

技術解説

Technical Review

特殊鋼の条鋼・帯鋼圧延および2次加工における技術進歩

川西邦仁*¹, 中原修二*²

Progress on Bar & Wire Rod Rolling, Hoop Rolling and Cold Finishing Technology of Special Steel

Kunihito Kawanishi and Shuuji Nakahara

Synopsis

This paper describes,

- 1. innovative competitiveness of the Blooming process by size free rolling and chance free rolling technology.*
- 2. brush up of Bar TEKISUN performance by going from BAR rolling line to BAR product Inspection & Conditioning line directly*
- 3. establishment of "e - Quality" system by Flat bar rolling line renovate that starts from Market-In.*
- 4. Low Temperature Isothermal Rolling (LTIR) technology was developed in the wire rod mill of special steel.*
- 5. development of tandem hot rolling technique of workhardable materials in the Wire Rod Mill.*
- 6. construction of high-quality hoop rolling mill line that has combinations reheating (Electric heater & Controlled Atmosphere) and Steckel Mill.*
- 7. secondary process focusing on environmental protection and inventory management.*

1. はじめに

ここ10年の鉄鋼産業を取り巻く環境は、2002年を境に大きく変化した。

前半については、1998年春の東南アジア金融不安に端を発した不況の深刻化から、生産量が大きく落ち込み、条鋼圧延の分野でも、低生産下で収益を上げるべく、省人化、自動化が一層進んだ時期でもある。これは、汎用シーケンサーの大容量・高速化の進歩により、従来の大型コンピューターに取って代わり、比較的簡単にかつ、自社でのシステム構築が可能になったところの寄与が大きい。また、圧延-整検-熱処理-2次加工の工程同期化による原価低減、リードタイム短縮による仕掛削減・棚卸圧縮が図られ、ラインの直結・直行化、中間工程における自動立体倉庫も多く導入されている。

2003年以降の回復期から、2005年以降はBRICsを中心とした経済発展に支えられ、その動きがさらに加速

し、国内各鉄鋼会社は、超フル生産下、増産投資に迫られた。目立った動きとしては、生産基盤の整備、特に、圧延主モーターの更新、制御系の新鋭化、また、自動車用鋼の伸びに対応すべく、ボトルネックとなった製品整備検査ラインの増強が挙げられる。

また、環境に配慮した省エネ、CO₂削減、リサイクル・ゼロエミッションなど改善目標を立てた活発な取組がなされるようになった。

本稿では本誌70巻記念号(1999年)以降における、これら特殊鋼の条鋼・帯鋼圧延および2次加工での技術動向を概観し、大同特殊鋼(株)(以下、当社という)における技術成果について紹介する。

2. 分塊圧延

分塊圧延の分野でも同様に、2000年初頭前後では、さらに生産の効率化を図るべく、非量産分塊工場を量産分塊工場に集約する動きが活発となり、均熱炉の新鋭

2009年1月9日受付

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

* 2 大同特殊鋼(株)星崎工場 (Hoshizaki Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

化, IH (インダクションヒーター), または, 中間保熱炉といったステンレス, 工具鋼などの難加工材の取り込みを可能とする熱補完設備が導入された。

2005年以降になると, フル生産下, リスク管理の観点から20年以上を経過し老朽化した設備, 特に分塊圧延機の主モーターの交流化更新など, リフレッシュ投資が盛んに実行された。当社においても, 2008年4月に, DC3100 kW × 2台から, AC3400 kW × 2台に更新している。

また, さらに増産要求に対応すべく, 能率低下の著しい超太丸の撤退, 細丸の2ヒートミルへの移行も見られた。

海外に目を転ずると, 大型電気炉1基-中断面CC-1ヒート圧延-製品整検のライン構成から, 比較的品质要求が緩い自動車用鋼の30mm φ代までを, より安価に製造するプロセスが確立した。

2. 1 当社でのCC化拡大

当社の製鋼部門では, 従来CC化は中心偏析により困難とされた工具鋼を中心とした高C鋼, 42% Ni鋼といった鋼塊限定材の歩留り改善, 表面品質改善を目的に, 2002年, 大断面(650mm × 850mm) CC設備を設置した。本PHC (Promising Hybrid Caster) は, 2スト

ランドを有し, さらに中心部内質改善のため, 任意のテーパーを付与しつつ製造することも可能な設備である。本機導入と, インラインプレス技術を融合させることで, 従来ICで製造されていたものをCC化, 加えてインラインプレスによる中心部鍛錬効果により太サイズのCC適用範囲をφ240mmから最大φ310mmまでの拡大を実現し, 当社のCC化率は70%→80%に向上した。

また, φ85mm以上のサイズについては, 従来は圧延サイズを限定し製造してきたが, ユーザーニーズに対応すべく, 素材の最適サイズ化を指向し, Fig.1に示すようにφ125mm以下のサイズについて, 1mmピッチで製造対応する体制を整え, ユーザーのニーズにきめ細かく対応している。

2. 2 サイズフリー/チャンスフリー技術

フル生産に対応すべく, 超太丸(320~350φ)および, 細丸(70~85φ)を分塊圧延サイズからの撤退にあわせて, 87~160φをチャンスフリー可能なプロセスに改善し, 分塊圧延チャンス制約による製鋼溶解チャンス制約の緩和, CC連々比のアップを図った。パスシーケンス改善例をFig.2に示す。



Fig.1. Change in the Rolling Size pitch.

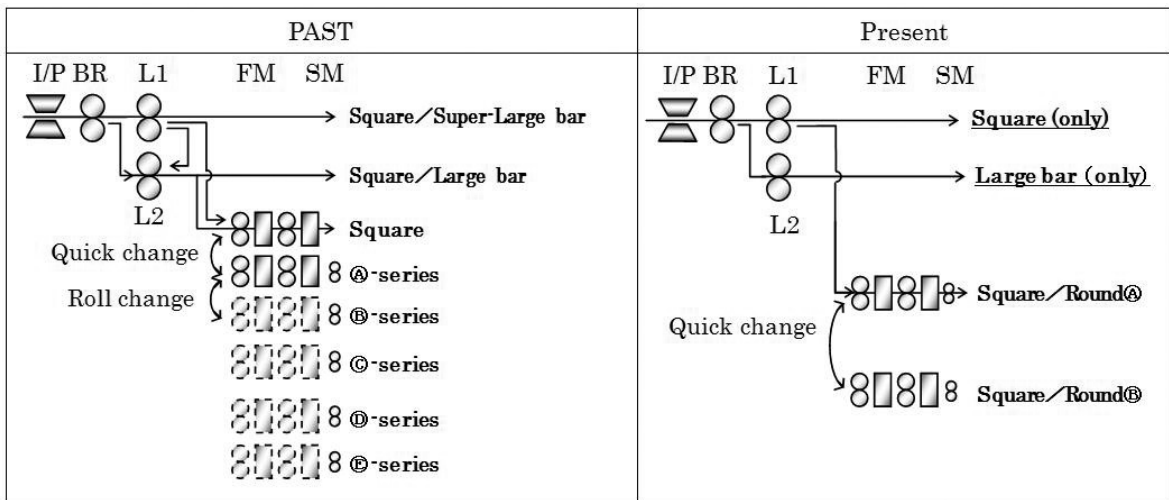


Fig.2. Change in the Pass Sequence of CHITA Large mill.

3. 棒鋼圧延

構造用鋼を主体とした量産棒鋼圧延の分野では、1980年代から1990年代にかけて建設ラッシュとなった新ミル立上げに合わせて、精密圧延、フリーサイズ圧延、マルチサイクル圧延を実現する、2ロール法¹⁾、3ロール法²⁾、4ロール法³⁾のサイジングミル導入が一巡した。

1990年代にかけては、加熱炉の燃料を重油からLNGへ転換し、かつリジェネレーターを採用した事例も見られた。

2005年以降のフル生産下になると、圧延主機以降のボトルネックになっていた圧延精整および、熱処理・製品整備検査ラインの能力増強が図られた。

一方、工具鋼平角といった非量産棒鋼圧延の分野で

は、客先におけるコスト削減、短納期、小ロット対応として、平角形状を改善する特殊サイジングミル導入や、熱処理工程の直結化が図られている。

3.1 棒鋼圧延—製品検査ライン直行化

当社知多小型圧延工場は、1980年～1990年代初頭にかけて世界初の「てきすん体制」(超精密圧延、フリーサイズ、多サイクル圧延)および全数・全長・全断面保証を確立し、ユーザーからの短納期化、高品質化要求に対応してきた。2005年には、Fig.3に示すように従来の圧延精整工程のダブルアウトレット化による太・細丸交互圧延法に加えて、さらに検査ラインに同期化した圧延サイズ順へと見直しを実施した。また、合わせてFig.4に示すように圧延ライン切断前後の冷却床をフルレッシュ

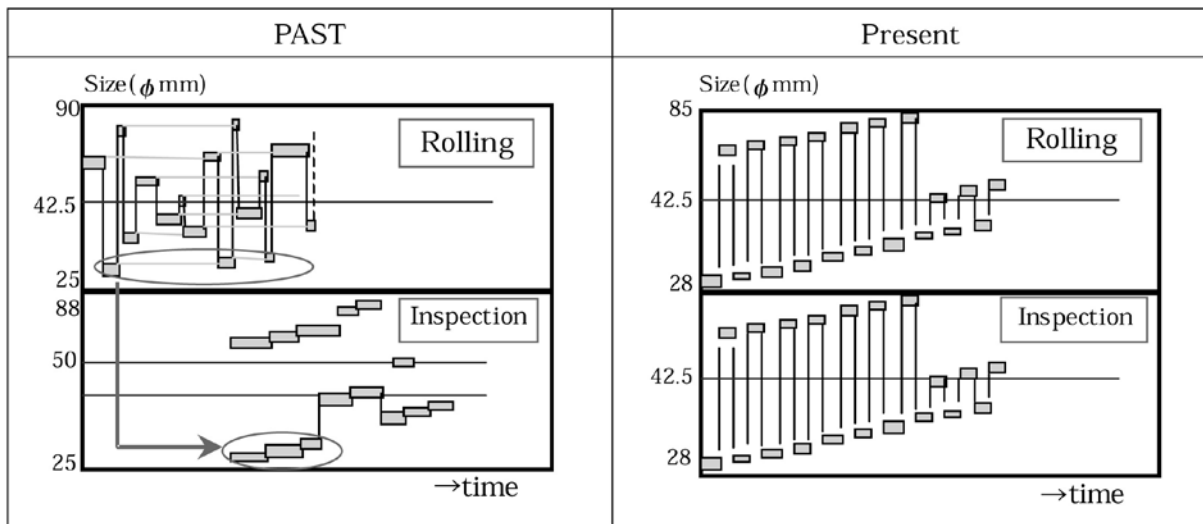


Fig.3. Change in the Rolling schedule and the Inspection schedule.

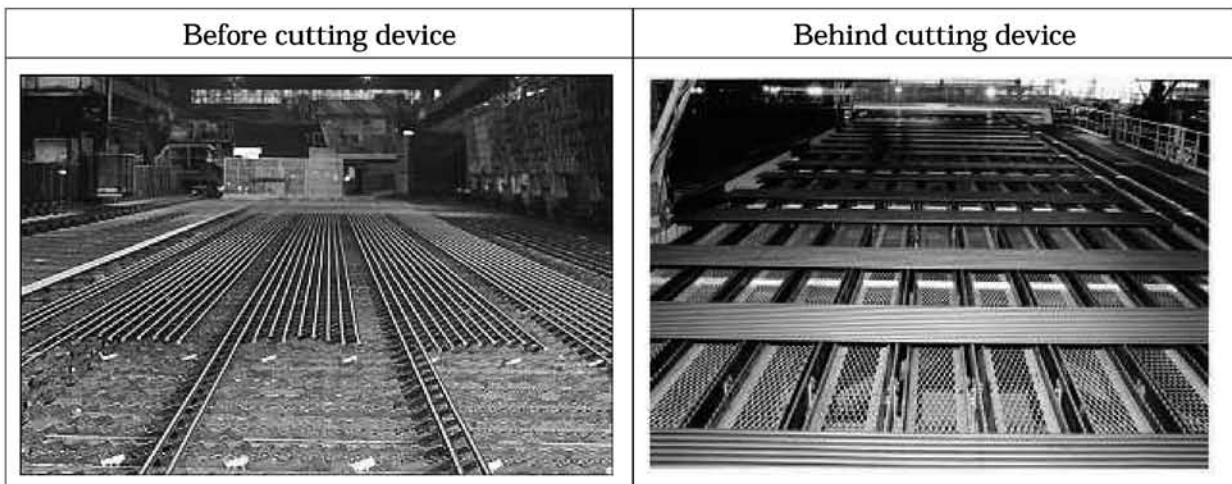


Fig.4. New cooling bed of small bar mill in Chita Plant (before and behind cutting device).

化し、2ロール矯正能力を阻害していた細丸製品の曲りを抑制、さらに熱処理材を中心に検査するラインを増設し整流化、検査能力の瞬発力をアップさせることで、圧延と製品検査ラインの直行化を図り、リードタイムの更なる短縮による圧延～検査ライン間の仕掛在庫圧縮を達成した。また、製品検査後に立体倉庫を設置し、地場トラック出荷材のデリバリー業務効率化と物流整流化により人員のスリム化を実施した。小型圧延ラインレイアウトをFig.5に示す。

知多小型圧延工場では、将来のあるべき姿として圧延工程無結末による検査工程への直接投入という完全直結・直行化を実現すべく、キーテクノロジーとなる製品のオンライン水冷化および後引き生産管理システムの構築に向け合理化を進める予定である。

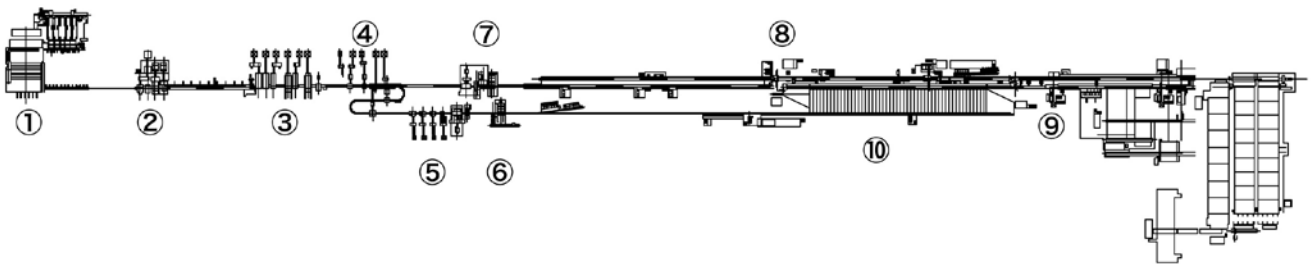
3. 2 「e-Quality」体制の確立

当社星崎棒鋼圧延工場では、工具鋼平角製品における

短納期、小ロット対応、加工費低減などユーザーニーズに対応する寸法・形状・曲りなどの品質改善を目的に2000年に高剛性平角てきすんミルを開発し、“e-Quality”⁴⁾製品の生産を開始した。工場レイアウトをFig.6に示す。また、“e-Quality”製品と従来製品の断面形状の一例をFig.7、Table 1に示すが、本製品の高い寸法精度はユーザーでの加工費低減を実現している。

“e-Quality”生産体制のもうひとつのコンセプトである短納期対応は、圧延後直接熱処理技術の確立により実現している。圧延後の冷却速度制御により球状化し易い素地を生成することと、最適な球状化熱処理パターンを確立することにより、圧延後の低温焼きなまし熱処理の省略を実現した。本技術は、直行可能な圧延・熱処理・整検設備配置と一貫スケジューリング管理システムを組み合わせ、圧延～熱処理～整検工程間の直行を実現した。

“e-Quality”生産体制を確立することにより、次の成



- <Equipment>
- | | |
|--|--|
| ①Reheating WB furnace with 4 zones 140t/Hr | ⑥TEKISUN for smaller size $\phi 350$ -TEKISUN |
| ②Roughing train HV 4 stands | ⑦TEKISUN for larger size $\phi 350$ -TEKISUN |
| ③No.1 intermediate train HV 6 stands | ⑧Hot abrasive saw for larger size $\phi 1250 \times 2$ |
| ④No.2 intermediate train HV 6 stands | ⑨Hot abrasive saw for smaller size $\phi 950 \times 2$ |
| ⑤Finishing train HV 4 stands | ⑩Cooling bed for smaller size |

Fig.5. Layout of small bar mill in Chita Plant.

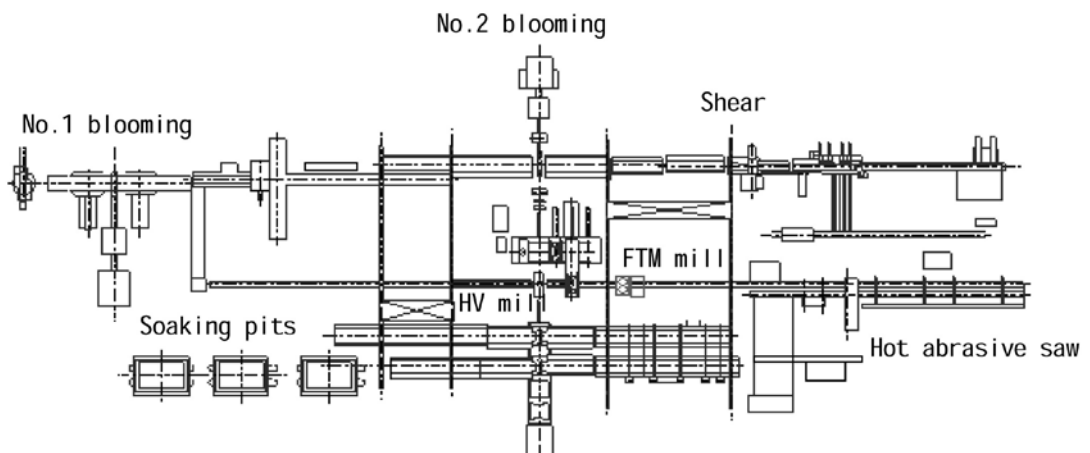


Fig.6. Layout of bar mill in Hoshizaki Plant.

果が得られた。

- (1) 短納期化 従来約3か月→1か月
- (2) 小ロット化 平均受注ロット30%少量化
- (3) 寸法, 形状, 曲り公差従来比1/3

また, メーカー側でも品質向上による歩留り向上, 熱処理能力向上に伴う熱処理内製化および生産拠点集約による製造コスト低減, 棚卸資産圧縮, 物流コスト低減など多方面に大きな成果を得て好評を博している。さらに, 2006年には多機能熱処理炉の稼働を開始し, 圧延余熱を活用したステンレス固溶化熱処理も可能とするなど, 圧延~熱処理工程間の直行化を拡大し, 短納期生産体制を拡充している。



Fig.7. Shape in section (e-Quality vs Conventional).

Table 1. Size in section (e-Quality vs Conventional).

		e-Quality	Conventional
Size	Thickness	25.27 mm	26.11 mm
	Wide	106.25 mm	108.00 mm
Flatness		0.02 mm	0.29 mm
Bulge		0.15 mm	1.00 mm

4. 線材圧延

線材圧延の分野では, 1980年代初頭に導入されたブロックミルによる高速度, 高生産性圧延の「創量技術」から, 1990年代に導入が進んだロードてきすんミルによる精密, フリーサイズ, シングルファミリー圧延を実現した「創質技術」の領域に入り, 2000年代にかけては, 軟質化, 熱処理・酸洗工程の省略, 簡略化といった高機能ロード製造を中心とした「創質技術」の時代に入った。

この「創質技術」, つまり制御圧延, 制御冷却を駆使するにあたり, 仕上ブロックミルおよび, ロッドてきす

んミルのヘビーデューティー化更新, ライン内水冷能力の増強が図られた。また, 制御冷却ループラインには, 従来のライン長70mから100mを超え, リターテッドカバーにリヒート装置を加え, さらに温度降下レートに自由度を持たせたプロセスも登場した。

これら「創質技術」の普及に伴う理論解析シミュレーション技術に関し, 従来の3次元FEMによる応力・歪み分布解析に加え組織制御も加味された。また圧延加工履歴を模した加工シミュレーターが大いに活かされた点も忘れてはならない。

4. 1 2相域恒温圧延技術

当社知多線材圧延工場では, 高品質特殊鋼線材の量産ミルとして1993年にロードてきすんシステム(精密圧延, フリーサイズ圧延, マルチサイクル圧延)を世界に先駆け開発し, 「創質技術」を発展させてきた。そして, 近年の「創質技術」へのニーズに対応するため, 1998年に粗列のリフレッシュに合わせて, 既存の基礎を流用しつつ, H-V6連続圧延機, モーター, 制御系を一新し, かつ, 800℃圧延まで耐えられる高剛性ミルを導入した。2001年には抽出から仕上最終段階まで2相域恒温圧延を達成すべく, 仕上げ鍛錬加工の分散化による加工発熱抑制を目的に, NTM (No Twist Mill) 前に2台のPFM (Pre Finishing Mill) を, 後面CSM (Compact Sizing Mill) 前にRM (Reducing Mill) を開発・配置⁵⁾し, NTMの平均減面率を20→15%に減じた。また合わせて, インライン誘導加熱装置による熱補完機能の追加, さらに中間~仕上列での水冷ゾーン増強を実施し, 粗列~仕上列全域での狭幅温度管理による2相域恒温圧延(LTIR: Low Temperature Isothermal Rolling technology)を実現した。Fig.8, Fig.9に合理化前後のミルレイアウトと材料中心部の温度トレンドを示す。

2相域恒温圧延による組織制御技術の一例として軸受鋼を挙げる。Fig.10に示すように通常圧延では全面ラメラ組織(HRC40程度)であり, 目標球状化組織を得るには長時間の焼鈍処理(20h程度)が必要で, 多量のエネルギー消費を余儀なくされていたが, Acm点(880℃)以下での $\gamma + \theta$ (セメントライト)域2相恒温圧延により擬似球状化組織(HRC33程度)を得ることで, 球状化焼鈍工程の処理時間を約40%短縮できた。

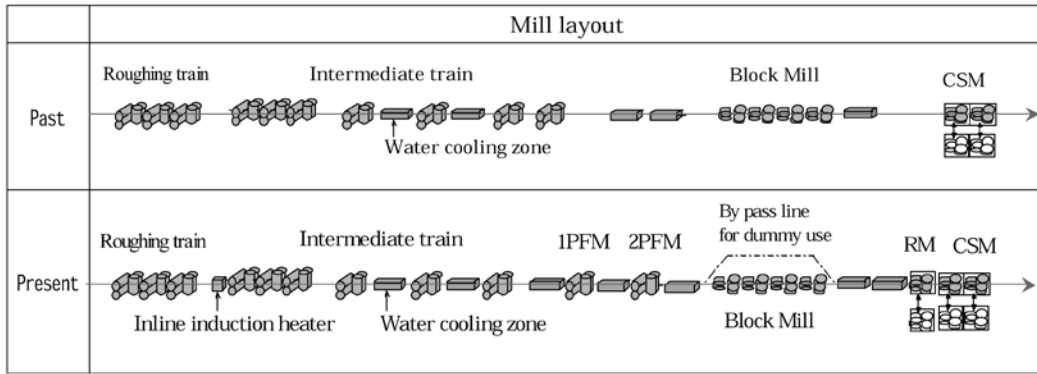


Fig.8. Layout of wire rod mill in Chita Plant.

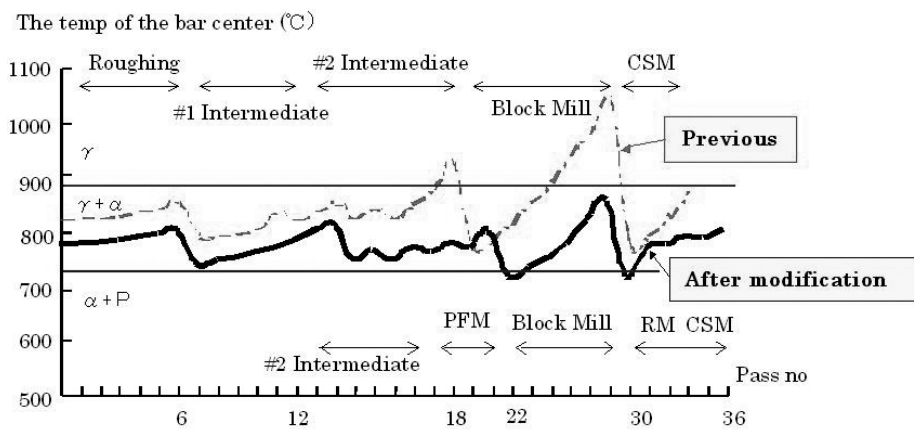


Fig.9. Temperature behavior after modification.

(*) LTIR...Low Temperature Isothermal Rolling technology

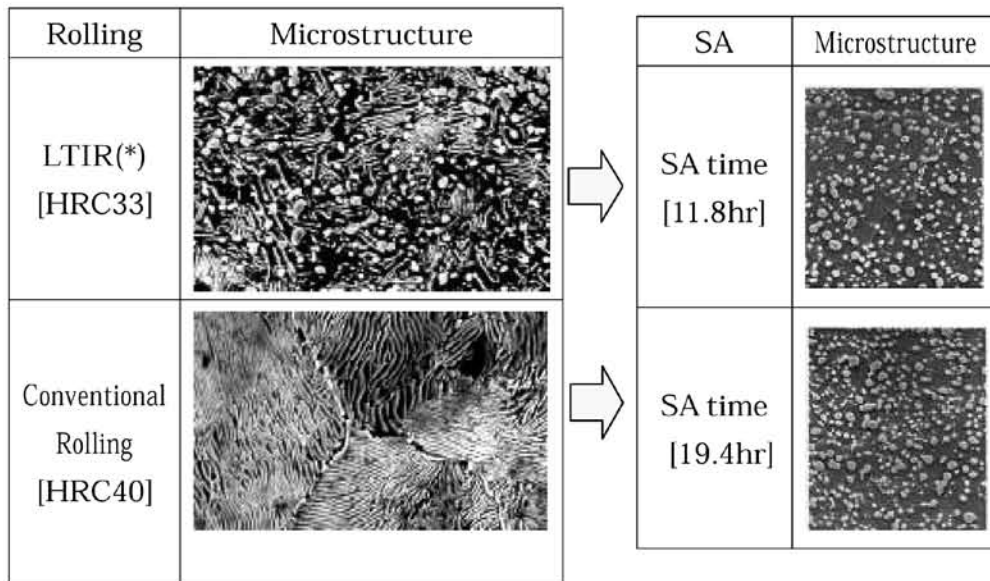


Fig.10. LTIR and Conventional rolling of Bearing steel.

4. 2 高級鋼線材の圧延技術

当社星崎線材圧延工場ではステンレス鋼を始め、高合金鋼、チタンなどの高級鋼線材を月間約10千トン圧延している。これら、難加工性の材料は従来より圧延割れなどの品質異常が散発し、その手直し工程追加によるコストアップやリードタイム延長といった問題があった。そこで当工場では、高機能線材の競争力向上を目的として、2002～2003年にかけて第1中間列へのインライン誘導加熱装置⁶⁾増強および3方ミルの導入を実施した。

3方ミルの特徴と外観をTable 2, Fig.11に、また中間列誘導加熱装置の主仕様をTable 3に示す。3方ミルは120°の角度をもって配置された3本のロールにより圧延する方法であり、導入により中間列パスを11→13パスに増やし減面率を下げるとともに、3方ミルの特色である圧延自由面の引張応力を軽減させた。参考としてFig.12に2ロール法と3ロール法の延伸方向の歪み分布を示す。これにより当工場では従来からの粗列リバース式による高速ラピッド圧延に加え、粗列孔型法として材料表面温度の部位間差が小さく、延伸効率の良い〔角オーバル法⁷⁾〕を採用することで粗列圧延段階での材料温度降下を抑制、さらに中間列での誘導加熱装置による材料温度補償と3方ミルによる圧延割れの抑制を図ることで、高級鋼線材の品質競争力向上を図っている。さらに、チタンおよび高合金の表面品質向上として鋼片用の誘導加熱式雰囲気加熱炉を導入し、高合金の粒界酸化やチタンの酸化富化層を抑制し、品質不良の低減や工程改善を実現した。Table 4に本装置の主仕様およびFig.13にNi基合金の表面品質改善例を示す。



Fig.11. 3-roll mill in Hoshizaki wire rod mill.

Table 3. Specifications of Induction heater.

Position	Specification
Before M2	1400 kW, 1 kHz
After M2	600 kW, 9.9 kHz

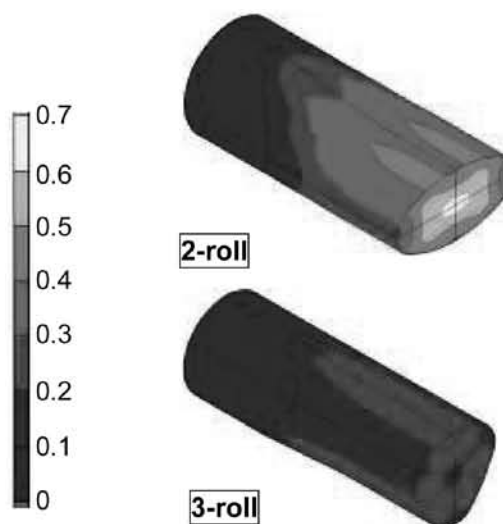


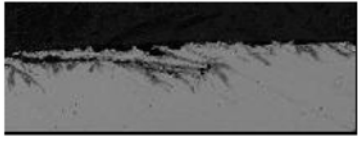
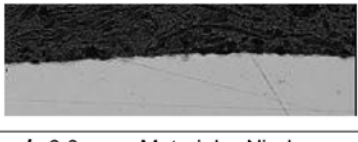
Fig.12. FEM simulations of 2-roll and 3-roll.

Table 2. Specifications of 3-roll mill in Hoshizaki wire rod mill.

Type	2-stand common drive
Number of stands	6 stands
Roll diameter	φ 500
Motor	DC250 kW × 1 DC350 kW × 2 600/1200 rpm

Table 4. Specifications of Atmosphere furnace.

Type	Atmosphere induction billet heater
Specification	1700 kW, 250 Hz

Furnace type	Micro(*100)
Air	
Depth of defect 0.05mm	
Atmosphere	
Depth of defect 0.015mm	

Size: ϕ 6.0 Material :Ni base

Fig13. Surface quality comparison.

5. 帯鋼熱間圧延

帯鋼熱間圧延の分野では、ステンレスの汎用的鋼種から高合金などの高級・高付加価値製品へ生産内容をシフトする動きが見られ、圧延温度制御や形状・寸法精度向上を目的とした種々改善による高品質化と生産性向上によるコスト改善が実施された。また、合わせて真空AOD精錬の導入や高合金の連続鋳造化といった上工程での造り込み技術向上も行われてきている。一方で、熱延製造設備を持ち、自前で素材を供給していたさまざまな帯鋼製造メーカーが、コスト見合いから素材を他メーカーより供給する動きが見られ、素材供給メーカーの集約化が進められてきた。

5. 1 高級帯鋼熱間圧延ラインの再構築

当社高級帯鋼熱間圧延は従来渋川工場にて実施していたが、高級帯鋼事業（ニッチ製品）の拡大と生産効率向上およびコスト低減を目的に、大平洋金属(株)から購入した熱間帯鋼圧延・酸洗設備を、当社星崎工場に移設・再構築し、2001年に稼動を開始した。Table 5に新旧圧延設備の比較概要を、またFig.14に現在の帯鋼熱間圧延ラインのレイアウトを示す。

高合金を初めとする高級帯鋼を高品質に造り込むため、加熱中の粒界酸化を抑制可能な無酸化雰囲気電気加熱炉、圧延加工中の材料温度低下防止および恒温圧延が可能なファーンスコイラーを有するステッセルミル(Fig.15に模式図を示す)、海洋の富栄養化の原因となる排水中溶存窒素レスを実現する酸洗処理設備などで構成した。製造可能寸法は厚み2.6～6.0mm、幅200～750mmと帯鋼業界では中間幅に対応可能な特徴あるミルで

あり、本ラインを当社星崎工場に構築したことで名古屋地区一貫生産体制を整え大幅な物流改善およびリードタイム短縮による棚卸資産圧縮を実現した。2007年には、高合金帯鋼の安定生産体制の確立と更なる高級帯鋼の製造対応化を図るべく、ステッセルミルの改造（高速高剛性化、保温能力増強）で効率的な生産体制を整えた。本合理化により従来では困難であった高Ni鋼や二相SUS鋼、Mg合金など高級帯鋼の安定製造が可能となったが、これら高級帯鋼の熱間加工性（絞り値）および製造技術ポイントをFig.16、Table 6に示す。

現在、当ラインでは各設備・技術の特徴を最大限に発揮させ、さらに難加工鋼種であるWASPALLOY(56Ni-19Cr-13Co-4Mo-3Ti-1.3Al)などの帯製品開発および製造可能範囲の拡大を進めており、今後もユーザーニーズに応えると共に新規用途開発のための活動を積極的に推進していく。

6. 2次加工

一般に棒・線圧延された鋼材を用い、みがき棒鋼や鋼線を製造する工程を2次加工という。熱処理、表面処理（脱スケール、皮膜処理）、冷間加工（引き抜き、皮剥ぎ、旋削）に大別される。

2次加工技術の進展は、需要家からの高品質要求に対応する技術開発への取組に加え、近年はCSRを意識した積極的な環境配慮への取組や、棚卸資産圧縮・リードタイム短縮への取組によるところが大きい。以下に、2次加工の各分野別に、実用化された技術を述べるとともに、将来を展望する。

6. 1 熱処理

熱処理においては、棚卸資産圧縮・リードタイム短縮を図るべく、前後工程との直結処理技術や熱処理代替技術の実用化が進んだ。前者には熱間圧延と熱処理、あるいは熱処理と脱スケール工程との直結があり、後者には制御圧延による熱処理の省略や短時間処理化がある。

(1) 圧延後の直接熱処理

熱間圧延と直結した熱処理の発想は古くからあり、線材においては圧延後冷却せずに、巻き取り時の熱を持ったままの状態を固溶化処理炉に入れ、熱処理を完了させる方法が、国内では1980年代から実用化されている。このように、熱間圧延後の熱を持ったまま、設備的に直

Table 5. Specification of old and new hoop strip mill.

Mill type		Previous(Shibukawa plant) Continuous type	Present(Hoshizaki plant) Steckel type
Reheating Furnace		Atomosphere	Controlled Atomosphere (H/N-mixing, N, Ar)
Product	Width	max 450(mm)	Max 750(mm)
	Weight	Max 2.2(ton)	Max 7.0(ton)

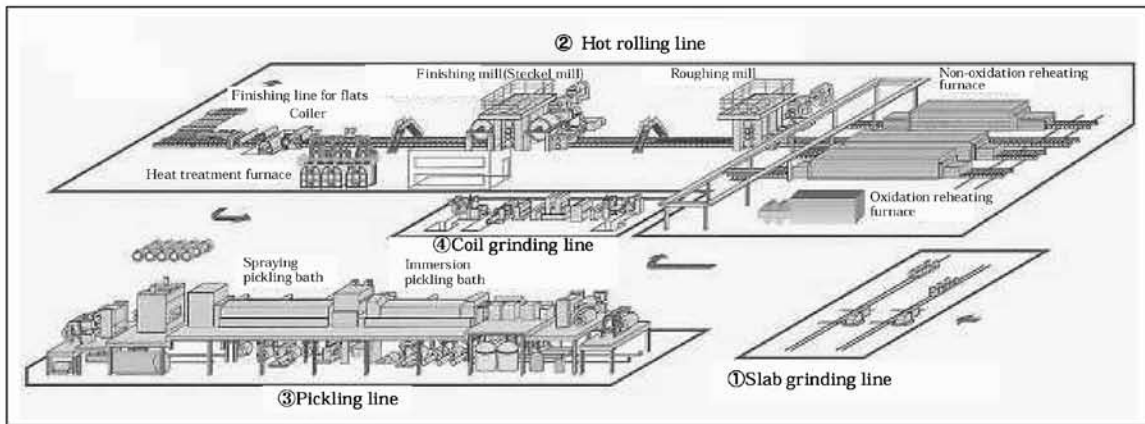


Fig14. Layout of Hoop strip mill in Hoshizaki Plant.

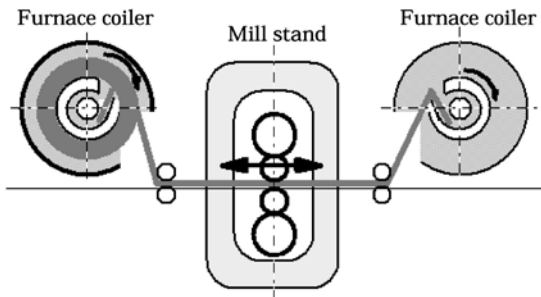


Fig.15. Outline figure of Steckel Mill.

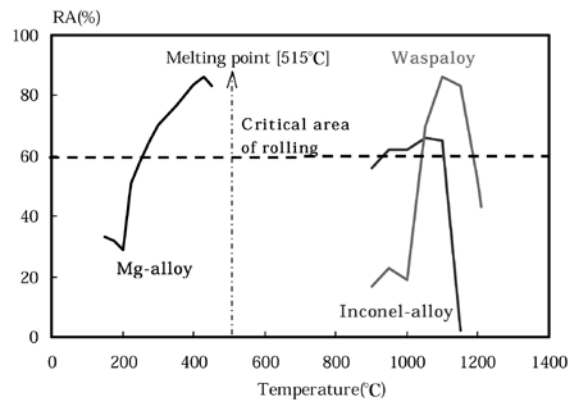


Fig.16. RA date of Hi alloy.

Table 6. The technical points for hoop rolling of workhardable materials.

Product (Chemical Compoition)	Problem in hoop rolling	Technical point to hoop rolling
① Inconel alloy (53Ni-18Cr-18Fe-5Nb-Al,Ti)	•High deformation resistance	Rolling by high-reduction and a short time [Keep high temperature by the whole area.] ⇒ High right mill
② Austenitic – ferritic SUS steel (5.5Ni-23.5Cr-2.8Mo-0.13N)	•High δ -ferritic • σ -phase embrittlement	High rolling speed Small dia.of work roll
③ Mg alloy (Mg-3Al-1Zn)	•Internal oxidation •Keep low temperature (200 ~ 450 °C)	•Electric heater + Controlled Atomosphere •Extremely low temperature rolling ⇒ Keep low temperature by furnace coiler

結された炉で熱処理を施すことを、ここでは直接熱処理と呼称する。直接固溶化処理の温度履歴は Fig.17 に示すようになる。

近年では、線材において圧延中の材料温度と熱処理温度および時間を適切に組み合わせることで、熱間圧延と直結した直接固溶化処理炉の用途拡大が進んでいる。例としてフェライト系ステンレス鋼の直接焼きなまし処理への適用がある。ただし制約条件があり、圧延サイクルに合わせた熱処理ピッチを実現するために冷却方法が急冷でも問題の無い材質であることや、ユーザーで実施される最終製品の熱処理までを連携をとりつつ管理できるアイテムであることなどである。直接固溶化処理炉の用途拡大は発展途上であり、材質の特性を良く吟味し、ユーザーとの十分な協力関係のもと進めていく必要がある。

現在では、棒鋼においても直接熱処理による焼入・焼戻しへの試みがなされているなど、直接熱処理技術は開発がさらに進展している。今後は、圧延での温度・組織制御と直接熱処理方案を組合せ、さらに進歩するものも考える。

(2) 熱処理と脱スケール設備の工程間直結⁸⁾

これは、熱処理設備と酸洗設備を、文字どおり搬送設備で直結することで実現される。当社では線材工程において熱処理設備と酸洗設備を直結したものが3ラインある。設備の直結は中間ハンドリングが省略されるため、リードタイム短縮、省工数化、およびハンドリング時の疵防止に効果がある。大型のプラントである熱処理設備と酸洗設備の直結の成否は、設備配置によるところが大きく、工場レベルでのプラントエンジニアリングの成果ともいえる。

(3) 熱処理の省略・短時間化

圧延中の温度制御システム拡充による制御圧延の発達は、従来の2次加工熱処理を省略可能にする場合もある⁹⁾。現在では、肌焼鋼やフェライト系ステンレス鋼の一部において、従来の焼鈍し工程を省略した製造工程が実用化されている。省略にあたっては、ユーザーでの材料の使用方法をよく調査し、その製品の品質特性がどの段階の熱処理で決定されるかなどを吟味する必要がある。また、熱処理省略とはいかないまでも、従来から長時間の処理が必要であった軸受鋼の球状化焼鈍し工程の短時間処理化なども、制御圧延発達の成果といえる¹⁰⁾。

(4) 純窒素オンリー炉

環境配慮としては、熱処理省略や圧延後の直接熱処理の実用化が省エネルギー効果を発揮したことはいうまでもないが、熱処理時の雰囲気ガスについても新たな試みが実用化されている。通常、熱処理時には一酸化炭素や水素ガスなど還元性の雰囲気ガスが用いられるが、これらのガスは二酸化炭素の排出以外にも爆発、中毒などの危険を伴う。現在、窒素雰囲気のみで酸化・脱炭が十分抑制可能な、気密性の高い連続熱処理炉が実用化されつつあり、企業の環境配慮への意識が今後の導入拡大につながる可能性がある。

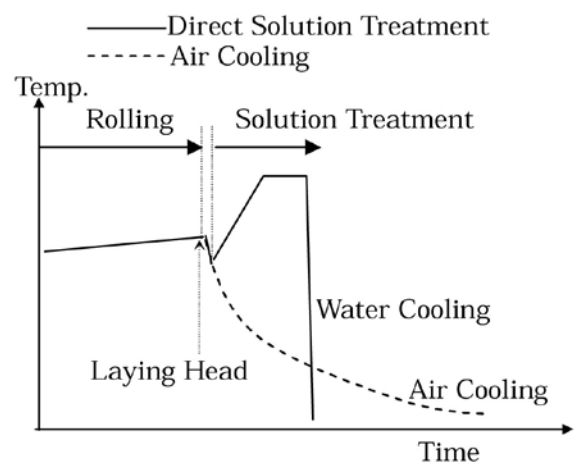


Fig.17. Thermo-plofile.

6. 2 表面処理(酸洗, 皮膜処理)

酸洗では、積極的な環境配慮への取組による技術開発が進んでいる。例として、社会的な背景としても、工場排水中における溶存窒素量や排ガス中の NO_x ガスなどの規制強化があった。

(1) 硝酸を使用しない酸洗への動き

ステンレス鋼のスケールはクロム元素を含有した緻密で複雑な化学構造をした組成のため、化学的脱スケールは硫酸、硝酸、塩酸および溶融塩を組み合わせた工程が一般的である。硝酸や、溶融塩を使用しない酸洗法としては電解酸洗法があり、帯鋼板では普及している。しかし、帯鋼板と同様に熱処理・酸洗後に出荷される場合が多い線材では、この酸洗法は適用事例が少ない。帯鋼板や線材に電解処理を施すには、一度直線化し、再度巻き取る工程が必要であるが、酸洗を浸漬処理で可能な線材

では、電解酸洗処理は比較的成本が割高で、生産能率も低くなるのが要因の一つといえる。

そこで、線材に対しては、酸洗前の予備脱スケールによる硝酸使用量の低減を目的に、コイル状態で処理可能なショットブラスト機が実用化されている。酸洗前の予備脱スケールは、酸洗時間の短縮による能率改善や鉄原としての回収も容易などの副次的な効果もある。Fig.18にコイル状態でのショットブラストの概念図を示す。さらに、弗酸と硝酸などの混酸使用においては個別濃度分析技術が向上し、脱スケール性能と各酸の濃度の関係が解明され、いっそう効率的な酸使用法が確立されつつある。

(2)NO_x 除去システム

NO_x 除去システムは、現在は自動車関連分野で研究・実用化がすすんでおり、触媒を利用して電気分解する方法や、尿素水やアンモニア水を用いた方法がある。今後、これらの技術は酸洗プラントにも積極的に活用されると考えられる。

(3) 画像処理による NO_x センサー

一般的に硝酸処理槽は、過剰な反応による NO_x ガス大量発生という環境被害の可能性がある工程として、温度管理・操業パターン管理が厳格に実施されている。NO_x 検出については、公害分析装置による検出とは別に緊急性の高い異常事態に備え、NO₂ が赤褐色であることに着目し画像処理センサを利用した NO_x ガス検出機を開発し実用化されている。

(4) 皮膜処理

皮膜処理における環境配慮は、使用する皮膜種類の

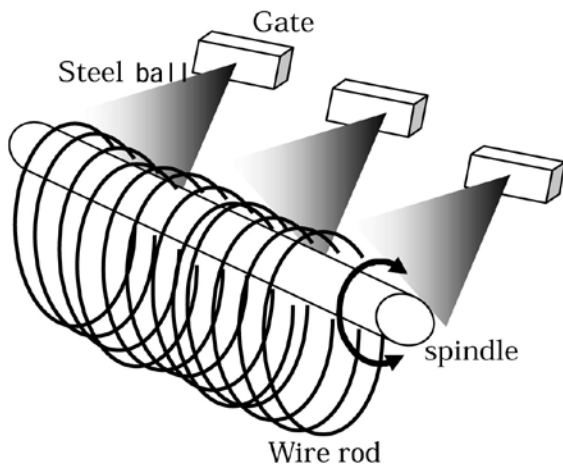


Fig.18. Coil Shot Blast.

変遷に見ることができる。1990年台に注目を集めたオゾン層破壊物質の生産中止（1,1,1-トリクロロエタンなど）や、その後の大気汚染に関わる環境基準の見直しを受け、過去主流であったフッ素系、塩素系樹脂から、現在では環境にやさしい無機塩の水溶性皮膜へ移行している。

6. 3 冷間加工(引き抜き,皮剥ぎ,旋削)

冷間加工は、品質向上、棚卸資産圧縮、および向上への取組による技術進歩が大きい。

品質向上は画像処理センサに代表されるセンサ技術のめざましい発展に伴い、これを活用する検査技術を各メーカーとも開発している。例えば、線材皮剥ぎ工程では高速処理可能となった寸法測定ラインセンサを欠陥検出に実用化している。すなわち、Fig.19のようにセンサを配置し、寸法トレンドを常時比較することで微小な表面欠陥を検出可能にした。また、棒鋼の旋削時の螺旋状疵を画像処理センサで直接検出する方法も実用化されている。さらに、従来技術である渦流探傷法においても、プリントコイルを開発し平角の表面欠陥検出に適用することで、表面品質向上と検査の自動化を果たしている。Fig.20にプリントコイルの概念図を示す¹¹⁾。

棚卸資産圧縮に向けた技術進歩は、自動車メーカーに直接納入する冷間加工メーカーで顕著に見られる。いわゆる「カンバン方式」を工場内の各工程に導入し、複数の加工工程を有機的に結び付けることで、工程内仕掛量の圧縮に努めている。この流れは、今後ますます拡大すると思われる。

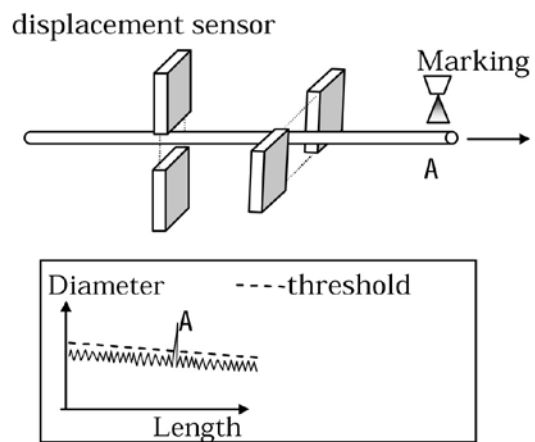


Fig.19. Surface detector with displacement sensor.

生産性向上については、加工機の掛け持ち稼動、加工速度向上、段取り短縮化など各メーカーの状況にあった改善がなされている。当社においても、2004年よりスタートしたDMK（大同ものづくり改革）活動を中心に、着実に生産性が向上している。これには、要素技術の開発も不可欠である。当社例では、線材皮剥ぎ工程でのカッター2重配列化による切削2回分の1工程化などが実用例として挙げられる。

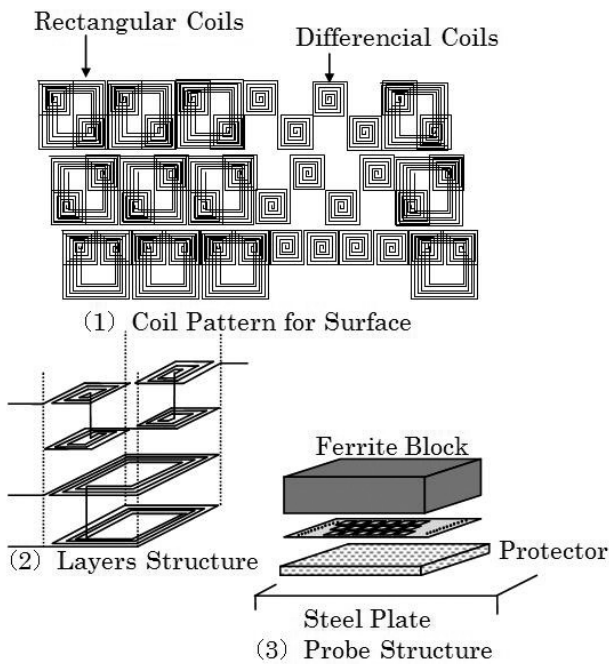


Fig.20. Coil pattern and structure of probes.

7. むすび

特殊鋼の条鋼、帯鋼および、2次加工における技術動向について概観し、当社の事例を紹介した。

我が国の同分野の技術水準は、プロセス、プロダクトの両面においても、その操業成績の優秀さからも、常に世界のトップレベルにあると実感できる。しかしながら、国内消費における量的には限界にきており、次世代における本分野でのイニシアチブを発揮しうるかどうかは、先行き不透明感が強い。今後の展望に代わり、以下の2つの課題を提起したい。

7. 1 圧延の将来展望

我が国の典型的な特殊鋼条鋼圧延量産プロセスは、分塊圧延（1ヒート）および、棒鋼圧延、線材圧延（2ヒート）工場を有し、その中間工程として、鋼片整備検査ライン、最終仕上工程として、製品検査工程を持つ。日系自動車メーカーの厳しい品質要求を満足する上で、「物造り力」を発揮してきた反面、コストプッシュが大きく、工程進捗上、いったん鋼片でプールされるため、中間半製品の増加を招く。また、リードタイムが長いため、仕掛材も多く、品質の工程内管理の徹底が難しい。おそらく近い将来、これからの無駄を省くべく、分塊圧延—製品圧延（2ヒート）が熱片で直結され、ダイレクトに2ヒートサイズまでを圧延する工程が誕生すると思われる。これは納期から工程を遡る後引き生産管理方式が採用され、当然、そこには、それに耐え得るCC鋳片の表面品質改善、ホットスカーフ工程での疵保証システムが必要になることはいうまでもない。

圧延以降に関しては、さらに直結・直行化、2次工程の省略を狙ったAs Roll品質での高機能付加が進むと思われる。

非量産、特に高合金、Ti系といった難加工材料の線材圧延プロセスは、コイル単重アップ、および、細線までヒート数を削減すべく、いったん、中間圧延工程で熱間のまま巻き取り（リセット後）、仕上げの最適条件で圧延することにより、材料中心部のヒートアップによる内部溶解を回避するコイル貯線機というプロセスが開発されると思われる。

7. 2 2次加工の将来展望

2次加工分野は、環境保全への取組強化と労働人口減少にむけた一層の効率生産方式を開発していく必要がある。

まず熱処理については、制御圧延との組合せで直接熱処理化や短時間熱処理化の技術が進展すると考えられる。さらには、スケールについても無酸化圧延技術や、熱処理での積極的なスケール制御方案が組み込まれ、圧延・熱処理・酸洗までが非常に密接な関係にある効率的な製造条件が確立されると考えられる。

次に表面処理単独の技術については、電解酸洗に代表される硝酸を使用しない酸洗法や酸の再利用技術、さら

にはスラッジなど廃棄物の再利用技術など化学酸洗を前提とした技術開発が進展すると考えられる。また、環境配慮に重点を置く考えから、ショットブラストなどのメカニカルデスケーリングも適用拡大される可能性がある。

冷間加工は、ユーザーとの連携が強化され、一貫歩留り向上、リードタイム短縮、コスト低減を重視した製造工程見直しが行われると考えられる。一方で、高級鋼の分野では一層の高品質が2次冷間加工に要求されると考えられ、今後は高い寸法精度や真円度（偏径差 5μ 以下）の加工技術などが、Ti合金やNi基合金などの難加工材料で実現されていくと思われる。

技術が進歩し、社会が変化し続ける限り、我々の課題も尽きることはない。

時代や環境に心しつつ、次世代の技術を確固とすべく、一層精進したいと思っている。

(文献)

- 1) 佐々木健, 稲守宏夫, 小林秀雄, 山口桂一郎: 鉄と鋼, 79 (1993), 417.
- 2) 関隆一, 長谷川光一, 中島健治, 吉村康嗣: 新日鉄技報, 386 (2007), 20.
- 3) 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.
- 4) 小林威夫: 特殊鋼, 50 (2001), 3, 40.
- 5) 石濱辰哉: 特殊鋼, 52 (2003), 2, 45.
- 6) 加藤雄二: 特殊鋼, 52 (2003), 2, 29.
- 7) 川西邦仁, 柴田佳幸, 河野正道: 電気製鋼, 70 (1999), 271.
- 8) 電気製鋼, 75 (2004), 147.
- 9) 平野伸和, 藤原正尚, 吉田広明, 五十川幸宏: 電気製鋼, 76 (2005), 87.
- 10) 田中照章, 森達也, 長瀬忠広: 電気製鋼, 70 (1999), 277.
- 11) 渡邊裕之, 水野正志, 小島勝洋, 伊東貢, 平岡裕: 電気製鋼, 71 (2000), 205.