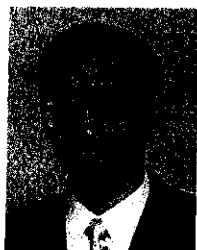


Development of High Dimensional Accuracy Wire Rods and Bars



小川 隆生
Takao Ogawa
水島製鉄所 条鋼圧延
部条鋼技術室 主査
(課長)



武田 了
Ryo Takeda
水島製鉄所 条鋼圧延
部条鋼技術室 主査
(課長補)



川縁 正信
Masanobu Kawaberi
水島製鉄所 管理部商
品技術室 主査(課長)



丹下 武志
Takeshi Tange
住友重機械工業(株)
機械事業本部産業機械
事業センター 設計部
技師

1 緒 言

線材、棒鋼製品は鉄鋼メーカーで製造された後、二次加工メーカーにて、さまざまな機械部品に加工されて自動車部品などに多く使用されている。二次加工は、切削、引き抜き、切断、鍛造および熱処理などの加工を組み合わせた複雑なプロセスとなっているため、加工コスト削減を目的とした二次加工プロセス簡素化の要求¹⁾が、近年ますます高まっている。この要求を満足する鋼材の供給は、鉄鋼メーカーの使命であり、二次加工の切削、引き抜きおよび熱処理などの工程省略が可能な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。

川崎製鉄と住友重機械工業(株)は、1994年に棒鋼用4方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、川崎製鉄水島製鉄所線材・棒鋼工場に導入し、0.1mmピッチの任意サイズで、かつ高寸法精度熱間圧延線材、棒鉄の供給

要旨

近年、自動車用鋼材に代表される特殊鋼市場において、二次加工での初期プロセスを省略して、そのまま成形加工できる熱間圧延鋼材の要求がますます高まっている。すなわち、高寸法精度でしかも市場側から自由に製品サイズを要求できる線材や棒鋼の圧延技術の開発が待望されている。これらの市場要求に応えるために川崎製鉄は、棒鋼用4ロールミルに続き線材用4ロールミルを開発し、1998年8月に水島製鉄所の線材・棒鋼工場に導入し、4.7mmφから85mmφ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。本技術は、構造が単純な高剛性圧延機と高寸法精度圧延技術を主体に、高減面率、高速圧延、安定通材などさまざまな圧延技術の開発によって実用化に成功した。

Synopsis:

In recent years, the demand for hot rolled bars and wire rods, that omit the upstream processes in the secondary manufacturing, has greatly increased in special steel markets where the bars and rods, as rolled, are utilized as automotive steels. That is to say, the development of new rolling technology to supply products of optimum sizes for various working processes requiring high dimensional accuracy has been desired. Kawasaki Steel has developed a new size-free rolling technology using a 4-roll mill for wire rods, following a similar development for bars, in response to market demands. In August 1998, this technology was introduced at the wire rod mill line of Mizushima Works. In this manner, a high dimensional accuracy/size-free rolling organization of steel products from 4.7 mm to 85 mm in diameter was constructed. This technology has succeeded in commercialization as a result of the development of a simplified structure mill of extreme hardness and high dimensional accuracy rolling technology. Moreover, it has also successfully realized high reduction rolling, high speed rolling and stable passing technologies.

を開始した。

本技術に関しては、以前に本誌²⁾で棒鋼用4ロールミルによるサイズフリー圧延技術の概要について報告した。本報では4ロールサイジング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ロールミルによって圧延された線材、棒鋼製品の特徴および製品の活用例について述べる。

* 平成11年11月1日原稿受付

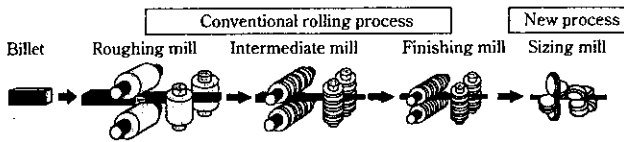


Fig. 1 New rolling process for bars and wire rods

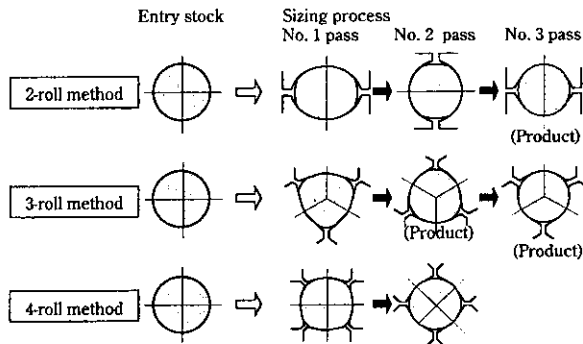


Fig. 2 Sizing processes of 2-roll, 3-roll and 4-roll rolling methods

2 開発の目的

4 ロールミル技術開発の目的は以下の2つである。

第1は、既設2ロールミル圧延材の寸法精度 $\pm 0.2\text{ mm}$ に対して $\pm 0.05\text{ mm}$ から $\pm 0.07\text{ mm}$ の高寸法精度で、かつ従来の 0.5 mm から 1.0 mm ピッチに対して 0.1 mm ピッチの任意サイズオーダーの線材、棒鋼を製造することである。これにより、二次加工メーカーのプロセスを簡素化、省略化できる。

第2は、同じ圧延孔型ロールを使って異なるサイズの線材、棒鋼を製造すること（サイズフリー圧延）によってサイズ変更にとまなう孔型ロール交換の停止時間を減少させて、線材、棒鋼圧延の生産能力を向上させることである。

3 4 ロールミル圧延技術

従来から線材、棒鋼の寸法精度に関してはJISに許容値が定められているが、近年、JIS許容値の $1/2$ から $1/4$ の高寸法精度材の要求が高まっている。Fig. 1は線材、棒鋼の新しい圧延工程を示しており、従来は2ロール仕上げ圧延機を使っている圧延が一般的であったが、近年、その後方にさらに高寸法精度圧延専用の圧延機、いわゆるサイジングミルを設置した工場が増えている。

サイジングミルに適用される圧延法には、すでに他社で開発、発表されている2ロール法³⁾、3ロール法⁴⁾と、本報で述べる新開発の4ロール法がある。4ロール法とは、圧延材を4本のロールの間を通過させ、4方向から同時に圧延する方法である。

3.1 4 ロール法の特徴

Fig. 2は3種類のサイジングミルの圧延方式を示している。以下に、寸法精度に影響する2つの特性を比較することによって、4ロール法の特徴を述べる。

第1は、断面形状特性の差であり、Fig. 3に同一孔型ロールを使用しロール隙を変化させた場合の、ロール隙変化量と製品寸法精度（最大径と最小径の差）の関係を示す。4ロール法は他の圧延法よ

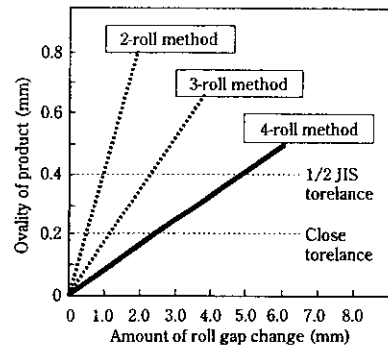


Fig. 3 Comparison of ovality by each rolling method

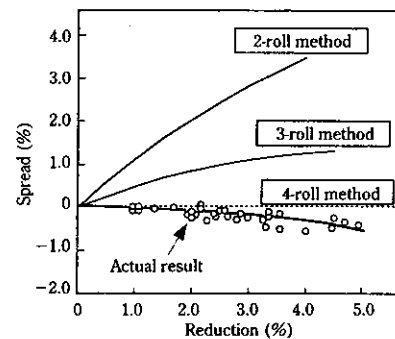


Fig. 4 Comparison of spread by each rolling method

り寸法精度が高く、かつ勾配が緩くロール隙変化が発生しても寸法精度の低下率はもっとも小さく、高寸法精度材製造にもっとも適した圧延法であると言える。

第2は幅広がり特性である。幅広がりとは、孔型ロールで圧下された時に生じる孔型ロールに接触していない部分の寸法変化のことである。Fig. 4に各圧延法における減面率との関係を示す。2ロール法、3ロール法はわずかな減面率変化でも幅広がり部の寸法が変化するので、製品寸法の高精度化には限界がある。これに対して、4ロール法は幅広がり量がきわめて小さいので高寸法精度材を容易に製造できる圧延法であると言える。

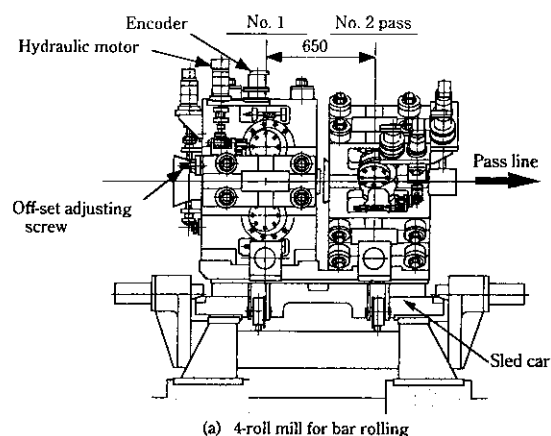
さらに、4ロール法は幅広がりがないことによる利点として、Fig. 2に示すように最終2パスで製品製造が可能である。一方、2ロール法、3ロール法では、最後に幅広がりをするだけ小さくするための低減面率パスを加えた3パスが必要となっている。

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。

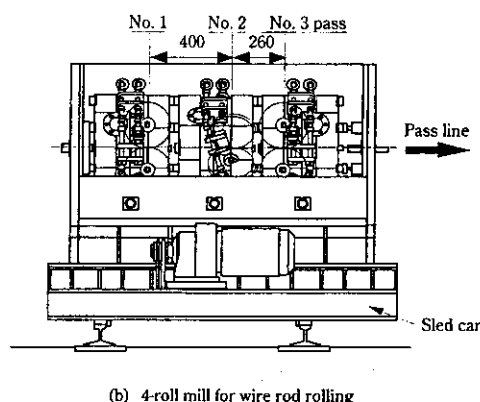
3.2 4 ロール圧延機の概要

Fig. 5(a)に棒鋼用4ロールミル、Fig. 5(b)に線材用4ロールミルの外観図を示す。また、Table 1に両ミルの主仕様を示す。

棒鋼用ミルと線材用ミルの大きな違いは、圧延機台数がそれぞれ2台と3台の連続圧延機としたこと、およびロール駆動方式がそれぞれ2ロール駆動と4ロール同時駆動としたことである。線材用ミルの場合、ロール周速 100 m/s 以上の高速回転が必須であること、および圧延材先端の圧延ロールへの噛み込み遅れによる座屈トラブルを防止するためには、全ロール駆動方式とすることが不可欠である。



(a) 4-roll mill for bar rolling



(b) 4-roll mill for wire rod rolling

Fig. 5 Outside view of 4-roll mills

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

Items	Specification 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)	φ16~85	φ4.7~19.0
Rolling speed (m/s)	0.8~16	15~110
Roll diameter (mm)	φ400	φ220
Roll drive	2 rolls driven by motor and 2 rolls rotated by water spray	4 rolls driven by motor
Roll gaps adjustment	Remote control system Control accuracy = ±0.01 mm	Remote control system Control accuracy = ±0.01 mm
Stand change	Automatic change system Changing time = 3.5 min/unit	Automatic change system Changing time = 3 min/unit

また、両ミルの共通点は、コンパクトな設備であるとともに、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いて、高寸法精度材の製造を容易にしている。

3.3 実操業への適用状況

川崎製鉄の線材、棒鋼工場は、Fig. 6 に示すように、棒鋼圧延ラ

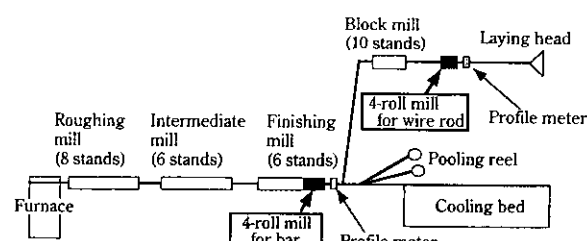


Fig. 6 Mill layout of bar and wire rod mill at Mizushima Works

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の従来の最終仕上ミル 2 台を撤去後新たに設置し、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。

3.4 開発技術

本技術を実用化するために、構造の単純化を狙った安価な生産設備で、かつ顧客満足度の得られる高品質製品が製造可能な設備であることが必要であり、以下に開発した主な実用化技術について述べる。

3.4.1 高寸法精度圧延技術

4 ロール法は高寸法精度材の圧延に理論的に有利であることは 3.1 項で述べた。この利点を実際の操業において達成するためには、圧延機が高剛性であるとともに、圧延機の機械的精度およびガタに起因する圧延材寸法の目標値との偏差を補正する高精度なロール隙微調整がオンライン、オフラインで可能であることが重要である。

4 ロールミルのハウジングは、棒鋼用をプレストレス構造、線材用を軸部半割構造とし、さらに圧下装置に偏芯機構を採用することによって、棒鋼用で 980 kN/mm、線材用で 200 kN/mm の高いミル剛性を達成した。

さらに、オフラインで高精度にロール位置セットするために、プレストレスをかけて機械ガタをなくして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、偏芯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 0.01 mm 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。

3.4.2 圧延機の単純構造化

実操業で使用する圧延機は、オフラインでのロール交換およびメンテナンスが容易な単純構造であることが重要である。

多ロール圧延機ほど構造が複雑になることが 4 ロールミル実用化の障害であったが、棒鋼用 4 ロールミルは、上下の 1 対ロールのみ駆動する方式を開発し、残りの 1 対はアイドルロールとし、構造の単純化を達成した。線材用 4 ロールミルは、棒鋼用 4 ロールミルの知見をもとに、圧延ロールとロール圧下機構からなるロールハウジングと、駆動力を 4 本の圧延ロールに分配するための駆動機構からなる駆動ハウジングを結合させた分割ハウジング方式を開発することによって構造を単純化した。

オフラインでのハウジング解体、組み立てについては、専用のハウジング分解組立て装置と専用治具を開発したので、容易に、かつ 1 台当たり約 1 h の短時間での解体、組み立てが可能である。

3.4.3 高減面率圧延

一般的にサイジングミルでは、低減面率圧延を行うので、圧延材

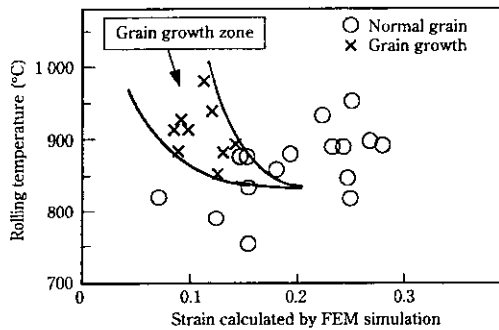


Fig. 7 Measured results of grain growth conditions on 4-roll rolling

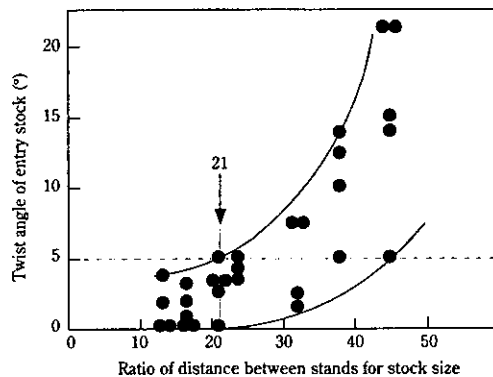


Fig. 8 Effect of distance between stands for stock size on twist angle of entry stock

鋼種による差はあるが、材料の内部組織が粗大化する現象⁹⁾がおこる。このため、最終製品の寸法精度悪化や二次加工中の変形などの原因になる場合がある。Fig. 7は、中炭素鋼の4ロール圧延での組織粒径におよぼす圧延温度とひずみの影響を実験実測にて調査した結果で、粗大粒発生領域よりも高減面率または低温で圧延することにより、粒径の粗大化は防止できる。

棒鋼用4ロールミルの場合、ロール軸をオフセット（一方の2本のロール軸に対して他方の2本のロール軸を圧延方向にずらすこと）することによって圧延ひずみが増大する特性⁹⁾を活用し、2台の圧延機の1台目にロール軸オフセット機構を適用し、低減面率でも10%以上の高減面率に相当する高ひずみ圧延を可能にし、さらに低温圧延することにより組織を細粒化した。

一方、線材用4ロールミルは、ロール軸オフセット機構はなく、1パス増の3台連続圧延機とすることによって、高減面率と広いサイズフリー範囲の両方を兼ね備えた圧延を実現した。

3.4.4 安定通材技術

線材、棒鋼圧延では、1パスごとに圧下方向を変えて圧延されるので、2ロール、3ロール、4ロール法とも、パス間で圧延材が捻転する現象（倒れ）が発生しやすく、寸法精度が大幅に低下する原因になる。

Fig. 8は4ロール圧延における倒れの発生におよぼすパス間距離の影響を示すもので、圧延機ガイドなしで倒れ角度5°以下の安定した圧延を維持するために(1)式の条件が必要である。

$$L/D \leq 21 \quad (1)$$

ここで L : 圧延機間距離 (mm), D : 圧延材料直径 (mm)

一方、 L/D が 21 以上の細径材圧延での倒れを防止する方法とし

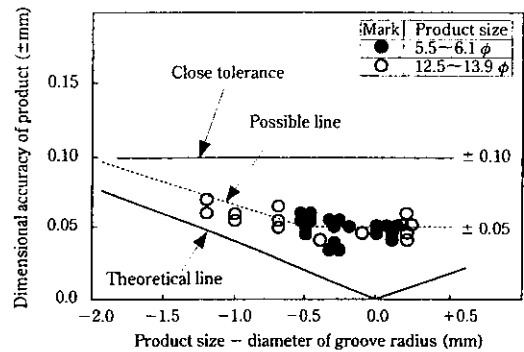


Fig. 9 Results of dimensional accuracy of wire rods

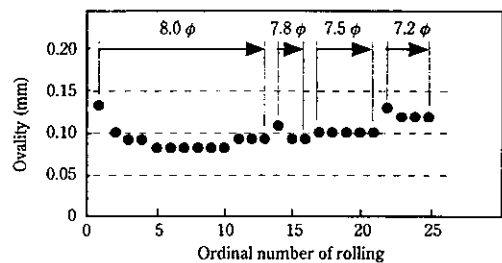


Fig. 10 Size-free rolling results of wire rod by 4-roll mill

ては、圧延機入側に圧延材寸法が変化しても、ほぼ一定の押え力で圧延材を保持できる特殊なローラーガイドを開発して設置した。

3.4.5 高速圧延技術

実用化した4ロールミルは、棒鋼用で16m/s、線材用で110m/sの高速圧延を達成している。

棒鋼用は、上下2ロールのみモーター駆動であり、他のアイドルロールはロール側面に取り付けた羽根に高圧水を噴射し回転させる方式であるため、アイドルロール軸受けの潤滑方法として、一般的なグリース潤滑でなく、潤滑剤粘度に起因する回転抵抗を最小にすることを狙いサイジングミルとしてはじめてオイルエアー潤滑を採用した。これにより、0.7MPaの高圧水噴射で16m/sの高速回転を可能にした。

線材用4ロールミルにおいても、ロール軸にオイルエアー潤滑を使い、エアーの冷却効果により軸受け温度の上昇を抑え、110m/sの高速圧延を実現した。

4 適用結果

4.1 サイズフリー圧延技術と寸法精度の評価

サイズフリー圧延における製品寸法精度に関して、棒鋼の実績は以前の本誌²⁾で紹介しているので、本報では線材の実績をFig. 9に示す。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（最大径と最小径の差）を示す。サイズフリー範囲内の製品において、棒鋼で±0.2mm以内、線材で±0.07mm以内を達成し、さらに孔型基準径に近い範囲においては、棒鋼で±0.07mm以内、線材で±0.05mm以内の高寸法精度製品の製造が可能になった。

Fig. 10は、線材の圧延開始から終了まで7.2~8.0mmφサイズフリー範囲内製品寸法精度の変化の実績を示している。各サイズの圧延開始1本目から良好な寸法精度であり、2本目以降はロール隙

を微調整することにより、さらに高精度な製品が得られている。また従来法のように1本目に寸法調整するための余分な材料を準備し圧延する必要はない。

また、寸法精度を表す要素として、偏径差のほかに真円度がある。偏径差は寸法計などで容易に計測できるが、真円度は断面の同心度であり、計測が困難であるにも関わらず、二次加工性に影響する重要な要素である。Fig. 11は圧延法による断面形状の差が真円度におよぼす影響を示しており、式(2)に示すように真円度 Δd が同じ場合、式(3)に示すように、2ロール法と4ロール法の偏径差 ΔD_2 、 ΔD_4 より3ロール法の偏径差 ΔD_3 が寸法 a だけ小さい。言い換えれば寸法計などで計測できる偏径差が同一の場合、3ロール法の製品真円度はもっとも悪い可能性がある。

すなわち、4ロール法を採用することによって、偏径差および真円度も優れ、二次加工性の高い製品の圧延が可能になった。

サイズフリー範囲に関しては、Fig. 12に示すように棒鋼用、線材用とも製品径の約10%に相当する広い範囲の圧延が可能になった。さらに、パススケジュールが統合され、組替回数的大幅な減少により稼働率向上による大きな効果をあげている。

$$\Delta d_2 = \Delta d_3 = \Delta d_4 \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta D_2 = \Delta D_4 > \Delta D_3 \dots\dots\dots (3)$$

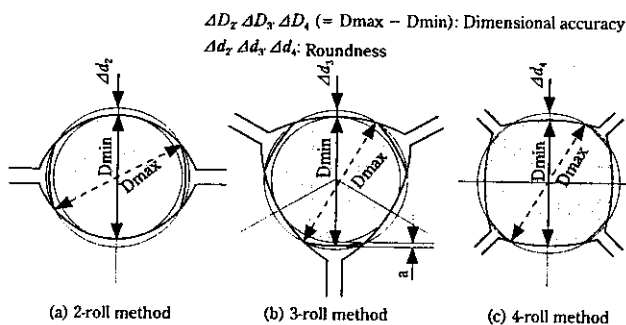


Fig. 11 Effect of roll gap change on dimensional accuracy and roundness of product

4.2 実施効果

4ロールミルを工程化した結果、高寸法精度製品の製造が容易となり需要家の厳しい要求に対応可能となった以外に、圧延工程でも以下に述べる効果が得られた。

(1) 生産性の向上

圧延ロールの組替回数の減少による稼働率の向上と圧延速度の高速化によって、生産能力は15%増加した。

(2) ロール原単位、在庫の削減

Fig. 13に示すように、ロール原単位やロール保有数の削減により、大きな経済的効果が得られた。

5 高寸法精度製品の活用

4ロール圧延技術の実用化により、高寸法精度の線材、棒鋼の製造が従来より容易になり、かつ、線材においては圧延機の増設により、従来の最小寸法である5.5mmφよりもさらに細径の線材が、また外周に4ヶ所の縦リブがある新しい異形棒コイル(4条リブ鉄筋)の製造が可能になった。以下にその適用例を紹介する。

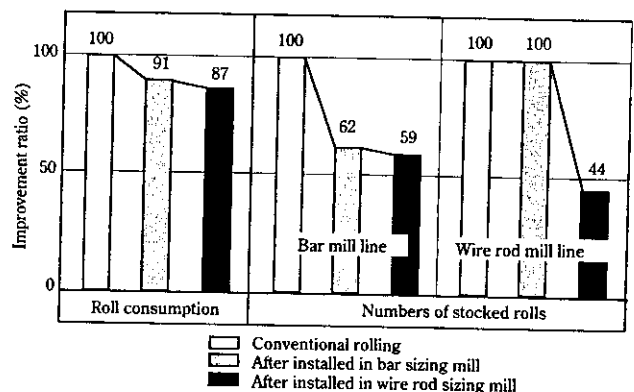


Fig. 13 Improvement of operation by installing 4-roll mill

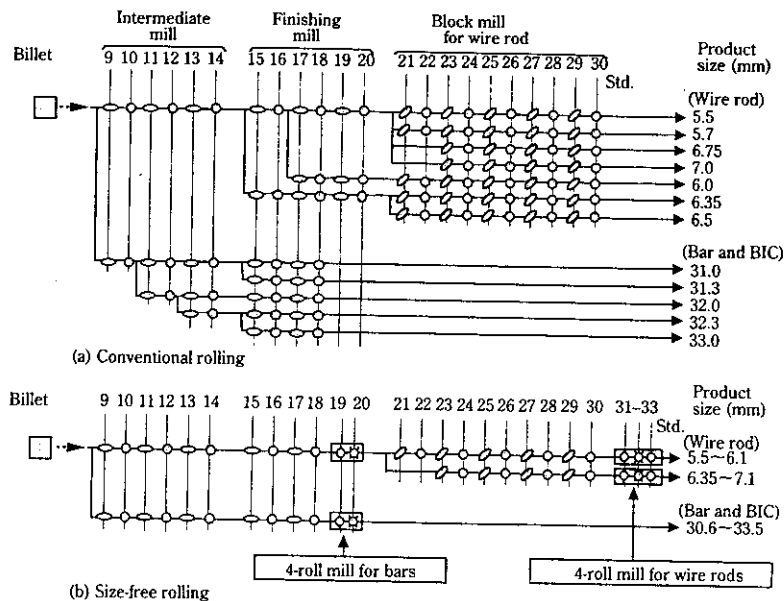


Fig. 12 Examples of pass schedule changed by installing 4-roll mill

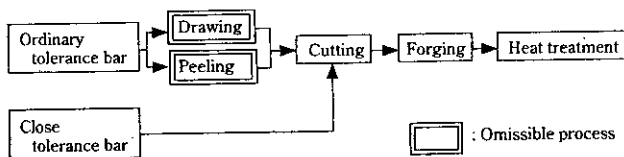


Fig. 14 Example of process applying close tolerance bar

5.1 棒鋼への適用例

棒鋼の寸法公差を 0.10~0.15 mm 以下にすることにより、Fig. 14 に示すように、引き抜き加工やピーリング加工の工程省略が可能である。ただし、ピーリング加工の目的は、寸法の高精度化および表面疵、脱炭層の除去であるが、高精度寸法圧延技術と圧延前の素材の再加熱条件適正化技術⁷⁾、オンライン表面傷探傷技術などの造り込み技術を組み合わせることにより、ピーリング加工材とほぼ同じレベルの製品が製造できた。

さらに、本技術と低変形抵抗抗間鍛造用鋼⁸⁾、焼き入れ焼戻し省略鋼と組み合わせることにより、自動車などの部品において、熱処理を含む二次加工の初期工程の大幅省略が可能となった。

5.2 線材への適用例

線材は、鍛造加工等の成形加工の前に鍛造時の金型への充滿度を確保するため高寸法精度にする必要があり、鍛造前に所定の径に伸線加工を施すのが一般的である。従来は、成形前サイズが製造可能サイズと一致しない場合が多く、また成形前サイズが製造可能な最小径 5.5 mmφ 未満の場合もあり、このような場合には伸線加工は必須であった。

今回、4 ロール圧延技術の線材圧延への適用により、高寸法精度で、かつ標準サイズにない需要家からの要求どおりの成形前サイズ

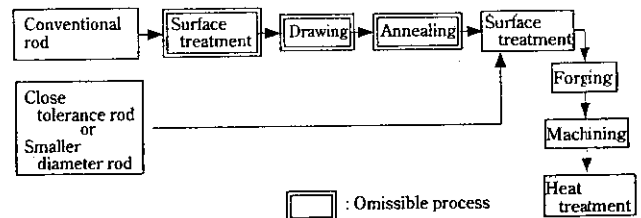


Fig. 15 Example of process applying close tolerance or smaller diameter rod

(0.1 mm ピッチ) の線材の製造が可能になり、さらに圧延機を増設したので熱間圧延で 4.7 mmφ までの細径線材の製造が可能となった。これらの線材は二次加工での伸線加工省略化を実現し、アズロールヘッドニング化を達成した。

一例として、Fig. 15 に高炭素鋼線材の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鍛造加工のために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、伸線加工の省略だけでなく、焼鈍熱処理、表面処理なども省略可能となった。

6 結 言

川崎製鉄では、線材、棒鋼圧延における仕上サイジングミルとして、4 ロール圧延法を世界に先駆けて開発、導入した。

本技術は、理論的にサイズフリー範囲のもっとも広い圧延方式であるとともに、需要家の要求どおりのサイズの製品を高寸法精度で圧延できる技術であり、工程圧延機として棒鋼用ミルを 1994 年 4 月に、線材用ミルを 1998 年 8 月に水島製鉄所の線材、棒鋼工場に建設し、現在順調に操業を続けている。

参 考 文 献

- 1) 白木秀樹: 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) W. J. Ammerling: CAMP-ISIJ, 8(1995), 418
- 5) 根石 豊, 秋山雅義, 黒田浩一: 塑性と加工, 39(1998)11, 40
- 6) 大森和郎, 狩野 彰, 金堂秀範, 武田 了: 第 46 回塑性加工連合講演会, (1995)9, 383
- 7) 武田 了, 金堂秀範, 井野清治, 山本義治: 川崎製鉄技報, 23 (1991)2, 37
- 8) 星野俊幸, 天野慶一, 田畑純久, 中野昭三郎: 川崎製鉄技報, 23 (1991)2, 21