「CBR 成形ミル」による高品質・高加工性 電縫鋼管のフレキシブル高生産技術の開発

豊岡 高明^{*1)} 小野田義富^{**} 橋本 裕二^{*2)}
板谷 進^{*3)} 郡司牧 男^{*4)}

1. 開発の背景と狙い

自動車産業では、昨今の地球環境問題から排ガスのクリーン化や燃費向上が推進され、排ガスシステム用材料の軽量化とステンレス化が急速に進められている。このような背景の中で、エキゾーストマニホールドやエキゾーストパイプなどの部品にステンレス電縫鋼管が使用されるケースが増えてきた。特に、エキゾーストマニホールドは狭いエンジンルーム内に配置されるため、曲げ、拡張などの厳しい加工が行われる。したがって、パイプの加工性が高温強度、耐酸化性と並んで重要な特性となる。

電縫鋼管は、鋼帯を連続的に供給して成形ロールで円形状に成形した後、この円形素管の両縁部を高周波溶接して製造される。電縫鋼管のロール成形技術は、帯板をどのように曲げていくかを定める成形フラワー（ソフト技術）とその成形フラワー通りに帯板を成形する成形設備（ハード技術）の二つの技術よりなる。近年、ロールのサイズ兼用化を狙ったフレキシブルミルが開発⁽¹⁾されてきているが、ロールの兼用範囲を拡大しようとすると帯板の成形性および高周波溶接品質の低下を招き易い。特に、ステンレス鋼は、物理特性の違いにより炭素鋼以上に成形・溶接が難しいため、ロール兼用と製品品質の両立が困難であった。

本開発の目的は、ロールのサイズ兼用化と2律背反的な関係にある製品品質（溶接品質および2次加工性能）の向上を同時に達成し、パイプの熱処理を実施しなくても厳しい加工に耐えることができる低コスト・ステンレス電縫鋼管の高

生産製造プロセスを開発することにある。

当社では、ステンレス電縫鋼管の製管法において、これらの要求特性を同時に満足するため、①独自の張出し成形フラワー（ソフト技術）、②ケージロール成形方式によるロールのサイズ兼用化技術（ハード技術）、③高精度ロールセットアップ技術からなる電縫鋼管の新成形プロセス[CBR (Chance-free Bulge Roll) 成形ミル]を開発し、実用化した。

2. 本技術の特徴

(1) 成形フラワー

図1に、CBR成形法の成形フラワーを従来成形法と比較して示す。CBR成形法は、エッジベンドロールにより帯板両エッジ部を予め成形した後、センターベンドロールとケージロールとにより帯板中央部を曲げ成形して縦長の小判型の素管を作る。次いで、フィンバスロールにて、管円周方向の4箇所を一旦オーバーベンドした後に縦径を圧縮することにより管サイド部の張出し成形とオーバーベンド部の曲げ戻し成形を行い円形素管に仕上げることを特徴とし、従来の帯板全体を徐々に円弧に曲げていくサーキュラーベンド方式と異なる。

この特徴あるフィンバス張出し成形フラワーを採用することにより、溶接品質面では、図1に示すようにエッジの突

図1 成形フラワーの比較。

* 川崎製鉄株式会社
鉄鋼開発・生産本部技術研究所: 1) 鋼管研究室長 2) 研究員
知多製造所: 3) 設備部主査 4) 溶接管・鋳造部主査
** 山梨大学教授; 工学部機械システム工学科
Development of Flexible High Production Technique for High
Quality and Excellent Formability ERW Tube by CBR Form-
ing Mill; Takaaki Toyooka*, Yoshitomi Onoda**, Yuuji
Hashimoto*, Susumu Itatani*, Makio Gunji* (*Kawasaki Steel
Corporation. **Yamanashi University)
1995年1月31日受理

合せがI型の状態でフィンパス成形後のエッジの開口幅 W_F 、すなわち溶接直前のエッジの開口幅(Vシェイプ角度)を大きくすることができ、高周波溶接が安定すること、また張出し成形によりロールフランジ部の接触圧力が低減するため、ロール潤滑を行わなくてもロール疵の発生が抑制でき、溶接部の清浄化が図られること、などにより大幅な溶接品質の向上が達成できる(2)。

(2) 成形設備

① ミルレイアウト

CBR 成形ミルのライン構成を図2に示す。成形スタンドの配列は、上流成形からエッジベンドロール(EB)、センターベンドロール4段(1CB~4CB)、フィンパスロール2段(1F, 2F)、ロータリーシームガイドロール(RSG)、スクイズロール(SQ)の構成であり、1CB出側から1F入側までの範囲はケージロール成形域(CR)となっている。ステンレス電縫鋼管製造用 CBR 成形ミルの製造可能範囲は、外径 22.2~60.5 mm、板厚 0.6~3.0 mm であり、従来成形ミルでは成形が困難であった板厚 0.6~0.8 mm クラスの極薄肉パイプの製造も可能である。成形速度は最大 100 m/min である。

② ロールのサイズ兼用技術

センターベンド(CB)ロールとケージロール(CR)によるサイズ兼用方法を図3に示す。CB ロールは左右に分割された

図2 CBR 成形ミルのスタンド構成(2" ステンレス電縫鋼管ミル)。

図3 センターベンドロールおよびケージロールの管サイズ兼用方法。

ツイン型のロール構造とし、板厚・外径サイズに応じてロールの幅方向および圧下方向の調整を行い、また、CR の位置調整を行い帯板中央部の曲げ形状を制御する。CB ロールのロール幅調整装置は、拡張スリーブをロール内に内蔵し、油圧によりロール軸に固定する方法を開発・採用した。これにより、従来行っていたロールスペーサーの交換を不要とした。

③ 高精度ロールセットアップ技術

CB ロールスタンドおよび CR スタンドの断面図を図4に示す。各成形スタンドには、エアシリンダーによる機械系のバックラッシュ吸収機構を採用し、ロードセルおよびロール位置センサーを装着した。これらのハードを活用し、所定プリロードをかけた状態でプリセットを行い、高精度なロールセットアップを可能とした。さらに、CB ロールスタンドは、従来ミルでは例を見ないワンフレーム一体構造とし、フレームごとの一挙の交換を可能とし、ロール交換時間の短縮を図った。

以上のハード技術の開発によりステンレス電縫鋼管の製造における上流成形で保有するロールを従来の 1/5 に減少させ、ロール替え時間およびロール調整時間を 1/10 以下に短縮するとともに、高品質のステンレス電縫鋼管の成形・溶接を達成した。

3. 排ガス用ステンレス電縫鋼管の特性

(1) 材料の加工硬化抑制

CBR 成形ミルにおけるケージロール成形域の素管の成形状態を図5に示す。写真は材料が中止めの状態で上センターベンドロールスタンドを取り外し撮影したものである。CBR 成形ミルでは、ケージロール成形方式を採用し、帯板

図4 センターベンドロールおよびケージロールスタンドの断面図。

図5 ケージロール成形域の帯板の成形状態。

図6 自動車排ガス用ステンレス未焼鈍電縫鋼管の製品伸び特性の比較。

のエッジ部を短い間隔で連続的に拘束することにより、断面形状を滑らかに変化させて帯板への付加的歪を必要最小限に抑えたこと、また、張出し成形の適用によりフィンパス工程以降の管周長絞り量(リダクション)を従来の1/2以下に減少させること⁽³⁾により、造管時の材料の加工硬化が抑制され、図6に示すような高い伸び特性を有するステンレス電縫鋼管の製造を可能にした。

(2) 製品2次加工特性

CBR成形法では、低歪造管による大幅な製品伸び特性の向上により、未焼鈍パイプの2次加工性能が従来成形法の製品に比べて大きく向上した。

回転引曲げ方式による90°曲げ加工試験では図7に示すように、一般的に加工性の悪いSUS436J1L鋼(17%Cr-0.5%Mo-0.4%Nb)においても、CBR成形材では曲げ部の減肉が小さく、従来成形材のSUH409L鋼(11%Cr-0.2%Ti)と同等もしくはそれ以上の加工性能が得られた。SUH409L鋼は、図8に示すような曲げ半径30mmの極めて厳しい曲げ加工も可能になった。

4. 結 言

CBR成形ミルの開発・導入により、高品質ステンレス電縫鋼管の安定製造が可能となり、当社従来ミルとの比較にお

図7 自動車排ガス用ステンレス未焼鈍電縫鋼管の曲げ加工特性の比較(φ38.1mm×t2.0mm, 55mm R-90°)。

図8 自動車排ガス用ステンレス未焼鈍電縫鋼管の曲げ加工後の外観(φ38.1mm×t2.0mm, SUH409L)。

いて、造管歩留りの向上16.5%、稼働率の向上14%、生産性の向上3倍を達成し、大幅なコストダウンが図られ、現在、炭素鋼と同等以上の操業成績を上げている。

5. 技術供与、将来性および特許

本技術は、1991年に電縫鋼管ミル製造メーカーの日下部電機㈱に技術供与し、1995年に国内大手電縫鋼管製造メーカーに第2号機が導入された。現在も数件の引き合いがあり、今後、CBR成形ミルの普及および本ミルによる高加工性パイプの使用量の増加が期待される。さらに、本技術の開発は冷間ロール成形分野の研究活動の活性化と今後の同技術の発展に寄与するものと考えられる。特許は、登録された6件を含め、国内25件、国外4件の出願を行っている。

文 献

- (1) T. Nakata: ITA International Conference & Exposition, Philadelphia (USA) Sept., (1987).
- (2) 豊岡高明ら: 川崎製鉄技報, 22, No. 4(1990), 236.
- (3) 豊岡高明ら: 川崎製鉄技報, 25, No. 2(1993), 105.