大極間サブマージアーク溶接法の開発

奥田直樹¹⁾、中野彰²⁾

1. 開発の背景

最近、LPG、LNGなどの液化ガス運搬船や海洋構造物など低温仕様の構造物が多く建造されてきており、今後ますます増大する気運にある。これらに使用される鋼材を見ると、例えば、船舶の建造に見てもSi-Mn系鋼板で造船E級鋼(-20°C)から-60°C使用可能な低温用鋼と高級化の一途をたどっている。これとともに溶接継手に対しても高性能が要求される。しかし、鋼材の溶接性で低温用アルミキルド鋼などフェライト系の鋼材は溶接入熱によって組織が粗大化し、その部分(溶接熱影響部)のじん性が劣化する傾向にある。この現象は入熱が大きくなるほど著しくなる。

一方、多電極サブマージアーク溶接法は能率性に優れ、広い分野で実用化されている。とくに本法による片面溶接方法は、代表的な高能率溶接法として省人、省力化に大きく貢献しているが、高能率であるがゆえに、大きな入熱量を溶接部に加え、熱影響部のじん性劣化が避け難く、低温用鋼の溶接に適用することは不可能であった。

低温仕様の構造物が増加する中で、これらの溶接に対しても高能率、かつ高性能の溶接部が得られる溶接施工法、溶接材料の開発が強く要望されてきた。この要求に応えるべく、溶接材料、および鋼材の特性面から追求し、新しい溶接施工法として、大極間サブマージアーク溶接法を開発し、実用化に成功した。

2. 大極間サブマージアーク溶接法の概要

低温用鋼の溶接に多電極サブマージアーク溶接法、片面自動溶接法の適用を図るため、種々の実験研究を行ってきたが、その手段として、溶接入熱の低減、溶接熱サイクルの改善を同時になし得るような溶接方法が必要であることが分かった⁽¹⁾⁽²⁾。

この観点から、図1に示す「大極間方式」のサブマージアーク溶接法を開発を進めたものである。

本法は、多電極サブマージアーク溶接における電極間距離(極間)を非常に大きく離し、先行電極で生成したス

ラグが凝固した後に、その上から後続電極によるアークを発生させ、スラグを再溶融しながら溶接しようとするものである。

図1 大極間サブマージアーク溶接法。

従来の小極間の溶接では、各電極による溶融池が連続し、一つの溶融池の形となる。そのため、隣接する鋼材への入熱量は各電極による総和となり、非常に大きくなるが、大極間法の場合、各電極の溶融池はそれぞれ独立して形成される。すなわち、長極間であるがゆえに、先行電極に形成された溶着金属が凝固後一度低温まで冷却してから後続電極がくるので、入熱が分散され、低入熱化が可能となる。さらに、熱影響部が後続電極の入熱にて繰返し加熱を受け、組織が細粒化され、熱サイクル改善の効果が期待できる。

本法の特徴は、固化したスラグが良好な電気伝導度と再溶融性を有するフラックスを用いるところにある。従来のフラックスにより大極間サブマージアーク溶接を行なおうとすると、先行電極の生成スラグは固化後ガラス質、または結晶質の電氣的絶縁体となり、このスラグを介して後続電極のアークを発生することが出きない。すなわちスラグが電導性を失なわない半溶融状態のところまでしか極間を離せなかった。

従って、本法を可能とする上で、フラックスの開発が不可欠であり、各種成分系のフラックスを開発し、スラグの電気伝導度、再溶融性、溶接性などの特性を追求した⁽³⁾。この結果、 SiO_2 、 CaO などの成分を TiO_2 に置換した成分系である TiO_2 、 CaF_2 、 Al_2O_3 を主成分としたフラックスのスラグが優れた電気伝導度を有し、再溶融性もよく本法に供するフラックスとして使用できることを確認した。

図2に従来のフラックス、および開発したフラックス

* 株式会社神戸製鋼所溶接棒事業部

1) 技術部主席研究員 2) 技術部

Development of the Long Electrode Distance Submerged Arc Welding Method; N.Okuda, A.Nakano (Kobe Steel Ltd.)

1982年1月30日受理

図2 各温度における凝固スラグの電気伝導度。

「PFL-1」による凝固スラグの各温度における電気伝導度を示す。

熱サイクルを改善する程度に極間を離れた場合、先行電極で生成されたスラグは 400~600°C 程度まで冷却するが、後続電極のアークをスムーズに発生させるために、スラグの電気伝導度は少なくとも 0.01 mho/cm 以上にする必要がある⁽¹⁾⁽²⁾。フラックス「PFL-1」によるスラグは室温まで冷却した場合でも 0.01 mho/cm 以上の電気伝導度を有し、アーク発生、維持に関して極間を制限する必要はないものである。このような特性を持つフラックスの開発により大極間方式のサブマージアーク溶接法が可能となった。

3. 低温用鋼への適用性

(1) 溶接熱サイクル

図3に2電極溶接における溶接熱サイクル例を示す。曲線Aが従来の極間 110 mm、Bが 600 mm とした時のものである。Aと比較してBでは低温用鋼の組織が粗粒化してしまう高温域の滞留時間が半減している。さらに、この部分が再加熱を受ける時、すなわち、後続電極のアークが到達する時の温度は 500°C 以下になっており、再加熱の温度は組織が粗粒化されず、微細化効果の期待できる温度範囲(A₃点近く)にとどまっていることが分かる。

写真1は片面自動溶接法における本法と従来法との溶接部断面マクロ組織を比較したものである。いずれも1回の溶接走行で行なったものである。入熱の分散、熱サイクルの改善の熱影響部に対する効果を見ることが出来る。

(2) 極間距離と熱影響部のじん性

図4は極間と熱影響部のじん性の関係を示すものである。写真2は各極間における熱影響部のミクロ組織を示す。

同一入熱量においては極間を大きくとる方が熱影響部のじん性劣化を軽減できる。熱影響部の組織を溶着金属と母材の境界(ボンド)から 1 mm の部分におけるオーステナイト結晶粒の大きさで比較すると、結晶粒度番号(JIS)で従来の極間 110 mm の場合 2~3 番であるが、極間 300 mm では 3~4 番、極間 600 mm では 6~7 番になっており、上部ベイナイト組織からフェライトが粒状となり、フェライト+パーライトの微細な組織に改善されている。

これらの特徴を活かすことにより、大極間サブマージ

図3 熱影響部の熱サイクル(板厚 16 mm)。

板厚 (mm)	電極数	従来法	大極間法
16	2		
		極間 (mm) 110	700
32	3		
		極間 (mm) 40-140	500-500

写真1 溶接法と溶接部断面マクロ組織。

写真2 極間と熱影響部のマイクロ組織(SLA 33 B, 16 mm・100×1/2)。

図4 極間と熱影響部のじん性の関係 (SLA 33 B, 16 mm)。

アーク溶接法の低温用鋼の溶接への適用が可能となった。

4. 適用例

本法は、フラックスの特性を改善することで多電極サブマージアーク溶接法を低温用鋼の溶接に適用できるようにしたもので、適用にあたっては、溶接機の極間を広

げるだけで、従来の設備、溶接機を全面的に活用できるものである。また、適用板厚は2電極溶接で20 mm程度、3電極溶接で約30 mmを1回の溶接で完了することができるなど、従来の能率性を活かし、高性能の溶接部が得られるため経済的にも有効な溶接法であると言える。

本法はLPG船、LNG船の溶接施工に対して、国内数カ所の造船所で適用され、今後の発展も大いに期待できる。

5. 特 許

米国特許 4214141

特公昭 56-35994

特公昭 56-39989

特公昭 56-52673

出願中 1件

文 献

- (1) 奥田直樹, 中野 彰: 溶接学会全国大会講演概要第24集, (1979), 154~157.
- (2) 溶接法研究委員会: 奥田直樹, 中野 彰: 大極間サブマージアーク溶接による低温用鋼の溶接, (1979).
- (3) 鉄鋼基礎共同研究会, 溶鋼溶滓部会第3回シンポジウム資料, (1968).