

4 ロールミルによる 高寸法精度細径線材・4 角線材の開発*

川崎製鉄技報
34 (2002) 1, 7-11

Development of High Dimensional Accuracy Smaller Diameter Wire Rods and Square Coils Manufactured by 4-Roll Mill



桜井 智康
Tomoyasu Sakurai
水島製鉄所
条鋼圧延部条鋼技術室
主査(掛長)



坂本 俊夫
Toshio Sakamoto
水島製鉄所
条鋼圧延部条鋼技術室
主査(主席掛長)



武田 了
Ryo Takeda
プラントエンジニアリ
ング事業部 圧延技術
部 主査(課長補)

要旨

川崎製鉄では、1994 年の棒鋼用 4 ロールミルに続き 1998 年に線材用 4 ロールミルを開発・導入した。そして、4 ロール圧延の特性を利用したさまざまな新技術の開発により、4.2~85 mm ϕ 、12.7~27 mm 角までの線材および棒鋼の高寸法精度・サイズフリー圧延生産体制を構築した。このことにより、自動車用鋼材に代表される特殊鋼市場において、最終製品寸法形状とでき得るかぎり相似形で二次加工量が少なく、かつ高寸法精度な線材や棒鋼を熱間圧延で製造することが可能になった。

Synopsis:

After introducing 4-roll mills for steel bars in 1994, Kawasaki Steel developed and introduced it for wire rods in 1998. Then, thanks to the development of various new technologies based on the characteristics of 4-roll rolling method, the company succeeded in constructing a highly precise-measurement and size-free rolling production system for steel bars and wire rods ranging from 4.2 to 85 mm in diameter and steel square coils from 12.7 to 27 mm on a side. Able to manufacture hot-rolled steel bars and wire rods with such high measurement precision, Kawasaki Steel can provide products to the automobile steel and other special steel markets in sizes and shapes as similar as possible to the finished products, thus minimizing further processing.

1 緒 言

線材・棒鋼製品は主に自動車や各種産業機械分野で使われている。加工コスト削減を目的とした二次加工プロセス（切削、伸線、切断、鍛造および熱処理など）簡素化の要求が近年ますます高まっている。この要求を満足する鋼材として、高寸法精度でかつ加工に最適な径寸法の熱間圧延線材・棒鋼の開発が切望されていた。

住友重機械工業(株)と川崎製鉄は、1994 年に棒鋼用 4 ロールサイジングミル(4 ロールミル)を、1998 年に線材用 4 ロールミルを開発した。この設備を川崎製鉄の線材・棒鋼工場に導入し、従来サイズ範囲(5.5 mm ϕ ~85 mm ϕ)において 0.1 mm ピッチの任意サイズ、かつ高寸法精度熱間圧延線材・棒鋼の供給を開始した。

また線材においては、鍛造加工などの成形加工の前に所定の径に伸線加工を施すのが一般的であるが、成形前サイズが製造可能な最小径 5.5 mm ϕ 未満の場合がある。今回線材 4 ロールミルの導入に

より最小 4.2 mm ϕ までの細径線材の製造が可能となり、二次加工での伸線省略化(例：アズロールヘッディング化)を達成した。

さらに電気機械部品、自動車部品や機械部品においては、角断面形状の鋼材から製造した方が安価に製造できるものが多数存在するが、4 ロールミルで四角材を圧延した場合、従来の 2 ロールミルと比較して直角度や対辺寸法といった形状・寸法精度がよく、さらに対角部(コーナー)寸法も自由にコントロール可能であり、二次加工省略・簡略化が可能となりうるということが分かった。本報では 4 ロールミル圧延技術の特徴を棒鋼用ミルと線材用ミルとで比較するとともに、4 ロールミルの特徴を活かした細径線材・四角線材の開発、および製品の活用例について述べる。

2 4 ロールミル圧延技術

2.1 4 ロール法の特徴

サイジング圧延方式としては、棒鋼では 2 ロール法²⁾、3 ロール法³⁾が開発・導入されたが、線材では 2 ロール圧延法のみであった。

* 平成13年10月31日原稿受付

Table 1 Main specifications of 4-roll mills for bar rolling and wire rod rolling

Items	Specifications of 4-roll mill	
	For bar rolling	For wire rod rolling
Organization of mill	2 stands per unit Roll arrangement: “+” → “×”	3 stands per unit Roll arrangement: “+” → “×” → “+”
Product size (mm)	16~85 ϕ , 12.7~27 □	4.2~19.0 ϕ
Rolling speed (m/s)	0.8~16	15~110
Roll diameter (mm)	400 ϕ	220 ϕ
Roll drive	2 rolls driven by motor and 2 rolls rotated by water pressure pulsation	4 rolls driven by motor
Roll gap adjustment	Remote control system Control accuracy = ± 0.01 mm	Remote control system Control accuracy = ± 0.01 mm
Stand-change system	Automatic change system Changing time = 3.5 min/unit	Automatic change system Changing time = 3 min/unit

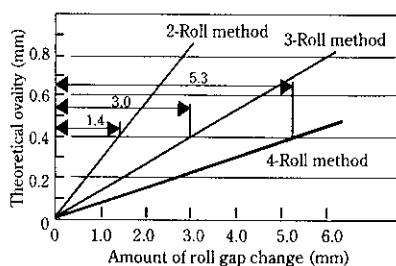


Fig. 1 Relationships between ovality of product and amount of roll gap change for three different roll methods

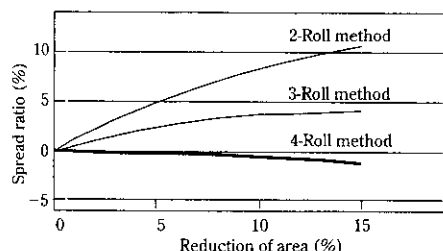


Fig. 2 Relationships between spread ratio and area reduction for three different roll methods

Fig. 1 は各圧延法における偏径差（最大径－最小径）とロール隙間の関係を幾何学的に算出したものである。サイズフリー範囲は、ある許容される偏径差内で製造できる最小隙と最大隙の差で 4 ロール圧延法が最も広い。一方、幅拡がり特性を Fig. 2 に示す。2 ロール圧延法では大きな幅拡がりが発生するのに対し、4 ロール圧延法ではほぼゼロか幅狭まりの傾向であり、高寸法精度圧延に最も適した方法と考えられる。

以上より、高寸法精度線材、棒鋼の製造に有利な特性を持つ 4 ロール法をサイジングミルに採用し、かつ圧延機構造を単純化することによって本圧延技術の実用化に成功した。

2.2 4 ロール圧延機の適用

川崎製鉄の線材・棒鋼工場は、Fig. 3 に示すように棒鋼圧延ラインに線材圧延ラインを増設した線材と棒鋼のコンバインドミルである。棒鋼用 4 ロールミルは棒鋼ライン最終仕上ミル 2 台を撤去した後新たに設置し、また線材用は従来の最終仕上ミルであるブロックミルの後方に増設した。

Fig. 4 (a) に棒鋼用 4 ロールミル、(b) に線材用 4 ロールミルの外観図を示す。また、Table 1 に線材 4 ロールミルと棒鋼用 4 ロールミル仕様を示す。

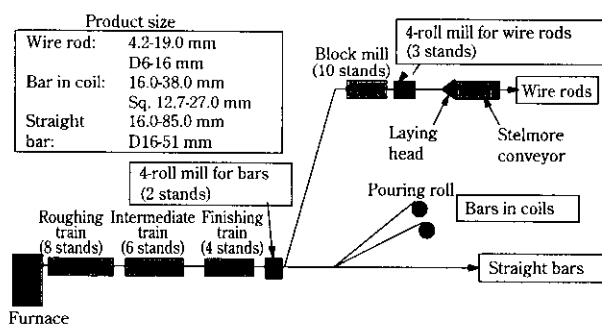
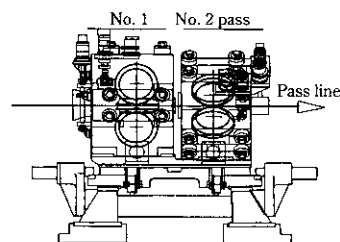
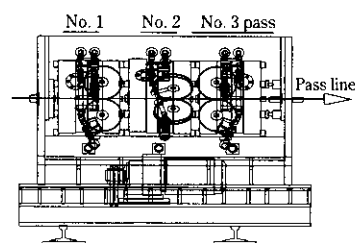


Fig. 3 Layout of bar and wire rod mill



(a) 4-roll mill for bar rolling



(b) 4-roll mill for wire rod rolling

Fig. 4 Outside view of 4-roll mills

ルミル仕様を示す。4 ロールミルにおいては、入り側丸断面素材から 2 スタンドで丸断面製品への加工が可能であり、棒鋼用は 2 パス構成としたが、線材用はトータル減面率を大きくするため 3 パス構成とした。各スタンドはスレッド台車に積載されており、オートカップラー結合化、台車のクイックシフトによりオンライン組替時間は 3 min 程度である。

また両ミルの共通点は、コンパクトな設備であることとともに高い剛性と遠隔操作により、ロール隙を 0.01 mm 単位で調整できる微調整機構を装備して高寸法精度材の製造が容易なことである。

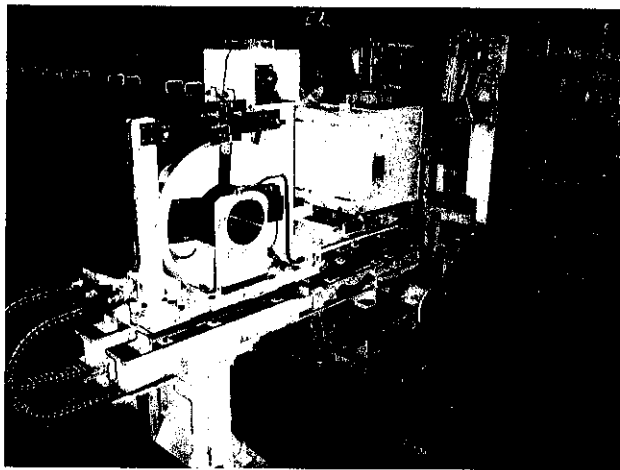


Photo 1 Profile meter before 4-roll mill for wire rod

3 高寸法精度細径線材の開発

線材ラインへの 4 ロールミル導入目的の一つは、高寸法精度 5.5mm ϕ 未満細径線材の開発であった。安定的に 5.5mm ϕ 未満細径線材を圧延するための開発技術を以下に示す。

3.1 線材 4 ロールへの入側材料安定供給化

細径線材の検討・実験結果から、圧延寸法精度を高レベルに維持し、かつ圧延通材安定性を常に確保するためには、線材 4 ロール入側すなわち既設ブロックミル出側の圧延材料寸法形状の厳格な管理が有効であることが分かった。

この目的を達成するための手段として、1999 年 6 月に線材 4 ロールミル前に Photo 1 に示すような自社開発の熱間寸法計を導入した。

さらに、既設ブロックミル出側の寸法形状を安定させるためには、ブロックミル入側の寸法形状も管理する必要があるが、ブロックミル入側は棒鋼 4 ロールミルであり高寸法精度中間断面が安定的に確保できる。結果、圧延材料規格ごとおよび材料バー内におけるブロックミル出側寸法形状の厳格管理が可能となり、細径圧延安定化に成功した。

3.2 線材 4 ロールセットアップの厳格化

高寸法精度の細径線材を安定的に圧延するには、オフラインでの高精度なロール位置セットが重要となる。線材 4 ロールにおいては、プレストレスをかけて機械ガタをなくし、ロール位置を調整する専用のセットアップ装置を導入した。また、オンラインでロール隙を微調整する機能として、偏心角度を高精度セルシで検出しミル運転室からの遠隔操作により 0.01mm 単位の微調整が可能なロール隙制御技術を開発した。実際の操業においては、熱間寸法計の計測値などの圧延材寸法情報にもとづき、ロール隙を容易に短時間で微調整して圧延材寸法精度を高めることができる。

3.3 細径材の高速安定通材化

たとえば現状工程最小サイズである 4.2mm ϕ は、5.5mm ϕ に対し断面係数が 44.5% と 1/2 以下であり材料が座屈（ミスロール）しやすい。特に熱間での 100 m/s を越える高速圧延領域においては、パスラインの真直性・ミル間張力などの厳密なコントロールが必要となる。

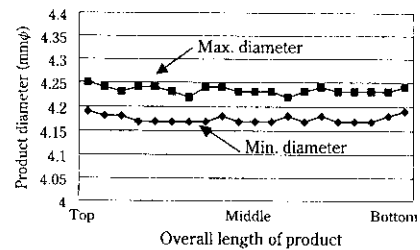
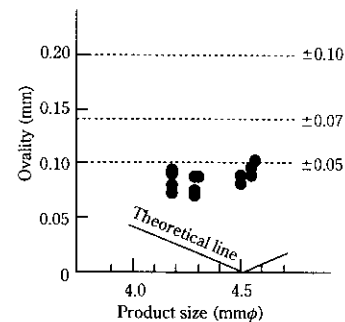
Fig. 5 Product diameter along entire length for a product of $\phi 4.2$ mm

Fig. 6 Results of ovality in wire rods of smaller diameter

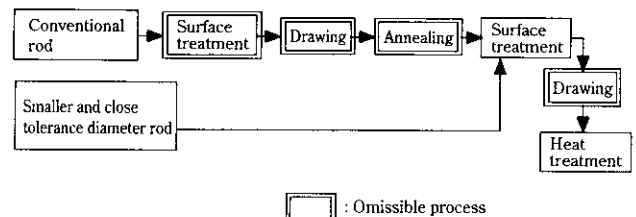


Fig. 7 Example of process applying close tolerance or smaller diameter rod

細径線材圧延においては、圧延トルク + 適正張力トルクで求める目標トルクとなるよう通材中のミルモーター回転数を制御することで安定通材を達成している。またシビアな材料トラッキングによる材料噛み込みインパクトドロップ補償制御、水冷 ON-OFF 制御などさまざまな通線中ダイナミック制御を実施することで 110 m/s の安定的高速圧延を達成している。

3.4 細径圧延実施結果

Fig. 5 に 4.2mm ϕ の全長における長手方向任意断面での最大径・最小径変化の一例を示す。全長にわたり、安定的に偏径差 0.1mm 以内の高寸法精度な圧延が実現している。

Fig. 6 は細径のサイズフリー圧延における製品寸法精度実績の一例である。横軸はロール隙の変化量を「製品径 - 孔型基準径」で示し、縦軸は偏径差を示す。サイズフリー範囲内の製品においては ± 0.07 mm 以内を達成し、さらに孔型基準径に近い範囲においては ± 0.05 mm 以内のきわめて高寸法精度な製品の製造が可能になった。

3.5 細径線材適用例

Fig. 7 に細径線材を高炭素鋼に適用した場合の二次加工工程の変化を示す。高炭素鋼線材は伸線時の加工硬化により焼鈍処理が必要になる場合が一般的であるが、4 ロールミルにより線材を成形加工前の細径サイズに圧延して供給することによって、伸線加工の省略

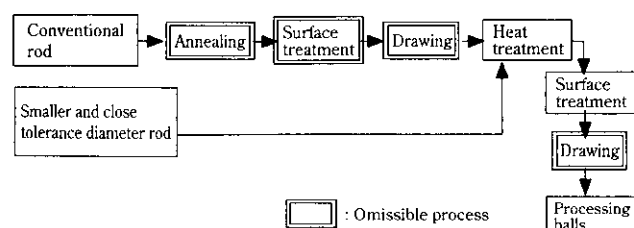


Fig. 8 Example of process applying smaller diameter rod for bearing steel

だけではなく、焼鈍熱処理、表面処理なども省略可能である。また軸受線材での細径線材適用例を Fig. 8 に示す。高炭素鋼と同様に、最終ボールに加工されるまでの工程が大幅に省略可能である。

4 高寸法精度四角線材の開発

電気機械部品、自動車部品や機械部品においては角断面形状の鋼材から製造した方が安価に製造できるものが多数存在し、四角断面の鋼材が磨棒を中心として市場に多く流通している。これらは通常、丸断面の線材から数回引抜き + 軟化焼鈍といった複雑な工程で製造されている場合が多い。

一方で、4 ロールミルは4つのロールが対称に配置されているため正方形断面を圧延するのに有利であると考えられ、4 ロールミルの優れた圧延特性を活用して高寸法精度の四角線材を開発した。以下に四角線材圧延方法、開発結果を示す。

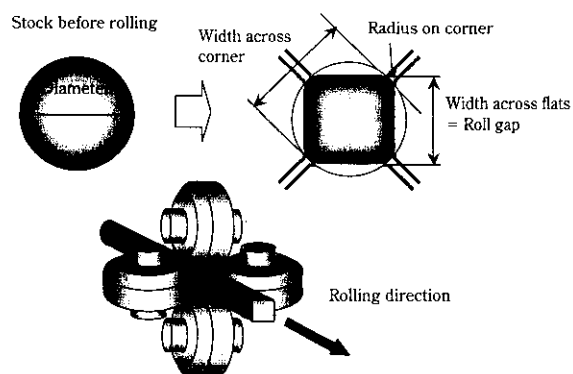


Fig. 9 Rolling method of square bars by 4-roll mill

4.1 四角線材圧延方法

四角線材圧延は棒鋼4ロールミルを使用し、バーインコイルとして12.7~27 mm 角を生産している。4ロールでは、Fig. 9で示すように、丸断面入材を1パスのフラットカリバーを有する4ロールにより四角断面に仕上げる。

このように非常にシンプルな圧延方法により四角断面を作り込むのが特徴であるが、開発における課題は

- (1) 対角部のコーナーR制御
- (2) 材料長手方向のネジレ

であった。(1)に関しては、Fig. 10に示すようにFEM解析の結果、4ロールミルフラットカリバー圧延においては、材料がわずかに幅広がりをするのが判明した。また、4ロールの減面率を変化させることによりFig. 11に示すように自由にコーナーRを制御できる。(2)に関しては、フラットカリバーでは材料のネジレが発生しにくく、また小さなネジレは巻き取り前のピンチロールを適正

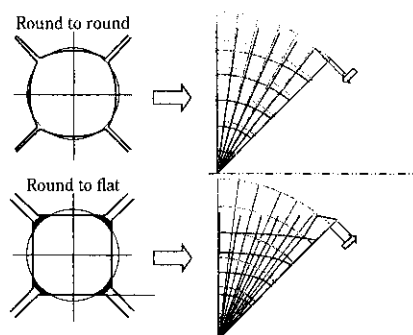


Fig. 10 Spread of 4-roll flat groove

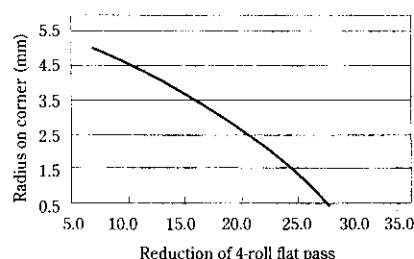


Fig. 11 Relation between reduction and radius on corner of 18 mm

Table 2 Comparison of rolling results for square section bars

4-roll rolling		(S) ± 0.1 mm (B) ± 0.2 mm Angles of corner are precisely 90°. Corner roundness (R) is controllable.
2-roll rolling		(S) ± 0.2 mm (B1) ± 0.2 mm (B2) ± 0.5 mm Corner roundnesses R_1 and R_2 are not equal. Angle of corner is not precisely 90°, because of roll wear.

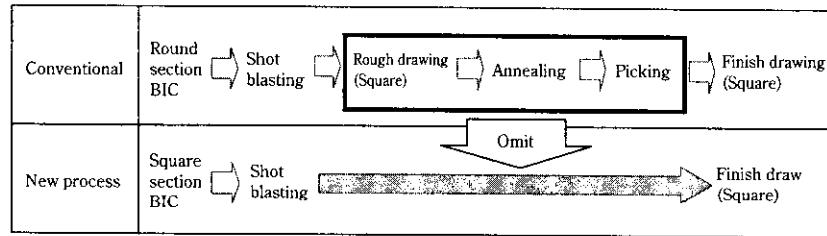


Fig. 13 Process comparison of square section cold finished bar

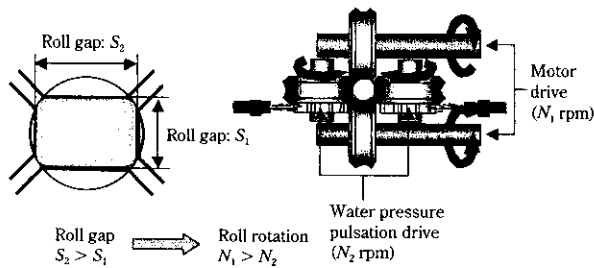


Fig. 12 Rolling method of rectangular section

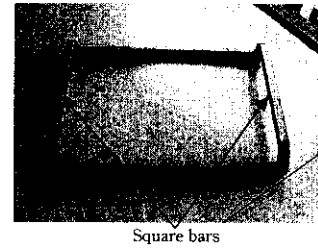


Photo 2 Application example: CRT frame

なカリバー形状・圧力でピンチすることで充分矯正が可能であることが分かり、全長で $\pm 45^\circ$ 以内に抑えることができた。

4.2 四角線材圧延寸法実績

Table 2 に、2 ロールスクエアカリバー圧延と4 ロールフラットロール圧延による四角断面材寸法精度を示す。

非常に寸法精度が良く、またユーザーのニーズによりコーナー R を変更可能である。

また Fig. 12 に示すように、正方形断面のみでなく長方形断面の圧延も可能である。長方形断面を圧延しようとするとき、水平ロールと垂直ロールのロール回転速度が異なる。しかし棒鋼4ロールミルは構造をシンプル化するために垂直ロールを水力駆動としており、水平ロール（モーター駆動）とは駆動系が分離しているため、容易に長方形断面の圧延が可能である。

4.3 四角線材適用例

Fig. 13 にはお客様での適用例を示す。熱間圧延材の寸法精度が

非常に良好なため、お客様の製造工程では1回引抜きのみで最終断面に加工でき、熱処理も省略できるため大幅なコストダウンを可能とした。Photo 2 はテレビのブラウン管フレームであるが、コイルからバーへ1回引抜きのみで寸法形状・材料強度・曲がりなどがスベック内に確保可能であり、四角線材を素材として適用することでお客様における工程省略を実現した。

5 結 言

川崎製鉄水島線材棒鋼工場では、棒鋼4ロールミルに引き続き線材4ロールミルを導入し、4ロール圧延法による高寸法精度、サイズフリー圧延技術の開発で新サイズ、小ロット製品に対してお客様の要求に迅速に対応することが可能となった。さらなる4ロールミルの戦力的活用として、高寸法精度細径線材・四角線材を開発したが、お客様での二次加工省略・簡略化に大きく貢献した。今後、本技術をさらに発展させ、お客様の高品質、省工程ニーズにこたえていきたい。

参 考 文 献

- 1) 臼木秀樹：CAMP-ISIJ, 8(1995), 406
- 2) 金堂秀範、武田 了、大森和郎、国田憲男：川崎製鉄技報, 28(1996)2, 69
- 3) 佐々木健、長瀬忠広、春名孝行：CAMP-ISIJ, 8(1995), 410
- 4) 小川隆生、武田 了、川縁正信、丹下武志：川崎製鉄技報, 32(2000)1, 54