
厚肉から超薄肉までのスパイラル鋼管の製造

Production of Spiral Pipe in Thickness from Heavy to Extra-thin

美浦 一彦(Kazuhiko Miura) 福島 啓治(Keiji Fukushima)

要旨：

スパイラル鋼管の用途拡大に対するため、川鉄鋼管のミルの改造を行い、外径 750mm から 2650mm の肉厚 30mm の鋼管から、外径と肉厚比が 700 を超える肉厚 3 mm の超薄肉大径鋼管を製造可能とした。厚肉鋼管の製造においては、少ない圧下力で成形するために成形ロールを改造し、寸法精度向上のための外面ガイドロールを強化した。溶接は大入熱でも欠陥を防止できる 3 電極サブマージドアーク溶接技術を開発採用した。超薄肉大径鋼管の製造においては、座屈を防ぐため板送りガイド、内面支持ロール、外面支持ロールを設置した。溶接は直流垂下特性をもつ電源を逆極性に用いて、安定して低入熱溶接ができる方法を採用した。

Synopsis：

Kawatetsu Steel Tube Corp. (100%-subscribed by Kawasaki Steel Corp.) renewed the spiral mill to satisfy the increased requirements by customers for available sizes. To produce heavy-walled pipe, improvements of the forming roller stand and outside guide roller frame were carried out for achieving good pipe shapes, and a 3-wire submerged arc welding system was applied for improving the quality of weldment. To produce thin-walled pipe, the plate guide roller and inside roller and outside support rollers were newly installed for preventing buckling. Additionally, the welding technique of using a direct current electric source with reverse polarity was applied for stabilizing low heat input welding. As a result, the new spiral mill can produce pipe with a maximum wall thickness of 30 mm and an outside-diameter ranging from 750 mm to 2650 mm and also extra thin-walled, large-diameter pipe with 3-mm wall thickness and a 2300-mm diameter.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Production of Spiral Pipe in Thickness from Heavy to Extra-thin



美浦 一彦
Kazuhiko Miura
川鉄鋼管(株) 製造部
大径管課長



福島 啓治
Keiji Fukushima
川鉄鋼管(株) 製造部
大径管課 樹長

1 結 言

スパイラル鋼管は鋼管杭や矢板として、また、建築や鉄塔の部材として土木・建築関係に用いられてきた。

最近、ウォーターフロント開発と呼ばれる湾岸における橋、道路、ビルディングなどいろいろな建設計画がある。そして、それらは構造物の大型化に加えて地盤の軟弱から、その基礎に用いられる鋼管杭や矢板に対して、大型化すなわち厚肉、大径および長尺のものへの要求が高まっている。

建築関係においては、自在な径の鋼管を自在な長さで製造できるというスパイラル鋼管の製造方法の特色を生かし、構造物の部材としてより広い範囲で用いようという要求が高まっている。

川鉄鋼管(株)では、これらの要求に応えるため、各種の新しい技術を組み込みながらスパイラルミルの大幅な改造を行った。その結果、30 mmの厚肉の鋼管や、従来の製造可能限界を大きく超えた外径と肉厚の比 $D/t=700$ という超薄肉大径鋼管の製造が可能となった。

以下に、それらの厚肉鋼管や超薄肉大径鋼管を製造するための造管機の改造および溶接技術の改善について述べる。

2 新ミルの概要

今回改造されたスパイラルミルの基本的な製造工程を Fig. 1 に、レイアウトを Fig. 2 に、さらに、主な仕様を Table 1 に示す。

製造工程の特徴としては、(1)寸法形状のよい鋼管を成形するためのホットコイルの幅を一定にし、(2)品質のよい溶接を行うために溶接開先を切削するミーリング、(3)厚肉鋼管でも内部欠陥なく溶接するための3電極外面溶接、さらに(4)溶接の内部を全長検査

要旨

スパイラル鋼管の用途拡大に対応するため、川鉄鋼管のミルの改造を行い、外径750 mmから2 650 mmの肉厚30 mmの鋼管から、外径と肉厚比が700を超える肉厚3 mmの超薄肉大径鋼管を製造可能とした。

厚肉鋼管の製造においては、少ない圧下力で成形するために成形ロールを改造し、寸法精度向上のための外面ガイドロールを強化した。溶接は大入熱でも欠陥を防止できる3電極サブマージドアーク溶接技術を開発採用した。

超薄肉大径鋼管の製造においては、座屈を防ぐため板送りガイド、内面支持ロール、外面支持ロールを設置した。溶接は直流垂下特性をもつ電源を逆極性に用いて、安定して低入熱溶接ができる方法を採用した。

Synopsis:

Kawatetsu Steel Tube Corp. (100%-subscribed by Kawasaki Steel Corp.) renewed the spiral mill to satisfy the increased requirements by customers for available sizes. To produce heavy-walled pipe, improvements of the forming roller stand and outside guide roller frame were carried out for achieving good pipe shapes, and a 3-wire submerged arc welding system was applied for improving the quality of weldment.

To produce thin-walled pipe, the plate guide roller and inside roller and outside support rollers were newly installed for preventing buckling. Additionally, the welding technique of using a direct current electric source with reverse polarity was applied for stabilizing low heat input welding.

As a result, the new spiral mill can produce pipe with a maximum wall thickness of 30 mm and an outside-diameter ranging from 750 mm to 2 650 mm and also extra thin-walled, large-diameter pipe with 3-mm wall thickness and a 2 300-mm diameter.

するための自動超音波探傷など、高い品質を確保するための工程が組み込まれていることである。

鋼管製造の最終工程であるマーキングが終わると、杭とか矢板に加工しないものは Fig. 2 のヤード⑧へ搬出し、ここで一時保管されながら出荷される。杭や矢板に加工されるもので長さが30 mまでのものは、ヤード⑩へ搬出し、ここに一時保管されながら加工ヤード⑪で加工される。30 mを超えるものは、2台の30 t クレーンを有する場外加工場⑫で加工される。

このように、長さ55 mまでの鋼管の製造と、それを基材とした杭、矢板の加工が効率よく処理できる配置となっている。

* 平成2年7月5日原稿受付

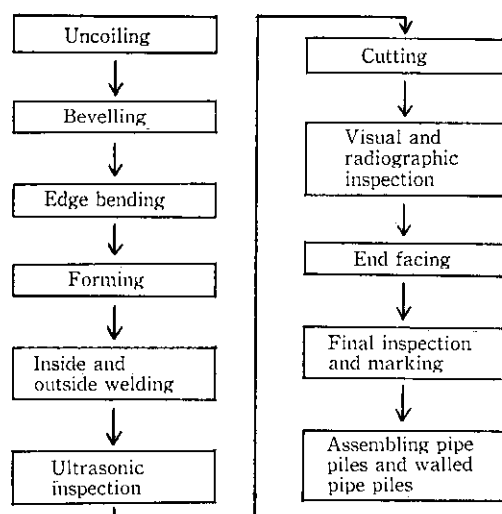
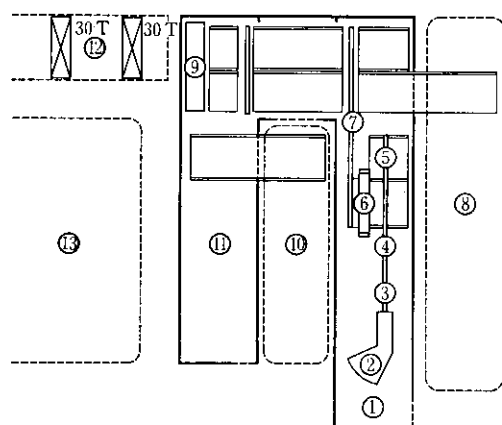


Fig. 1 Flow chart for spiral pipe



- ①Coil storage
- ②Pipe forming and welding
- ③Cutting
- ④Visual and radiographic inspection
- ⑤Repair space
- ⑥End facing
- ⑦Final inspection and marking
- ⑧Pipe storage yard for shipping
- ⑨Butt welding
- ⑩Pipe storage yard for assembling
- ⑪Assembling yard for pipe length ≤ 30 m
- ⑫Assembling yard for pipe length > 30 m
- ⑬Storage yard for shipping of piles

Fig. 2 Layout of spiral pipe mill

3 厚肉鋼管の製造

当社の成形方式は、一般に Hoesch の改良型と呼ばれている方式で、Fig. 3 に示すようにピンチロールにより成形機に送り込まれたホットコイルを、ピラミッド型成形ロールによって所定の曲率に曲げ、それを外面からロールでガイドしながら内面溶接、続いて外面溶接を行う。

従来の成形方式では、厚肉の鋼管を成形するために、成形ロールの曲げ能力および外面ガイドロールの保持力が問題となる。また、溶接は傾斜面で行われるため溶鋼が流れて、内面側は凹形、外面側は凸型となるスパイラルビードの特徴が、厚肉になり溶融池が大きくなるにつれ強く現れ、オーバーラップやアンダーカットの溶接欠陥

Table 1 Outline of the renewed spiral mill

1. Facilities	
Forming machine	Hoesch type
welder	
Inside welder	2-wire SAW
Outside welder	3-wire SAW
Ultrasonic tester	4-channel pulse echo method
Cutting machine	Plasma cutting
2. Capacity	
Annual production capacity	120 000 t
3. Available sizes	
Outside diameter	600—2 650 mm
Wall thickness	3—30 mm
Length	≤ 55 m

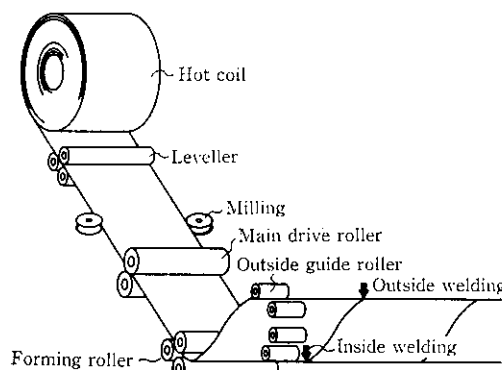


Fig. 3 Manufacturing process of Hoesch type method

になる。このため、成形方法と溶接方法の改善を図った。

3.1 厚肉成形技術の改善

3.1.1 成形ロールの改善

成形ロールは1本のトップロールと2本のボトムロールから成り、トップロールを圧下して帯鋼を曲げている。

厚肉を成形するためには、構造を強固にして大きな圧下力が得られるようにする必要があるが、これはトップロール全体を大きくし、内径の小さい鋼管の製造が不可能となる。また、圧下力を大きくすると帯鋼表面にロール痕を付けるなどの品質的な問題も発生する。

トップロールに必要な圧下力と、その時帯鋼表面に生じる面圧は(1)および(2)式で表される。

$$Q = \frac{\sigma W}{6l_1} \left\{ 3l^2 - \left(\frac{2\sigma R}{E} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

$$q = 0.418 \sqrt{\frac{EQ}{r_0 l_2}} \quad (2)$$

- Q: トップロール圧下力 (kgf)
- q: 帯鋼表面圧 (kgf/mm²)
- σ: 帯鋼の降伏応力 (kgf/mm²)
- W: 帯鋼挿入幅 (mm)
- t: 帯鋼肉厚 (mm)
- R: 鋼管半径 (mm)
- E: ヤング率 (kgf/mm²)
- l₁: ボトムロール間隔 (mm)
- l₂: トップロール接触総長さ (mm)
- r₀: トップロール半径 (mm)

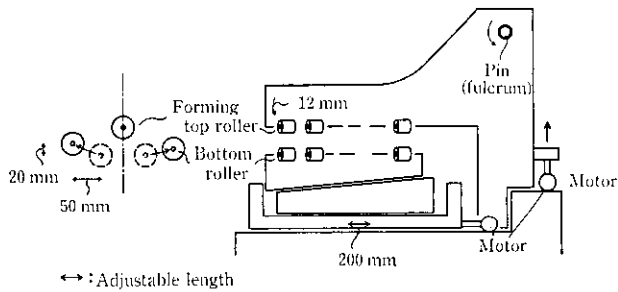


Fig. 4 Improvement of forming stand for heavy-walled pipe

これらの圧下力や面圧をできるだけ小さくするため、トップロールの径を大きくしたり、Fig. 4 に示すようにボトムロール幅を変え、これを調整することで鋼管外径に応じた必要な曲げを少ない圧下力で得られるようにした。

このロール幅を通常の 300 mm から 400 mm に広げると、圧下力は 25%、面圧は 13% 軽減できる。

この広げた状態で 50 キロ鋼で外径 750 mm、肉厚 30 mm の鋼管を成形すると、圧下力は 54 t となり、フォーミングケースはその 3 倍強の 190 t で設計されていて問題ない。

しかし、面圧は、トップロール径を 190 mm φ と可能な限り大きくしたが、それでも 70 kgf/mm² となる。これ以上の面圧では、帯鋼表面にロール傷が付く値となり、これが厚肉鋼管製造の限界である。

また、厚肉の帯鋼を曲げるとき、トップロールの剛性が不足して帯鋼の全幅が均一に圧下されないという現象が生じないよう、トップロールフレームに組み込んだピン機構を用いて、これを支点としてフレーム全体を傾斜させることで、トップロールフレームに生じるたわみを補正している。

さらに、スパイラル鋼管の品質的な問題の一つである溶接部が管外面側に突起するピーキング現象を防ぐため、ボトムロール全体を帯鋼の幅方向に移動できるようにした。

すなわち、一般的に成形ロール前でエッジベンディングロールによってあらかじめエッジを内面側に曲げることでピーキングを防いでいる。しかし、成形ロールの外面側への強い曲げでエッジの曲げが元に戻されてしまい、ピーキング防止への効果が減少する。

そこで、ボトムロールの位置を動かすことによって、帯鋼のエッジがトップロールには当たらず、ボトムロールには支えられるようにし、エッジの内面側への曲げが残るようにした。

3.1.2 外面ガイドロール機能向上

本来、Hoesch の改良型方式では、外面ガイドロールのフレームは帯鋼入側が開いた片持構造であった。

厚肉鋼管を寸法精度よく製造するためには、内外面の溶接が完了するまで鋼管の形状を保持しているガイドロールが十分な剛性を持っていることが必要であり、Fig. 5 に示すような門型構造のフォーミングケースにして剛性を高めた。

なお、後述するように、門型構造のフォーミングケースにすることによって外面溶接機をその横梁に乗せることができ、構造がシンプルになって型替が容易となるとともに、溶接品質が向上した。

以上のような各種の新機構を組み込んだ結果、750 mm 以上の外径であれば 30 mm の厚肉鋼管が成形できるようになった。

3.2 厚肉溶接技術の改善

スパイラル鋼管の溶接は、その製造方法上必然的に内面溶接が下り坂溶接、外面溶接が上り坂溶接となり、ビード形状は内面側が凹

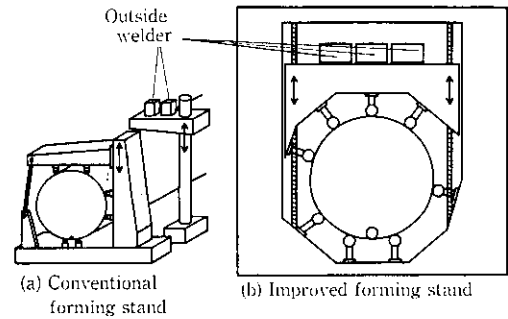


Fig. 5 Schematic illustration of pipe forming stand

型、外面側が凸形となる。この形状の特徴は厚肉となって溶融池が大きく長くなるほど強く現れる。

外面溶接の場合、後述するような手段や、鋼管頂点より手前で溶接することで下り坂溶接の要素を加味する等、ビード形状を改善できる余地がある。

しかし、内面溶接の場合、挿入されてくる帯鋼と成形ロールにより成形されて反転してくる帯鋼の合流点でしか溶接できない。すなわち、外面溶接のように溶接位置を移動してビード形状を改善するというような手段がない。

このような状況から、内面側では薄肉の溶接条件をそのまま使用することでビード形状の悪化を防ぎ、肉厚の増加分を外面溶接側で対処するという方法が厚肉鋼管の好ましい溶接方法と考えられる。

厚肉鋼管の外面溶接で問題となる凸型ビードを解決する基本的な手段は次の二つであり、この基本対策に、鋼管外径によって変わる傾斜状況に応じて、溶接位置や電極間隔等の 2 次的対策を組み合わせることになる。

- (1) 最適な開先を切削することで、可能な限り低入熱の溶接をして溶融池を小さくし、溶鋼の流れにくくする。
- (2) 多電極溶接を採用することで、各電極の電流値を下げて溶鋼の流れを弱めるとともに、後行電極で溶鋼をビード端に広げる。

3.2.1 外面開先の決定

30 mm の厚肉鋼管を溶接する方法として、内面側は従来溶接可能であった最大肉厚 25 mm の開先形状と溶接条件をそのまま適用し、肉厚増加を外面側で対処するとして、その外面開先形状を求めた。

外面側の溶接は次の条件を満足する必要がある。

- (1) 融合不良を避けるため内面溶接と十分に重なる溶込み深さがある。
- (2) アンダーカットを発生させないため適正な余盛を形成できる溶着金属量が存在する。

平板上の 3 電極サブマージドアーク溶接において、溶接条件と溶込み深さおよび溶着金属量の関係が実験式として求められている¹⁾。

これらの式を直流電極を含んだスパイラル鋼管の傾斜溶接に適用するため、実験的にその係数の変更を行い (3) 式および (4) 式を得た。

$$P = 0.01 \times \frac{I_1}{\sqrt{v}} + 0.004 \times \frac{I_2}{\sqrt{v}} - 4.5 + D \quad (3)$$

$$M = 0.032 \times (I_1 + I_2 + I_3) / v \quad (4)$$

P : 溶込み深さ (mm) I_3 : 第 3 電極電流 (A)

M : 溶着金属断面積 (mm²) v : 溶接速度 (m/min)

I_1 : 第 1 電極電流 (A) D : 開先深さ (mm)

I_2 : 第 2 電極電流 (A)

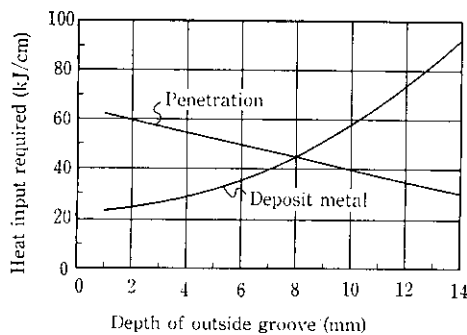


Fig. 6 Relationship between the heat input in outside welding and the depth of outside groove

これらの式を用いて、開先深さと必要とする溶接入熱の関係を求めた。その結果を Fig. 6 に示す。

計算に当たっては、外面開先角度を 60° 、内外面の溶接が確実に融合するため溶込みの重なりを 4 mm、アンダーカットを防ぐため余盛高さを 2.5 mm、各電極の電流をビード形状の調整と内部欠陥防止に有効な I_2/I_1 、 I_3/I_1 をそれぞれ、0.7、0.6 とした。

内面溶接と確実に融合する溶込みを得るに必要な入熱は開先が深くなるほど小さくなり、アンダーカットを防ぐための溶着金属を確保するに必要な入熱は開先が深くなるほど大きくなる。これら二つの交点である 8 mm の開先を切削すれば、必要な入熱が最小となり、溶融池が最も小さくなってビード形状の悪化を最小にできる。

肉厚増加分を外面側で対処するという方法は、肉厚が 30 mm の場合に限らず、例えば肉厚が 25 mm の鋼管では内面側に肉厚 22 mm の溶接条件を用い、外面側で 25 mm の対処をして両面の品質向上を図るというように、すべての肉厚に対して適用できる。

これを実施するため、各肉厚に対して適正な開先を切削できるようにレベラーの後にミーリングを設置した。

ミーリングは一つのリングに 3 段に取り付けた刃でルートと内外面開先を同時に切削する方法で、寸法精度の高い開先が得られるものである。

3.2.2 3 電極溶接の採用

従来の溶接は内外面ともに 2 電極溶接であったが、肉厚増加分を外面側のみで対処するとすれば、2 電極溶接のままであると外面溶接の電流を高くする必要があり、それは凸型ビードの形成を助長することになる。

また、一般的に 2 電極溶接では、1 電極目に高い電流を流して溶込みを確保し、2 電極目で溶接ビード形状を調整している。厚肉の溶接では、1 電極目の深い溶込みに巻込まれたスラグや気泡が、2 電極目で溶鋼の攪拌が小さいため浮上せず、残留して内部欠陥となることがある。このような外面側に生じる問題を解決するため、外面溶接に 3 電極溶接を採用した。

3 電極溶接にすれば、2 電極目にも溶込み確保の役割を持たせることができ、それだけ 1 電極目の電流を弱めることができる。さらに、2 電極目が 1 電極目の狭い溶込みを拡げることでスラグや気泡の巻込みも防ぐ。3 電極目は肉厚増加に対処する溶着金属を補充しながら表面形状を整える役割ができる。

このように 3 電極溶接によって厚肉の溶接が可能となるが、その実施に当たっては次の 2 点を考慮した。

まず、溶接アークの相互干渉を考えて溶接電源を次のように選定した。すなわち、1 電極目には安定した溶込みを得やすい直流を用い、2 電極目および 3 電極目には 1 電極目と相互干渉を小さくするため交流を用いた。そして 2 電極と 3 電極の交流の間は 120° の電

流位相差とした。この電流位相差は、アークに溶接進行方向の電磁力が作用して溶鋼を拡げ、アンダーカットが発生しにくいという結果^{2,3)}に基づいて定めた。

次に、3 電極にすることで溶接装置が複雑になるのを避けるため、ワイヤボビンも含めた溶接装置全体を Fig. 5 に示すように門型構造としたフォーミングケースの横梁に乗せた。

これによって、鋼管サイズ変更で型替する際にフォーミングケースを調整すれば、溶接装置も一体となって動くため溶接装置に位置変更の機構が不要となり、シンプルな構造となった。同時に、動かすことによる絶縁不良や接続不良等の電気的トラブルも減少した。さらに、ワイヤ送給距離が極めて短く、かつ、鋼管サイズにかかわらず一定となったため、ワイヤの送給がスムーズになり、溶接電流・電圧の安定性が向上した。

このワイヤ送給性の向上は、厚肉溶接の品質向上に有効であったが、後述する超薄肉鋼管を製造する際の極めて低入熱の溶接を行う場合にも効果を示した。

以上のような改善を行うことによって、従来はビード形状の悪化を防ぎ切れなかった 25 mm を超えた厚肉鋼管の溶接が可能となった。

Photo 1 に外径 1 100 mm、肉厚 30 mm、長さ 11 m の鋼管の溶

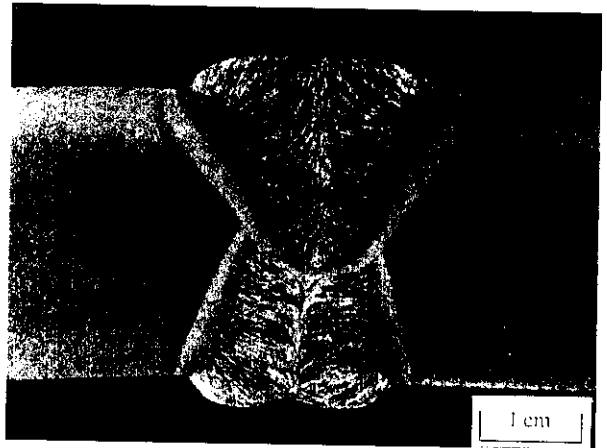


Photo 1 Cross section of welded joint of spiral pipe with 30-mm wall thickness, 1 100-mm outside dia. and 11-m length

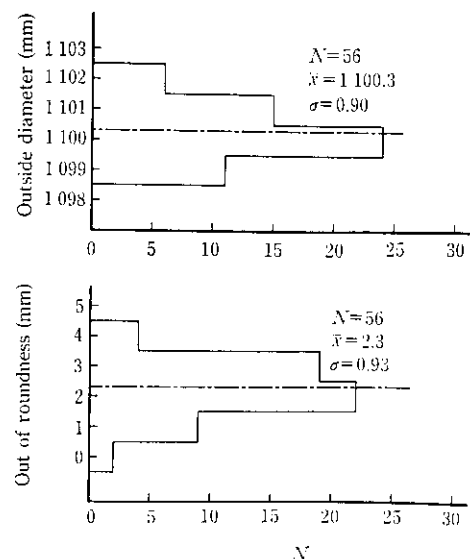


Fig. 7 Dimensions of spiral pipe with 30-mm wall thickness 1 100-mm outside dia. and 11-m length

接部の断面を示す。また、この鋼管の寸法形状のヒストグラムを Fig. 7 に示す。

4 超薄肉大径鋼管の製造

従来、スパイラル鋼管の薄肉大径の限界は、外径と肉厚の比 (D/T) が 300 程度とされていた。これ以上の薄肉大径では、帯鋼が挿入時に座屈したり、成形中に自重で変形したり、不安定な成形のため品質のよい低入熱溶接ができない等の現象が起こっていた。

今回のミル改造において、これらの問題に対し設備と溶接に改善を講じた結果、肉厚 3 mm で $D/T=700$ という超薄肉の鋼管が製造可能となった。

4.1 薄肉成形技術の改善

4.1.1 板送りガイドの設置

帯鋼はピンチロールを駆動として成形ロールで曲げられながらフォーミングケース内に押し込まれている。ピンチロールからフォーミングケースの間は、成形角度変更のための空間があり、ピーキング防止用にエッジベンディングロールが設置されているため、数メートルの間隔がある。この間に Fig. 8 に示すような帯鋼を上下から挟むローラ内蔵のガイドロールを左右 2 箇所設置して、押し込まれていく帯鋼が座屈しないようにした。

4.1.2 内面ロールの設置

鋼管が薄肉大径化するほど、帯鋼の成形ロールでの曲げが不十分であると、大径のため広い間隔となっている外面ガイドロール間で帯鋼がロール外に張り出そうとしたり、フォーミングケースの最上点通過から反転して下向きに入りにくいなど、帯鋼のフォーミングケース内でのスムーズな動きが阻害され、脈動が生じる。これは成形を不安定にするとともに、溶接ビードの形状不良として現れる。

反対に、成形ロールで曲げ過ぎると、帯鋼の自重によるたわみも加わって、外面ガイドロールから外れやすくなり、やはり成形が不安定になる。

このように成形ロールは適正な曲げを得るため調整が必要であるが、それは鋼管外径だけでなく、帯鋼の肉厚や強度の変動の影響も受けるため、製造の中で試行錯誤的に決めることになる。

これを解決するため、フォーミングケースの最上点に Fig. 8 に示すように内面側より帯鋼を支持するロールを設置した。

このロールの設置で成形ロールの曲げ精度は緩和され、再調整の必要がなくなった。さらに、外面溶接の点でも帯鋼を下から支えているため、溶接開始の衝撃で帯鋼が動くことなく、脈動のない挿入と合わせて、溶接を安定させることができた。

また、成形のトップロールの先にそれと同レベルのロールを取り付け、反転してきた帯鋼が挿入されてくる帯鋼と内面溶接点で食い違うことなく合流するようにした。

4.1.3 半円形支え枠の設置

溶接が終了して鋼管となっても、フォーミングケースを出て所定の長さ切断されるまでは、鋼管は後続の帯鋼と一体のものである。したがって、フォーミングケース外でも切断まではスムーズなスパイラル回転をすることが必要である。

薄肉大径化が進むと鋼管は自重によって楕円形となってスパイラル回転に脈動が生じ、ビード形状が悪化したり、溶接が不可能となる。

鋼管を切断まで円形に保つため、フォーミングケースからプラズマ切断機の間に数箇所、Photo 2 に示すようにロールを内蔵した半円形の支え枠を設置した。

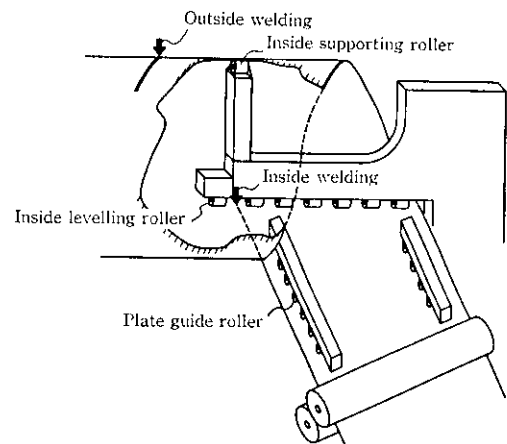


Fig. 8 Improvement of forming stand for extra-thin-walled pipe



Photo 2 Outside support roller with semicircular frame

これらの設備によって帯鋼の挿入から鋼管の切断まで全体がスムーズな動きをし、超薄肉大径鋼管が安定して成形できるようになった。

4.2 薄肉溶接技術の改善

超薄肉大径鋼管の溶接は、入熱はできる限り低くし、溶込みは溶接抜けを起こさないよう浅く安定したものであることが必要である。したがって、低電流でもアークが安定している直流で、1電極溶接を採用した。

電源は、溶込みの安定という面で溶接電流の変動を小さくするため垂下特性をもつものを用いた。それを同じ電流でも溶込みが浅く、溶着金属量を多くできるように、ワイヤ側をプラス、帯鋼側をマイナスとする逆極性で用いた。

このような基本的な条件のもとに、ワイヤ径の選定を行った。結果的に 2.4 mm φ のものが低い電流でもアークの安定がよかった。

以上のような成形上および溶接上の改善の結果、従来の製造限界を大きく超えた超薄肉大径鋼管が製造可能となった。

Photo 3 は穀物貯蔵サイロの胴体とするため製造した肉厚 3.2 mm、外径 2308 mm で $D/t=721$ の鋼管の溶接部表面と断面である。

Photo 4 はその鋼管の全体像である。鋼管は自重によって大きくたわんでおり、これがそれ自身で座屈することなく円筒形状を維持できる限界であることがわかる。



Photo 3 Cross section and surface of welded joint of spiral pipe with 3.2-mm wall thickness, 2 308-mm outside dia. and 12-m length

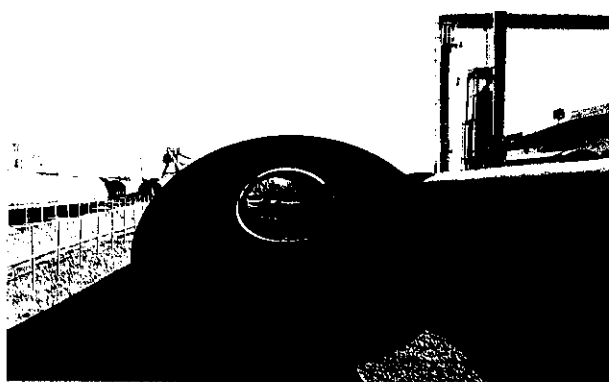


Photo 4 Extra thin walled and large diameter pipe (3.2 mm t , 2 308 mm: D , $D/t=721$)



Photo 5 12-m length silo in construction field (made of the pipe shown in photo 4)

さらに、Photo 5 はこの鋼管を用いて製作した長さ 12 m のサイロの胴体を現地で設置している状況である。鋼管工場の加工場で必要な部材はすべて取り付け、塗装も行って、現地では架台に立て掛けられれば完成する状態で出荷された。

5 結 言

Hoesch 型スパイラル造管機の成形能力の向上を図った。また、溶接に 3 電極サブマージドアーク溶接方法を採用した。その結果以下に示すような製造範囲の拡大が達成できた。

- (1) 厚肉鋼管として、従来の限界である 25 mm を超えて 30 mm の肉厚の鋼管が、外径 750 mm から 2 650 mm の範囲で製造可能となった。
- (2) 薄肉鋼管として、従来の限界である外径と肉厚の比 $D/t=300$ を大きく超えた、肉厚 3 mm で $D/t=700$ という超薄肉大径鋼管が製造可能となった。

今後はこれらの技術を一層向上させ、例えば残留応力がより小さい鋼管を製造し、溶接・切断加工しても歪みが発生しないなど、より自由な設計ができるよう使用上でも優れた特性をもった鋼管を製造していくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 赤秀公造, 浮辺輝男: 「I 開先溶接技術 HIVAS 法の開発について」, 川崎製鉄技報, 3 (1971) 4, 122-138
- 2) K. Miura, T. Yamaguchi, and F. Kawabata: "Application of four-electrode submerged arc welding process to large diameter pipe manufacture", IIW '82 annual conference, public session, (Yugoslavia), 133-141
- 3) 坪井潤一郎, 赤秀公造, 阿草一男, 浮辺輝男: 「鋼管の三電極サブマージドアーク溶接における結線方式と溶接欠陥の関係」, 日本溶接学会溶接法研究委員会, SW-53-78