

討18 UOEプロセスへの大電流MIG溶接法の適用

日本鋼管 技術研究所 渡辺之 ○平林清照
 福山製鉄所 平野攻 当麻英夫

1 緒言

UOE鋼管のシーム溶接は継手の健全性、厳しい低温靱性及び高速溶接性を同時に満足することが要求される。最近、とくに鋼管の用途が多様化して来ており、例えば海底管用としての厚肉鋼管、極寒地向鋼管及び液化ガス配管用鋼管がその主なものである。従来のサブマージアーク溶接(SAW)では、厚肉化したときの溶接入熱増大による靱性劣化が大きく、また極寒地向や液化ガス配管用鋼管のような厳しい低温靱性要求に対処するには限界にきている。この問題を解決するものとして、大電流MIG溶接法を開発し、UOE鋼管製造に適用した。まず大電流MIG溶接法におけるアーク現象と溶滴移行形態について検討を行い、UOE鋼管の造管溶接適用可能性を見出した。次に溶接金属の靱性改善を狙ってMIGワイヤの成分を検討し、両面1層溶接法による低温用3.5%Ni鋼管製造に適用した。さらに、厚肉鋼管の深い溶込みが要求される開先深部の溶接に大電流MIG法、美しいビード外観を必要とする開先表面部の溶接にSAW法を用い、その特徴を補完するMIG+2電極SAW法を開発した。ここではこれらの成果について述べる。

2 鋼の大電流MIG溶接法におけるアーク現象と溶滴移行形態

2-1 溶滴移行形態の分類

大径ワイヤにおけるアーク形態と溶滴移行形態を高速カメラと電磁オシログラフを用いて観察し、Fig1にその1例を示す。溶滴移行形態はピンチカによって電極先端が細くひきのばされ、その先端から小粒子がほぼ連続的に溶融池に向って移行するStreaming移行、粗大化した溶滴が移行するGlobular移行、それらの中間的な移行形態であるProject移行および短絡移行とに分けられる。短絡移行はさらに2種類に分けられ、外観的にStreaming移行を保ちながら瞬間的な短絡が発生する不完全短絡移行とワイヤ先端に垂下った粗大な溶滴が溶融池と接触するいわゆる短絡移行とに分類される。これらの移行形態は細径ワイヤを用いてMIG溶接した場合に観察されるものと基本的に同一である。しかしGlobular移行時の溶滴成長段階において、従来の細径ワイヤを用いた場合の観察結果¹⁾によれば、ワイヤ先端に形成された粗大な溶滴の下面に緊縮したAnode spotが生じるとされているが、本実験においてはそうしたSpotは認められず、粗大な溶滴の下面全域からアークが発生していた。また著しいヒュームの発生が観察された。

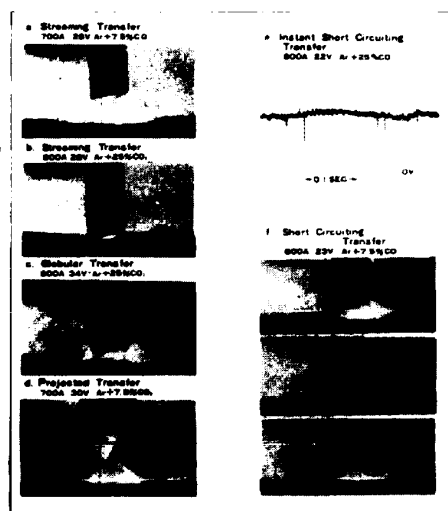


Fig 1 High speed photographs of droplet transfer

2-2 溶滴移行形態と溶接電流、アーク電圧の相関

Fig2にシールドガス組成をAr+25%CO₂とした場合の溶滴移行形態とアーク電圧ならびに溶接電流の関係を示す。供試ワイヤはC-Si-Mn-Ni-Mo-Ti-B系である。Streaming移行で溶滴が移行する電流、電圧範囲は低電圧、大電流域に位置しており、アーク電圧24~25V近傍で臨界電流値が最も小さくなる傾向がみられる。この領域の外周をとりまくようにProject移行領域、その外側にGlobular移行領域が存在する。またStreaming移行領域内の低電圧側では、不完全短絡移行領域が存在する。しかしながらGlobular, Project および

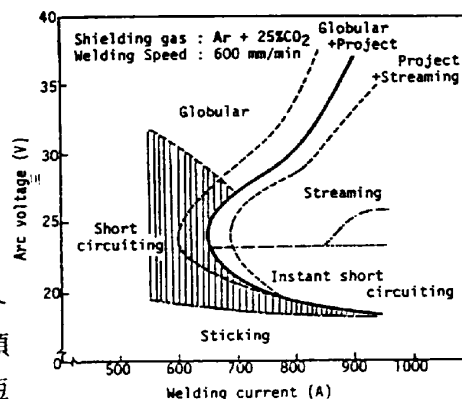


Fig 2 Relationship among droplet transfer mode, welding current and arc voltage

Streaming 移行は明確で不連続な境界は認められない。すなわち2種類の溶滴移行形態が混在する遷移的な領域が存在し、移行形態は電流、電圧の変化にもなって連続的に変化する現象が認められる。図中に示すGlobular+ProjectならびにProject+Streaming移行領域がこれに該当する。こうした変化は溶接電流のみならずアーク電圧にも依存しており、臨界電流値を境として移行形態が変化するという従来の主張と大きく異なる点である。

2-3 ワイヤの溶融特性と溶滴移行形態

Fig3にワイヤの溶融速度と溶接電流およびアーク電圧の関係を示す。溶接条件は図中に示す通りである。800Aにおける溶融速度は185~203g/minであり、これは直径1.6mmのワイヤを用いる場合の適正電流域で得られる溶融速度(約80g/min)に比較してかなり高い値である。しかしながらその送給速度は図中に示すとおり、1.8~2.0m/minと細径ワイヤを用いた場合のそれと比較して低い。この事実はアーク電圧をフィードバックしてワイヤ送給速度をコントロールする可変速送給が可能であることを示している。

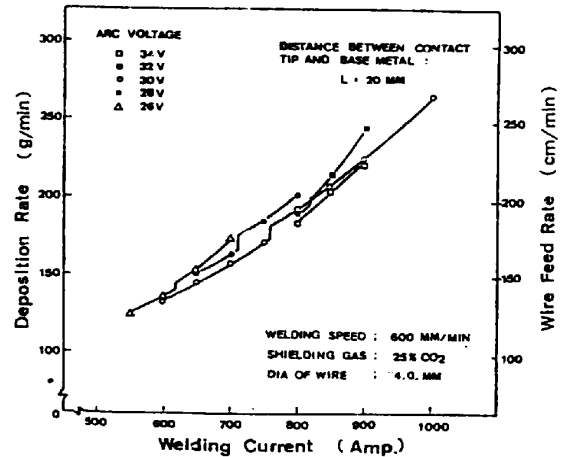


Fig 3 Wire melting characteristics

したがって垂下特性を有する電源の使用が可能であり、アーク電圧および溶接電流を独立して制御することができる。またワイヤ溶融速度は溶接電流値の増加とともに増大するが、特定の電流値において不連続的に変化する傾向がみられる。こうした電流電圧は溶滴移行形態の変化の遷移域に相当しており、溶滴移行形態がGlobular 移行からStreaming 移行へと変化するに伴い溶滴の離脱が容易になることを示している。

3 大電流MIG溶接法による低温用3.5%ニッケル鋼管溶接部の靱性改善

3-1 MIGワイヤのチタンとボロン量の検討

溶接金属の中へTiとBを複合添加して溶接金属の組織を微細化することにより、靱性を向上させる効果は数多くの研究があるが²⁾、3.5%Ni鋼の両面1層溶接に適用した例は少い。ここでは大電流MIG溶接法を3.5%Ni鋼管の造管溶接に適用するために、ワイヤのTiとBの適正量を求めた。板厚9.5mm(入熱14.2KJ/cm)と12mm(18.9KJ/cm)の3.5%Ni鋼板を用いて、パッキングパス、ファイナルパスともに大電流MIG溶接法で溶接した時のワイヤのTi量と溶接金属の vE_{arc} の関係をFig.4に示す。入熱の低い板厚9.5mmの溶接金属はワイヤのTi量が少い方が高靱性が得られる。一方入熱の高い板厚12mmの溶接金属はワイヤのTiが0.07%で最も高い靱性を示し、Ti量が低い場合にも、高い場合にも靱性が低下しており、板厚が9.5mmに比

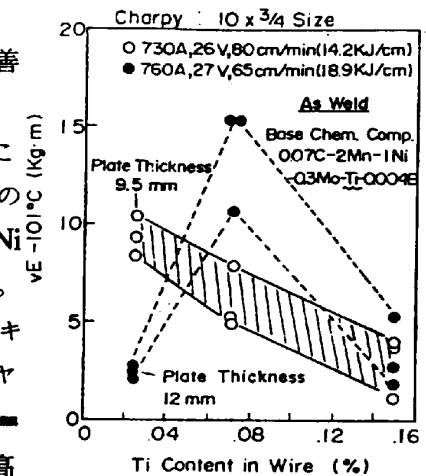


Fig 4 Effect of Ti Content in Wire on Toughness of Weld Metal

べて、12mmの場合の適正Ti量は高い方へ移行している。次にMIGワイヤのB量について検討した結果がFig5である。板厚9.5mmの溶接金属はワイヤのB量が少い方が高靱性を示すが、板厚12mmの場合には高靱性溶接金属を得るためのワイヤ適正B量はTiと同様、高い側に移行し、0.08%B位が適正となる。溶接入熱が大きくなるとTiとBの減耗が多くなり、溶接金属内に留まる量が低くなること及び溶接後の冷却速度が低下することにより、粗大フェライト粒が生成することから焼入性に必要とされるTiとB量は高入熱溶接において、ワイヤから多く供給することが必要となる。一方、Fig 4, 5の結果からわかるように、ワイヤのTiまたはB量が過剰になる場合にも、溶接金属は靱性低下を招くので、板厚9mmから12mmのMIG溶接において、ワイヤのTiとB量をTi:0.025~0.050%, B:0.004~0.006%の範囲に選んだ。

3-2 ワイヤのマンガンとニッケル量の検討

本鋼管は溶接ままで使用されるかもしくは規格によっては、溶接後のSR処理が規定されているので、溶接金属のSR前後の靱性に及ぼすMnとNi量の影響について調べた。この結果がFig6であり、パッキングパスにSAW溶接、ファイナルパスに大電流MIG溶接したものであり、シャルピー試験片は大部分がMIG溶接金属になるように、外面側に寄せて採取した。2.1Mn-1Ni系ワイヤは溶接ままで vT_{rs} が $-80^{\circ}C$ を示すのに対してSR後は $-68^{\circ}C$ となって $12^{\circ}C$ 劣化する。また1Mn-1Ni系ワイヤの vT_{rs} は溶接ままで $-76^{\circ}C$ SR後で $-74^{\circ}C$ とほとんど同程度である。一方、Mn:1.6%,Ni:2%のワイヤは溶接ままで2.1Mn系と同等、1Mn系よりも靱性が高く、SR後の靱性劣化がみられない。1.6Mn-3.1Ni系ワイヤは溶接まま及びSR後ともに、最も高靱性であることから実管試作溶接に適用した。

3-3 試作による実管溶接部の性能確認

以上の実験室的検討結果を実管で確認することを目的として、溶接ままで用いる鋼管(A1)と溶接後SRして用いる鋼管(A2)を試作した。管厚は9.5mmであり、SR条件は $610^{\circ}C$ 1hrの均熱後炉冷である。試作した35%Ni鋼管A1,A2はTable 1に示すように、溶接部の強度、靱性、曲げ特性ともに開発目標であるASTM.A671-CF71の規格を満足する値が得られている。

Table 1 Results of Charpy Test, Weld Tensile Test and Guided Bend Test

Pipe Size	Process		Pipe No.	Charpy Test				Weld-Tensile		Guided Bend	
				Weld Metal		HAZ		TS Kg/mm ²	Breaking Position	Face	Root
				vE_{101} Kg-m	vT_{rs} °C	vE_{101} Kg-m	vT_{rs} °C				
24" OD x95mm WT	Plate Norm + UOE	As Weld	A 1	2.8	-86	3.3	-78	57.2	Base Metal	Good	Good
		SR	A 2	4.1	-88	5.0	-96	57.4	Base Metal	Good	Good

4 大電流MIG+2電極サブマージアーク溶接法の検討

厚肉UOE鋼管を製造するために、大電流MIG+2電極SAW溶接法を開発し、その溶接部の靱性を3電極SAW溶接法と比較した。

板厚38mmと50mmの鋼板を用いて、大電流MIG+2電極SAW法の溶接金属の酸素量の関係を3電極SAW法と比較した結果がFig7である。溶接金属の酸素量が250ppm以上でかつ高い程、靱性劣化を示すが、同一酸素量において、大電流MIG+2電極SAW法は、3電極SAW法よりも良好な靱性を示す。この理由は大電流MIG+2電極SAW溶接の方が3電極SAWよりも粗大のフェライト量が少ないことによるものである。この組織の微細化は大電流MIG+2電極SAW溶接法のSAW溶接金属部分および板厚中央のMIG溶着部分で、溶接入熱を分散し、1溶融池当りの入熱を小さくすることができるためである。

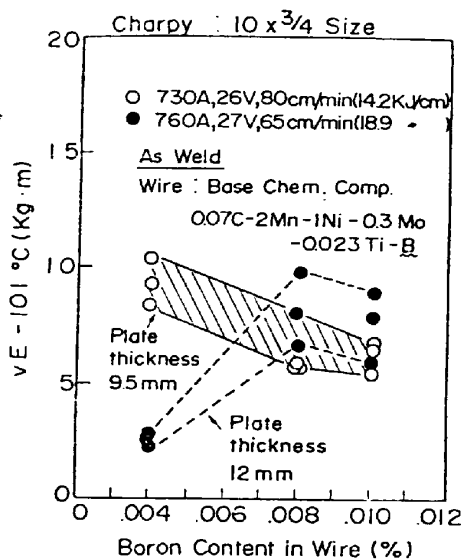


Fig 5 Relation between Boron Content in Wire and $vE_{-101^{\circ}C}$ of Weld Metal

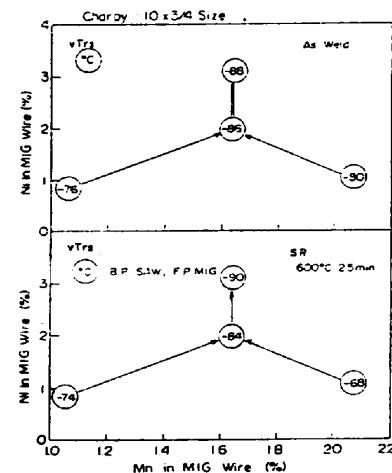


Fig 6 Effect of Mn and Ni content in MIG wire on toughness of weld metal (mark : \rightarrow ; Improvement Direction) (mark : =; Equivalent)

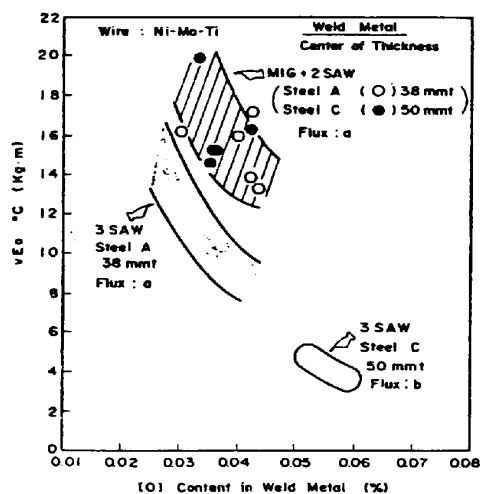


Fig 7 Effect of (O) Content on Toughness of Weld Metal

次に大電流MIG+2電極SAW法と3電極SAW法の熱影響部の靱性の比較を行った。Fig.8に板厚50mmの鋼板でもって大電流MIG+2電極SAW法と、3電極SAW法における板厚中央から採った熱影響部の靱性の比較を示す。3電極SAW法は熱影響部の脆化が顕著であるが、大電流MIG+2SAW法の熱影響部は脆化が少なく良好である。板厚38mmの鋼板の場合においても、大電流MIG+2電極SAW法の板厚中央の熱影響部の靱性は3電極SAW法よりも約50%高い靱性を示すことがみられた。また本方法は溶接金属の全てが、SAW溶接に相当する板厚の表面寄りに採取した熱影響部の靱性を3電極SAW法と比較した結果においても同等以上の靱性が得られている。Fig.9に板厚38mmの鋼板を用いて大電流MIG+2電極SAW法と3電極SAW法のポンド部の熱サイクルを比較した結果を示す。大電流MIG+2電極SAW法は溶接金属と熱影響部の組織が粗大化して靱性劣化を起す約1000℃以上の加熱時間が、3電極SAW法よりも半分以下に減少していることが認められ、溶接入熱を分散し、1溶融池当りの入熱を小さくすることができる。またL極のMIGビードがAr₃変態点以下に冷却されたのち、後続の2電極SAWによって、再熱効果を受けるので、ポンド近傍の熱影響部組織は細粒域と同じく、細粒フェライト化しており、靱性に対して有効に作用する。

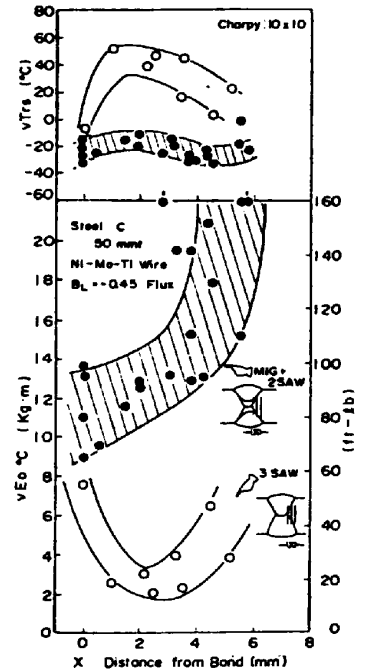


Fig 8 Toughness of HAZ in MIG +2SAW and 8SAW Process

以上の事から本方法の大電流MIG+2電極SAW法は厚肉鋼管の溶接に対して良好な溶接法であることがわかり、Photo.1のようにUOE工場に実用化して操業している。



Photo 1 Large Current MIG+2SAW Process

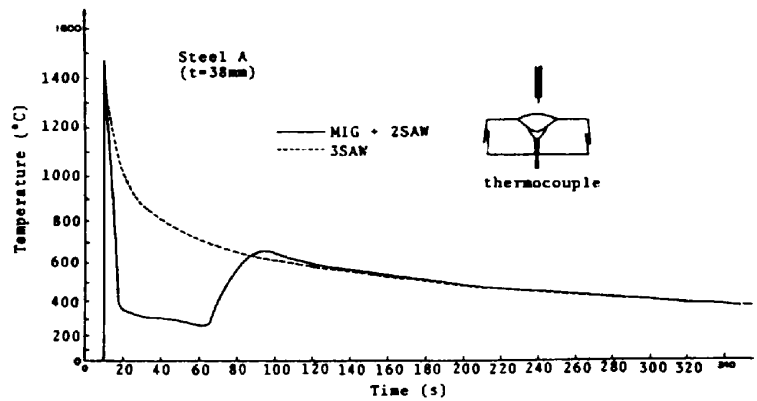


Fig 9 Heat Cycle Pattern of MIG+2SAW and 8SAW Process

5 結 言

大径ワイヤを用いる大電流MIG溶接法に関し、アーク現象及び溶滴移行現象の検討を行い、UOE鋼管の造管溶接に適用が可能となった。溶接部の厳しい低温靱性を必要とする鋼管及び海底管や構造用の厚肉鋼管は従来のSAW溶接法では靱性を確保する上で限界に来ているものであり、この問題を解決するものとして、ここで述べた大電流MIG溶接法は有効な方法である。大電流MIGワイヤの最適成分系を検討することにより、高靱性の溶接金属を得る液化エチレン配管用の3.5%Ni鋼管を試作した。また35mm以上の厚肉鋼管の溶接に対して、大電流MIG+2電極SAW法を開発した。本方法は溶接入熱を分散することができ、1溶融池当りの入熱を小さくすることが可能であり、厚肉鋼管の靱性改善に効果がある。

(参 考 文 献)

- 1) 安藤、長谷川；「溶接アーク現象」産報
- 2) 例えば、平、平林、大須賀、五代、溶接学会誌 vol 46 (1977) №11、P14~18