



棒鋼用2ロール式サイジングミルによる 精密・フリーサイズ圧延

佐々木 健*・稲守 宏夫*²・小林 秀雄*³・山口 桂一郎*⁴

Precision and Free-size Bar Rolling by 2-Roll Sizing Mill

Takeshi SASAKI, Hiroo INAMORI, Hideo KOBAYASHI and Keiichi YAMAGUCHI

Synopsis: This paper describes the latest performance of bar rolling employing the high rigid two-roll sizing mill. This technology is comprising of three stands 2-roll sizing mill with roll parting adjustment mechanism, dedicated roll turning lathe and roll scheduling software system. The sizing mill offers not only the precision tolerance and free size availability for customers but also the improvement of mill utilization and operation cost at bar mill. 2-roll sizing mill for bar-in-coil and wire rod has also started the operation.

Key words: sizing mill; precise tolerance; free size; small lot order; multi cycle rolling.

1. 緒言

自動車や各種産業機械に用いられる特殊鋼棒鋼では、ユーザーにおける工程省略や加工歩留の改善のため、用途に最適な任意の寸法を有し、かつ寸法精度 $\pm 0.1\text{mm}$ という精密公差材料の供給がかねてより求められてきた。従来の圧延法では専用の孔型を用い、圧延温度・ロール調整等を特別に管理して対応してきたが、生産性の低下・コストの上昇は避けられず、新たな精密圧延技術の開発が望まれていた。

精密圧延を実現する方法としては、(1)既設ミルに制御システム(ソフトウェア)を付加する方法と(2)サイジングミル等のハードウェアによる方法がある。前者の方法としては、ロール回転数を制御する張力制御¹⁾²⁾、又、最近では、張力と寸法の多変数制御³⁾⁴⁾、プロフィールメータを用いた仕上寸法セットアップ⁵⁾、無張力セットアップ⁶⁾⁷⁾技術等が報告されている。一方、後者の方法としては、幅広がり少ない圧延特性を持つ3ロールサイジングミル⁸⁾⁹⁾等が報告されている。

大同特殊鋼(株)では、既設上流スタンドでの寸法変動を、ミル剛性を飛躍的に高めたシングルパス2ロールサイジングミルにより吸収し、精密圧延を可能とすると共に、ロール圧下調整により約1mmの範囲内で任意のサイズ(フリーサイズ)の圧延も可能とした。本サイジングミルの孔型修正は、専用孔型加工機の開発により、ロールをハウジング

に組込んだまま短時間かつ高精度で実施される。また、多岐にわたる受注を効率よく圧延するための、圧延スケジュールサポートシステムも具備されている。その結果、最適寸法(フリーサイズ)・高精度($\pm 0.1\text{mm}$)材を、小ロット(鋼片1本/サイズ)・短納期(4サイクル/月)でユーザーに供給でき、かつ、高実働率・低コスト・安定品質の操業が実現できた。

本論では、寸法変動要因、サイジングミルの具備すべき条件、サイジング効果、操業結果と本技術の拡張性について述べる。

2. 寸法変動要因と精密圧延に必要な要素

2・1 寸法変動要因

精密圧延のためには①圧延材先端から後端まで全長(長手方向)にわたって寸法変動を少なくすることと、②一断面内の偏径差を少なくすることが必要である。

前者の要因としては、加熱炉内の温度分布、圧延中における冷却特性差(放冷時間差、無水冷部/水冷部)等の材料温度変化と上流スタンドでの張力差による先後端と中央部の入側寸法変化がある。一方後者の要因としては、スラスト方向の遊び(ベアリングスキ、ガタ等)、孔型切削誤差、磨耗等がある。これらの要因と寸法変化の関係をFig.1に示す。

更に、特殊鋼を圧延する工場では、変形抵抗¹⁰⁾、幅広がり¹¹⁾、

平成4年7月10日受付 平成4年12月8日受理 (Received on July 10, 1992; Accepted on Dec. 8, 1992)

* 大同特殊鋼(株)知多工場 (Chita Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)設備エンジニアリング部 (Plant Eng. Dpt., Daido Steel Co., Ltd.)

* 3 大同特殊鋼(株)生産技術部 (Production Tech. Dpt., Daido Steel Co., Ltd., 39 Motomachimachi Tokai 477)

* 4 大同特殊鋼(株)生産技術部 (現:星崎工場) (Production Tech. Dpt., now Hoshizaki Works, Daido Steel Co., Ltd.)

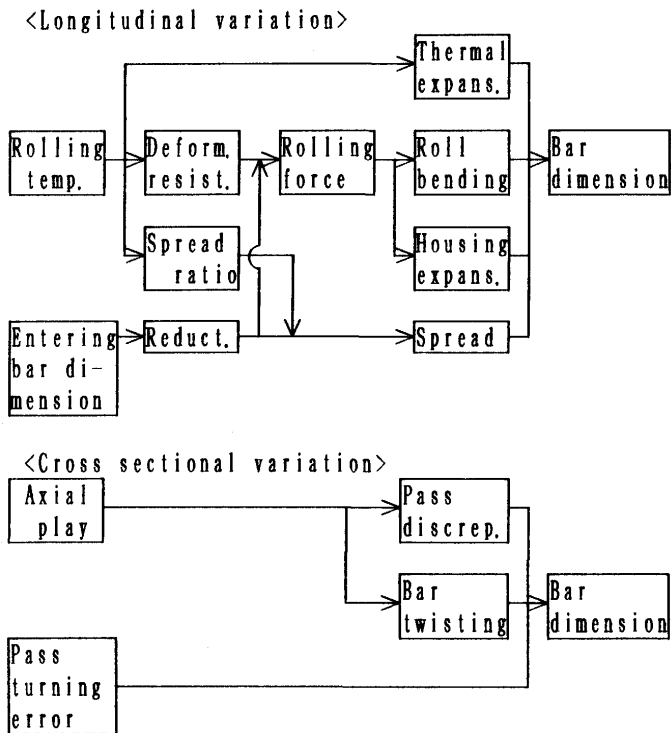


Fig. 1. Factors that cause dimensional variation.

熱膨張¹²⁾の異なる多種類の鋼種を同一孔型で圧延することが要求される。鋼種替り時には、これらの特性の差も寸法変動要因となる。

2・2 精密圧延に必要な要素

2・2・1 長手方向変化への対応

均一温度、入側材料寸法変動なしで圧延する事が理想であるが、工業生産上は極めて困難である。そこでこれら要因による寸法変動に対応するためには、ロールのタワミ、ハウジングの伸びの少ない高剛性ミルで、最終2パス（天地、左右）以上を低減面率で圧延する必要がある。

2・2・2 一断面内偏径差及び多鋼種への対応

スラスト方向の遊び減少による孔型のくい違い・材料タオレ防止及び孔型切削精度向上が一断面内の偏径差減少に必要なである。又、圧下調整誤差に対しては、調整機構はない方が良く思われるが、変形抵抗、幅広がり、熱膨張の異なる多鋼種を圧延するためには、圧下調整機構は不可欠である。

3. サイジングミルの開発

先に述べた精密圧延に必要な要素を考慮し、Photo. 1に示す圧下調整可能な水平-垂直-水平（又は垂直-水平-垂直）3台の2ロール圧延機をコンパクトに結合したサイジングミルを開発した。各スタンドは、1モーターにより共通駆動されており、減面率に見合った速度比を有する。

なお、サイジングミル上流側は、通常の2重式水平-垂直ミルであり、速度制御系は、φ40mm未満でループ制御、φ40

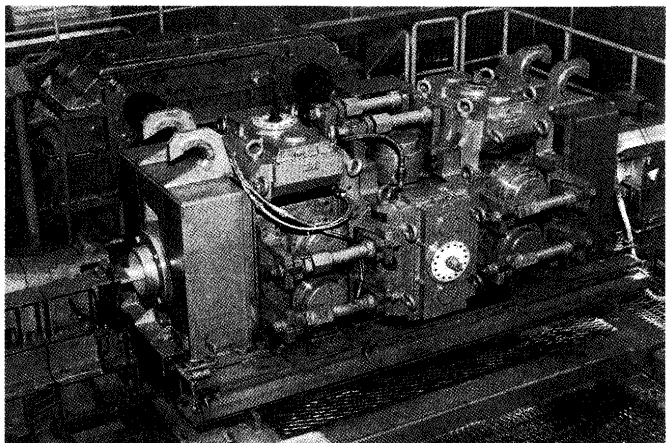


Photo. 1. Sizing mill.

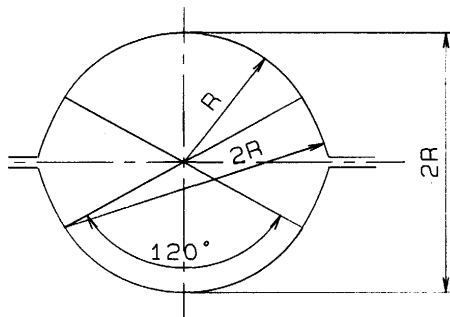


Fig. 2. Finishing pass shape of sizing mill.

mm以上では電流値メモリー式の張力制御が適用されている。

3・1 サイジングミルの特徴

3・1・1 2ロール3パス圧延方式

孔型の共用性を図るため、サイジングミル入側材料は延伸丸を採用し3パスで成形する方式とした。最終パスの圧下量は、全長にわたって圧下可能な最低限を狙い0.5mmまたは1%以下とした。最終パス（仕上）孔型は、Fig. 2に示す様に120°の開き角を有した丸孔型であり仕上圧延時の自由面を広くすることで、圧下量の変化による幅広がりの影響を抑えた。仕上前の孔型は、仕上孔型とほぼ同一形状であり、両肩部に約30°のラップ代をもうけ、圧延材料が若干倒れても寸法に影響しにくい様に配慮した。1パス目の孔型は後述のガイドレス圧延を可能とするためサイジングミル入側延伸丸にフィットする形状で、且つ孔型充填率を高め圧延中の倒れを防止する様に設計した。3パスの減面率バランスは概略10%～5%、5%～2%、1%～0.5%程度である。

3・1・2 高剛性ミル

(1) ラジアル剛性

ロール胴長を最短とするためシングルカリバーとすると共にロール軸径を太くし、ロールのたわみ最小化を図った。さらにボックス型のハウジングを採用することにより、Fig. 3に示す様に従来対比約2倍のラジアル剛性を確保した。

(2) スラスト剛性

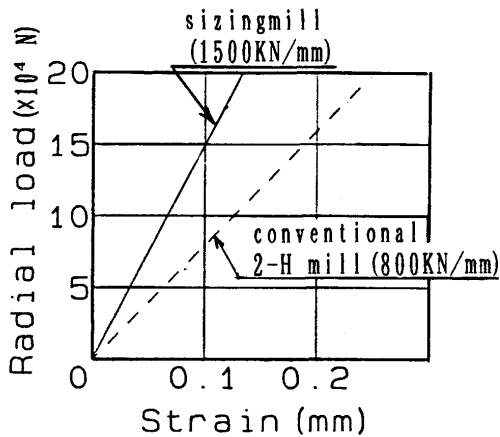


Fig. 3. Radial stiffness.

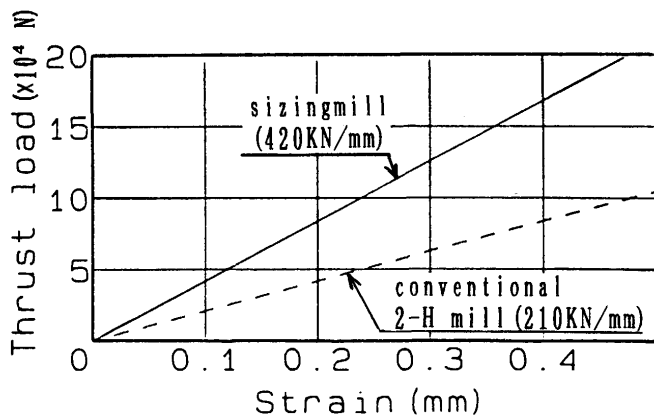


Fig. 4. Thrust stiffness.

高精度スラストベアリングの採用と自動調芯機構付プリストレススラスト調整装置により、軸方向の遊びを抑えると共に、Fig. 4 に示すように従来対比約 2 倍のスラスト剛性を確保した。

3・1・3 ガイドレス圧延

多鋼種を同一孔型で圧延するためには、その鋼種特性に合わせたロール圧下調整が必要であるが、通常ロール圧下調整時には、ローラーガイドの調整も同時に行なわねばならない。当サイジングミルはスタンド間距離を短縮することで、保持ガイドなしで圧延する方式を採用した。安定して圧延可能な限界はスタンド間距離(L)と圧延寸法(D)の比とサイジングミル 3 パス減面率の関係で決まり、実験結果から Fig. 5 の様になる。

3・1・4 フリーサイズ圧延

前述の如く 120°の開きを有した丸孔型 2 パスで仕上成形するため、ロール圧下調整により 1 孔型で約 1 mm レンジのフリーサイズ圧延が可能となった。この 2 パスのロール隙を標準隙より 0.7 mm 狭くすると、天地、左右は 0.7 mm 小さくなり、45°方向は約 0.5 mm 小さくなる。すなわち全体として約 0.6 mm 小さな製品となる。逆にロール隙を 0.4 mm 広げると、天地、左右は 0.4 mm、120°の開き部分は約 0.2 mm 大きくなり、全体として約 0.3 mm 大きな製品に圧延したこと

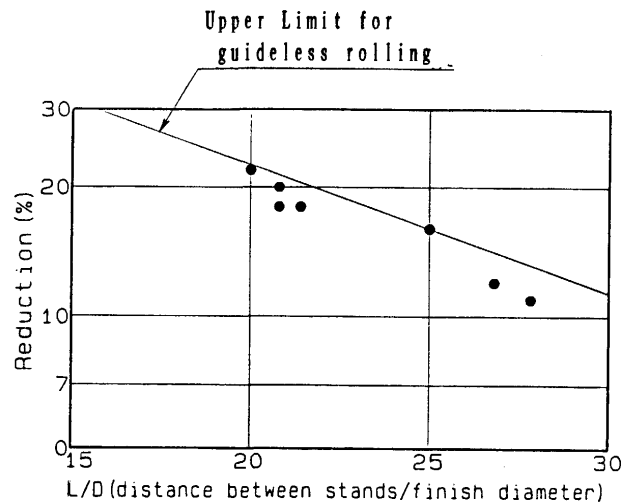


Fig. 5. Limitation for guideless rolling.

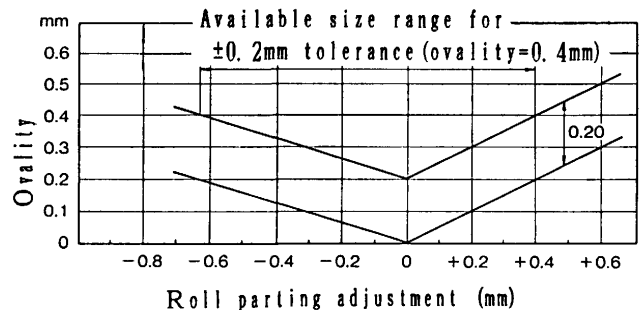


Fig. 6. Capability of free size rolling.

なる。上記は共に偏径差が約 0.2 mm 悪化するが標準サイズ 0.6 mm から +0.3 mm 迄の寸法を同一孔型で圧延可能であることを示している。Fig. 6 には圧延寸法精度と圧延可能範囲を示す。±0.1 mm (偏径差 0.2 mm) の製品は専用孔型となるが、±0.2 mm (偏径差 0.4 mm) の製品は 1 孔型で 1 mm レンジまで圧延可能である。

3・2 サイジングミルの旋削・組付

3・2・1 サイジングミル専用孔型加工機

短時間で高精度なロールの旋削・組付を行なうため、圧延機にロールを組込んだまま、孔型及びロール外径を旋削できる専用孔型加工機を開発した。旋削精度を上げるため、圧延機の固定をラジアル方向、スラスト方向に各々油圧クランプし、更に油圧プリロードをかけている。また、自動旋削のため、タッチセンサーを用いてロールのスラスト方向、ラジアル方向の位置測定を行ない、プリセットされた孔型に自動で旋削する。このため旋削中は、無人運転となり作業者は次の段取作業が可能となる。

3・2・2 ミルセットアップ時間短縮への配慮

サイジングミルセットアップ時間の短縮を図るため更に次の様なアイデアを取り込んだ。

○ロール圧下調整機構を上・下共に取付け、オフラインでのパスライン合せを容易にした。

○水平・垂直圧延機を同一とし、互換性の確保と共に同一旋盤での加工を可能とした。

○油圧圧着式のコモンベースに3台の圧延機を乗せ、油圧で圧着するだけでミルのセットアップを可能とすると共に、オフラインで3台のパスライン合せを可能とした。

上記方案の開発によりロール改削、セットアップのサイクルタイムが1/10に短縮され多サイクル圧延が可能となった。また、ロールの分解、洗浄、組付等の無駄作業も排除された。

4. サイジング効果及びフリーサイズ圧延調査結果

今回開発したサイジングミルの性能を確認するため、精密圧延及びフリーサイズ圧延について実機テストを実施した。

4・1 精密圧延

4・1・1 サイジング効果の確認

本サイジングミルが、どの程度寸法変動を吸収できるか調査した。テスト方法としては、サイジングミル入側材料の寸法変化をできるだけ大きくするため、故意に加熱炉で鋼片を先端から後端にかけて傾斜加熱を実施し、1本目の鋼片はサイジングミル入側材料の寸法を測定するためサイジングミルを取外して圧延し、2本目の鋼片はサイジング

ミルを使用して圧延した。Fig.7はそのテスト結果を示す。加熱炉での傾斜加熱により、先端から後端にかけて仕上温度で約100℃の差となり、それによりサイジングミル入側材料寸法は、約0.6mmの差が発生した。しかしサイジングミルで圧延する事により、入側材料で約0.6mmあった寸法変動が、約0.2mmの寸法変動に改善されることが確認された。Fig.8は、Fig.7のテスト結果をまとめたものである。サイジングミル出側天地方向では、入側材料寸法の温度依存性を示す回帰線の傾きが、0.003であったものが、本サイジングミルで圧延した後では、0.001となっており入側材料の寸法変動を1/3に吸収できる事を示している。同様に左右方向では入側材料の傾き0.0025がサイジングミル圧延後は0.0013になっており、入側材料の寸法変動を1/2に吸収できる事を示している。

4・1・2 精密圧延テスト結果

Fig.9に45φの精密圧延を実施した時の全長寸法測定結果を示す。本結果より、寸法精度はMin±0.1mm (±0.2%)が可能である事を確認した。

4・2 フリーサイズ圧延

本サイジングミルのロール隙を調整することにより1つの孔型を用いてどの程度のフリーサイズ圧延が可能か調査した。Fig.10は40φの孔型で40.5φ, 40.35φ, 40.2φ, 39.95φ, 39.6φを圧延した時の最大寸法, 最小寸法のバラツキを示し、また斜線部は計算上の最大, 最小寸法を示す。実績値が計算値と良くあっていることが分かり、偏径差0.4mm (振り分け公差±0.2mm)であれば、孔型寸法より0.4mm大きい40.4mmから、0.6mm小さい39.4mm程度までフリー

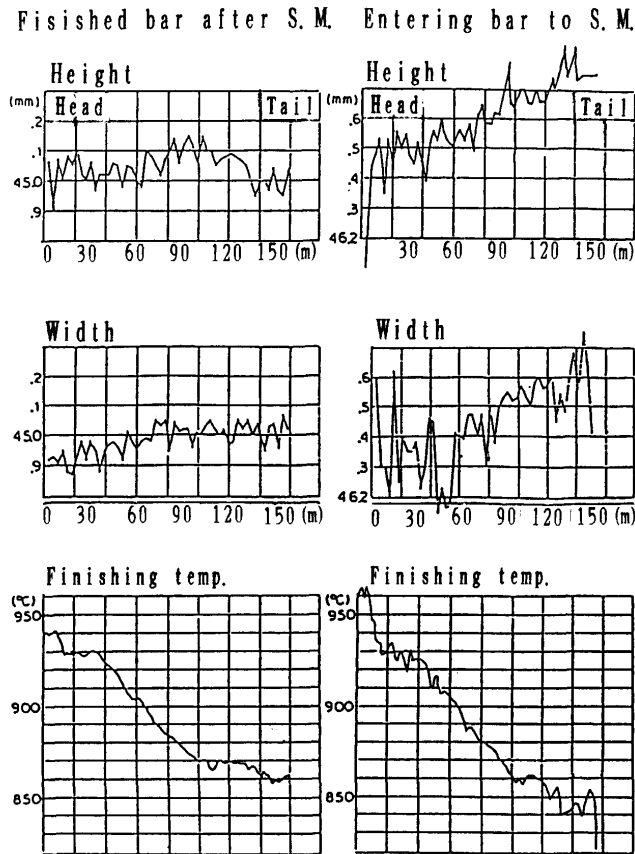


Fig. 7. Results of trial rolling with temp. variation.

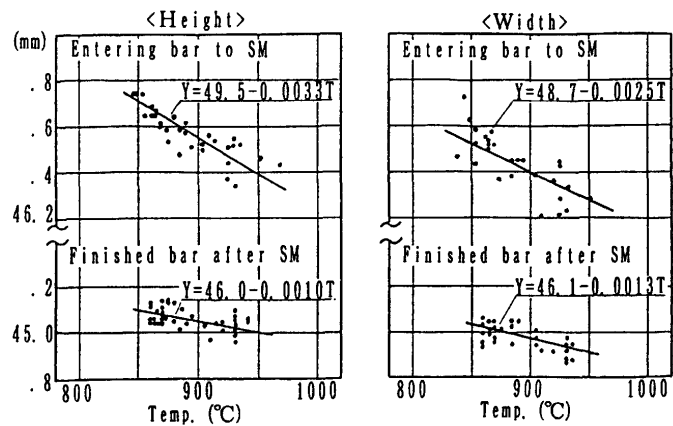


Fig. 8. Sizing effect by sizing mill.

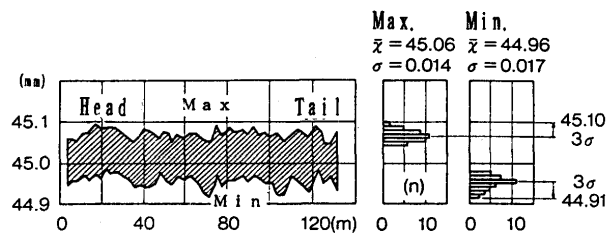


Fig. 9. Actual tolerance rolled by sizing mill.

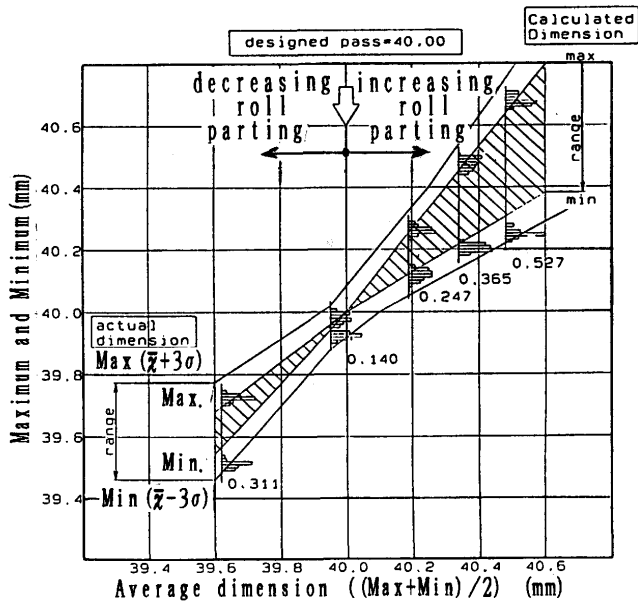
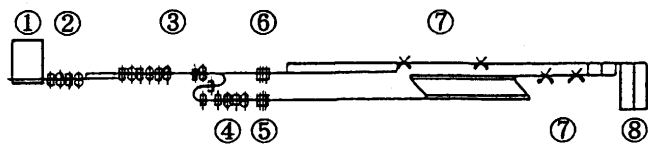


Fig. 10. Calculated and actual tolerance of free size rolling.



Modified	Aug. 1991	Billet size	153sqx2.1t
Productivity	55,000t/M	Product size	25~88mmφ

1	Reheating Furnace	5	Sizing Mill ($\leq 40\phi$)
2	Roughing Train	6	Sizing Mill ($> 40\phi$)
3	Intermediate Train	7	Hot Abrasive Saw
4	Finishing Train	8	Cooling Bed

Fig. 11. Layout and main specification of Daido Chita bar mill.

サイズ圧延が可能であることを確認した。

5. 実操業への適用

5.1 圧延方式

当社知多小型圧延ミルのレイアウト及び設備仕様をFig. 11に、又圧延方式をFig. 12に示す。本ミルは太径及び細径用仕上ラインを有し(デュアルアウトレットレイアウト)、各々のラインに計7セットのサイジングミルが用いられる。各ラインは交互に使用され、片ライン圧延中に他ラインのサイジングミル交換(サイズ替)を行なうことにより、サイズ替時間の短縮が図られている。圧延済のサイジングミル孔型は、次サイズの孔型に再切削され、順次太径サイズの圧延に使用され、最大径サイズ($\phi 88$)圧延後のロールは廃却し、最細径サイズ($\phi 25$)ロールに交換される。この圧延方式の採用により、圧延サイクル当りのサイジングミル用

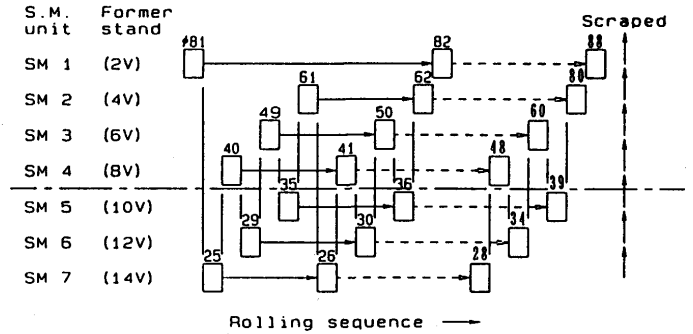


Fig. 12. Typical rolling sequence using sizing mill.

ロールの廃却は1セットのみで良い。

サイジングミル入側材は、全て延伸丸形状であり、従来方式で必要とされた多種類の延伸・リーダー・仕上孔型は不要となった。各スタンドでの孔型は2~3種類のみで良く、ロール・ガイド類の統合・最小化と、ロール・ガイド原単位の改善や、組替・調整作業の最小化が図れた。

更に、太径/細径交互圧延により、次工程の検査・手入れラインへの投入量平準化も図れた。また、本ミルでは砥石切断機が採用されており、通常のコールドシャー切断に比べ端部変形の回避、サイズ替に伴うバイト替の不要化、後工程での端部手入れ省略が実現し、ミルの実働率改善と後工程での円滑なフローが保たれている。

5.2 サポートシステム

ユーザーの精密、フリーサイズ圧延要求に応えると共に鋼種や後工程を加味した最適寸法で圧延するためには、孔型寸法や圧延順を適切に決定する必要がある。本ミルでは、下記のようなソフトウェアシステムでこれらをサポートしている。

5.2.1 最適孔型寸法決定システム

各受注ロットには、鋼種(仕上温度・熱膨張係数)・呼称寸法・公差・後工程仕様(熱処理・矯正)等、仕上圧延寸法に影響を及ぼす各要因が含まれる。これら要因を加味した各受注ロットの最大及び最小許容孔型寸法を求め、同一孔型で圧延出来るものを1つにまとめた後、最適孔型寸法が決定される。

5.2.2 孔型別圧延順決定システム

太径/細径交互圧延方式では、前記の最適孔型寸法が求められたとしても、孔型別圧延順序は無数の組合せが可能となる。そこで、圧延済ロールの再切削時間、スタンドのセットアップ時間を確保し、かつサイズ替休憩時間が最短となるように孔型別圧延順序が決定される。

5.2.3 同一孔型内圧延順決定

圧下調整機能を有する本サイジングミルでは、各種の鋼種・寸法・公差の圧延を同一孔型を使用して行なう。この際、各受注ロットを圧延する順序は作業性(加熱温度調整・ロール調整等)と品質要求(内質・表面肌・疵等)を考慮し決定される。

5・3 品質保証体制

本サイジングミル適用により、ユーザーの求める最適寸法を精密公差で圧延することができたとしても、直ちにユーザーでの皮削工程省略といったメリットを実現できる訳ではない。寸法や公差に加え、表面疵や脱炭を含めた総合品質の作り込みが不可欠となる。当社では、鋼片および製品での内質・表面の検査・手入りを全数に適用する、一貫品質保証体制が確立されておりユーザーの多様な要求に対応している。

5・4 操業実績

本圧延技術を全量に適用した、当社知多小型圧延ミルの操業実績をTable 1 に示す。本ミルでは、多量の精密圧延材を生産しつつ、世界で初めて全サイズ4サイクル/月を実

Table 1. Operational performance of Daido Chita bar mill.

		Previous (1984)	Present (1992)
Total Production	(tons/month)	48,000	50,000
Production of Precise tolerance	(tons/month) ($\leq \pm 0.2\text{mm}$) ($\leq \pm 0.1\text{mm}$)	1,700 100	9,500 2,000
Rolling sizes	(sizes/month)	90	720
Rolling cycles	(cycles/month)	1	4
Productivity	(tons/hour)	86	96
Mill utilization	(%)	82	87
Down time (size change)	(%)	8.7	4.6
Ave. down time per size change	(minutes/time)	25	1.8
Test bar consumption	(kg/ton)	7.7	0.5
Scrap ratio due to out of tole.	(%)	2.0	0.01
Roll inventory	(pieces)	480	200
Product inventory on processes	(tons)	12,000	2,000
Lead time (rolling-inspection)	(days)	6	1

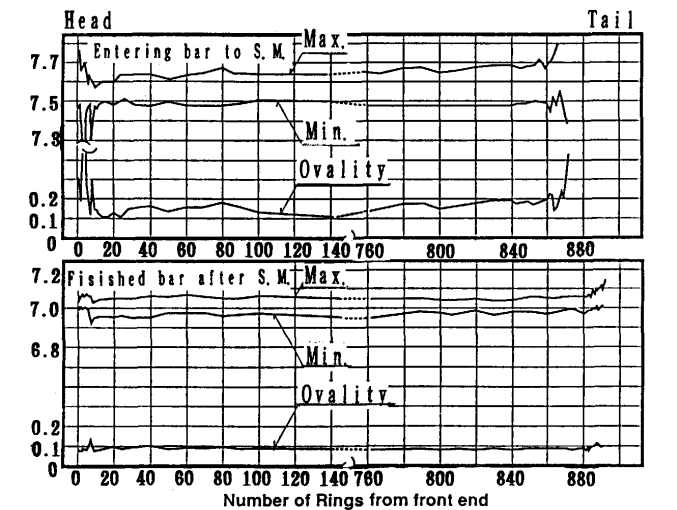


Fig. 13. Precision rolling by rod sizing mill.

現すると共に、実働率・型決材原単位・ロール保有数・仕掛在庫量等の改善により、製造コストの削減も図られた。

6. 本技術の拡張

6・1 バーインコイル・線材圧延

本技術確立により、ユーザーからは更に細径のバーインコイルや線材についても同様の要求が寄せられるようになった。当社では、既にバーインコイル及び線材用サイジングミルの開発を終え、92年8月以降、星崎線材ミルでの試験操業を開始すると共に93年8月には知多線材ミルでの操業を計画している。Fig.13には、線材用サイジングミル開発機による精密圧延テスト結果を示す。Table 2 には、棒鋼用及び線材用サイジングミルの主仕様を示す。

6・2 平鋼・異形圧延

本技術は、基本的には既存の2ロール圧延法と共通の基盤を有す。従って、丸鋼のみならず、2ロール圧延法で生産されている平鋼・六角鋼等の圧延にも、原理的には適用可能である。

6・3 他ミル適用

本技術は当社内のみに限定されることなく、広く世界に公開されており、既に米国の2ミルで操業されると共に近い将来には韓国ミルへの導入も予定されている。本技術を既存ミルに導入することにより、容易にユーザーニーズに応えつつ、ミルの操業改善も図ることができ、今後、更に適用例は拡大しよう。

7. 結言

2ロール式サイジングミルによる精密・フリーサイズ圧延技術の開発を通じ、以下の点が明らかとなった。

(1) 寸法精度を阻害する主要因は、圧延材の温度変動

Table 2. Main specification of sizing mill.

	Chita Bar Mill	Chita Rod Mill			Hoshizaki Rod Mill
Name	350 SM	280 SM	240 SM	150 SM	150 SM
Type	2 roll H-V-H Straddle mounted	2 roll H-V-H Straddle mounted	2 roll H-V-H Straddle mounted	2 roll H-V Canti- lever	2 roll H-V Canti- lever
Roll dia (mm ϕ) barrel (mm)	350 150	280 150	240 70	150 45	150 45
Distance between stds (mm)	670	500	240	150	150
Speed control between former stand and S.M.	>40 ϕ Tension $\leq 40\phi$ Loop	Loop control	Loop control	Tension control	Tension control
size (mm ϕ)	25~90	18~50	16~40	7~20	5.5~15
Installed	1984	1988	(1993)	(1993)	(1992)

と入側材の寸法変動である。これら阻害要因を補償するサイジング効果を高めるには、高いミル剛性の圧延機を用い、低い減面率で 2 パス以上圧延するのが良い。

(2) また、実操業での鋼種や仕上温度の差(収縮代の差)やユーザーの任意寸法要求を考慮するとロール調整機構が必要となる。

(3) サイジングミルのミル剛性を高めるため、2 ロール式(太軸径化)シングルパスロール(支点間距離短縮)によるロールのたわみの減少と、ボックスタイプハウジング(ストレスパス短縮)によるハウジングの伸び減少を図った。またスラスト方向についても、剛性の向上と共に、自動調芯・プリストレス機構(遊び除去)を採用した。

(4) 専用孔型加工機や圧延スケジュールサポートシステムにより、サイジングミルの実用性が高められた。

(5) 本技術を当社知多小型ミルに適用の結果、最適寸法・精密公差材の小ロット・短納期生産が実現し、且つ操業実績の改善も図れた。

(6) 本技術のバーインコイル・線材への拡張、他ミルへ

の適用も開始された。

文 献

- 1) 浅川基男・近藤勝也・緒方俊治・美坂佳助・松井利光：塑性と加工，20 (1979)，p.841
- 2) 上村真彦・前田征良・市田 豊・三越賢次・高橋洋一：神戸製鋼技報，35 (1985)，p.28
- 3) 野口幸雄・岡村邦彦・大貝晴俊・川並高雄・永沼洋一：機論C，55 (1989)，p.343
- 4) 野口幸雄・荒木誠之・岡村邦彦・馬場勘次・大貝晴俊・菊間敏夫：第38回塑加連講論，(1987)，p.85
- 5) 早稻田孝・岡 敏博・石井 仁・佐藤陵一・野口幸雄・馬場勘次：塑性と加工，32 (1991)，p.482
- 6) 高橋洋一・森賀幹夫・山口喜弘・市田 豊：塑性と加工，30 (1989)，p.406
- 7) 大貝晴俊・藤井 章・馬場勘次・野口幸雄・石井 仁・馬場 誠：第41回塑加連講論，(1990)，p.331
- 8) 小坂鎮雄：材料とプロセス，2 (1989)，p.1561
- 9) 大岩太郎・川上浩一郎：第139回塑性加工シンポジウム，(1991)，p.23
- 10) 板圧延の理論と実際(日本鉄鋼協会編)，(1984)，p.172
- 11) 吉川健三：第118・119回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)，(1987)，p.163
- 12) 第3版鉄鋼便覧IV(日本鉄鋼協会編)，(1981)，p.39