連載講義

溶 接 施 工

Welding Fabrication

III 船 舶*

広 瀬 衛** 下田広一郎**

Welding Procedure of Ship*

by Mamoru Hirose**, Kōichirō Shimoda**

1. ま え が き

巨大な溶接構造物である船舶の安全性, 信頼性を確保し, かつ生産効率を向上するために, これまで開発実用化されてきた造船溶接技術は, 主としてサブマージーク溶接及び炭酸ガスアーク溶接を用いた溶接自動化の拡大と, 平行部及び曲がり部を含む各種船体構造への片面溶接法の適用拡大であった。

ところで最近の経済情勢の変化は著しく, 溶接継手に要求される継手性能も高度化してきており, かつ大幅な生産コスト低減を図ることが要求されている。

本稿では, これまでに確立された造船における溶接施工の特徴と配慮すべき事項について述べる。

2. 鋼 材 の 選 択

船体構造に使用される圧延鋼材は, 各国船級協会の規則で定められている各種試験に合格したものでなければならない。各国船級協会は, 船体用圧延鋼材の種類を軟鋼, 高張力鋼, 低温用鋼に分け, 更に主として衝撃特性によりそれぞれの鋼種を等級分けして, その各々について脱酸形式, 化学成分, 機械的性質などの規格を定めている。これらの試験規格の例として船体構造に使用される厚さ 50 mm 以下の船体用圧延鋼材に関する NK (日本海事協会) 規格を表 1 に, また, 液化ガスばら積船のタンク及びタンク周囲船体構造, 並びにその他低温にさ

らされる個所に使用される厚さ 30 mm 以下の低温用圧延鋼材に関する NK 規格を表 2 に示す¹⁾。

ところで, 船級協会規則を満足する鋼材であっても, 溶接施工法や溶接条件, 溶接順序, 更には継手の拘束度などにより, 溶接欠陥の発生や継手性能の低下の問題が生ずることがあるので, 適切な溶接施工条件を選ばなければならないが, 場合によっては, 構造及び継手形式に応じてそれぞれの対策 (例えば, 耐ラメラテア鋼) を施した鋼材を採用することも必要である。

3. 溶接材料の選択と管理

現在, 造船用として用いられる溶接材料は, 軟鋼, 高張力鋼, 及び低温用鋼などの鋼材の種類, 並びに被覆アーク溶接, 半自動溶接, 自動溶接などの溶接法の種類に応じて, 各国船級協会の規則で定められている各種試験に合格し, 承認された認定材料でなければならない。溶接材料認定規格, 及び鋼種と溶接材料との組合せ方法の一例として NK 規格を表 3 及び表 4 に示す。

溶接材料の選択は, これらの規則に基づいて行われ, かつ, 各造船所で船級協会の溶接施工法承認試験を受験し, 承認を得た後, 実船に適用される。しかし, これらの船級協会の規則を満足する溶接材料であっても, 溶接法, 溶接条件, 溶接環境, 溶接継手の形状, 溶接材料の保管管理の不具合などにより, 溶接欠陥の発生や継手性能の低下などの問題が生ずることがある。

溶接材料の受入れにあたっては, メーカーの試験結果だけでなく, 造船所における受入れ試験 (引張, 曲げ,

*原稿受付 昭和54年4月27日

**正 員 三菱重工業 (株) 神戸造船所 Member, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

表 1 NK (日本海事協会) 規格船体用圧延鋼材 (1978年度版)

種類	材料 記号	脱酸形式	化 学 成 分 (%)												引張試験			シャルピー衝撃試験				
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Al	Nb	V	降伏点 又は耐力 (kg/ mm ²)	引張強 さ (kg/ mm ²)	伸び ($L=$ $5.65\sqrt{A}$ (%))	試験 温度 (°C)	3 個の吸収エ ネルギ-の平 均値 (kg-m)	L	T	
軟 鋼	KA	リムド セミキルド 又はキルド	0.23 以下	0.35 以下	2.5×C 以下	0.040 以下	0.040 以下						—				—	—	—			
	KB	セミキルド 又はキルド	0.21 以下	0.35 以下	0.80 以上	0.040 以下	0.040 以下						—			≥24	41~50	≥22	0	≥2.8	≥2.1	
	KD	セミキルド 又はキルド	0.21 以下	0.35 以下	0.60 以上	0.400 以下	0.040 以下						—						-10	≥2.8	≥2.1	
	KE	キルド	0.18 以下	0.10~ 0.35	0.70 以上	0.040 以下	0.040 以下					0.015 以上		—					-40	≥2.8	≥2.1	
高 張 力 鋼	KA32	キルド																	0	≥3.2	≥2.3	
	KD32											0.015 以上					≥32	48~60	≥22	-20	≥3.2	≥2.3
	KE32																		-40	≥3.2	≥2.3	
	KA36		0.18 以下	0.10~ 0.50	0.90~ 1.60	0.040 以下	0.040 以下	0.35 以下	0.20 以下	0.40 以下	0.08 以下	0.015 以上	0.05 以下	0.10 以下				0	≥3.5	≥2.5		
	KD36											0.015 以上	0.02~ 0.05	0.05~ 0.10	≥36	50~63	≥21	-20	≥3.5	≥2.5		
	KE36												0.015 以上	0.02~ 0.05	0.05~ 0.10				-40	≥3.5	≥2.5	
調 張 質 力 高 鋼	KA46	キルド	0.18 以下	0.55 以下	0.90~ 1.60	0.040 以下	0.040 以下	炭素当量 0.45(%) 以下							≥46	60~72	≥16	0	≥4.8	≥3.5		
	KD46																	-20	≥4.8	≥3.5		
	KE46																	-40	≥4.8	≥3.5		

表 2 NK (日本海事協会) 規格低温用圧延鋼材 (1978年度版)

材料記号	脱酸形式	化 学 成 分 (%)							引 張 試 験			シャルピー衝撃試験			
		C	Si	Mn	P	S	Ni	炭素当量 (%)	降伏点 又は耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び ($L=5.65\sqrt{A}$) (%)	試験温度 (°C)	3 個の吸収エ ネルギ-の平均 値 (kg-mm)	個々の吸収エ ネルギ-の最小 値 (kg-m)	個々の吸収エ ネルギ-の最大 値 (kg-m)
KL24A	細粒 キルド	0.16 以下							≥24	41~50	≥20	-40			
KL24B		0.14 以下	0.35 以下	1.60 以下	0.035 以下	0.035 以下	—	0.41以下	≥33	46~55	≥19	-50			
KL33		0.14 以下							≥37	50~60	≥19	-60			
KL37		0.14 以下							≥30	43~58	≥19	-60			
KL2N30		0.14 以下					2.10 ~2.50		≥32	45~60	≥19	-70	≥4.2	≥2.8	≥2.8
KL3N32		0.14 以下					3.25 ~3.75		≥43	55~70	≥18	-95			
KL5N43		0.12 以下	0.15 ~0.35	0.90 以下	0.030 以下	0.030 以下	4.50 ~5.50	—	≥53	70~85	≥18	-110			
KL9N53		0.10 以下					8.50 ~9.50		≥60	70~85	≥18	-196			
KL9N60												-196			

シャルピー、分析、割れ、作業性、放射線透過試験) などにより確認し、採用している。

造船において使用される溶接材料は、非常に多種多量にわたっているため、溶接材料の誤使用防止と乾燥管理及びその受出し、返却などのきめ細かい溶接材料管理が必要である。

特に、高張力鋼用の材料の取扱いについては、乾燥・再乾燥の設備はもちろん、その性能保持の確認を慎重に行っており、棒庫から現場への持出しは、一般に高張力鋼(低水素系棒)の場合でおよそ半日、軟鋼(非低水素系棒)の場合で一日を限度としている。したがって、作

業場のできるだけ近くに乾燥設備を有する保管庫を設置し、溶材管理のしやすい状態にする必要がある。また、特に重要継手及び高級鋼用の溶接棒については、ハンディな乾燥器を持たせたり、溶接棒端に色を塗って使用時間帯の色別標示を行ったり、又は再乾燥回数を規制したりすることにより管理を厳しく行う必要がある。

4. 溶接品質基準

造船における加工及び製品の精度に対する基準としては、日本造船学会鋼船工作法研究委員会第一分科会が制定している「日本鋼船工作法精度標準」Japan Shipbuil-

表 3 NK で規定する溶接材料の種類

類 種	用 途	記 号	機 械 的 性 質					曲げ試験	備 考
			引張強さ kg/mm ²	降 伏 点 kg/mm ²	伸 び %	衝撃試験			
						温度 ℃	吸収エネルギー kg-m		
被覆アーク溶接棒	軟鋼用	KMW 1	41~57	≧31	≧22	20	≧4.8	≧120° ≧1.5t 欠陥は ≧3 mm	水素試験に合格したものは、記号の後にH又はHHを付ける。
		KMW 2				0	≧4.8		
		KMW 3				- 20	≧4.8		
	高力張鋼	KMW52	50~67	≧38	≧22	0	≧4.8		
		KMW53				- 20	≧4.8		
	調力質鋼高張	KMW 61	60~75	≧50	≧20	0	≧4.8		
		KMW 62				- 20	≧4.8		
		KMW 63				- 30	≧4.8		
	低温鋼用	KMWL 1	41~57	≧31	≧22	- 40	≧4.8		
		KMWL 2	46~62	≧35	≧22	- 60	≧4.8		
		KMWL 3	50~65	≧38	≧21	- 60	≧4.8		
		KMWL91	≧60	≧38	≧25	-196	≧2.8		
		KMWL92	≧67	≧42	≧25	-196	≧2.8		
自動溶接用材料	軟鋼用	KAW 1	41~57	≧31	≧22	20	≧3.5	同 上	多層盛用のとき記号の後に-Mを、2層盛用のとき記号の後に-Tを、両方に使用できるものには-TMを付ける。
		KAW 2				0	≧3.5		
		KAW 3				- 20	≧3.5		
	高張力鋼	KAW51	50~67	≧38	≧22	20	≧3.5		
		KAW52				0	≧3.5		
		KAW53				- 20	≧3.5		
	調力質鋼高張	KAW 61	60~75	≧50	≧20	0	≧3.5		
		KAW 62				- 20	≧3.5		
		KAW 63				- 30	≧3.5		
	低温鋼用	KAWL 1	41~57	≧31	≧22	- 40	≧3.2		
		KAWL 2	46~62	≧35	≧22	- 60	≧3.0		
		KAWL 3	50~65	≧38	≧21	- 60	≧3.0		
		KAWL91	≧60	≧38	≧25	-196	≧2.8		
KAWL92		≧67	≧42	≧25	-196	≧2.8			
半自動溶接用材料	軟鋼用	KSW 1	41~57	≧31	≧22	20	≧4.8	同 上	ガスを用いる溶接ワイヤーは-Gを、ガスを用いない溶接ワイヤーは-Nを記号の後に付ける。
		KSW 2				0	≧4.8		
		KSW 3				- 20	≧4.8		
	高張力鋼	KSW 51	50~67	≧38	≧22	20	≧4.8		
		KSW 52				0	≧4.8		
		KSW 53				- 20	≧4.8		
	調力質鋼高張	KSW 61	60~75	≧50	≧20	0	≧4.8		
		KSW 62				- 20	≧4.8		
		KSW 63				- 30	≧4.8		
	低温鋼用	KSWL 1	41~57	≧31	≧22	- 40	≧4.8		
		KSWL 2	46~62	≧35	≧22	- 60	≧4.8		
		KSWL 3	50~65	≧38	≧21	- 60	≧4.8		
		KSWL91	≧60	≧38	≧25	-196	≧2.8		
KSWL92		≧67	≧42	≧25	-196	≧2.8			

表 4 鋼種と溶接材料との組合せ (NK 規格1978年度版)

溶接用材料の種類			試験材に使用可能な鋼種	溶接用材料の種類			試験材に使用可能な鋼種
KMW 1	KAW 1	KSW 1	KA	KMW 62	KAW 62	KSW 62	KA 46 又は KD 46
KMW 2	KAW 2	KSW 2	KA, KB 又は KD	KMW 63	KAW 63	KSW 63	KA 46, KD 46 又は KE 46
KMW 3	KAW 3	KSW 3	KA, KB, KD 又は KE	KMWL 1	KAWL 1	KSWL 1	KE 又は KL 24 A
—	KAW 51	KSW 51	KA 32 又は KA 36	KMWL 2	KAWL 2	KSWL 2	KE, KL 24 A, KL 24 B 又は KL 33
KMW 52	KAW 52	KSW 52	KA 32, KA 36, KD 32 又は KD 36	KMWL 3	KAWL 3	KSWL 3	KL 33 又は KL 37
KMW 53	KAW 53	KSW 53	KA 32, KA 36, KD 32, KD 36, KE 32 又は KE 36	KMWL91	KAWL91	KSWL91	KL 9 N 53 又は KL 9 N 60
KMW 61	KAW 61	KSW 61	KA 46	KMWL92	KAWL92	KSWL92	KL 9 N 53 又は KL 9 N 60

表5 取付精度基準 (JSQS, 1977年度版)

大 区 分		仕		上		単位mm
中区分	小 区 分	項 目	標準範囲	許容限界	備 考	
取 						

表5 (つづき)

大 区 分		仕 上			単位mm
中区分	小 区 分	項 目	標準範囲	許容限界	備 考
取 付 精 度	取付時の隙	3.フラックスカッパーバック キング及びフラックス バックキング片面サブ マージアーク溶接	$0 \leq a \leq 10$	$0 \leq a \leq 3$	●溶け落ちが予想される場合シー リングビードを置く
		4.ファイバーアスベスト バックキング片面サブマ ージアーク溶接	$0 \leq a \leq 4$	$0 \leq a \leq 7$	●溶け落ちが予想される場合は充て ん材散布量で調整又はシーリング ビードを置く
		ラップ溶接の場合 (そのまま溶接して 良い隙)	$a \leq 2$	$a \leq 3$	● $3 \% < a \leq 5 \%$ 規定脚長+aの増し脚長 $5 \% < a$ 取付直し
	突合せ継手の目違い a=目違い量 t=板厚(薄い方)	重 要 部 材	$a \leq 0.15t$ (max 3%)	● $a > 0.15t$ or $a > 3 \%$ 取付直し	
		そ の 他	$a \leq 0.2t$ (max 3%)	● $a > 0.2t$ or $a > 3 \%$ 取付直し	

ding Quality Standards (略称 JSQS) がある。本標準には、開先精度、取付精度の標準範囲、許容限界及び許容値を超えた場合の補修方法などの取付精度基準並びにビード形状、継手の変形、ショートビード、アークストライクの跡、穴埋処理、ビード除去跡、傷、ひずみ量の許容範囲及び補修要領などの溶接部外観基準が定められている。

各国船級協会規則は、設計、工作両面にわたって細かい制約を設けているが、工作上最も問題となる工作法のトランスに関してはほとんど規定していないため、船舶建造途上、船級協会又は船主と造船所間に品質精度に関する考え方の相異からややもすれば摩擦を生じ、工程遅延等の不具合を生ずる場合がある。これは品質精度に関する監督者側と製造者側に共通したルールがないため、JSQS は、これら工作途上での精度範囲及びこれらの積み重ねで得られる船体の最終品質を規定し、これによって船主、協会の理解を得るようにするもので、ほとんどの造船所はこの基準に準拠して施工している。

JSQS のうち取付精度基準を表5に、溶接部外観基準を表6に示す。

ここでいう標準範囲とは、満足しうる品質の製品を製作するためにその工程に与える精度の指標を示し、許容限界とは、標準範囲を超えているけれども後工程で修正することなく許容でき、かつ、最終品質をも十分満足し得るものを示す。

これらの数値は、(1) 強度的に保証できること、(2) 商品価値を落とさないこと、(3) 生産コストが低いこと、などの観点から、各社の施工技術及び実績をバックデータとして決定されたものであり、工作法の進歩に伴って、また、必要な研究によりバックデータの充実と記述内容の補完、改訂が年々行われている²⁾。

5. 各種溶接法の概要と適用状況

造船の溶接技術は、材料、機器、施工法などの技術開発によって各種の高効率溶接施工法が開発実用化され、建造工程の合理化、生産性向上及びコスト低減に重要な役割を果たしてきた。表7に現在、造船所で採用されている代表的な溶接方法とその主な適用箇所を示す³⁾。また、造船に使用される各種溶接法の一例とその特徴を表8に示す。

表6 溶接部外観基準 (JSQS, 1977年度版)

大 区 分		溶 接		
中区分	小 区 分	許 容 範 囲		補 修 要 領
		適用箇所	許 容 値	
ビード形状	余盛高さ ビード ラング		h : 規定せず B : 規定せず $\theta \leq 90^\circ$	$\theta > 90^\circ$ のときはグラインダーなどで削りとりるか、溶接により増し盛りを行うかにより $\theta \leq 90^\circ$ に修正する
	アンダーカット (突合せ継手)	0.6L ⊗ の スキンとフェイス	90% 以上連続 $d \leq 0.5\%$	細径の溶接棒にて補修 (高張力鋼についてはショートビードにならぬ様注意)
		そ の 他	$d \leq 0.8\%$	
		アンダーカット (隅肉溶接)		$d \leq 0.8\%$
	脚 長		L : 脚長 l : のど厚 $L \geq 0.9$ (規定脚長) $l \geq 0.9$ (規定のど厚)	許容限界をこえたものについては、その部分増し溶接し所定脚長にする (高張力鋼についてはショートビードにならぬ様注意)
継手の変形	継手の角変形	(1) 0.6L ⊗ のスキンプレート (2) 前後部外板及び重要強度部材 (3) その他 付スパンに付 (1) $W \leq 6\%$ (2) $W \leq 7\%$ (3) $W \leq 8\%$	許容限界をこえた場合は、歪取りにより修正するか、切断後、再度取付直しの上再溶接する	
ショートビ		50キロ級高張力鋼	50% 以上	やむを得ず 50% 以下のショートビードを行う必要のある時は $100 \pm 25^\circ\text{C}$ の予熱を行う誤ってショートビードをおいてしまったときはグラインダーでビードをハツリとリルートわれ、ビードわれの有無を検査したのち 50% 以上の溶接を行う
		軟鋼 (仮付、補修溶接も含む)	規定せず	
アライクスト		50キロ級高張力鋼および軟鋼のE級鋼	アークストライク禁止	誤ってアークストライクを行った場合には下記のいずれかの補修を行う (1) アークストライク上に長さ 50% 以上のビードをおく (2) $350 \sim 650^\circ\text{C}$ の後熱を行う (3) 硬化部をグラインダーで削る

表6 (つづき)

中区分	小 区 分	項 目	標準範囲	許容限界	備 考
穴埋処理	D < 200	外板, 上甲板の重要強度部材		(1) 75φ 以上に切通して ④ または (2) 200φ 以上に切通して ⑥	処理方法 ④: スピゴットパッチ ⑥: 嵌込み ⑦: ラップ盛ぎ (盛ぎ板は母材と同厚) ⑧: 構造上 200φ 以上に切りとることが困難な場合は低水素系溶接棒を用い予熱する等慎重に溶接し, X線検査, 超音波探傷などの非破壊検査を十分に行う
		そ の 他		(1) 200φ 以上に切通して ⑥ または (2) ⑦ または ⑧	
	D ≥ 200	外板, 上甲板の重要強度部材		⑧	
		そ の 他		⑧ または ⑦	
デボハツリ	外 観 必 要 個 所	外板外面 甲板裸部 上部構造裸部		ハツリ仕上げ	
	外 観 不 必 要 個 所	タンク内, 内張面 デッキコンポジション 塗装甲板等		仕上り時特に目立つもののみハツリ仕上げ	
傷	外 観 必 要 個 所	外観必要箇所		仮付アンダーカット 深さ ≤ 1. 且つ 長さ ≤ 10.迄	溶接肉盛補修後ハツリ仕上
	外 観 不 必 要 個 所	外観不必要箇所		特に目立つもののみ手直し	溶接肉盛補修ハツリ仕上せず

表6 (つづき)

中区分	大 区 分		歪 量			単位 mm
	小 区 分	項 目	標準範囲	許容限界	備 考	
や せ 馬 歪	外 板	平 行 部 船 側 平 曲 行 部 船 底 部 部	4 4 5	6 6 7		
	二 重 底 頂 板		4	6		
	隔 壁	縦 通 隔 壁 横 水 " "	6	8		
	強 力 甲 板	中 央 部 (0.6L ⊗) 前 後 部 非 探 部	4 6 7	6 9 9		
	第 二 甲 板	裸 非 部 非 部	6 7	8 9		
	船 楼 甲 板	裸 非 部 非 部	4 7	6 9		
	上 部 構 造 甲 板	裸 非 部 非 部	4 7	6 9		
	ク ロ ス デ ッ キ		5	7		
	室 壁	外 内 壁 非 裸 壁 部 部	4 4 7	6 6 9		
	内 構 部 材	ガーダートランスのウ エブ	5	7		
	二重底フローガ ーダー		6	8		

表7 各種自動溶接法の適用状況

記号	溶 接 法 名 称	主 な 適 用 個 所	施工ステージ
①	ノンガスシールドアーク立向自動溶接	内構材立向すみ肉継手	地 上
②	炭酸ガスアーク立向自動溶接	隔壁, ホッパータンクトップ, 内構材の立向突合せ継手	現 場
③	横 向 自 動 溶 接	船側外板横向突合せ継手	現 場
④	ホールドフレーム自動目合せ溶接	ホールドフレームフェース及びウエブの横向突合せ継手	現 場
⑤	両面サブマージアーク溶接	内構材の突合せ継手	地 上
⑥	混用サブマージアーク溶接 (手, 炭酸ガスアーク溶接との混用)	二重底頂板, 内構材, 上甲板, 船底外板の突合せ継手	地上, 現場
⑦	FAB法片面サブマージアーク溶接	曲り外板, 船底外板, 二重底頂板, 上甲板の突合せ継手	地上, 現場
⑧	カタフラックス法片面サブマージアーク溶接	船底外板, 二重底頂板, 上甲板の突合せ継手	現 場
⑨	F C B法片面サブマージアーク溶接	平板ブロックの突合せ継手	地 上 (板継ぎ工程)
	フラックススパッキング法片面サブマージアーク溶接		
⑩	銅当て金摺動式片面サブマージアーク溶接	薄板平板ブロックの突合せ継手	地 上 (板継ぎ工程)
⑪	消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接	ロング立向材突合せ継手 エンジンガーダー立向突合せ継手	現 場
⑫	エレクトログラス (スラグ) 立向自動溶接	船側外板立向突合せ継手	現 場

表 7 (つづき)

タンカー

搬積貨物船

コンテナ専用船

造船溶接の特徴は、突合せ溶接についてはサブマージアーク溶接、炭酸ガスアーク溶接、又はスラグアーク溶接を、適当な裏当て材又は銅当て金を使用して片面溶接化することにより、また、すみ肉溶接についてはグラビティ溶接、サブマージアーク溶接（ラインウエルダ）、炭酸ガスアーク溶接、ミグ溶接などを適用することにより高能率化と作業環境の改善、品質の確保を図っている点にあり、また、その対象継手が必ずしも平板ばかりでなく、曲面に対する継手が多数存在することである。

表 8 には下向及び立向溶接法のみを記載したが、このほかに横向又は上向自動溶接法も適用されており、また、船体の平行部のみでなく、船首尾曲がりブロック、又は骨材のすみ肉溶接などに対する溶接の自動化、高能率化も進んでいる。一般に、すみ肉溶接にはグラビティ溶接、低角度アーク溶接が適用されることが多いが、小サイズ（4mm 以下）では適用が困難で炭酸ガスアーク溶接又はミグ溶接を指向する傾向がある。

ところで、最近の経済情勢の変化は著しく、過去のような大型専用溶接機の設備化によって自動化、高能率化を図るような動きは少なくなり、必要最小限の設備投資と既存設備の有効活用によって、生産効率を向上させる

ことが主体となってきており、特に半自動炭酸ガスアーク溶接の適用拡大が顕著である。表 9 に生産効率からみた各種溶接法の概略比較を示すが、炭酸ガスアーク溶接の特長は、被覆アーク溶接に近い汎用性と可搬性を有し、大規模な付帯設備が不要で、しかも高能率であり、また、各種裏当て材を併用することによって片面溶接が比較的容易に行えるという点にある。

以上のように、溶接材料を含めて各種溶接法の開発、実用化が進められてきたが、これら施工法の実船への適用に際しては、図 1 に示すような流れ図に従って溶接施工者（造船所）は、その船が入級する船級協会の溶接施工法承認試験を受け、合格することが必要である。また、造船に従事する被覆アーク溶接及び炭酸ガスアーク半自動溶接の溶接士はそれぞれの技量試験に合格することが必要である。ただし、自動溶接の場合は技量試験は不要である。

また、船種によっては、船級協会規格だけでなく、USCG (United States Coast Guard) 又は IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization) などの規格の溶接施工法承認試験及び技量試験を必要とする場合がある。

表 8 造船に使用される各種溶接法の一例とその特徴

溶接姿勢	溶接法の名称	溶接の種類と開先形状	原 理	特 徴
下 向	FAB法 片面サブマージアーク溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ 曲り部の溶接が可能 (曲率 300 mm 傾斜縦横 10°まで) ○ 裏当てが簡単 (操作設備とも) ○ 仮付溶接の影響がない ● 終端ワレ
	カタフラックス法 1) 片面サブマージアーク溶接 2) 片面炭酸ガスアーク溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ 開先ギャップに対する許容範囲が広い ○ 固形裏当てのため取扱いが簡単 ● 終端ワレ
	炭酸ガスアーク 全自動片面溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ 溶接トーチのオシレーションにより開先精度に鈍感 ● 防風対策要 ● 始終端ワレ
	FCB法 片面サブマージアーク溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ 裏当て材押上げ装置が簡単 ○ 仮付溶接の影響がない ○ 専用定盤で高性能 ● 始終端ワレ ● 曲り継手溶接不可能
	フラックスパッキング法 片面サブマージアーク溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ 裏当て材押上げ装置が簡単 ○ 裏当て材粉体により目違いへの順応性が大 ● 溶接後の裏当て材入れ替えが困難 ● 始終端ワレ
立 向	炭酸ガスアーク 立向自動溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ トーチのオシレーションにより開先精度に鈍感 ● 防風対策要 ● 開先内部の仮付は不可 (裏波溶接)
	プレスローラ型 エレクトロガス アーク溶接			<ul style="list-style-type: none"> ○ 目合せしながら長尺溶接が可能である ○ 施工条件範囲が広く安定した溶接が容易 ● 溶接途中のスタート部は融合不良となり手直し要
	消耗ノズル式 エレクトロスラグ溶接 (CES溶接)			<ul style="list-style-type: none"> ○ 厚板の高能率溶接が可能 ○ 構造が簡単で取扱いおよび運搬が容易 ○ 無監視溶接 ○ 開先形状が非常に簡単 ● スタート部融合不良

6. 狭あい部の溶接可能限界

溶接施工にあたって、種々の環境条件が溶接品質及び作業者の健康に影響を与えることが知られているが、特に狭あいな場所については感電、溶接ヒューム、作業環境温度などの安全衛生面に注意を払うことはもちろん、設計段階においても狭あい構造に対する配慮をしなければならない。

溶接施工上の狭あい構造とは、細径のパイプの中など人が入らない狭あい構造と、人が入るが、その形状のため溶接作業が困難な狭あい構造、更にはある壁面に溶接されている山形鋼同士の突合せ継手のように部分的に溶接が困難な構造などに分類できるが、船殻構造におけるこれら狭あい部の溶接可能限界の例を表10に示す。ここで言う溶接可能限界とは、溶接棒を曲げ、溶融池を見ながら健全な溶接ができる範囲を指す⁵⁾。

表 9 生産効率からみた各種溶接法の比較

比較項目		溶接法 継手種別	炭酸ガスアーク溶接				サブマージアーク溶接 (自動)		被覆アーク溶接			
			半自動		自動		すみ肉		手溶接		グラビティ	
			すみ肉	突合せ	すみ肉	突合せ	すみ肉	突合せ	すみ肉	突合せ	すみ肉	突合せ
一般的な 特性	汎用性 (適応 対象)	溶接姿勢	全姿勢への適用可 (溶接条件コントロール)		同 左 (装置は専用化)		下向, 水平のみ		全姿勢への適用可		水平のみ	
		板厚 (脚長) 及び継手長さ	特に制限なし		板厚 (脚長) と継手長さにより 装置稼働率が変動する		短尺継手の場合は稼働率が 低い		—		継手長 ≥ 500 mm 5 mm $\leq$ 脚長 < 9 mm	
		開先精度	手溶接並み		やや精度を要する		精度を要する		—		ギャップ大ではアンダーカ ット発生	
	可搬性, 機動性 (装置重量, 移動設置)		・装置重量 15~28 kg/台 ・移動設置は容易 ・比較的可搬性に富む		・軽量なもので 23 kg/台 ・移動設置は比 較的容易 ・やや重い ・移動設置は煩 雑		・比較的軽量 ・移動設置は容 易 ・装置重量 20~70 kg ・溶接機の移設 に労力を要す る		—		軽量で可搬性に富む	
	溶接付帯作業		比較的に少ない (ノズルチップの清掃) (スパッタ除去)		やや多い (同左の他, 装置セット, 条件設定)		多い (フラックス散布, 回収, スラグ除去, 装置セッ ト, 条件設定)		やや多い (溶接棒の取替 スラグ除去作業)		やや多い (棒, 装置のセット) (ケーブルのさばき)	
	操 作 性		やや知識が必要		知識が必要, 操作はやや煩雑		知識を要する 操作は比較的容易		容 易		容 易	
	作業者の熟練度		全姿勢の場合は熟練を要 する		短時間で習熟できる		同 左		熟練を要する		不 要	
溶接工程 での 効 率	能 率	溶着速度 (gr/min)	80	90	80	90	98	250	55	45	55	
		溶接能率 (時間 当り溶接長)	187	161	373 (4アーク/人使用)	190	497 (Twin システム 2台)	345	100	100	220 (4アーク/人使用)	
	経 費	人 件 費	53	61	27	52	20	29	100	100	45	
		副 資 材 費	100	110	100	110	281	64	100	100	100	
		溶 溶 コ ス ト	60	74	42	67	76	39	100	100	57	
被覆アーク溶接 (手溶接) を 100 と した指数	投下資本と採算性		装置は比較的安全で採算性 に優る		設備費は高いが対象製品に よっては投資回収ができる		同 左		—		採算性に優れる	
	流れ作業への同期化 (コンベヤーライン)		小物短尺継手に対してもマテハン 装置と組合せて効率化を図れる ライン組入れも容易		比較的簡単な設備でラインへの組 入れが可能		・付帯設備 (フラックス回収, 散 布など) を要す ・適用継手に制限 (溶接姿勢, 継 手長)		—		容易に高能率化を図れる	
	現場工事への適用性		汎用性可搬性に富み現場工事への 適用に優れる		対象の選定が必要 (継手長さ, 継 手数, 移動設定の難度)		同 左		—		容易に適用できる	
	関連作業の合理化		・薄板開先加工の簡易化 (開先 深溶込み溶接) ・突合せ片面溶接化による, 裏溝 掘り, 裏溶接作業, 反転作業の 省略 ・ひずみ取工数の削減 ・溶材乾燥業務の削減 (ソリッド ワイヤ)		同 左		突合せ片面溶接化による裏はつ り, 裏溶接作業, 反転作業の省略		—		—

図1 各種溶接法の実船適用までの手順

7. 溶接欠陥とその防止例

造船における溶接は、多種多量の物量と、構造の複雑さ、また、作業場所が広範囲にまたがり、かつ多くの人員を投入する溶接工事であるため、溶接施工管理と品質管理体制の整備は重要な課題である。

ここでは、実船建造過程での欠陥発生の実例とその防止例を示す。

7.1 ラメラテア

溶接構造物のラメラテア発生防止については、設計、施工両面からの対策が必要である。図2に実工事においてラメラテアが発生しやすい継手例を、また、図3に設計・施工面からのラメラテア防止方法を示す⁶⁾。ラメラテア防止のために図3に示すような継手設計上又は溶接施工上の対策を立てることはもちろんであるが、場合によっては、それぞれの対策を施した鋼材を採用することが有力な解決策である場合もある。例えば、コンテナ船の上甲板と舷側厚板の接合部 (Square Gunnel 部)、あるいは機関台などの板厚方向に比較的高い応力、振動のかかるような剛構造部についてはラメラテア対策鋼板が使用されることがある。その場合の経済的な材料規制の一例を表11に示す⁷⁾。

7.2 裏当て金を用いる溶接部の割れ

設計上又は施工上の都合で狭い構造のため、裏当て金を用い、片側溶接を採用する場合がある。例えば、貨物船のデリックブーム・ポストなどパイプ状の構造物の

表10 狭隘箇所の溶接可能限界例

分類	狭隘区画の船殻構造	溶接可能限界	
		可能限界*	不可能限界に対する処置例
人がはいれない狭隘構造	二重底 ←溶接箇所	$\theta \geq 40^\circ$ $X \leq 700$ $Y \geq 400$	・片面溶接 ・あて金溶接
	スタンチューブ、パイプ類	$D \geq 600$ または $D < 600$ のとき $L \leq 2,000$	
人がはいれる狭隘構造	ビルヂハット	$X \geq 500$ $Y \geq 750$	
	二重底	$\theta \geq 35^\circ$	・栓溶接 ・可撓性溶接棒の使用
部分的な狭隘構造	船尾構造	$X \geq 500$	
	二重底	$Y \geq 300$ $Z \geq 100$	
	アングル	$Y \geq 250$	
	スチフナXブラケット等	$X \geq 75$	

継手や、船首構造の船首外板はり込み部などがあるが、裏当て金同士の継目部の溶接不良に起因して、ブーム折損事故が生じた例などが日本海事協会から報告されている⁸⁾。

一般に、わかし込み溶接部そのものの溶接品質については注意が払われるが、裏当て金同士の継目部については配慮されていない場合が見受けられる。上述のような事故発生の問題もあり、構造上応力の高い継手については裏当て金継目の溶接を完全に施工することは、溶接構造物の信頼性を向上させる上にも必要である。施工方法の一例を図4に示す。これは裏当て金継目を本体へのわかし込み溶接及びはめ込み部材取付前の表裏完全溶接によって仕上げ、継目部に起因する割れの防止を図るようにしたものである。

7.3 立向下進溶接部の割れ

船殻構造の HT 50 を用いた縦通材と横桁材の取合い

図 2 ラメラテアが発生しやすい継手例

図 3 設計・施工面からのラメラテア防止方法

図 4 裏当金継目の処理例

表 11 ラメラテアの経済的防止のための材料規制

拘束度のランギング	継手形式の例	材数規制値 (S含有量%)	左記を保証するための対策
Most Highly	完全溶け込みのはめ込み継手	$S < 0.008$	脱硫+脱ガス処理鋼板の使用
Highly	箱型構造の角継手 大脚長の重ね継手 桁などで拘束された十字継手	$S < 0.012$	脱硫処理鋼板の使用
Moderately	桁などで拘束されたT継手 拘束の緩やかなすみ肉継手	$S < 0.020$	ミルシート等によるS含有量のチェック
Lightly	例) Web Flange のすみ肉継手など	—	特別な材料規制は不用

部を立向に進溶接する場合、縦通材側にはくり状の割れが発生することがある。これは、縦通材 (HT 50) の炭素当量及び硫黄含有量が高い場合に、溶接により侵入する拡散性水素の影響により、ルート部からヒールクラック又はラメラテアが発生したものと考えられる。

対策としては、極低水素系下進棒を使用し、溶接順序を変更 (横桁材と外板の溶接に先行して補剛材同士の下進溶接を行う) して、拘束応力を軽減するなどの方法がとられている。

8. あとがき

以上、造船における溶接施工に必要な材料の選択から、品質基準、施工法、事故例まで特徴のごく一部を記述したが、残された問題も数多くあり、造船溶接技術向上のための努力は今後共絶え間なくされていく必要が

ある。

また、より高級な材料を使用した船舶や潜水艦船などについては、溶接欠陥対策だけでなく、継手性能確保のために必要な施工条件の確立が必要であり、これらに対する材料、機器、施工法から検査まで含めたシステムとしての総合開発の努力が平行して行われていることを記して本稿を終ることとする。

参 考 文 献

- 1) 日本海事協会：鋼船規則集昭和53年
- 2) 日本造船学会 鋼船工作法研究委員会 第一分科会編 “日本鋼船工作法精度標準”
- 3) 三菱重工資料：造船の新しい溶接法1973
- 4) 広瀬、宮本、竹元：炭酸ガスアーク溶接採用による効果、溶接技術、1977, Vol. 25
- 5) 日本溶接協会造船部会溶接施工委員会：“溶接施工管理基準” (近く刊行の予定)
- 6) 7) 三菱重工社内資料
- 8) 日溶協造船部会溶接施工委員会：SK-24-78 関東地区委議事録