資 料

日本の造船における立向下進溶接棒の
実用化について*

渡 辺 正 紀** 鎌 田 勲**

Practicability of Electrodes for Vertical
Downward Welding at Japanese Shipyards

By Masaki Watanabe & Isao Kamada

1. 緒 言

造船における溶接作業中、立向スミ溶接長は全体の10%以上にのぼるので、日本においてはこれの能率向上を重要な課題として造船所、溶接棒メーカーが一体となって研究をしてきた。

その結果として、信頼し得る下進溶接棒が考えられ実用化されるにいたった。

立向下進溶接が、いつ頃から行なわれてきたかは明らかではないが、パイプ溶接にセルローズ系被覆溶接棒を用いて薄板構造物、ボイラー煙管端のシール溶接を行なうことは、現在では広く知られている。

船体構造においても従来立向下進溶接棒としてチタニア系被覆溶接棒が一般に使用されてはいたが、その作業性および機械的性質に対する評価は低く、したがってこの点から上部構造の一部に採用されていたに過ぎない。

本報告でとりあげた、立向下進溶接棒は、これらと別個のもので、日本において独自に開発研究されてきたものである。そしてその性能は、作業性の点においても、従来のものに比べて、はるかに優れたものであるから、船体のいかなる主要構造部の溶接にも使用することができものである。

この新しい立向下進溶接棒は、従来の塩基性型を立向下進用に作業性を改良したものであり、その特徴を要約すればつぎのようである。

イ) 塩基性被覆の溶接棒であるから、溶着金属は耐ワレ性をはじめ、機械的性質は優れており、いかなる構造部にも使用できる。

ロ) 溶接電流、溶接速度、棒角度などの溶接条件を適当に選定すれば、十分なとけ込みも得られる、しかも作業性は従来の上進溶接法に比べてはるかにやさしい。
ハ) 溶接経費は、従来の上進法に比べると、約 $\frac{1}{2}$ 減少する。

この信頼性のある立向下進溶接棒の出現は、棒メーカーの熱心な研究と、各造船所の強力な実用化への努力が実を結んだわけであり、造船における溶接作業能率の向上という点で画期的なものがあった。

この棒は実用化されるや、わずかの期間にその利点は広く認められ、ここ1ヶ年余りの間に急速に使用範囲が拡大されるにいたった。

われわれは本溶接法の適用範囲を更に広げ、船体強度材の、突合せ溶接にも適用すべく研究がつづけられており、その実用化も間もないことであろう。

2. 日本の造船における立向下進溶接の
実用化の現状

2.1 船体構造への応用実績

本溶接棒の利用は急速に伸びつつあり、ほとんどの造船所がすでに実用化しており、またその使用範囲も拡大しつつある。

そこで、ここでは実船への適用例の一部を表-2・1および写真-2・1、2・2により現状を紹介する。

2.2 船体構造への適用範囲

この立向下進溶接棒は、開発後日も浅いので造船所においてその適用範囲は異なるが、大体はつぎのようである。

地上大組立作業は、本溶接法が最も広く利用され、またその効果が如実に示される分野であり、スミ肉の大きさ10mm以下の立向スミ肉溶接にはほぼ全面的に使用されるようになってきている。

* 原稿受付 昭和39年12月12日

** 正 員 大阪大学工学部(日本溶接協会造船部会溶接施工委員会委員長)

*** 正 員 日立造船KK桜島工場船舶部(溶接施工委員会立向下進溶接小委員会委員長)

表-2・1 立向下進溶接棒使用実績の一部

船の種類	TON 数 (D.W.T)	N.H.S.W (TON)	船級	完成年月	立向下進 溶接棒 使用量 (kg)
見本市船	(12,680)GT	3,900	NK	1962.11	1,500
鉱石運搬船	48,500	8,047	NK	1963. 5	1,100
炭 油 船	(8,000)HP	1,234	—	1963. 5	2,100
油 送 船	35,000	7,400	LR	1963.10	1,200
貨物船	12,000	3,000	LR	1963.12	1,600
油 送 船	55,000	10,000	NV	1963.12	1,500
油 送 船	56,900	10,628	LR	1964. 2	5,500
搬積貨物船	24,500	3,421	LR	1964. 2	1,200
連絡船	(7,800)GT	2,193	JG	1964. 2	1,220
油 送 船	53,000	9,480	NV	1964. 3	1,500
鉱石運搬船	53,950	9,230	NK	1964. 3	3,000
油 送 船	68,500	11,000	LR	1964. 3	5,000
セメント運搬船	12,000	2,400	NK	1964. 5	2,000
貨物船	10,000	2,670	LR	1964. 7	1,000

註 NK…日本海事協会
NV…ノルスケベリタス

LR…ロイド船級協会
JG…日本海運局

写真-2・1 立向下進溶接適用船
(35,00 D.W.T. 油槽船) 写真-2・2 立向下進溶接適用船
(12,600 GT 見本市船)

この中でも、2重底フロー×ガーダー、タンカーの、ロンヂメンバー×トランスウェブ、ハウスウォール継手などはその代表的な適用分野である。

船台作業においては、外板×W.T.BHD、W.T.BHD×W.T.BHD その他のT継手および重ね継手などの立向スミ肉溶接について使用されている。その一例を写真-

2・3、2・4、2・5、2・6、2・7、2・8に示す。

2.3 経済性

今 50,000 D.W.T. タンカーを例にとり、立向下進溶接棒を全面的に利用したとすれば、この棒の予想使用量は、

小組立作業	0.3 TON	} 計 7.6 TON
大組立作業	5.6 TON	
船台作業	1.6 TON	

となる。これは全立向スミ肉溶接の約68%に当り、工数の節減は約 8,000 H と推定される。

1) 溶接速度の向上

立向スミ肉溶接において、本溶接棒を用いた下進溶接法と、従来から用いられているイルミナイト系溶接棒による上進溶接法との単位溶接長当りの溶接時間を比較す

写真-2・3 貨物船デッキガーダー、ビーム構造

写真-2・4 油槽船船底ロンヂ、トランス構造

写真-2・5 上部構造室壁

写真-2・6 上部構造ビームブラケット

写真-2・7 貨物船水密隔壁構造

写真-2・8 貨物船二重底構造

ると、図-2・1 のようになり、溶接時間は、従来の上進溶接法の 30~60% になる。これは使用電流が約 30%

図-2・1 上進溶接と下進溶接との単位溶接長当りの溶接時間の比較

高めに使用できるためである。

2) 溶接棒の節約

立向スミ肉溶接において、本溶接棒を用いた下進溶接法と、従来から用いられているイルミナイト系溶接棒による上進溶接法との単位溶接長当りの棒消費量を比較すると、図-2・2 のようになり、イルミナイト系溶接棒による上進溶接法の 60~70% にとどまる。

図-2・2 上進溶接と下進溶接との単位溶接長当りの棒消費量の比較

3) 経 費

立向スミ肉溶接において、本溶接棒を用いた下進溶接法とイルミナイト系溶接棒による上進溶接法との単位溶接長当りの溶接経費 (ここでは人件費と溶接棒費のみ採り上げる) を比較して図-2・3 に示す。

図-2・3 上進溶接と下進溶接との溶接経費の比較

ここでは造船作業において、もっとも作業量の多いスミ肉の大きさ 6 mm の上進溶接を 100 として示す。

3. 立向下進溶接棒の諸性質

3.1 一般特性

現在日本の主要溶接棒メーカーから市販されている立向下進溶接棒は表-3・1のごとくである。これらの溶接棒の一般特性は次のとおりである。

表-3・1 市販立向下進溶接棒

銘 柄	メ ー カ ー
LB-26 V	(株) 神戸製鋼所
⑨-16 V	八幡溶接棒(株)
KS-76 V	川崎製鉄(株)
LH-50 D	富士溶接棒(株)

- 1 塩基性の被覆を施しており主として軟鋼および50キロ高張力に使用されるものである。被覆の主成分は炭酸カルシウムで他に脱酸剤、スラグ生成剤、電弧安定剤、固着剤などを含んでおり、一般に使用されている塩基性型低水素系溶接棒と異なる点は立向下進溶接に適するように、粘性、表面張力の大きなスラグを生成するようデザインされていることである。
- 2 溶着金属の機械的性質、耐ワレ性とも従来の低水素系溶接棒と同程度にきわめてすぐれており、一般に使用されているイルミナイト系、ライムチタニヤ系、セルコーズ系、チタニヤ系溶接棒よりも良い。
- 3 溶接部外観は立向上進法のそれと異なり、アンダーカット・オーバーラップなどの欠陥はほとんど発生せず、ビード波形の細かい下向溶接の場合と似た良好な外観を呈する。一例を写真-3・1および3・2に示す。

写真-3・1 ビード外観

写真-3・2 ビード断面

す。

- 4 立向下進溶接は立向上進に比べてかなりの高電流の使用が可能で、溶接棒の溶融速度、したがって溶接速度は飛躍的に大となりきわめて高能率となる。
- 5 溶接速度の速くなることにより、溶接線単位長さ当りの入熱量は減少し、このためひずみの発生量が減少することが期待できる。
- 6 立向上進溶接は溶接技術としては比較的高級なもので、溶接工は相当の熟練を必要としているが立向下進溶接は比較的容易に施行で可能で、短期間の指導によって十分良好な溶接部を得ることができる。

3.2 溶着金属の性質

1. 全溶着金属の機械的性質

全溶着金属の機械的性質を日本工業規格 (JISZ 3211) にしたがって下向溶接による場合と立向下進溶接による場合の両者において行なった試験結果の一例は表-3・2、表-3・3 および図-3・1 に示すとおりで従来の低水素溶接棒と同程度の性質を示している。立向下進による場合は下向溶接の場合より引張強さ、衝撃値いずれもやや向上している。これはストレート運棒(立向下進)とウィピング運棒(下向)による溶着法の相違によるものである。

2. 溶着金属の化学成分

全溶着金属の化学成分は表-3・4 に示すとおりで、立向下進溶接と下向溶接でとくに大きな差はみとめられないが、立向下進溶接の場合のほうがアーク長が短いため Mn, Si がやや高く、N₂ がやや低い傾向がある。

図-3・1 全溶着金属衝撃試験結果
(2mm V ノッチシャルピー)

表-3・2 全溶着金属引張試験結果

棒径 (mm)	溶接姿勢	溶接電流 (Amp)	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び GL=50 mm (%)	絞り
4.0	立向下進 下 向	190	45.8	53.9	34	74.6
		190	42.5	52.3	33	75.4
5.0	立向下進 下 向	240	46.4	54.3	33	73.8
		240	42.3	52.5	35	75.0

表-3・3 全溶着金属衝撃試験結果
(2mmV ノッチシャルピー)
(単位: kg-m/cm²)

棒 径 (mm)	溶接姿勢	試 験 温 度 °C				
		-60	-40	-20	0	20
4.0	立向下進	9.2	18.8	22.1	23.2	22.5
		12.8	19.6	20.9	22.8	23.3
		(11.0)	(19.2)	(21.5)	(23.0)	(22.9)
	下 向	8.3	13.8	19.8	20.7	21.5
5.0	立向下進	13.9	22.6	22.9	23.5	25.5
		(11.2)	(21.0)	(22.5)	(23.5)	(24.3)
		5.1	11.0	17.1	19.4	21.0
	下 向	7.9	13.2	18.9	21.6	21.2

註 () 内は平均値を示す。

表-3・4 溶着金属の化学成分の1例

棒径 (mm)	溶接姿勢	化 学 成 分 (%)					
		C	Si	Mn	P	S	N ₂
4.0	立向下進	0.07	0.52	1.01	0.021	0.009	0.007
	下 向	0.08	0.46	0.98	0.023	0.008	0.009
5.0	立向下進	0.08	0.53	1.08	0.019	0.008	0.006
	下 向	0.08	0.41	1.02	0.019	0.008	0.011

表-3・5 溶着金属の水素量 (c.c/100 gr)

銘 柄	拡散性水素	非拡散性水素	全 水 素
A	3.83	1.56	4.39
B	3.96	1.78	5.74

また溶着金属の水素試験の結果は 表-3・5 のとおりで水素量は低水素系溶接棒と同程度できわめて少ない。試験は日本工業規格にしたがって拡散性水素量を測定しその後高温抽出法により非拡散性水素量を測定した。

3. 耐ワレ性

図-3・2 十字スミ肉試験法

図-3・2に示すような十字スミ肉試験法で立向下進溶接により耐ワレ性をしらべた結果、軟鋼50キロ高張力鋼いずれに対してもワレの発生はなく立向下進棒は十分な耐ワレ性を有することが明らかである。

3.3 立向下進溶接法の詳細

前述のごとく立向下進溶接棒はきわめて優秀な性質を有しているが、これが実用上良好な性能を発揮するために必要な溶接条件について以下にのべる。

1 ビード外観形状

立向下進溶接においては溶接条件によりビード形状が変るが、とくに溶接棒保持角度の影響が大きい。その角度が垂直方向から80°前後（図-4・1）時がもっとも良好なビード外観が得られ、それ以下の時は凹形になりやすい。良好なビード外観を写真-3・3に不良なビード外観を写真-3・4に示す。

写真-3・3 良好なビード

写真-3・4 不良なビード

2 とけ込み

スミ肉の大きさ5~7mmを目標とし、溶接条件がとけ込みにおよぼす影響をしらべた結果を図-3・4、図-3・5に示す。ただし、ここでいうとけ込み(P)は図-3・3に示したものである。

溶接棒保持角度の増大にしたがってとけ込みは顕著に増加し80°程度が最良と考えられる。

溶接速度によっては、とけ込みはほとんど影響されないが溶接電流の増大ではとけ込みはます。

図-3・3 とけ込み

図-3・4 溶接棒角度ととけ込みの関係

図-3・5 溶接電流ととけ込みの関係

3 スミ肉ルート間隙の影響

立向スミ肉下進溶接施行の際のルート間隙がビード形状と、とけ込みに及ぼす影響をしらべた結果は、図-3・6 のごとくでルート間隙の大となるにしたがい凹形ビ

図-3・6 ルート間隙ととけ込みの関係

図-3・7 十字スミ肉引張試験片

表-3・6 ルート間隙と十字スミ肉引張試験結果

ルート間隙 mm	スミ肉溶接棒の大きさ mm	最大引張荷重 kg	引張強さ kg/mm ²	破断位置
0	5.28	16,200	54.3	溶着金属
	5.58	17,100	54.2	"
	5.48	16,600	53.6	"
	5.85	16,600	50.2	"
0.5	5.48	16,600	53.6	"
	5.18	16,800	52.3	"
	5.73	16,100	49.7	"
	5.28	16,700	55.9	"
1.0	5.25	17,500	>59.0	母材
	5.43	17,100	55.7	溶着金属
	5.20	17,600	59.8	"
	5.45	16,900	54.8	"
1.5	5.08	17,700	>61.5	母材
	5.20	17,600	>59.5	"
	5.75	17,600	54.1	溶着金属
	5.43	17,700	>57.7	母材
2.0	5.28	17,300	>57.9	"
	5.20	17,600	>59.8	"
	5.40	17,200	>56.3	"
	5.05	17,600	>61.5	"

図-3・8 ルート間隙と引張強度

ードになる傾向があるが, とけ込みは深くなる。また, これがスミ肉溶接部の強度にどの程度影響を与えるかを, 図-3・7 の十字スミ肉引張試験により調査した。

結果は, 表-3・6ならびに, 図-3・8に示すようにに間隙の大きくなった場合, とけ込みの増大により強度はむしろ増大することがわかる。

4. 運棒の要領

4.1 1層溶接

溶接棒保持角度は, スミ肉を形成する2枚の板に中央線で 図-4・1 のごとく溶接方向に対し $40^{\circ}\sim 90^{\circ}$ で行なうが, 前述のごとく約 80° が良好である。

棒先端は, 被覆筒を母材に接触させて適正な速度と電流で溶接する。

図-4・1 溶接棒保持角度

4.2 ビードの継目

ビードの継目は, ふつうにアークを切ると溶融金属が下部にたれ下り, 外観がわるくなり, とけ込みも減少しやすいため, 図-4・2 のようにクレーターができるだけ, うすくなるようにアークを切る。

つぎに棒のスタートは, 図-4・3 のように, やや下

図-4・2 クレーター処理法

図-4・3 継目運棒法

方でアークを出して, クレーターを十分うめてから進行する。

4.3 多層溶接

大脚長スミ肉には, 多層溶接を行なうが, 運棒上注意すべき点は, 1層溶接の場合とほぼ同様である。

2層溶接法としては, 図-4・4 (a) (b) のごとく行なうが (a) 2パス法では脚長 8 mm 程度まで可能で (b) 3パス法では 10 mm 程度まで, 凹形度の少ないスミ肉を作りうる。

さらに大脚長のスミ肉溶接には, これらの組合せによるマルチパス法により高能率に溶接できる。

図-4・4 2層溶接法

5. 結 言

立向下進棒は最近日本で開発されたものであるが, 本論文に述べたように, 各種の優秀な特性をもっているため, 次第にその使用範囲が拡大される傾向にある。

しかし新しい溶接棒であるだけに, その作業時に, たとえば棒保持角度などについて, 若干注意すべき点があるのは当然である。

これらの点については将来さらに研究を進め, よりよい下進溶接棒の開発に努力するつもりである。

尚本資料は日本溶接協会造船部会溶接施工委員会立向下進溶接小委員会の最終報告より抜粋したものである。