

造船と溶接

大阪変圧器 K K*

溶接機事業部 上 田 虎 之 助

1. はしがき

わが国の商船進水量がここ数年にわたって世界第一位を確保し続けていることはしばしば新聞紙上に報じられているところである。昨今各企業とも不況を伝えられ、造船もまたその例外ではないが、その検査量で世界を二分する米国船舶協会 (A. B. S.) の月刊公報によると、四月現在、世界各国において建造中及び契約済の商船は第 1 表の如くであつて、依然わが国の優位は揺ぎないことを示している。

第 1 表 各国手持造船量 (1962年 4 月現在, A. B. S. クラスのみ)

国別	隻数	トン数 (G.T.)	60,000トン(D.W.) 以上, 隻数
アメリカ	68	769,627	0
フランス	11	254,400	1
ドイツ	11	272,900	3
イタリー	37	769,000	1
日 本	36	1,101,826	9

造船、特に船殻には過去の銲接にかわつて溶接が採用され、第二次大戦後、自動溶接 (ユニオンメルト溶接) がわが国に導入され、現在その溶接速度、溶接結果及び経済上の点で欠くことの出来ない溶接方法として造船には勿論広く各種工業分野で使用されはじめてから既に十余年の歳月を経てきている。その間、ユニオンメルト溶接は分相応なしかも頗る重要な役割を著実に果たして来たといえよう。

アーク溶接が造船に先ず採用され、更にユニオンメルト溶接法が開発されるに及び、造船への溶接の応用が本格化したわけであるが、その間には造船用鋼材、造船設計、溶接用消耗材及び機器並びに溶接施工の面で種々の問題があつたことは言をまたないが、主として鋼材並びに消耗材の点から、その発展の経過と今後の問題にふれてみたい。

2. 造船への溶接の導入と鋼材

全溶接船の建造は、溶接をも含めた広範囲の造船技術

の面からはその実施がたとえ可能であつても、保険会社と直接または間接に関係のある船級協会の認定の問題や船主の意向等があるので、その歴史は比較的新らしい。世界最初の全溶接船としては、1920年英国で建造された全長150呎の貨物船 Fullagar 号で B C 船級 (後にロイド船級協会 (L. R.) に合併) のものであると記録されている。小型のバージーやバージータンカはこれより約10年前頃から建造されていたようである。我国ではフェリーボートが1920年頃、旧海軍の大鯨、八重山がそれぞれ1931年及び1932年に全溶接で建造されている。(福田烈、溶接技術、1958年、3月号)

溶接が大々的に造船に採用されたのは、なんと云つても第二次大戦の初期英国が激減した船腹を充足すべく、米国に造船使節団を派遣し、英国の設計による標準型貨物船60隻を米国の二造船所に発注したことにその緒を發したと云えよう。当時米国も参戦直前のあわただしさの中にあり、各業種とも熟練工の不足が甚しく、殊に銲接工は全く払底し契約期日迄の必要船量量の引渡しは不可能であつた。そこで、米国としては当時内海及び港湾用のバージーやタグボート程度しか全溶接船を建造した経験がなかつたのであるが、この標準型貨物船をその設計のまま、すなわち、銲接構造のものをそのまま溶接に切換えることにしたのである。

この英国設計の標準型貨物船が "Oscan" 型であつて、その多量生産向の優れた設計は米国内でも高く評価され、これを米人船員向に一部設計変更したものが、後に米国の戦時標準船として我々 溶接屋にもなじみ深い "Liberty" 型貨物船である。

"Lrverty" 型貨物船は1942年~1945年の4年間に2,700隻建造されたが、そのピーク時には1日約6隻の割合で進水したと報告されている。"Ocean" 型及び "Liberty" 型のいずれも建造中及び就航後、しばしば船体にある種の亀裂を生じ、甚しい場合には船体放棄が行われるような事故が報告されたが、A B S が主軸となつてそれ等の情報を分析し総合して、この破壊現象を次の3種に分類した。

- 1) Hull Girder 即ち Bottom Shell, Side Shell, Main Deck Planing に生じた破壊で船体の安全性にかかわるもの。

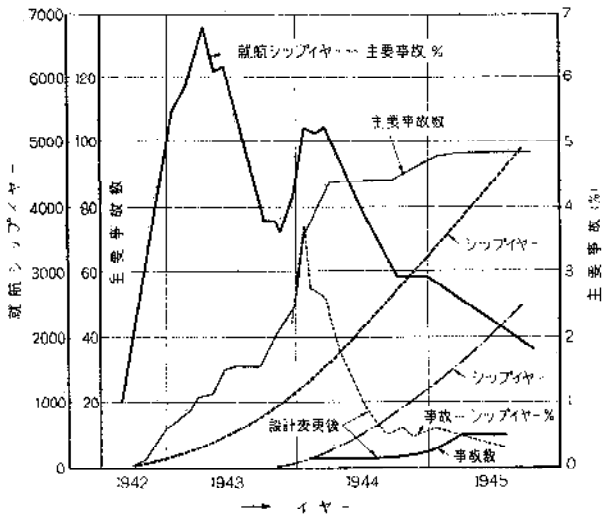
* 大阪市東淀川区元今里北通 3 の14

- 2) Hull Girder に破壊は生じたが、船体の安全性を失う程ではないもの。
- 3) 内部構造材における種々の亀裂で Hull Girder の強度には先ず心配のないもの。

全“Liverty”型2,700隻のうち上記(1)の分類に入るべき事故を起したものが99隻あり、その中7隻が沈没または使用不能になった。この事故の原因究明にあたり、事故がいずれも大気温度が相当低温であつた場合に生じたことを考慮に入れるとともに次の三点に焦点を絞つて官民合同の調査が大々的に行われた。

- 1) 鋸接構造をそのまま溶接構造にしたための設計上の欠陥
- 2) 使用鋼板の冶金的な欠陥
- 3) 拙劣な施工法に起因する工作上の欠陥

この結果、種々対策が報じられたが、その一例として、船殻全部を溶接構造とせず、鋸接を一部残し、いわゆる“Cruck Arrester”の役目をさすように設計変更が行われたが、このような設計変更の前後では第1図に示すように事故件数が相当低減している。



第1図 “Liverty”型貨物船の設計変更前後の事故数

たまたま1942年、上記調査の行われている最中に北大西洋沿岸の一造船所で進水後間もなく艀装中のT2タンカーが突然真二つに折れると云う事故が発生し、「鋼材の低温に於ける切欠脆性」が大きくクローズアップされてきた。

ABS, LR, NV. (ノルウェー船級協会)の何れも当時船殻用鋼板規格としては平かまたは電気炉により製造されたもので、抗張力、降伏点、伸及び曲率げのみを規定し、化学成分には何等の規格もなかつたのであるが、1948年ABSは鋼板の厚さにより、A, B, Cの3クラスに分け、その化学成分を第2表に示す如く規定した。

1948年以降数年間は大型商船の建造は26,000~28,000

第2表 船殻鋼板規格 (A. B. S. 1948年)

	クラスA T < 1/2"	クラスB 1/2" < T < 1"	クラスC T > 1"
C%	—	0.23 max	0.25 max
Mn%	—	0.60~0.90	0.60~0.90
P%	0.04 max	0.04 max	0.04 max
S%	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Si%	—	—	0.15~0.30

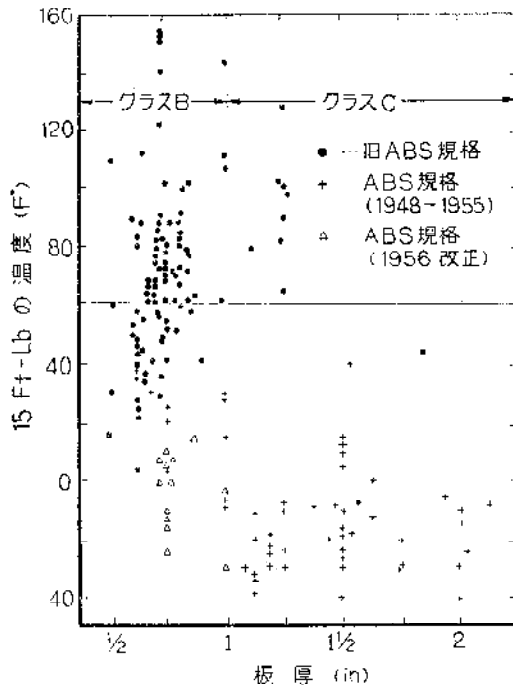
トンのいわゆる“Supper Tanker”が主であつて、使用鋼材は厚さ1/2吋(12.5 mm)~1吋(25 mm)のものが圧倒的に多く板厚25 mmをこすものは極く少なかつたが、その後タンカーは大型化の一途をたどり、30,000, 40,000, 50,000, 更に80,000, 100,000トンの超大型船の出現により規格改正の必要にせまられ、1956年クラスBのC%を0.21 max Mn%を0.80~1.10に、またクラスCに対してはC%を0.24 maxにおさへ、更に1 1/2吋以上のものは焼ならしを行い、結晶粒の微細化を規定した。現用のABS船殻鋼材規格は第3表の如くである。

第3表 船殻鋼規格 (A. B. S. 1956年)

	クラスA	クラスB	クラスC	クラスD	クラスE
化学成分					
C%	(a) 0.2max	(c) 0.23max	0.21max	0.18max	
Mn%	(a) (b)	(d) 0.60	(e) 0.60	(f) 0.70	
		0.80mm	~0.90	~1.40	~1.50
Si%	(b)	—	0.15~0.30	0.35max	0.10~0.35
S%	0.05max	0.05max	0.05max	0.05max	0.05
P%	0.05max	0.05max	0.05max	0.05max	0.05
機械的性質					
抗張力 kg/mm ²	41~50	41~50	41~50	41~50	41~50
衝撃値 (Ft-Lb)	—	—	—	0°C 35	-10°C 45 min

- (a) 板厚1/2を過えるものはキルド鋼又はセミキルド鋼で Mn% > 2.5C%
- (b) Si%が0.15%を超へる場合には Mn%を0.70% C + Mn/6 < 0.40でも可
- (c) 焼準したものはC%0.24迄可
- (d) C + Mn/6 < 0.40の場合にはMn%は上限を越へても可
- (e) (f) C + Mn/6 < 0.40

さて、鋼材の製法を規定し、更にそのC%をおさえ、Mn%をやや高目にもつてきて、特に1/2吋以上のセミ、キルド鋼ではMn%がC%の2.5倍以上と規定して、果して実際問題としてどの程度鋼材の脆性が改善されただろうかは、第2図に示される如くである。



第2図 新旧ABS規格とVシャルピー値の関係

旧ABS規格のものでは、60°F以上でVシャルピーの吸収エネルギーが15-Ft-Lbに足らずいわゆる脆性破壊を起している例が多いが、1956年の改正による化学成分のものは鋼材が靱性を失い脆性破壊を起す温度が大巾に下つていくことがわかる。

Vシャルピーの吸収エネルギーが15-Ft-Lbを割る温度が60°F以下であれば100%安全率を期待し得るものか、或はもつとずつと低温迄少くとも15Ft-Lbの衝撃に耐へなければ危険であるのかについては未だ勿論種々議論があるのであるが、一応26,000トン級のSuper Tankerに関してはその就航以来現在に至る迄事故発生は報告は出されていない。併し前述のように、急激なタンカーの大型化に対処するため、第3表の如く新たにクラスE、クラスFの鋼材規格が追加され今日に至っている。

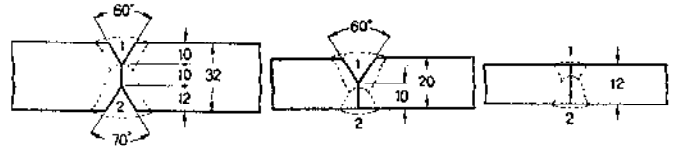
第3表はABS規格であるが、各船級協会によつてその規格が違ふための種々な不便を除くため、日本海事協会(NK)も出席する世界船級協会の会合でしばしば船殻用鋼板規格の標準化が論議され、現在未だ細部については幾分の相違はあるが、ABS、LR、NV、NK等世界の7船舶協会はその規格の世界的視野にたつた標準化を行い、殆んど現在では同一規格のものになつている。

尚、「鋼材の低温における切欠脆性」に関しては我国においても戦後早くより関係学界及び研究者間で注目され、脆性破壊の発生と伝播についての機構究明に関する膨大な研究報告が出されているが、東大木原教授、阪大渡辺教授等の業績は広く、世界の注目をあび高く評価されていることを付言したい。

3. 船殻用鋼板のユニオンメルト溶接

1) 開先形状及び溶接条件

ABS規格では前記の第3表の如く船殻用鋼板の厚さは1/2吋(12.5mm)以下、1/2吋(12.5mm)以上1吋(25mm)迄及び1吋(25mm)以上の三種類に分類されているが、これ等をユニオンメルトで突合せ溶接する場合の開先形状と溶接条件とは、各造船所によつて幾分の相違はあるが、第3図の如くである。



	板厚 (mm)		電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)
	32	1	1050	35	20
		2	1320	36	25
両面1層溶接	20	1	950	33	40
		2	750	33	50
	12	1	650	33	55
		2	750	35	55

第3図 突合せ溶接の開先形状と溶接条件

2) ユニオンメルト溶接用消耗材

ユニオンメルト溶接は芯線とフラックスを適当に組合せることによつて、溶着金属の物理的性質及び化学的性質を、無論或る限度はあるが、任意に変へ得ることがその特長の一つでもある。溶接すべき鋼材の製法種類により理想的には、化学的、物理的さらに金属組織的にみて母材と同一な溶着金属が得られるように芯線とフラックスの組合せを選定する。

我国と関係深いNK、AB、LR、NV等の船級協会がそのクラスの商船に使用の認可を与へているユニオンメルト溶接用芯線とフラックスの組合せは第4表の如く

第4表 (船級協会が認定している芯線とフラックスの組合せ)

板厚 mm	芯線 "Oxweld No.	フラックス Unionmelt Gr.
12.5以下	43	50
	36	20
12.5~25	43	50
	36	20
25以上	43	50
	36	20

である。

第5表 (芯線の化学成分)

	Oxweld No. 43	Oxweld No. 36
%C	0.09	0.13
%Mn	0.44	1.95
%Si	0.03	0.03
%S	0.03	0.03
%P	0.02	0.03

2-1 芯線

Oxweld No.36 及び No.43 は第6表にその標準の化学成分を示した如くそれぞれC-Mn系及び低C系の鋼材である。

2-2 フラックス

ユニオンメルト溶接に使用されるフラックスは SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃ 等を 1,700°C 位迄加熱し完全に溶融し均一なガラス状物質にしたものを冷却、凝固、粉碎、篩分して規定の粒度分布を与へたもので、広く実用されているものが約10種類あるが、それ等を化学成分からみて大別すると次のようになる。

- 1) SiO₂-CaO-MgO型
- 2) SiO₂-CaO-MgO-Al₂O₃型
- 3) SiO₂-MnO型
- 4) その他

Unionmelt Gr 20 及びGr.50はそれぞれ(1)及び(2)に属するものであるが、前述した第二次大戦中の“Liberty”型貨物船に使用されたものは SiO₂-CaO-MgO 型のものであった。Gr50 はリムド鋼の硫黄偏析による「硫黄

割れ」防止に有効であつて、二次大戦末期にその母体となるべき成分組成がきめられ、その後数回の成分の変更、製造法の改善を経て今日の Gr. 50 になつている。

第6表 溶着金属の化学分析結果

	36-20	43-50
C	0.07	0.09
Mn	0.98	0.68
Si	0.27	0.76

Oxweld IVU. 36 -- Unionmelt Gr. 20 及び Oxweld No.43--Union melt Gr. 50 の組合せで第4図の如く 32 mm 厚鋼板にU開先をとり溶着金属を作つて、ここから試験片を採取して機械試験及び化学分析をした結果は第6表の如くである。第6表はLR協会の定期検査の結果であるが、No 36-Gr20 の衝撃値がやや低い。これは元来 Gr. 2 C は三層以上の多層盛溶接に使用すると溶着金属中のSiが多くなるのでその使用は推奨していないのであるが、試片作成上止むを得ず多層盛溶接を行つたものである。多層盛溶接には Unionmelt Gr. 80 を普通使用するが、この場合には溶着金属中の Si は0.4程度にとどまり、0°Cに於けるVシャルピーの値は8~9 kg-m/cm が得られるのが通例である。

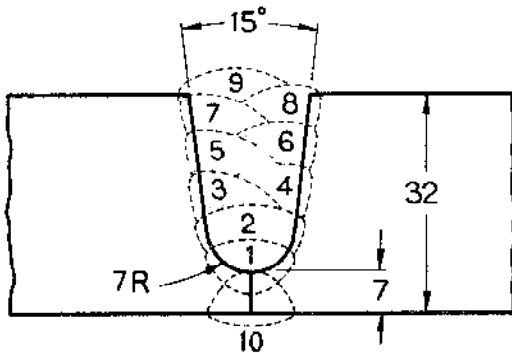
4. あとがき

高抗張力鋼を商船に使用する話は数年前よりしばしば耳にしていたが、現在迄のところ日本鋼管鶴見造船所及び三井玉野造船所で昨年暮起工したABS級67,000トン鉱石運搬船に50キロ高抗張力鋼を使用したのが日本でも、またABS級としても商船としては最初である。一度引渡しをしまえば恐らく再びその姿を日本に現すこともない輸出船に日本独自の化学成分をもつた高抗張力鋼を使用することは、技術面では一応問題はないとしても、例えば万一事故の場合その補修に必要な鋼材そのものの入手の問題があり、高抗張力鋼として世界的にその化学成分が標準化されないと現在の炭素鋼が全面的に低合金鋼に急速に代るだろうと考へるのは一寸無理ではなからうか。

特殊目的の軍艦は勿論話は別で降伏点が 56 kg/mm² 以上もある HY-80 などのいわゆる高降伏力鋼は既に米国では潜水艦に使用され、これをユニオンメルト溶接するため溶着金属に降伏点 56 kg/mm² 以上、-80°FにおけるVシャルピー-35 Ft-Lb を保証するフラックスと芯線も開発され実用に供されている。

溶着金属に使用されるフラックスにはユニオンメルト型の一度完全に溶融してガラス状物質にした溶融型と粉

(以下47頁へ続く)



第4図 多層盛溶接の開先と溶接条件

溶接法	板厚 (mm)	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)
多層溶接	32	1	450	29	25
		2~4	500	30	25
		5~9	600	31	30
		10	600	31	30

(22頁より続く)

末状の合成成分を水ガラスで、被覆剤のように、粘着させた後焼結した焼結型とに大略二分出来る。両者それぞれ長所短所はあるが、成分がミクロ的に均一である点、従つて或る程度の広い意味での溶接条件の変動に対しても常に同一程度の溶接結果が期待出来る点とその保管をも含めた「使い易さ」の点で溶融型の方に現在のところは一日の長があるように思える。また、現在ユニオンメルト溶接は、銅などの例外を除いては、鉄鋼材料の溶接にのみその使用が限られているが、非鉄金属特にアルミニウム及びマグネシウム合金用のフラックスの開発が極く近い将来の課題であろう。