知多工場線材圧延工場のリフレッシュ概要

田中照章*¹, 森 達也*², 長瀬忠広*²

Outline of the Reconstruction of Wire Rod Mill in Chita Plant of Daido Steel

Teruaki Tanaka, Tatsuya Mori, and Tadahiro Nagase

Synopsis

Daido completed the reconstruction of the Wire Rod Mill at Daido Chita Plant in October of 1998. The purpose was to increase the quality and performance of products and improve the productivity. This reconstruction covers from roughing to intermediate train and various new equipment and new technology have been introduced. In this report, the outline and new technology with this reconstruction is described.

1. 緒 言

大同特殊鋼（株）は、線材製品の圧延ラインとして、知多、星崎および川崎工場の3ラインを有している。このうち知多線材圧延工場は1969年に営業運転を開始、全スタンド水平垂直交互配列によるノーツイスト圧延、粗列と仕上を切り離れたラピッドローリング、スタンド間を確保した第二中間列および中間水冷など、当初から圧延温度コントロールを考慮した特殊鋼線材圧延工場であった。1985年には仕上列に高速ヘビーデューティ型のVEE型ブロックミルと制御冷却設備を、1989年から1993年にかけては加熱炉をリプレースするとともに当社の開発した「てきすん」システムを導入し、炭素鋼から高級ステンレス、工具鋼まで高付加価値、高品位製品をてきすん（必要な寸法、ロット、デリバリー）でお届けできる世界でも類をみない特殊鋼線材工場へと常に世界をリードしてきたと自負している。粗列圧延設備についても幾た

びの増強を繰り返してきたが、特殊鋼線材の高機能、高品位に対する需要家要求は年々高まっており、顧客満足度の向上と、線材製品の知多工場一貫生産体制構築、難加工線材の吸収を狙い1998年10月に当社知多線材工場のミルリフレッシュ工事を行った。新粗列圧延機をkeyとして圧延温度特性改善、従来の菱-菱孔型とともに新BOX孔型を併用することにより、さらなる難加工材の圧延を可能とした。また、制御圧延域の拡充と、多彩な制御冷却との組合せにより線材製品の機能を高めることができた。これにより2トン細径線材を製鋼から線材圧延まで知多工場にて一貫し生産することが出来るようになった。今回のミルリフレッシュ工事は、単なる老朽更新ではなく、従来の研究成果を基盤として、各種の新設備を導入するとともに新技術の実機適用を図ったものであり、本報告では圧延ラインにおける難加工圧延、制御圧延技術について述べる。Fig.1にはリフレッシュ後の線材工場レイアウト、設備仕様およびFig.2に粗列圧延機群を示す。

1999年9月1日受付

* 1 大同特殊鋼（株）鋼材プロジェクト(Special Steel Planning Project Dept., Daido Steel Co., Ltd.), * 2 大同特殊鋼（株）知多工場 (Chita Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

Modified Oct. 1998	⑤ Water Cooling Zone
Billet Size 155sq×2.1ton	⑥ 280 sizing Mill
Capacity 42,000ton/M	⑦ 240 sizing Mill
Product size 5.5~46φ	⑧ Block Mill(VEE type)
① Reheating Furnace	⑨ 150 sizing mill
② New Roughing Train	⑩ Laying Head
③ 1st Intermediate Train	⑪ Pouring Reel
④ 2nd Intermediate Train	⑫ Coolong Bed

Fig. 1. Layout of wire rod mill in Chita Plant.

Fig. 2. New roughing train.

2. 高剛性高速粗列圧延機の開発

圧延での造り込みにおいて粗列圧延の役割は大きい。連铸ビレットであったり、加熱後の材料は結晶粒が粗大化あるいは粒界が脆化しており、初期鍛錬による加工割れ防止に配慮する必要がある。粗列圧延速度は低く抜熱による温度低下は加工温度の狭い鋼種にとって致命的になりかねない。このため粗列を仕上列と切り離し、粗列を高速圧延 (Rapid Rolling)、さらには高リダクション圧延により圧延温度を確保する手法がとられる。反対に低温圧延のためには低速圧延が有効である。その他、一次二次スケールの除去、表面性状の改善効果を狙ったメタルフローを考慮した孔型など粗列圧延機で配慮すべき項目は多い。旧粗列圧延機ではこれらのニーズに対応することには限界があった。新圧延機的设计に当たっては、既存の基礎、ユーティリティを最大限活用するものとし、国内連続棒線ミルでは最大級の730φのロール径を採用、

高減面率によるメタルフロー、圧延温度の改善と低温圧延を追求した。これらの条件は設計にあたって困難を極めたが、偏心式圧下機構の採用とFEMを用いた限界設計により非常にコンパクト(付属を含めて22トン以下)な高剛性圧延機を開発することができた。

その主な特徴は軸受に大型自動調芯円筒コロを採用、偏心式圧下機構によりチョックレスでミル剛性は>250トン/mmを達成した。また大容量のメンテナンス性にすぐれた交流ミルモータを導入、減速機についてもこれらのトルクに耐えうるものとした。各スタンドはL型フレーム上にワンタッチで油圧クランプ固定される。粗列全体をブロック化した結果、材料通過時の安定性は大幅に改善された。BOX孔型と菱-菱孔型を併用し、鋼種特性に合わせ随時選択できるようにした。材料の自立を追求した孔型とし、ローラガイド、トラフなどは最小限にとどめた。トラッキング情報により、上位システムから孔型の種類、圧延速度、圧下量バランス、FTC(Free Tension control)、冷却水モードなどをダイナミックに指示することにより、多種多様の鋼種、素材寸法に対してきめこまかな圧延方案を選択できるようになった。圧延機はH1~V6まで同じハウジングを採用し互換性を持たせるとともにイニシャルコストを押さえた。またロール準備作業についてもロールをスタンドから外さずに組み込んだままの切削可能としロール準備作業の迅速化、省人化を図った。

Table 1にはその仕様を、Fig.3には改造前後の位置づけを記した。

Table 1. Specifications.

New					Before			
stand	Roll	Motor	base/ top	Gear ratio	Roll	Motor	base/ top	Gear ratio
H1	730 ϕ $\times$ 550L	DC650	500/ 1400	37.4	580 ϕ $\times$ 1000L	DC550	550/ 1400	22.0
V2	730 ϕ $\times$ 550L	AC750	400/ 900	26.0	580 ϕ $\times$ 1000L	DC450	550/ 1400	18.4
H3	700 ϕ $\times$ 550L	AC1000	400/ 900	19.0	480 ϕ $\times$ 750L	DC650	500/ 1400	13.3
V4	700 ϕ $\times$ 550L	AC800	400/ 900	15.7	480 ϕ $\times$ 750L	DC550	550/ 1400	11.5
H5	680 ϕ $\times$ 550L	AC1000	400/ 900	11.0	420 ϕ $\times$ 750L	DC650	550/ 1400	7.6
V6	680 ϕ $\times$ 550L	AC850	400/ 900	8.9	420 ϕ $\times$ 750L	DC550	550/ 1400	6.1

Fig. 3. Roll torque and motor power.

3. 孔型法の改善

線材圧延の場合、使用する孔型法は、工場によって一通りが一般的である。粗列圧延では、ボックス法あるいは菱-菱（または菱-角）法が多く用いられていた。知多線材工場では従来、菱-角法を採用してきたが、今回の改造によりボックス法も使用できるようにした。

Fig.4に新旧のローリングスケジュールを紹介した。またFig.5には両圧延法の特徴を比較した。ボックス法では、被圧延材の断面の面部が均一に圧延ロールに当り幅方向に均等に圧下されるのに対して、菱-菱（または菱-角）法の場合には、先ず断面の角部が圧延ロールに当って圧下される。従って角部の圧下量が他部に比べて大きくなり左右（自由）面のコーナー部が先行する天地部に引っ張られるような形でテンションが生じやすい特徴がある。またコーナー部はロールの接触時間も長くなり接触による温度低下と4面冷却によりより冷やされ易

st.	New Box Sequence	New Diamond Sequence	Before Square-Diamond Sequence
	158.6中 $\times$ 2.2TON	158.6中 $\times$ 2.2TON	154.5中 $\times$ 2.1TON
H1	□	◇ 36%	◇ 35%
V2	□ 129中	◇ 124.5L	◇ 125.1中
H3	◇	◇ 43%	◇ 46%
V4	◇ 106.5 ϕ	◇ 91.5L	◇ 101.9中
H5	◇	◇ 42%	◇ 36%
V6	◇ 74.5中 $\times$ 2.1m/s	◇ 74.5中 $\times$ 2.1m/s	◇ 80.6中 $\times$ 1.8m/s

Fig. 4. Rolling schedule.

	Box sequence	Diamond sequence
	Convex style contact	Pole style contact
contact		
Reduction of Billet's defect	△	○
Seam defect	△	○
Crack depends on corner tension	○	×
Crack depends on contact time	○	×
Wear of roll	△	○
Rolling stability	△	○

good ○ > △ > × bad

Fig. 5. Summary of rolling method.

い。Fig.6, 7に天地および左右部の表面の静水圧応力をSIMURO-Dにより解析評価した。菱-菱法の場合特に左右部において接触投影長方向に全長わたって引っ張り応力が働いているのに対してBOX法では圧縮方向に働いている。また、天地方向ではBOX,菱-菱ともにロールに接触し始めるとかなり大きな引っ張り応力が働いていることに注目を要する。これらの特徴に起因して、

Fig. 6. Mean normal stress at caliber center.

Fig. 7. Mean normal stress at free surface.

後者の圧延法では特に角部で割れが発生し易く、従って難加工材例えば快削ステンレス、工具鋼等の材料はこの方式では加工し辛い。一方でこの圧延法は被圧延材の自立性が良好で、圧延方式としては安定しており、またコーナー部が延ばされることから線状の欠陥が軽減される利点がある。Fig.8にはコーナー部の疵深さが大幅に浅くなっていることがよくわかる。他方前者のボックス方式の場合、菱-菱に比較して加工性は良いが、Fig.5で示

Fig. 8. Defect depth in dia-square sequence.

すごとく噛み込開始の面部に引っ張り応力の高いところがありこの部分にワレが生じる場合もある。被圧延材の自立性が悪く、このため被圧延材をガイドローラ等にてタイトに押さえつつ孔型に誘導する必要がある。Fig.9にはボックスから丸への圧延方法での疵深さ推移を記した。このようにボックス方式、菱-角方式（または菱-

Fig. 9. Defect depth in box sequence.

菱方式) 何れも一長一短があり、そこで従来にあっては被圧延材の材質やサイズその他の事情に応じて、その工場により適した圧延方式を選択して実施していた。今回の改造工事では、550mmの短い胴長に両方式の孔型を配

し、何れかを選択して圧延できるようにした。Fig.10に示すように、今回太径ロールの採用と強圧下を適用した結果、ボックス法でもsingle barrelとなり線状疵が改善できた。また、巾方向に均一圧下が加わるよう孔型を設計、

Fig. 10. Mean roll gap ratio vs. spread.

過度な引っ張り応力を防止した。菱-菱方式では面取孔型（大R菱孔型）の採用と圧下バランスの追求により菱-菱法の圧延でも従来対比コーナー割れ改善することができた。今回64Rの面取りカーリバーでも開き角を106° とすることにより従来並（108° 32R）の復元力を確保できた。結果99%以上の対象について菱-菱法の場合ローラガイドを必要としないところまで達したが、残念ながら特殊な鋼種、素材角において圧延が安定しないため、ローラガイドを使用するスタンドがあるもののほとんどカリバーで自立しており表面品質の改善に繋がっている。

4. 難加工材の圧延

星崎線材圧延工場では $<7\phi$ の細線と $\geq 7\phi$ の工具、ステンレス、耐熱鋼、超合金を主製品としており、これらの鋼種の知多工場への移行を拡大するためには、軸受鋼を中心とした一般鋼とともに工具鋼、ステンレス鋼、耐熱鋼等の移行を推進する必要がある。その中には快削ステンレス鋼など、難加工材も含まれていた。星崎では最大でも1トンコイルであり仕上げ速度も5.5 ϕ にて75m/sであった。5.5 $\phi \times 1\text{ton} \times 75\text{m/s}$ の場合その圧延時間は80秒、知多工場の5.5の $\times 2\text{ton}$ 細線は100m/sの仕上げ速度でも110秒近くの圧延時間を要し従来の7 $\phi \times 2\text{ton} \times 100\text{m/s}$ の70秒に比較しても長くなるため、材料の後端側にかけての

温度降下が無視できなくなり、快削系ステンレス鋼、工具鋼等、加工温度に敏感な一部の移行鋼種でのコーナーワレ、粗列での先端サケなどが懸念された。

新粗列の設計にあたっては星崎工場の温度特性を目標に仕様の検討を行った。すなわち、より高速、強圧下圧延による粗列でのヒートアップ効果と中間列入口速度を改善することにより、ロール抜熱による温度降下を改善し細線の温度推移を改善した。また高級工具鋼をはじめ難加工材についてはあわせてボックス法を採用することによって星崎工場並の鋼種でも2トンコイルで圧延することができるようになった。Fig.11に難加工材の製造マトリックスを示す。新粗列ではラピット率を改善するとともにミスト冷却、ボックス法、FTC他の新しい技術を

Steel Grade	Defect ●: Generally occurs	Effective Rolling Operation					
		Furnace	Roughing		Intermediate		
		Soaking	Discharging temperature	mist cooling	Rapid Rolling	Box Caliber	Tension Control
α -SUS	●	○	○	○	○	○	
M-SUS	●	○	○	○	○	○	
γ -SUS	●	○	○	○	○	○	
Super alloy	●	○	○	○	○	○	○
Tool steel	●	○	○	○	○	○	○

Fig. 11. Defect and action.

採用した結果、鋼種にあわせた圧延法を選択できるようになった。Fig.12にはミルの違いによる温度特性の違いを示した。ラピッド圧延と送り寸法変更による温度改善

Fig. 12. Rolling temperature (tail end).

効果がよくわかる。同一条件下（パス数、仕上温度）では全連続圧延に比較して下限温度が改善されること、粗列から中間列にかけ圧延温度をコントロールしやすいことを表している。

5. 制御圧延

圧延での造り込みによる次工程省略型の材料は今後さらに需要が拡大するものと考えられる。方案としては、低温抽出、低温圧延による圧延組織の改善と調整冷却が有効である。今回の粗列圧延機リフレッシュにより粗列 Motor Powerで1.5倍と粗列自身の低温圧延能力を大幅に増強した他、中間列への送り寸法を80.6中→74.5中へと16%小さくしたことから中間列での負荷が軽減され、さらに旧粗列のMotorを一部中間列に活用し、パワーアップした結果中間列についてもより低温圧延が可能となった。制御圧延対象には通常菱-菱法を用いる。これはスタンドにより過度のパワーを必要とせず、ロール調整により負荷を分散させることができるからである。粗列と中間列が切り離されていることから粗列の圧延速度を仕上速度に関係なく、自由にコントロールすることができ、これにより粗列から中間列にわたって通過材の中心部まで900℃以下の二層域に制御することも可能となった。

Fig.13には抽出温度、粗列の圧延速度、中間水冷による圧延温度コントロール効果を示している。これらの設備

Fig. 13. Rolling temperature.

強化を得て新しい制御圧延方案の開発を行った結果、従来から有している多彩な制御冷却方案とを組み合わせることによって優れた製品性能を得ることができた。ここでは一例としてSCM435の軟質化線材を紹介する。炭素鋼、強靱鋼をはじめとしたベイナイト等の硬質な組織を含む鋼は、切断や引抜き、冷間鍛造前に軟質焼なましを

Fig. 14. Mechanical properties and grain size of SCM435 control rolled with the new line for softer quality.

行う必要があった。この焼きなまし工程の簡略化、省略を目的として、今回、圧延温度コントロールによる制御圧延と圧延後の緩速冷却を適用した結果、ファインフェライト・パーライト組織を有する軟質化線材を得ることができた。Fig.14にSCM435(9.5φ)の機械的性能および結晶粒度を比較した。

6. 結言

大同特殊鋼知多線材圧延工場は、多品種・多サイズの製品をしかも4 cycleで製造しており、かつ素材も多様である。今回の粗列リフレッシュ効果と従来からの技術との相乗効果を追求した結果、材料の特性、使用目的にあわせ、加工温度、メタルフローなどの最適圧延方案を選択することが可能となり高付機能、高品位製品をより効率的に供給することが可能となった。今後とも顧客満足度さらなる改善をはかるため、今回の改善をベースによりよい製品の供給責任をはたすとともに、さらなる固有技術の開発とその実現に努力する所存である。

(文献)

- 1) 松井, 緒方, 藤田, 浅川: 住友金属, **26**(1974), No. 3, 35