

硬さは従来鋼より低い。

### Four-wire Submerged Arc Welding Process with DC-AC Power Combination for Production of High Toughness Line Pipe [TR]

By Zenroku BABA *et al.*

高速溶接のための溶接金属の靱性改善法と新しい溶接法について検討した。

アンキュラーフェライト組織の形成が溶接金属の高靱化に重要であり、それには低酸素 Ti-B 系の溶接金属とすることが必要である。

溶接速度が増加しても溶接金属の酸素含有量を低く維持できる高塩基性溶融型フラックスを開発した。

溶接速度を増加させるためには第1電極に直流電源を用いることが効果的である。3電極溶接での検討結果をもとに直流-交流-交流-交流電源の組み合わせによる4電極サブマージアーク溶接法を開発し、ラインパイプの製造に実用した。これにより生産性および品質の向上がはかられている。

### Improvement of Notch Toughness in Longitudinal Seam Weld of Line Pipe [RA]

By Kazutaka AKAO *et al.*

三電極あるいは四電極による多電極サブマージアーク溶接法が、パイプの縦シーム溶接に使用されている。アンダーカットやスラグ巻き込みなどの溶接欠陥によつて、溶接速度が制限される。また、溶接金属の靱性は不純物ガス成分の増加によつて低下する。

凝固温度が 950~1050 °C で、1400 °C の粘性が 2.5~4.5 ポアズのフラックスは、スラグ巻き込みやアンダーカットを最少にすることができる。100 kg/cm 以上の大入熱で溶接する厚肉 UOE 鋼管の溶接では、高融点で高粘性のフラックスが要求される。

低温靱性の優れた溶接金属を得るためには、Ti-B 添加が有効であり、Ti, B を有効に利用するためには窒素をコントロールする必要がある。高靱性を得るための Ti の適正範囲は、溶接金属中の窒素量によつて変化する。

高張力ラインパイプの HAZ 靱性は、母材中の C や B によつて影響を受ける。優れた HAZ 靱性を得るためには、母材の C を 0.05 % 以下にすることによつて得られる。

### New Welding Process in the Manufacturing of UOE Pipes [TR]

By Tetsuya HIDAKA *et al.*

この論文は君津製鉄所 UOE 工場における、大径ラインパイプの製造に関する溶接技術について述べたものである。

主な内容は

(1) 多電極サブマージアーク溶接時の溶接現象の X 線観察結果およびそれに基づくアンダーカット発生防止技術を考察し、多電極化が有効な手段であること。

(2) MIG-SAW 法による -60 °C クラスの極低温用高張力厚肉ラインパイプの溶接技術について考察し、1 ランマルチパス法が有効なこと。

(3) およびこれらの製造技術により製造されたラインパイプの性能評価の結果、これが裏付けられたこと。

(4) シームレスフラックスコアードチューブローワイヤを利用した内外面1パス大入熱サブマージアーク溶接法による厚肉鋼管の製造技術について検討し、高速溶接用ガラス質フラックスを用いて  $WT=40$  mm の厚肉鋼管を入熱 160 kJ/cm で溶接可能なこと。等について記述した。

### Progress in Productivity and Weld Quality in UOE Pipes by Four-wire Submerged Arc Welding [RA]

By Fumimaru KAWABATA *et al.*

厚肉 UOE 鋼管の需要増大を考慮しその生産性ならびに溶接部品質の観点から4電極 SAW 法の最近の進歩を報告した。4電極 SAW 法によれば結線方式、電流比等の条件最適化により 10~30 % の生産性向上と著しいスラグ巻き込み抑止効果が得られる。また4電極 SAW による溶接速度向上による溶接品質の劣化は認められない。

さらに溶接入熱増大によるマイクロ組織劣化による溶接金属の靱性劣化が問題となる厚肉鋼管溶接部の品質について特に検討した。そしてこの問題を解決するために最良の靱性を与える溶接金属中の窒素とボロン量の適正比が  $B=0.7[N] \pm 15$  ppm ただし  $[N] \leq 80$  ppm であることを見出すとともに大入熱溶接時のビード外観劣化を抑制し、かつ溶接金属中酸素量を 250~300 ppm に低減できる溶融型フラックスを開発した。その結果、-60 °C において 100 J 以上の衝撃特性を得た。

### A New Approach to Avoiding Undercut for High Speed Submerged Arc Welding [RA]

By Masahiro OHARA *et al.*

サブマージアーク溶接の限界速度はアンダーカットの発生で制約される。しかし、アンダーカット発生のメカニズムはその現象観察が困難であることから、十分解明されていない。

本研究は、X線透視法による直接観察と熱伝導モデルとアーク圧力の測定による溶融池現象のシミュレーションを行ない、アンダーカットの支配的制御要因の解明と新しい高速溶接法の開発を目的としたものである。

欠陥発生の因子を明らかにし溶接の高速化を試みるのに、サブマージアーク溶接法を用い、溶接速度を律速するアンダーカット発生の定量的研究を行った。

アンダーカットの発生は主として2つの要因が影響する。1つは溶融金属の後退位置 ( $X_m$ ) であり、もう1つは溶融池止端部に沿う凝固点の位置 ( $X_s$ ) である。アンダーカットの発生は溶融金属が凝固点より後退するとき ( $X_m > X_s$ ) 起る。これらの結果より、細径ワイヤ電極群を用いるアーク熱源の線状化によつて、従来アークの熱源より高速度の溶接が可能となる。

### (2) Heat-treated UOE Pipe

Application of Induction Heating for Production of Heat-treated Low Alloy and Stainless Steel UOE Pipes

By *Toshio ISHIHARA et al.*

UOE プロセスと誘導加熱による鋼管熱処理技術(焼入れ焼戻し, 応力除去焼きなまし, 溶体化処理)を組み合わせることにより高級大径溶接鋼管を開発した. 本報においては高張力厚肉鋼管, 低合金鋼管(3.5 Ni および  $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼管)および 304L ステンレス鋼管に関して, 製造プロセス, 適正溶接材料の選定および製造されたこれら鋼管の機械的性質について述べる.

シーム溶接後に熱処理を施す利点は以下のようにまとめられる.

- 1) 製造可能範囲(管厚, 強度)の拡大(鋼管焼入れ焼戻しの場合)
- 2) 鋼管母材部のみならずシーム溶接部の性能改善(鋼管焼入れ焼戻し, 応力除去焼きなまし, 溶体化処理の場合)

### High Strength Hot-bent Pipe for Arctic Use [TR]

By *Tamotsu HASHIMOTO et al.*

高強度で低温靱性の優れた厚肉高周波バンド管を開発するため, 実験室的検討および実サイズ試作を行った. 炭素当量が 0.35~0.43% である Mo-V, Nb-V, Cr-Mo および高 Nb 系のラインパイプ用鋼を供試材とした. 実際の高周波バンド時の熱サイクルをシミュレートした検討から, 高い降伏強度と優れた低温靱性を得るためには, 熱間曲げ工程のあと焼もどし工程が必須であることが認められた. 熱間曲げおよび焼もどし工程後の溶接金属の低温靱性は, 溶接金属の炭素当量も重要な因子であるが酸素含有量を 350 ppm 以下に低減させることにより大幅に改善できた.

実サイズでの試作は, 外径 28~30", 肉厚 1250~1375" の UOE 鋼管で行い Nb-V および Cr-Mo 系のラインパイプ用鋼において, X60~X70 の強度グレードおよび -30 °C (-22 °F) で優れた靱性が得られることが認められた.

### Recent Development of Welding Technique for Heat-treated Bent Pipe [RA]

By *Hiroshi NAGANUMA et al.*

X-52~X-70 級鋼管について熱処理を受けた溶接の性質を研究した.  $\sqrt{E-46} > 50$  ft-lb の要求を満足するには, 溶接金属の酸素量を 180 ppm 以下にする必要がある. 窒素量の多いときでも, アルミニウムの添加によって高靱性を得ることができる. 低酸素および高アルミニウムの溶接金属の高靱性は, オーステナイト粒の粗大化を抑制する窒化アルミニウムを析出させることによつて得られると考えられる.

溶接金属の酸素量は, フラックスの塩基度およびフラックス中の  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  量によつて支配され, 次式で決定される.

$$[\text{O}] = g(B + f(R_{\text{CaF}_2}) \cdot N_{\text{CaF}_2}) + h(R_{\text{K}_2\text{O}}) + k(R_{\text{CO}_2})$$

酸素量の減少を目的に溶融型フラックスの塩基度を高めると, 溶接金属の拡散性水素量と窒素量が増加する. 水素量と窒素量は, 炭酸塩鉱物の添加, フラックスの粒度

分布の調整および  $\text{CaF}_2$  の増量によつて減少させることができる. 水素量は, また, 溶融フラックスの空冷処理および水和性鉱物の晶出の防止によつて効果的に減少させることができる.

### (3) Spiral Pipe Production

#### Development of High Speed Submerged Arc Welding in Spiral Pipe Mill [TR]

By *Mitsuhiro HANADA et al.*

スパイラル鋼管の製造において, 溶接速度を向上させるための研究が行われた. 溶接の高速化を妨げる問題点は, アンダーカット, コンケープ・ビード, および, コンベックス・ビードの発生である.

これらの問題点を解決するための研究が行われた.

主な結果は次に示す通りである.

(1) 適正溶接条件の検討により, 高速溶接が可能となった.

(2) 適量の  $\text{TiO}_2$  を含む新しいフラックスの開発により, 良好なビード形状が得られた.

#### Optimization of Welding Materials and Conditions for High Speed Submerged Arc Welding of Spiral Pipe [RA]

By *Toyofumi KITADA et al.*

パイプ成型直後に潜弧溶接が行われるスパイラルミルは, その溶接速度によつて生産能率が決まる. しかし, この高溶接速度は, 内面ビードのアンダーカットあるいは凹型ビード形状等の欠陥発生により防げられている. 新フラックスの開発および適正溶接条件の選定といつた高速スパイラル溶接技術が, 実験室シミュレーション試験により確立された. また, これらの新技術を実管スパイラルミルに適用したところ, 4 m/min という溶接速度が可能となった.

#### A New ERS-SAW Process for Spiral Pipe Manufacture [TR]

By *Narumi ANDO et al.*

スパイラル鋼管製造において, 生産性および品質を向上させるために, ERW と SAW を組合わせた, 新しい高速溶接プロセスを開発した. 本プロセスには, 次の特徴を有している.

(1) 1ラインで, ERW と SAW を同時に行なうコンパクトな高能率ミルであること.

(2) スパイラル成形方式では, 両側のエッジが上下方向から近接することを利用し, ラップ方式 ERW を適用していること.

(3) ラップ方式 ERW を用いるために発生する内外表面の不完全溶着部を高速で化粧盛る. この高速化粧盛 SAW の特徴は, 細径ワイヤを用いて低入力, 高溶着能率が得られること, 熱源を線状化することにより高速溶接時のアンダーカット発生を防止できること.

(4) ERW と SAW を組合わせた新しい溶接プロセスにより, 造管速度は 5~6 m/min に向上し, 溶接継手は従来の継手と同等以上の性能が得られること.

**(4) Electric Resistance Welded Pipe****An Automatic Power Input Control System in High Frequency Electric Resistance Welding [TR]**By Nobuo WATANABE *et al.*

溶接電流の発振周波数の測定により、溶接欠陥の発生を最少にする最適溶接状態を検知することができる。この知見を適用して新入熱制御システムを開発した。この新システムにおいて、最適溶接状態はフィードフォワードシステムにより迅速に、フィードバックシステムにより精確に実現・保持される。溶接入力に加えて他の溶接条件も最適化された。これらの技術を総合化して溶接欠陥のない電縫鋼管の製造が可能になった。

**Theoretical Analysis of Current Distribution in Electric Resistance Welding [RA]**By Michio SAITO *et al.*

近年、ERW ラインパイプの需要は高級・厚肉化の傾向が著しい。そこで、Vシェーブ部の電気回路定数を表わす式を導入し、それによる計算値と LCR メータによる実測値を比較し Vシェーブ部の電流分布等をおもに考察し、厚肉 ERW の可能性を検討した。その結果、つぎの事がわかった。

(1) Vシェーブ角度が一定の時、肉厚が厚くなると電流はエッジに均一に流れる傾向がある。しかし、造管時厚肉材の曲げ剛性が大きいと Vシェーブ角度が大になり、しかもスクイズロールスタンドの剛性も小さかったためその傾向は減少する。

(2) 厚肉材の Vシェーブ部温度が高いと電流の通路断面積が拡がり、エッジに均一に流れ、コーナの過熱も減少する。

(3) 良好な溶接品質を得るためには、かなり大きなアブセット量で外面ボンド幅を 0.15 mm 以下にする必要がある。

(4) 以上のことからスクイズロールスタンドのミル剛性を大きくする改良を行い、厚肉材を適正な溶接条件とアブセット量で造管すると良好な溶接部が得られた。

**Manufacture of Alloy Steel Tube by High Frequency Electric Resistance Welding [TR]**By Hirohisa ICHIHARA *et al.*

合金鋼電縫鋼管(クロム鋼, クロム・モリブデン鋼, オーステナイト系ステンレス鋼鋼管)の品質は、無酸化雰囲気溶接, 高精度溶接入熱制御, 内面ビード平滑切削などの高度な技術に負うところが大きい。

本報告では合金鋼電縫鋼管の新製造技術に関して、

- 1) 無酸化雰囲気溶接における酸素濃度限界とガスシール装置
- 2) 適正入熱範囲と入熱制御システム
- 3) 高効率インピーダ

以上、3項目について紹介した。

更に、これらの新技術を駆使して量産された合金鋼電

縫鋼管の品質について耐食性、高温クリープ破断特性、疲労特性などの実用上重要な性能に的を絞って紹介した。

**A New Automatic Heat Input Control for Production of Electric Resistance Welded Pipe [TR]**By Yutaka MIHAR *et al.*

電縫鋼管製造プロセスにおける高周波電縫溶接の自動制御技術を確立するために、レーザー光線のスリット光を用いた光切断方式のビード形状計とリニアアレイを使用した温度分布計測システムを用いて電縫溶接の基本特性を調査した。ビード形状計測より最適溶接入熱判定のほかにメタルフロー角度等のオンライン計測も可能なビード形状監視装置を開発し、溶接部幅方向温度分布計測から新しい制御パラメータによる温度分布制御法を開発した。これらのシステムにより、溶接入熱、溶接部品質のオンライン監視と溶接入熱自動制御を同時におこなう総合的な電縫溶接入熱制御システムが完成された。これらのシステムは当社の小・中・大径電縫管ミルで順調に稼動中であり、高級電縫管の製造に貢献している。

**(5) Other Fields****Production of Thin Wall Welded Titanium Tubes by High Frequency Pulsed Arc Welding [TR]**By Yoshiyuki MIYAMOTO *et al.*

薄肉溶接チタン管は発電所の復水器や海水淡水化装置の中でも重要部材として使用されるため、高い品質および信頼性が要求される。チタン管の製造には従来から直流(DC)アーク溶接電流が使用されたが、この場合、厳しい品質要求を満足する製品を得るのが困難な状況にあった。本試験では、高周波アーク溶接電流のチタン管製造への適用性について検討し、非常に良好な結果が得られた。実用化試験で確認された高周波アーク溶接の主たる特徴は次のとおりである。

(1) 表面が滑らかで高品質の溶接ビードが得られた。

(2) 10 m/min を越える溶接速度でもアークが安定するため、造管速度が向上した。

**A CO<sub>2</sub> Laser Welding System for Sheet Steel Production Line [TR]**By Hiroaki SASAKI *et al.*

高精度切断技術、高い機械精度、高精度研削技術、さらにフィラーワイヤ送給式レーザー溶接技術を組合せた総合技術の成果である 5 kW レーザ溶接機はすでに鋼帯生産プロセスに組込まれて使用されている。

珪素鋼や高炭素鋼に対するレーザー溶接の適用によつて酸洗ラインや圧延ラインの生産性が大幅に改善された。

会員には「鉄と鋼」あるいは「Trans. ISIJ」のいずれかを毎号無料で配付いたします。「鉄と鋼」と「Trans. ISIJ」の両誌希望の会員には、特別料金 5,000 円の追加で両誌が配付されます。