

討17 厚肉U-O鋼管の高品質造管溶接技術

新日本製鐵(株) 製品技術研究所 齊藤亨 中村泰三[○]藤森成夫 長谷泰治
君津製鐵所 日高徹也 木村剣

1. 緒言

U-O鋼管のシーム溶接は多電極化したSAWプロセスで両面1パス仕上げが行われている。電極数は個々のミルで若干異なり既に4電極実機化のところもあるが、現状で最も普及しているのは3電極法である。通常この電極数は最小肉厚の6mmから最大肉厚の40mmまで一定に保たれ、しかも1電極当りの溶接電流に限界があるため、厚肉管の溶接では溶接速度を下げて所要の溶込みと溶着量を確保せざるをえず、低速度と同時に大入熱化が避けられない。しかしながら、厚肉化によって、他工程の処理能力も全般的に減少するので、溶接に関する諸問題は専ら大入熱化に伴う溶接ビード品質や溶接部低温靱性の劣化に集中している。これらの問題解決に対しては種々の考え方があるが、筆者等は生産性、実用性、品質面を考慮した結果、溶接方法として次の2つの手段でいくのが妥当と考えた。すなわち、

- (1) とくに低温靱性を必要としない用途には、現行の両面1パスSAW法のビード形成性能改良。
- (2) 低温靱性の必要な用途には、熱分散型新溶接プロセスによる溶接部熱サイクル特性と組織の改善で、以下にこれらの考え方をもとに溶接技術として具体化した結果について述べる。

2. 耐火性複合ワイヤ併用多電極SAW法

U-O造管のSAW溶接に適用されているフラックスは熔融型で、そのほとんどの組成は低融点低粘性のため高速低入熱溶接条件には適合しているが、低速大入熱溶接条件では良好なビード形成が困難となりFig. 1(a)に示すような不均一自由晶が生成する。すなわち、耐火性の低いフラックスは大入熱溶接においてスラグとしてのシールド機能が低下するため、アーク周辺部では空洞圧を拘束しきれず間欠的な吹上げが起り、これがビード形成部の保温効果不足で生成しやすくなった自由晶の安定凝固を乱すものと考えられる。

フラックスの耐火性を改善する方法としては、焼成型フラックスあるいは現状熔融型フラックスの耐火性と粘度を向上する方法が考えられる。そこでこれらの適用性についてもあらかじめ検討し、両方法とも大入熱条件下でビード形成を改善できることまでは確認したが、焼成型フラックスは使用中の吸湿と粉体特性の変動が問題となり、また熔融型フラックスの耐火性向上もMgOの添加によって可能ではあったが、浅溶込みビードとなるのが問題とされた。さらにまた、新フラックスによって対処するとすれば、工場で使用するフラックスの種類が増えてフラックス管理面での煩雑さの問題もある。溶接ワイヤに比べてフラックスの管理が厄介な理由は回収フラックスの磁選、粒度調整、乾燥等があるためである。そこで、このような問題のないワイヤからスラグの耐火性を調整することに対象を絞り、フラックス入り複合ワイヤの使用を検討した。ところで、通常の折目のある複合ワイヤは送給性、導電性および耐吸湿性に問題があるので、このような欠点のないシームレス・タイプの複合ワイヤを利用することとした。

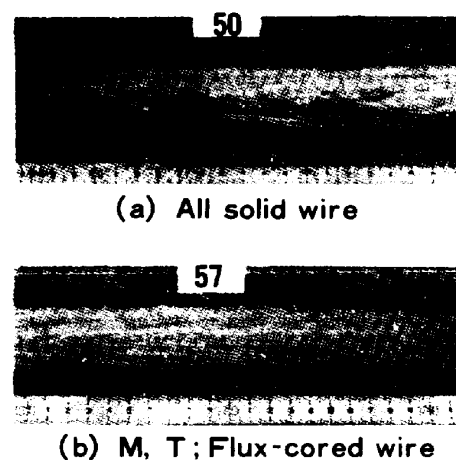


Fig. 1 Bead appearance
(Heat input; 157K·J/cm)

フラックス入り複合ワイヤを利用するSAW法の技術課題は(1)充填剤の組成設計と(2)最適な溶接施工法にあるが、(1)については酸化物の状態図を基にして、MgO系、Al₂O₃系、Zr₂Oなどの高融点組成を選びその適用性を検討した。その結果、最もビード形成能の優れたものはMgO-CaF₂組成であった。この場合、MgO/CaF₂比が大きくなって融点が高くなり過ぎると溶接時に充填剤がアーク中で十分に溶融しきらず、溶融プールにトラップされてスラグ巻き込みが発生しやすくなる。一方MgO含有量が低過ぎるとビード形成の改善効果がえられない。スラグ巻き込みの発生しない組成は、MgO/CaF₂比がおよそ3以下で、状態図より推定すると融点が1800℃前後に相当し、アーク直下の溶融プール温度よりも低レベルとみられ、たとえ瞬間的な短絡が生じて充填剤が溶融プールに巻き込まれても容易に浮上分離するものと考えられる。

溶接施工法としては3電極SAW法における複合ワイヤの適正配置、電源位相、溶接条件について検討した。すべての電極に複合ワイヤを適用すると、ビード形状は良好であるが溶込みが浅くなる。L極にソリッドワイヤを用い、他のM、T極に複合ワイヤを併用すれば、溶込み、ビード形状とも良好なものが得られる。Fig. 2はこれらの結果を図示したものであるが、複合ワイヤの併用法によって肉厚40mmの所要入熱量16万J/cmにおいても高品質な溶接ビードがえられた。また-10℃前後の靱性保証であれば十分実用化できる見通しもついたので、現在、比較的低グレードの厚肉管の造管溶接法としてプロパー生産に適用している。Fig. 1(b)にビード外観を、またFig. 3に断面マクロの1例を示す。

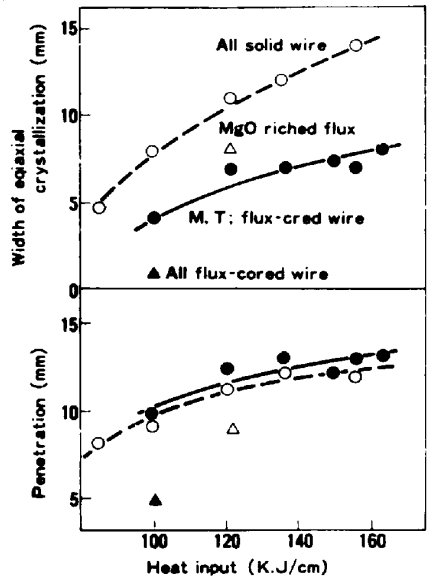


Fig.2 Effect of heat input on the bead formation



Fig.3 Macrostructure (38mmt)

3. 細径ワイヤ高速送給MIG+SAW法

寒冷地向ポンプステーションのように低温靱性の要求される厚肉管に対して上記の大入熱溶接の適用は問題がある。このような用途を対象として、溶接能率をある程度維持しながら溶接部の低温靱性改善を目的とした低入熱多層化1ラン溶接法が注目を集めている。MIG+SAW法はその一手段で、1電極当りの入熱量をできるだけ低くし、かつ溶込みとワイヤ溶融量を増やすことが基本的な考え方となっている。以下筆者らが検討した方法は、低入熱、深溶込み、高溶融化を目的に開発した細径ワイヤ高速送給タイプの新しいMIG法を先行極側に採用したMIG+SAW法である。

Fig. 4はこの細径ワイヤMIG法をワイヤ径(d, mm)溶接電流(I, A)によって他の溶接法と対比したものであり、I=250dを超え、通常Rotating spray arc(回転アーク)が生じやすい高電流密度域を利用しているのが特徴である。回転アーク現象はシールドガス中のCO₂混合比率によって影響され、CO₂ガス混合比が10%以上になると不安定アークは解消されるとともに、Buried Arcになる傾向がみられ溶込みが増大する。一方、溶接金属の材質特性からCO₂混

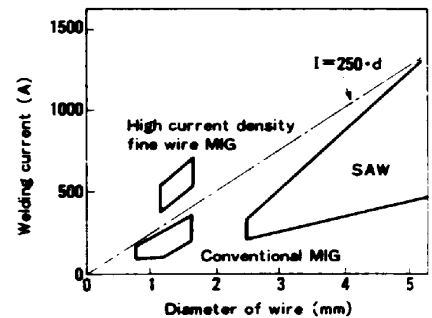


Fig.4 Welding current versus electrode wire diameter

合比率の上限は30%に制約されるので、Ar+10~30%CO₂をシールドガスの適正範囲に設定した。さらに、電極ワイヤに機械的な高速振動を付加しアーク柱の電磁圧力の分散を図っているのがもう一つの特徴で、これによってDCRP高電流密度MIGアーク特有のフィンガー状溶込みが解消されるとともに、振巾を調整することによって中間極MIGのビード幅巾制御も可能である。ところで、U-O造管においては開先部ルート形状の制約があり、内外面初層溶接ビードを十分に会合させるには少なくとも4mm以上の溶込み(ΔP)を必要とする。Fig. 5は各種溶接法について初層溶接の溶込みと入熱量の関係を示しているが、ΔP=4mmえるに必要な入熱量は細径ワイヤ高速送給MIG法が最も低く、約2万J/cmで凝固割れのおそれない溶込みがえられる。このような深溶込み性に加えて、ワイヤ突出部のジュール熱効果も大きいので、低入熱条件下で効率の良いMIG溶接が可能である。

3.1 溶接部の熱サイクル

このMIG法を2電極分組み込んだMIG+SAWプロセスによって肉厚3.2mmの両面1ラン溶接が可能である。それぞれの溶接電極の入熱量は2~3万J/cmで、ボンド部の熱サイクル測定結果をFig. 6に示す。初層溶接部(1)は急熱急冷後中間溶接層によって再び低温度域に再加熱される。中間極の入熱量が低目であることと初層ビードの予熱作用がきわめて局部的であることによって、中間層(2)の冷却速度も比較的早い。最終SAW部(3)の冷却速度は中間層よりも遅く、熱影響部巾も大きくなりやすい。したがって中間極と最終極の極間は大きく離す必要があるが、通常が多層盛溶接やガスバーナなどの均一予熱と違って低入熱なMIGアークによる局部加熱のため、冷却速度におよぼす初温の影響は比較的小さい。

3.2 溶接部の靱性とマイクロ組織

肉厚3.2mmのNb-V系60kg/mm級鋼に対して、共全系MIGワイヤとTi-B系のSAW溶接材料を組合せて、両面1ランの継手溶接を行ない、溶接金属部および熱影響部の靱性とマイクロ組織を調査した。Fig. 7はCv試験の結果で、溶接金属部はSR後で若干靱性低下が認められるが、-60℃では所要値を満足するものである。なお、Fig. 8に溶接部の断面マクロ、Fig. 9にボンド近傍のマイクロ組織を示すが、熱影響部の粗粒化が少ないのがとくに注目される。

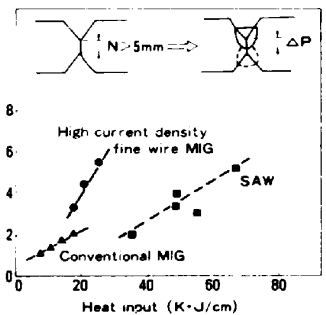


Fig. 5 Retation between heat input and penetration of root face

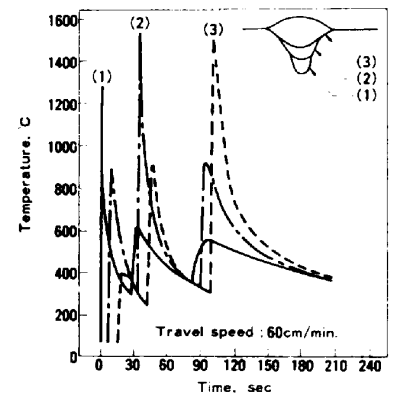


Fig. 6 Welding thermal cycle of high current density MIG/SAW

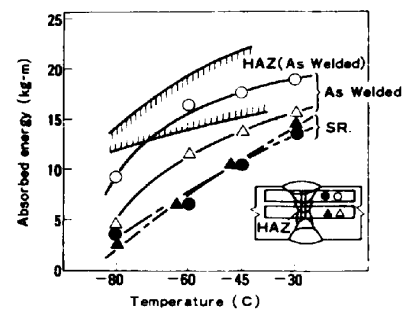


Fig. 7 Cv transition curves

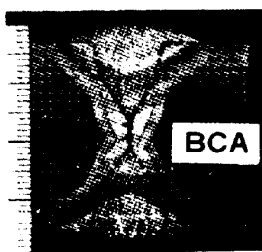


Fig. 8 Macrostructure

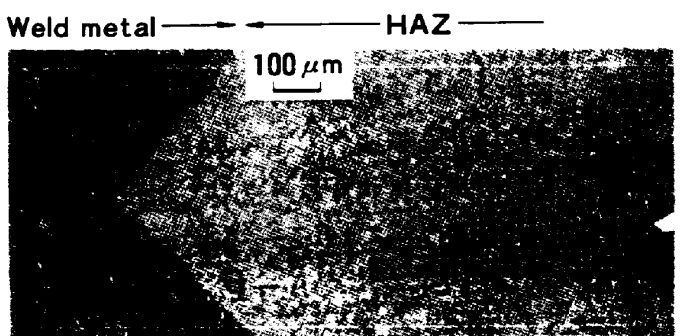


Fig. 9 Heat-affected zone microstructure

3.3 溶接システム

以上述べたMIG+SAWプロセスの特徴を生かしU-O工場のオンライン溶接法として適用していくためには、従来のSAW法ではとくに問題にならなかった高精度な溶接做い機構、最終SAW極のランニング・スタート、ペール・バックからのMIGワイヤの高速安定送給法など溶接装置上に関するいくつかの課題があり、これら実機化に当たっての溶接システム上の問題も併せて検討した。

とくに、この溶接法はそれぞれの電極が低入熱条件で、溶接ビードが小断面であるため開先線に対する左右做いはかなり高精度に保つ必要がある。さらに、MIG部は定電圧特性の電源を用いて高電流密度アークの定速送給を行なっているため、ワイヤの突出長さの微小変動が溶接電流の変動となって溶込みなどの溶接ビード品質を左右するので、左右と同時に上下方向も高精度な做い機構を必要とした。したがって、この溶接プロセスには自動做いシステムが不可欠で、実管の溶接に適合した做い装置を開発した。Fig. 10はワイヤ突出長さを一定に保つ上下做いの例を示すものであるが、原理はワイヤ突出長さ(Extension)の変化に伴う溶接電流の変化を検出してフィードバック制御する方式である。なお、最終SAW極のランニングスタートなど、その他の問題についても実用的な対応技術を確立し、現在、オンラインでの工業化試験を実施中である。

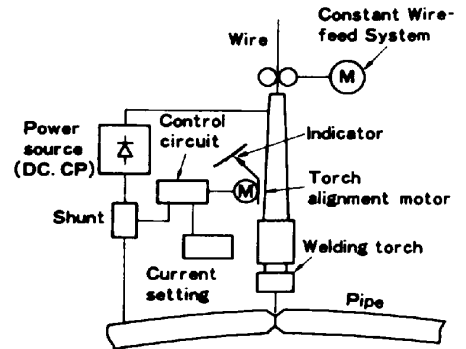


Fig.10 Schematic drawing of constant extension control

4. 結 言

- (1) 溶接部の低温靱性が要求されない厚肉鋼管を対象に開発した高耐火性充填複合ワイヤ併用の多電極SAW法は、溶接ワイヤでスラグの物性を制御するという新しい試みであったが、従来の溶融型フラックスをそのまま採用しても肉厚40mmまでの両面1パス溶接に適用することができた。なお、この複合ワイヤ併用SAW法はシームレスタイプのワイヤを適用しているので、吸湿、ワイヤの送給性などの問題がなく、合金元素添加による溶接金属の材質特性向上法としても利用できるものである。
- (2) 一方、溶接部の低温高靱性を目的としたMIG+SAWプロセスは中間工業化試験の段階であるが、MIG溶接の高速化がさらにすすめば、ポンプステーションなどの極低温用厚肉鋼管の造管溶接法として、今後普及していくものとみられる。

5. 参考文献

- (1) C. Düren et al "Four beats three in Submerged arc welding" Welding and Metal Fabrication, (5), 205~210(1981)
- (2) E. M. Leuin et al "Phase Diagrams for Ceramists" The American Ceramic Society Inc. (1964)
- (3) エリコン社 "粉末材料を充てんした縦目無し管線の製造方法" 特公昭45-30937
- (4) 斉藤亭他 "細径ワイヤ高速送給高振動MIG法(FF-MIG)とその厚板溶接への適用" 第72回溶接法研究委員会資料 昭54年5月8日