船舶の溶接

KK播磨造船所
相生工場*　松山　泰

1. 緒言

わが国の船舶が短時日に，しかも低廉に建造しえて欧米に遜色のないのは一に熔接技術のいちじるしい進歩とこれが活用によるもので，近い将来60,000～100,000tonの超大型船も現われようとしている．

船体の建造において，熔接工事の占める重要性ならびにその工事量ははなはだ大きい．例を32,000tonタンカーにとると船殻鋼材重量は約7,500tonを使用する．これに対して熔接棒の使用量は約165tonであり，その接手熔接長は実に190,000米にも及ぶのである．

上記船で船体を造るのに要する工数は約38万時間で，その内熔接の純工数は約10万時間である．38万時間の内大半は熔接工事をするための準備作業，例えば罫書，切断，取付，足場等についやされ約10%の工数が熔接と無関係である．このように純工数で調べても27%，関連工数を入れると更に90%に近い工数が費消されているのである．

かように現在の船舶建造において熔接は最も重要な位置を占めている．したがつて船の建造は熔接のControl如何にあるという観点からStage Controlといつたような管理方法が行われている．

今この船を鋲接合で造るとすると，50%以上の工数の増大が見込まれ，かつ材料費においても増大するのは明らかである．

現在の造船技術ならびに造船企業を支えているものは，更に造船工場に適用された熔接であるといつても過言でない．

2. 超大型油槽船と溶接構造

近時油槽船の大型化への傾向は著しく、D.W.46,000^{T}型並びに65,000^{T}型においては，すでに運航実績の優位性も確認され，また建造の面においても設計および工作の両方面からの相当程度の研究が行われ，ほぼ船型も完成されてきたことは周知の通りであるが，これ以上の大型油槽船すなわち80,000^T；100,000^{T}にもなれば，幾多の問題が残されている．すなわち建造の面から見れば，運航性能，構造法，使用材料，熔接法，その他建造設備の問題等山積しているが，運輸省船舶局を中心に，国内のあらゆる関係各研究機関および造船所を動員して，その解決へ一歩前進している．

2—1 超大型船の構造

構造法として最初に問題になるのは，船体の縦強度に対する対策であろう．船型がD.W.80,000^{T}ないし100,000^{T}というように大型化してくれば，たとえ与えられた設計条件内で，(D.W.；吃水；満載航海速力；機関馬力）船の“L”を極力短くきりつめても，船体のこうむる縦曲げモーメントは当然大きくなり，従来行なわれている普通の構造方法では，上甲板および船底外板の所要板厚は非常に厚いものにならざるをえない．しかるに現在の段階では，材質的に信頼できる軟鋼の板厚には，低温切欠脆性および熔接性等の立場からみておのずから限界があり，したがつて鋼板の性質が特に大巾に改善されない限り，設計もその限界板厚内で行なわれなければならない．更に最近では，脆性破壊の発生ならびに伝播におよぼす残留応力の影響等の問題も採り上げられ，実験，研究が盛んに行われつつある．

このように，使用鋼板の最大板厚をある限界内に（普通38m/mないし40m/mといわれている）抑えて，かかる超大型船を設計する構造方式としては種々のものが企てられており，たとえば(1)上甲板および船底に広範な2重張りを施す方法，(2)上甲板と船底を2重殻構造とする方法，(3)上甲板および船底にHeavy qirderを採用する方法、(4) Depthを大きくし，所要の従強度を確保する方法，(5) Wing tank内に第二甲板を設ける方法等があり，いずれも船体中央部附近に専用バラストtankまたはVoid spaceを設けることにより，縦曲げモーメント(sagging)を極力小さくするよう，努力を払つている現状である．

今後大いに軟鋼の材質改善を期待するも，切なるものがあるといえよう．あるいはまた軟鋼の材質改善にも，おのずから限度があるとすれば，熔接性の優秀な高張力鋼の使用も，超大型船の進むべき途として，その構造法及び工作法を研究する時期が到来しているといえるかも知れない．

次に横強度についていえば，これまた未解決の問題が多い．横強度に関する問題の一例として，Cargo wing tankの構造をとつてみれば，tankの長さ，巾に比べて

* 兵庫県相生5292番地

深さが相当大きくなつている超大型船の wing tank を最も合理的に，充分剛性に構造するには，どのような構造配置が一番適しているであろうかという問題である．

これに関しては従来から慣例になつている one tank length 12m という考え方を変えてもつと長い tank length を採用するとか，現在の tank web. spacing を拡げて web の数を減らすとか，要は wing tank の大きさ，および長さ，巾，深さの寸法比に充分 match した新しい構造方式を採用することにより，tank 内の部材の数を極力減少させて，現場作業における熔接工事の容易と工数の節減を計るよう，この方面の研究を大いに進めて行く必要があろうと考えられる．

2—2 溶接構造

第二次大戦を契機として，造船における熔接技術の進歩は目覚しく，従来の鋲接構造船に比して相当程度の船殻重量の減少を来たし，工作面においても，工事の能率化，工数の節減化を図り，船台における建造期間を大巾に短縮し，建造 Cost を低下させることに成功したことは周知の通りであり，超大型船建造においては，まあまあその偉力を発揮することが充分予想されるところである．

しかしながら，前述の如く，超厚板を多量に使用する超大型船においては，これ等超厚板の自動熔接技術，さらにまた隅肉自動熔接等，必ずしもすべてが解決された問題ばかりではなく，今後直ちに研究されるべき幾多の問題が残されている．一方設計の面でも，広巾鋼板の使用，Tank 内の部材数の減少による熔接長の減少その他，水平，上向姿勢による熔接接手を極力減少させるような設計を行なう等，あらゆる角度から構造方式も研究を重ね一歩一歩改良されてゆかれなければならないことは勿論であり，さらに設計初期における計画においても，その造船所の工作技術水準，工場設備，機械能力等に応じて最も適当と思われる Block の大きさを決定し、工場全体として，作業工程に無理を生ぜず，しかも Economical speed にのせて，2～3万 ton にも及ぶ老大な船殻重量をこなして行けるように細心の注意が必要であつて，要は設計，材料，熔接技術，検査技術等の高度の有機的結合の基盤の上に立つて初めて優秀な超大型油槽船の建造が可能となると考える．

3. 厚板の溶接

熔接船の建造において最近はますます船型が大型化する傾向にあり，それに伴つて使用鋼材の板厚も厚くなつてくる．したがつて厚板の熔接に関しては従来以上に難かしい問題が生じて来る。

3—1 厚板溶接の龜裂防止

厚板熔接に関して特に注意すべきことは亀裂防止である．大きなブロック相互の，しかも厚板の熔接に際しては，亀裂の発生する危険が多分にある．亀裂防止対策として考えられることは次の3項である．

(1) 使用材料の選択
(2) 使用熔接棒の選択
(3) 熔接作業上の考慮

舶用鋼材は製鋼法の進歩発達によつていちじるしく改善され，厚板では材質的に低温切欠脆性および熔接性を考えた鋼材が製造されるようになつてきた．

各船級協会はこの点を考慮して，例えば A.B.S. では ½″以下は Rimned steel, ½″～1″ はSemikilled steel 1″以上は killed steel と製鋼法にも規定を設け，厚板は killed 鋼で normatize を要求するなど切欠脆性，熔接性などに優れた鋼材でなければならない．

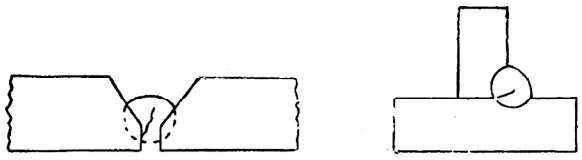
熔接棒に関しては 30mm 前後の板厚までは，現状では殆どイルミナイト系熔接棒のみで熔接しているが，それ以上の板厚では少くとも初層は低水素系熔接棒を用いるべきである．さらに接手部を約100°C程度に予熱すれば良好な結果が期待できる．これは冬期冷い外気にさらされながら熔接する現場接手においては特に必要である．熔接作業上考慮すべき点に関しては多くのことが考えられるが，第一に初層が満足な熔接ができるように開先精度をよくすることである．Strong back も収縮を許しうるような形状の物を使うべきで，余りがつちり拘束することはよくない．

さらに拘束が少なくなるような熔接順序で行うと共に熔接を開始すれば熔接途中で冷却させるがごときことのないように，同時に仕上げてしまうことが望ましい．少しばかり熔接したまま放置すると，亀裂の危険がある．

次にユニオンメルト熔接であるが，ユニオンメルト熔接は表裏1層づつの熔接が最も能率的である．しかしながら余り厚板までこの熔接法を適用することは接手強度の劣化をきたすおそれがある．1層熔接で余り熔込を深くすると，熔融断面積の形状が梨型になり，中央部の柱状晶の成長の集結点になる部分に不純物が集り亀裂が生じることがある．特にこの亀裂はビード表面まで進展しない場合もあるので発見し難く注意を要する．更に1層熔接では熔着金属の衝撃値が低下するので，これらを防止するには多層熔接を行うことが必要である．これの施工に関しては板厚，開先形状，熔接条件等を充分に検討施行することが大切である．

3—2 龜裂の一例

熔着金属に生ずる亀裂としては，ビード亀裂，クレーター亀裂，ビード下亀裂，硫黄亀裂，ルート亀裂等種々のものがあるが，その中で厚板熔接に生じ易いものの一つにルート亀裂がある．



第1図　ルート亀裂

ルート亀裂は図に示すように突合せや，隅肉熔接の第1層目に生ずるもので，低温亀裂の場合が多い．熔着金属は冷却して収縮しようと，周囲の母材から引張られているが，温度が高い間は延性が高いから割れないが，低温になつて延性が低下すると共に，ルートの切欠き部に応力が集中して，局部的に塑性変形をして，その部分が加工硬化と歪時効をうけてもろくなり亀裂が生ずるもので，熔接後数時間して割れる場合もある．そしてこの亀裂はビードが小さいほどおこり易いので，特に厚板熔接に際しては注意すべき亀裂の一つである．

第1図に亀裂発生の状態を示したが，前にも述べたように外観検査では判定できず，しかもこの亀裂は肉眼では判定しがたい小さなものもあつて，裏熔接に際しては少なくとも表面の第1層はチッピングあるいはカウジングして除去し，しかるのち熔接するようにせねばならない．

4.　溶接棒と亀裂

最近の熔接棒の発達はきわめていちじるしく，各種の被覆系の優秀な熔接棒が市販されている．しかしこれ等の熔接棒といえどもその使い方を誤ればその特性を充分に発揮することができず，場合によつてはかえつて亀裂等の欠陥を生ずることもある．

熔接部に発生する欠陥の中で，特に注意すべきものの一つに亀裂がある．船体のように大きな構造物の建造に際しては，兎角拘束されやすく施工法に相当注意しても亀裂発生のチャンスが多い．亀裂発生の要因としては多くの factorが 考えられるが，その中の重要な因子として熔接棒をあげることができる．

同じ材料の熔接に際しても熔接棒の種類が異なれば亀裂発生の頻度は非常に異るものである．熔接棒の亀裂に対する特性はその被覆の系統により大きな差がある．

4—1　被覆系による耐龜裂性

熔接棒の耐亀裂性は一般に被覆の系統が酸性になり，作業性が向上すると共に悪くなり，逆に被覆の塩基度が増大すると共によくなるといわれている．すなわち作業性と耐亀裂性は逆の関係にあり，作業性の強いものほど耐亀裂性は悪いと考えてよいであろう．

現在船体工事に広く使われている熔接棒についていえば，塩基の高い被覆を有する低水素系が最も耐亀裂性が良好であり，ついで最も広く使われている中性型の被覆を有するイルミナイト系がよく，高酸化鉄系やチタニヤ系のように被覆が酸性になるにしたがい耐亀裂性は悪くなる．更に熔着金属中の水素量が亀裂発生に大きな影響を及ぼす点から考えても，水素の発生が少い低水素系の優秀なることがいえるであろう．

4—2　龜裂試験法

亀裂試験法は多くの型式のものが行われているが，一般に用いられている方法には次のようなものがある．

(1)　スリット型亀裂試験
(2)　円板はめ込み亀裂試験
(3)　丸棒亀裂試験
(4)　十字型およびT型隅肉亀裂試験
(5)　ダブルフィルット亀裂試験
(6)　フィスコテスト

上記のように各種試験法が行われているが，亀裂に及ぼす因子は極めて複雑であり，また現象的にも安定しておらず，いずれも再現性に乏しい傾向があるので，未だ明確な標準試験法ともいうべき方法は決定していない．

各種試験法により求めた結果も，試験法あるいは実施者が異ればその値を比較することは困難である．参考のため熔接施工委員会が主として高能率熔接棒の性能検査のために行つた各種亀裂試験の結果を第1表に示す．

第　1　表

各種軟鋼熔接棒の亀裂感度（熔接施工委員会資料）

熔接棒被覆の系統	特　　性	亀裂感度
イルミナイト系	熔接性を重視したもの	9
イルミナイト系	使用性を重視したもの	8
チタニヤ系	深熔込み	5
ライムチタニヤ系		7
セルローズ系		6
チタニヤ系		4
ライム系	低水素	10
高酸化鉄系	低炭素心線	7
高酸化鉄系	高炭素心線	7
鉄粉酸化鉄系	FおよびHF	6
鉄粉酸化鉄系	F	9

註：最高位を10点とする

この表でも分るように，同一被覆系のものでも大きな

差があるので熔接棒の選択に際しては十分注意する必要がある．亀裂は熔接棒のみによつて防止できるものではなく，鋼材の素成とも関連があるものである．また作業性も重要な因子であるから，材料，施工法とも関連して仕事に適した熔接棒をえらぶべきである．

5. ユニオンメルトの隅肉溶接

船舶の熔接には隅肉熔接部が非常に多いにもかかわらず余りユニオンメルトは使われていないようである．しかしこれも超大型タンカーなどで船底縦通材が，T型の熔接組立式を採用する場合などは，ユニオンメルトによつて作業を進渉させることは望ましい．

現在でも橋梁，鉄骨構造には広く利用されているが，ユニオンメルトの利点として考えられることは，熔接速度の速いこと，熔接部の均一なこと，および熔込の大きいこと等である．特に手熔接と比較して秀れている点は熔込の大きいことで，これを利用して脚長を小さくすることが可能である．A. B. S では手熔接と較べて脚長を1.5mm減ずることを認めているようである．

現在一般に行われている熔接法は下向隅肉であるが，この方法では熔接条件を適当に選べば，相当大脚長の一層熔接も可能であり，更に熔接棒の角度を変えることによつて完全に熔込ますことも可能である．しかし大きな材料ではポジションすることができず水平隅肉熔接となるが，この場合均等な脚長は9mm程度までで，それ以上は下面が大きくなりやすい．水平隅肉熔接で型接手の場合，熔接頭を二つにして両側を同時に熔接し，スピードアップすることも可能である．

下向，水平の如何を問わず，ユニオンメルト隅肉の最大の難点はブロホールの発生である．ブロホールは材料の発錆状態に非常に敏感に左右され，特に赤錆のある場合には必ずといつてよい位いブローホールを発生する．したがつて熔接前には材料の清掃を注意して行う必要がある．例えばショットブラストをするか又はグラインダーをかけるかして，ミルスケールや赤錆を完全に取ることが望ましい．

しかし赤錆のない良好な材料では，熔接条件を適当に選び熔接部をガスバーナで焼く程度で，ほとんどブローホールを防止できるようである．この場合にはフラックスは#20，芯線は#36を使う方がよい．

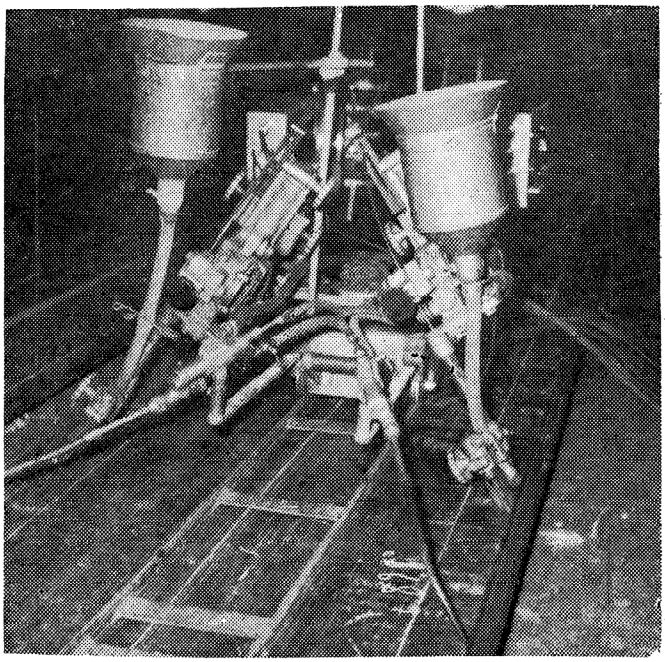
この外に開先精度をよくすることが必要である．特に下向熔接の場合はギャップがあるとマークが突抜ける心配がある．更に電源電圧の変動がビードの外観に大きく影響するので，電圧変動の少い電源を用いる要がある．

次に示す写真は D.W. 46,000^{T} の大型タンカーのT型船底縦通材を2本合せてH型とし，両側同時に水平隅肉熔接しているところである．

SW3A型ユニオンメルトを2台使用して，一つのキャリッジ上に取付け走行させている．

板厚½″，脚長6mmに対して熔接条件は530A，27V，60cm/min（# 20フラックス，# 36 5/32″ φ 塔線）である．熔接前特別の清掃を行わずガスで焼くのみである．

以上のように種々の注意は必要であるが，ユニオンメルトを採用することは極めて能率的であるから，今後次第にその適用範囲が大きくなるものと予想される．



写　真　SW3A 型ユニオンメルト

6. 各 stage における溶接施行の諸問題

船舶の建造方法として鋼材の加工切断から船台上の建造に至るまでの順序において，切断した小部材の熔接から船台上におけるブロック相互の熔接に至るまでの熔接および艤装工事の主たるものの熔接について述べる．

6—1 「サブ・アセンブリにおける溶接」

Subassembly 工場は船体内部諸材の回転率の早い小組立工事を主体とし，機械台，Built up Steam Frame あるいは Steel Hatch Cover の組立なども行なつている．これら構造物の熔接が船全体に対して占める割合は，概略下表に示す通りである．

船　種	型	溶接長	溶接工数
貨物船	10,000 D.W.T.	19%	9%
油槽船	38,000D.W.T.	22%	13%

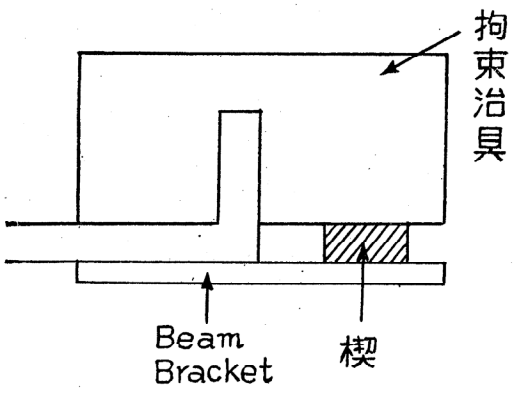
Subassembly においてはすべて屋内作業である関係

上天候に対する問題はほとんどないが，作業面積に相当な制限があるので与えられた仕事量を消化するためには組立開始から熔接完了までの作業時間を極度に短縮して工場の回転を早めることが要求される．

もともとSubassembly工場で取扱う材料は1 T未満の小物がほとんどでありその Positioning も比較的簡単であるから，およそ下向姿勢での熔接が可能であつて突合熔接はきわめて少なく，その大部分は隅肉熔接なので under cut の少ない隅肉熔接に適した高能率の熔接棒を使用する．

Subassembly で熔接施行上最も問題となるのは熔接後の角変形をいかに防止するかという点である．特に二重底フロアー等の角変形防止には十分考慮を払い，定盤上に適当な治具を置いて材料はジャッキで拘束し，カマボコ状に逆歪を与えて熔接するようにしている．又Beam Bracket 等では山形のフランヂを利用して下図のごとき拘束具を用いて角変形を防止している．

これらのほか予め逆歪を与えて熔接後の歪を防止する方法も考慮されている．



第 2 図

又貨物船における Hatchside girder のごとき強度部材に対しては，特に亀裂に対しすぐれた熔接棒を用い熔接部の Crack 防止に留意している．

このように Subassembly 工場における熔接は小部材の熔接が多いので，もつとも容易な姿勢で行なえるようにすることと，許しうる限りの太径棒を用いて能率の向上を計るべきである．

6—2 「アセンブリにおける溶接」

このステージは船体建造中最も大きな役割をする工程で，サブアセンブリにおいて組立てられた小部材を集中して大きなブロックに組立てられる．その主な内容は板継ぎの工程と骨組の工程であつて組立方法も色々と工夫され研究されている．これと同時に熔接による縮み，変形に対して種々の対策が講ぜられている．

6—2—1 治具マーキ：法と内部材の治具枠組法

この方法は Plate Assmbly 終了後の Block に取付けるべき各部材の位置，並びに基準線，囲辺切断線等の記入を Jig により行うようにした方法で平滑な定盤上の所要の位置を出すために Gauge を固着し，Plate Assembly の完了した板を容易に Set し得るよう装置した定盤上で Making を行う方法である．この方法は共通 Block に適用し作業時間の短縮，能率の向上，精度の確保が得られ，また熟練工を必要としない点でも極めて効果的である．

6—2—2 大型ブロックの positionning

Positioner はその上に乗せられたブロックと共に起倒しうるように設計された特殊な組立定盤で，本来縦向になるべき熔接をも能率品質の点で最も有利な下向の姿勢で施工するためのものである．最初水平に Set された Positioner 上でブロックの組立および下向熔接を完了しそれから Positionerを回転して垂直に立てて，Stiffener 等の相互の熔接をも下向の姿勢で施行する．Positioner の採用によつてアセンブリ工程における下向熔接の範囲は大巾に拡大され，高酸化鉄系大径棒の使用可能と相俟つてその能率向上は著しいものがある．二重底ブロックの組立に Positioner を用い Floor Girder 相互の熔接をすべて下向の姿勢で行なつて能率向上がはかられる．

6—2—3 歪防止について

熔接による残留応力，熔接歪の発生は不可避なものであり，未だ未解決の問題が多く残されている．特に熔接歪は数年前におけるいわゆる「ヤセ馬」に起因した船底凹損事故，更に最近における主として船主側からの歪に対するきわめて厳格な要求等により改めて大きく取り上げ始められてきた．現在実際に行われている歪に対する処置，及び歪防止法について述べる．

a 突合接手の変形

収縮変形で実際上問題になるのは熔接線に直角方向の収縮である．収縮量については板厚，熔接条件，熔接順序等との関係について幾多の実験式が出されている．それを実際工作面に適用するのは各種条件を一定に保つことがきわめて困難であるが，パネルを構成する板が4～5枚程度以下の場合には，例えば自動熔接シームの場合1シームについて板厚により1～2㎜の範囲で収縮量を見込んでおけば実用上充分である．

パネルを構成する板の枚数が多い場合，または板に曲りがあるような場合にはパネルの周辺板耳を適当に伸しておき板継熔接終了後，正規の寸法をマーキンして周辺

の仕上切断を行う方法が採られている．

角変形については自動熔接々手の場合素材の歪が充分に矯正され開先精度，特に直線精度さえ充分であれば角変形は非常に少く別段の手段を講じなくても実際上殆んど問題にならない．

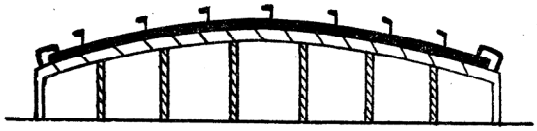
手熔接々手の場合は dog を 200～300㎜ 間隔，Strong back を約 50㎜間隔で取付けている．逆歪は一般的には採用していない．この場合で特に問題になるのは Erection の項で述べる現場ブロック接手の凹入変形である．

又溝板では開先の直線精度が悪い場合等往々にして収縮角変化による複雑な挫屈形式の歪が発生することがあるので，開先精度を正確に保持するようにせねばならない．

b　隅肉接手の変形

収縮変形で問題になるのは板の横収縮である．一般には隅肉熔接一個につき 0.4 ㎜程度の収縮量を見込んでおけば実用上充分である．特に精度を要する場合には熔接完了後改めて仕上マーキンを行ない周辺の切断を行なつている．

角変形はいわゆる「ヤセ馬」変形で船底凹損の原因となり，また側外板上部構造において外観上もつとも問題となるものである．その対策として現在もつとも広く用いられて効果を上げているのは弾性的逆歪を与える方法である．例えば上部構造における室壁等の stiffener 熔接に際しては略図のようなカマボコ型定盤上に周辺をジャッキ等で強固に固着して施工する．外板，$B_{\underline{HD}}$ 等の大型パネルに対しても Positioner 兼用の逆歪定盤を用いて効果を上げている所もある．



第　3　図

その他 $B_{\underline{HD}}$ 周辺，二重底における Floor と Magine plate，あるいは bottom longi との T 型接手部分など問題となる場所には使用場所に適した局部的逆歪具を利用している．前後部外板のヤセ馬防止策としてフレームに開先を取つて外板との隅肉熔接を行なう方法も考えられたが，実施結果では必ずしも好結果とまでは行かなかつたので現在では採用していない．

6—3　「エレクシヨンにおける溶接」

6—3—1　建造順序とブロツクの大きさ

最初にブロックを搭載する Erection Centre は貨物船では普通中央部の機関室，二重底であるが，油槽船では船尾部の仕事量が多い関係で普通タンク部分の最後端附近に置かれる．建造は Erection Centre から漸次前後方向に行なわれてゆくが，それに Ring 式建造法とピラミッド式建造法とがある．前者は熔接による残留応力，熔接変形という面からもつともすぐれた方式である．また熔接工の作業を劃が集中していることから熔接施工の管理の面でもすぐれている．ただ短期建造という面からはピラミッド方式に較べて必ずしも適した方法とはいえない．また油槽船のタンクの部分を除いてその船首尾部や貨物船では厳密な Rivg 方式を採用することは構造上困難な場合が多い．したがつて各造船所の Practice においてピラミッドの傾きに可なりの大小はあるが，現在では一般にピラミッド建造方法が採用されている．

ブロックを大型化することは作業環境が悪く熔接姿勢が複雑な現場作業を減少させることによつて能率安全，工程，すべての面で望ましいことである．現在ではブロックは Crane Capacity の増大と共に漸次大型化して来た．

しかしブロックが大型化すると組立治具，仮補強の必要など取扱いが困難となり，地上組立場の回転率も悪くなる．ブロックの精度が悪い場合搭載時における取合いが困難となる等の不都合な点も生じて来る．

6—3—2　船型と船の長さ

鋲構造の時代には先ず船側外板の Below Sheer Strake や上甲板の Stringer plate 等特定の枝を船尾から船首まで通しそれを基準として全体の船型を定めていたが，熔接構造ではブロックごとに搭載して行き，しかも熔接による変形を起しがちなので個々のブロックに記入された各種基準線によつて充分注意していかなければならない．

甲板等上部ブロックの熔接による船首尾部の跳ね上り，特に船尾に対してはAPより$\frac{1}{10}$L 程度の間で予め跳ね上り量に見合うだけ，すなわち船の大きさにより異るが10㎜ないし20㎜程度船体を下げて据付けるようにしいてる．船首部に対しては Shaft Centre との関係など問題となる点はないので，特にこのような調整は行なつていない．

すべての地上ブロックが正規の寸法に仕上げられていた場合には，現場におけるブロック接手の熔接による収縮によつて全体として若干短い目の船が出来上ることになる．全収縮量は 10,000^{T} 貨物船で 50㎜，大型タンカーで 100㎜ 程度のものである．

船長修正の方法には特定の場所の Frame Space を長くして，それによつて縮み量を修正してゆくのが普通であつて，2～3ブロックごとに，船全体では数ケ所程度

のブロック接手を予め指定しそこでは片方のブロックの板耳を30㎜程度伸しておいて船長の修正を行つている.

修正は外板各 D_K の接手位置が出来るだけ接近している箇所で行うべきである.

6—3—3 溶接施工について

Erection におけるブロック接手の熔接は船の残留応力，変形に対して特に重要な関係を持つのでその施工については特に厳重な管理を行なうことが必要である.

一般に Erection 接手では開先不良になる場合が多いので常に開先精度の保持には水平，垂直および上向方向の切断可能の自動ガス切断機を用い，また開先ゲージによつて正確な開先をうるようにする．外板 D_K 等，重要 Menber の接手では dog，wedge を利用して開先を整え，仮付けは行なわない.

熔接変形のうち，収縮に対しては出来るだけ拘束を避け収縮以外の変形に対しては充分拘束してその発生を防止する．最も問題になるのは block butt の熔接による凹入変形である．これを防止するため熔接に際しては，単に strong back による拘束だけでなく，wedge 等を併用して充分な逆歪を与える．曲り外板に対しては接手の両側に仮 Frame を取付け，熔接による縦収縮を拘束する方法を採用して効果を上げている場合もある.

6—3—4 歪取りについて

種々の変形防止法によつても歪の完全防止は困難であるため，一般には現場固めの完了後歪取りを行つている．特に上部構造においては板が薄いためと専ら外観が問題となる場所であるため，ほとんど全面的に歪取りを行なうのが普通である．このため一部の造船所では室壁と甲板との取合い熔接を廃止して鋲接手を採用のところもある.

単純な「ヤセ馬」変形に対しては Stiffener の背面を線状に加熱するだけで充分効果があるが，一般にはパネルの周辺熔接によつて挫屈形式の変形を併発しているので点状に赤熱後水をかけて急冷する．いわゆる「オキマー」による歪取りが行なわれている．これらはすべて加熱冷却による収縮力を利用した方法であるため局部的に極端な歪取りを行うと他のパネル，すでに歪取りを完了したパネルに歪が発生するおそれが生ずるので歪取りの程度，場所については充分注意しなければならない.

外板，強力甲板等重要 menber に対しては材質的悪影響を考慮して加熱後の水による急冷を行なわず，ジャッキ等を利用して歪の生じないように工作すべきである.

6—4 艤装工事における溶接工作法

艤装工事においても重要な接手が次第に熔接に変りつつあるが，熔接工作法としてもつとも注目すべきものはパイプの熔接および軟鋼以外の特殊な材料に対する熔接である.

6—4—1 高温高圧パイプの熔接

従来ガス熔接に大部分を依存していたパイプの熔接も現在は大部分が電気熔接に変ろうとしており，特にベントピースが大巾に採用されている現在では管艤装工場の主要な工事は熔接工事といつても過言ではない．パイプの熔接工事の中でもつとも興味がありかつ難しいのは高温高圧の蒸気管の熔接で，これに対しては船級協会の厳重な rule や recommendation がある.

高圧高温蒸気管の材質は通常次のようなものである.

(Ⅰ) Plain Carbon Steel ASTM A 106～U8T Grate B

(Ⅱ) Carbon Molybdenum S steel ASTM A206～48T Grade P1

(Ⅲ) 1% Chomium-½% Molybdeum ASTM A315～48T

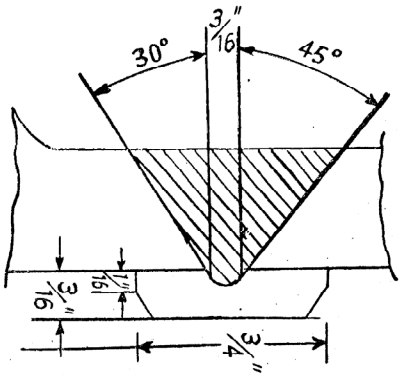
(Ⅳ) 1～1¼% Chromium-½ Molybdeum ASTM A158～48T grade p 1

これ等の材質は使用される温度により決められるが，それぞれの材質に対して予熱熔接棒の選定，焼鈍温度が異つている.

施工法は各所で多少の差はあるが其の一例を示すと

a 開先準備

通常開先加工は横ボール盤等を使用し，機械加工によることが多い．開先の形状は 6.4.1 に示すようなもので backing ring は母材と同じ材質の材料を使用せねばならぬ．backing ring にはスプリング型で仮付を要しないものや spacer pin がついていて底部間隙を一定に保つようになつたものがある.



第 4 図

b Preheat

A.B.S の recommendation によると preheat 温度は下表のごとくである.

High Carbon pipe, Cast steel and Pipes with wall thickness oner ½″	120°C (250°F)
Carbon Molybdeum Steel	150°C (300°F)
Chromium Molybdeum Alloy steel	260°C～300°C (500～600°F)

予熱は通常ガス加熱により行なう. 冬期は室内温度を10～15°C に保つようと保温の設備を設けるのが希ましい.

c　熔接棒

母材に match した deposit をえられるような熔接棒を選定することが必要であるが chromium-molybdeum steel の熔接に際しては必要以上に Chromiumがかつた熔接棒は, 熔接上種々の欠陥を生じ易いので注意を要する.

使用熔接棒の一例を示すと

Plain Carbon Steel	B—17
Carbon Molybdeum Steel	BL—70 (0.5% Molybdeum)
1% Chromium-½% Molybdeum	CMB-93 (1.05% Chromium, 0.5% Molybdeum)

d　Welding position

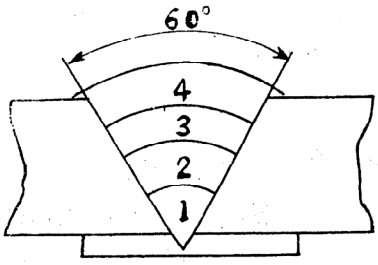
直管又は曲りの小さいパイプはパイプを回転台の上で回転させながら flat position で Stringer bead を置き. 最終層を Weaving して仕上げるのが一番望ましい. この方法でやれば欠陥も少く undercut もほとんど無く, 使用棒量, 作業時間も短い.

しかし高温高圧蒸気管は曲りの大きいパイプが大部分なので, 回転冶具は非常に大きい設備を必要とするから, パイプは垂直に立てて固定し Welder が回転椅子に腰かけて廻りながら水平熔接で Stringer bead を多層盛する方法が多く採用されている. この方法は undercut が発生し易く使用棒量, 熔接時間も flat position に比して30～35%大であるが, 回転せずに flat position でやつて棒の接ぎ目を一箇所に集めるより欠陥の発生する率が非常に少い.

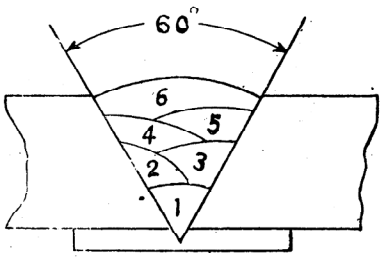
次に各 position の比較の一例を示す.

管	内径 190㎜, 厚さ 9㎜ 長さ 6″×2, Carbon-Molybdem ASTM 206
熔接棒	BL-70 4φ
熔接電流	165～175A
予　熱	120°C～150°C (酸素アセチレン焔による)

1. Welding position flat weaving
2. 層数　4
3. 使用熔接棒 15本(800g)
4. 所要時間 1hr 30min

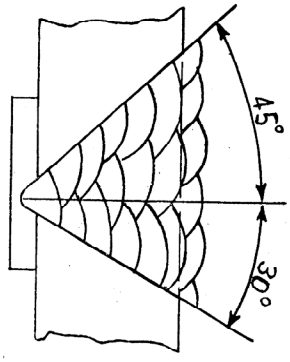


1. welding position flat stringer
2. 層数　6
3. 使用熔接棒 16本(≒800g)
4. 所要時間 1hr 30min



1. welding posion Horizontal stringer
2. 層数　14
3. 使用熔接棒 28本(≒1kg)
4. 所要時間 2h

開先形状および熔接法



第　5　図

e　溶接面の仕上

通常熔接面はグラインダーで仕上げるか, または横ボール盤で machining するかして1/16″以下の余盛りになるよう仕上げる. undercut 部は入念に修正せねばならぬ.

Backing ring は横ボール盤で削り取るか, air hammer ではつり取るかしてグラインダー仕上する.

f　熱処理

Carbon steel および Carbon molybdeum Steel は 3″ 以上の pipe に比し, また Chrom-Molybdeum alloy はすべての pipe に対して下記温度による heat treatment を行い stress relief を行なう. stress relief は勿論すべての熔接が完了してから行なう.

Carbon-steel　648±2.8°C for 1h/1 in thich
Carbon-Molybdeum　648±14°C for 1h/1in thich
Chromium Molybdeum　732± 14°C for 1h/1inthich

規定温度に規定時間保持した後, 炉内で約300°C 迄除冷してから大気中に出す.

g　Radiography

3″以上の pipe の接手は全周×－Ray またはアイソトープにより撮影して欠陥を調査する.

写真判定は第一級を要求される.

6—4—2 純銅の溶接

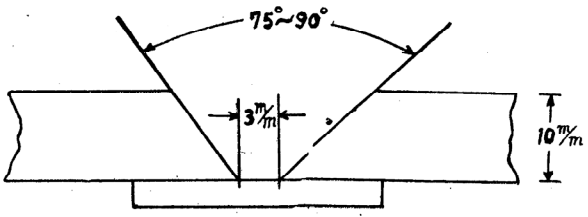
タービン船の主補海水吸入管は銅管であることが多いので，従来シーム熔接，フランジ取付熔接はガス熔接に依存していた．最近純銅のアーク熔接の進歩と共にこれらの熔接がガス熔接に代ろうとしている．アーク熔接法の利点は

(1) ガス熔接に比し予熱温度が低くてよい.

(2) 熔接速度が大きい.

(3) deposit metal の機械的強度もガス熔接に比して良い.

しかし銅は熱伝導度が大で冷却速度が甚だ大きく，また酸素を吸収し易いのでブローホールや柱状晶等の欠陥を生じ易く，適当な予熱と inert gas によるガスシールドの下に熔接をすることがもつとも望ましい.



第 6 図

脱酸銅 (Cu>99.8) をアーク熔接棒 (KC100) で熔接した一例を示すと

予熱 300～400°C

開先

使用熔接棒 KC 100, 棒径 5 φ

電　　流 200～240 A.C.

機械的温度

抗張力 20～26kg/mm²

伸　び 35～45%

衝　撃 10～12kg/cm²

Cold bend Test に対しては良好な性質を示すが hot bend に対しては crack を生じ易い.

6—4—3 其 の 他

艤装関係の特殊材料の熔接としては，これらの他に次のようなものがあり，熔接技術の進歩と共に次第に熔接の適用範囲は拡がつている.

(1) マンガン青銅電孤熔接
推進器翼の修理に用いる.
使用熔接棒 Murex type AB12 (AWS—ASTM spec, E CoAl—A)

(2) アルミニウムの不活性ガス熔接
舷梯等の艤装品をアルミニウムで組立てる場合に使用されるようになつた.
Sigma または Heriarc によつて施行する.

(3) Hard tacing の熔接

(4) 鋳物の熔接

参 考 文 献

木原博編 ： 「熔接データブック」
岡田実，鈴木春義 ： 「熔接冶金」
関口春一，安藤精一： 「熔接棒」
熔接協会 ‥ 「高能率熔接棒の使用による船体熔接作業の高速化に関する研究」
福田烈，吉田克四郎： 「熔接施工法」
吉田俊夫，大庭浩，長谷川光雄：「自動アーク熔接」

文献紹介

橋梁桁の熔接施工に関する実験

川崎重工業ＫＫ技報第14号に掲載のこの論文は最近橋梁の製作に高張力鋼が盛んに使用され，熔接法も手熔接に代つて自動熔接が採用される傾向になつているが，本稿は次の各項目に亙つて試験を行つたデータを詳細に述べている.

1. 熔接歪に関する試験
   a) 板桁熔接時の角度と逆歪量の関係
   b) 箱桁熔接時の熔接順序と捩れ変形
2. T型隅肉熔接部の靱性
3. 自動熔接におけるT型隅肉熔接部の亀裂性

以上論文を通じて得られる点はこの方法による橋梁製作上の資料が乏しい現状から技術向上に役立つ貴重な資料とされる．なおその後の実験を含めた綜合的な結果，割れ発生の原因，その防止対策などは次号で発表される由．（筆者・造船工作部，吉田俊夫，上原哲雄外）