

(技術資料)

高能率CO₂溶接施工法「高速水平すみ肉溶接法」および「2電極エレクトロガスアーク溶接法」

High Efficiency CO₂ Welding Methods : “ High Speed Horizontal Fillet Welding ” and “ Tandem Electro Gas Arc Welding ”



長岡茂雄*
Shigeo Nagaoka



橋本哲哉*
Tetsuya Hashimoto



横田泰之*
Yasuyuki Yokota



岸本卓也**
Takuya Kishimoto

In recent years, high efficiency welding methods have been in great demand for shipbuilding. In response to this demand, Kobe Steel has developed flux-cored wires for high-speed horizontal fillet welding and for tandem electro gas arc welding method. This paper introduces the characteristics of these methods which are both based on newly developed flux-cored wire.

まえがき = 造船分野では、長年製造コスト削減と工期短縮などの合理化が進められてきている。特に船こくの溶接については、高能率化・自動化が著しい。加えて、最近の建造量増加及び船体の大型化に伴い、更なる溶接の高能率化・高品質化が求められている。

一般に、船こくの溶接工程の約80%はすみ肉溶接である。したがって、このすみ肉溶接の高能率化と高品質化が重要となる。一方、船体の大型化に伴い突合せ継手の厚板化(最大80mm)が進んでいるため、極厚板の大入熱溶接における継手品質を確保することも重要となる。

本稿では、メタル系フラックス入りワイヤ(以下、メタル系FCW)のフラックス組成・ワイヤ性状適正化によるすみ肉溶接の高能率化について紹介する。また、極厚板の突合せ継手溶接に適した2電極エレクトロガスアーク溶接施工条件とワイヤ組成の適正化による、大入熱溶接継手性能の高品質化について紹介する。

1. 高速水平すみ肉溶接法

1.1 高速水平すみ肉溶接における課題

現在、水平すみ肉溶接の高能率化・高品質化の要求に対して、防錆塗料(無機ジंकショッププライマ)塗布鋼板での耐気孔性及び高速溶接性に優れたツインタンドム方式の1プール溶接法(以下、TOP法)と、メタル系FCWの組合わせによる施工法が実用化されており、約150cm/min(脚長約5mm)の高速溶接を達成している。

TOP法は図1に示すように、立板に対して両側に電極を配し(ツイン方式)かつ電極数を2(タンデム方式)とし、2電極で1つの溶融池(以下湯溜まり)を形成させて溶接を行う施工法であり、従来のツインシングル法及びツインタンドム2プール法(2電極で2つの溶融池を形成)に比較して、耐気孔性が優れている。これは、

1 プール溶接では2 プール溶接よりもクレータ長さが増大するため溶融池の凝固が遅延し、気泡の浮上・放出が促進されるためと考えられる。しかしながら、従来のメタル系FCWとの組合わせにおいては、耐気孔性やビード形状・外観の面より、約150cm/min程度の溶接速度が限界となっている。

昨今、特に造船分野においては、溶接工数の低減や生産コストの低減など高能率化・高品質化の要望が強まっており、水平すみ肉溶接においても更なる高速溶接化が望まれている¹⁾。

1.2 ワイヤの開発

水平すみ肉溶接において更なる高速溶接化(150cm/min以上)を図り、所定のすみ肉脚長を確保するためには溶接電流の増大が必須となるが、従来のメタル系FCWの場合、耐気孔性の劣化及びビード形状・外観不良

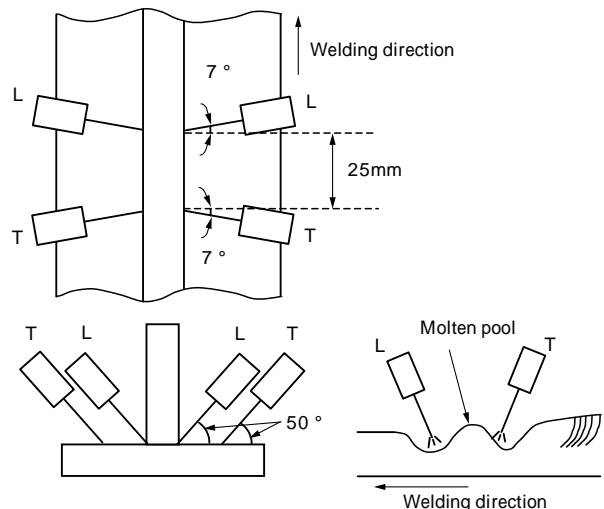


図1 2電極1プール法
Fig. 1 Twin-tandem one pool method

*溶接カンパニー 技術開発部 **溶接カンパニー 茨木工場

(不整ビード, アンダカットなど)が発生する。これは、溶接電流の増大に伴うアーク力の増加、アーク干渉などにより、湯溜まりの形状が不安定になるためと考えられる。

そこで湯溜まりの形成状態に着目し、現TOP法をベースに更なる高速溶接(200cm/min)を達成すべく、従来メタル系FCWのフラックス組成及びワイヤ性状の適正化を試みた。図2に、溶接速度200cm/minでのビード形状・外観に及ぼすフラックス中のアルカリ金属の影響を示す。フラックス中のNaとK量の増加及び比率の適正化は、ビード形状・外観の向上に効果的であることを見出した。これは電離電圧の低いアルカリ金属(Na, Kなど)の添加により、アーク力が低下するとともにアーク安定性が向上し、湯溜まりの形成状態が安定化したためと考えられる。

図3に、ビード形状・外観に及ぼすワイヤ断面形状の影響を示す。ワイヤ全断面積に占めるワイヤ外皮断面積比率の減少は、高速溶接化に有効である。一般的に溶接電流の大部分はワイヤ外皮を流れるため、ワイヤ外皮断面積比率の減少により、電流密度が増大する。したがって、低電流にしても同一の溶着金属量が得られる。すなわち、より低電流化を図ることが可能であり、アーク力を過剰に増大せずに湯溜まりの形成を安定化させることができると考えられる。更に図4に、気孔発生数及びビード形状に及ぼすスラグ形成剤の影響を示す。スラグ

形成剤量の減少により、大気への気泡放出が容易となるため、ピット発生数が減少する。逆に少なすぎると溶接金属の支持力低下により、凸型ビードとなる傾向がある。

上記結果をもとに、フラックス組成及びワイヤ性状の適正化を図り、新メタル系FCW「MX-200HS」を開発した。

1.3 開発ワイヤの特性

写真1に溶接速度200cm/min(脚長5mm)における

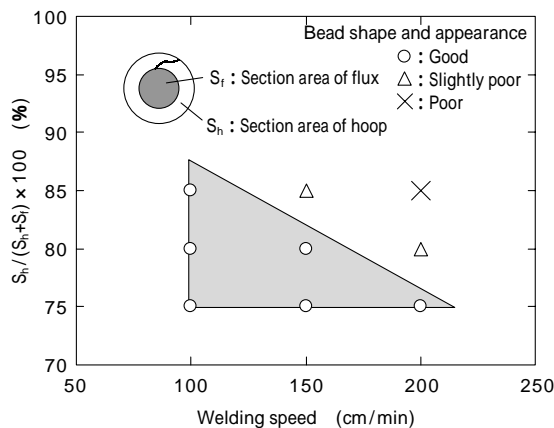


図3 ビード形状・外観に及ぼすワイヤ断面形状の影響
Fig. 3 Influence of wire cross section for bead shape and appearance

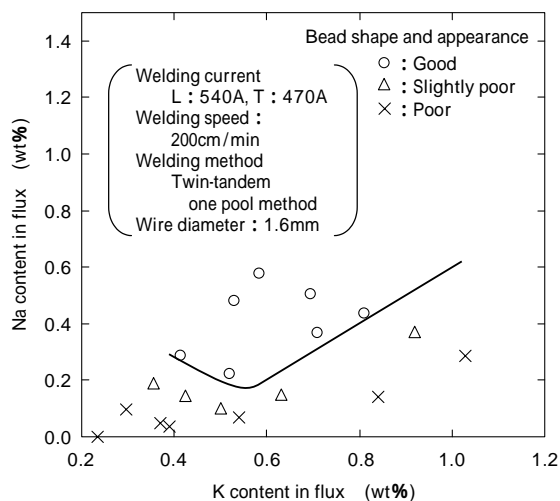


図2 ビード形状・外観に及ぼすフラックス中のアルカリ金属の影響
Fig. 2 Influence of alkaline metal content for bead shape and appearance

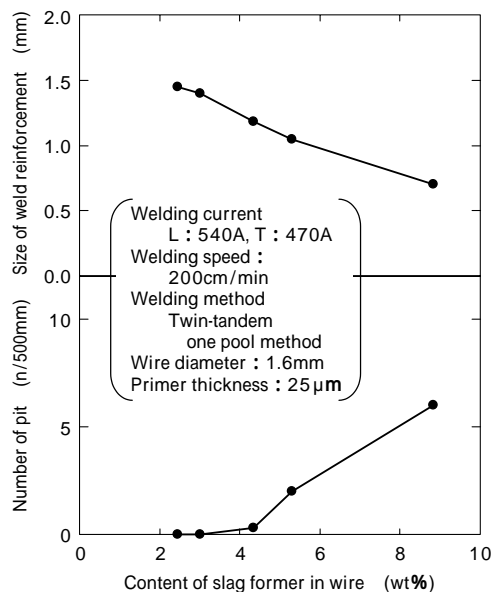


図4 気孔発生数及びビード形状に及ぼすスラグ量の影響
Fig. 4 Influence of slag quantity for porosity generation and bead shape

Wire	Bead appearance	Bead shape
Conventional wire		
Newly developed wire [MX-200HS]		

(L : 540A, T : 470A, Welding speed : 200cm/min)

写真1 高速すみ肉溶接におけるビード外観及びビード形状の一例
Photo 1 Bead appearance and shape in high speed horizontal fillet

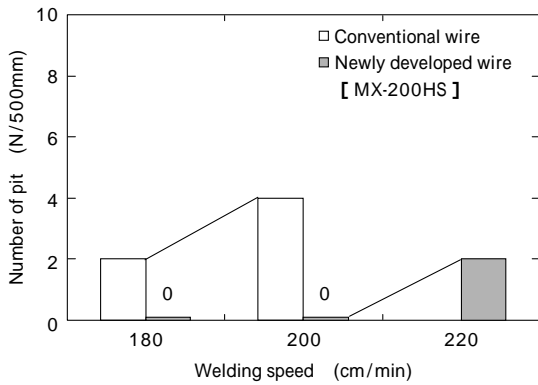


図5 高速すみ肉溶接におけるピット発生数
Fig. 5 Porosity generation in high speed horizontal fillet

表1 MX-200HS 溶着金属の機械的性質
Table 1 Mechanical properties of MX-200HS weld metal

0.2% offset stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	$\sqrt{E} \cdot \sigma_{0.2}$ (J)
510	570	28	75

ビード外観と断面マクロ組織を示す。波目の揃った光沢のあるビード外観、かつ平滑なビード形状が得られている。図5には溶接速度とピット発生数の関係を示しており、約200cm/minの高速溶接においても良好な耐気孔性が得られていることが分かる。また、溶着金属の機械的性質は、表1に示すように従来ワイヤと同等の性能を有している。

以上のように、MX-200HSの高速溶接性は従来メタル系FCWに比較して格段に向上しているため、水平すみ肉溶接の大幅な生産性向上によるコスト削減が期待できる。

なお、本溶接施工法により健全なビードを確保するためには、次の点に注意する必要がある。鋼板のプライマ膜厚は厚くなりすぎると、スパッタ発生量の増加など溶接作業性が劣化するとともに、ピットやブローホール発生量が増加する。膜厚は15 μ m以下にすることが望ましい。また、ルートギャップが過大になるとビード形成が不安定となるため、2mm以下に管理する必要がある。さらに、アースを立板と下板の両方に取付け磁気吹きをなくし、アークを安定に保持することも重要である。

2.2 電極エレクトロガスアーク溶接法

2.1 2電極エレクトロガスアーク溶接法の課題

従来の1電極エレクトロガスアーク溶接法は、水冷摺動銅板と裏当て材(固形耐火フラックスまたは水冷銅板)を用いる簡易片面エレクトロガスアーク溶接法であり、船舶、石油貯蔵タンクなどに適用されている。しかしながら、大型コンテナ船のシャーストレキヤハッチコーミングなどの極厚板の継手溶接を行う場合、溶接の能率低下、及び融合不良など溶接欠陥の発生が問題となる。現在、これらの問題を解消する施工法として、2電極エレクトロガスアーク溶接法が注目されている²⁾³⁾。

極厚板溶接には、2電極エレクトロガスアーク溶接法を適用することで、能率の向上や十分な溶込みを確保することが可能となる。しかしながら、600kJ/cmを超え

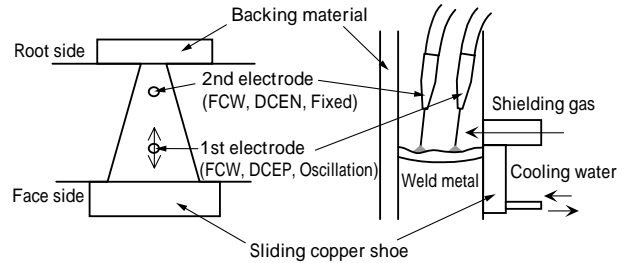


図6 2電極エレクトロガスアーク溶接施工法の概要
Fig. 6 Method of tandem electro gas arc welding

る大入熱溶接となるため、健全な溶接継手品質を確保するためには、鋼板特性(HAZ 靱性)の改善が前提となるが、溶接金属の靱性劣化を防止することが課題となる。そこで、今回このような厳しい条件下でも溶接金属の十分な靱性を確保できるように、施工条件の適正化と溶接ワイヤの開発を行った。

2.2 溶接施工条件の検討

今回開発を行った2電極エレクトロガスアーク溶接法の概略を、図6に示す。これらの施工条件を決定するに際し、ワイヤの種類・電極の摺動・極性についての検討を行った。適用するワイヤとしては、両電極ともソリッドワイヤもしくはFCW、及び両者の組合せが考えられる。しかし、1電極もしくは両電極ともソリッドワイヤを適用した場合、溶接金属中の酸素量を十分に低減することができないことに加え、スパッタ発生量の増加、溶込み形状不良という問題が発生するため、両電極ともFCWとすることが最適であると判断した。

また、電極の摺動についても検討を行った結果、表面側電極は板厚方向にわたり十分な溶込みを確保するために板厚方向に摺動とし、ルート側電極は裏ビードを安定して形成するために固定とすることが最適であることを確認した。さらに、両電極が同極性の場合アーク干渉が発生し溶込みが不安定となるため、異極性とすることで解決した。

2.3 溶接ワイヤの開発

ワイヤの開発は、造船用大入熱鋼板(YP36もしくはYP40)への適用を前提にし、-40の吸収エネルギーが41J以上を確保できるように、主に溶接金属組織を適正化すべく添加合金成分の調整を行った。特にTi, B量を調整し、粒界フェライトの抑制とアシキュラフェライトの微細化, Ni添加による強靱性化に加え, C量を極力低めとした上で、合金成分適正化による強度調整も行った。

図7に、溶接金属中のTi, B量が溶接金属組織と靱性に与える影響を示す。Tiは添加量が少ないと粒界フェライトの発生、逆に過剰に添加すると高強度となるため、いずれも靱性劣化の傾向がある。その結果、溶接金属中のTi量としては、400ppmが適正であることを確認した。Bについては、添加量の増加に伴い粒界フェライトが抑制され、組織の微細化が図られるため靱性は向上するが、B量が40ppmを超えると靱性はそれ以上向上しなかった。また、Bが溶接金属中に過剰に歩留まると割れの危険性が高まることから、40ppmが適正であると判

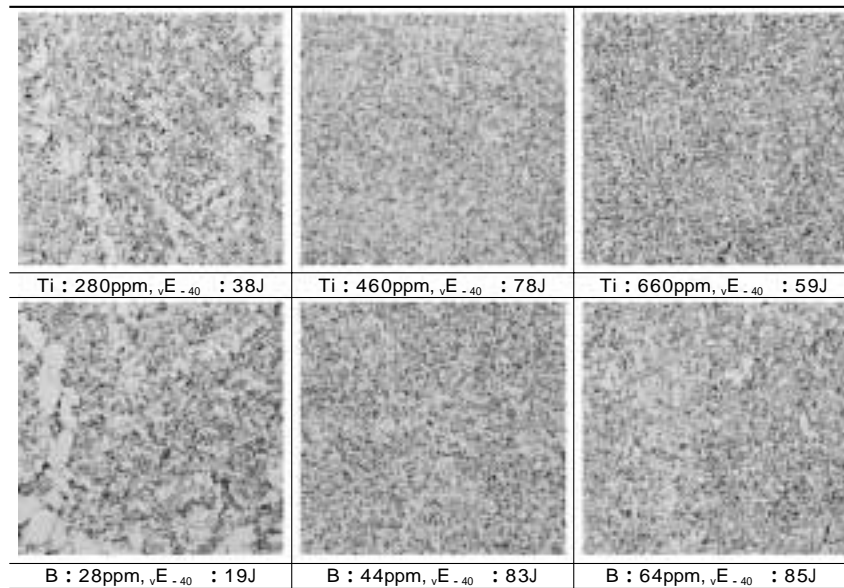


図7 溶接金属組織及び衝撃性能に与えるTi及びB量の影響

Fig. 7 Influence of Ti and B contents for microstructure and impact property of weld metal

表2 溶接金属化学成分

Table 2 Chemical composition of weld metal (wt.%)

C	Si	Mn	Ni	Ti	B
0.06	0.20	1.60	1.30	0.040	0.0040

断した。同様にMn, Niについても調査を行った結果, Mn量は1.6%, Ni量は1.3%とすることが適正であることを確認した。

以上の基礎検討をもとに, 溶接金属の化学成分が表2に示す値となるようワイヤ組成を設計した。

2.4 溶接継手性能

今回開発した施工条件とワイヤ(DWS-50GTF, DWS-50GTR)による2電極エレクトロガスアーク溶接法を, 板厚35mm及び80mmの大入熱用鋼板に適用し, 突合せ継手性能を確認した。表3に試験条件を, 表4に溶接条件を示す。板厚80mm, ギャップ10mmのときに, 入熱600kJ/cmを超える大入熱溶接となっている。

表3 試験条件

Table 3 Test condition

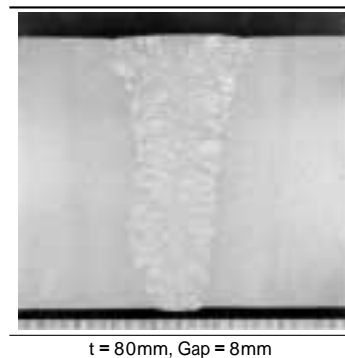
Testing plate	35mm: 25 °V, Gap: 8mm (EH36) 80mm: 20 °V, Gap: 8mm (EH40)
Wires	1st : DWS-50GTF, 1.6mm (DCEP) 2nd : DWS-50GTR, 1.6mm (DCEN)
Backing material	KL-4
Wire extension	35mm
Wire feeding rate	13.0m/min (35mm), 15.0m/min (80mm)
Shielding gas	100%CO ₂ 40 l/min

表4 溶接条件

Table 4 Welding condition

Plate thickness (mm)	Gap (mm)	Wire	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Travel speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)
35	8	1st	370	37	9.6	166
		2nd	360	38		
80	8	1st	400	38	3.9	512
		2nd	420	43		
	10	1st	410	41	3.4	630
		2nd	420	45		

図8にマクロ組織を示す。良好な溶込みを確保しており, ビード形状も良好である。表5に溶接金属の引張試験結果を示す。いずれの条件においても十分に船級規格(0.2%耐力 400MPa, 引張強度: 510 ~ 690MPa, 伸び 22%)を満足する値となっている。図9に入熱と衝撃性能の比較を示す。入熱の増加に伴い衝撃性能は低下する傾向はあるものの, 板厚35mmにおける比較的低下



t = 80mm, Gap = 8mm

図8 断面マクロ組織

Fig. 8 Macrostructure

表5 引張試験

Table 5 Tensile properties

Plate thickness (mm)	Gap (mm)	0.2% offset stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
35	8	552	633	23
		503	644	24
80	8	503	644	24
	10	474	622	24

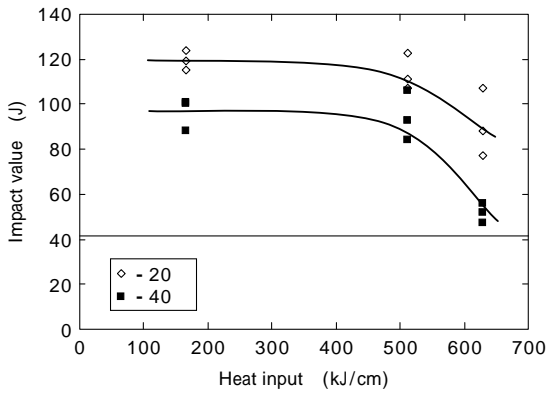


図9 入熱量と衝撃性能の関係

Fig. 9 Relationship between heat input and impact value

熱の条件から板厚 80mm の 600kJ/cm を超える大入熱まで、安定した衝撃性能が確保されている（-40 吸収エネルギー 41J）。以上のように開発ワイヤの溶接金属性質が優れているのは、合金成分の適正化により、粒界フェライトの抑制、アシキュラフェライトの微細化、及び上部ベイナイトの防止が図られているためである。

なお、健全な溶接継手品質を確保するためには、次の点に注意する必要がある。溶接時のアーク電圧は高すぎると、入熱量の増大と合金成分の歩留まり低下により、靱性が劣化し、低すぎると合金成分の歩留まりが向上して、強度上昇により靱性が劣化するため、適正に保つ必

要がある。また、特に 80mm の極厚板を溶接する場合には、ルートギャップが過大になると入熱量が増大し、靱性劣化を生じるため、8mm 程度に管理する必要がある。さらに、溶融プール上のスラグが過剰になった場合には、溶接作業性の劣化に加え、合金成分の歩留まりが向上し靱性劣化が生じるため、適正な摺動銅板を適用しスラグを十分逃がすことが重要である。

むすび=今回、高速すみ肉溶接法と 2 電極エレクトロロガスアーク溶接法の、技術開発の内容と特性を紹介した。これらの溶接法は、今後も続くと予想される造船の合理化に対し、すみ肉溶接及び厚板継手溶接の高効率化に大きく貢献するものと考えられる。

今後も、更なる溶接の高速化及び高効率化の要求に対応できる技術・製品の開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 菅哲男ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.45, No.1 (1995) p.60.
- 2) 日高武史：溶接だより技術がいと，Vol.44 (2004) p.1.
- 3) 日高武史ほか：溶接学会全国大会講演概要，第 72 集 (2003) p.228.