

## 第 105 回 講演大会 討論会 報告

### III. 鉄鋼製造プロセスにおける溶接技術の進歩

座 長 金属材料技術研究所

中 村 治 方

副座長 日本鋼管(株)技術研究所

田 中 甚 吉

最近のエネルギー開発に関連して、大径溶接鋼管および電縫鋼管の需要が旺盛であり、寒冷地向けラインパイプ等の高品質の鉄鋼加工製品を、生産性を損なうことなく製造するための溶接技術開発および微小欠陥を生じない安定した電縫溶接技術開発が求められている。一方、鉄鋼製造ラインの連続化に伴い、普通鋼および各種特殊鋼コイルを通板に耐えうる品質レベルで高能率に溶接する技術開発が進められている。

このような状況下で開かれた今回の討論会では、大径溶接鋼管(UO鋼管)の造管溶接技術に関する討論が大半を占めたため、総合討論の場を設け理解を深めるように配慮した。

#### 討15 4電極サブマージアーク溶接法の大径管製造への適用

川崎製鉄(株)技術研究所 山口忠政 他

溶接速度向上を目的とした4電極溶接の実用化に当たり、アークに作用する電磁力とビード品質の関係、ビード形成における各電極の役割を明確にし、最適溶接条件の選定により約30%の速度向上を達成した内容が紹介された。電磁力については結線方式の影響を理論的に検討し、ビード形状(アングカッタ)に最も大きな影響を及ぼす第4電極の電磁力が溶接進行方向に15~25 N/mとなる結線方式が最良で、その効果は2.2 m/min以上の高速溶接で顕著であった。第1第2電極が溶け込み機能、第3電極がビード底部形状整形およびスラグ浮上機能、第4電極がビード表面幅の形成機能を有することを示した。

この発表に対して第4電極への横振動付加により、凸ビード形状の解消の効果があるコメントがあつた。

#### 討16 UOE製管溶接の高速化と溶接金属靱性

住友金属工業(株)中央技術研究所 勝本憲夫 他

溶接金属靱性はアシキュラー・フェライト組織で最良となり、Ti-B系溶接金属が良好な性質を示す。靱性支配因子としてO, Ti, B, C<sub>eq</sub>が挙げられ、それぞれある値で靱性が極大となることが紹介された。溶接速度の増大や電極数の増加は酸素量増加を招き、靱性が劣化するので、その対策として、フラックス塩基度、蛍石量を増加することが有効である。

多電極高速化の場合、DC+2AC法が3AC法よりも深溶け込みが得られるため、速度上昇と低入熱化が可能であり、更にDC+3ACの4電極溶接では3電極に比し、厚肉材で60~85%の速度向上が可能であることが示された。靱性についても溶接入熱量が低減される傾向にあるので良好な性能を示すことが紹介された。

本発表について、Ti-B系においてはNの挙動も重要でありTi-B-Nのバランスで靱性が変化すること、酸

素量が溶接速度と共に増加する理由として母材希釈率も考慮に入れる必要性および入熱量ではほぼ決まる結果を示すコメントがなされた。また、DCを利用する利点として、薄板での溶け込み安定性、ビード断面形状の改良およびワイヤ消費量の減少等が回答された。

#### 討17 厚肉UO鋼管の高品質溶接技術

新日本製鉄(株)製品技術研究所 藤森成夫 他

厚肉鋼管製造時の大入熱サブマージアーク(SAW)溶接法において、ビード表面品質の劣化(表面荒れ)は、ビード形成部におけるフラックス保温効果不足による不均一自由晶の生成が主因であり、シームレスタイプの複合ワイヤより耐火性スラグ生成成分を添加してフラックスの耐火性向上を計る方法が紹介された。MgOに融点調整剤としてCaF<sub>2</sub>を適量混合したフラックスを有する複合ワイヤを第2第3極に用いた3電極SAW法では、38 mm材で160 kJ/cmの入熱値で造管溶接した場合でも良好な品質がえられる。

次に低温靱性確保のため、細径ワイヤ高速送給MIG+SAW法が開発された。この方式のMIGで生じやすい回転不安定アークを防止するため、Ar+10~30%CO<sub>2</sub>ガスをを用い、機械的な横方向高速振動を附加する方法を採用した。MIG溶接では上下及び左右の開先ならい装置を付加して、品質安定を画し、その結果-60°Cでも十分な靱性がえられている。

本発表に対して、耐火性向上にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>も効果あること、MIGの高速化の可能性と生産性、生成スラグの再生利用等について活発な討議が行われた。

#### 討18 UOEプロセスへの大電流MIG溶接法の適用

日本鋼管(株)技術研究所 平林清照 他

溶接部高靱性要求に対応するために開発された大電流MIG溶接法の基本的特性及びUOE管への適用例が紹介された。大電流MIGの基本特性として、溶接条件と溶滴移行形態及び溶け込み形状の関係を明確にすると共に、適用例として3.5Ni鋼管(9.5 mm厚)の実管試作結果および大電流MIG+2 SAW法による厚肉管(38及び50 mm)の製造実績が示された。前者の試作結果では、溶接のままおよび610°C×1hのSR後においてASTM A671-CF71の規格を満足し、後者の場合には入熱分散による組織微細化と再熱効果により、3 SAW法に比し靱性向上効果が認められた。

本発表に対して、大電流MIG適用による靱性改善効果と鋼材化学組成の関係が討議された。本法の厚肉管対策適用下限板厚が38 mmであることの理由は、現行フラックスによる3 SAW法のビード品質劣化許容限界によるとの回答がなされた。

#### 【総合討論】

今までのUO鋼管製造に関する発表の共通重要問題として①溶接金属における[O], [N]の挙動と靱性、②厚肉材溶接技術、③極低温用鋼管対応の溶接技術の3点を取り上げて総合討論を行った。

【北田】の提言によると溶接金属の[O]の収支は、アーク空洞中における吸収、溶融池における酸化物浮上による脱酸で主に定まる。アーク空洞中の酸素吸収は、フラックス組成で決まる飽和値に達していると考えられる。溶接条件による[O]量変化は溶融池での酸化物浮上の程度により決まるとすれば、溶接速度の増加による[O]量増加は、冷却速度増加による浮上分離時間の減少で説

明しうる。また、[N]については母材と溶加材の含有量にほぼ比例し、大気からの混入は一般に少ない。ただ、アークが不安定となる条件(約 2m/min 以上の高速溶接、極低 C ワイヤの使用等)では大気からの混入を無視できず、[N] > 100 ppm になることもある。[河野]は、反応時間と溶接入熱は比例関係にあり、[O]量は溶接入熱量に関係するが、スラグ・メタル反応の仮定の仕方によつては今回の実験事実をうまく説明できない。また [O]量は母材希釈率にも関係することを指摘した。

[勝本]は厚肉材溶接技術に関して次のように提言した。最近の需要動向は、現地溶接割れ性の改善や HAZ 靱性要求の高度化から、低  $C_{eq}$ ・低  $P_{cm}$  化は必須条件(例えば 1.375 in 厚で  $P_{cm} \leq 0.15$ )であり、 $C=0.02\%$  のような極低 C 鋼材の実用化が進んでいる。シーム溶接部の靱性改善には、MIG+SAW 法、多層溶接法などの採用があるが、入熱分散の適正化と溶材開発が必須となることが表明された。

[平]の提言でフラックスタイプによる適用板厚上限につき意見交換されたが、熔融型では 38~(50)mm を上限とする発言が多かった。勝本の提言に対し、鋼材の極低 C 化による凝固割れの危険性の評価、MIG の高速化技術開発、SAW におけるビード表層性状改善も共通的な検討課題であることが認識された。

極低温用鋼管(-100°C 以下)の対応溶接技術に関し、[阿草]より次の提言があつた。9%Ni 鋼管製造を考えると、高 Ni 溶材では拡管時の歪み集中が問題となる故、合金 MIG 溶接を適用して良結果を得た。また、別の方法として溶接後、鋼管全体を QT する方法が考えられる。この場合 SAW 法では、低 [O]・低 [H] フラックスの開発が前提となり、MIG 法ではアーク安定性の向上対策を現場的に確立する必要がある。更にこの種の鋼管では、現状の現地溶接法を適用することが困難であり新技術開発が必要となろう。この提言に対し、[小泉]より MIG 法の高速度化(交流 MIG 他)、多層・多ラン SAW 溶接技術の開発等も必要という提言が附加された。

#### 討19 中径電縫鋼管電縫溶接における溶接現象監視と自動制御

新日本製鉄(株)製品技術研究所 芳賀博世 他

中径電縫管溶接における溶接現象と欠陥発生との関係を明確化し、最適溶接現象の維持を周波数変動を利用して制御する方式の開発と実用化が紹介された。V 収束点と溶接点と一致する第 1 種溶接現象では冷接を生じ、溶接点と V 収束点とスクイズ中心の比較的長い範囲の距離を周期的に移動する第 3 種溶接現象では大きなペネトレータ(スラグ巻き込み)を生ずる。この中間の第 2 種溶接現象では、V 収束点と溶接点の距離は小さく、エッジが絶えず分離接触を繰り返して欠陥発生率は極小となる。溶接欠陥の発生形態の差異が加熱熔融現象から説明され、第 2 種溶接現象の僅少なインダクタンスの変化周期  $1/f$  を監視し  $41/f$  を設定範囲内に収めるような入熱制御を中心とした自動制御システムが説明された。

本発表の質疑に対し、板厚に対する補正が行われている装置であること、V 角度の影響は小さいこと、制御は 10 msec の平均値を用いて行うこと、温度制御方式は一般的な方法であり本方式は第 2 種溶接現象のみに適用で

きる方法であること、等が回答された。

#### 討20 ホットストリップ接続用フラッシュバット溶接技術

新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 大矢 清 他

熱延鋼板の通板に耐える品質レベルの継手を短時間・高信頼度で作成するため、独特の機械加工機構を有する矩形波フラッシュバット溶接機が開発・実用化された内容が紹介された。端面切断にはダブルロータリヤを適正配置し、直線度の確保、縁部そり防止、高速送行を実現した。溶接電源に矩形波電源を用いてフラッシュ発生頻度を増し接合品質(曲げ試験による割れ長さで評価)の向上が計られ、稼働実績として 11% の効率向上と溶接部破断がほぼ皆無になったことが示された。

本発表に対し、板幅の影響、ロータリヤにおけるスクラップ処理法、トリマにおけるバイト材質や管理法等について質疑が行われた。さらに正弦波を用いても 2 次インピーダンスを小さくすることにより、休止時間の減少、短絡時間の増加および小さなフラッシュ発生が可能となり、接合品質の向上が計れるとの提言が行われた。

#### 討21 鉄鋼プロセスへのレーザー溶接の適用

川崎製鉄(株)技術研究所 佐々木弘明 他

レーザー溶接の特徴(加工点の小、深溶け込み、小溶接入熱、余盛がつかない等)を利用したコイルビルドアップ溶接装置の開発と溶接技術が紹介された。電磁鋼板への利用は、溶接 HAZ 延性の向上をレーザーを用いて可能にしたものである。対象板厚が平均 0.3 mm と小さいため、溶接条件の選定、始末端処理等にレーザー特有の溶接技術を開発した。また溶接開先の切断、センシングには高精度が要求されるので、独自の治具・機構が開発され、実用に供された。さらに、0.4~2.3 mm 厚の冷延コイルのビルドアップ溶接に適用した場合の開先調整、溶接条件選定指針等が紹介された。以上の溶接継手はいずれも溶接のまま、タンデム圧延可能なことが示された。

本発表に対し、レーザー溶接の優位性と他溶接法との比較、装置の保守・点検の実態、溶接部品品質保証手段、表面性状・鋼種と溶接条件選定の考え方、開先ならいの方法等について活発な討議が行われた。さらに、プラズマ発生への対処指針に関して、プラズマ制御レーザー溶接技術の提言も行われた。

以上、討論会の発表および討論の要点を概括したが、溶接技術についての討論会を終わつての感想として、鉄鋼製造工程の連続化、1 次・2 次加工品の製造に最新の溶接技術開発が深く係わっており、その良否が生産性、歩留り向上、苛酷な仕様の商品への対応可否等を決定するといつても過言ではないとの認識を得た。今後、数年間の推移をみて再び討論会が計画されることを期待したい。

## IV. ステンレス鋼・耐熱鋼における窒素の役割

座長 東京工業大学総合理工学研究科

田中良平

ステンレス鋼や耐熱鋼として多用されている Cr-Ni オーステナイト鋼では、窒素の母相への固溶度が炭素に