工 程	多電極法① (1モーター タンデム)	ふつうの自動溶接においては電極は1本であるが、多電極法では通常2本以上の電極が用いられる。1モータータンデム法では2本の心線を1つのフィード・モーターで送給するが、この場合モーターの容量に限界があるため4.8 mmφの心線が用いられる。	150	(1) ワイヤール、心線 (2) フレームローラなどの構造部材の増大	20 kg	(1) 心線の装填 (2) 溶接機重量の増加に伴い移動する際の作業員に対する負担の増大
	" ② (2モーター タンデム)	2モータータンデムでは2本の心線をそれぞれ別のモーターで送給する。この場合は使用心線の径に制限を受けない。したがって1モータータンデムよりもさらに高電流、高速度溶接ができるが、ヘッドの重量がそれだけ増加する	200	(1) ワイヤール、心線 (2) モーター、フレーム、ローラなどの構造部材の増大	50 kg	(1) 心線の装填 (2) 溶接機重量の増加に伴い移動する際の作業員に対する負担の増大 (3) 操作の複雑性の増加
	I ² R 法	自動溶接心線の通電部分 extension を長くして、抵抗を増加せしめ、これによって溶接時に心線をあらかじめ予熱して溶着速度を向上せしめる	140	extension 用 治 具	4 kg	アーク電圧の監視と調節
	多電極法③ (2モータータンデム + I ² R)	上述の多電極法にさらに I ² R 法を併用するものであり、単独方法よりもいっそう溶着能率が增大し、溶着速度が向上する	200~250	(1) 多電極による重量の増大 (2) I ² R 効果のための extension 用治具	28~58 kg	上述の多電極法と I ² R 法の両要素が必要な作業要素として加わる。
冶 金 工 程	フィラメタル法① (KK-F, FN 法)	一見多電極法と似ているが、KK-F, FN 法では使用心線の2本のうち1本はふつうの自動溶接とおなじく通電しているが、他の心線は通電せず単に溶加材として溶融池の近傍に送給され、これも同時に溶融せしめて溶接能率の向上を図るものである。この他この溶加材の成分を変えることにより溶着金属の性能も向上せしめることが可能であるといわれている	130	(1) ワイヤール心線 (2) フレーム、ローラなどの構造部材の増大	20 kg	(1) 溶加心線の装填 (2) 溶接機重量の増加に伴い移動する際の作業員に対する負担の増大
	" ② (cut wire 法)	この方法は開先内に 1mm 程度にこまかく切断した細径の cut wire を充填して、自動溶接を施工する方法でアークエネルギーを有効に利用して、溶接速度の向上を図る点は KIS 法とおなじであるが、取扱いが比較的簡単なことがこの方法の利点といえよう	130	A なし (ホッパーをとりつけない場合) B cut wire 用ホッパー	0 kg 8 kg (ホッパー内 cut wire を含む)	溶接前に開先内に cut wire を撒布、充填する cut wire 用ホッパーへの cut wire の補給
	" ③ (KIS 法)	開先内に三角形あるいは他の断面形状の金属片を充填して、自動溶接を施工し、この際発生する余剰アークエネルギーをもってこの充填金属片を溶融して、溶接速度を向上せしめあわせて開先間の心線の溶落を防止することを目的とした	130	なし	0 kg	(1) 溶接前における金属片(KIS)を開先内にとりつける作業 (2) 開先内に仮付けする場合は金属片を設置することを考慮する必要がある
	鉄粉添加法	自動溶接フラックス中に鉄粉を添加し、溶接時にこの鉄粉もあわせて溶融して溶着能率を増大せしめ、溶接速度を向上せしめる	130	なし	0 kg	適切なビード形状が得られるよう溶接条件を調整する

の問題点はさらに大きく close up されたかたちとなる。表-8はこの件について高能率化の方法を機械工程と冶金工程の2つに大別して、そのそれぞれにおける施工法の概要を示すとともに、それらの結果得られる能率向上の程度とさらにこれらを実施するに際して必要となる付随作業の内容の詳細を記したものである。

ちなみに筆者の造船所を例にとれば機械工程では軽量自動溶接機以外にはすべて I²R 法を採用しており、片面自動溶接では2モータータンデムに I²R 法をつけて使用している。また冶金工程では cut wire 法ならびに鉄粉添加フラックスを使用して能率の向上を計っている。ただし片面自動溶接ではうらなみビード形状を良好にするためにはヘッドの移動が一定速度範囲に押えられるので、ある程度以上の高能率化は効果がないようである。

3.3 溶接機の可搬性の改善

可搬性の改善とはヘッドの軽量化であると単純に考えるひとが多い。とくにメーカー関係に多いのはむりないとしても、造船所側での認識がこの程度にとどまること自体に問題がのこる。われわれは可搬性の改善とはクレーンへの依存度の減少であるということをしかりと把握する必要がある。そしてこれを遂行するためには溶接機の可搬性のみを論じることなく、つねに溶接機の機能（電源能力、ヘッドの堅牢さなど）との関係において議論されなければならない。たとえばユニオンメルト機でいかに軽いヘッドをつくらうが、1パスで板厚が15mmまでしかできないというのや、また半自動溶接ヘッドでたとえ 16kg のものができようがひとたび高所から落下すればこわれてしまうようなものではその造船での実

図-13 船体ブロックの片面自動溶接(A)とこれに適用中の多電極-I²R 法用自動溶接ヘッド(B)。このヘッドは現在のところ溶融速度の点から造船用としてはもっとも高能率と考えられる。

用価値は最低にとどまる。

(1) ヘッドの軽量化

従来わが国メーカーのカタログではユニオンメルト機

表-9 造船用自動溶接機ヘッド（ユニオンメルト法）の可搬性と性能

級	ヘッド重量 (kg)	可 搬 性	実 例					
			型 式	ヘッド重量 (kg)	心 線 径 (in.φ)	最大電流 (amp.)	国 名	メーカ
A	15~25	1人で運搬可能 (容 易)	A-2	18	5/64~1/8	600	スウェーデン	ESAB
			SW-61	22	3/32~5/32	900	日 本	大 変
			SW-81	25	3/32~3/16	1000	"	"
B	30~40	(やや困難) 2人で運搬可能 (容 易)	HSA 80 PT	32	1/8~5/32	800	スウェーデン	Häggglunds
			AS-5	40	3/32~1/8	600	ベルギー	ARCOS
			TS-17 R	"	1/16~3/16	1000	ソ 連	--
C	45~70	(やや困難)	LAF-II	40~45	5/32~7/32	1200	米 国	Lincoln
			SW-41	50	3/16~1/4	1300	日 本	大 変
		(非常に困難)	ADS 1000-2	65	1/8~1/4	1200	ソ 連	—
			AS-4	70	3/32~3/16	800	ベルギー	ARCOS
D	90~110	人力で運搬不可能	米国 (Linde 社), 日本の各メーカーが単電極用として従来販売してきたものはすべてこの級に属する (例: UE 37, SW-24, GI-D)					
E	120~160	"	"	"	"	2電極用として現在販売しているものは	"	"

にかぎらず、すべての溶接機でヘッドの重量を記したものはなかった。そしてこれについて質問しても自社の製品についてすら確たる回答を求めることはできなかった。つまりこの点についてはまったく無関心であったといわれてもしかたはあるまい。筆者はこの点の啓蒙手段として溶接ヘッドの重量を拳闘やレスリングの選手のようにランキングすることを考えて、表-9をつくった。まず1人で容易に運搬できるものをA級 (15~25 kg), 1人ではやや困難だが2人では容易なものをB級 (30~40 kg), 2人ではやっともてるというのをC級 (45~70 kg) としこれ以上人力では運搬不可能なものを100 kg前後 (90~110 kg) すなわち従来の単電極のヘッドをD級, また140 kg前後 (120~140 kg) すなわち従来の多電極のヘッドをE級として全体をこの5コの階級に分類しその性能の優劣を比較した。表-8をつくった当初 (すなわち2年まえ) はA,B,C級には国産のものは1台もみあたらなかったものである。しかしこのような必要性のくりかえしてのPRによる刺激はしだいにメーカ

一側に浸透しこれに筆者をはじめとする造船所側の orientation が付加されて、いまでは表に示すごとく国産のものは外国製品をはるかにぬいて優れた存在となっている。

(2) 船台上における可搬性の改善

船台上の場合ほど可搬性に対する認識のひくいものはない。なるほど定盤上においては溶接電源の多くは固定されているから、ヘッドの軽量化はそのままクレーンへの依存性を大はばにひくめることができた。しかし船台上においてはこの前提条件はまったくあてはまらない。したがってクレーンの使用回数は1つの区画に少なくとも1回は必要なのであるから、ヘッドの軽量化に走るよりもむしろ溶接装置に局部的な自走装置をつけることのほうが可搬性の改善に役だつことになる。図-15はこれらに対する筆者のこころみのひとつを示すものであって、上甲板ブロックまたは側部タンクの中間フラットをおいてから側外板のバットやシームを溶接するには、このように専用化された機器は機能の低下をみずに有効に活用されることになろう。いっぽうこれに反してある種の外

図-14 小型軽量化されたユニオンメルト。ヘッド重量はわずか22kgであるが、外国製品にありがちな「小型化による機能の低下」のないところがすぐれている (定格電流 900 amp., 心線径 5/32吋)。①は船台上でヘッドを運搬中、②は小組立に際して活用中の状況。

図-15 setting に際し クレーンの依存度を減少させることを目的として筆者の orientation により製作された造船用溶接装置 (立向自動溶接機ならびに横向自動溶接機)。いずれも船台工程における可搬性が大はばに改善されている。

国製品ではヘッド重量わずかに 5 kg というエレクトロスラグ溶接機があるが、機能の低下が大きいことを考えるとこれらは現状のままではとても造船の現場では使いものにならない。

3.4 対傾斜性の改善

造船に溶接が導入された結果近代化がなされたとするならば、その最大の要素はまずブロック建造法にもとづく地上工程の確立に求められ、つぎにこの地上工程において造船への流れ作業の導入のいとぐちとなった枠組工法の採用に指を屈しなければならない。しかし船体が流体中を推進する運動体であるからには必然的に流線型をとらざるを得ず、したがってその前後部には多くの曲面ブロックが生じることになる。そして上述の枠組工法は従来船体平行部分にのみ適用されており、これらの曲面ブロックについては例外的に個別製品生産方式をとらざるを得なかった。

いわゆる曲り外板の自動溶接の成功は板つぎ工程の分離を要するところから当然他の平板ブロックと同様の工法を実施することになり、これに刺激されて組立技術上の多くの点が改良された結果、造船ははじめて全面的に流れ作業に依存する近代産業としての第 1 歩を印すことになる。そしてこれの原動力となったフラックスの開発にあたって筆者の与えた指針は単に「近代化」の根本原則とされる「専用化」を方法としたにすぎない。表-10 は開発の結果もたらされた曲り外板ブロックの板つぎに対する自動溶接の施工条件を示す。

なお機械装置の面ではもちろん前述のヘッドの軽量化が問題となるが、これに加えるにヘッドに登はん性を与えるためにはアプト式鉄道のようにレールにラックをつけてすべりどめ装置を施す必要があろう。

3.5 半自動溶接の実用化

図-16 造船に活用されるオープンアーク式半自動溶接 (A: 曲り外板の自動溶接のための下より溶接, B: 舵構造のエレクションボルトのはめこみ溶接)。自動化困難な継手はすべてこの方法で近代化されていく。ヘッドは筆者の orientation により造船所向きの堅牢かつ実用的な構造と機能を有しており、しかも可搬性改善の点からヘッド重量を 18 kg に押えるのに成功した。

半自動溶接の実用化の問題点にはもちろん前述のヘッドの軽量化が入る。しかしこの他の問題点としては従来 CO_2 ガスアーク溶接が造船にとり入れられなかった最大

表-10 曲り外板の板つぎに対する自動溶接 (ユニオンメルト法) の適用条件の 1 例

ブロック	開先形状 ($t=20\text{mm}$ の場合)	傾斜	溶 接 条 件				溶 接 材 料		備 考
			パス	電流 (amp.)	電圧 (volt.)	速 度 (mm/min.)	心 線	フラックス	
平 板		0°	BP	750~800 (800~850)	33~35 (38~40)	330~350 (400~450)	US 43	PFH 45	() 内数字 は I ² R 法 (KK-X法) による場合 を示す。
			FP	1000~1050 (1100~1150)	34~36 (38~42)	280~300 (350~400)	"	"	
曲 り 外 板		0°~3°	BP	850~900	35~37	180~200	"	PFI 45	BP側: オープンアーク法でシーリングビードをおく。 FP側: ガウジング
			FP	800~850	36~38	350~400	"	PFH 45	
		3°~5°	BP	750~800	33~36	150~160	"	PFI 45	
			FP	700~750	35~37	330~350	"	PFH 45	
		5°~10°	BP	700~750	33~35	140~150	"	PFI 45	
			FP	600~650	33~35	300~320	"	PFH 45	

の理由はシールドガスのためノズルが太くなり作業性が悪くなると、風によりシールドガスが拡散することの2つが致命傷としてあげられる。

オープンアーク溶接が以上のすべての点に有利であることは論をまたないし、これが交流でしかもふつうの手溶接機を電源とすることができる場合、あとはヘッドの可搬性の点さえ解決すればその機動性は数十倍の価値をもつことになる。

筆者の orientation がこれらの点に集中されて強力に推進された結果、図-16に示す完全に造船所むきと考えられるコンパクトな半自動用ヘッドが実用化された。なおこのヘッドは重量は 18 kg で他の同種製品の $\frac{1}{3}$ にすぎないが、少なくとも 5 m の高さからの落下衝撃によく堪えるほか、たとえもっともデリケートな制御部分に故障が生じてこれらはソケット式にかんたんにぬきだせるので予備回路さえあれば即時に素人にも修繕できる。しかしこの部分はドラムとワイヤさらにその外側をパイプ

図-17 船台溶接の自動化は造船現業部門の溶接技術者の今後の最大の課題である。消耗ノズル式エレクトロスラグ法もその1つであり多くの技術的難点を克服して実用化がすすめられていく(①:表-1, 第16群, ②:表-1, 第15群)。なおヘッドは半自動溶接用のものがそのまま適用されているので可搬性その他に問題はない。

支構で保護されているのでめったなことでは故障しない構造となっている。

またこのヘッドは図-17に示すようにそのまま消耗ノズル式エレクトロスラグ法にも転用できるため、筆者の造船所ではすでに神戸工場のみで35台(この数字は現在の日本の造船所のもつすべての CO_2 ガスアーク溶接用ヘッドの半分以上にあたる)のものが使用されている。

4. 自動化推進の過程

さきに表-5に自動化の範囲とそれにとまう問題点について示したが、ここではそれを実際に推進した量的過程について述べよう。さて自動化を推進する場合、その効果には表-3(第2章)に示したように能率の向上、工程の促進、熟練の移転、品質の向上の各因子があり特にはじめの2因子が作用して実際の周辺条件は絶えず変ることになる。たとえば図-18は横軸に自動溶接機の台数をとり、縦軸に自動化率をとって、自動化の推進には溶接機の設備が大きく影響することを示すが、いっぽう自動化の推進は能率の向上により工数の相対的減少をもたらすととも工程を促進して操業度を向上させた結果、生産量(月間加工重量)をも大はばに増大させることを示している。またこの推進の過程は第3章にも述べたように段階的に拡大されているため、推進の各過程と適用範囲の量的関係は経験的によく把握されており、その内容が曲線の右側に実績として記入されている。なお図-18には月間加工重量が 1,000 ton あたりの溶接機台数を比溶接機台数として参考までに記入したが、これは全国造船所の平均自動化率(12.3%)のところでは3.0台/10³

図-18 溶接自動化の進展過程を示す具体例(川重神戸)

ton となり、これまた全国平均値とよく一致している。

5. あと が き

従来造船溶接の自動化に関連して多くの報告が発表されている。そしてそれらに使用された個別的な方法はいずれも例外なく能率の向上をねらうための有力な手段としてははばなく喧伝されている。しかし筆者はこと造船に関するかぎりでは、1つや2つの新しい技術が造船の全工程にわたって決定的な効果を示すほど造船は単純な生産機構をもつものではないと考えている。そしてこの結果自動化といってもこれは単にある1つの装置的な方式で求められるところの automation of welding (溶接のオートメ化)ではなく、各種の自動溶接を総合して推進するところの promotion of automatic welding (自動溶接の推進)であると信じている。したがって造

船溶接の自動化においては個々の溶接法をミクロ的に究明することはもちろん大切な技術的アプローチとされるけれども、終局的には多くの方法を価値分析してこれらをマクロの見地にたって取捨選択する態度はより重要なアプローチの方法として認めなければならない。

このような見地からしてここにまとめた事例研究では問題点を総合的にとり上げるべく、主としてその発生するにいたった周辺条件の記述に意をそそぐと同時に問題点の輪郭を明らかにするよう努力し、問題点個々の解決はむしろ読者の判断にゆだねるべくこれを誘導していくことに重点をおいた。そしてこれはとりもおさず第3章において筆者の指摘した2次的技術者がメーカー側に与える1次的 orientation の1つのよき例にほかならないと考えるのである。

次 号 予 告

講 義

塗 装 と 溶 接 明 石 重 雄

資 料

最近における高能率溶接法実用化の動向と溶接自動化の面からみた
評価基準について { 妹 島 五 彦
石 原 政 男

論文および報告

ニッケル基耐塩酸合金の溶接 { 中 井 恒 男
山 根 寿 己
田 中 正 雄
大 坪 秋 穂

プラズマジェットの特性に関する研究 (第1報) { 岡 田 田 代 実 正

CO₂-O₂ アーク溶接法による鋼材溶接部の衝撃値 (第1報) { 益 本 功
玉 置 維 昭
浅 井 良 彦

アルミニウム合金無処理板用点溶接法の超音波利用の研究 (第1報) { 上 田 哲 夫
木 村 君 志
西 野 嶺

含 AlN 鋼の溶接性に関する研究 (第1報) { 岡 田 実 夫
新 中 成 嘉
三 尾 沢 博 邦 士

低温用鋼材の CO₂-O₂ アーク溶接について (第1報) { 関 口 春 次
益 本 兼 郎
今 井 功 敬

I.I.W. および J.I.W.

疲労履歴を受けた原寸構造物試験片のぜい性破壊 藤 井 英 輔

文 献 紹 介