

E R W熱間絞りコイル状鋼管“P I C”製造技術の開発

Development of Manufacturing Technologies for ERW-SR Pipe in Coil

渡 部 義 広^{*1)}
Yoshihiro
WATANABE

萬ヶ谷 鉄 也^{*4)}
Tetsuya
MAGATANI

荒 木 敏^{*2)}
Satoshi ARAKI

杉 浩 司^{*2)}
Hiroshi SUGI

水 橋 伸 雄^{*3)}
Nobuo
MIZUHASHI

福 田 真 一^{*5)}
Shinichi
FUKUDA

高 杉 直 樹^{*4)}
Naoki
TAKASUGI

柏 村 英 樹^{*6)}
Hideki
KASHIMURA

抄 録

自動車を中心とする産業機械用中空部品分野及びスケートリンク冷凍、道路融雪用伝熱配管等を主体とする長尺配管分野において、前者では、車両軽量化、連続・自動製造化によるコストダウンの観点から電縫溶接鋼管化が積極的に進められ、後者では施工能率、継手溶接数削減によるコストダウンの観点から超長尺鋼管化が図られている。新日本製鐵光製鐵所では、このようなユーザーニーズに対応すべく、電縫溶接鋼管を連続的に熱間絞り圧延するプロセスに線材製造プロセスの巻取り技術を取り入れたE R W熱間絞りコイル状鋼管“P I C”(Pipe In Coil)を開発した。独自の製品P I Cの商品化において、電縫溶接部性状の健全化技術、熱間絞り巻取技術及び長尺材の品質保証技術等の製造技術、加えて連続伸管・矯直技術、内面塗装技術等の二次加工技術を確立した。これにより冷間加工性、耐食性、施工性及び経済性に優れたP I Cの商品化に成功した。そのP I Cの製造技術及び二次加工技術について紹介した。

Abstract

There have been active requirements for long tubing products in several industrial fields. For examples, in the field of hollow parts for industrial equipments with automobile industry as the central figure, ERW pipes and tubes for parts are positively adopted from a viewpoint of reducing costs through lightening a car body and manufacturing it continuously and automatically. Further, in the field of long piping construction such as a freezer piping in the ice skating rink and an underground piping for the snow melting system, a pipe laying without welding and with using extra long tubing products is devised to reduce costs through improving the fabricating efficiency and paring down the welding joints in number. To cope with those requirements, Nippon Steel's Hikari Works has developed a new coiled tubular type product called "PIC" (Pipe In Coil). This PIC is manufactured by the combined process of ERW hot reducing mill in which the high speed winding technology of the wire manufacturing process is introduced into the rolling process of continuously hot reducing an electric welded tube. In order to make the trailblazing product PIC a merchandise, some new technologies have been established which include the PIC manufacturing technologies such as a defect-less ERW welding method, a PIC hot winding technology and a method of quality assurance for long length materials, together with the PIC utilizing technologies such as a continuous cold drawing and straightening method and a PIC inner coating process. By those technologies, PIC with good cold formability, good corrosion resistance, easy fabricating performance and economical advantage has been successfully realized and put into market. In this paper, those manufacturing technologies and secondary processing technologies are introduced.

1. 緒 言

近年、鉄鋼製品の二次加工工程において、連続化及び省力化等による生産性向上及びコスト削減が図られている。その一方で、自動

車を中心とする産業機械用中空部品分野において、その商品に対する高級化、高機能化への要望が加速している^{1,2)}。

このようなユーザーニーズに対応すべく、新日本製鐵光製鐵所では、電縫溶接(E R W)鋼管を連続的に熱間絞り(S R:Stretch

^{*1)} 三興機械工業(株) 技術課長
(元 技術開発本部 光技術研究部 研究員)

^{*2)} 光製鐵所 鋼管部 部長代理

^{*3)} 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員

^{*4)} 光製鐵所 鋼管部 掛長

^{*5)} (株)日鐵テクノリサーチ 光サブセンター 所長
(元 技術開発本部 光技術研究部 主任研究員)

^{*6)} (株)中田製作所 技術部長

(元 技術開発本部 光技術研究部 主幹研究員)

Reduce)するプロセスに線材製造プロセスの巻取り技術を取り入れたERW熱間絞りコイル状鋼管“PIC”(Pipe In Coil)の製造技術開発³⁾を1987年より推進してきた。

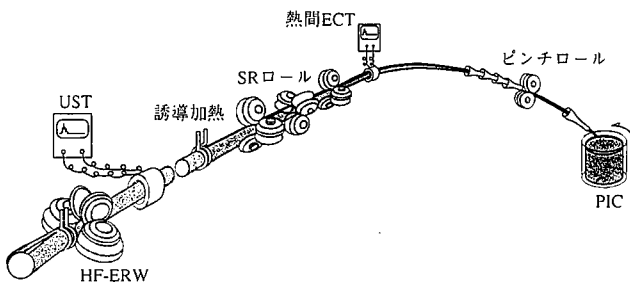
PIC商品化に当たって、電縫溶接部性状の健全化技術、熱間絞り・巻取り技術、長尺材の品質保証技術及び連続伸管・矯正技術、内面塗装技術等の二次加工技術について、数々の製造技術を確立した。これにより冷間加工性、耐食性、施工性及び経済性に優れた高品質の長尺電縫溶接鋼管PICの商品化に成功した。

本報は、独創技術としてのPIC製造技術、長尺管の品質保証技術と製品特性、二次加工特性について紹介する。

2. PIC製造プロセスとその特徴

2.1 製造プロセス

PICの製造プロセスは、従来のERW+SRで蓄積した直管の縮径長尺化技術と高品位、高能率検査技術に、線材の巻取り技術を結合させることにより、超長尺鋼管の製造を可能としたものである。そのプロセスの概要を図1に示す。



具体的な製造プロセスは、工程1から工程3により構成される。

工程1：冷間で帯鋼を成形ロールにより管状に成形し、高周波誘導溶接により母管となる約100mの電縫溶接鋼管を製造する。なお、外面ビードを切削するとともに、切削した内面ビードを高圧エアブローにより管内より除去する。

工程2：高周波誘導加熱により母管を約1000℃に加熱し、ストレッチレデューサーにより縮径長尺化する。

工程3：ガレットリール型巻取り機によりSR後の鋼管を熱間でコイル状に巻き取る。

また、本プロセスでは前述の母管に継目無鋼管、TIG溶接鋼管を適用することも可能である。

2.2 特徴

PICは、表1に示す特徴を有し、連続的に伸管、矯正、U曲げ加工が可能となり、従来の短尺鋼管に対し、大幅に生産性あるいは施工性が向上する。また口付け作業回数の削減による歩留向上効果、一次熱処理の省略等によりコスト削減も可能である。

2.3 製造可能範囲

製品外観を写真1に、製造可能寸法を図2に示す。低炭素鋼(0.15% Cクラス)の場合で、φ10.5mmまでの極小径管や $t/D=26\%$ の厚肉管の製造が可能である。なお、製品外径は線材のBIC(Bar In Coil)とほぼ同等であり、線材の加工設備の適用が可能である。また、炭素鋼(0.04~0.45% C)から低合金鋼、ステンレス鋼などの高級鋼まで数多くの商品メニューを揃えている。

表1 PICの特徴

- ①超長尺化が可能
- ②極小径、高 t/D （肉厚/外径）電縫鋼管の製造が可能
- ③外内面ビードの極めて少ない高品質溶接鋼管の製造が可能
- ④熱間仕上げのため組織が均一であり客先での一次熱処理の省略が可能
- ⑤炭素鋼から低合金鋼、ステンレス鋼まで幅広い鋼種の製造が可能

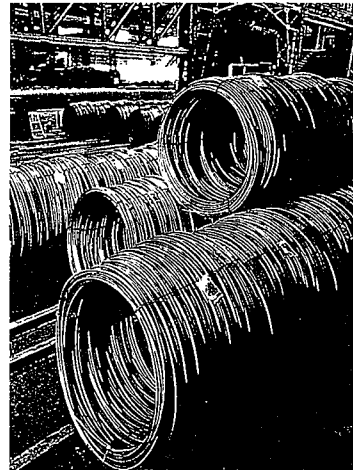


写真1 PICの外観

外径 (mm)	肉 厚 (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
10.5		2.2					
13.8			3.2				
17.3				4.0			
21.7					5.6		
25.4	1.4					6.3	
27.2							7.2
34.0	1.5						
42.7		2.0					7.1

外径 (mm)	製品最大長さ (×10 ² m)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10.5							7.1					
13.8											11.8	
17.3								7.7				
21.7							5.7					
25.4					4.15							
27.2				3.6								
34.0		2.3										
42.7	1.45											

図2 製造可能寸法範囲

3. PIC製造技術

長尺PICの製造上の技術課題は、いかに全長にわたって品質を安定させるかにあり、PICの開発にあたっては、成形、溶接の安定化はもとより、熱間での品質保証体制をも確立した。また、従来の鋼管、棒線分野にはなかった技術として、熱間巻取り時の変形を抑制する無偏平巻取り技術をも開発した。

3.1 成形技術

PICの品質に重要な役割を占める母管製造工程において、成形技術は溶接技術と並ぶ最重点技術である。特にPICは母管外径 ϕ 89.1mmにおいて、肉厚1.6mm~7.0mmの広い範囲での成形安定性の確保が必要とされる。この課題に対して、薄板の曲げ加工時のスプリングバック量を基に最適成形ロールカーブの設計技術を開発し、前に述べた広い寸法範囲で安定に成形することを可能とした。

3.2 溶接技術

炭素鋼、ステンレス鋼の溶接品質安定化に向け、(1)溶接雰囲気制御、(2)溶接入熱最適化、及び(3)溶接入熱制御の技術確立を行った。

3.2.1 溶接雰囲気制御技術

ステンレス鋼、低合金鋼及び高炭素鋼等の高級鋼PICを対象に、電縫溶接時の夾雑物となりうる酸化物の生成を抑制するため、溶接時の加熱により生成する酸化物の量に及ぼす雰囲気中の酸素濃度、露点の影響を明らかにした。その結果を図3に示す。無酸化領域は酸素濃度は0.1%以下、露点は -30°C 以下であることを明らかにした。この条件を実機で実現するために、写真2に示すスクイズローラー型体のシール装置を考案した。

3.2.2 溶接入熱最適化技術

最適溶接条件は、入熱条件、溶接現象、溶接欠陥の関係を示すCPDダイアグラム (Condition-Phenomenon-Defect Diagram)により確認できる⁴⁾。PIC製造に当っては鋼種、サイズごとにCPDダイアグラムを実機により作製し、適正溶接条件を把握した。その一例を図4に示す。

3.2.3 溶接入熱制御技術

溶接現象監視装置と放射温度計を組合わせたフィードバック方式を採用した。更にプロセスコンピュータ(P/C)を導入して肉厚及び造管速度を用いた入熱補正計算を行い、高精度な入熱制御を実現した。その結果、溶接部品質を飛躍的に向上させることができた。

3.3 SR圧延技術

PICの特徴の一つとして、薄肉管(低 t/D)及び厚肉管(高 t/D)の製造が可能であることが挙げられる。薄肉管製造には、管内面側への屈折込みの、一方、厚肉管では肉厚精度不十分の技術課題があった。これに対し、SR圧延条件、スタンドごとの減面率パターン、孔型及び加熱温度等の最適化により広い寸法範囲のSR圧延を可能とした。

一方、鋼管を熱間でコイル状に巻き取る際、曲げ加工により曲げ半径方向に対し、水平方向への偏平、偏肉等の寸法精度の低下が見ら

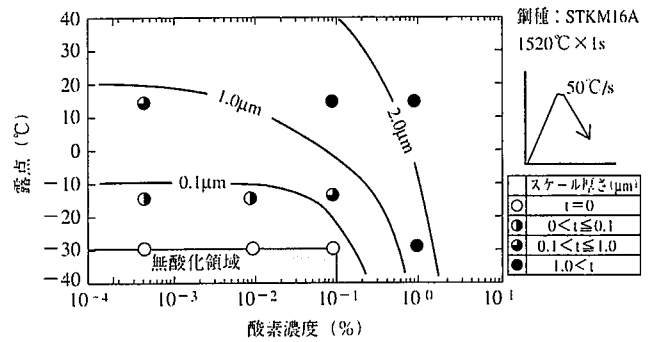


図3 誘導加熱時のスケール生成に及ぼす露点、酸素濃度の影響

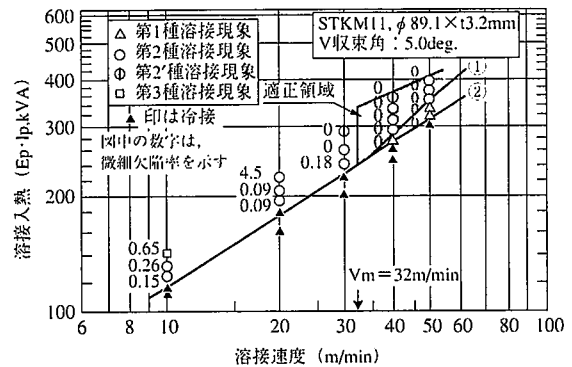


図4 炭素鋼のCPDダイアグラム

れる。これに対し、真円度を向上させるため、巻取り機直前に設置したピンチロールにより予め曲げ半径方向に対し垂直方向に偏平する与変形巻取り技術確立した。

3.4 全長品質保証技術

PICの主要品質として、溶接部性状、外表面性状、寸法精度及び材質特性がある。

溶接部性状は電縫溶接後の全長超音波探傷により、不良部を自動的に切断除去するシステムをとった。

外表面性状は、コイル状に巻取られたPICの外表面全長検査は極めて困難であるため、SR圧延と巻取り工程の間で検査する必要がある。これに対し、PICではHPMI (High Power Mutual Induction)方式による熱間渦流探傷技術を世界で初めて実機化し、従来困難とされてきたキューリー一点近傍での熱間渦流探傷を実現した。

また、寸法精度及び材質特性については、SR圧延条件、巻取り

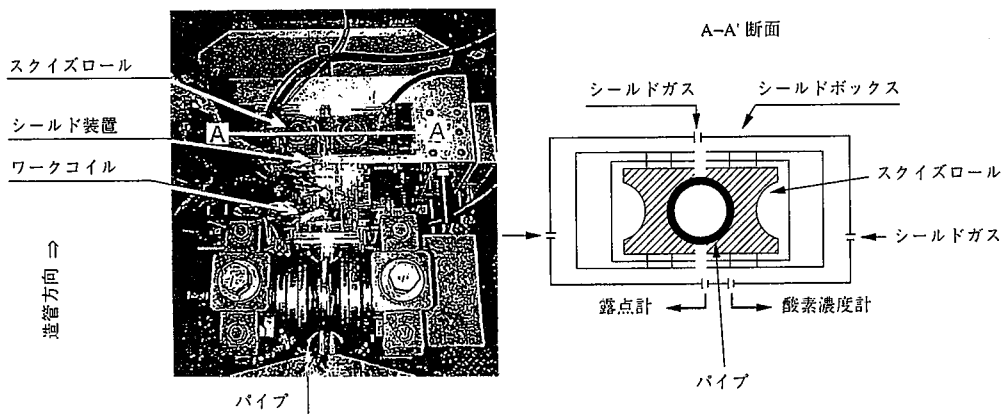


写真2 スクイズローラー型シール装置

条件の最適化及びS R圧延温度管理による工程保証に加え、両管端の寸法測定及び機械試験による代表検査により保証を行っている。

4. P I Cの二次加工技術

これまでP I Cの製造技術について述べてきたが、各利用分野毎にP I Cの超長尺の特徴を最大限に発揮できる各種二次加工技術の開発が不可欠である。以下に各種二次加工技術及び加工後の品質特性について述べる。

4.1 連続伸管技術

4.1.1 内面処理技術

鋼管の伸管加工においては、内外面のスケール除去、及び潤滑造膜処理が必要である。一般的に、直管の内外面処理は、酸洗、造膜等の各種処理槽に浸漬して処理されている。しかし、長尺コイル状鋼管の場合、外表面は浸漬法により可能であるが、管内面は残留空気により、全長にわたる均一処理が困難である。そこで、ポンプにより強制、連続的に順次処理液を圧送する方式の内面処理技術を開発した。その処理設備の模式図を図5に示す

この設備で処理されたP I C長手方向(600m)の造膜剤付着量を調査した結果の一例を図6に示す。造膜剤付着量は、長手方向に安定している。そのため、次工程の伸管加工を行う際に、極めて安定した引抜きを行うことが可能である。

4.1.2 フローティングプラグによる伸管技術

一般に伸管加工を行う方法としては、芯金引き、プラグ引き、フローティングプラグ引きがある。中でも、鋼管の伸管加工の大半は、プラグをロッドにより片持ちしたプラグ引きで行われている。しかし、長尺のコイル状鋼管を伸管加工する場合、ロッドの装入が極めて困難であるため、図7に示すような、ロッドを必要としないフローティングプラグによる伸管加工を行う必要がある。

フローティングプラグによる伸管加工理論では、幾何学的考察及び力学的考察によるフローティング条件、すなわち、プラグ、ダイスの設計諸元が提示¹⁾されている。しかし実際の伸管作業においては、素材、表面性状及び皮膜生成状態、あるいは工具表面性状等により、フローティングの平衡式を満足するプラグ、ダイスを使用しても、伸管に支障をきたす場合がある。そこで、数多くの伸管実験を行い、外径減少率と肉厚減少率の比と減面率で整理することにより、伸管可能領域を明確にした。その関係を図8に示す。この実験結果に基づき伸管パススケジュールを設計することにより、安定した伸管加工することができた。この方法でP I C(600m)を伸管加工した寸法性状は、一例を図9に示すように、JIS G 3445の公差を十分満足する。

4.2 連続矯正技術

従来、配管施工を行う場合、5～6mの鋼管を継手あるいは溶接により連結して、施工しているが、工期が長く、また溶接には熟練

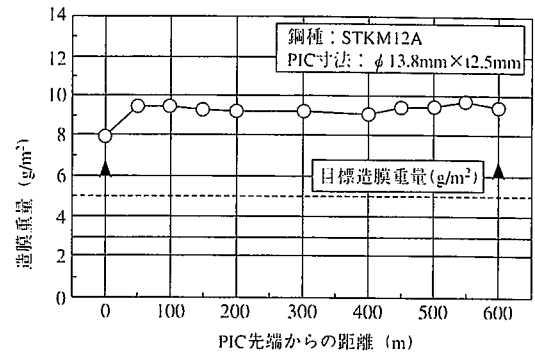


図6 P I C長手方向の造膜剤の付着量

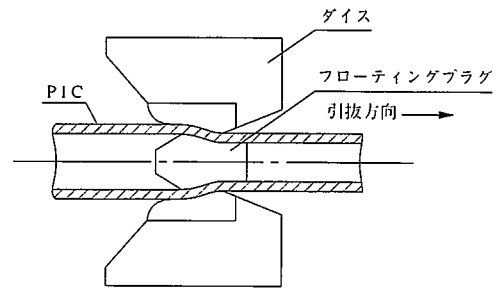


図7 フローティングプラグによる引抜き法

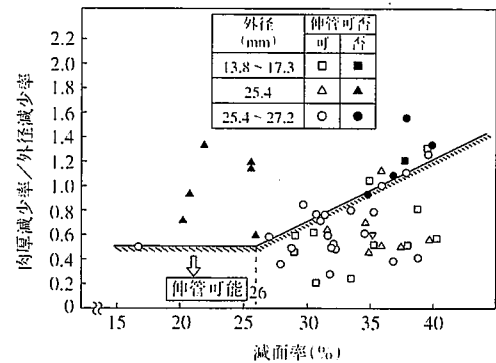


図8 伸管可能領域

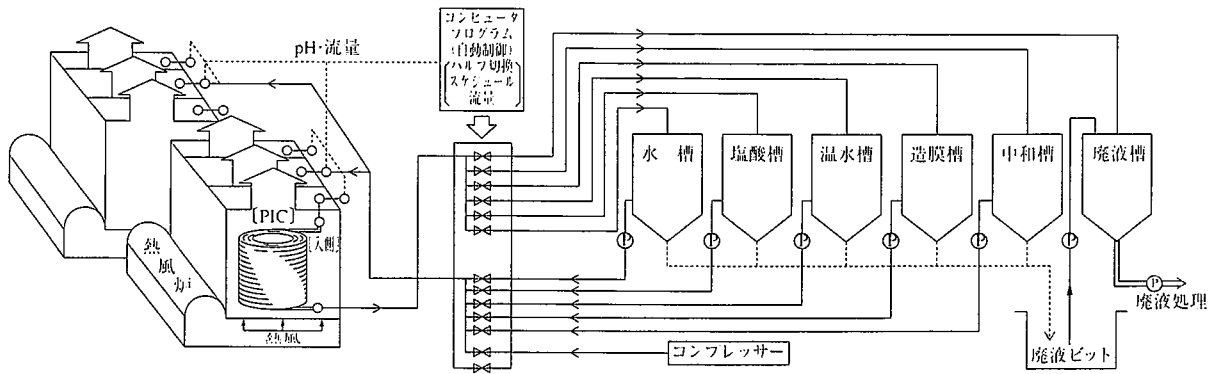


図5 P I C内面連続自動処理設備

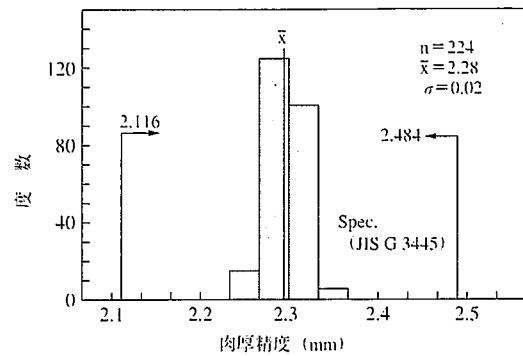
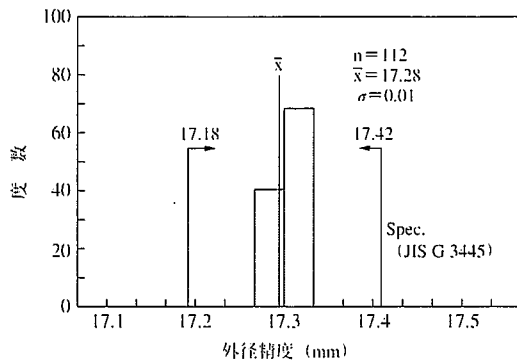


図 9 芯引き後の寸法精度の一例

を要する。特に、スケートリンク、プラント配管等で長尺の直線あるいは大曲率配管施工を行う場合、長尺直管の適用により、大幅な工期短縮が期待できる。そこで、P I Cを連続的に長尺の直管に矯正する技術を開発した。

開発した連続矯正機の装置を写真3に示す。鋼管を回転させずに矯正できるVHローラー矯正方式とした。また、管外径ごとに最適な矯正条件を与えられるように、ロール間隔を可変とし、加えて現地施工に対応するため、全長3m、重量約5tのコンパクト設計とした。また、繰返し曲げによる残留曲りのシミュレーションプログラムを開発し、ロール位置調整に熟練を要しない方式とした。

P I Cを連続矯正後の、10m間隔で曲がり精度、外径精度を測定した結果を図10及び図11に示す。矯正精度は一般的な直管の目標値である1mm/mを十分満足し、矯正後の外径もJIS G 3452の配管公差を十分満足している。

連続矯正加工技術を適用した一例を示す。写真4は400mのスケートリンク用冷凍配管に適用した例であり、溶接箇所が大幅に減少できた。

4.3 連続U曲げ技術

長尺配管用途の一つに、大型冷凍機等の蛇行パネルがある。従来では5～6mの鋼管を曲げ加工した後、中継ぎ溶接してパネルを製作していたため、長尺配管の場合と同種の技術課題があった。そこで、前述の連続矯正した長尺の直管を連続的にU曲げできる技術を開発した。

その連続U曲げ機の作動フローを図12に示す。矯正機により連続的に一定長さ送り出した鋼管を、二つのクランプ兼曲げダイスで曲げ加工する。曲げが終了すると同時に再度鋼管を送り、ベンドヘッドが反転し、反対方向の曲げを行う。以上の動作を自動で行うことができ、かつパネルの大きさは幅、長さとも最大3.5mまで自由に選択できる。

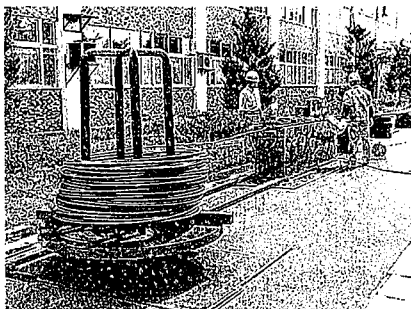


写真 3 連続矯正機の外観

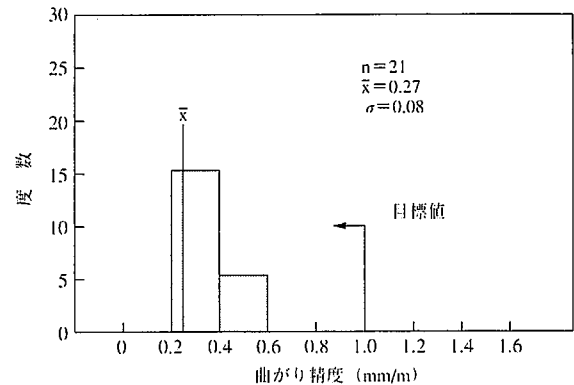


図 10 P I C 矯正後の曲がり精度

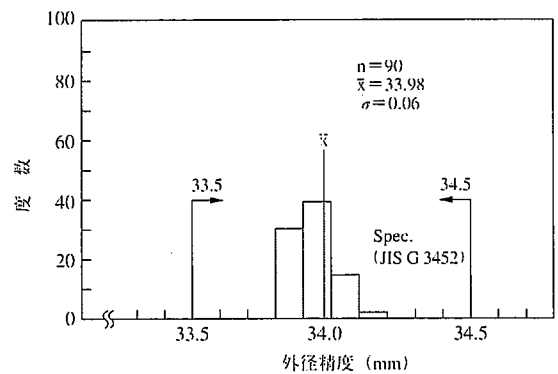


図 11 P I C 矯正後の外径精度

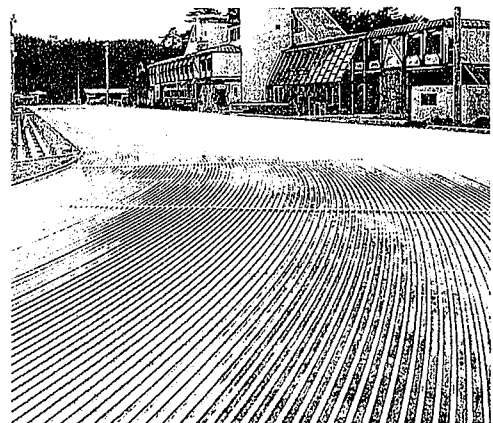


写真 4 スケートリンクの全景

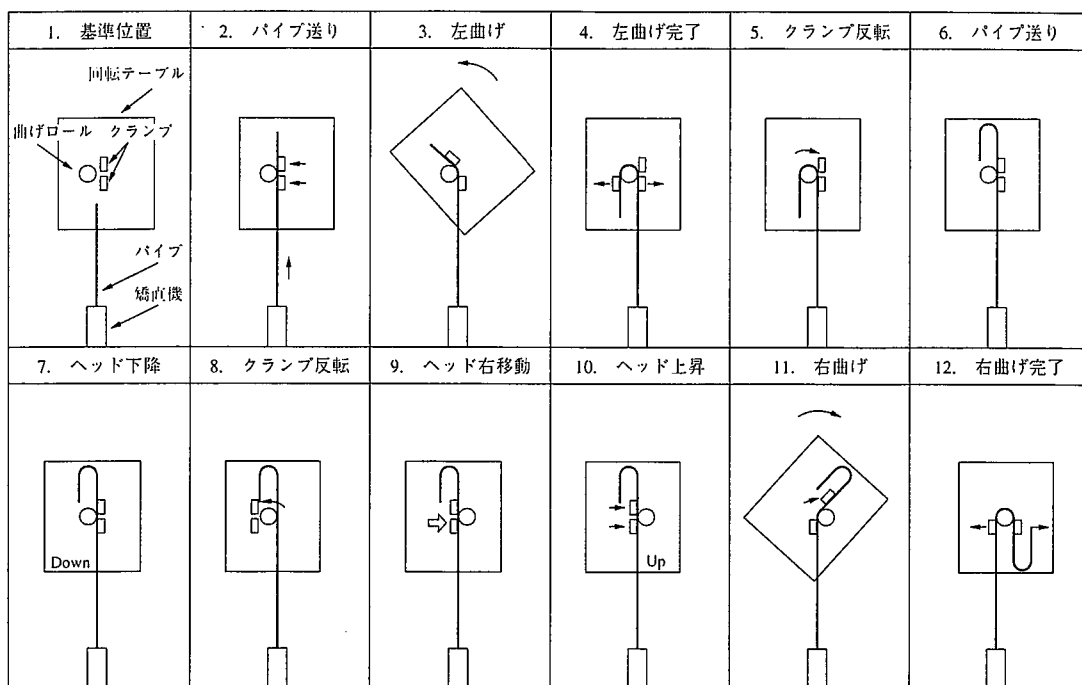


図 12 連続U曲げ機作動フロー

連続U曲げ加工技術を適用して製作した冷凍機の熱交換用蛇行曲げパネルを写真5に示す。

4.4 冷間鍛造性

従来、棒及び線材から冷間鍛造により機械部品等を製造する際に加工性の指標となる冷間鍛造性は、圧縮試験法⁶⁾により評価されているが、中空PIC単体で同一の試験を行うと、座屈が生じるため、そのまま適用することはできない。

そこでPICの切断試験片に中子を挿入した“中子付き試験片”を用いた端面拘束圧縮試験法⁶⁾を開発した。この評価法により、PICの冷間鍛造性を評価した結果の一例を図13に示す。SRままのPICは50%までの限界圧縮率を有し、更に球状化処理により、その限界圧縮率は棒線と同等水準の75%にまで高めることができる。

更に、その妥当性を剛塑性FEM⁷⁾を用いた冷間鍛造用鋼性能解析システム⁸⁾により解析し、PICの冷間鍛造性評価法⁹⁾を確立した。

4.5 PIC内面塗装技術

耐食性を考慮した各種加工部品への塗装方法としては、従来、スプレー塗装、浸漬塗装及び電着塗装等が行われている。しかし、PICのような長尺鋼管の内表面への塗装は、塗膜の均一性、密着性の

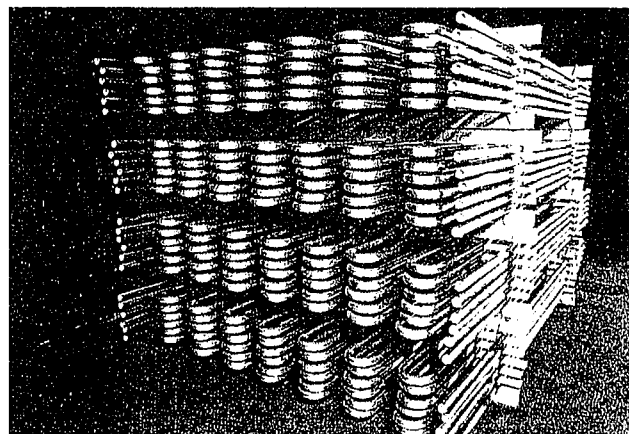
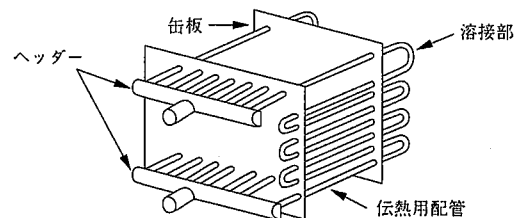


写真 5 冷凍機熱交換用蛇行配管の全景

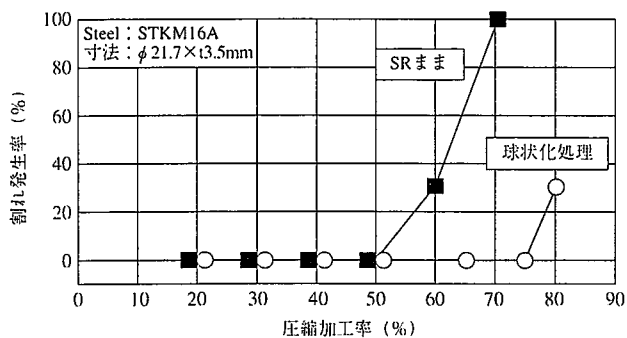


図 13 PICの圧縮加工特性

面から極めて困難であった。

そこで、化学反応により金属表面に塗膜を形成させる自己析出型水性コーティング法¹⁰⁻¹³⁾に着目し、長尺管内面性状、塗装液注入速度、水洗速度等の適正化により、内面防錆性能を高めたPIC内面塗装処理技術¹⁴⁾を確立した。

PIC内面への自己析出型水性コーティングは、図14に示す内面塗装装置で処理する。塗装処理後の塗装性状を写真6に、また、塗膜厚さ分布を図15に示す。直管部及びU曲げ加工した曲げ部について

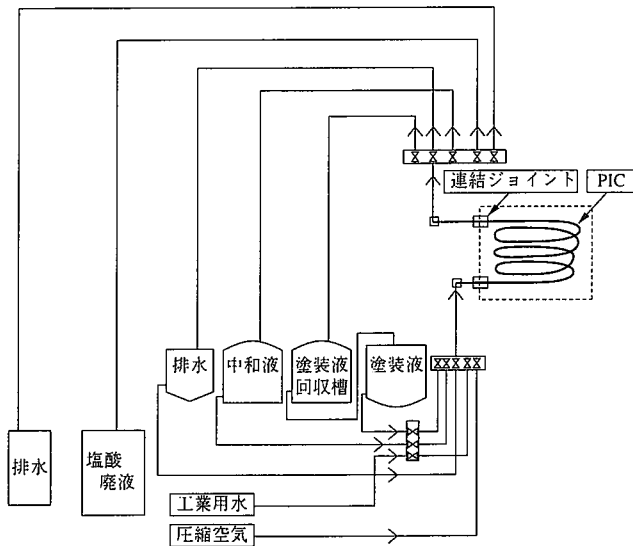


図14 PIC内面塗装装置の模式図

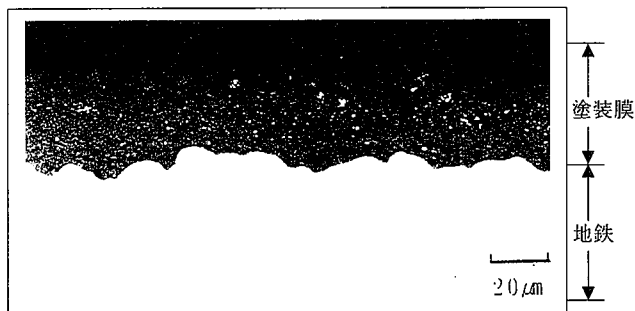


写真6 内面塗装処理後の塗膜性状

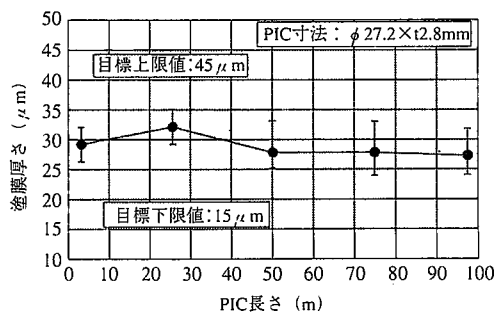


図15 内面塗装処理後の塗膜厚さ分布の一例

て、加速腐食試験としてのJIS Z2371に準拠した塩水噴霧試験（塗装部線状カット付き）の結果を写真7に示す。線状カット部以外の塗装部は発錆の兆候もなく、良好な耐食性を有する。

試験条件：塩水噴霧試験（5%NaCl, 600h）

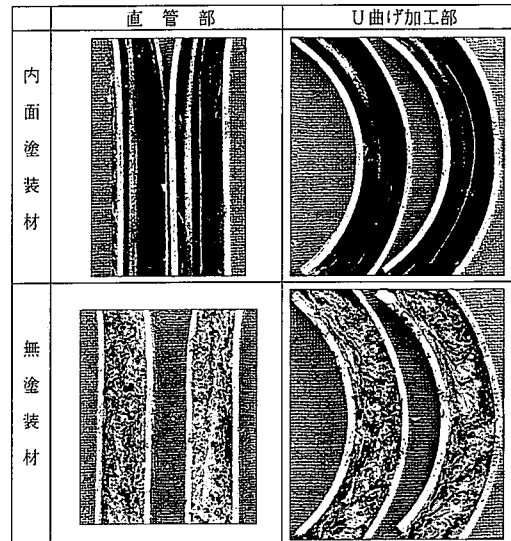


写真7 腐食試験結果

5. 結 言

小径電縫溶接鋼管製造プロセスと線材製造プロセスを結合させたPICは、各種の独創製造技術及び二次加工技術開発により、鉄鋼製品メニューの一つとして定着し、現在、累計25万tの生産を達成している。

今後、鉄鋼製品は、更に高品質、高付加価値化及び低コスト化が図られ、二次加工分野においても一層のコストダウンを目的として、連続加工化及び省工程化が進行すると考えられる。

PICは、その形状の特徴及び品質特性から、これらのニーズに対応可能な商品であり、現在、更なる新用途開発とそれに対応する加工技術開発をユーザーとの技術協力により推進中である。

参考文献

- 1) 小島久義：鉄と鋼。80 (9), 9, N458 (1994)
- 2) 田中淳夫：ふえらむ。1 (2), 102 (1996)
- 3) 萬ヶ谷鉄也（ほか）：材料とプロセス。3, 539 (1990)
- 4) 芳賀博世（ほか）：製鉄研究。3 (16), 34 (1984)
- 5) Pawelski, O. : Stahl und Eisen. 88 No.24 (1989)
- 6) 冷間鍛造分科会：塑性と加工。No.241, 139 (1981)
- 7) 森謙一郎，島進，小坂田宏造：機論A。45-392, 96 (1979)
- 8) 戸田正弘，三木 武司：塑性と加工。No.332, 971 (1988)
- 9) 戸田正弘（ほか）：第42回塑性加工連合講演会。1991, 479
- 10) Mcpherson, N. : Brit.Pat.1, 099, 461 (1968)
- 11) Steinbrecher, L., Hall, W. S. : U.S. Pat. 3,585,084 (1971)
- 12) Hall, W. S. : Journal of Water Borne Coatings. August (1978)
- 13) 畑野憲文（ほか）：塗装と塗料。No.526, 33 (1994)