解説
Review
説

特殊鋼の条鋼圧延および自由鍛造における技術進歩

稲守宏夫*

Progress in Rolling and Free Forging Technology of Specialty Steel

Hiroo Inamori

Synopsis

This paper describes,
1) the vertical type continuous casting machine followed by two walking beam type reheat furnaces,
2) in-line press installation ahead of cogging mill,
3) performance of “Bar TEKISUN” with precise tolerance, free-size rolling and four cycle rolling,
4) a unique rolling process for various shapes and sizes, named “H-V shifting reverse mill coupled with standby stand set”,
5) newly developed “Rod TEKISUN” and “Reducing and sizing mill” which have been employed widely,
6) improved cost competitiveness of free forging process by energy savings and near-net-shape technique.

1. はじめに

特殊鋼条鋼圧延，自由鍛造の分野は，自動車，電子機器産業の発展とともに着実な成長を遂げてきたが，バブル期の1990年度をピークに生産量は減少に転じた．その背景には，円高による輸出競争力の低下，ならびに乗用車の欧米生産拡大，小型トラックの東南アジア生産拡大と，これに伴う材料現調化などであり，特に1998年春の東南アジア金融不安発生以降の不況深刻化により，直近ではピーク時の3割程度の減産と思われる．

このような厳しい環境下であって，当該技術分野では生き残りをかけたコスト削減，品質改善，納期改善努力

がなされてきた．コスト削減においては，連続直結化・工程省略などを中心とした技術開発とともに，非量産製品の生産性の向上を図るべく，新たなプロセスが誕生した．一方，品質・納期面でもユーザーの厳しい要求に応えるべく，高精度化・短納期化技術が実現している．いずれも近年のコンピューターの能力向上，普及に伴う理論解析，シミュレーション技術が大いに活かされた点も忘れてはならない．

本稿では，本誌60巻記念号（1989年）以降における，これら特殊鋼の条鋼圧延・自由鍛造分野での技術動向を概観し，大同特殊鋼（株）（以下、当社と称す）における主な技術成果について紹介する．

1998年10月12日受付

* 大同特殊鋼（株）取締役 素形材事業部長（General Manager, Formed & Fabricated Products Div., Director, Daido Steel Co., Ltd.）

2. 分塊圧延

分塊圧延の分野では、高能率が指向されたバブル期の終焉を迎え、近年ではコスト削減、品質改善を目的とした連続鋳造設備（CC）の拡大、仕上列圧延機の増設、インラインプレスの導入などがなされてきた。

CC設備においては、従来の高能率、高歩留追求型の多ストランド大断面ブルームCCに加え、棒線ミル向け鋼片を分塊・鋼片圧延工程を省略して直接供給するピレットCCによるコスト削減も図られてきた。しかしながら、ピレットCCでは自動車向けなどの重要部品に対しては、十分な品質の信頼が得られず、近年ではかわって、中断面ブルームCC直下に、コンパクトなH-V-Hブレードダウンミルを設置し、直接鋼片に成形するプロセスが実用化され、コスト削減に寄与している。また、軸受鋼のCC化や、ステンレス鋼の高品質化を目的とした、垂直型丸断面ブルームCCの設置も見られた。

1ヒート製品圧延における細サイズの拡大については、H-V連続式仕上列圧延機の増強などにより、現在最小50mmまで拡大されている。しかしながら、品質課題や小ロット対応の面から、鋼種や製品用途は限定され、鋼片段階で完全に検査・疵取りができ、かつ受注量に見合った小ロット生産が可能な2ヒート製品に完全にとってかわるには至らず、今後一層の技術改善が必要であろう。

インラインプレスは、鋼塊・鋳片の端部形状改善による歩留改善と太物製品の中心部鍛練効果増による内質改善に加え、分塊圧延機的能力補完を目的に特殊鋼メーカ

ーを中心に導入され、コスト削減・太物製品拡大に寄与している。

2.1 当社でのCC化拡大

当社の製鋼部門においては、従来、構造用鋼を主体とした低合金特殊鋼を知多工場で、ステンレス・高合金鋼などの高級鋼を星崎工場で溶解、鋳造してきた。星崎工場においてはステンレスのピレットCC化を既に実現していたが、製鋼部門の大幅な生産性改善を目的に、1992年、知多工場に軸受鋼・ステンレス鋼用の垂直型丸断面（350mm）ブルームCC（#2CC）¹⁾を設置した。本CCは4ストランドを有するが、2ストランド単位での異なる鋼種の同時鋳造が可能な、2ストランド2マシン（2S-2M）タイプである。本機の導入により、多品種小ロット品のCC化は大幅に進展した。2S-2Mに効率的に対応する分塊圧延工程としては、同時に鋳造された加熱温度の異なる異鋼種の加熱・均熱を別々の加熱炉で適切に行えるように、2基のウォーキングビーム（WB）式加熱炉（#2CC加熱炉）を設置した。当社知多分塊圧延工場のレイアウトをFig.1に示す。

これにより当社知多工場においては高級特殊鋼に対応しつつ、50%程度であったCC化率を約70%にまで引き上げた。

2.2 高速型インラインプレス導入

当社は1995年、星崎工場製鋼部門を休止し、全面知多工場に移行する製鋼集約を実施し、大幅な人員削減、物流費などのコスト削減を実現した。

一方、本集約により量産型の知多工場では従来にない高合金鋼などの難分塊鋼種、低能率な小鋼塊への対応が

余儀なくされた。これに対し1996年、知多分塊圧延工場に高速型インラインプレス²⁾を導入した。本インラインプレスは、加熱炉・均熱炉と分塊圧延機の間に設置した。本インラインプレスの外観をFig.2に示す。

高速型インラインプレスの導入により、難分塊ゆえに小鋼塊での低能率操業を余儀なくされていた高合金鋼などの大鋼塊化、1ヒート圧延化が可能となり、能率・歩留改善、コスト削減を実現し、製鋼集約によって知多工場における難分塊鋼種が増加したにも関わらず、分塊圧延能率の低下を抑制した。当社知多分塊圧延工場におけるステンレス、高合金鋼比率と生産性の推移をFig.3に示す。

インラインプレスの導入効果は、鋼塊・鋳片の端部形状改善による歩留改善はもとより、中心部鍛練効果増に

よる内質改善により太サイズ製品を従来 270mmから最大 310mmにまで拡大するとともに、太サイズのCC適用範囲を 260mmにまで拡大しCC化率の向上にも寄与している。

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、90年代に入りカーメーカーの海外生産シフトなどの影響で生産量の伸びが鈍化すると共に、特殊鋼分野での競争が激化する一方、自工会を中心としたユーザーからのコスト・品質・納期改善要求はますます厳しくなり、その対応を迫られた。

特にこの10年間、本分野では、シームフリー黒皮精密圧延棒鋼・フリーサイズ圧延・多サイクル圧延短納期対応のために、各社サイジングミルを開発・導入してきた。サイジングミルは、従来からの3ロール圧延機^{3)~6)}に加え、2ロール法・4ロール法⁷⁾が新たに開発、導入された。サイジングミルは、当初の単なる精密圧延対応から、現在では、フリーサイズ圧延や4サイクル圧延が実現し、さらには、サイジングミル活用により孔型系列を1系列化することで、生産性の向上にも寄与している。

一方、工具鋼平角、ステンレス型鋼、高合金丸棒といった非量産棒鋼圧延の分野では、需要増大への対応と生産性向上によるコスト改善を目的に、種々の合理化が実施された。品種、サイズごとに分散していたミルの生産集約、小ロット・多サイズに対応するための特殊ミル開発、マルチアウトレット化の他、難加工製品の連続圧延化に対応すべくインダクションヒーターの設置など、以前のオープンミル、低生産性からの脱皮が図られている。

工具鋼・高合金鋼の専門メーカーでは、粗列にシフティングミル、中間、仕上列に3方ブロックミル、線材列にH-Vブロックミルを設置するとともにユニバーサルミルを併設し、平角、棒、線材の多品種にわたる製品を製造できる多目的ミルも稼働した。

また、圧延理論研究の分野では3次元FEMによる塑性変形、温度解析技術^{8), 9)}が飛躍的に進歩し、材質予測¹⁰⁾、内部組織解析シミュレーションも行われてきた。

3.1 「てきすん」体制の確立

当社知多小型圧延工場では、1983年、世界に先駆けて「てきすん」ミル（超精密圧延、フリーサイズ）の稼働を開始し、その後ユーザーからの短納期要求に対応すべ

く1986年から2サイクル、1990年から4サイクル圧延を実施してきた。これらへの対応による実働率の低下に対し、1989年に太丸ラインを新設し、太径と細径の出側ラインを独立させ（ダブルアウトレット）、圧延バスシーケンスの簡素化による太細交互操業¹¹⁾を実現させることにより、一方の圧延中に他方の準備を行い（オフライン段取り）、実働率の向上を図った。本ミル合理化のレイアウトをFig.4に示す。

これに伴ない型決ゼロの達成、サイジングロール使用量の抑制、圧延アウトプットの平準化による製品検査手入れラインの稼働率向上も図られた。

圧延後の切断手段としては、交互圧延に対応すべく、圧延サイズごとの刃物替を必要としないホットエメリソー¹²⁾を採用し、従来のコールドシャー切断による端部つぶれ、曲がりも解消されユーザーには最端部から使用していただけることとなり、高い評価を得ている。結果としてFig.5, 6に示すように圧延サイズ数は月間500サイズを超えるにもかかわらず現在の稼働率は110t/Hと多サイクル以前の30%向上を達成した。

本「てきすん」体制は、当初、自動車メーカーからの皮削りなしで使用する精密圧延材の供給要請に基づき開発を着手したものであるが、数多くの周辺技術の開発ならびにソフト開発により、ユーザーのみならずメーカーとしてもメリットを得ることができた。本技術は、海

外の同業他社にも導入され好評を博している。

3. 2 非量産ミルの集約

当社の大中型非量産棒鋼製品の製造は星崎大型、中型、渋川中型、川崎、外注に分散していたが、1991年に星崎大型工場に世界初のHVシフティングリバーミル¹³⁾を設置し、大中型製品の集約を図った。

本ミルは水平および垂直圧延機各1基を直列に配し、同一パスライン上で往復圧延することにより仕上成形するもので、各圧延機のロール隙、シフト量、ガイドの調整はプロコン制御により完全自動化運転を可能とした。またHV圧延機はオフラインに1組保有し、オンラインとクイックチェンジが可能で、平角から丸といった異形状への組替えが短時間にできる機能を保有している。本ミル設置により、平角製品の品質が改善されたうえに、集約による生産性向上、歩留向上が図られ、製造コスト削減に寄与している。

本ミルのレイアウト、構造をFig.7,8に示す。

4 . 線材圧延

線材圧延の分野でも，ユーザーの品質要求高度化に対応し，WB加熱炉への更新，全H-Vスタンド配列化¹⁴⁾，コイル立体倉庫の普及などが見られた．

線材の精密圧延については，線材圧延後に2次加工業界（伸線）があり，当初は棒鋼圧延程の要求は見られなかった．しかし，2ロール法による精密圧延・フリーサイズ圧延・多サイクル圧延の実用化により，中間サイズ・精密圧延による引抜き加工の回数削減といったニーズが顕在化し，最近では3ロール法・4ロール法のサイジングミルも開発され，実用化も近い．2ロール法では，制御圧延効果を組み合わせたレデュシング・サイジングミル¹⁵⁾，¹⁶⁾も登場した．

ステンレス線材圧延の分野では丸ビレットから皮むき工程による表面品質改善，品質保証の動きが見られた他，圧延工程中の復熱手段としてインダクションヒーターを導入する動きも見られた．また，3方遊星ロール圧延機（PSW）を粗粒圧延機として導入し，丸ビレットCCを用いた粗圧延における品質改善を図るメーカーもあった．

極細線圧延機として，スーパーマイクロミル¹⁷⁾が開発され，ユーザーでの線引工程省略も提案された．

4 . 1 「ロッドてきすん」圧縮技術

ロッドてきすんミル¹⁸⁾は，1990年，当社と米国モルガンコンストラクション社で共同開発され，星崎線材圧延工場に1992年，知多線材圧延工場には1993年に導入された世界初の線材用精密圧延機である．ロッドてきすんミルの特徴と外観をTable 1とFig.9に示す．

形式はVEEミルタイプと同様な2ロールのキャンチレバタイプであり2スタンドで1ユニットを構成し，これを2ユニットタンデムに配置している．ロール径とスタンド間距離は共に150mmであり，スタンド間距離を接近

Type	Cantilever 2 roll block mill (2 stand × 2 units)
Roll diameter	150 mm (Stand distance 150 mm)
Product range	5.5 mm ~ 19 mm
Rolling speed	Max. 110 m/sec
Rolling sequence	Round-Round (Guideless)
Motor power	1500 Kw (550/1200 RPM)
Reduction	Exchangeable by clutch #1 unit 25/16 % #2 unit 20/16 %

させることによりガイドレス圧延を可能とした．また，ロールギャップ調整式にすることによりフリーサイズ圧延も可能としている．精密圧延材の一例をFig.10に示す．

各スタンド間の速度差は多段式減速機により数段の変速が可能であり，このリダクションの組み合わせおよびパスシーケンスによりブロックミルの2パスリダクション範囲をカバーし，ブロックミルの孔型1系列化を達成した．従来の4系列を1系列化することにより，実働率向上・4サイクル圧延の実現および仕上速度アップによる

能率の向上が図られた．能率推移をFig.11に示す．

5．自由鍛造

自由鍛造の分野では，1500～3000tクラスの中型鍛造機の新設，またはリプレースが行われた¹⁹⁾．型式は2柱式プルダウンとプッシュダウンが同数程度だが，一部ではダイマガジン装備のニアネットシェイプ対応やコンピューター制御によるオペレーターのハンドフリー化^{20)～22)}も図られた．

また，新開発の水平型油圧／メカニカル駆動併用高速鍛造機の導入²³⁾や，特殊油圧駆動採用による従来型プルダウン機での120spm程度の高速化も実現した．直近では，定ストローク機械駆動方式にとってかわり油圧駆動式可変速・可変ストロークの四方向回転鍛造機も稼働した²⁴⁾．

関連設備では，低NOx・省エネルギー型バーナーを採用した加熱炉や，工程短縮，省エネルギーのため，鍛造機に直結したスクリー型水鈍炉²⁵⁾，台車型焼鈍炉も出現した．金敷面の削り下げ補修や溶接補修に代わり，プラズマ粉体肉盛(PPW)²⁶⁾も実用化され，コスト低減に寄与している．

コンピューターの能力向上と普及に伴い，塑性加工理論解析も巾広く行われるようになり，大型品の内部空隙圧着や割れ防止解析などが試みられている．プロセス最適化のためのエキスパートシステム利用¹⁹⁾による工程設計やコンピューターによる実操業の制御も実用に供されつつある．

製品面では，発電プラントの高効率化(高温・高圧化)に対応した新耐熱材料・低熱膨張材料の開発や，民間航空機用ジェットエンジンの国内組立化に伴う部品の国産化など，高合金・高性能材鍛造品の生産が着実に増加しつつある．この動きは東欧あるいは近隣開発途上国からの低合金鍛造品輸入増加と共に，今後，ますます加速さ

れよう．また高性能鍛造機を活用し船用バルブ(Niベース超合金鋼)や非磁性ドリルカラー(高Mnステンレス鋼)などで低温域鍛造による高強度化(制御鍛造)も多用されつつある．

5.1 自由鍛造での省エネルギー

Fig.12に当社渋川工場で加熱炉に導入したリジェネレーティブバーナーの概念図を示す²⁷⁾．リジェネレーティブバーナーは2本1対で使用され，蓄熱室はバーナーに近接して配置されている．ひとつのバーナー燃焼中に，他のバーナーは排気孔となり蓄熱するが，数十秒後には燃焼バーナーは切換えられ蓄熱エネルギーを燃焼空気として回収する．本方式により約30%の省エネルギーが達成されたのみならず短時間交互燃焼により炉内均熱度も改善された．当社では今後既存炉を順次本方式に改造する予定である．

Fig.13に当社渋川工場四方向回転鍛造機精整ラインに設置したスクリー型水鈍炉を示す．このスクリー型

水鈍炉および台車式直送焼鈍炉を使用した場合、常温から加熱・熱処理した場合に比べ10%の省エネルギーを達成できるほか工程時間の短縮と鍛造材の真直度改善も図られた。

5.2 ニアネットシェイプ(NNS)化

Fig.14に航空機エンジンシャフトの鍛造における、NNS化の一例を示す。本例では、頭部据込と軸部鍛伸を組み合わせたコンビネーション鍛造によりNNS化を図っている。当社は、1991年にゼネラルエレクトリック(GE)社、1992年にプラットアンドホイットニー(P&W)社、1998年にロールスロイス(RR)社から相次いでジェットエンジンシャフトの製造認定を取得した。当社の製品は、ジェットエンジンメーカーを通じてボーイング(BOEING)社やエアバス(AIRBUS)社製の機体に取り付けられ、毎日、世界中の空でお役に立っている。

6. むすび

特殊鋼の分塊および棒線圧延と自由鍛造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。

我が国の条鋼圧延・自由鍛造分野の技術水準は、新技術の開発・実用化の点でも、操業成績の優秀さからも、今や世界のトップレベルにあると実感できる。しかしな

がら量的には既に峠を越えており、新技術などの学会発表も低調な昨今の状況からは、次世代における本分野でのイニシアチブを我が国が発揮し得るかどうかは疑問と感じざるを得ない。一説によれば、我が国、鉄鋼業の労働装備率は、近年のリストラ策実施と投資抑制の結果、米国の水準を下廻るようになったという。人は老い、設備は老朽化し、技術・製品は陳腐化する。現状の延長線上にある明日は、危なかしいと言わざるを得ない。

今後の展望に代え、以下に二つの課題を提起したい。

6.1 量産プロセスのリフレッシュ

1969年、当社他二社が建設した線材ミルは、H-V配列個別駆動の一本通しのノーツイスト圧延で、その後、日本型ミルと称され、棒線圧延のみならず一部大型製品にも普及した。現在各社の主力プロセスはこのタイプであり、古いもので30年、新しいものでも15年を経過している。これらのプロセスは操業技術の向上と、高級材の取り込み、サイズ拡大などにより、今なお競争力を維持してはいるが、永続的な発展を保証するものではない。とは言え単なるリブレースでは、過剰投資・僅少効果となり経済的に成り立たないであろう。

おそらくは企業の枠を越えた共同でのリブレースなり、異種ミルの統合による要員半減といったドラスティックな案が浮上しよう。また、機械・電気・建設などの

設備面でも必要な機能のみを具備したシンプルかつコンパクト化が求められ、例えばミニミル並予算を可能とするような新コンセプトの設備開発が必要となろう。

6. 2 特殊プロセスの拡大

建材分野でのステンレス鋼使用増や、発電分野での高温・高圧・高効率化に対応した超合金の普及など、いわゆる高級材の生産拡大は今後とも期待される。一方、前述したように、工具鋼・ステンレス鋼のほとんどは、量産プロセスで生産可能となりつつあり、従来高級材を主として取り扱ってきたプロセスにとっては、対象量の減少、稼働維持問題が顕在化しつつある。他方、自由鍛造で触れたように、塑性加工の高い生産性を活かしたニアネットシェイプ化（機械加工レス化）も一層進展するものと思われる。

以上の観点に立つ時、スーパーマイクロミル、サテライトミル、揺動鍛造などの特殊プロセスは、今後活用される機会が増すものと思われる。当社にあっても、細線材熱間延伸プロセスや小断面異形圧延機を従来から試用してきた。この種の極少量・多品種製品を小イニシャルコスト・少人数で生産する特殊プロセスは、今後独自の領域を確立するものと思われる。

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、来世紀にも通用する技術を確固たるものとすべく、一層精進したいと思っている。

（文 献）

1) 森井 廉他：電気製鋼，**64**(1993)，13

2) 設備紹介：電気製鋼，**69**(1998)，85

3) 緒方俊治：住友金属，**39**(1987)，289

4) 佐藤裕巳：愛鋼技報，**13**(1993)，42

5) 臼井正明：特殊鋼，**41**(1992)，No.1, 55

6) 松田泰憲：神戸製鋼技報，**42**(1992)，No.3, 105

7) 金堂秀範他：川崎製鉄技報，**28**(1996)，No. 2，69

8) 木内 学：鉄と鋼，**79**(1993)，280

9) 柳本 潤：48回塑加連講論（1997），291

10) 柳本 潤他：材料とプロセス，**11**(1998)，268

11) 佐々木健 他：鉄と鋼，**79**(1993)，417

12) 小林秀雄 他：電気製鋼，**62**(1992)，76

13) 津田孝良 他：電気製鋼，**64**(1993)，219

14) 新林孝文 他：住友金属，**45**(1993)，No. 4, 54

15) S. Mark Shore：Steel World，**1**(1993)，2

16) S. Mark Shore：材料とプロセス，**11**(1998)，289

17) 黒田浩一 他：塑性と加工，**38**(1997)，834

18) 佐々木健 他：鉄と鋼，**81**(1995)，T53

19) 日本鑄鍛鋼会：鍛鋼品の製造に関する技術講演並びに研究発表会（1998）

20) 岡本好博：鑄鋼と鍛鋼，No.481（1993），10

21) 五十嵐雄二：鑄鋼と鍛鋼，No.464（1991），12

22) 日本鑄鍛鋼会：鍛鋼品の製造に関する技術講演並びに研究発表会（1994）

23) 森谷 徹：鑄鋼と鍛鋼，No.506（1998），19

24) EUMCO社：技術資料

25) 設備紹介：電気製鋼，**65**(1994)，354

26) 日下俊弘 他：素形材，**34**(1993) No.10, 11

27) 平松弘幸 他：電気製鋼，**68**(1997)，193