

24インチ中径電縫鋼管新成形機の設置

Outline of New Forming Mill for Hikari 24" ERW Mill

谷 本 道 俊 ^{*(1)} Michitoshi TANIMOTO	川 田 勇 ^{*(2)} Isamu KAWATA	外 川 修 ^{*(3)} Osamu SOTOKAWA	中 治 智 博 ^{*(4)} Tomohiro NAKAJI
萬ヶ谷 鉄 也 ^{*(5)} Tetsuya MAGATANI	津 留 英 司 ^{*(6)} Eiji TSURU	三 村 裕 幸 ^{*(7)} Hiroyuki MIMURA	中 村 正 法 ^{*(8)} Masanori NAKAMURA

抄 録

新日本製鐵光24インチ中径電縫鋼管工場では、従来、薄肉鋼管の成形性に比較的優れ、組替え時間短縮化等で有利なケージロール成形法を採用してきた。しかしながら近年、市場ニーズが極薄肉鋼管や高変形能鋼管に代表されるように高度化し、それに柔軟に対応できる製造体制を確立する必要が生じたために、新成形機を設置することとした。新成形機立ち上げ後の操業において、薄肉鋼管の製造の安定化、寸法精度の向上、高変形能の確保およびロール組替え時間の短縮等計画通りの効果を確認した。

Abstract

Nippon Steel Hikari 24" ERW Mill had employed the cage roll forming mill for long time to get the advantage for producing thin-walled pipes and saving the time for roll-exchange. However, a new forming mill is desired for meeting the recent market needs, such as pipes with ultra-thin wall-thickness and/or high formability. We remodeled the forming process in 24" ERW Mill and got the planned results: stable manufacturing of ultra-thin-walled pipes, high dimensional accuracy and high formability of pipes, and saving the time for roll-exchange.

1. 緒 言

新日本製鐵は外径10.5mmから609.6mmまでの電気抵抗溶接鋼管(以下電縫鋼管と略す)を計7ラインで製造している。光鋼管部の24(609.6mm径)中径電縫鋼管工場(以下光24"ミルと略す)は、その中でも製造可能外径が最も大きく、ラインパイプを主として製造しているミルである。本ミルは、1958年に14(355.6mm径)ミルとして建設され、その後市場の変化に対応するため種々の改造および開発を行ってきた。

近年、ラインパイプに対する市場のニーズは、極薄肉鋼管や高変形能鋼管に代表されるように益々高度化する傾向にある。新日本製鐵では、このような要求に対応するためには成形機の改造が必要と判断し、2003年秋に新成形方式ミルの設置工事を行った。

本報では光24"ミルにおける新成形機設置の計画概要および実操業で検証された効果について紹介する。

2. ラインパイプの市場ニーズ

ラインパイプに要求される市場ニーズのうち、成形方法に係るものとしては以下が挙げられる。

(1) 大径薄肉高強度鋼管の需要拡大

天然ガス等の輸送効率を向上させるには、大径パイプラインでの高圧輸送が有効な手段であり、従来から材質の高強度化が進められてきた¹⁾。また、一方では、高強度材をさらに薄肉化して材料コストや溶接コストを低減しようとする動きがある。

(2) 高強度および高変形能の両立

ラインパイプは地中あるいは海底などに敷設されるため、地震等による変形で局部的に破壊した場合、復旧に莫大な費用を要する。そのためラインパイプには耐局部屈特性、即ち高変形能が要求される²⁾。その簡易評価指標としては降伏比(降伏強度YS/引張強度TS、以下YRと略す)が用いられ、よりYRの低い材料が求められる。一般的に材料は高強度化すればするほどYRが高くなる傾向にあるため、高強度ニーズが拡大する中、“高グレードのラインパイプを低YRで”との市場要求を満足させることは容易ではない。YRは材質のみならず、成形時の加工硬化にも影響するため、低YR鋼管の実現には低ひずみで成形する技術が重要となる。

3. 光24"ミルの設備改造の変遷および新成形法

光24"ミルの製造工程を図1に示す。電縫鋼管は、平らな帯鋼が

*⁽¹⁾ 鋼管事業部 光鋼管部

山口県光市大字島田3434 〒743-8510 TEL:(0833)71-5079

*⁽²⁾ 環境・プロセス研究開発センター プラントエンジニアリング部 調査役

*⁽³⁾ 環境・プロセス研究開発センター プラントエンジニアリング部
マネジャー

*⁽⁴⁾ 鋼管事業部 光鋼管部 マネジャー

*⁽⁵⁾ 鋼管事業部 光鋼管部 電縫鋼管工場長

*⁽⁶⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員 工博

*⁽⁷⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員

*⁽⁸⁾ 鋼管事業部 光鋼管部長

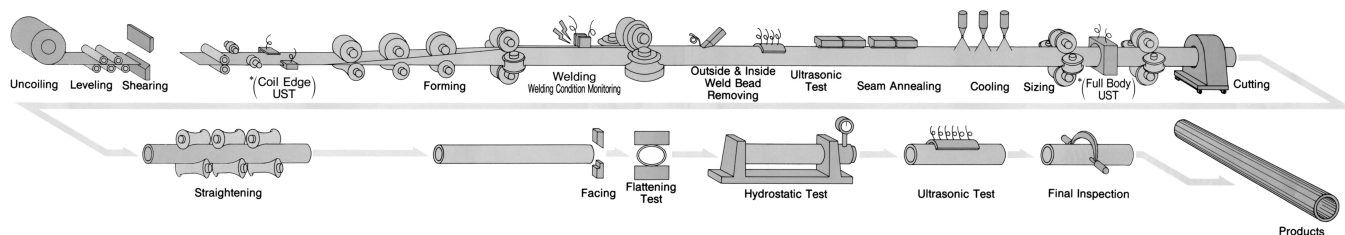


図1 光24 "ミルの電縫鋼管製造プロセス
Manufacturing process of NSC Hikari 24 " electric-resistance-welded (ERW) pipe mill

表1 光24 "ミルの設備改造の変遷^{3,4)}
History of manufacturing facilities of NSC Hikari 24 " ERW mill

Year	Forming	Size range		Welding	Non-destructive inspection	Others
		Outside diameter	Thickness			
1958	Step roll forming mill	14 "(355.6mm)max.	0.5 "(12.7mm)max.	Low frequency welder		
1960s		16 "(406.4mm)max.		High frequency welder		Seam annealer
1970s		24 "(609.6mm)max.	0.63 "(16.0mm)max.		Seam UST, rotary UST	
1980s	Cage roll forming mill		0.75 "(19.1mm)max.			Computer-aided quality Control system Seam QT equipment
1990s			0.87 "(22.0mm)max.	Replacement of welder	Replacement of seam UST, rotary UST	
2000s	Flexible forming mill					

Note: UST = Ultrasonic Tester, QT = Quenching and Tempering

連続的に円形に成形され、突き合わせ部が溶接された後、非破壊検査および水圧試験などを経て製品として出荷される。化学成分も含めた帯鋼の材質、成形技術、溶接技術および非破壊検査が特に電縫鋼管の品質を左右する要の技術である。

光24 "ミルの設備改造・開発の変遷^{3,4)}は、表1に示すように製造可能範囲の拡大とともに、これら要の部分に集中している。特に成形法に関しては、1984年に孔型ロール成形法(Step Roll Forming)からケージロール成形法(Cage Roll Forming)に変更し、そしてフレキシブルフォーミング法(Flexible Forming : FF)に変更した。

以下に、従来成形法の特徴および新成形法に至るまでの経緯について記述する。

3.1 孔型ロール成形法

光24 "ミルが当初採用していた孔型ロール成形法は、孔型ロールによる段階的成形法である。図2に1976年に製造可能範囲を外径24 "まで拡大した後のスタンド構成を示す。ロールの段数が多く、外径、肉厚が変われば孔型ロールを交換しなければならないため、ロール組み替えおよび調整に時間を要するとともに、ロール保有場所確保等に問題があった。また、薄肉鋼管の成形時にはスプリングバックが生じやすく、成形ひずみ量が大きくなり、材料の加工硬化が生じてYRが高くなることも課題であった。そこで以下に述べるケージロール成形法に変更した。

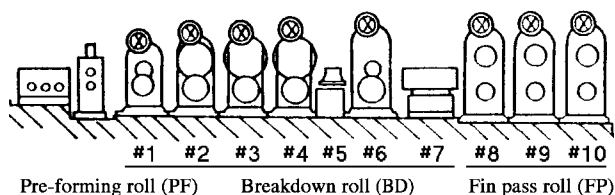


図2 1976年頃の光24 "ミルの孔型ロール成形方式ロール構成³⁾
Step roll forming mill of NSC Hikari 24 " ERW mill in 1976

3.2 ケージロール成形法

ケージロール成形法は、1960年代後半から中径鋼管用ミルとして開発され、ケージロールと呼ばれる外面に多数並べた小型ロールで滑らかに成形していくところに特徴がある。光24 "ミルで採用していたのは、中間成形部をケージロールに置き換えた方式である。図3にスタンド構成を示す。ケージロールは52個の小型ロールから成るが、全サイズで共用できるため、ロール組替え時間が大幅に短縮された⁴⁾。また、成形方式変更に当たっては、初期成形部もWバンド方式に変更しており、ケージロールで滑らかに成形することと併せ、薄肉鋼管製造時のエッジ成形ひずみ量が低減できた⁴⁾。

1984年の成形方式変更以降、これらの効果は有効に発揮されてきたものの、依然としてブレイクダウン(Breakdown : BD)ロールは組み替えが必要である、およびBDの圧延成形により加工硬化が起きYRが高くなるなどの課題が残されていた。前述のラインパイプ市場ニーズに柔軟に対応して行くためには、成形機の方式変更が必要と判断し、次節に述べるFF法をベースにした新成形機の設置を検討することとした。

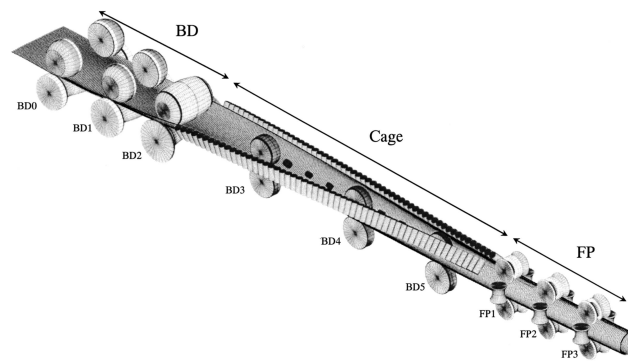


図3 光24 "ミルの旧成形方式(ケージロール方式)のロール構成
The former forming mill (cage roll forming mill) of NSC Hikari 24 " ERW mill

3.3 FF法およびFF法をベースにした新成形機の検討

FF法は我が国で開発された最新成形法で、その特徴は以下の通りである^{5,6)}。

(1) 製品外径の全ての曲率を含むインボリュート曲線を導入したロールプロフィール：図4に示すように、製品の外径、肉厚に応じた最適な曲率の点で板を拘束して成形できるため、薄肉鋼管では余計な変形が加わらず低ひずみ成形が可能になる。

(2) ロールの設定位置を任意に変更できる機構：上下、回転等、非常に自由度の高い移動機構を備えており、図5に示すように、ロールの位置移動のみで小径から大径までを作り分けられるためにロール交換不要である。スタンドはロールを支持できる頑強な構造となっている。

(3) 数値制御システム：上記の位置調整が自動で行えるために調整時間の短縮が可能となる。また、成形条件は一式でコンピューターに記憶できるので、過去の成形条件も瞬時に再現できる。

ただし、これまでのFFミルの製造実績は16"までにとどまっております、24"のような大径サイズへの適用に際しては、ミル剛性確保と可変ロール適用によりもたらされる広範囲でのサイズ共用性の両立等の技術課題が生じる。これに対して、光24"ミルでは以下のような検討を行った。

な検討を行った。

まず、有限要素法によりロールスタンド各部の応力解析を行って最も弱くなる部分を特定した後、反力を分散して全体として十分な剛性を持たせたスタンド構造を設計した。また、低ひずみ成形がYRに及ぼす効果も解析した。図3に示したケージロール方式および図6に示す新成形方式の両方について、ロール毎に有限要素解析モデルを構築して、各種製造寸法での各ロール成形でのひずみ増分を求めた。図7に、溶接部より180°反対側の位置における円周方向の成形ひずみ量の変化を解析した例を示す。ケージロール方式に比べ、新成形方式では相当塑性ひずみが40%程低下することにな

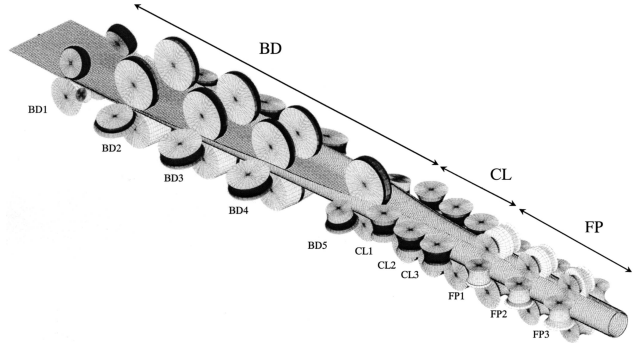


図6 検討した新成形方式(FF法)のロール構成
The new forming mill (FF mill) used for the study

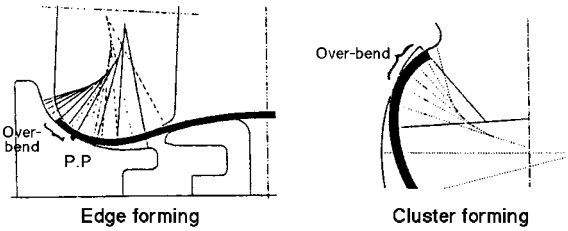


図4 インボリュート曲面による成形⁵⁾(PP:pinching point)
Forming by rolls with involute profiles

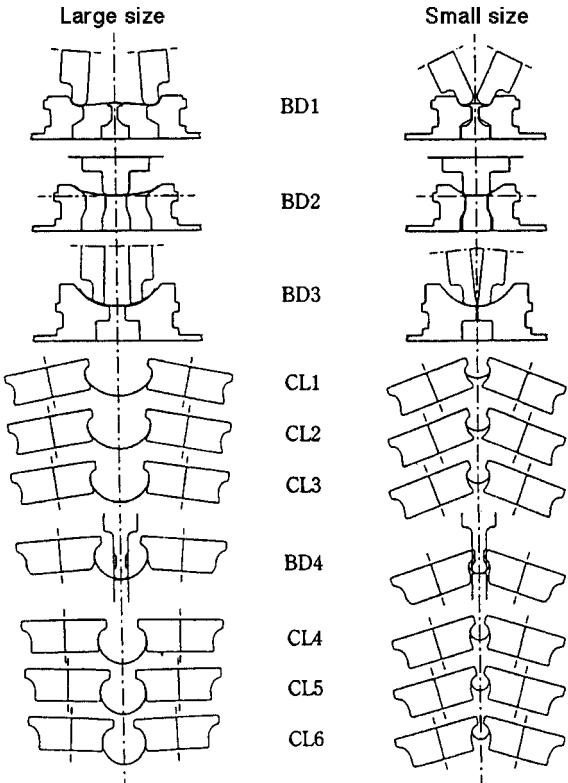
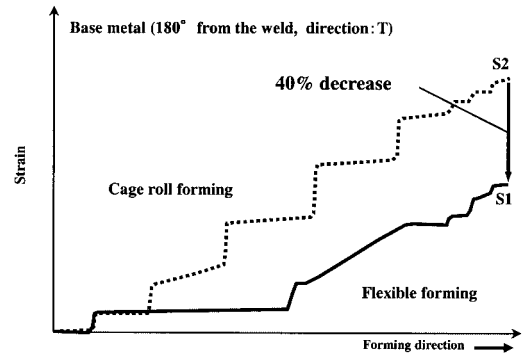
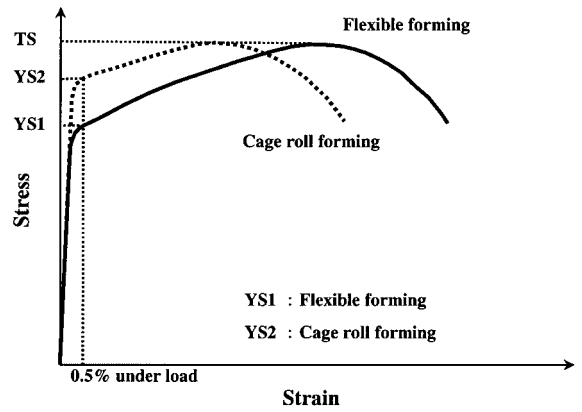


図5 標準的FFミルのロール構成⁵⁾(CL:cluster roll)
A typical roll set of flexible forming mill



(a) Forming strain



(b) Yield strength

図7 有限要素法により予測される成形ひずみ量とYSの変化
Comparison of calculated forming strain and yield strength of pipes between the cage roll forming mill and the new forming mill

り、造管後のYSが低下することがわかる。TSはどちらの方式でも同じなので、結果としてYRが低下することになる。

以上の解析結果を基に、新成形機の導入を決定した。

4. 新成形機導入の効果

写真1に光24”ミルに導入した新成形機の外観を示す。

以下、操業において検証した導入効果の例を示す。

4.1 薄肉鋼管製造の安定化

写真2に新成形機にて製造した鋼管の一例を示す。新成形機の導

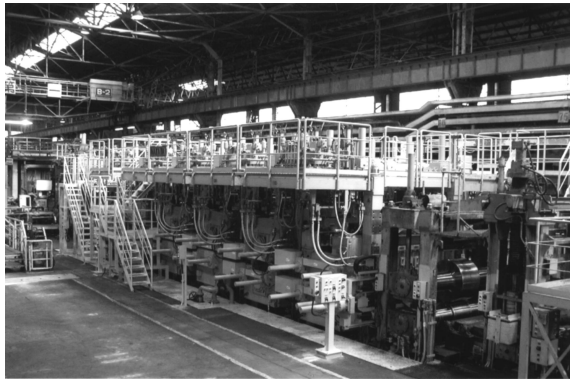
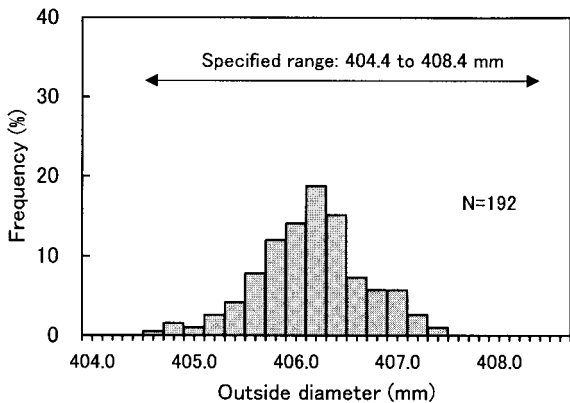


写真1 新成形機外観
Appearance of the new forming mill



Left: 609.6mm × 6.0mm (24" × 0.24") t/D = 1.0%,
Right: 609.6mm × 22.0mm (24" × 0.87") t/D = 3.6%

写真2 新成形機により製造したパイプの例
Examples of pipes manufactured by using the new forming mill



(a) The former mill (cage roll forming mill)

入によりサイズ毎に適切な成形状態が実現できるようになった結果、写真2の左側に示す厚さt/径D=1.0%のような従来困難であった極薄肉鋼管が製造可能となった。

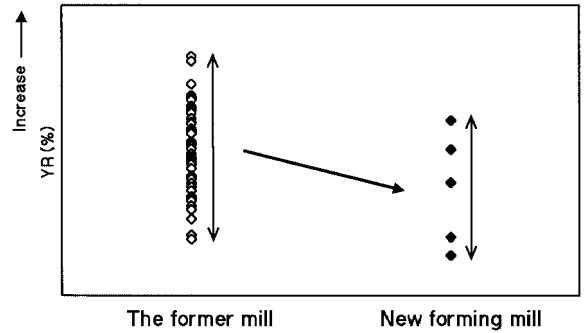
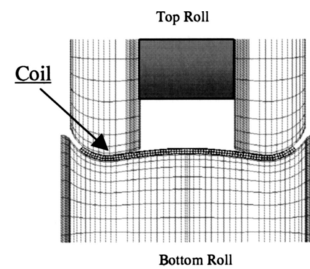
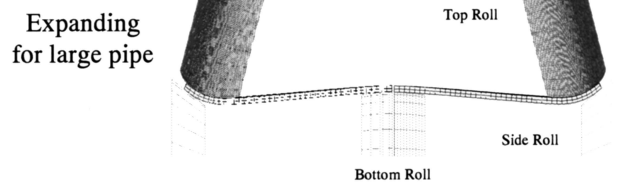
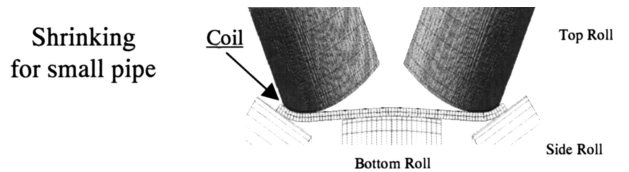


図9 成形機改造前後におけるYRの比較例
Change in yield ratio of pipes by introducing the new forming mill

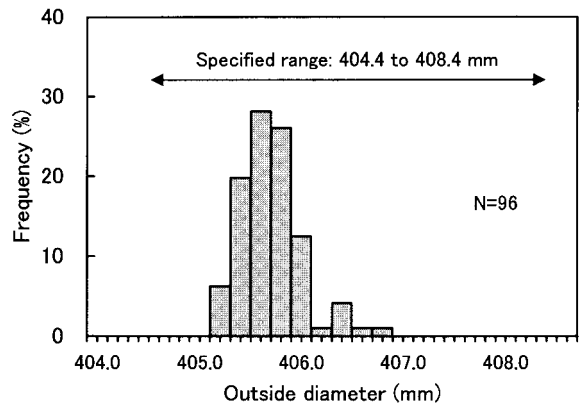


(a) Cage roll forming: fixed rolls



(b) Flexible forming: flexible rolls

図10 BDロールのサイズ変更方法の比較
Comparison of the way of changing of breakdown roll size between the former mill and the new forming mill



(b) New forming mill (flexible forming mill)

図8 外径精度改善例 406.4mm × 16.0mm (16" × 0.63")
Examples of improvement in the distribution of outside diameter

4.2 寸法精度の向上

また、薄肉から厚肉まで安定した成形状態を実現することができたことにより、寸法精度も向上した。図8に例を示すように、外径のばらつきが小さくなっており、真円度の向上も期待できる。

4.3 高変形の確保

図9に、新成形機導入前後でのYRの変化を示す。従来よりもYRが低下する傾向がみられる。

4.4 生産性の向上

図10に従来成形機と新成形機のサイズ変更方法の違いを示す。従来は、サイズ変更に伴って図3に示すBD0からBD5までのロール交換を実施していたが、新成形機ではBD1からBD5までが可動ロールとなり、BD工程でのロール交換作業が不要となった。その結果、サイズ替えに要していた時間を大幅に低減できる見通しが立つとともに、ロール保有数も大幅に削減できた。

5. 結 言

極薄肉鋼管および高変形能鋼管等に代表されるラインパイプ市場ニーズのさらなる高度化に対応するため、光24"ミルにFF法をベースにした新成形機を設置した。その結果、薄肉鋼管製造の安定化、寸法精度の向上、高変形能の確保およびロール組替え時間の短縮等、計画通りの効果が発揮できることを操業において確認した。

参考文献

- 1) 木村文映:配管技術. 増刊号, 19(2002)
- 2) 鈴木信久:配管技術. 増刊号, 43(2002)
- 3) 村松茂樹ほか:製鉄研究. (297), 94(1979)
- 4) Shibano, H. et al.:Proc. 3rd Int. Conf. on Steel Rolling, Tokyo, ISIJ, 1985, p.280
- 5) 中田勉:塑性と加工. 38(443), 1061(1997)
- 6) 木内学:塑性と加工. 38(443), 1051(1997)