
自動車エキゾーストマニホールド用ステンレス電縫鋼管の品質

Quality of ERW Stainless Steel Pipe for Automotive Exhaust System

新司 修 (Osamu Shinshi) 板谷 進 (Susumu Itadani) 豊岡 高明 (Takaaki Toyooka)

要旨：

自動車排ガス装置のステンレス化に対応すべく高品質のステンレス電縫鋼管を製造できる新成形法ミル（C B R 成形ミル）を開発し、工程生産を開始した。新成形法の採用により、成形面ではロール底の解消および付加的成形歪の軽減による成形材の加工硬化抑制を図った。設備面では、圧下ロールバックラッシュ吸収機構およびプリロード+プリセット機能を付し、寸法精度の向上および溶接前エッジ変動の激減を図った。操業上は、ガスシールド溶接技術に加え、新たに完全無水・無潤滑造管を行い溶接品質の向上を達成した。その結果、製品のパイプの曲げおよび拡張加工性は著しく向上し、38.1mm ϕ $\times$ 2.0mm t（R409L，未焼鈍材）で30mm R（約0.8 $\times$ 外径）曲げ加工が可能となった。

Synopsis：

In order to respond to the tendency towards stainless steel exhaust pipe, Kawasaki Steel Corp. has developed a new forming process and mill, i.e., a CBR forming mill. It has been operating satisfactorily at Chita Works. This process is characterized by features mentioned below. In forming, flexibility of forming rolls, scratchless forming and reduction of work-hardening of material have been achieved by adopting a new forming process. In the mechanism of the mill, new roll pre-setting with pre-loading and the balance system of rolls has also been developed, so that high dimensional accuracy of pipe has been achieved and variation of edges of the formed sheet before welding has also been decreased. In welding, gas shielded welding without cooling water and a lubricant has been possible. Consequently, high quality ERW stainless steel exhaust pipe, which has excellent formability in bending and expanding, has been satisfactorily produced in the CBR forming mill. For example, R409L as-welded stainless steel pipe of 38.1mm ϕ $\times$ 2.0mm t was capable of being bent into 30mm R (0.8 $\times$ OD).

(c)JFE Steel Corporation, 2003

自動車エキゾーストマニホールド用 ステンレス電縫鋼管の品質*

川崎製鉄技報
25 (1993) 2, 105-111

Quality of ERW Stainless Steel Pipe for Automotive Exhaust System



新司 修
Osamu Shinshi
知多製造所 製造部鋼
管技術室 主査(掛長)



板谷 進
Susumu Itadani
知多製造所 設備部設
備技術室 主査(掛長)



豊岡 高明
Takaaki Toyoka
鉄鋼研究所 鋼材研究
部鋼管研究室 主任研
究員(課長)

要旨

自動車排ガス装置のステンレス化に対応すべく高品質のステンレス電縫鋼管を製造できる新成形法ミル (CBR 成形ミル) を開発し、工程生産を開始した。新成形法の採用により、成形面ではロール疵の解消および付加的成形歪の軽減による成形材の加工硬化抑制を図った。設備面では、圧下ロールバックラッシュ吸収機構およびプリロード+プリセット機能を付し、寸法精度の向上および溶接前エッジ変動の激減を図った。操業上は、ガスシールド溶接技術に加え、新たに完全無水・無潤滑造管を行い溶接品質の向上を達成した。その結果、製品のパイプの曲げおよび拡管加工性は著しく向上し、38.1 mm ϕ ×2.0 mm t (R 409 L, 未焼鈍材) で 30 mm R (約 0.8×外径) 曲げ加工が可能となった。

Synopsis:

In order to respond to the tendency towards stainless steel exhaust pipe, Kawasaki Steel Corp. has developed a new forming process and mill, i.e., a CBR forming mill. It has been operating satisfactorily at Chita Works. This process is characterized by features mentioned below. In forming, flexibility of forming rolls, scratchless forming and reduction of work-hardening of material have been achieved by adopting a new forming process. In the mechanism of the mill, new roll pre-setting with pre-loading and the balance system of rolls has also been developed, so that high dimensional accuracy of pipe has been achieved and variation of edges of the formed sheet before welding has also been decreased. In welding, gas shielded welding without cooling water and a lubricant has been possible.

Consequently, high quality ERW stainless steel exhaust pipe, which has excellent formability in bending and expanding, has been satisfactorily produced in the CBR forming mill. For example, R409L as-welded stainless steel pipe of 38.1 mm ϕ ×2.0 mm t was capable of being bent into 30 mm R (0.8×OD).

1 緒 言

近年、経済性および環境問題の観点より、自動車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¹⁻⁴⁾。マフラーおよびエキゾーストパイプ用材料は、普通鋼メッキ品からステンレス鋼に大部分が移行されており、また、エキゾーストマニホールドにおいても鋳造品に代りステンレスパイプが使われだしている。

エキゾーストマニホールドのパイプ化に当り要求される材料特性としては、高温強度、耐高温酸化性、熱疲労等の高温特性および拡管、曲げ等のパイプ加工性が重要である。

一方、電縫管ミルの生産性向上を主目的にロール兼用化を図ったフレキシブル成形ミルの開発・実用化も望まれていた^{5,6)}。

当社では、これらの要求特性を同時に満足するため、ステンレス電縫鋼管の製管法において、汎用エッジ曲げ成形技術およびケージロール方式を用いた新成形法と新ミル (chance-free bulge roll forming mill—CBR 成形ミル) を開発し⁷⁻¹⁰⁾、工程生産を開始した。CBR 成形ミルでは、上流成形域での素管に付与される付加的歪およ

びフィンパス、サイザー成形工程でのリダクションを低減することにより、造管時の加工硬化抑制を図り、未焼鈍材でも加工性の優れたパイプを製造することができる。

本報は、(1) CBR 成形法の概要と特徴、(2) CBR 成形ミルの設備概要と特徴、(3) CBR 成形ミルでのエキゾーストマニホールド管の製造状況および (4) R 409 L (11 Cr-Ti) および R 430 LNM (18 Cr-0.5 Mo-Nb) 鋼を中心に製品の加工特性を含む品質特性について述べる。

2 CBR 成形ミルの特徴

CBR 成形ミルは、新しい張り出し成形とケージロールを用いたロール兼用機構を含む新しいハード技術による高精度成形を特徴とする。

2.1 成形フラワー⁸⁾

Fig. 1 に CBR 成形法の成形プロセスを従来法と比較して示す。従来プロセスは、上流成形で主としてサーキュラーベンド型の帯板全体の曲げ加工を行い、下流のフィンパス成形にて素管レデュース型の管全周曲げの繰り返し加工を行う。一方、CBR 成形法は、上流

* 平成 5 年 2 月 26 日原稿受付

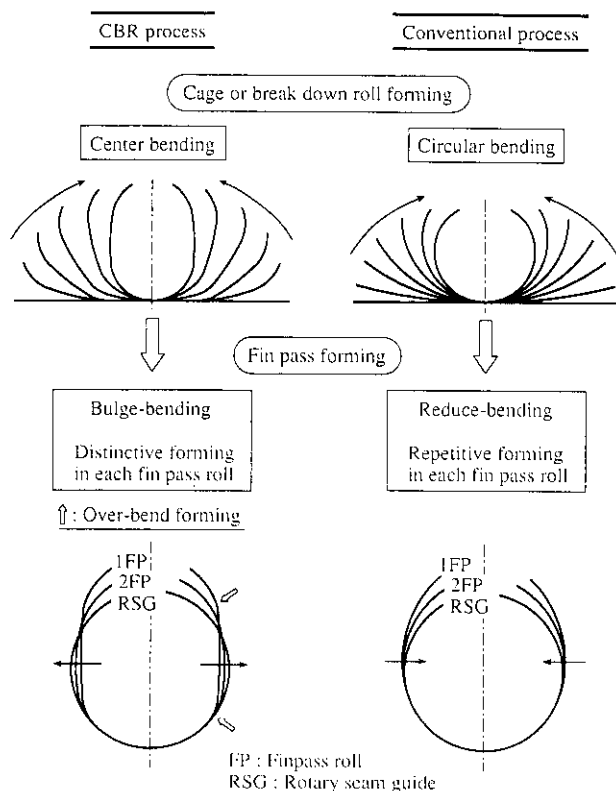


Fig. 1 Comparison of the forming flowers between CBR and conventional forming process

成形ではエッジ曲げと帯中央部の曲げ成形を行い小判形の素管に成形し、第1フィンパスロールにてサイド部の曲げ成形を抑制して、素管円周方向4箇所にてオーバーベンド成形を与えた上で、第2フィンパスロール以降ではサイド部の張り出し成形とオーバーベンド部の曲げ戻し成形を行い、全体を製品曲率に近づけていく。

なお、CBR成形フラワーを用いることにより、溶接時のVシェーブ角度の増大およびエッジ突き合わせ角のI型化が従来成形法に比べて達成されやすくなるという特徴も備えている⁴⁾。

2.2 成形スタンドの特徴

CBR成形ミルの開発目標は、ロール兼用化およびそれと二律背反の関係にある帯板の成形性・溶接性の両面を満足することである。この目的を達成するため、後述する新技術を考案・開発し設備化を実現した。

2.2.1 汎用エッジベンドロールスタンド

CBR成形ミルは、細径サイズ用ミルであり、ロール兼用化に当たり寸法制約および剛性の点から最も難しいのがエッジベンド(EB)ロールである。そこで、この問題を解決するため、Fig. 2に示すロール兼用化構想を考案した¹²⁾。ドロールは2つのロール穴型を有し、上段は外径サイズの大きい場合(サイズ兼用範囲の中間外径～最大外径)に、下段は外径サイズの小さい場合(サイズ兼用範囲の最小外径～中間外径)に使用し、帯幅に合わせてドロールを幅方向に位置調整する。上ロールはサイズ兼用範囲の中で外径に応じ2つのロールを持ち、さらに、各ロール曲面上に2つの曲げ半径(内側が厚肉用、外側が薄肉用)を有しているため、板厚サイズの大小に応じてロールを傾斜させロールの穴型曲面の使用域を使い分けている。

また、分割ロール化に当たり精度上のネックとなる上ロールの水平剛性に関しては、首振り調整用ジャッキ位置を可能な限りロールホルダーの下方向へ近づけることと、横荷重が作用した際上下方向ギャップに影響を及ぼしにくいように首振り機構中心位置を最適化することで解決した。

2.2.2 センターベンドロールスタンド

Fig. 3にセンターベンド(CB)ロールスタンドの断面図を示す。1CB上下ドロールと2,3CB上ロールは、分割幅可変機能を有し、ロール内の油圧拡張スリーブに油圧を作用させ、ロール軸に固定する方式を採用している。2,3CBドロールと4CB上下ドロールは一体型ロールである。成形においては、外径サイズ兼用範囲内では全て同一曲面のロールを用い、外径・板厚サイズに応じ上下ドロールを幅方向に位置調整するとともに板厚方向の圧下調整を行い、上下ドロールと後述するケージロールによる曲げ加工を施している。また、上CBロールは全て、エアーシリンダーによるバックラッシュ吸収機構の採用とロードセルおよびロール位置測定センサーの導入を行

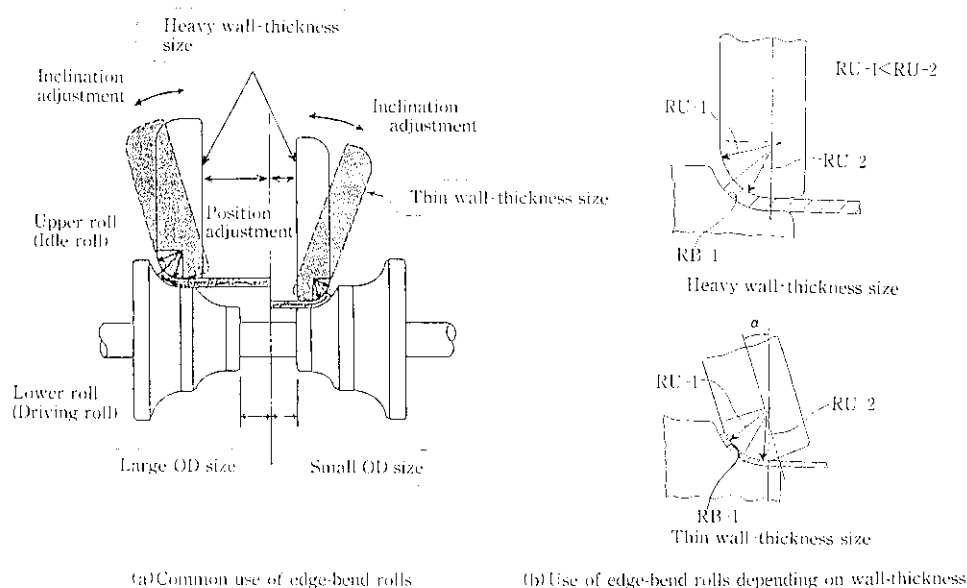


Fig. 2 Conception of common use of edge-bend rolls in wide diameter and wall-thickness range

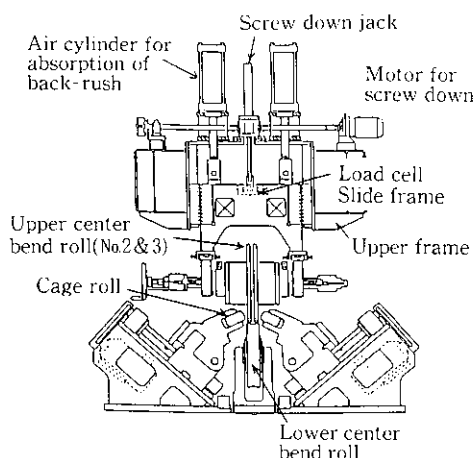


Fig. 3 Cross section of center-bend roll stand

い、プリロード+プリセットによる高精度ロール設定の実現を図っている。

なお、1CB~4CB上ロールおよび2CB~4CB下ロールは、それぞれ従来ミルでは例を見ないフレーム一体構造とし、フレームごとの交換を可能とし、ロール替時間の短縮を図っている。

2.2.3 ケージロールスタンド

ケージロール (CR) は、1CB出側から1フィンパス (FP) 入側の範囲に片側12個配置されている。また、設定作業の簡易化を図るため、3個のCRを1ブロック化し、ブロック単位で同一傾斜面上をスライドし、高さ・幅方向の位置調整ができる構造となっている。また、各CRの首振り角度は、相似則性のある成形フラワーをあらかじめ設計することにより、一定に保つことができる。なお、CRにもロール位置測定センサーが装備されている。

3 排ガス用ステンレス電縫鋼管の造管特性

3.1 成形

Photo 1 に CBR 成形法の各成形過程の素管断面形状の推移を示す。上流成形では、EB でエッジ部が曲げられ、次の1CBで管サイド部が比較的大きな曲率半径で曲げられ、次いでケージゾーンにて帯板中央部が曲げ成形され、縦長の小判形の素管が得られている。仕上げ成形のフィンパス成形では、縦径を圧縮することにより管サイド部が張り出しされ、スクイズ (SQ) ロールにてほぼ真円断面形状を呈しており、設計どおりの成形フラワーが得られている。

成形状況の中で特筆すべき内容として以下のことがあげられる。CBR 成形ミルでは、オフラインにてプリロードによるロール位置零点設定を行った後、ロール位置測定センサーにて所定ロール位置へのプリセットを実施する。また、圧下系にはバックラッシュ吸収機構も有する^{13,14)}高精度ミルである。その結果、**Fig. 4** に示すように代表サイズ (38.1 mmφ×2.0 mm t) の溶接前の帯板エッジ変動は、従来ミルの値±0.4 mm に比べ、±0.08 mm と極めて少なくなった。

3.2 溶接

一般に Cr 等酸素との親和力の強い元素を含む鋼を溶接する場合、大気雰囲気下では非金属介在物 (ペネトレーター) が溶接部に残存する危険性が高く、そのため溶接品質の著しい悪化を招くおそれがある。そこで当社では、自動車排ガス用ステンレス電縫鋼管の

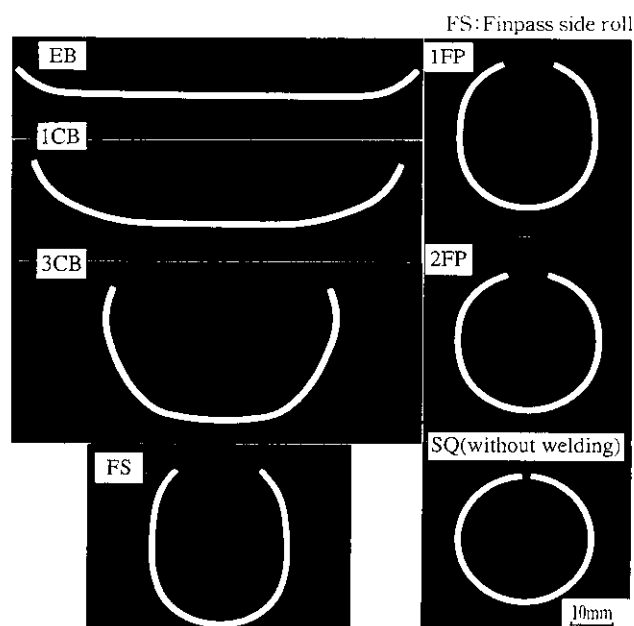
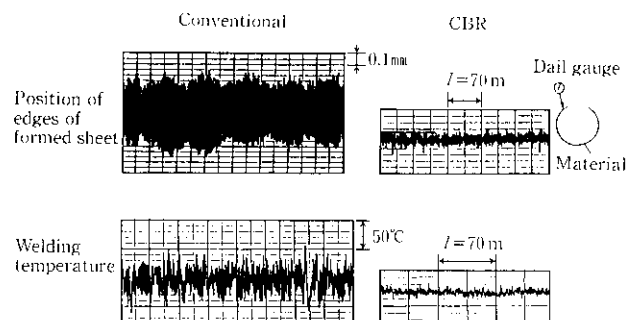
Photo 1 Cross section of semi-finished pipe in each forming pass (38.1 mmφ×2.0 mm t , R430LNM)

Fig. 4 Variation of edges of formed sheet before welding and variation of welding temperature

製造に際し、従来より用いられて来た溶接部周辺をボックスで囲みその中に不活性ガスを充填させた状態にて溶接を行うガスシールド溶接技術に加え、新たに水および潤滑剤中の酸素成分と Cr 元素との結合を防ぐ目的で、スクイズロール以前の成形段階では完全無水・無潤滑造管を本 CBR 成形ミルにて工程的に実施し、溶接品質の向上を図っている。

また、CBR 成形法の特徴として、V シェープ角度の増大とエッジ突き合わせ角の1型化が従来法に比べ達成されやすく、適正溶接温度範囲の拡大が図れた⁸⁾。

さらに、溶接前の帯板エッジ変動も高々±0.08 mm に抑制され、その結果、**Fig. 4** に示すように溶接時の温度変動も従来ミルの1/5~1/6と極めて少なくなった。そして、これらの技術の確立にともない極めて高品質のステンレス電縫鋼管の製造が可能となった。

3.3 ロール疵

Fig. 5 に CBR 成形ミルの CB ロールにおける帯板の成形断面形状の模式図を従来ミルのブレイクダウン (BD) ロールのそれと比較して示す。CBR 成形ミルは、ケージロールでエッジ部を拘束するため、CB ロールは帯板中央部のみに接触すればよい。したがって CB ロールはロール幅が狭くでき、スロート部とフランジ部とのロール

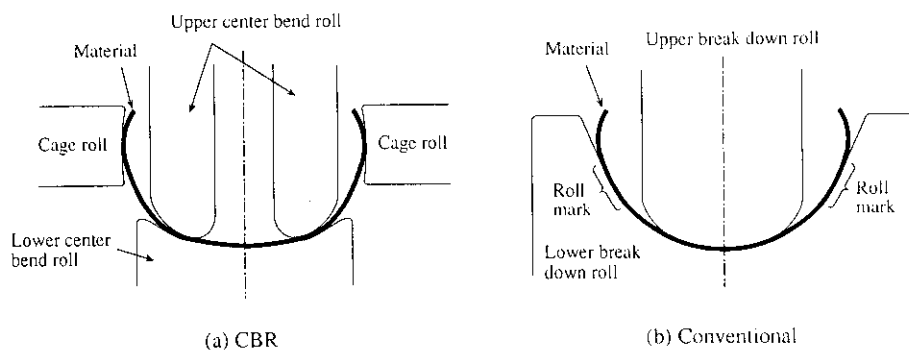


Fig. 5 Comparison of forming rolls between CBR and conventional forming

周速差が少なくなりロール疵の発生が抑制される。一方、BD ロールでは帯板のエッジ部まで抱き抱えて拘束するため、ロール周速差が大きくロール疵が発生しやすい。

また、CBR 成形法では、フィンパス成形においても以下の理由によりロール疵が発生しにくい。従来成形法では、管サイド部に最大曲げモーメントが作用すると同時に、管サイド部のロールによる幅寄せのために、この部分のロールとの接触圧が最大となる。一方、CBR 成形法では、最大曲げモーメントが管サイドからはずれ、オーババンド部に作用することと、管サイド部の横幅がロール穴形横幅より小さく、ロールバイト内にて管サイド部を張り出させる成形となり、ロールフランジ部における帯板との接触圧力が小さくなりロール疵の発生が抑制される。さらに、実生産においては、フィンパスロールに摩擦係数の少ない超硬材および周速差の影響が軽減される分割ロールを用い、完全無潤滑下でのロール疵防止を達成できた。

4 排ガス用ステンレス電縫鋼管の品質特性

4.1 寸法精度

成形の安定化にともない、寸法精度の向上が図れ、例えば Fig. 6 に示すように CBR 成形パイプの真円度は、従来成形法より優れている。

4.2 溶接品質

不活性ガス雰囲気溶接かつ完全無水・無潤滑造管技術、設備精度の向上にともなう溶接温度変動の減少および張り出し成形法に起因

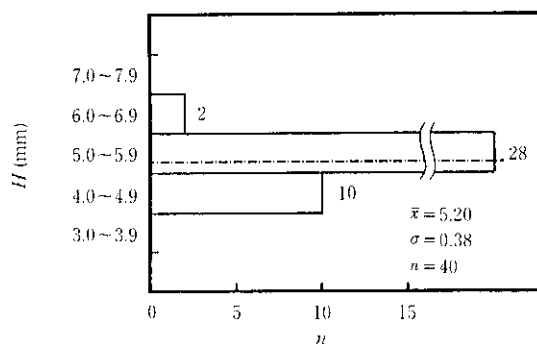


Fig. 7 Result of flattening test (38.1 mmφ × 2.0 mm t, R430 LNM)

する適正溶接温度範囲の拡大により、製品全長にわたり溶接品質の向上が図れた。その結果、Fig. 7 に示すようにシーム 90°偏平試験においてもほぼ密着状態までシーム割れを生じることがなく、優れた溶接品質を示した。さらに、後述する曲げおよび拡管加工においても、溶接部の割れは認められなかった。

5 排ガス用ステンレス電縫鋼管の加工特性

5.1 材料の加工硬化

Photo 2 に 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示す。写真は、材料が中止めの状態で CB 上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

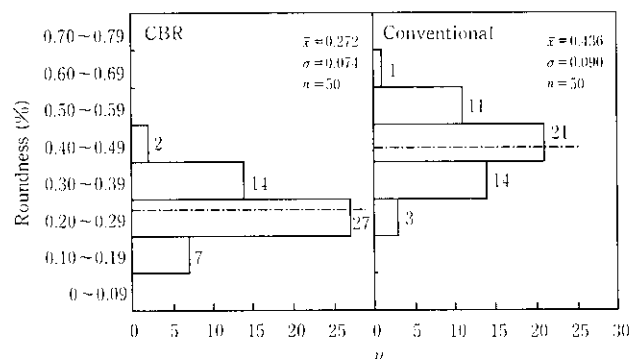


Fig. 6 Comparison of roundness between CBR and conventional forming (38.1 mmφ × 2.0 mm t, R430 LNM)

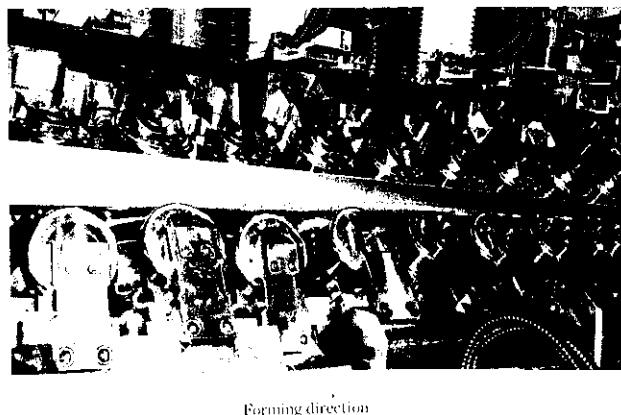


Photo 2 View of strip in cage roll zone

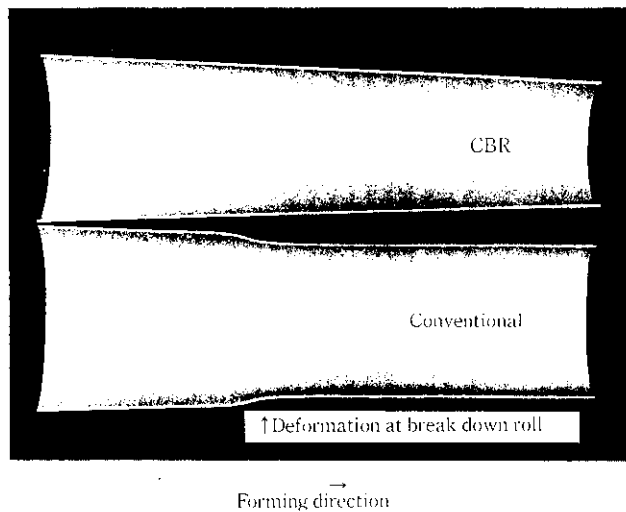


Photo 3 Comparison of deformation in middle pass between CBR and conventional forming

ル成形方式を採用し¹⁹⁾、帯板のエッジ部を短い間隔でほぼ連続的に拘束しているため、スタンド間での材料のスプリングバックが小さく、したがってエッジの軌跡はほぼ直線的に滑らかに変化していることが分かる。Photo 3 に上流成形ロールによる帯板の成形状態を従来ミルと比較して示す。従来成形ミルでは、帯板はブレイクダウンロールにてステップ的に成形されるため、ケージロール成形ほどの滑らかな変形は得られていない。そのため、従来成形法では、帯板の幅方向の曲げ成形の際に、帯板のスタンド間でのスプリングバックが大ききことも起因し、ブレイクダウンロール等により長手方向および剪断方向に、曲げ成形には不必要かつ比較的大きな付加的歪が加えられる。一方、CBR 成形法では、ケージロール成形において、主に幅方向の曲げ歪のみの付加で、余分な付加的歪の作用が少

Table 1 Comparison of reduction γ_i of semi-finished pipe

	Fin pass rolls(%)	Sizing rolls(%)	Total reduction(%)
CBR	0.3	1.0	2.0
Conventional	2.2	1.5	4.4

$$\gamma_i = \ln(l_{i-1}/l_i)$$

l_{i-1} , l_i : Circumferential length of neutral axis of strip at the entry and exit sides of forming stands, respectively

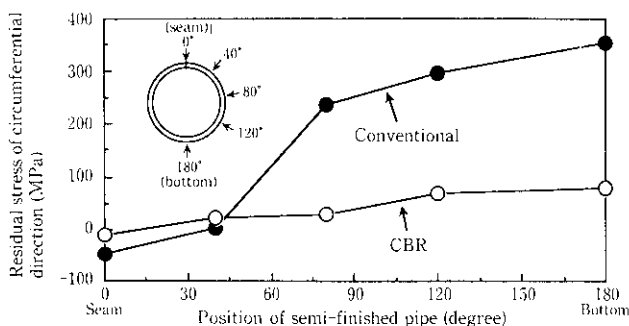


Fig. 8 Comparison of residual stress of semi-finished pipe in circumferential direction after SQ roll forming (38.1 mmφ × 1.5 mm t, R409L)

なく加工硬化の抑制が可能である。

さらに、Table 1 に CBR 成形法と従来成形法におけるフィンパス (FP) ロールおよびサイザー (SZ) ロールの成形リダクションの比較を示す。CBR 成形法では、従来法に比べ約半分弱のリダクションで帯板をパイプに成形することができ、過大な絞り歪が付加されていない点においても加工硬化の抑制が可能である。この FP 絞りの軽減は、上流成形ロールでの連続的拘束曲げ成形と本成形法の最大の特徴である張り出し成形フラワーによる曲げ成形とによって達成されている⁸⁾。また、SZ 絞りの少ない理由を以下に示す。Fig. 8 に SQ 後のパイプの円周方向残留応力分布を示す。なお、試験は、シーム部を基準 (0°) に 40°, 80°, 120°, 180° 部の円周方向位置にて、15 mm 角片を切り出し実施した。Fig. 8 より SQ 後の残留応力は、CBR 成形法の方が従来法に比べ少ないことが分かる。CBR 成形法では、オーバーベンド部の曲げ戻し成形により、その部分の残留曲げモーメントの向きが従来法と逆になり、パイプ全体としてスプリングバック量が少なく、SQ 後のパイプ真円度が優れている。したがって、続く SZ 絞りを軽減することが可能となる。

5.2 製品伸び特性

Fig. 9 に実管引張試験 (JIS 11 号試験片) における製品パイプの t/D (=肉厚/外径) と伸び (EI) の関係を示す。 t/D の増加とともに EI は低下する傾向にあるが、CBR 成形法では成形中の加工硬化抑制が可能であるため、従来法に比べて製品伸び特性に優れていることが分かる。

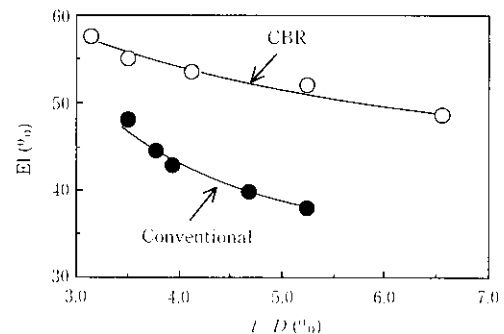


Fig. 9 Comparison of elongation of ERW stainless steel pipe by tensile test between CBR and conventional forming (R409L)

5.3 製品曲げ加工特性

Fig. 10 に示す回転引曲げ方式の曲げ装置にて CBR 成形パイプの曲げ加工性を調査した。まず、未焼鈍材 38.1 mmφ × 2.0 mm t

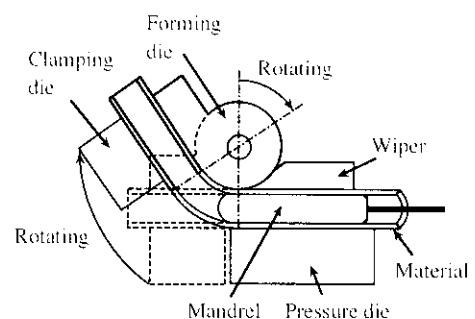


Fig. 10 Schematic view of pipe bending test

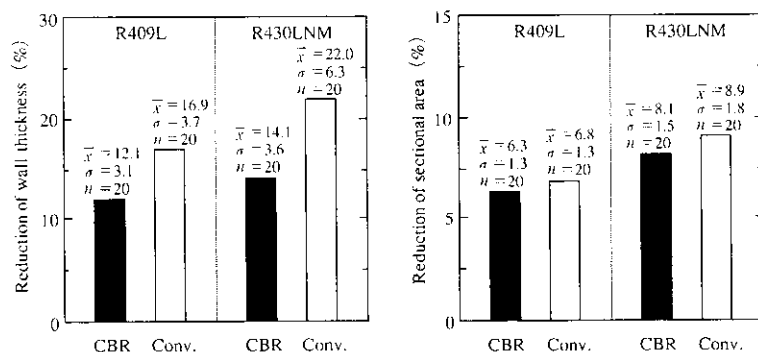


Fig. 11 Comparison of formability of pipes between CBR and conventional forming by pipe bending test (38.1 mmφ×2.0 mm t , 55 mm R -90°bending)

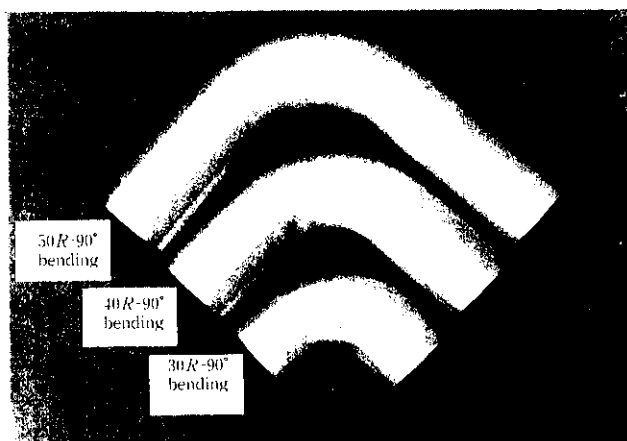


Photo 4 Appearance of pipes produced by CBR mill after 90° bending (38.1 mmφ×2.0 mm t , R409L)

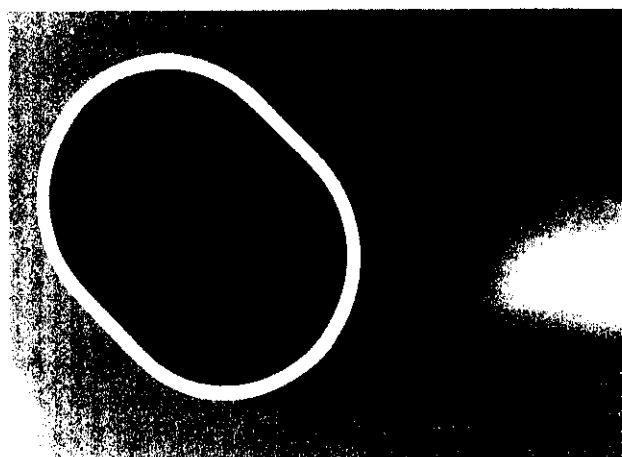


Photo 5 Appearance of pipes produced by CBR mill after expansion (38.1 mmφ×2.0 mm t , R430LNM)

(R 409 L, R 430 LNM)を試験に供し、曲げ角度が90°一定、曲げ半径(パイプ中心線の曲げ半径)が30 mm~55 mm R (管外径の約0.8~1.5倍)の曲げ加工条件で試験を行った。加工性能は次式に示す板厚減少率および断面減少率で評価した。

$$\text{板厚減少率} = \frac{\text{母管肉厚} - \text{減肉部肉厚}}{\text{母管肉厚}} \times 100 (\%)$$

$$\text{断面減少率} = \frac{(\text{母管外径})^2 - (\text{曲げ中心部の縦・横径の積})}{(\text{母管外径})^2} \times 100 (\%)$$

Photo 4にCBR成形パイプの曲げ加工後の外観写真の一例を示し、Fig. 11に曲げ半径55 mm R におけるCBR成形材と従来成形材の曲げ加工性能の比較を示す。板厚減少率・断面減少率ともに、CBR成形材の方が従来材に比べ良好な値を示し、曲げ加工性に優れていることが分かる。また、一般的に加工性の劣るR 430 LNM銅においても、CBR成形材では従来成形材のR 409 L銅と同等もしくはそれ以上の加工性を示している。ちなみに、Photo 4に示すように、未焼鈍材でもR 409 L銅にて30 mm R 曲げ、R 430 LNM銅にて50 mm R 曲げ加工まで優れた加工品質の得られることが分かった。

5.4 製品拡管加工特性

Photo 5に38.1 mmφ×2.0 mm t , R 430 LNM 未焼鈍銅における周長増加比1.2倍の楕円拡管加工後の外観写真を示す。また、その際の板厚減少率をFig. 12に示す。CBR成形パイプでは、未焼鈍材においても亀裂を生じることなく、かつ板厚減少もmax. 20%強、

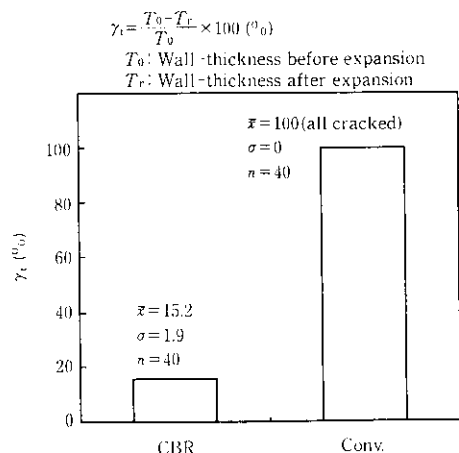


Fig. 12 Comparison of reduction γ_t of wall-thickness after expansion (38.1 mmφ×2.0 mm t , R430LNM, expansion ratio=1.2)

平均15%程度と良好な拡管加工性が得られる。

以上のように、CBR成形による自動車排ガス装置用ステンレス電縫鋼管は、未焼鈍でも加工性に優れ、過酷な加工性が要求されるエキゾーストマニホールドパイプの用途に特に適している。

6 結言

自動車排ガス装置用ステンレス電縫鋼管の品質向上およびその製管プロセスでのロール兼用化を同時に図る目的で、新成形法と CBR 成形ミルを開発し、工程生産を開始し以下の結果を得た。

- (1) 設備面での特徴としては、汎用エッジ曲げロール・幅可変式油圧クランプロール（エッジベンド下ロール・センターベンドロール）およびケージロール成形により、上流成形において、外径 15 サイズを 3 サイズに集約できた。
- (2) CBR 成形ミルでは、エアシリンダーによる圧下系バックラッシュ吸収機構の採用とロードセルおよびロール位置測定センサーの導入を行い、ロールのプリロード+プリセット技術により高精度のロール位置設定を可能とした。
- (3) ミル設備精度の向上にともない、成形時の帯板エッジ変動は著しく減少し、それにともない、溶接温度変動も極めて少なくなった。
- (4) 成形の安定化にともない、寸法精度の向上が図れ、CBR 成形パイプの真円度は、管サイズの兼用化を行ってもなお従来成形法より優れていた。
- (5) ガスシールド溶接技術に加え、新たに完全無水・無潤滑造管

を可能とし、溶接品質の向上を図った。

- (6) ケージロール成形および張り出し成形によりロール疵の発生が抑制され、さらにロールの超硬化・アイドリング分割化を併用し、完全無潤滑下でのロール疵を防止した。
- (7) CBR 成形法による上流成形での帯板への付加歪の軽減とフィンパス、サイザーでの管絞りの軽減により、成形過程における帯板の加工硬化を抑制し、伸び特性の優れた排ガス用ステンレス電縫鋼管の製造が可能となった。
- (8) 製品伸び特性の向上にともない、未焼鈍材でもパイプ曲げ加工性に優れ、38.1 mm ϕ ×2.0 mm t 材の R 409 L 鋼が 30 mm R (約 0.8×外径)、R 430 LNM 鋼が 50 mm R (約 1.3×外径) 曲げまで未焼鈍で加工可能となった。
- (9) 拡管加工性においても良好な結果が得られ、R 430 LNM 鋼の未焼鈍材でも、周長増加比 1.2 倍の楕円拡管で亀裂および大きな減肉を生じなかった。

以上のような種々の優れた特性を有する排ガス用ステンレス電縫鋼管製造プロセスを確立した。今後は、いっそう厳しくなるお客様の要求品質を十分満足し、さらには、新しい用途のシーズとなるような品質特性を達成すべく、技術・製品開発を継続実施して行きたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 朝倉健太郎： 金属，62(1992)11，2
- 2) 石川秀雄： 材料とプロセス，4(1991) 6，1760
- 3) 植松美博，宮楠克久： ステンレス，35(1991) 3，10
- 4) 大村圭一： 金属，62(1992)11，9
- 5) 菅昌徹郎： 第 136 回塑性加工シンポジウム，(1991)，1，日本塑性加工学会，日本機械学会
- 6) 成本朝雄： 金属，62(1992)11，15
- 7) 豊岡高明，橋本裕二，志賀厚，佐山泰弘： 材料とプロセス，3(1990) 5，1468
- 8) 豊岡高明，橋本裕二，小林邦彦，板谷進，井手勉，西田保夫： 川崎製鉄技報，22(1990) 4，236
- 9) 豊岡高明，橋本裕二，成本朝雄，小林邦彦，佐山泰弘： 材料とプロセス，4(1991) 2，582
- 10) 豊岡高明，橋本裕二，成本朝雄，小林邦彦，佐山泰弘，西田保夫： 材料とプロセス，4(1991) 2，583
- 11) 豊岡高明，橋本裕二，小林邦彦，板谷進，井手勉，西田保夫： 材料とプロセス，4(1991) 5，1466
- 12) 板谷進，西田保夫，新司修，豊岡高明，橋本裕二： 材料とプロセス，5(1992) 2，532
- 13) 板谷進，井手勉，西田保夫，新司修，豊岡高明，橋本裕二： 材料とプロセス，5(1992) 2，531
- 14) 新司修，西田保夫，板谷進，唐沢順市，郡司牧男，橋本裕二，豊岡高明，成本朝雄： 材料とプロセス，5(1992) 2，533
- 15) 豊岡高明，橋本裕二，成本朝雄，宮崎淳，小林邦彦，唐沢順市，西田保夫，川崎龍夫： 材料とプロセス，4(1991) 6，1800