

特殊鋼[®]

2024 11
Vol.73 No.6
The Special Steel

特集

特殊鋼棒線の圧延・鍛造に関する解説

一般社団法人 特殊鋼倶楽部

特殊鋼

11 目次 2024

【編集委員】

委員長	迫間 保弘 (大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫 (中川特殊鋼)
委員	平地 伸吾 (愛知製鋼)
〃	土橋 智也 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	深瀬美紀子 (大同特殊鋼)
〃	松原 大 (日本製鉄)
〃	竹内 俊哉 (日本金属)
〃	黒川 政人 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 正昭 (日本冶金工業)
〃	上野 友典 (プロテリアル)
〃	佐野 太一 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	関谷 篤 (竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人 (平井)

【特集／特殊鋼棒線の圧延・鍛造に関する解説】

I. 総論

棒線圧延の基礎特性と加工熱処理技術

.....	東京電機大学	柳田 明	1
-------	--------	------	---

II. 製造工程

1. 圧延.....	日本製鉄(株)	大坪 紘二	6
2. 鍛造 (熱間).....	(株)プロテリアル	菅 洋一	10
	(株)プロテリアル	味田 悟	
3. 製品検査 (棒鋼) 棒鋼製品検査の概要	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	田中 健登	12

III. 各論

1. 制御・精密圧延技術

1) TMCP.....	大同特殊鋼(株)	伊藤 樹一	14
2) コンパクトミル (粗圧延機)		日本製鉄(株)	田中 祥平 16
3) RSB (3ロール) 圧延機について		山陽特殊製鋼(株)	石橋 直弥 17
4) 線材仕上圧延機 (RSM)...	日本製鉄(株)	安盛 雄作	19

2. 調整冷却技術

1) 衝風冷却・DLP.....	日本製鉄(株)	小山 陽平	21
2) EDC.....	日本製鉄(株)	小山 陽平	23
3) リターデット.....	日本製鉄(株)	小山 陽平	24
4) インライン熱処理.....	日本製鉄(株)	千葉 圭介	25

3. 製品検査技術

1) 熱間渦電流探傷.....	日本フェルスター(株)	吉川 仁	27
2) プロファイルメーター		日鉄テックスエンジ(株)	小林 哲也 29
3) 矯正.....	愛知製鋼(株)	平地 伸吾	32
4) 製品UT.....	大同特殊鋼(株)	山下 正和	35
5) 漏えい (洩) 磁束探傷		日本フェルスター(株)	吉川 仁 37

IV. 最近のリフレッシュ事例

1. 分塊工場の増強…………… (株)神戸製鋼所 多比良知秀 39

2. 鋼片加工（精整）…………… (株)神戸製鋼所 前田 悟 42

3. 光棒線工場における粗圧延改善
…………… 日鉄ステンレス(株) 森田 博樹 47

4. 製品精整
 中小形棒鋼 新矯正－検査ライン
 …………… 山陽特殊製鋼(株) 谷口 玲 50

“特集”編集後記…………… 日本製鉄(株) 松原 大 65

■業界のうごき…………… 52

▲特殊鋼統計資料…………… 55

★倶楽部だより（2024年8月1日～9月30日）…………… 59

☆特殊鋼倶楽部の動き…………… 61

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧…………… 64

特集／「特殊鋼棒線の圧延・鍛造に関する解説」に関する編集会議構成メンバー（2024年5月23日現在）

役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
編 集 長	松原 大	日 本 製 鉄 (株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
委 員	平地 伸吾	愛 知 製 鋼 (株)	品質保証部 お客様品質・技術室 主幹
〃	斎藤 隆	(株) 神 戸 製 鋼 所	鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット 線材条鋼商品技術部 主任部員
〃	西森 博	山 陽 特 殊 製 鋼 (株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	深瀬美紀子	大 同 特 殊 鋼 (株)	技術開発研究所 企画室 主任部員
〃	竹内 俊哉	日 本 金 属 (株)	技術部門 技術部 部長
〃	黒川 政人	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部 担当部長
〃	佐藤 正昭	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 次長
〃	上野 友典	(株)プロテリアル	特殊鋼事業部 技術部長
〃	佐山 博信	三 菱 製 鋼 (株)	技術開発センター 研究第一グループ グループ長
〃	鳴海 雅稔	青 山 特 殊 鋼 (株)	静岡支店 技術部長
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 支店長
〃	白神 哲夫	中 川 特 殊 鋼 (株)	フェロー

特殊鋼棒線の 圧延・鍛造に関する解説

I. 総 論

棒線圧延の基礎特性と加工熱処理技術

東京電機大学 やなぎ だ あきら
工学部 先端機械工学科 柳 田 明

◇ 緒 言

孔型圧延では板圧延と異なり、以下のような特徴を持つ。1) 圧下率、2) ロール直径と周速、3) 接触長さが幅方向で一様でない。このためロールギャップ内で材料は複雑な3次元変形となり、特異な変形が生じる。本稿において棒線圧延の基礎特性と加工熱処理技術について概説する。また、本来であれば、棒線圧延を専門とする研究者が執筆すべきところであるが、日本塑性加工学会圧延工学分科会の主査の立場として執筆の依頼があり、浅学ながら執筆を引き受けた次第である。

◇ 圧延特性

孔型圧延変形特性を説明した著書は少ない。ここでは、過去に出版された文献を参考にしながら、圧延の特性を表す諸因子の定義や、複雑な変形を便宜的に平板圧延に置き換える「矩形換算法」について解説する。

(1) 諸特性の定義

図1(a)に示すように、スクエアダイヤ圧延を例にとるとロール径を D 、孔型溝底の最小ロール径を $D_{\min}$ 、入口での材料高さを H_0 、幅 B_0 、断面積 F_0 、基準長さ l_0 、速度 v_0 とし、出口での材料高さを H_1 、幅 B_1 、断面積 F_1 、基準長さ l_1 、速度 v_1 とすると、

圧下量: $\Delta H = H_0 - H_1$ 、圧下率: $\Delta H / H_0$

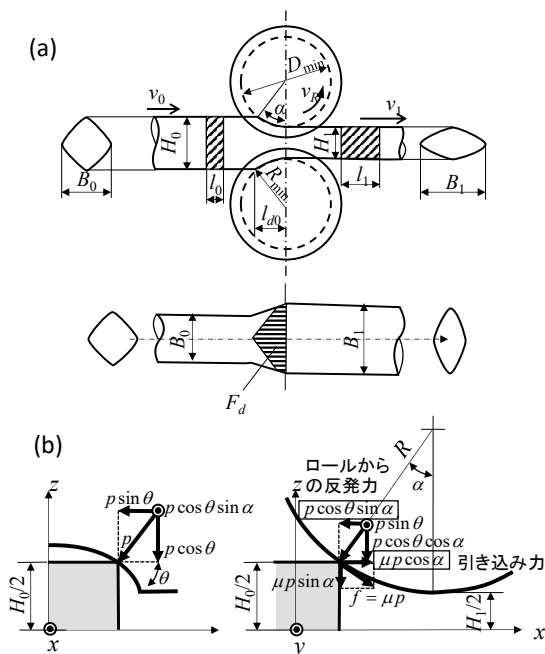


図 1 孔型圧延中のロールと材料の関係

幅広がり量: $\Delta B = B_1 - B_0$ 幅広がり係数: $\beta = B_1 / B_0$
とし、幅広がり率: $\beta' = \Delta B / B_1 = \beta - 1$

減面比 $\lambda = F_1 / F_0$ 、減面率 $= 1 - \lambda$ 、延伸比 $= l_1 / l_0$

また、幾何学的形状から、最大接触投影弧長 $l_{d0} = \sqrt{R_{\min} \Delta H}$ 、接触角 $\alpha = \sqrt{\Delta H / R_{\min}}$ となる。

(2) 噛み込み条件

最初に接触する点は圧延方式により異なるが、2～4点ある。図1(b)はスクエアオーバルで

の噛み込み時の作用力と幾何学的関係を示す。圧延方向： x 、幅方向： y 、高さ方向： z である。噛み込み点のロール半径： R_c は、初期高さ H_0 および同一円周上の出口点 H_1 から次式により求められる。

$$R_c(1 - \cos \alpha) = (H_0 - H_1) / 2 \quad (1)$$

噛み込み点に対応する出口点での孔型傾斜角を θ 、ロール中心力を p とすると、噛み込み点でロールから材料に作用する力の圧延方向成分のつり合いより、ロール引き込み力 $\mu p \cos \alpha$ とロールからの反発力 $p \cos \theta \sin \alpha$ の関係 $\mu p \cos \alpha \geq p \cos \theta \sin \alpha$ から噛み込み条件は次式となる。

$$\mu \geq \tan \alpha \cos \theta \quad (2)$$

式(2)より孔型傾斜角が大きいと噛み込み性がよくなることが分かる。

(3) 矩形換算法と幅広がり特性

幅広がり率は減面率の増大とともに増え、ロール間隙形状比(l_{a0}/H_0)が大きくなるほど増大するが、孔型側壁の拘束が増すと幅広がりには抑えられる。孔型圧延の幅広がり計算手法として便宜的に孔型圧延を相当する平板圧延に置き換えて取り扱

う、「矩形換算法」が用いられている。代表的な区間線形法としてSiebel, Wusatovski, による材料幅を平均する、あるいはそのまま用いる簡便な方法から、図2に示すように柳本、斎藤らのロールと圧延材との接触幅を用いる方法がある。

矩形換算により投影接触面積 F_d は次のように計算できる孔型と素材によって定まる接触幅 B_{M0} を基準とし、この間の材料断面を矩形換算しそれぞれ $\bar{H}_0$ $\bar{H}_1$ 圧延後の材料のロール接触幅を B_{M1} 、ロール軸間距離を D_p とすると、

$$F_d = 0.5(B_{M0} + B_{M1}) \cdot l_d \quad (3)$$

$$l_d = \sqrt{\bar{R} \cdot (\bar{H}_0 - \bar{H}_1)}, \quad \bar{R} = 0.5(\bar{D}_p - \bar{H}_1) \quad (4)$$

l_d は平均投影接触長、 $\bar{R}_0$ ：平均ロール半径

柳本は、孔型側壁の幅拘束効果を考慮するため側壁の平均傾斜角 θ を含むことで摩擦や材料の影響を考慮するため、摩擦係数 μ および、材料定数 β_0 を含んだ次式を示している。

$$B_1 / B_{M0} = \left\{ \bar{H}_0 / \bar{H}_1 - C_2 \left(1 - \bar{H}_1 / \bar{H}_0 \right) \tan \theta \right\}^{\kappa} \quad (5)$$

$$\kappa = \beta_0 + \mu S - 1, \quad S = 2l_d / (\bar{H}_0 + 2B_0)$$

l_d は矩形換算法から求められた平均孔型接触長さである。 C_2 は圧延方式によって異なり、スクエア(S)、ダイヤモンド(D)孔型で0.2、ラウンド(R)、オーバル孔型(O)で0である。 β_0 は熱間状態ではアルミニウム：1.14、黄銅：1.12、銅：1.10、軟銅：1.02で与えられる。

篠倉らは、Siebelの式を発展させ、柳本の式のパラメータSを用いて次式を得た。

$$B_1 / B_0 = 1 + \alpha S \cdot F_H / F_0 \quad (6)$$

F_0 は素材の断面積、 F_H は孔型によって幾何学的に排除される面積である。 α は圧延方式により異なるが、回帰分析の結果 $\alpha \approx 0.83$ となった。

斎藤らは、この式を多くの孔型方式に拡張し、係数 α をS-D、S-O、D-S、O-R方式では0.83、R-O方式では0.97、O-S方式では1.06として与えると±数パーセントの誤差で幅広がり予測が可能であるとしている。

(4) 有限要素法解析

1990年頃より初等解析に代わり有限要素法によ

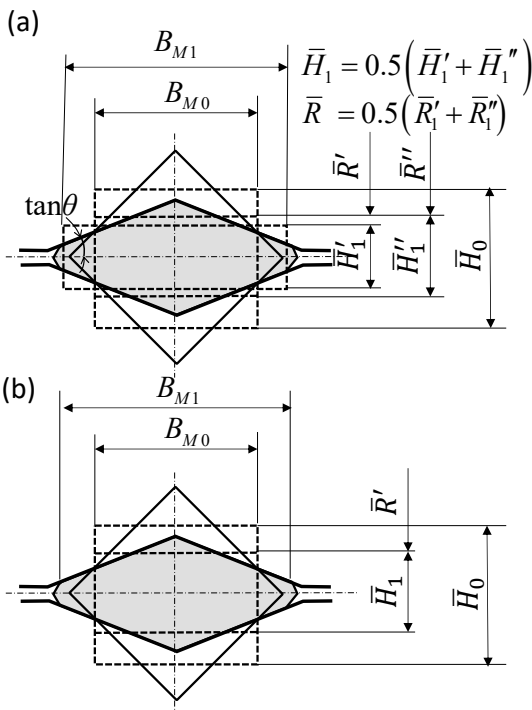


図 2 矩形換算法 (a) 柳本、(b) 斎藤のモデル

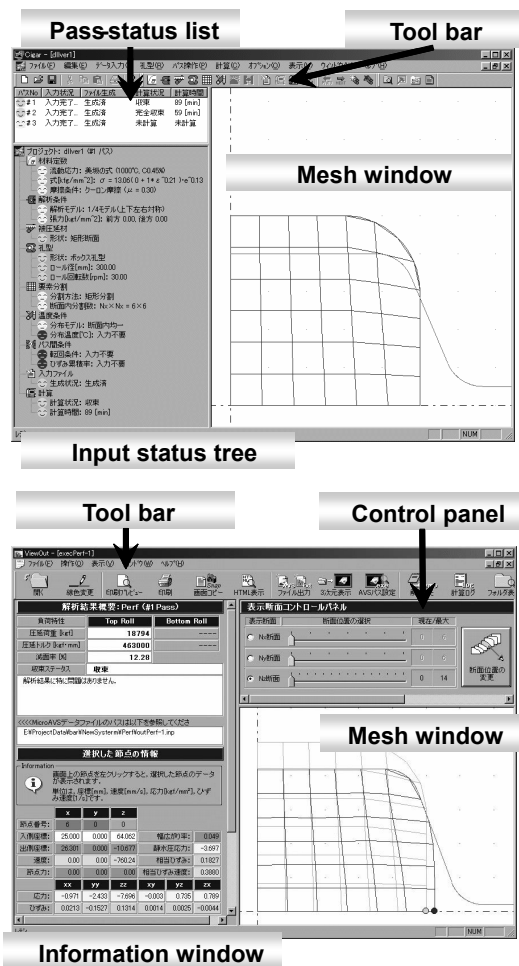


図 3 棒鋼・線材FEM解析システム

る解析が行われるようになった。東京大学の柳本研究室で開発されたCormillシステムにGUI装備した「棒鋼・線材圧延FEM解析システム」が鉄鋼協会の研究会で研究が進められ、現在においても棒線圧延メーカーで変形・負荷の解析ツールとして用いられている。図3にGUIシステムを示す。

◇ 棒線圧延における加工熱処理

棒線材は、圧延材をそのまま用いることは建設用部材等に利用される場合があるがそのケースは少なく熱処理・鍛造加工・引抜き加工など後続する2次加工用の素材となる場合が多かったが、組織制御により、熱処理工程を省略できるようになってきている。圧延まま材の材質制御の目的の一つに高強度化がある。この場合には、圧延直後の棒線材に直接焼入れを施す場合が多い。2次加工に適した材質となるように内部マイクロ組織を制御する場合には、2次加工での熱処理などが省略できるように、軟質化や強度・延性の確保などを目的とする。

図4に、棒線圧延における加工熱処理の模式的な履歴を示す。(1)は再結晶温度以上での、通常の圧延スケジュールである。棒線圧延は連続圧延であるので累積圧下量が大きく、パス間で再結晶が起こるのではなく動的再結晶が発生していると考えられている。動的再結晶と、パス間での静的回復・静的再結晶と加工硬化・動的回復・動的再

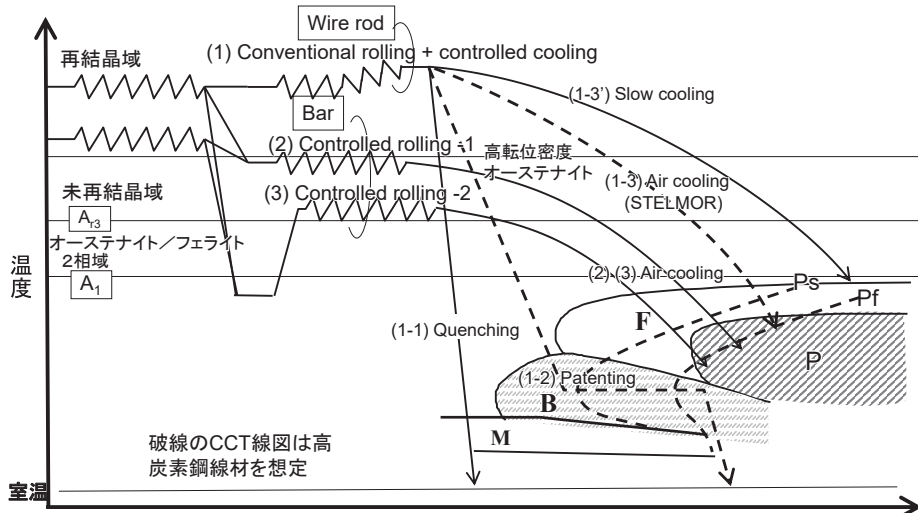


図 4 棒線圧延の加工熱処理

結晶を経てミクロ組織が変化し、圧延後（変態前）の組織が形成される。低炭素鋼においては、圧延後空冷を行う場合には、フェライト・パーライト組織が形成され、冷却速度が遅くなるほどフェライト粒径が大きくなり軟質化が進む。圧延後焼入れを行うとマルテンサイト変態が起こり、高強度棒線が製造される。（２）は、微細フェライト・パーライト組織を得るための制御圧延である。この場合には、動的再結晶をできるだけ抑制できるように低温（Ar3点近傍）での仕上げ圧延が行われ、高い残留ひずみ（残留転位密度）のオーステナイト粒からの粒内核生成や微細な静的再結晶粒界からのフェライト・パーライト加速変態を利用して、ミクロ組織の微細化が図られる。また、再結晶を抑制しパンケーキ状オーステナイトからの加速変態を利用するために、Nbなどのマイクロアロイを微量添加する場合もある。（３）は逆変態を利用した制御圧延である。変態－逆変態を利用して微細なオーステナイト組織を生成しておき、その後の再結晶温度以下での圧延加工で導入された高い転位密度を持った結晶粒からの加速変態を利用して、微細なフェライト・パーライト組織を生成する。

ここまで示した棒線圧延の加工熱処理は、板圧延で利用されている制御圧延・制御冷却（TMCP: Thermo Mechanical Controlled Processing）と同様のメカニズムである。しかしながら、板圧延と棒線圧延では、圧延ラインの構成や圧延温度、ロール形状、圧延速度などの圧延プロセス条件が異なっている。そのため、棒線圧延の加工熱処理は、板圧延（特に厚板圧延）とは異なった以下の特徴がある。

（１）連続圧延

sd棒線圧延は、薄板材の仕上げ圧延と同じく、連続圧延であるので、圧延速度およびパス間時間が孔型形状、延伸比などの圧延プロセス条件で決まり、内部組織は製品全長にわたり均一で変動が少ない。素材の内部組織変化を制御するための手段は主として温度となり、圧延パスインライン水冷設備が利用される。ただし、連続圧延中の温度制御・温度調整は、特に高速である線材の仕上げ圧延の場合困難である。

（２）孔型圧延

前項でも示したが、変形が不均一であることから、断面内での温度・ひずみ速度・ひずみ分布が大きく、内部組織変化に影響を及ぼす。この不均一な温度、変形の分布が、断面内の一部の領域で、ある臨界ひずみが付与された場合、異常粒成長による結晶粒の粗大化を引き起こす場合がある。

（３）累積大压下圧延・高速圧延

全压下量が大きく、90%を超える場合が多い。仕上げ圧延速度が高速になるほどパス間時間が短くなるためひずみの累積圧下の効果が顕著になり、動的再結晶の発生が促進される。線材圧延の場合には、仕上げ速度が高速であるため加工発熱の影響が大きく、仕上げ後段になるほど温度が上昇する。従って仕上げ圧延後の粒径は動的再結晶の影響を強く受け、最終スタンドの温度補償ひずみ速度：

Zener-Hollomon：Z値 $(Z = \dot{\epsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right))$ パラ

メータとの強い相関が現れる。

線材圧延では熱間圧延後の冷却が加工熱処理方法として主にとられる。棒材圧延の場合には圧延速度が低いため温度が緩やかに低下しながら圧延が行われ、仕上げ圧延後の粒径のZ値への依存性は、線材圧延より弱い。また圧延速度が遅いために圧延温度の制御が線材圧延より容易であるので、圧延温度制御による圧延パスインラインでの加工熱処理が行われている。また、高炭素鋼については伸線性（高強度、すなわち均一・微細なパーライト組織）を確保するための溶融塩ソルトパテンティング（DLP: Direct in-line Patenting）、図4の（1-2）に対応や、ステルモアコンベアで風冷・空冷の調整を行うことで、パーライトラメラ間隔の増大による直接軟化（図4の（1-3）～（1-3'））に対応がある。前者は伸線前のパテンティング処理省略、後者は冷間鍛造前の軟化焼鈍を省略することを目的としている。変形抵抗を高精度に予測し、圧延負荷や温度履歴を正確に予測できる変形－温度－組織の連成モデルを活用し、表層部を微細粒化するプロセスが開発され、製品の疲労特性が向上させることが確認されている。

棒鋼圧延は圧延速度が線材圧延より遅く断面積が大きいので、圧延中のインラインでの温度制御による加工熱処理が主流である。例えば、均一で微細なフェライト・パーライト組織を得るための

直接焼きならしや、Mn含有量が多い冷間鍛造用SCM鋼の軟化組織を得るための直接軟化が行われている。図4の(2)に対応。

むすび

本稿は、塑性加工技術シリーズ「棒材・線材圧延」、塑性加工便覧をベースに新たに報告された内容を付け足し、図は内容を更新した。また棒鋼・線材FEMシステムについては配布に関しては終了

しているが、東京大学の柳本教授と執筆者がソースコードを管理している。

参考文献

- 1) 日本塑性加工学会編：棒線・形・管圧延（塑性加工技術シリーズ 8）、1991 コロナ社
- 2) 日本塑性加工学会編：塑性加工便覧、2006 コロナ社
- 3) 鉄と鋼：86-7、(2000)、452-457
- 4) 塑性と加工：50-578、(2009)、221-226
- 5) 新日鉄技報：386、(2007)、47-53



Ⅱ．製造工程

1．圧延

日本製鉄(株) 九州製鉄所 おお っば こう じ
棒線技術室 線材・二次加工技術課 大 坪 紘 二

特殊鋼線材、棒鋼は最終製品になるまでに2次、3次加工メーカーで伸線、熱処理、鍛造、切削といった各種の加工が施され、その製品は自動車、産業機械、建設機械、工作機械等、各種産業分野の重要部品として使用される例が多い。また、近年では自動車の電動化や風力発電等の自然エネルギー活用等によるCO₂削減に寄与する鋼材として注目が高まっている。このような背景から、特殊鋼圧延工程では、2次、3次加工メーカーと一体となって、高強度鋼材、加工工程省略材等の高能鋼材の開発、インライン熱処理技術、精密圧延技術や細径圧延技術、制御圧延技術等の生産性、コスト削減の開発、技術導入に取り組んできた。本章では、分塊、棒鋼、線材それぞれの圧延工程について解説する。

分塊圧延は銑鋼一貫工程の中間に位置し、製鋼から送られてきた鑄片（ブルーム）を圧延機により、所定のサイズの鋼片（ビレット）に圧延し、線材・棒鋼工場へ供給する役割を持つ。分塊工場にて鋼片を製造し、一時的に在庫することにより、素材の外的、内的欠陥を改善し、品質の均一な材料を線材・棒鋼工場へ供給することが可能である。分塊工場は加熱工程と分塊圧延工程の2つに大別される（図1）。加熱工程では製鋼で鑄込まれたブルームを、加熱炉にて圧延に適した温度に均一に加熱する。加熱炉は連続炉とバッチ炉が存在する。高グレード品では偏析改善に優れた長時間加熱が望まれるため、バッチ炉で加熱を行う。また。加

熱炉に装入するブルームにも熱片と冷片が存在しており、様々な作りこみをすることが可能である。次に分塊圧延工程である。主要な設備構成は、分塊圧延機、ホットスカーフ、仕上圧延機である。分塊圧延機はリバース式が採用されている。ブルームを搬送ローラーで前進後退させ、上下ロールで押し潰し、ブルームを90度回転させ再度押し潰す動作を複数回行い所定の寸法に作りこむ方式である。前工程の鑄造時に生じた気泡や不純物を均一に分散させ、鑄片内部の欠陥を圧着するほか、後段の仕上圧延の負荷軽減の目的で採用されている。ホットスカーフは、高圧酸素とLPGを吹き付けることでビレット表面に溶融部を形成し、溶融鉄と酸素による酸化反応で溶削を行うことで、表面欠陥（脱炭及び疵）を除去するための設備である。仕上圧延機は水平-垂直式圧延機を採用しており、材料を均等に圧下し、所定のビレットサイズまで作りこみをすることが可能である。これらの設備により、品質に起因する上工程および、下工程の種々の工程制約を緩和することが出来、多品種生産を円滑に遂行することが出来る。

棒鋼、線材圧延は板圧延とは異なり、スクエア（四角）、ダイヤ（菱形）、オーバル（楕円）、ラウンド（丸）形状などの孔型を切削した溝型ロールを用いて圧延を行う。熱間鋼材が溝型ロールで押しつぶされ、菱形→四角→菱形→四角や、楕円→丸→楕円→丸といったように形を変えながら所定寸法へ圧延する。同様に形鋼圧延も溝型ロールで

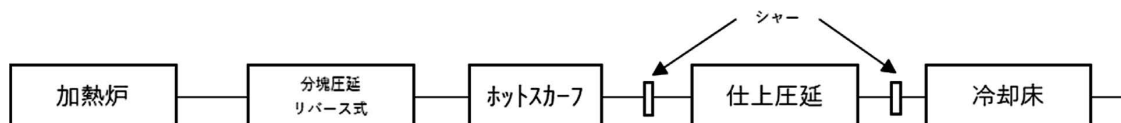


図 1 分塊工場レイアウト

圧延する共通点を持つことから、棒鋼、線材圧延と共に「条鋼」と呼ばれている。

棒鋼圧延は加熱炉にて所定の温度に加熱された鋼片を粗圧延から中間圧延、仕上圧延機を経て、所定の断面形状に熱間圧延される。仕上圧延機を経た棒鋼は冷却床に送られ長尺のまま冷却され、その後所定の長さに切断されて検査される。一部はポーリング工程にてコイル状に巻き取られるものもある(図2)。ポーリング工程はピン方式とドラム方式の2種類に大別される。ピン方式はドラム内にピン6本を等間隔に配置するのに対して、ドラム式はコイル内径に合わせた曲率の板を組み合わせたものを配置している。ピン方式はピンとピン間の鋼材拘束が無かったことによるコイル荷姿の悪化や、ピンの位置がずれることによる疵誘発等があり、ドラム方式へ変更したミルも存在する。検査を終えた棒鋼は複数本単位で束状に結束され、需要家へ出荷される。圧延機は、粗、中間圧延機には水平-垂直式圧延機が採用される場合が多い。水平式圧延機と垂直式圧延機を交互に設置することで、鋼材の捻転を抑止しながら圧延することが可能である。一般的な線材、棒鋼工場ではロール回転方向が1種類の二重式圧延機を複数配置している。また、棒鋼の仕上圧延機にはブロックミルである3ロール圧延機が多く導入されており、高い寸法精度による品質バラツキの低減、サイズフリー圧延を達成している。サイズフリー圧延とは、異なる製品サイズを同じロールの間を変更するだけで製造する圧延方法であり、型替え時間の削減、中間サイズの製造、マルチサイクル圧延、小ロット生産、資材コスト削減といった課題に対して非常に有効な方法である。最新の3ロール圧延機は3軸から動力を伝達することで、ミル剛性が高くなり、太径圧延時でもロール隙変動が小さくなり、寸法精度向上に貢献することが出来る。また、ミル剛性の向上により、従来は1サイ

ズ毎に保有していた太径仕上孔型が不要となった。さらにサイズフリー圧延によりロール孔型数を半分程度まで削減することが可能である。3ロール圧延機はカセット方式組替のため、オフラインでの孔型調整、加工が可能となり組替時間も大幅に削減することが出来、需要家の高度な寸法精度要求にも対応することが可能となった。

線材圧延は加熱・圧延・調整冷却の3つの工程で構成されている。圧延する素材(ビレット)には2種類あり、ブルームを分塊ラインでビレットに圧延したものと、連続鑄造機でビレットサイズに直接鑄造されたものがある。それぞれに適切な検査手入を行ったビレットを基本的使用する。まず加熱工程では、ビレットを所定の温度まで加熱する。加熱温度は圧延工程での良好な変形特性を得ることや、ビレット表層の脱炭制御、しわ疵・へげ疵防止、調整冷却工程での材質制御を目的に規定されており、品種に応じて1000~1200℃程度まで60~90分程度かけて加熱する。線材ミルによってはインダクションヒーターなどの加熱設備で補助的に加熱することで、生産性を向上させている事例もある。次の圧延工程では複数台配置された前段の粗・中間圧延機と後段の仕上圧延機で所定の寸法・断面形状に熱間圧延する。圧延工程は大別すると2種類あり、シングルストランドとマルチストランドに区別される(図3、図4)。シングルストランドは粗から仕上げ圧延機まで1列構成であり、小ロット多品種製造に優れている。また粗・中間列に水平-垂直圧延機を用いることで熱間圧延中に捻転させることが無いため、カキ疵などの発生原因となるガイドローラーとの強接触が少ないため品質に優位である。マルチストランドは前段の水平式圧延機で複数ビレットを同時に圧延し、後段に複数の仕上圧延機を配置することで生産性に優れた大ロット製造に適している。シングルストランド、マルチストランドどちらのレ

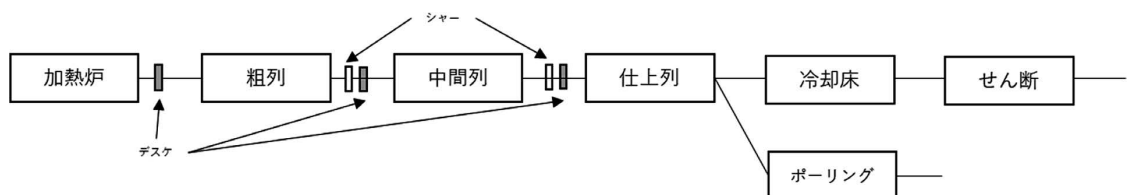


図 2 棒鋼工場レイアウト

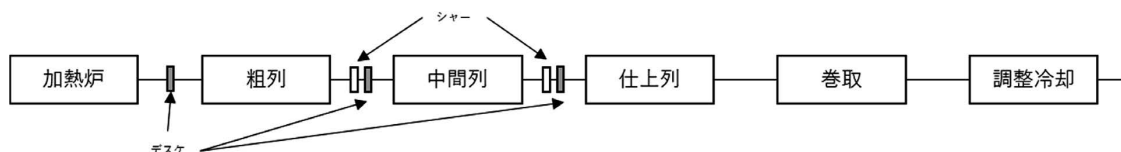


図 3 線材工場レイアウト（シングルスランド）

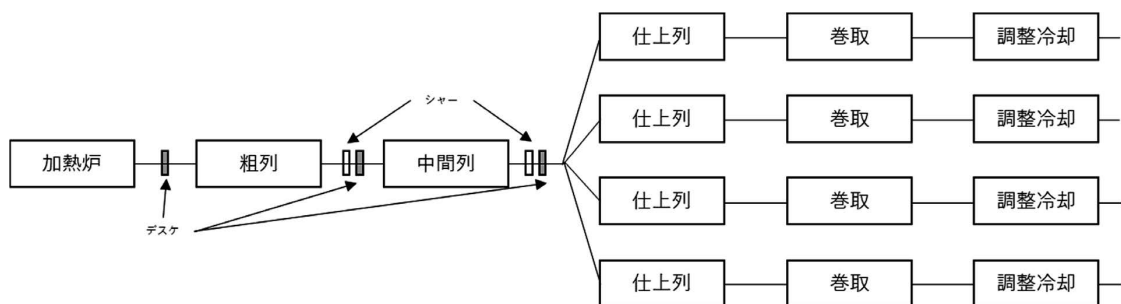


図 4 線材工場レイアウト（マルチストランド）

イアウトでも、線材仕上圧延には基本的に2ロールブロックミルが採用されている。水平-垂直式圧延機と異なり、8～10台程度のロールスタンドを集約した機構である。ロールスタンドを90度ずつ傾けることで、水平-垂直式圧延機と同様にねじり無しで圧延することが可能である。また、振動を発生させる原因となるカップリング等の駆動機構を極力少なくすることで、高速圧延が可能となることが利点である。ブロックミルには超硬ロールが使用されており、ロール軸に孔型（溝）が彫られたリングをはめ込むことで孔型替えをすることが可能である。

線材製品の用途によっては $\pm 0.1\text{mm}$ の高い寸法精度が要求されるため、一部の線材ミルではブロックミルの後段にサイジングミルやレデュースングサイジングミルを導入している。棒鋼工場の3ロール圧延機で触れたように、サイズフリー圧延、オフラインでの孔型調整が可能であり、生産性向上効果もある。またブロックミル入側の寸法公差を改善する目的で、中間列へ3ロール圧延機を導入した事例もある。今回は中間列、仕上列での3ロール圧延機、ブロックミルについて説明した。粗列ではスタンド全体のライン長を短くできるコンパクトミルの開発が進められており、空いたスペースに新たな付帯設備を入れるなどの発展性があるため、今後の動向を注視する必要がある。

続いて、線材・棒鋼圧延工程における補助設備であるデスケ、シャー、ロール冷却についてあまり触れられる機会がないため、今回説明する。

デスケとは、加熱炉から抽出されたビレットに高圧の水を吹きかけることで、加熱時に生成したビレット表面のスケールを剥離させるための設備である。サイズ・鋼種等で圧延ロールを通過するときのスケールの落ち方は異なり、スケール残りが発生すると鋼材表面にスケールが押し込まれ疵が残るため、材料に適したデスケ圧力が定められている。副次効果として、ビレット表面のスケールを除去することで、圧延ロールのロール表面の肌荒れの進行を遅らせる効果もある。ビレット長手方向の面部分とコーナー部分のスケールを同様に剥離させる必要があるため、水噴出ノズルの最適配置などの検討も進んでいる。粗列後段、中間列後段にも同様にデスケが設置されているが、スケール剥離の観点からは、加熱炉抽出側のデスケが支配的でありサイズ、鋼種によっては不使用の場合がある。

シャーとは、熱間鋼材の先端後端を切断するための設備である。熱間圧延時、ビレットが圧延により次第に変形され、先端後端部分の形状が悪化する。またロール冷却水によって局部的に冷却される。この状態はロールへの噛み込性を悪くし、鋼材の頭ワレ、ミスロール、最終製品の組織異常

の原因となる。形状不良の状態では中間列、仕上列にて圧延を行うと、寸法公差外れ、疵、ミスロール等が発生する場合がある。また局部的に冷却されており組織異常となるため、それらを取り除く目的でシャーを設置している。一般的には粗、中間、仕上列で、鋼材の先端後端部分は一定量切り捨てて圧延される。

ロール冷却とは、ロール表面の温度上昇を抑えるため通材時ロールに水をかけて冷却する設備である。熱間鋼材とロールが接触している時はロールの表面が加熱され、次材を圧延するまでの10秒程度の間にロールは冷却される。この繰り返によりロールへ熱亀裂が入る可能性があるため、圧延機1台ごとにロール冷却を行っている。

本稿では、基本的な分塊、棒鋼、線材圧延、それらに付随する補助設備について述べた。今後製品に対する要求はより厳格化、多様化していくと考えられる上、省CO₂をはじめとする世界的な環境対策ニーズにも取り組む必要がある。また日本の労働人口減少による働き手不足のため工場の自動化も合わせて取り組み、日本鉄鋼業が常に世界の1歩先を進むことができるよう技術開発を進めていく。

参 考 文 献

特殊鋼2021年7月号、特殊鋼2023年7月号、新日鉄住金技報401号
(2015)
学校法人鉄鋼学園 線材・棒鋼製造法

2. 鍛造（熱間）

(株) プロテリアル かん よう いち
安来工場素形材部鍛造グループ 管 洋 一

(株) プロテリアル み た さとる
安来工場素形材部鋼材グループ 味 田 悟

まえがき

熱間鍛造とは、被加工材を再結晶温度（鉄鋼では約700℃）以上に加熱して圧縮する塑性加工のことであり、緻密な組織を造ると共に所望の形状を得ることを目的としている。また、熱間鍛造は使用する工具によっても分類され、単純形状の工具を用いて鍛造材料の拘束が小さい状態での鍛造を自由鍛造、最終製品形状に近い形の金型を用いた鍛造を型鍛造と呼んでおり、棒鋼を製造する際の鍛造は自由鍛造である。鍛造を用いて製造される棒鋼は様々あるが、前述したように鍛造は圧縮による加工であるため延性破壊が起こりにくいことや、大きな変形を加えることで緻密な組織も得られ易いため、難加工材や、断面積の大きな棒鋼の製造には欠かせない製造方法である。本稿では弊社が所有している鍛造設備の内、油圧プレス機（1万トンプレス、高速四面鍛造機）について紹介する。

◇ 1万トン級自由鍛造プレス（以下、1万トンプレス：写真1）

弊社安来工場が所有する1万トンプレスを使用



写真1 1万トン級自由鍛造プレス（1万トンプレス）
外観（株式会社プロテリアル）

した自由鍛造は、平面或いは単純な曲面を持つ上下二つの金型の間に、加熱された材料を移動させながら挟んで加圧し、種々の寸法や形状の製品を自由に成形でき、一般的には大・中形品の多種少量製造に向いている。また自由鍛造は鋼塊の予備成形も行い、鑿等の治工具を補助的に使用することで、素材の切込みや分割も行え、多様な製品を自由に成形できることの特徴も有している。

1万トンプレスの設備を以下に紹介する。

1万トンプレスは、2018年5月より本格的に量産稼働を開始した設備である。1万トンプレスの鍛造荷重は最大約9,000トン、据込荷重は最大11,000トンを出力させることができる海外製の4柱式プッシュダウン型の油圧プレス機である。ストローク、デライトともに弊社既設プレスよりも広く確保した設計であり、またプレス最大SPM（Stroke Per Minute）は、既設機同等以上の動作速度を有しているものである。プレス機本体の両サイドには、軌条レール式のマニピュレータを設置し、最大30トンの素材を把持走行できる仕様となっている。マニピュレータはともにミリメートルの精度で鍛造品を位置決めでき、プレス機のストロークと完全に同期して動作させることが可能である。また効率的かつ省スペースの油圧システムで構成され、プレス地下内に設置された高性能油圧ポンプによる高速鍛造の実現も合せ、1万トンプレス機は最大加圧力1万トン級を有したハイスピードタイプの自由鍛造プレス機であると言える。

付帯設備としては、テーブルシフト装置、ボトムダイシフト装置およびダイマガジン装置も設置しており、より幅広い各種の鍛造作業をスムーズに進行でき、プレス上において金型の自動交換も可能な構造となっている。プレスオペレーターは、作業に応じて全自動から半自動または手動モードに切り替えることができ、事前に設定されたパス

スケジュールに基づいて、プレス機と Manipulator を完全自動モードで動作させるプログラム鍛造も導入し、さまざまな鍛造品を再現性高くかつ高効率で製造できる設備である。また各種レーザー測定システムを搭載し、オンラインで鍛造品の寸法形状を測定・可視化することで高精度なモノづくりをサポートしている。

◇ 高速四面鍛造機（写真2）

高速四面鍛造機の動力源としては大きく分けて機械式、油圧式があるが弊社安来工場が導入している高速四面鍛造機はSMS Group社製の油圧式の高速四面鍛造機（SMX）¹⁾であり、最大加圧力は1,800トンである。高速四面鍛造機の最大の特徴はX方向に配置された4つの金型を用いて4方向から同時に中心に向かって鍛造を行うことであり、一般的な上下2方向からの油圧プレス機と比較すると鍛造面が2面から4面へ増えた分、加工速度は速くなる。鍛造機の両側には素材を把持する Manipulator がレール上に2台設置されており、この2台の Manipulator で素材を同時に掴む、或いは交互に掴みなおしながら、さらには回転させながら素材を鍛造機内に出し入れして鍛造を繰り返していく複数同時動作が行われるが、鍛造機と2台の Manipulator は鍛造プログラムで連動しているため、このような複雑な動作であっても自動化され、スムーズに連続した鍛造作業を行うことを可能にしている。また、鍛造プログラムによる自動鍛造作業では素材や金型の位置が1スト



写真2 高速四面鍛造機（SMX）外観
（株式会社プロテリアル）

ローク毎に精密にコントロールされるため品質を左右する圧下量の制御が鍛造品全長に対して容易であり、高品質な鍛造品を再現性高く得ることができる。

上述した自動鍛造作業では千分の何秒という単位で鍛造機と素材を出し入れする Manipulator を連携させているため、オペレーター操作による鍛造作業と比較すると加工速度は速くなる。加工速度が速いことは、加工時の発熱量も相まって素材温度低下抑制にも繋がることから、従来のプレス機による鍛造作業では素材の温度低下のため複数回の加熱回数が必要となっていた作業であっても、高速四面鍛造機による鍛造作業の場合では加熱回数を最小限に下げることができ、生産性の向上はもちろんであるが、加熱時の酸化スケール減失低減による歩留向上や化石燃料使用量の低減によるCO2排出量低減などの環境面でも優位性を持つ。

一方で高速四面鍛造機の最大の特徴である4つの金型の配置により投入できる素材サイズには制約がある。そのため大きな鋼塊を用いる製法の場合は例えばプレス機で分塊鍛造した中間製品を素材として使用する、或いは高速四面鍛造機に投入可能な鋼塊を設計するなど顧客ニーズに合わせた最適な製造工程を設計している。

むすび

本稿では熱間鍛造設備の中でも代表的な油圧プレス機について弊社が所有する1万トンプレスと高速四面鍛造機を紹介した。棒鋼製造にあたっては1万トンプレス機、高速四面鍛造機のそれぞれで完結する製造工程の場合もあれば材質や要求される品質によっては両設備での鍛造を組み合わせた製造工程の場合もある。熱間鍛造に限った話ではないが、特殊鋼に対する信頼性や品質要求レベルが年々厳しさを増す中で各種設備能力を最大限引き出し、高い品質と生産性を両立した最適な製造工程、条件の確立、向上に向けた取り組みが重要である。

参考文献

- 1) 久保井 健、特殊鋼 第64巻第2号、(2015)、P11-14

3. 製品検査（棒鋼） 棒鋼製品検査の概要

三菱製鋼室蘭特殊鋼(株) たなかけんとう
室蘭製作所 製造部 精整グループ 田中健登

まえがき

特殊鋼棒鋼は自動車の重要部品等に使用されるため、圧延後出荷前に厳格な検査・精整が必要となっている。近年、鋼材に対して高品質かつ低コストの要求がますます高まっており、棒鋼の検査・精整の精度向上が求められている。

本稿では、棒鋼製品検査の概要について紹介するとともに、各種工程の役割について説明していく。

◇ 棒鋼製品検査

一般的な棒鋼圧延材の精整・検査工程は、矯正→面取り→探傷→疵取り→表示の順で行なわれる。以下に各項目について詳細を示す。

1. 矯正

熱間圧延後、冷却された棒鋼は矯正を行う。矯正とは材料を曲げることによって曲げモーメントを与え、材料の一部に塑性変形を生じさせ、材料曲率をゼロに導くものである。矯正機にはプレス矯正機とロール矯正機があり、さらにロール矯正機には2ロール矯正機と多ロール矯正機がある。表1にプレス矯正とロール矯正の特徴を示す¹⁾。また、ロール矯正機には材料表面のスケールを除去する役割もある。表面のスケールは探傷の際、障害となり得るため、スケールを除去することが必要となる。

鋼材の曲がりの要求スペックは1～3mm/mと

なっており、1mm/mの真直度はどの種類の矯正機でも容易に出すことができる。曲がりが大きいと、2次加工以降で切削加工される場合に加工代が不足し、黒皮残りのトラブルが発生する可能性がある。また、鋼材自動切断機の普及により、基準を満たしている場合でも、材料搬送トラブルにつながることもあるため、より精度が求められている状況となっている。

2. 面取り

棒鋼の両端部は面取りを実施する。面取り量としてはC2～C5程度となっている。面取り設備の方式としては材料を固定して回転させながら旋削設備に当てる手法、スキューローラー方式またはスパイラル方式により材料を回転しながら搬送して旋削設備に当てる手法がある。

棒鋼の場合、2次加工以降で設備に装入する際の突っかかり等を防止するため端部の面取りが必要となる。端部まで使用のお客様や欠肉の観点から面取り量が少ない場合もある。また、搬送等が問題となるお客様では多くなる場合もある。

3. 探傷

棒鋼の探傷工程では各種探傷器により自動で検査を行う。寸法検査、長さ検査、内部欠陥検査、表面疵検査を実施する。以下に各検査の詳細を示す。

(寸法・長さ)

レーザ測定器により棒鋼の直径および長さを測定する。三角測量方式のものや透過型のものが使

表 1 矯正機の種類及び特徴

区分	形式	適用材	特徴
プレス矯正	1. 油圧プレス矯正機	丸、角、平	・大断面（ $\geq 200\text{mm}$ ）及び角はプレス主体 ・精度 $\leq 2\text{mm/m}$
ロール矯正	1. 2ロール矯正機	丸	・端部矯正も良好（ $\leq 0.5\text{mm/m}$ ） ・矯正速度遅い（ $40\sim 60\text{m/min}$ ） ・偏径差の修正効果あり ・脱スケール性あり
	2. 多ロール矯正機	丸	・矯正精度高く能率良好 ・端部矯正精度悪い

用されている。熱間圧延棒鋼の寸法及び長さはJISで規定されている²⁾。径又は対辺距離の許容差は $\pm 1.5\%$ 。ただし、寸法許容差の最小値は $\pm 0.4\text{mm}$ 。偏径差は対辺距離の許容差の70%以下。長さは6m程度のものが一般的であり、長さ許容差は7m以下が $+40$ 、 -0mm 。

(表面疵)

棒鋼の表面疵の一般的な探傷方式として漏洩磁束探傷法と磁粉探傷法がある。漏洩磁束探傷についてはヨークコイルにて材料表面を磁化し、キズ部から漏洩する磁束を検出する原理となっている。ヨークやプローブが棒鋼の外周を回転する機構となっている。検出精度は従来 0.15mm 程度であったが、近年ではプローブやヨークの改善により 0.1mm 、長さ 10mm の疵の検出も可能となっている。磁粉探傷については材料に磁界を与え、磁粉と呼ばれる細かい鉄粉を散布し、表面および表面下の欠陥部分に集まった磁粉模様を検出して、欠陥の有無を知る方法である。

(内部欠陥)

棒鋼の内部欠陥の探傷方式としては超音波探傷法が一般的である。超音波探傷試は、鋼材表面から超音波パルスを送信し、鋼材の内部欠陥から反射されるエコーを受信して欠陥の位置や大きさを知る方法である。検査対象となる内部欠陥は、非金属介在物、空隙である。局部水槽をもった探傷装置に通過させ、通過している間にワーク周りを探傷する。欠陥検出を安定して行うためには媒質である水膜を安定させることが重要である。

4. 疵取り

探傷器の下流にあるマーキング装置にて疵部にマーキングを施し、疵取りを行う。人による手入れまたは自動疵取装置により疵取りを実施する。

疵取限度内の表面の浅い疵については手入れ後、検査合格材と合流させる。疵取り跡が角張っている、段付きになっているとその後の加工時に悪影響を与えることがある。熱間圧延棒鋼材の疵取り深さ等については、JIS^{2), 3)}に規定されているように、一般鍛造用棒鋼と直接切削用丸棒等用途によって差がある。疵深さの許容限度については、一般鍛造用棒鋼では呼称寸法の4%以下(ただし最大値 5mm)となっているが、直接切削用丸鋼で

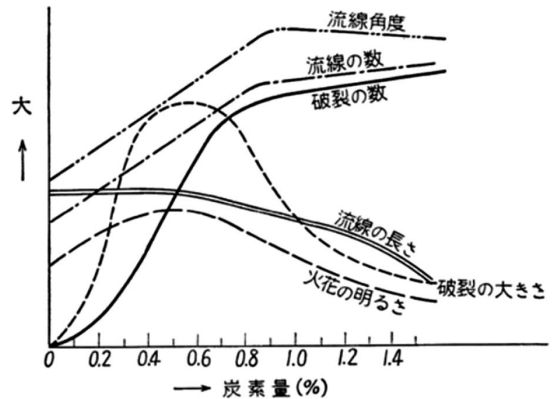


図 1 炭素鋼火花 特性図

はサイズ毎に規定されている。また、直接切削用丸鋼については通常疵取りは行わず、行う場合は、需要家との協定によるとしている。

5. 表示

表示工程では鋼材の鋼種を特定し、異材の判別を行うために火花検査または成分分析を実施する。火花検査ではグラインダーを鋼材端部に当て、発生する火花の特徴を観察することによって特定及び判別を行う。図1に炭素鋼火花特性図を示す⁴⁾。火花の流線、破裂の形、大きさ、色、明るさを見て判別している。材料ごとに鋼種ラベルを材料端面に貼り付ける。鋼種ラベルにはそのロットの鋼種、サイズ、溶番等が表示される。結束後、鋼材の仕様に応じた製品荷札が発行されるので、それを材料に貼付する。荷札にはロットNo.、納入先、寸法、長さ、本数、重量等が表示される。

むすび

ここまで棒鋼製品検査の概要について述べた。これは棒鋼製品検査の一部分であり、この他にも様々な技術が適用されている。今後、鋼材に対して高品質かつ低コストの要求は厳しさを増すものと考えられ、より一層の品質向上・生産性向上に向けて製造方法の改善や技術革新が必要となる。

参考文献

- 1) 電気 製鋼、57 (1986) 3、255
- 2) JIS G 4051 機械構造用炭素鋼鋼材
- 3) JIS G 4053 機械構造用合金鋼鋼材
- 4) JIS G 0566 鋼の火花試験方法

Ⅲ．各 論

1．制御・精密圧延技術

1) TMCP

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 いとう しげ かず
プロセス技術研究室 副主席研究員 伊 藤 樹 一

制御圧延と加速冷却とを組み合わせる手法は、一般的にTMCP (thermomechanical control process) と呼ばれる¹⁾。制御圧延は鋼の熱間圧延法の一つであり、素材の加熱から圧延終了までの加工条件と温度条件とを精密に制御することにより、組織の微細化、強度と靱性の向上が可能な加工熱処理である²⁾。加速冷却は、制御圧延後に実施される冷却手法であり、制御冷却とも呼ばれている。

表1に、TMCPの適用例を示す³⁾。表1の圧延プロセスは、加熱、粗圧延、中間圧延、中間圧延後冷却、仕上げ圧延、仕上げ圧延後冷却の順序で

構成されている。加熱温度は高いほど、粒成長して結晶粒が粗大化する。低温加熱の場合は粒成長せず、圧延後の結晶粒も微細化できる。

肌焼鋼などの場合、通常の圧延はオーステナイト単相である900℃以上で行われる。制御圧延では、Ar3点（冷却時にオーステナイト単相からフェライトが析出を開始する温度）直上での低温圧延が行われることがあり、場合によってはAr3点を下回り、オーステナイトとフェライトの二層域において圧延が行われることもある。これにより、目的の結晶粒、組織を得ることができる。圧

表 1 TMCP（制御圧延・制御冷却）の例

鋼 種	狙 い	加熱 温度	圧延 温度	中間 圧延後 冷却	仕上げ 圧延後 冷却
肌 焼 鋼	軟質化による焼ならしの省略	低温	低温	中冷	中冷
	ベイナイト組織出現防止による球状化焼なまし省略	中温	中温	中冷	緩冷
	低Si-低Mn-B 焼なまし省略、または焼なましの簡略化	低温	低温	中冷	中冷
	Nb添加鋼 冷間加工後の焼ならし省略、または高温浸炭適用	低温	低温	強冷	中冷
強 靱 鋼	焼なましの省略	低温	低温	強冷	緩冷
	直接切削用 非調質鋼 中C-Mn-Cr-V 靱性向上による焼入れ焼戻しの省略 炭窒化物の微細析出による高強度化 ピーニング効果、または析出強化の有効活用	低温	低温	強冷	緩冷
炭 素 鋼	中炭素鋼 低Si-低Mn-B 変形抵抗低下による冷間加工性の向上 B効果による高周波焼入れ性の向上	低温	低温	中冷	中冷
	非調質鋼 硬さ低減とシャルピー衝撃値の改善	低温	低温	強冷	強冷
溶接線	カップー断線の防止	低温	低温	強冷	緩冷
パネ鋼	脱炭の防止	低温	低温	強冷	強冷
快削鋼	脱スケール性の改善	中温	中温	強冷	強冷
軸受鋼	熱処理の簡略化	低温	低温	強冷	中冷
Ni-SUS	溶体化処理の省略	高温	高温	緩冷	強冷

延中、または圧延後の結晶粒径に影響を及ぼす因子としては、成分、圧延温度、圧下量（減面率）、ひずみ速度（圧延速度）、および圧延後の冷却条件などが挙げられる。これらの要素を制御することにより、目的の組織と機械的特性を得ることができる。

中間圧延後の冷却は、中間圧延から仕上げ圧延の前までに、水冷ゾーンを配置することで、圧延中の加工発熱による温度上昇を抑え、適切な温度に制御することが可能である。また、仕上げ圧延後の冷却条件として、軟化が促進される緩冷は、保温カバーを使用する方法や、ポットに入れる方法などによって徐冷が行われる。一方、強冷はブローアなどを使用して急速に冷却する手法であり、バネ鋼の脱炭防止、非調質ボルトの高強度化、快削鋼の脱スケール性改善などに活用されている。

TMCP活用の事例として、強靱鋼の熱間線材圧延における焼なまし省略を説明する。通常圧延の

場合、強靱鋼は焼入れ性が高いためベイナイト組織となる。ベイナイト組織は硬く、熱間圧延後の冷間線引きが困難なため、一般的には焼なましを実施する。焼なまし省略を狙うTMCPの圧延プロセスは、低温加熱、低温圧延、仕上げ圧延後に緩冷となる。低温加熱と低温圧延により、オーステナイト結晶粒は均一に微細化するため、焼入れ性が低下する。さらに、仕上げ圧延後に巻き取られたコイルは、残熱を利用して徐冷される。焼入れ性の低下と徐冷により、ベイナイトの析出を防止し、均一なフェライト・パーライト組織を得ることができる。このようにTMCPを適用することで、軟化するため、冷間線引き前の焼なましを省略することができる。

参考文献

- 1) 牧正志ら：鉄と鋼、Vol. 100 (2014) No. 9、P1062-1075
- 2) 伊藤樹一：特殊鋼、(2023) 7月、P25
- 3) 森達也ら：電気製鋼、第69巻1号 (1998) 1月、P79-84

2) コンパクトミル (粗圧延機)

日本製鉄㈱ 北日本製鉄所 中 田 祥 平
棒線部 棒線技術室

棒鋼や線材圧延ラインの連続圧延設備の粗列等において、高荷重・高トルク圧延に対応しながら、従来よりも圧延機の間隔を大幅に短縮し、メンテナンス性を向上させた圧延機がコンパクトミル(CRM: Compact Rolling Millの社内略語)である。

従来の圧延機では、ロールを支持する役割のロールチョックと圧延スタンドが別々となっており、ロールを組み替える度にチョックを圧延スタンドから取り出す必要があった。そのため、組み替えの作業負荷が大きく、かつ時間がかかるといった課題があった。また、圧延機本体の大きさが大きい場合、各圧延機の間隔が広く、鋼材の温度が低下することも問題となっていた。それにより、鋼片を所定の温度まで加熱処理を行う加熱炉では、圧延時の温度低下を考慮した温度まで鋼片を昇温しており、燃料原単位の悪化の一因となっていた。

上記の課題を解決するために設計開発されたのがコンパクトミルである(図1)。各圧延機は水平・垂直型の交互配置、駆動装置は個別駆動、水平型は水平駆動式、垂直型は上部駆動式とし、4

台の圧延機を共通台車に載せてオンラインでセットする方式となっている。コンパクトミルでは従来の圧延機と異なり、チョックとスタンドが一体式となっているため、圧延機本体の大きさが小さくなり圧延機の間隔を短縮することが可能となった。例えば、粗列に導入した事例では圧延機間隔を導入前は4.8mとしていたところを1.7mまで短縮している。そのため、各圧延機を通過する際の温度低下を抑えることができ、加熱炉から抽出する鋼片の温度を低温にすることが可能となった。よって、従来と比較して、加熱炉内に投入するガス量が減り、燃料原単位が改善された。また、低温化によって、脱炭現象の発生やこれに伴うスケール起因の表面疵の防止にもつながった。その他のメリットとしては、コンパクト化によって圧延機の剛性が高まり、寸法精度が向上することが挙げられる。粗列の段階で高い寸法精度を確保することによって、中間列以降の調整作業の低減につながる。また、組み替え作業についても従来行っていたロールとチョックの着脱作業がなくなるため、ロール整備作業の大幅な作業負荷低減と作業時間削減となる。ただし、組み替えの際にチョックを取り外すことがないため、スタンドの点検と合わせてチョック内のベアリングの点検などを定期的に行う必要がある。

一方、デメリットとしては、各スタンド間の距離が短くなるため、ライン点検時やミスロール処理の際にスペースが小さいといった問題が発生する。そのため、コンパクトミルを導入する際には、ライン点検時やトラブル発生時のための必要最低限の作業スペースを確保する設計にすることが重要となる。

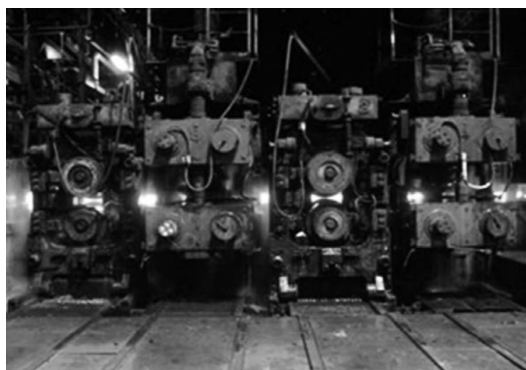


図 1 コンパクトミル外観

3) RSB (3 ロール) 圧延機について

山陽特殊製鋼(株) いし ばし なお や
条鋼製造部 大形・鍛造課 石 橋 直 弥

◇ 3ロール仕上げ圧延機とは

棒鋼の仕上げ圧延機には、2ロールならびに3ロールなどの方式があるが、実際にはKOCKS社などが実用化している3ロールでの圧延方式を採用する人が多い。

3ロール圧延は、120°方向に配置された3本のロールにより被圧延材に圧下を加えることを特徴としている(図1)。2ロールに比較して巾広がり小さく、延伸が大きい。つまり圧延形状に優れた製品を効率良く製造することができる。

3ロール圧延機の中でも、ロールギャップを調整できるものとできないものがあり、それぞれに長所短所あるが調整式を採用する人が多い。

今回は弊社の3ロール圧延機において、非調整式(KOCKS社PSB)から調整式(同社RSB)へ更新した内容を事例として、3ロール圧延機を紹介する。

◇ 品質について

RSB圧延機は、高いミル剛性を有する3ロール圧延機であり、その特性を活かして、マイクロ組織の制御、精密圧延を実現する。

(1) 寸法精度

サイズフリー圧延(※1)で寸法精度の良い製品を得ることができる。φ36以下で寸法精度±

0.15mm以下、φ37~80で±0.25mm以下、φ81~95で±0.30mm以下の圧延製品を製造可能である。

※1 サイズフリー圧延: サイズフリー圧延とは同一ロールのギャップ調整によって異なるサイズの製品を圧延する方法

(2) 内部品質の向上

冷鍛用途に対しては「硬さ制御技術」、熱処理(焼ならし)省略のためには「マイクロ組織制御による結晶粒度特性向上技術」の高度化が内部品質上の最重要課題である。その実現に対し、低温での高リダクション圧延によって高いひずみ量を加えて、結晶粒を微細化することが有効である。RSBの3ロール仕上げ圧延機は高荷重の負荷が可能でなおかつパス間距離が近いため、短時間内に鋼材に高ひずみを与えることができる。それによって結晶粒が微細になり硬さが低減するとともに、ベイナイトを含まないフェライト・パーライト組織が得やすくなることで結晶粒度特性(浸炭処理時を想定)の向上も図られる(図2、3)。この内質

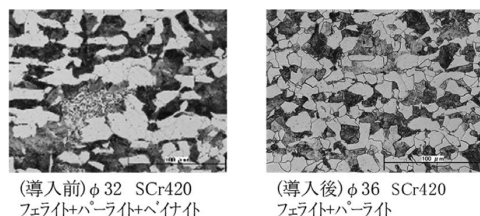


図2 RSB圧延機の導入前後のマイクロ組織¹⁾

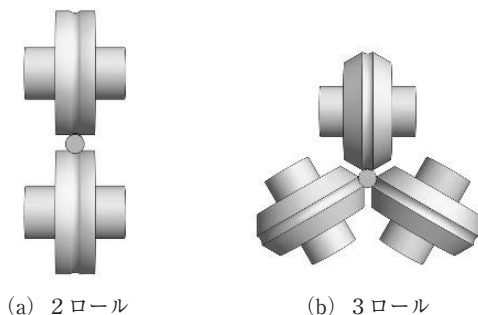


図1 ロール配置

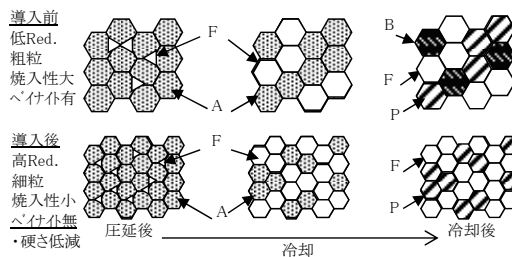


図3 高リダクション圧延による内部品質改善の模式図(A: オーステナイト、F: フェライト、P: パーライト、B: ベイナイト)¹⁾

改善によりユーザーでの冷鍛化による歩留改善や熱処理省略によるコストダウンに期待ができる。

◇ コストダウン効果

(1) 生産性向上

①型替え時間削減

ミル剛性の高さを活かした高リダクションの実現により仕上げ圧延前母材種類を集約できたことにより、粗および中間列圧延機の型替え時間を削減できた。

またサイズフリー圧延により導入前は仕上げ圧延前母材径が同一でも製品径が0.2mm変わるだけで、仕上げ圧延機（3ロール）の型替えに5分の休止時間が必要であったが、導入後は遠隔操作でのRSB圧延機のギャップ調整のみで済むため、型替え時間は30秒以内に改善された。

効果としてトータル型替え時間はRSB導入前比で48%減を達成した。

②加熱カーブ数^{※2}の削減

当社中小形圧延工場は様々な特殊鋼種を全圧延サイズで受注しているため、1サイズ内で低温と

高温を圧延する必要があった。加熱炉温度の上昇・下降カーブの数は月間約数十回にもなり、加熱温度調整休止が発生していた。

サイズフリー圧延では3～4サイズを集約して同じ3ロールカリバーで圧延できるので、加熱温度を合わせて圧延順を決定しRSB圧延機のギャップ調整だけで製品寸法を作りこむことができる。

これにより、導入前比で加熱調整休止時間および加熱カーブ数をそれぞれ57%、69%削減することができた。

(2) ロール費用削減

仕上げ圧延前母材種類削減により圧延スタンドの削減ができ、ロール費用を55%削減することができた。

※2 カーブ：鋼種によって加熱炉での加熱温度を規定しており、その温度制限を加味して圧延順が決定される。加熱炉からの抽出温度を時系列でグラフにプロットすると曲線になり、低温→高温→低温となる1つの山を『カーブ』と表現される。

参 考 文 献

- 1) 石橋直弥：山陽特殊製鋼技報、Vol. 28（2021）1、72

4) 線材仕上圧延機 (RSM)

日本製鉄(株) 北日本製鉄所 棒線部 やす もり ゆう さく
棒線技術室 室蘭線材・二次加工技術課 安 盛 雄 作

◇ 線材仕上圧延機 (RSM)

北日本製鉄所室蘭地区線材工場では、 $\phi 5.5-22\text{mm}$ 径の特殊鋼線材を製造しており、2次加工メーカーでの焼鈍、伸線、鍛造、焼入れ・焼き戻しといった熱処理や各種加工工程を経て最終的に自動車用部品等の重要保安部品として主に使用されている。一方で、加工・熱処理工程の省略や品質厳格化を求める声が年々高まっていることもあり、北日本製鉄所室蘭地区線材工場では、制御圧延・制御冷却プロセス構築による2次加工メーカーでの熱処理省略型線材の製造対応並びに生産性向上を目的に2001年7月に新仕上圧延機 (RSM: Reduction Sizing Mill) を導入した。導入したRSMは、制御圧延対応リダクションミル2パスと軽減面サイジングミル2パスをタンデムに配置した全4スタンド (写真1) からなり、以下にその特徴及び導入効果について述べる。

1. 制御圧延、精密圧延対応

二次加工メーカーでの熱処理工程省略、簡略化

を可能とする軟質線材の製造を行うためには圧延工程における低温圧延が必須となる。これに対応するため、RSMは既設仕上圧延機と捲取機の間で前後に鋼材冷却用の水冷帯を配置し、仕上圧延時の鋼材温度を十分低温にコントロール出来るレイアウトとしている (図1)。また、RSM自体も前段2パスを、ミル剛性が高く、入側鋼材温度 750°C 迄の低温圧延が可能な高負荷対応型圧延機 (ロール径: $\phi 246\text{mm}$ 、従来比で約20%弱径大化) とし、世界トップレベルの制御圧延対応を実現した。導入したRSMによる制御圧延と捲取以降の制御冷却適用により、製造した線材コイルは従来の通常圧延材と比較し、引張強度で約10%程度の軟質化が可能となり、2次加工メーカーでの熱処理工程省略もしくは簡略化が可能となった。

一方で、上記径大ロール2パスのみによる仕上圧延では、幅広がりが大きくなり寸法厳格材の製造が困難になるという課題があった。そこで、RSMでは、上記径大ロール2パスの後段に径小ロール (ロール径: $\phi 156\text{mm}$) 2パスでの軽減面

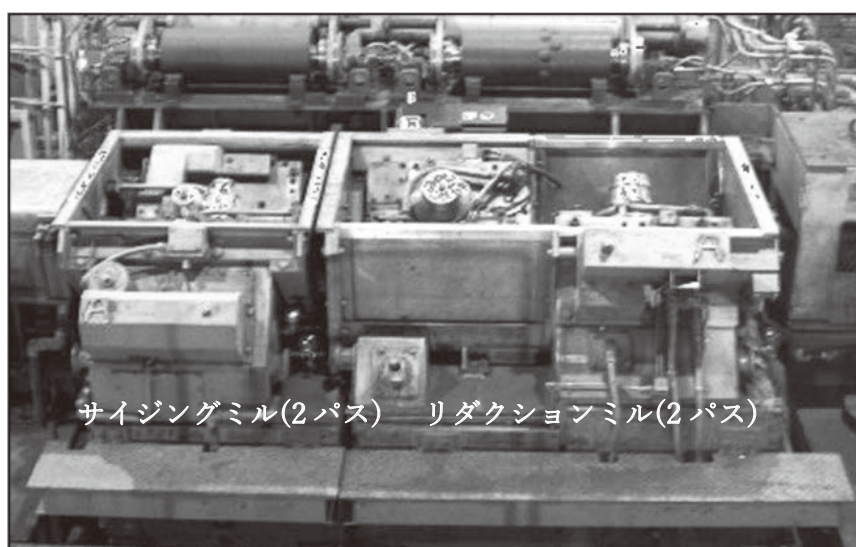


写真1 仕上圧延機RSM (出典 新日鉄技報 第386号 (2007))

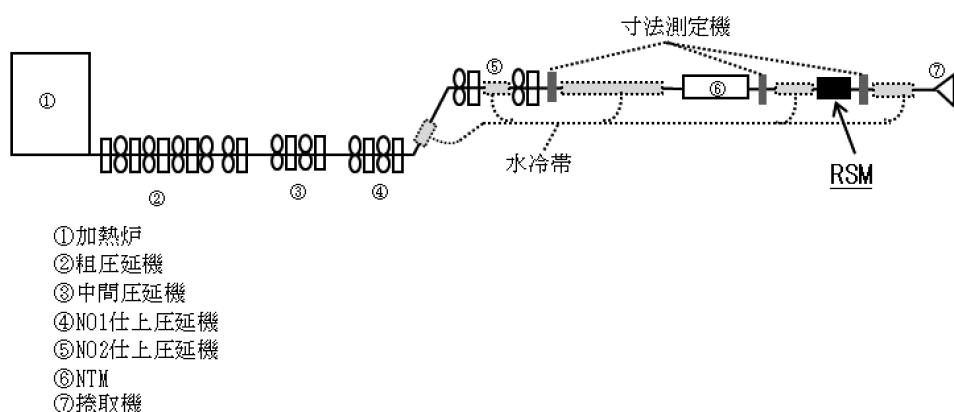


図 1 室蘭線材工場レイアウト

サイジングパス追加したことで、寸法許容差で $\pm 0.1\text{mm}$ 以内の精密圧延が可能となった。加えて鋼材圧延中でもロール隙調整が出来る遠隔オンロード圧下機能も備えており、作業者は圧延機の前後に配置された寸法測定機と合わせて迅速かつ容易に高精度の寸法造り込みが出来るようになっている。

2. 生産性向上

今回導入のRSMは、スタンド間の増速比が従来固定だったのに対し、増速機内に変速機構を設けた多段増速機となっており、各スタンド間の速度比を可変に出来る構造となっている。これは各スタンド間の減面率を可変に出来ることを意味して

おり、これによりRSM入側母材径の集約による孔型フローが大幅に簡略化された。

またサイズ替えや磨耗によるロール交換作業は予備スタンドとのクイックチェンジ交換方式採用により短時間化され、孔型フロー簡略化とあわせて平均サイズ替え時間を約30%削減した。

その他、最高圧延速度は 120m/s と従来より20%程度高速化仕様となっており、RSM導入によりミル能力を約5%向上させることが出来た。

3. まとめ

RSM導入により制御圧延対応力の強化、寸法精度の向上、ミル能力向上を実現し2001年7月の営業運転開始以降、現在に至っている。

2. 調整冷却技術

1) 衝風冷却・DLP

日本製鉄㈱ 棒線技術室 小 山 陽 平
棒線技術企画・管理課 主幹

熱間圧延された線材の多くは伸線、鍛造、熱処理、表面処理等の加工を受けて最終製品となる。二次加工以降のプロセスにおける環境負荷軽減、最終製品の品質向上や高付加価値化等を目的に、線材にはさまざまな品質が求められるが、熱間圧延後の線材を直接熱処理する（以下、調整冷却）ことによって捕捉する要求品質の例を以下に二つあげる。一つ目の例は最適なスケール厚み、組成である。二次加工工程である伸線の前処理としてスケールの除去を行う必要があるが、主に酸洗またはメカニカルデスケラーによって行われ、それぞれの手法にとって最適なスケール厚み、組成が異なる。そのため、二次加工メーカーのプロセスに応じたスケール厚み、組成のコントロールが求められる。二つ目の例として、最適な機械的特性である。線材段階で高い強度を要求されることもあれば、二次加工以降のプロセスにて調質を行う場合は線材段階では柔らかく成形しやすい鋼材を求められることもある。単に高強度を追いかけても、延性が伴わなければ実用化できない商品も多く存在する。

最終製品の高付加価値化と、それに至るプロセスの高効率化のためには、線材圧延後に適切な調整冷却を行うことは極めて重要であり、様々な技術、プロセスが存在する。

◇ 衝風冷却

衝風冷却はステルモア法とも呼ばれ、調整冷却方法の中では最も一般的で広く用いられるプロセスであり、冷却媒体は風である。

衝風冷却プロセスを用いることによって、前述した二つの要求品質であるスケール厚み、組成及び、機械的特性をコントロールすることができる。通常、熱間圧延後の線材の冷却は、リング形状にてコンベア上で搬送しながら行われる。衝風冷却はこのコンベア下の複数ゾーンに設置されたブローアから発する風量と、搬送速度を調整することによって、ゾーンごとの冷却速度をコントロールする。

この冷却速度コントロールによって、スケール厚み、組成と、機械的特性を制御することができる。通常、酸素が供給される環境において、高温領域で長時間保持するとスケールは厚くなり、逆に高温領域を短時間で通過すればスケールは薄くなる。また、冷却速度が速ければ強度は上がり、逆に遅ければ強度は下がる。

衝風冷却は一般的に、他の調整冷却方法と比較して線材リング内の強度ばらつきが大きく、急速冷却は後述するDLP、EDCに劣り、低速冷却はリターデットに劣る。一方でスケール厚み、組成のコントロールは最もやりやすく、冷媒が風である

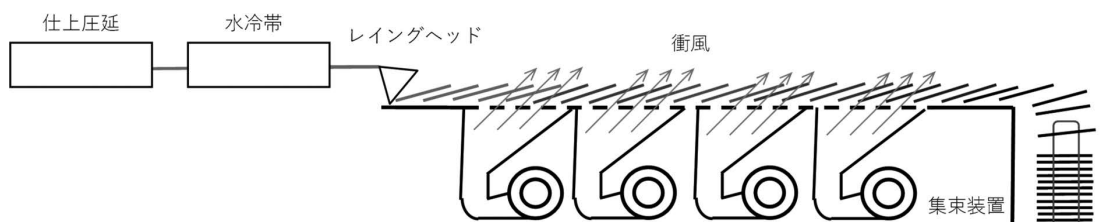


図 1 衝風冷却（ステルモア）

ことから環境負荷が小さいため、現在も最も広く活用されている。

線材リング内の強度ばらつきはリングの重なり部、非重なり部で風速分布を変えることによって克服する努力はなされてきておりかつ、冷却速度の制約下でも狙いの機械的特性を得るための合金成分設計開発などが活発に行われている。

線材の調整冷却としては代表的なプロセスであるため、衝風冷却の活用技術の進歩は今後も注目される。

◇ DLP[®]

DLP[®] (Direct in Line Patenting) は、熱間圧延後の線材に対し、溶融塩を冷却媒体としてインラインでパテンティング処理（高温時の組織であるオーステナイトを急速冷却してパーライト変態を起こさせる処理）を行う調整冷却プロセスである。ロープやプレストレストコンクリート用鋼線、橋梁用ケーブルなどの製品では、微細パーライト組織を持つ線材を伸線加工することによって、所定の強度と延性を確保する。微細パーライト組織を得るにはパーライト変態ノーズ近傍（炭素鋼では550℃程度）で等温変態させる必要があり、二次加工メーカーでは鉛パテンティング処理等にて行う。

DLP[®]は熱間圧延後の線材を直接溶融塩に浸漬することで等温変態が可能であり、鉛パテンティングを省略できることが最大のセールスポイントである。実際にこれを用いることで多くの二次加工メーカーでの省エネルギー化を実現させてきた。

また、その後の脱鉛、脱炭素という新たな市場要求に沿った商品として、DLP[®]を用いた線材（以下DLP[®]線材）の注目度は増している。

DLP[®]設備は、冷却槽、恒温槽、洗浄槽の3槽で構成され、リング状の線材がこの3槽を通過することで調整冷却を行う設備である。冷却槽では、熱処理時の初期の冷却速度を考慮して処理する線径等により任意の溶融塩温度を選択することができる。恒温槽は等温変態を完了させることが目的であるため、溶融塩温度はパーライト変態ノーズ近傍で維持される。洗浄槽では、防錆を目的として線材に付着した塩を洗い流す。冷媒である溶融塩は、蒸気圧が低く、かつ高温線材と接触しても沸騰せず熱伝達が安定しており、均一かつ効率の良い冷却が可能である。

室温から再加熱を行う鉛パテンティングと比較して、DLP[®]線材は熱処理前のオーステナイト粒径が微細であるため、高い延性を確保できる特徴もある。単線で処理を行う鉛パテンティングに対し、DLP[®]線材はリング形状で処理を行うため、重なり部、非重なり部の機械的特性ばらつきに対しては構造上の不利があるが、結晶粒の微細化技術等によってこの劣位を許容範囲に抑制している。

このようにDLP[®]線材は、再加熱、鉛パテンティング処理を省略し、商品の高機能化、生産性向上、CO₂削減に寄与してきており、今後も環境負荷低減型商品としての活躍が期待されるが、脱炭素という新たな市場要求に沿った商品として、鉛パテンティングの省略以外にも活躍の幅を広げている。

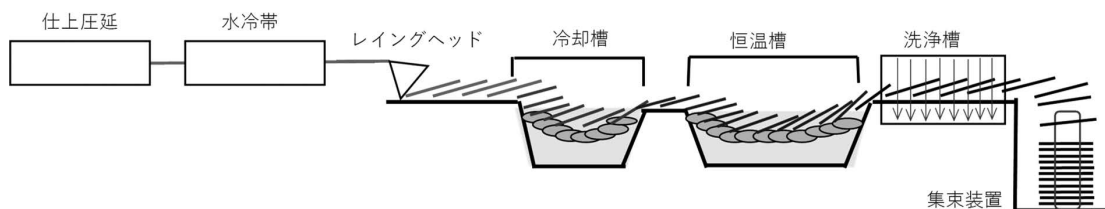


図 2 DLPプロセス

2) EDC

日本製鉄㈱ 棒線技術室 小 山 陽 平
棒線技術企画・管理課 主幹

◇ EDC

EDC (Easy Drawing Conveyor) は、熱間圧延後の線材に対し、冷水または沸騰水を冷却媒体として調整冷却を行う設備である。一般的な調整冷却プロセスである衝風冷却よりも熱間圧延後の線材の冷却速度を速くすることができる。ボルト、ナット等の冷間鍛造品や、プレストレストコンクリート用鋼棒等の用途では、加工メーカーにて成形加工後に焼入れ・焼戻し等の熱処理を行い、所定の機械的特性を確保するのが一般的な製法である。EDCプロセスを使用することによって線材の機械的特性を適正なレベルに調整すれば、二次加工工程での伸線強化のみによって所定の機械的特性を確保することができ、焼入れ・焼戻しの熱処理工程を省略することができる。DLPと同様に、脱炭素という市場要求に沿ったプロセスとして注目度は増している。

EDCを用いた線材（以下、EDC線材）は熱処理省略型の商品であるため、成形後、熱処理による機械的特性の調整を行わない。そのため、線材の機械的性質がそのまま最終製品に影響することから、EDC線材には所定の機械的特性の確保及び、そのばらつきを小さくすることが求められる。所

定の機械的特性は、特別な合金成分設計とEDCプロセスによる急速冷却を組み合わせることで得られる。EDCプロセスは熱間圧延後のリング形状の線材を直接冷水または沸騰水に浸漬させて冷却するため、衝風冷却と比較してリング内での機械的特性ばらつきが小さく抑えられる。

コンセプトや設備構造はDLPと似ているが、DLPと比較して冷媒が水であることから、設備管理等やコスト面では有利である一方で、等温変態はできず、連続冷却による変態を行う設備である。冷却速度コントロールは主に冷水、沸騰水の選択と搬送速度調整のみで行う。そのため、商品開発プロセスにおいては合金成分設計とEDCプロセスによる急速冷却を有機的に組み合わせることが重要であり、その技術にてマルテンサイト、ベイナイト、フェライト・パーライトと様々な組織を作り込むことで、多様な工程省略ニーズを捕捉してきた。

一般的な衝風冷却と比較して線材段階での強度は高くなるため、加工に使用する工具寿命等の点で制約があるものの、熱処理工程省略によってCO₂削減に寄与するプロセスであると言える。更なるニーズを補足するための商品開発は活発に継続されており、活用技術の進歩は今後も注目される。

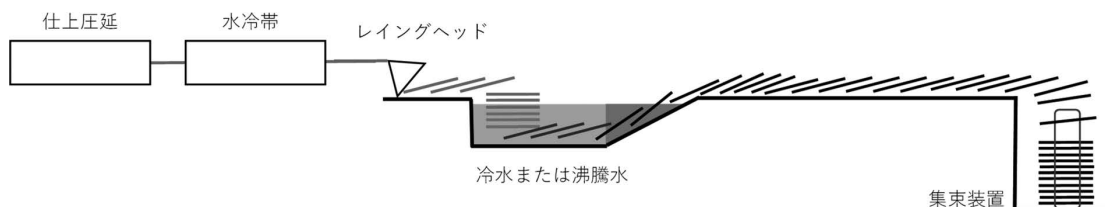


図 1 EDCプロセス

3) リターデット

日本製鉄(株) 棒線技術室 小 山 陽 平
棒線技術企画・管理課 主幹

◇ リターデット

リターデットは、熱間圧延後の線材の冷却速度を遅くすることにより、鋼材を軟質化させることを目的とした調整冷却プロセスである。カバー徐冷と呼ばれることもある。これまで紹介してきた調整冷却プロセスと大きく異なり、軟質化が主な目的で使用される。

前述したように、最終製品では高強度が必要となる部品であっても、加工工程においては柔らかく成形しやすい鋼材が求められることがある。そのため、二次加工メーカーでは軟化を目的とした熱処理を行うことがあるが、リターデットプロセスを使用することによって、そのような二次加工メーカーの熱処理省略ニーズを捕捉することができる。

線材の軟質化には、制御圧延によって調整冷却前の組織を微細なオーステナイトにコントロールしたうえで、調整冷却過程において冷却速度を遅くすることが有効である。前述してきた通り、熱間圧延後の線材の調整冷却は一般的に、リング形状にて搬送しながら行われる。リターデットプロセスはその搬送コンベアにカバーを設置することで、鋼材顕熱を利用した高温雰囲気により自然放冷よりも冷却速度を遅くすることができる。SCS（インラインの熱源ヒーター付き保熱炉）等、熱間圧延後の鋼材冷却速度を遅くするプロセスは他にもあるが、リターデットは冷媒が鋼材顕熱を利用した高温雰囲気であるため、緩冷却を目的としたエネルギーを使用しない。省エネルギーで環境に優しい緩冷却プロセスであることから、今後も活躍が期待される。

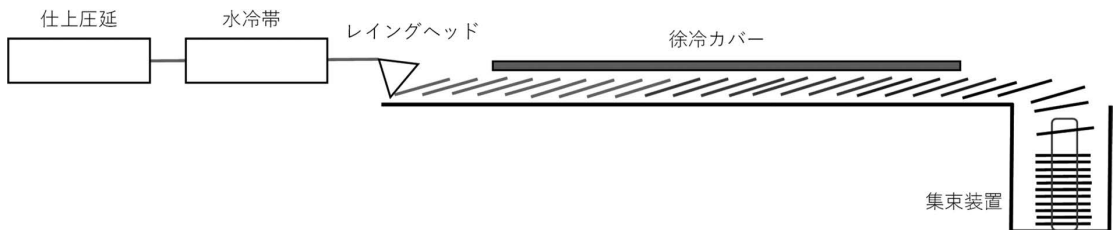


図 1 リターデットプロセス

4) インライン熱処理

日本製鉄(株) 北日本製鉄所 棒線部 ちば けい すけ
棒線技術室 室蘭線材・二次加工技術課 課長 千葉 圭 介

インライン熱処理は、リング状に成型された温熱間の鋼材を調整冷却工程において直接熱処理を施すことで、熱間圧延後の加工工程であるオフライン熱処理工程の省略を可能とするプロセスである。今回は鋼成分を変更することなくインライン熱処理を施すことで、オフライン軟化焼鈍（700℃×7時間）と同等の軟質化及び延性を兼ね備えた日本製鉄オリジナルの軟化焼鈍省略型冷間圧造用線材（DS線材：Direct Softening）について述べる。

特殊鋼棒線の最終用途は自動車の重要保安部品が大半を占めており、その最終部品に至るまでには、焼鈍、伸線、切削などの二次加工工程や熱間から冷間の温度域での鍛造工程、そして焼入れ焼戻し等の熱処理工程など様々な加工が施されており、製造工程が長いことから一貫プロセスでのコスト低減が求められる。軟化焼鈍省略型冷間圧造用線材におけるインライン熱処理の利点はオフライン軟化焼鈍工程省略による一貫コスト低減である。更に温熱間の鋼材を直接熱処理することから、

オフライン軟質焼鈍に比べて昇温時の熱エネルギーおよび処理時間を削減でき、CO₂排出量の大幅な削減を可能とする。

一般的な加工工程は線材熱間圧延の後に、オフラインRA（Regular Annealing：通常焼鈍）を行い、その後、伸線、冷間鍛造を経る。一方、インライン熱処理を施すことでオフラインRAと同等の加工性を有するため、オフラインRA焼鈍の省略が可能となる。図1にSWRCH45KとSCM435の引張強度レベル（コイル内ばらつき）を示す。インライン熱処理の引張強度は、オフライン焼鈍よりも軟質化していることがわかる。軟質化のメカニズムは金属組織制御である。具体的には、SCM435などの低合金鋼は、通常圧延ではベイナイトが混在するが、インライン熱処理により安定的にフェライト＋パーライト組織に制御することで軟質化を達成している。また、SWRCH45Kなどの炭素鋼は、通常圧延でもフェライト＋パーライト組織であるが、インライン熱処理ではフェライト＋パー

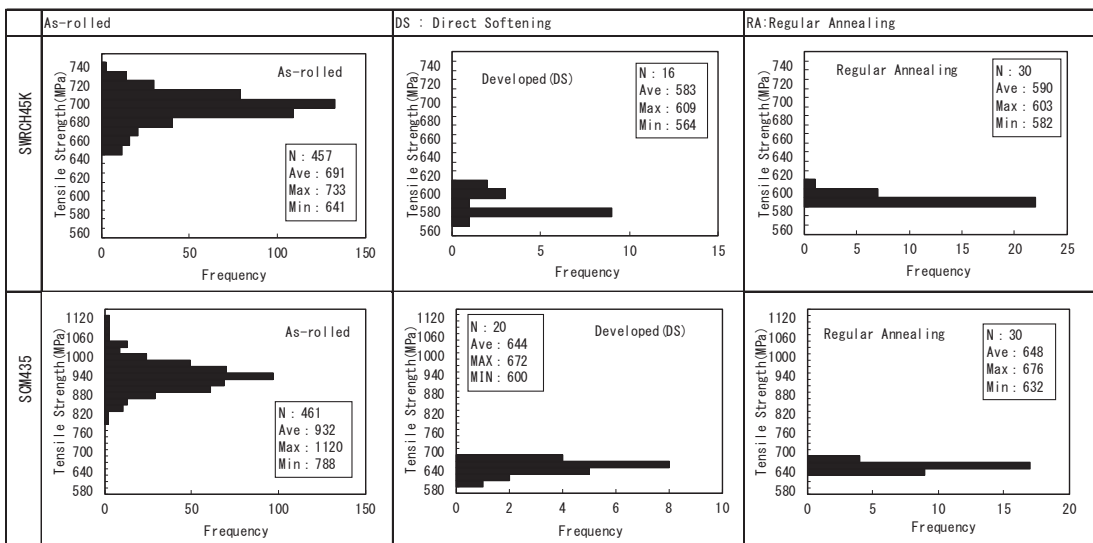


図 1 SWRCH45KとSCM435の引張強度
Tensile strength of SWRCH45K and SCM435
出典 新日鉄技報 第386号（2007）

ライト組織をベースとしながらも、パーライト中のセメントサイトを一部分断かつ粒状化させることで軟質化かつ延性の確保でき、オフライン焼鈍工程の省略と冷間鍛造の金型寿命向上の両立を可能とする。

インライン熱処理の更なる特徴は、線材圧延サイズ制約を受けることなく、全てのサイズ範囲で軟質化を可能とすることに加えて、炭素鋼や低合金鋼、ボロン鋼といった幅広い鋼種に適用可能な点である。リターデットは鋼材の輻射熱を活用し

て緩冷却するため、圧延線径φ5.5mmのような細いサイズ領域では十分な緩冷却ができず軟質化が確保できない。一方、インライン熱処理はφ5.5mmを含めた全てのサイズ範囲で適用可能である。次に、インライン熱処理にて製造した炭素当量（Ceq）とTSの関係について、一例として低合金鋼の例を図2に示す。図中の点線が通常圧延のTSレベル、実線がインライン熱処理のTSレベルを示しており、広い炭素量範囲において軟質化を達成している。

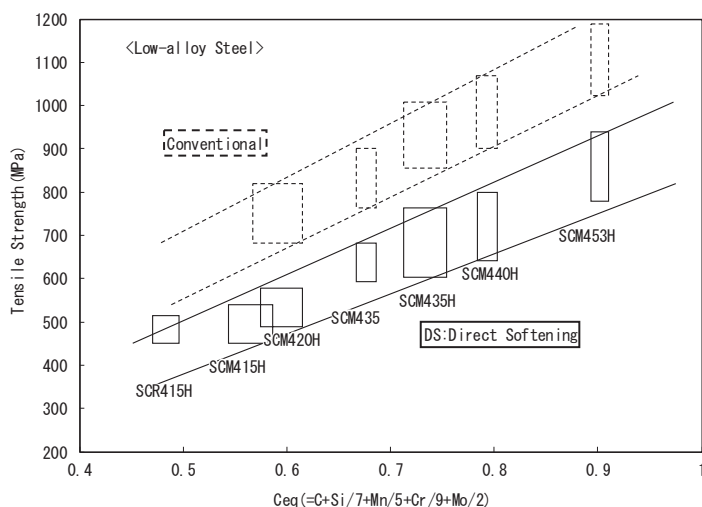


図 2 低合金鋼における炭素当量と引張強度の関係
Relation between carbon-equivalent and tensile strength of Low-alloy steel
出典 新日鉄技報 第386号 (2007)

3. 製品検査技術

1) 熱間渦電流探傷

日本フェルスター(株) よし かわ ひとし
事業企画・開発ユニット 吉 川 仁

ま え が き

渦電流探傷は材料表面に発生したきずを非接触で効率よく検出する非破壊検査のひとつの方法である。線材・棒鋼の母材であるビレット材は磁気探傷などによって検出された表面きずをグラインダーなどで手入れされ、圧延工程できずとなりうる要因が除去された上で圧延される。鉄鋼1次の圧延工程での熱間探傷、鉄鋼2次では伸線・抽伸・引き抜き工程での探傷、その線材・棒鋼を鍛造や切削などで製造された部品での探傷が行われる。これらの一連の探傷の中で熱間渦電流探傷について述べる。線材・棒鋼での渦電流探傷には回転型渦電流探傷と貫通型渦電流探傷が用いられているが熱間渦電流探傷では貫通型渦電流探傷に限定される。

◇ 渦電流探傷とは

渦電流探傷は電磁誘導の原理を応用している。電磁誘導とは、コイル内での磁束の時間的な増減の変化に対して逆の磁束を生じさせようとする電流がコイルに流れる現象を言う。ある特定の周波数の電流を流したコイルを導電体に近づけ、もしこの導電体表面にきずがあった場合、渦電流は流れにくくなり、そこから生じる磁束も変化することになる。そうすると、コイルに流れる電流にも影響が出てインピーダンスも変化し、きずが見つかるということだ。以下の式に示すように渦電流の浸透深さ(δ)は試験周波数(f)、被検査材の導電率(σ)と透磁率(μ)によって決まる。

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{f \cdot \sigma \cdot \mu \cdot \pi}}$$

この公式からインピーダンスの変化は導電率の

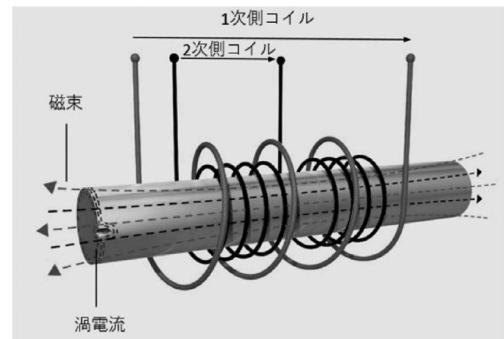


図 1

変化と、磁性体ならば透磁率の変化の影響も受けることが分かる。この変化は他にコイルと導電体の距離の変化(リフトオフ)にも影響を受ける。貫通型渦電流探傷の試験コイルは特定の周波数の電流を流して被検査材の表面に渦電流を生じさせるための1次側励磁コイルと被検査材の渦電流の変化を検出する2次側検出コイルで構成されている。2次側コイルは2個のコイルが差動接続されておりお互いに打ち消しあうようになっている。きずがこの2個のコイルの片方にかかった時、電気抵抗の変化により差動バランス(インピーダンス)が崩れて信号が出力される。常に差動コイルを通過する線材・棒鋼の進行方向の非常に狭い範囲の前後の状態を監視していることになる(図1)。

◇ 熱間渦電流探傷

熱間圧延ラインでの探傷は過酷である。被検査材の表面温度は約1200℃、探傷速度は最大約120m/秒である。伸線や引き抜き工程での冷間探傷の設備と大きく違う点は温度である。冷間用の貫通型試験コイルの仕様では即刻焼損するのでこの高温に耐えるために水で冷却を行う特殊な構造になっている(図2)。

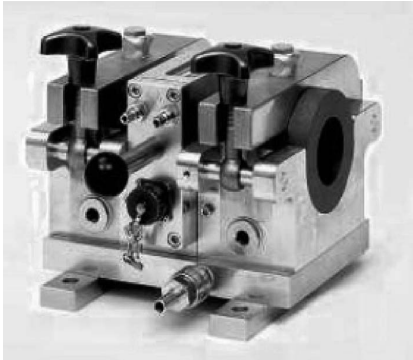


図 2

強磁性体を冷間探傷で行う場合、磁気飽和が必要になる。先に説明したようにインピーダンスに影響を与える要素は被検査材の透磁率と電気伝導度とリフトオフであるが、この中の透磁率の変化があるとインピーダンスの変化が生じて大きな妨害ノイズになり、きずの検出が困難になる。そのために磁気飽和コイル中に試験コイルを配置し、比透磁率を1にすることにより解消される。しかし熱間渦電流探傷で行う探傷時の温度は1200℃近辺であり鉄のキュリーポイントである770℃を優に超えており、この状態は比透磁率が1である。したがって磁気飽和をする必要はない。先にも述べたように熱間渦電流探傷では回転型渦電流探傷の適用はできない。その大きな理由は線材の周りを1mm以下の距離で回転するプローブや信号伝達部、機構部の冷却が困難だからである。その他にも線材とクリアランスのないガイドの穴にミスロールなく線材を通せるかどうかや処理能力の問題もある。冷間での伸線や引き抜き工程での探傷では回転型で軸方向きずを、貫通型で短いきずを検出することにより、それぞれの探傷原理の違いによる欠点をカバーしている。熱間渦電流探傷では貫通型に限られるので軸方向に延びる深さが一定のきずの検出は困難である。

◇ 探傷評価について

探傷は予め探傷信号処理盤の中に保存された鋼

種、材料径などに紐づけされた探傷条件設定を上位プロセスコンピューターの指示で呼び出されて行われる。

例えば2トンのビレットをφ5mmに圧延したならばその全長は13kmにも及ぶ。仮に有害きずが1mあたり1個あれば1コイルで13,000個にもなる。この膨大なデータを効率よく処理する必要がある。1コイルを20分割して100Kg単位や40分割して50Kg単位の単位重量長さにおいて小さく、中きず、大ききず、巨大きずが何個あったかで線材の評価を行う。さらにベースノイズよりも少し高い信号の連続性や単位長さの信号密度を監視することによってより細かな評価が行える。連続で圧延される線材のトレンドを監視することにより、より早く様々な異常を知ることができる。探傷監視モニターはラインの複数個所に配置され、精整ヤードではきずの目視確認も行われる。探傷終了後、一連のデータは上位プロセスコンピューターに送られる。これらの評価結果を解析することによりビレットの状態や圧延機の不具合や調整不足などの圧延工程へのフィードバックが行える。さらにこのデータを圧延温度、圧延機の負荷量、外形寸法測定器などのデータと相関をとることにより圧延工程での品質管理の精度アップにつながる。

むすび

圧延ラインに設置された貫通型試験コイルと探傷盤とを接続する信号ケーブルの距離はおおよそ100mにも及び、その信号ケーブルの敷設経路には圧延に関わるモータや様々な機器が設置され、微弱な探傷のアナログ信号に電気ノイズという影響を与える。電気ノイズは探傷のS/Nを低下させ検出能を低下させる。その為に信号ケーブルをノイズ発生源から迂回させることや鉄管に入れて電磁シールドをしている。次世代の探傷器は貫通型試験コイルの直近でアナログ信号をデジタル信号に変換をすることにより、途中経路からの妨害電気ノイズの影響を受けないシステムになり、今までよりS/N向上が図られる。

2) プロフィールメーター

日鉄テックスエンジニアリング株式会社 電計事業本部 商品ソリューション事業部 小 林 哲 也
計測検査2部 自動計測ソリューショングループ

まえがき

1980年代から線材、棒鋼圧延材料の寸法品質管理を目的に(株)島津製作所が開発（2012年に当社日鉄テックスエンジニアリングが事業継承）した光投影式の回転式寸法測定装置が多く導入され、国内鉄鋼メーカーの製品寸法の保証計器として稼働を続けている。

近年では、光切断法による全周形状計測に加え、表面欠陥を同時に計測が可能な測定装置の導入ニーズも高まっているが、本装置が開発されて40余年に経った現在においても、老朽更新の際には、当社製の回転式寸法測定装置を導入するユーザーも多い。

本稿では、長年に渡り、国内棒線の寸法品質保証を支えてきた回転式寸法測定装置を紹介する。

◇ 回転式寸法測定装置の特徴

1. 測定原理

図1に示すように光源から出た光が、投光側レンズにより平行光にされ、被測定物に当たる。被測定材により生じた影を受光側レンズにより、ラインセンサ上に投影する。ラインセンサは光の明暗を0.4msecという短時間で一斉に記録し、この出力信号から影の部分の画素数 N をカウントする。このとき、被測定物の直径 D は、以下の式で算出される。

$$D = NPZ \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 P はラインセンサ画素サイズ、 Z は受光側レンズの倍率を示す。なお、画素数 N はリニア

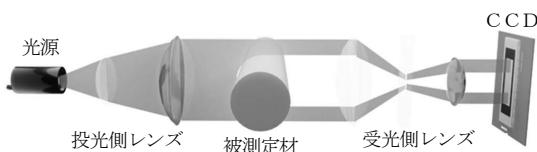


図 1 測定原理

センサの粒子化誤差を低減するため、複数回測定し、その平均値とする。

本装置は図1の光学系部分を回転しながら測定するため、上記で演算された直径データと角度センサーからの信号により、被測定物の角度に対応する直径を取得し、被測定材の全周測定を可能としている。

2. 本装置の特徴

前項では光投影法による一般的な測定原理を紹介したが、被測定材の直径を高精度に且つ安定した測定を実現するためには、適切な光学系の採用と補正、および現場環境による外乱影響を抑制することが重要である。そこで長年に渡り、本装置が国内鉄鋼メーカーの製品寸法の保証計器として信頼され、稼働し続けるために必要な要素技術を紹介する。

1) テレセントリック光学系の採用

テレセントリックとは、図2に示すように、物体側、或いは像側、または両側の主光線が無限遠まで光軸と交わらないことをテレセントリック光学系と言う。

物体側テレセントリックになっている光学系は、物体とレンズの距離が変化しても像のサイズが変化しない特徴があるため、寸法測定用に多く使用されている。

本装置のテレセントリック光学系は、被測定材のサイズ範囲、被測定材の振れ量を考慮した測定視野に見合うレンズ径を選定し、ラインセンサに

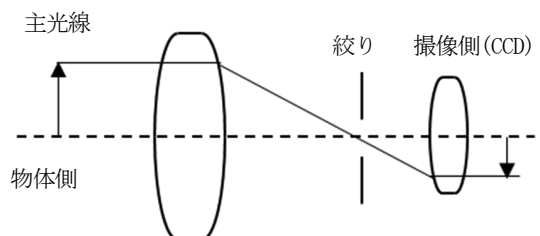


図 2 両側テレセントリックレンズ

受光されるまでの近軸光線を求め、収差を最小限に抑える設計としている。しかし、設計による収差低減には限界があり、物理的にレンズの収差を無くすことはできない。

2) レンズの収差補正

被測定材の位置と、その被測定材によりラインセンサに投影される像の大きさは一定であることが理想である。しかし、上項で述べたレンズの収差やラインセンサの出力特性のバラツキなどにより検出される被測定材の影の画素数 N は一定とならず、測定誤差が生じる。これを補正するためにラインセンサ出力をあるアドレス毎に分割し、セクション毎に補正係数 a_n を求め、計測された被測定材の直径 D_n に乘じることで、補正後の直径 D'_n を以下の式のように求める。

$$D'_n = a_n D_n \cdots \cdots (2)$$

理論上は各画素単位で補正をすれば誤差が最小となるが、実際には光の回折現象、処理速度の問題により、数百画素単位で補正している。

3) 外乱影響の抑制

圧延ラインでリアルタイム測定する場合、スケールや冷却水、ミスト、輻射熱などの外乱により測定誤差やエラーが生じる。

この様な圧延ラインの現場環境でも安定した測定を実現するための外乱信号キャンセル機能やドリフト補正、更に光学面に付着するスケール、汚れを除去するオートクリーナー装置も搭載し、連続圧延という環境下においても高精度、且つ安定した測定を実現している。

4) 測定データの履歴管理機能

本測定データは品質管理上、重要なデータであり、図3に示す通り、本装置ではチャートレス機能を搭載し、測定データの再生、履歴管理機能を有している。

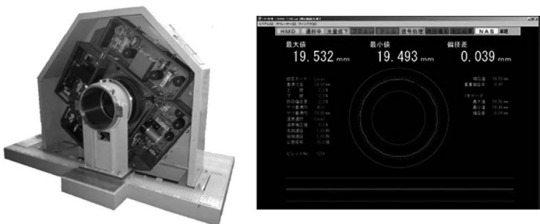


図 3 回転式寸法測定装置の外観と計測画面

3. 精度測定データ例

本装置は被測定材の寸法に合わせて、表1の通り、使用するレンズに応じて精度保証値を定めている。

本装置が長期に渡り、使用されている理由の一つに測定精度の信頼性が挙げられる。ここでは、測定精度の確認方法と静的試験における測定試験データ例を紹介する。

本装置の回転検出部を90rpmの速度で回転させて、 $0.1\mu\text{m}$ の単位まで測定した $\phi 14\text{mm}$ の校正ゲージの全方向に渡る直径を、一定時間連続測定したデータ例を図4に示す。これは校正ゲージの直径14mmを真値とした際の、回転式寸法測定装置の測定誤差を表す。(a)は有効視野30mmの光学系を使用し、(b)は有効視野75mmの光学系を使用したデータの一例を示す。測定条件は、校正ゲージを測定中心にセットし、視野範囲に校正ゲージをシフトしたものである。

また、被測定材の振動を考慮して、一定の振れ幅内で測定しており、これを含めて精度保証をしている。この測定精度が現在でも安定して維持されており、信頼を得ている。

4. 国内棒線ユーザーの寸法測定装置の導入傾向

本装置が開発された頃は2ロール圧延が主流であり、光投影法が適切な計測手法であった。しかし、時代と共に3ロール圧延が普及し、その特有の形状や鋼材の凹みを計測することを目的として、光切断法を適用した寸法形状測定及び表面欠陥の検出機能も有した高機能版の商品化が進んでいる。

表 1 レンズシリーズと測定精度

シリーズNo.	01	02	08	03	0A	05	09	06
	単眼式					複眼式		
有効視野 (mm)	30	45	60	75	105	D: 光軸距離 (複眼レンズ間隔)		
						D ± 45	D ± 60	D ± 75
測定精度 (μm)	± 10	± 15	± 18	± 20	± 35	± 30	± 36	± 40

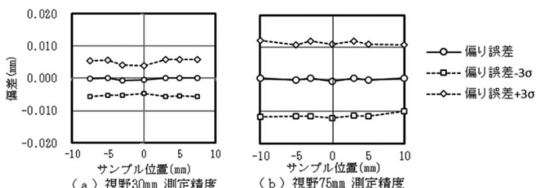


図 4 一定時間連続測定データ例

国内棒線ユーザーにおける自動寸法測定装置の導入傾向を図5に示す。(a)は線材圧延、(b)は棒鋼圧延に光投影法と光切断法の導入比率（当社調べ）を表したものである。

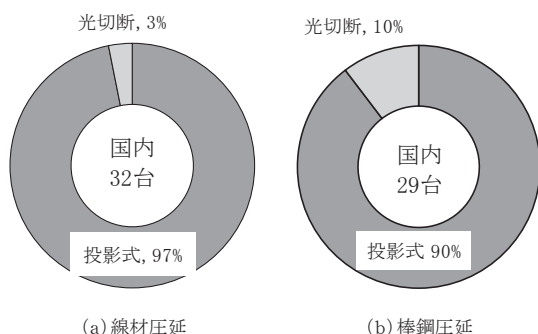


図 5 自動寸法測定装置の導入傾向

線材圧延には光投影式の寸法測定装置を導入するユーザーが大多数を占めている。一方、棒鋼圧延には光切断法を導入しているユーザーが徐々に増加している。これは線材に比べ鋼材の曲率が小さく光切断法による計測が適していること、線材に比べて遅い圧延速度で取得できる高密度な表面形状データによる欠陥検出に適していることが理由と推測される。

これからもユーザーが自社製造ラインの特性に応じた計測ニーズに基づき適切な寸法測定装置を導入していくと考えられる。その中で、長年に渡り保証計器として信頼され、稼働し続けている回転式寸法測定装置を始めとして、計測機器メーカーとして、顧客ニーズを満たす技術、製品の開発を適宜進めていく。



3) 矯正

愛知製鋼(株) ひらちしんこ
品質保証部 お客様品質室 平地伸吾

まえがき

そもそも「矯正」とは「正しくない状態に対して力を加えて正しい状態にすること」であるが、特殊鋼棒線境界で「矯正」とは曲がり矯正 (straightening) の意として用いられ、圧延工程や熱処理工程などで許容差を超える曲がりが生じた場合は、曲がり矯正工程が必要となる。

◇ 品質保証目線での曲がりとは

工業的な製造プロセスにおいては、熱間・冷間問わず加工中・加工後に全断面かつ全長で厳密な意味で均質な化学成分・ミクロ組織・機械的性質などを持った鋼材を得ることは困難であり、なんらかの分布・ばらつきが存在する。それらが重畳した結果、鋼材内部では複雑な残留応力分布を呈すのだが、外観としては比較的分かりやすく「曲がり」という形になって現出し、特に熱間圧延・冷却後では「常温で外観が曲がっているのがエネルギー的に安定な状態」となる。

例えばJIS G 4051 (機械構造用炭素鋼鋼材) においては、形状の許容差として「曲がり」は、1mにつき3mm以下とし、全長L (m) に対しては $(3 \times L)$ mm以下とする」と規定されており、圧延のままで市場に供される鋼材においても曲がり矯正が必要となる局面が多い。

ただし、「1mにつき3mm以下」という数値そのものは実用的ではなく、「1mにつき3mm」も曲がっていると、丸棒が架台をスムーズに転がらないなど取扱い上支障が出てこよう。

また後述するように、今日的には曲がり矯正工程は超音波探傷工程・表面きず探傷工程や径寸法・長さの測定や計数など一体で精整ラインとして設計されるケースも増え、それら装置類から真直性を要求されるため、現実的には「1mにつき1mm以下」レベルの運用とならざるを得ない (探傷精度低下や設備トラブルに直結する)。

今日的には、特殊鋼への品質要求の高度化にともない、品質保証上の観点にかんがみ、基本的には超音波探傷工程・表面きず探傷工程などは必須とされており、熱間圧延・冷却後にほぼ真直性に問題のない鋼材が得られたとしても、上記の品質保証工程を通材させるため、ライン化・一体化された矯正機もあえて通材させることになる。

◇ 棒線の矯正方法と矯正機

1. 負荷様式から見た矯正法

特殊鋼棒線の矯正加工方法としては、(1) 引張り矯正法、(2) (回転) 繰返し曲げ矯正法、(3) (回転) 繰返し引張り曲げ矯正法、(4) プレス曲げ矯正法、(5) 引抜き矯正法、(6) 以上の方法のいくつかを組合わせた方法などがある。

もっとも広く用いられているのが、(回転) 繰返し曲げ矯正法または (回転) 繰返し引張り曲げ矯正法である。これらの方法では、被矯正材にその長手方向に直交する各方向から繰返し曲げ変形を

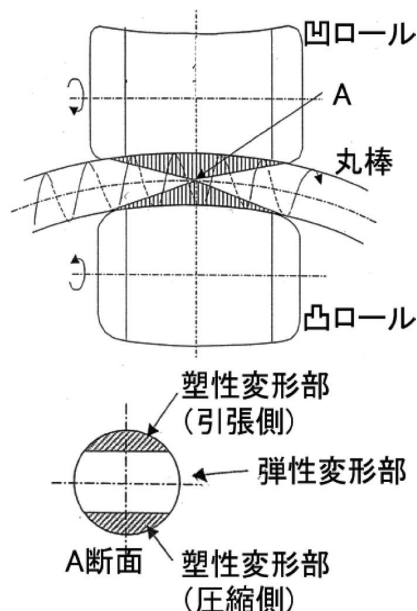


図 1 2ロール矯正機による曲がり矯正原理

加え、あるいは繰返し曲げ変形と長手方向の伸び変形とを加え、横断面内に偏って分布している長手方向のひずみと応力の偏りを減少させ、それらの均一度を高めることにより、真直性の向上と残留応力の低減とを図ろうとする方法である。

図1に（回転）繰返し曲げ矯正法にもとづく2ロール矯正機による丸棒の曲がり矯正原理を示す。丸棒の表層に近いほど曲げモーメントが大きくなるため、丸棒は表層近傍が塑性変形域・中心近傍が弾性域となる。このバランスを恣意的に操作すること、すなわち表層近傍に塑性変形域に至るまでの大きな歪みを与え、中心近傍の弾性域部分を包み込んで初期状態に戻ろうとするのを防止・残留応力をリバランスさせることにより丸棒の曲がりを是正するのである。

2. 製造工程で用いられる矯正機

特殊鋼棒線製造工程ではロール式（2ロール式や多ロール式など）矯正機やプレスなどが採用されている。同一方向に回転し、斜交している2本の凹凸ロール（図1）または凹凹ロールとの間に被矯正材を通過させて矯正する方式を2ロール式といい、今日的には主流となっている。

直列に配置した多数のロールで交互に左右および上下から曲げを加えて矯正する方式を多ロール式といい、今日的にも多用されている。

プレス矯正機は2つの固定支点と1つの移動支点との間に材料を挟み、移動支点に圧力をかけて矯正する方式のものであり、丸鋼・角鋼・平鋼あるいは鍛造品などの部品などにも適用範囲が広いが、精度は低く熟練を要する。

圧延後の硬さが高くなりがちな高炭素鋼や焼入れ性の高い強靱鋼などの鋼種、一部のフェライト

系ステンレス鋼などにみられる延性の著しく低い鋼種などでは、矯正時に折損するなどして矯正不可能な局面もみられる。この場合には焼鈍などで適宜軟化させた後に矯正を行なう。

このように、特殊鋼棒線の製造工程は熱処理の有無を含め多種多様なため、ステンレス鋼を含む鋼種や径寸法によっても矯正機選択の最適解が異なる。よって各社とも、プレス矯正機を含む多様な矯正機を必ずしも「ライン」として構築せず、バッチ処理可能な単機能機としても構え、生産の上方弾力性や冗長性の確保あるいは少量試作材の流動といった局面では有効に活用している。

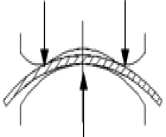
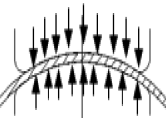
3. 2ロール矯正機の進化

今日的には特殊鋼棒線の各社量産ラインでは2ロール矯正機が主流であろう。

2ロール矯正機は多ロール矯正機に比して端部や小曲がりの矯正精度に優れ、脱スケール性や磨き効果も良好である。ロール形状の選択にもよるが、径寸法・偏径差の修正効果も認められる。

従来は多ロール矯正機に劣るとされていた矯正速度についても、主として（1）矯正ロール交差角の拡大、（2）矯正ロールプロファイルの凹凸形から凹凹形化によるラインコンタクトカーブの採用（表1）、（3）ユニット全体の高剛性化、（4）給材側の拘束力強化による丸棒の高速回転時の衝撃（振回り）抑制などといったブレイクスルーによって、120m/min.レベルの高速矯正技術が1980年代後半より実用化されたことにより、ライン構成上問題ない速度レベルとなった。また、当初から次項に述べる各種の矯正条件も自動設定化できる設計であったことも見逃せない。

表 1 2ロール式矯正機の2種のロール形状

種類	材料との接触状況	長所	短所
①凹凸形ロールプロファイル (エアーベント方式) 3点曲げ・エアーギャップ		・矯正による変寸が少ない ・矯正動力が小さい	・端部曲がりが多少取れにくい ・表面性状が多少劣る (脱スケールが見込みにくい)
②凹凹形ロールプロファイル (ラインコンタクト方式) 全長に線接触		・全長にわたり真直度がよい (端部曲がりが取れやすい) ・表面性状がよい	・矯正による変寸が多少ある ・矯正動力が大きい ・矯正条件がシビア

4. 2ロール矯正機の取扱い

2ロール矯正機の実操業においては、矯正品質の確保にあたって多くのパラメータが関与する。主なところでは、(1) 矯正荷重、(2) 案内ガイド(アンビルチップやガイドバーフェーシングとも呼ばれる芯出しも兼ねたガイド)調整、(3) 矯正速度、(4) ロールプロファイル(実操業においてはロール角度)調整、(5) ロール冷却、(6) 被矯正材物性・形状であり、(6) 項については矯正操業サイドでは選択できない。

ロールそのものに合金工具鋼を用いてはいるものの、案内ガイドも含めて摩耗(しかも偏摩耗)する部品であり、2ロール矯正機に限ったことではないが、厳しい日常管理により対応している。

◇ 精整ラインとしての進化

多くのメーカーでは製鋼次いで圧延といった上工程側から設備更新への投資がすすみ、後回しになりがちだった精整・検査といった下工程側が見直される契機となったのは、2008年のリーマンショック前の高需要にあらう。

大ロットで製造される上工程側とは異なり、顧客仕様ごとに細かしやかな対応を求められ、かつロット単位も細くなる下工程側では拡大する一途であった特殊鋼棒線需要をさばけなくなる局面が多々あり、市場でも少なからぬ混乱を生じたため、工程内外物流も含め下工程側への設備投資がこの高需要期に一気にすすんだ。

この際には圧延生産性も見据えながら、高速矯正が可能な2ロール矯正機をキーコンポーネントとし、超音波探傷工程・表面きず探傷工程のみならず、径寸法・長さあるいは曲がりそのもののインライン自動測定や計数などを一体化した精整ラインを各社が再構築した。

精整ラインは、特に圧延のままで市場に供される鋼材にとっては出荷前の最終工程であり、異材

チェックや端面加工(面取り・面すり・バリ取り)、結束・表示・ラベリングといった工程を、必要であれば多段に構えた上で、高速矯正に追従したライン速度(当然ではあるが120m/min.レベル)で実現し、各社の生産性向上に寄与した。

結果として、2ロール矯正機の高速化がすすんだこと、さらには(発展途上ではあるが)これまで熟練作業者のカンコツに頼る部分の多かった矯正条件の自動設定化が可能になったことにより、ことごとく今日的に求められるコンテキストとは相性のよい設備に変貌したと考えられる。

すなはち、現在進行形ですすむデジタルトランスフォーメーション加速に向け、より高度化した顧客ニーズにグローバルレベルのサプライチェーン強化もおり込みながら対応すべく、コスト削減・効率化(省人化)やトレーサビリティ強化を図りつつ人材を育成・確保しながら育てていける設備…それが今日の特種鋼棒線精整ラインであり、2ロール矯正機をはじめとした各種の矯正機は、地味ながらもなくてはならない設備である。

むすび

(回転)繰返し曲げ矯正法のひとつである2ロール矯正機は1980年代後半より高速矯正技術が実用化されたことにより、2000年代に精整工程への設備投資がすすんだ際にはキーコンポーネントとして各社で採用の拡大がすすみ、今後もデジタルトランスフォーメーション加速に向け、ますます普及していくものと推察される。

参考文献

- 『特殊鋼ガイド 初級』特殊鋼倶楽部(2002)
- 石田二郎:「特殊鋼棒鋼・線材精整技術の進歩」電気製鋼 第60巻(1989)1号
- 木内学:「棒・線材の矯正技術」生産研究 第48巻(1996)4号
- 大同マシナリー(株):「ボルト材用2ロール矯正機」電気製鋼 第89巻(2018)1号
- JIS G 4051:(2023)

4) 製品UT

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 やま した まさ かず
計測システム研究室 主任研究員 山下正和

まえがき

特殊鋼製品（ステンレス、超合金、チタンなど）は、スクラップ原料から各工程（溶解→鋳造→鍛造→圧延）を経て、最終形状（板、角、丸棒、パイプ、線など）として出荷される。これらの特殊鋼製品は、各種産業にて過酷な環境（高耐食・高耐熱）に適用されるため、厳格な品質仕様が要求される。生産現場では、特殊鋼の品質仕様を厳格に管理・保証するため、非破壊検査を実施している。本稿では、特殊鋼製品の内部を非破壊検査する超音波探傷試験（UT: Ultrasonic Testing）の概要を解説し、UTの製品適用事例を紹介する。

◇ 特殊鋼製品におけるUTの概要^{1), 2)}

超音波は材料内を一定速度で伝播し、物性（音響インピーダンス）の異なる境界面で反射する性質がある。特殊鋼のUTは、超音波の発振・受信を行う探触子を特殊鋼の表面で走査することで音響インピーダンスの異なるきず（非金属介在物や空隙など）の位置や大きさを推定し、きずの良否判定する技術である。きずの位置や大きさは、きずで反射した超音波（きずエコー）の受信時間や受信強度から推定される。きずの検出能（きずエコーの受信強度向上とノイズとなる超音波の受信

強度低減）を向上するには、探触子の仕様（超音波の周波数やサイズなど）や探傷方法の検討が重要である。これら検討には、特殊鋼の形状、表面状態、加工履歴だけでなく、検査対象となるきずの種類・形状に留意する必要がある。表1に代表的な探傷方法である垂直探傷、斜角探傷およびフェーズドアレイ探傷を示す。

1. 垂直探傷および斜角探傷

入射する超音波に対して反射面となるきずの面積が大きいほど、きずエコーの受信強度が向上するため、きずの方向や鋼材の形状に応じた探傷方向を選定する必要がある。

垂直探傷は、探傷面に対して垂直に超音波を入射する方法であり、探傷面となる圧延面と平行にきずが延伸する厚板や角材の探傷に適用される。また、斜角探傷は、探傷面に対して斜めに超音波を入射する方法であり、垂直探傷ではきずエコーと鋼材界面などノイズとなる超音波との区別が困難な薄板や鋼材表層部の探傷に適用される。なお、斜角探傷や垂直探傷のみで探傷範囲をカバーできない鋼材の形状では、垂直探傷と斜角探傷を併用して探傷する。

2. フェーズドアレイ探傷

フェーズドアレイ探傷は、複数の超音波を発振する素子が独立して並んだ探触子を用いる。素子

表 1 代表的な超音波探傷方法

	垂直探傷	斜角探傷	フェーズドアレイ探傷 (斜角+垂直)
探傷イメージ			
探傷範囲	鋼材中心	表層など	任意位置
主な鋼材	厚板、角材など	薄板、板溶接部など	丸棒、鋳鋼品など

から発振する超音波のタイミングを電氣的に制御することで超音波の入射方向や集束範囲を変化させる技術である。本技術は、以下の特徴を有し特殊鋼製品への適用が進んでいる。

①広範囲探傷

任意の入射方向や集束範囲を合わせることで、垂直探傷と斜角探傷が一つの探触子で実施でき、探触子を走査することなく、きずの位置を視覚化できる。

②高精度探傷

各素子で発振する超音波を合成することで高い信号強度が得られ、高精度な探傷ができる。

◇ 特殊鋼製品UT

1. フェーズドアレイ探傷技術の適用例^{2)、3)}

医療や航空機など規格が厳格なチタン合金の丸棒において、フェーズドアレイ探傷を用いた全断面・自動超音波探傷装置が実機運用されている。表2にチタン合金の丸棒に適用されたフェーズドアレイ探傷技術の開発要点を示す。

1) チタン合金の丸棒に起因する超音波感度の低下抑制

チタン合金の丸棒では、 α 相および β 相の音響インピーダンスの異なる2つの組織を有し、超音波の減衰によるきずの検出能低下が課題である。超音波シミュレーションを活用し、フェーズドアレイ探触子の仕様と探傷条件を決定することで、丸棒の全断面（垂直探傷+斜角探傷）のきずを良好に検出できる。

2) 生産現場にて想定される外乱（材料のがたつき、位置ずれなど）の抑制

生産現場では、材料のがたつきや位置ずれなど様々な外乱が生じ、きずの検出能がばらつくことが課題である。ばね機構によるがたつき防止機構や4点ローラによる位置ずれ防止機構を適用することで、きずの検出能は高位安定する。

2. 特殊鋼製品UTにおける今後の課題^{4)、5)}

特殊鋼製品の製造過程で製品内部の結晶粒が粗大化する場合がある。粗大結晶粒によって超音波は減衰し、きずの検出能が低下するため、高精度な探傷が困難である。高精度探傷の実現に向けて、超音波の入射角や集束範囲を3次元制御できる二次元に配列されたマトリクスアレイ探触子を用いた探傷技術の開発が期待される。

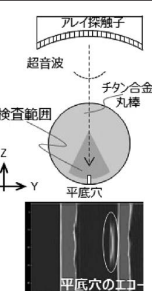
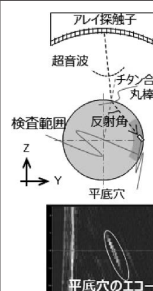
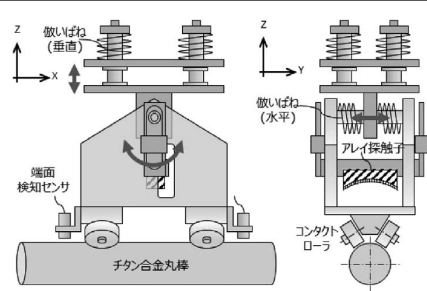
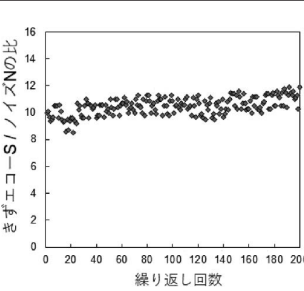
むすび

本稿では、特殊鋼製品における超音波探傷試験の概要を説明し、特殊鋼製品への適用が進むフェーズドアレイ探傷技術を紹介した。今後も特殊鋼製品には高い品質が要求される。高品質な特殊鋼製品をタイムリーに提供し続けるには、継続的な超音波探傷技術の開発が重要である。

参考文献

- 1) (一社)日本非破壊検査協会編：超音波探傷試験Ⅱ、日本非破壊検査協会（2019）
- 2) 山田ら：特殊鋼、Vol. 71（2022）、No 2
- 3) 森永ら：電気製鋼、Vol. 95（2024）、No 1、pp 11-18
- 4) 森永武：超音波部門講演資料（2021）、pp 12-16
- 5) 森ら：電気製鋼、Vol. 92（2021）、No 1、pp 51-57

表 2 チタン合金の丸棒に適用されたフェーズドアレイ探傷技術の開発要点

フェーズドアレイによる探傷結果		生産現場における外乱（位置ずれ、がたつきなど）の抑制機構	生産現場における人工きずの検出能検証結果
垂直探傷	斜角探傷		
			

5) 漏えい（洩）磁束探傷

日本フェルスター(株) よし かわ ひとし
事業企画・開発ユニット 吉 川 仁

ま え が き

圧延黒皮棒鋼の表面きずを検出する方法は磁粉探傷と漏えい磁束探傷がある。磁粉探傷は人間の目視によるきず確認やカメラによる識別方法を用いている。それに対して漏えい磁束探傷は漏れ磁束を磁気センサーによって電氣的に検出を行う。きずの深さ、大きさによって漏れる磁束量も違うので定量的な検査が可能で、電氣的な信号として取り出せることから、自動化が容易に行える。

漏えい磁束探傷には大きく分けて、交流漏えい磁束法と直流漏えい磁束法の2種類あり、交流漏えい磁束法の主な対象は丸棒鋼で、直流漏えい磁束法の対象は継ぎ目なし鋼管である。継ぎ目なし鋼管の場合は外表面側と内径側表面の両方のきずを検出する必要から直流磁化で肉厚断面に均等な磁束を入れる必要がある。棒鋼は外表面のきず検出に特定されることから電氣的に表皮効果のある交流磁化になる。棒鋼の表面きずを非破壊で探傷する方法は回転型渦電流探傷と貫通型渦電流探傷があるが圧延黒皮丸棒鋼の場合、引き抜き丸棒鋼と違い、その表面肌が悪く検出したいきず深さのきず信号はその肌ノイズ信号やその他の物性的な要因からのノイズ信号の中に埋もれてしまう。漏えい磁束探傷は表面肌などからの影響を受けにくく、きずから漏洩する磁束そのものを検出することにより効率の良い探傷が行える。

◇ 原 理

直流磁場で説明をすると、図1のようにコの字型をしたヨークの両極の間に磁性材を挟み込む。この磁性材には、きずに見立てたスリットが加工されている。ヨークに巻かれたコイルに電流を流し始める。そうするとヨークの一方の磁極から出る磁束は磁性材を貫いてもう片方の磁極に到達し、磁気ループの閉回路が形成される。コイルに流す電流量を増やしていくにつれてヨークから発生す

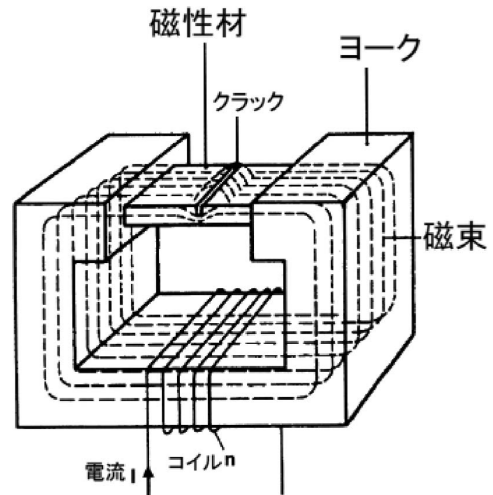


図 1

る磁束密度は増加していき、磁性材が磁気飽和状態近くなると、スリットから磁束が外部に漏れだす。この漏れ磁束を磁気センサーで検出して、その漏れ磁束の強度に応じて探傷評価を行う。これが基本原理である。

◇ 棒鋼の探傷

交流漏えい磁束探傷機の基本構造は図2に示すように交流の磁化器と磁気センサーユニットからなる一組の探傷ヘッドが180度対向に2組あり、丸棒鋼の回りを回転する。磁化器へは励磁電源から回転トランス（電磁カップリング）又はスリップリングを介して交流（6KHz～10KHz）の電力を印加することにより、磁束が発生して棒鋼表面を磁化する。磁気センサーはウェアシューという超硬製の板の内側に実装されており（磁気センサーユニット）、ウェアシューは棒鋼表面に直接、接触して回転している。探傷処理能力を確保するために、磁気センサーは棒鋼の流動方向に十数個、直列に並べられている。磁気センサーは常時棒鋼表面からの漏れ磁束を検出している。棒鋼

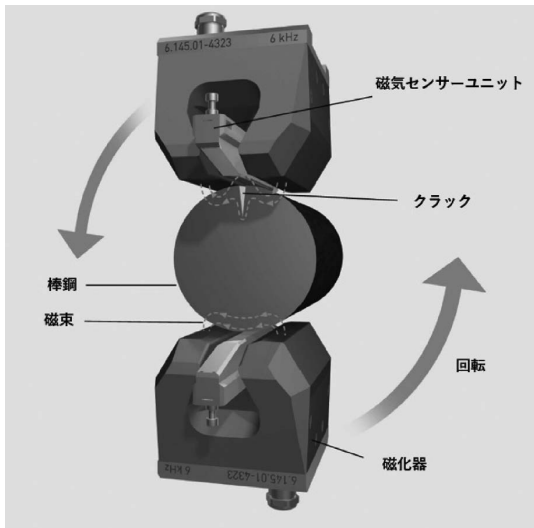


図 2

表面にきずがあるならば、そこから漏れる磁束を磁気センサーが検出する。検出された信号は回転トランス又はスリップリングによって探傷電気盤へ送られる。検出した信号は交流の搬送信号上に載っているの、探傷電気盤で電氣的な処理をして、きず信号のみを分離したうえで評価を行う。回転する探傷ヘッドの角度位置信号と棒鋼の長さ方向の移動信号と磁気センサーの検出チャンネルとを信号処理してきずマッピング処理を行う。これを行うことで円周上何度の位置に、軸方向何mmの連続してあるきずかどうかの判定が可能となる。この信号を利用して、円周16分割のセクターマーキングや別の機器に伝送することで応用範囲が広がる。

磁気センサーユニットは棒鋼の表面を接触した状態で400～2,400rpmの回転数で回転しており、常に一定圧で接触している必要がある。少しでも浮いてしまうと、きずからの漏えい磁束を検出できなくなる。通材する棒鋼の外径によっても周速度と回転モーメントが変わるので機構的にそれに対応するような構造になっている。探傷機の最大限の性能を出して、安定した探傷をするには棒鋼

の真円度や曲がりや矯正状態や端面などの状態、さらに探傷搬送ラインの精度が大きく影響してくる。真円度が悪ければ、高速で棒鋼の回りを接触して回転している磁気センサーユニットがジャンプする現象が生じて、信号を受けられなくなる。曲がりがあれば、同じく磁気センサーユニットが浮いてしまうので、信号の低下や、信号が途絶えるチャンネルが出てくる可能性がある。通材して、探傷できる曲がりの限度は探傷機の仕様上で明確にしているが、曲がりの状態がその規定値以上になると回転をしている探傷ヘッドそのものを損傷する危険性がある。矯正機での矯正状態によっては応力的なものが残り、妨害ノイズの原因になる場合もある。端面にバリがあると、磁気センサーユニットがジャンピングしたり、探傷ヘッドが破損する可能性があるの、面取りは必要となる。棒鋼が供給テーブルから蹴り出され、搬送ローラーで加速され、探傷ヘッドに到達するまでに一定の速度に達していないと、搬送速度計測にばらつきが生じて、先後端不感帯長さが不安定になる。さらに、きず位置や長さ評価、マーキング位置に狂いが生じる原因になる。探傷ライン前後の搬送ローラーの間隔をあまり長く取りすぎると、棒鋼のローラー乗り上げ時の妨害ノイズの原因となるので、ローラー間隔は短くして、且つ、全てのローラーの駆動は同期をとる必要がある。良い探傷を行うには探傷機そのものだけではなく、探傷機の前工程の設備など総合的に考えていく必要がある。もちろん、これらだけではなく、棒鋼そのものの製鋼から圧延に渡る総合的な知識と情報を持って探傷評価を行う必要がある。

むすび

検出能向上や処理能力を上げるための磁化器や磁気センサー、回転ヘッドなどの開発は今後も継続的に行われていくが、並行してデジタル化、ソフト処理化による探傷評価技術はさらに進んでいくと思われる。

IV. 最近のリフレッシュ事例

1. 分塊工場の増強

㈱神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 加古川製鉄所 たいら とも ひで
品質保証部 神戸品質保証室 主任部員 多比良 知 秀

本稿は、R&D神戸製鋼技報/Vol. 69 No. 2 (Oct. 2019)「上工程集約に伴う加古川製鉄所第2分塊工場の増強」から一部抜粋して転載したものである。文中の神戸製鉄所は、現在、神戸線条工場に名称変更されている。

表 1 鋳片サイズ

	断面サイズ (t×w mm)	最大質量 (kg)
第2号連続鋳造機	380×630	20,000
第6号連続鋳造機	300×430	13,400

◇ 第2分塊工場増強の目的

当社条鋼製品の国内における生産体制は、神戸製鉄所にある第7線材工場、棒鋼工場、および加古川製鉄所にある第8線材工場の2拠点3工場体制となっている。また、鋼片の供給体制として従来、神戸製鉄所の2工場へは主に同製鉄所内の第3分塊工場から供給し、一部の品種の鋼片は加古川製鉄所第2分塊工場から供給してきた。

神戸製鉄所の上工程を休止して加古川製鉄所に集約することが2017年に決定されたことに伴い、上記3工場に供給するほぼすべての鋼片を加古川製鉄所第2分塊工場（以下、第2分塊工場という）で製造することとなった。このため、第2分塊工場の増強工事を行い、分塊・生産能力を従来の月産15万tから28万tへ増加させた。

本稿では、このような第2分塊工場の生産能力を向上させるために実施した設備増強工事の概要を述べる。

◇ 第2分塊工場増強の概要

1. 基本構想

増強以前の第2分塊工場では、第2号連続鋳造機（以下、2CCという）の鋳片を分塊圧延し、155mm角の鋼片を製造していた。主要設備としては、連続式加熱炉1基、分塊圧延機2機、3スタンドからなる連続鋼片圧延機のほか、ホットスカーフ、冷却床や集材テーブルなどの鋼片精整設備であった。

加古川製鉄所への上工程集約に伴い、それまで神戸製鉄所で製造していた条鋼用の鋼片の製造を加古川製鉄所に移管することが必要となった。しかしながら、加古川製鉄所の既存2CCの鋳造量だけでは、移管による生産量の増加に対応できない。このため、加古川製鉄所に第6号連続鋳造機（以下、6CCという）を新設することを決定した。また、6CC鋳片の断面サイズは、従来と同じ製鋼・分塊の製造条件でつくることを目的として、神戸製鉄所で稼動していた連続鋳造機と同じ断面サイズに合わせて製造することに決定した。2CC、6CCそれぞれの鋳片の断面サイズを表1に示す。

分塊工程における生産量増量への対応方針としては、新たな分塊工場を増設するのではなく、既存の第2分塊工場の設備を活用して増強することとした。

2. 増強に向けた課題

第2分塊工場の生産能力の向上について、以下の観点で設備増強・圧延方法の改善を実施した。

- (1) 6CC鋳片を加熱するための加熱炉の新設
- (2) 断面寸法が異なる2CC鋳片と6CC鋳片を既存の圧延ラインを活用して高い生産性（従来の1.8倍）かつ断面寸法の変更に伴う段取り替えを要することなく圧延できる方法の確立
- (3) 圧延ラインと連動した精整能力の増強

3. 能力向上対策

増強後の第2分塊工場のレイアウトを図1に示す。

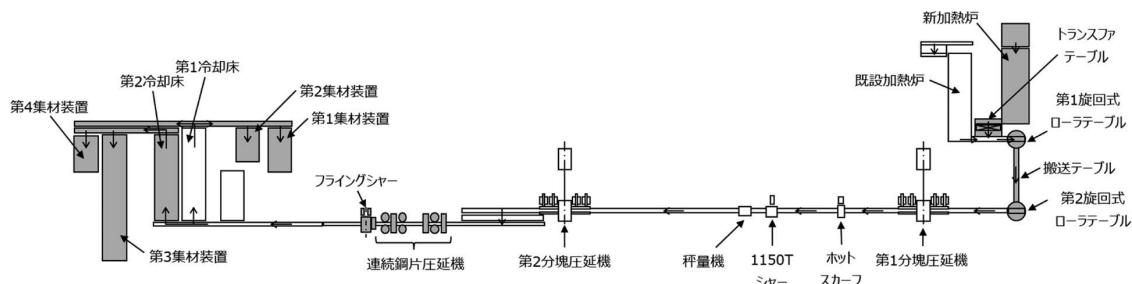


図 1 増強後の第2分塊工場のレイアウト

(1) 加熱炉の新設

6CC鋳片用の加熱炉を既設加熱炉に隣接して新設し、2炉1圧延ラインのレイアウトとし、2CC/6CCを1チャージごとに交互に抽出する方式をとった。しかしながら、2CCおよび6CCの二つの連铸機操業の都合上、既設加熱炉と新加熱炉の鋳片受け入れタイミングを調整することができない。また、両加熱炉からの鋳片抽出タイミングが重なると同時に抽出できないため、抽出待ちが発生して生産性の低下につながる。そこで、新加熱炉の加熱能力を既存加熱炉より30%向上させて余力を持つことにより、加熱速度を調整して抽出タイミングが重ならない設計とした。

また、新加熱炉から抽出された鋳片は、既存の搬送ラインに合流させるための移載機を新たに設置した。二つのラインが合流後、圧延ラインへの搬送能力を高めるため、従来の台車を使用した搬送方式から旋回式ローラテーブル+搬送テーブル+旋回式ローラテーブルを使った搬送方式へ変更した。

(2) 段取り替えすることなく2種の銅片サイズを交互に、かつ高生産性で圧延できる方式の確立

設備増強前は3台すべての圧延機（第1分塊圧延機、第2分塊圧延機、連続銅片圧延機）の生産性が目標を下回っていた。そこで、投資金額を極力抑えるため、次の観点で生産性を上げる工夫をした。

- ①最も生産性が低い第2分塊圧延機のパス数を削減して圧延時間を短縮させた。
- ②後段の連続圧延機のスタンド台数を3台から6台に増設することにより、第2分塊圧延機のパス数が減った分を吸収させた。さらに、

連続銅片圧延機そのものの生産性を高めるため、仕上げ圧延速度を増大させる改造を行った。

③第1分塊圧延機では、

- a) 2CC鋳片と6CC鋳片の第1分塊圧延機出側の放出角寸法を同じにする、
- b) 生産能力の律速となっている2CC鋳片の分塊において、パス1回あたりの減面率を上げることによって総パス数を削減する、
- c) 断面形状の異なる2CC鋳片と6CC鋳片を同じロールで圧延を行う圧延方式を検討する、
- d) a)～c)によって表面品質を悪化させない、というコンセプトでパススケジュールおよびロールカリバの設計を行った。図2に増強前後のパススケジュールの概要を示す。

設計には技術開発本部の協力のもと、圧延中の鋳片の倒れや表面きずのリスクについてFEM解析によって形状や圧縮ひずみを評価し、問題ないこと確認した。

以上の取り組みにより、すべての圧延機において生産性の目標を達成した。増強前後の各圧延機の実績を指数化した結果を図3に示す（増強前の第2分塊圧延機の実績を100とした）。すべてが目標指数の180を超える実績を得ることができた。なお、6CCと2CCの鋳片で実績指数が異なるのは鋳片単質の差による。

(3) 精整設備の能力向上

精整設備の能力向上策として、既存の冷却床の隣に新冷却床および冷却後の銅片を払い出すための集材装置を増設した（図1）。また、分塊圧延後の銅片は、加古川製鉄所内向け出荷に加えて、神戸製鉄所の2工場において使用する全量の出荷を可能とした。従来の加古川製鉄所内向け出荷材は、集材テーブルから次工程である銅片加工工場へ

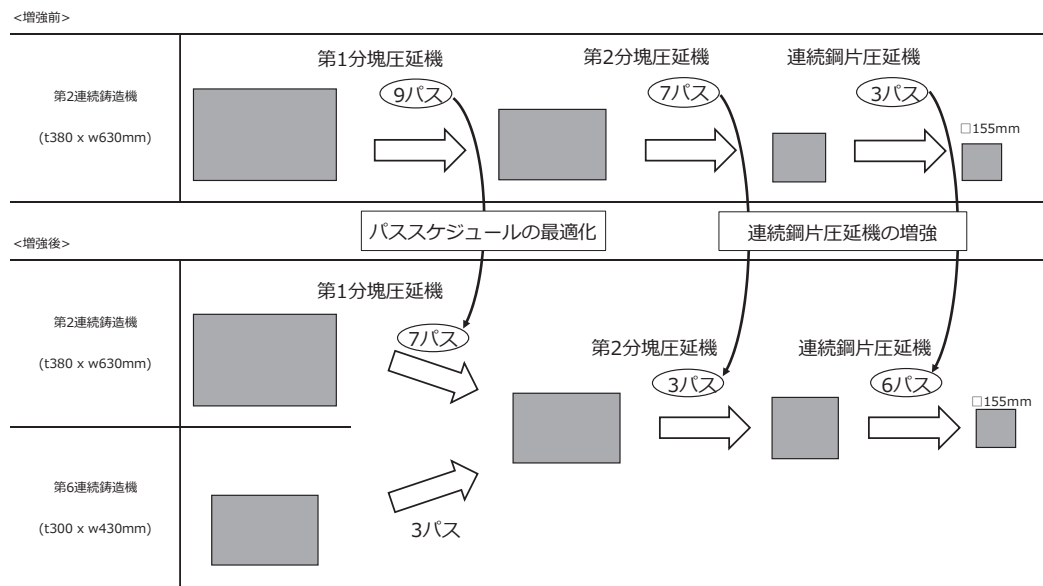


図 2 増強前後のバススケジュールの概要

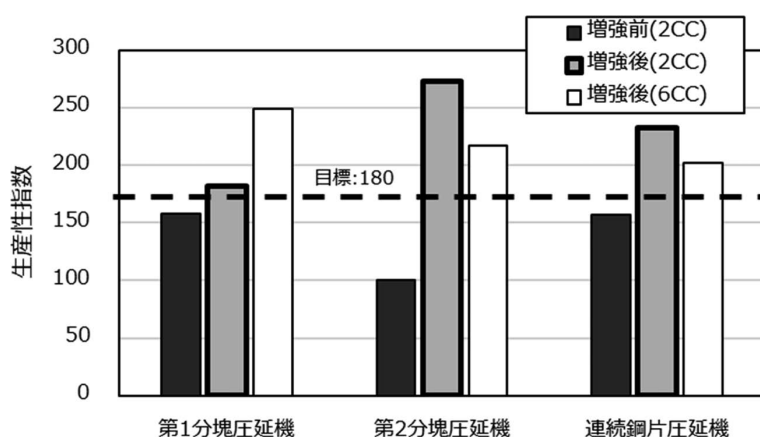


図 3 増強前後における生産性の比較

レーンを使用して直接搬送する。また神戸製鉄所向けの出荷材は、集材テーブルから専用パレットに積載後、搬送用キャリアカーにて第2分塊工場に隣接して新設した鋼片ヤードへ搬送する方式とした。

このように物流ルートを完全に分割することにより、物流負荷を分散してスムーズな鋼片物流を実現した。

◇ 立ち上げ状況

2014年から設備増強工事に着手し、2015年7月

に鋼片ヤードの新設、2016年10月に鋼片精整設備の増設、同年11月に新加熱炉の新設、2017年1月に連続鋼片圧延機を増強更新した。これらの設備は順調に稼動し、生産能力は従来の1.8倍とする目標を達成した。品質についても従来の品質と変わらないことを確認した。

新設備がいずれも順調に立ち上がり、目標どおりの生産能力・品質が確認されたことを受け、2017年11月に神戸製鉄所の上工程設備を休止させた。現在はすべての品種を加古川製鉄所に集約して生産している。

2. 鋼片加工（精整）

(株)神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 まえ だ さとる
加古川製鉄所 線材部 鋼片室 主任部員 前 田 悟

本稿は、R&D神戸製鋼技報/Vol. 61 No. 1 (Apr. 2011)「鋼片加工工場リフレッシュ工事の概要」を転載したものである。文中の神戸製鉄所は、現在、神戸線条工場に名称変更されている。

まえがき

当社神戸製鉄所では特殊鋼線材・棒鋼製品を主として製造している。代表的なものとして冷間圧造用線材や軸受鋼などが挙げられ、主に自動車向け部品の素材に使われている。これらの製品に求められる品質要求は高強度・高寿命化であるが、顧客からの品質要求は近年ますます厳格化する方向にある。

顧客製品の品質には素材として使用される圧延鋼材の欠陥の有無が大きく左右し、圧延鋼材の品質は圧延段階での表面・内部欠陥の残存状況に大きく依存する。一方で鋼材製造側の観点では、これらの要請への対応に加え、製造コストを低減することが課題となっている。

このような状況のもと、神戸製鉄所鋼片加工工場は鋼片での検査・疵（きず）取工程を担うべく1980年より稼動している。稼動後30有余年を経て、老朽化した設備の更新による安定操業の確保、厳格化する品質要求に対応した鋼片品質保証度の向上、およびさらなる処理能力向上による労働生産性の改善を達成させるべく、リフレッシュ更新工事を行い、2009年3月に完工した。以下に、設備更新概要を述べる。

◇ 鋼片加工工場における設備更新概要

鋼片加工工場における自動探傷ラインの工程は以下に示すとおりである。

- ① ショットブラスト：スケール剥離（はくり）除去
- ② 自動磁粉探傷：表面疵自動検査
- ③ 超音波探傷：内部疵自動検査
- ④ 自動疵取：表面疵自動除去
- ⑤ 目視磁粉探傷：表面疵再検査

上記検査・疵取工程を経た後、鋼片は圧延工場へ搬送される。

この度のリフレッシュ工事においては、探傷装置、疵取装置の更新を行った。

1. ショットブラスト装置

1.1 スケール剥離性能の改善

更新前後のショットブラスト装置の設備仕様を表1(1)に、またショットブラスト改善前後のビレット幅方向投射密度を図1に示す。ショットブラストのスケール剥離性能は鋼片搬送速度に依存し、従来では低・中炭素鋼には40m/min、低合金鋼（30C以下）は30m/min、スケール剥離性の低い軸受鋼や高合金鋼（30C以上）、および高炭素鋼は25m/minで搬送していた。今回の更新では、ショット球を投射する駆動モータの容量増強を行い、単位時間あたりの投射量を従来比1.5倍に向上させた。さらに投射密度の幅方向の分布を変え、中心部分の密度を下げて幅方向の密度を上げた。本改善により、幅方向の最低投射密度部においても搬送速度40m/minの条件でも全鋼種に対して旧設備の1.3倍の投射密度を確保し、スケール剥離性の確保と同時に搬送速度向上による処理能力増強を実現させた。

2. 自動磁粉探傷設備¹⁾

自動磁粉探傷設備の更新前後の設備仕様を表1(2)、設備概要を図2に示す。探傷工程ではまず、搬送中の鋼片（ショットブラストによるスケール剥離済）に蛍光磁粉液を散布する。鋼片は極間磁化方式によって走間磁化し、蛍光磁粉が表面疵部に凝集する。これを紫外光源の照明光により可視化させ、ITVカメラにて撮像し疵を検知する仕組みである。

2.1 カメラ分解能の改善

更新前後でのカメライメージを図3、同一欠陥をエリアカメラおよびラインカメラで撮像した画像を図4に示す。本更新では、従来のエリアカメラからラインカメラへ変更することによって200倍

表 1 新旧設備仕様一覧

設備	項目	仕様	
		旧型	新型
(1) ショットブラスト装置	投射量 (kg/min)	480	720
	モータ容量 (kW)	30	45
	投射密度 (kg/m ²)	46	60
(2) 自動磁粉探傷装置	カメラタイプ	エリアカメラ	ラインカメラ
	ピクセルサイズ (mm)	0.36×8	0.11×0.11
	磁化コイル数	2	3
	テーブル搬送速度 (m/min)	25	40
(3) 自動超音波探傷装置	周波数 (垂直) (MHz)	3	3
	周波数 (斜角) (MHz)	2	3
	プローブ数 (ch/single-plane)	6	8
	テーブル速度 (中間部) (m/min)	30	40
	速度制御	バイエルサイクロ	インバータ
(4) 自動疵取装置	切削方法	フライスカッタ	
	切削ユニット数	4	
	切削チップ配置	平行配置	千鳥配置
	フライスチップ形状	丸型	楕円形状
	チップ数 (piece)	24	32
	チップ材料特性	セラミックメタル	
	カッタ駆動モータ容量 (kW)	11.0	18.5
	最大切削幅 (mm)	13.0	43.0
	最大切削深さ (mm)	1.5	3.0
	磁化コイル数	2	3
(5) 目視磁粉探傷装置	磁化方式	2 極	4 極
	磁場長さ (mm)	540	1,800
	磁化時間 (s)	1.3	2.7
	テーブル搬送速度 (m/min)	25	40

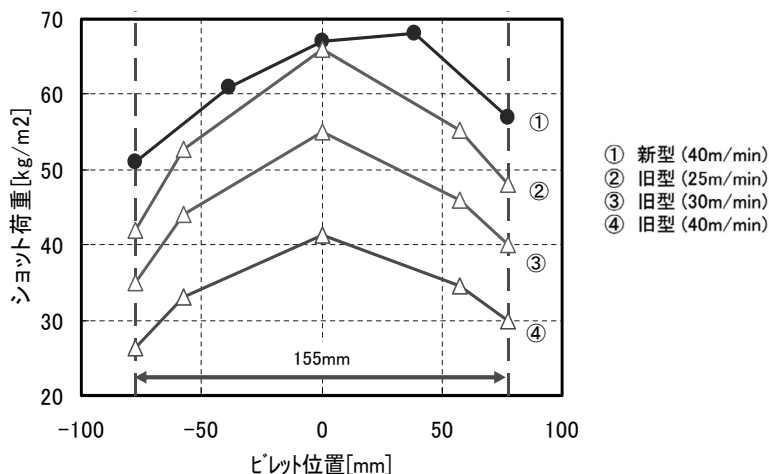


図 1 鋼片幅方向位置の投射密度の新旧比較

の撮像分解能を可能とした。従来方式では紫外線照度が低いうえにカメラ感度も低い。このため、シャッタ速度が遅くなって像流れが発生し、鋼片長手方向の分解能が低い。更新後では紫外線照度を高めたうえに高感度カメラを使用することに

よってシャッタ速度を大幅に上げることが可能となった。その結果、像流れは無視できるレベルとなってカメラ分解能を向上させることができ、従来は長さ10mm以上が限界であった疵検知が5mmでも可能であることを確認した。

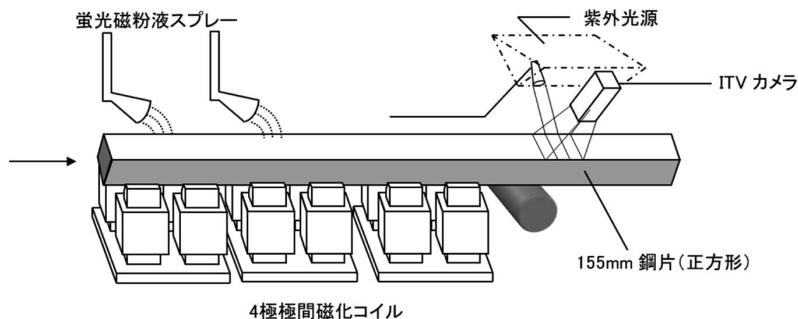


図 2 新自動磁粉探傷装置の設備概要

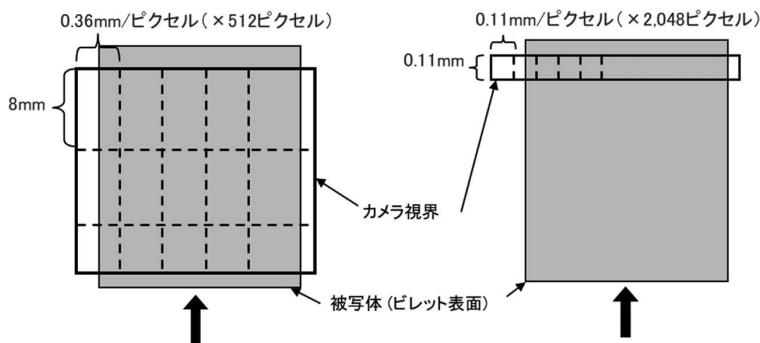
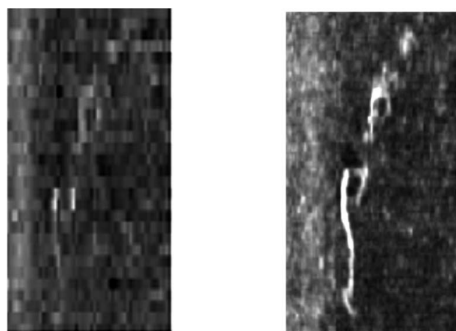


図 3 更新前 (a)、更新後 (b) のカメラ画像イメージの比較



(a) エリアカメラ

(b) ラインカメラ

図 4 (a) エリアカメラ、(b) ラインカメラによる欠陥画像

2.2 疵検出性能の向上

疵をより検出しやすくする方策としては、通材時の磁化方法、磁粉液散布法の最適化、紫外光源照度の向上による指示模様の輝度向上が挙げられる。今回の改善では紫外光源を更新し、従来比で5倍の照度が得られる高輝度タイプのものを選定した。

2.3 疵判定アルゴリズムの高度化

カメラで捕らえた高輝度部の指示模様のなかか

ら有害欠陥を選択的に弁別する必要があることから、以下のアルゴリズムによる疵判定を実現した。

a) 独自の線分抽出フィルタの採用

搬送方向に延びた割れ欠陥だけでなく、不定形のへげ欠陥も強調可能な多方向線分抽出フィルタを前処理として画像全体に施し、疵検出のSN比を向上させる。

b) 動的2値化しきい値の適用

銅片地肌輝度の平均値と標準偏差から疵判定2値化しきい値を算出して動的に変化させる。これにより、紫外光源の劣化や磁粉濃度変動への対応だけでなく銅種による輝度変化にも対応可能となる。

c) 指示模様の形状による弁別

高輝度であるが面積の小さな磁粉だまりに対し、面積の大小によって除去するだけでなく、搬送方向に長い欠陥でもスリキズのような無害なものは幅方向サイズによって除去することで誤検出の低減を行っている。

2.4 メンテナンス性の向上

更新前におけるカメラ・紫外光源の設備架台機構は銅片への追従式であったため、追従機構のメ

メンテナンスが必要であった。更新後はカメラ・紫外光源架台を固定式にし、幅方向の位置ズレ補正をレーザ変位計によって行うことにした。これにより、設備の簡素化を図ることができ、追従機構のシリンダ部品などのメンテナンスを不要にすることができた。

2.5 疵分類情報の追加

検出した疵情報に対し、従来は位置座標のみの情報しか得ることができなかった。しかしながら更新後は、疵の縦／横長さ比情報から疵の分類（線状疵、へげ疵）情報を得る仕様を構築した。その結果、日々の鋼片の疵探傷結果から得られる疵分類情報から、前工程の品質状況を把握できることを可能とした。

3. 鋼片自動超音波探傷装置

自動超音波探傷装置の更新前後の設備仕様を表1（3）に示す。1981年に設置したこれまでの超音波探傷装置は稼動後24年が経過しており、老朽化によるトラブルの頻発や電装予備品の枯渇のため更新を行った。

3.1 感度校正作業の容易化

従来の感度校正作業では、超音波探傷の標準試験片（STB-V8）を用いてオペレータがプローブ全数の探傷感度を測定・調整していた。この作業には1時間程度要し、その間、探傷装置を休止させる必要があった。今回の更新では、通常操業で探傷する155mm角鋼片と同形状の感度校正用のテストピースを用いたオンライン感度校正を行うことができるようになった。これにより、感度校正時間を約8割短縮した。

4. 鋼片自動疵取装置

自動疵取装置の外観写真を図5、自動疵取装置の更新前後の仕様比較を表1（4）に示す。自動疵取装置の研削方式は、従来と同様のフライスカッタ方式を採用した。

4.1 疵取装置チップ形状の改善

図6に更新前後の自動疵取装置のチップ形状を示す。従来の疵取装置のチップは丸形チップを平行に配置したカッタ形状であった。更新後のチップはだ円形状とし、さらにチップを千鳥配置にすることによって切削幅を大きく取れるようにしている。

4.2 切削深さの改善

カッタ駆動モータ容量を従来に比べ1.7倍に増強することにより、従来1.5mmであった研削深さを3.0mmまで可能とした。また、チップ研削部の曲

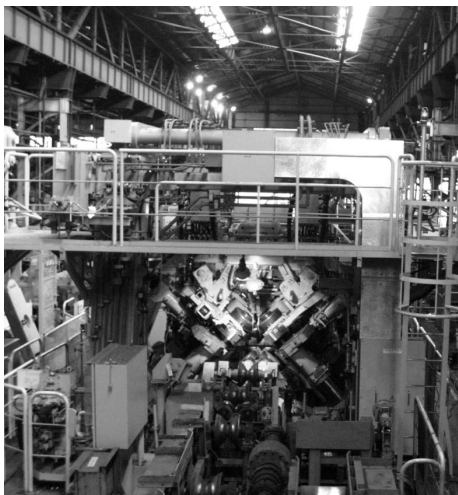


図 5 自動疵取装置の外観

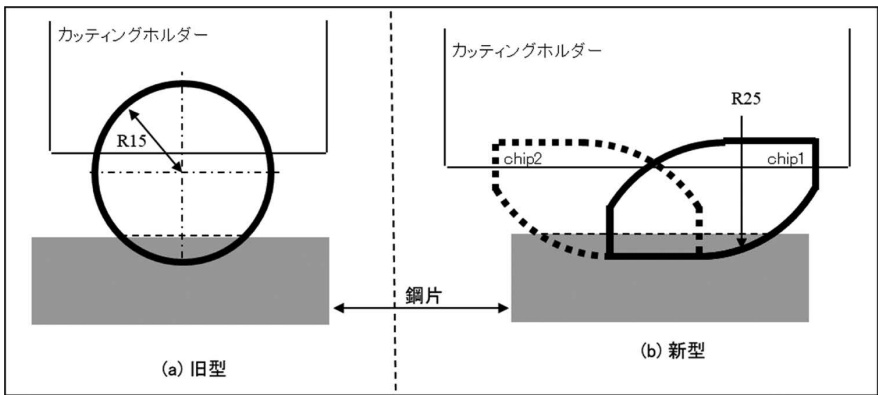


図 6 更新前 (a)、更新後 (b) のカッタチップ形状

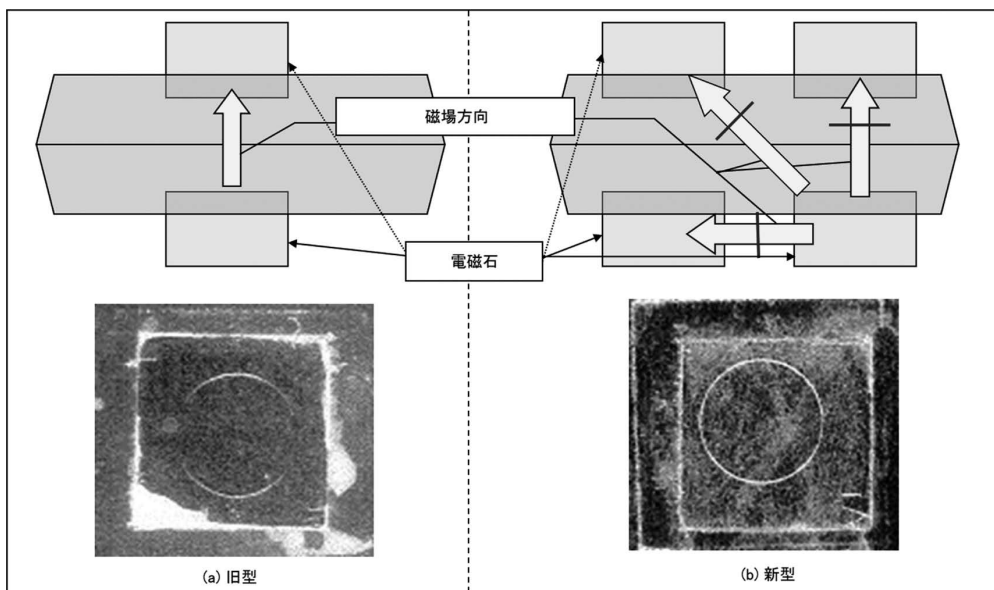


図 7 磁場形成方向と人工欠陥の見える方の更新前 (a)、更新後 (b) での比較

率を緩やかにする (Rを大きくする) ことにより、深く切削しても鋼片に有害な鋭利なくぼみが出来ない形状とした (図6)。

5. 目視磁粉探傷装置更新

目視磁粉探傷装置の更新前後の設備仕様を表1 (5) に示す。

5.1 磁化方式の改善

磁化方式の違いによる磁場形成方向の違い、および人工欠陥試験片での見える方の違いを図7に示す。従来の磁化方式は2極極間方式であり、磁場は鋼片の幅方向に分布する (図7 (a) 上)。このため、鋼片長手方向の疵に対しては磁粉が凝集し易く見やすい反面、幅方向に対しては指示模様が形成され難い状況 (図7 (a) 下) であった。これに対し、4極極間方式とした更新後は、鋼片の幅方向に加え、長手方向にも磁場が形成されるため、長手方向の疵だけでなく幅方向の疵に対しても同等の指示模様が形成することを可能とした (図7 (b) 下)。

◇ 品質改善効果

1. 表面疵保証度の改善

リフレッシュ工事後、目視磁粉探傷における残

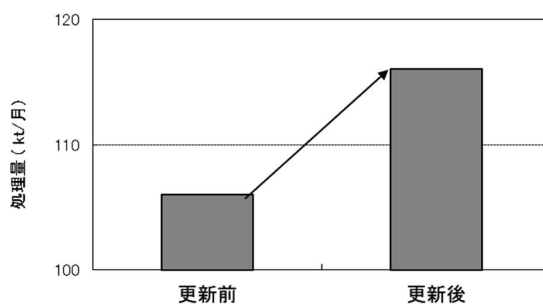


図 8 更新前後の鋼片処理量

存表面疵個数は約50%低減しており、残存疵流出リスク低減に寄与していることを確認した。

2. 処理能力の改善

図8にリフレッシュ工事前後での鋼片加工工場の処理量の比較を示す。更新前後で約10kt/月の処理量増を達成し、処理能力が向上した。

むすび

当社神戸製鉄所鋼片加工工場は、リフレッシュ工事以後順調に稼動している。

参考文献

- 1) 小川岳夫ほか：神戸製鋼技報、Vol. 50、No. 1 (2000)、p. 69

3. 光棒線工場における粗圧延改善

日鉄ステンレス(株) 製造本部 もり た ひろ き
山口製造所 棒線工場 棒線技術室 主幹 森 田 博 樹

まえがき

光棒線工場は当社唯一の棒線ミルであり、圧延工場は1962年の操業開始から62年が経過している。この間、インライン熱処理、複合加熱及びインライン分塊、フリーサイズ圧延など様々な技術の導入を図ってきた。圧延ラインは図1に示す通り途中から分岐するレイアウトで線材、バーインコイル、棒鋼を一つのラインで製造している。

ステンレス棒線は二次、三次加工の後、ねじなどの締結部材、ピン、シャフト、ばね、溶接用材料として自動車やOA機器用途で幅広く使用されている。その素材には加工中、使用中に不具合の出ない品質が求められ、特に不具合の起点となる表面疵については要求レベルが高い為、常に改善が求められている。当工場は表面疵が発生しやすいステンレス鋼に特化しており、その対策に取り組んできた。

本報では、最近の事例として粗圧延の改善事例について紹介する。

向の圧縮歪により鋼材表面に発生する疵であり鋼材全長に連続的に発生する。圧延孔型の形状や減面率などに支配される疵であり、圧延の基本条件の変更には当たっては、その影響を十分に考慮すべきものである。当工場でも特定の鋼種で慢性的にシワ疵が出荷前の検査で見発され救済工程付与や切捨てが生じており、安定製造が出来ていなかった。

2. 圧延中の鋼材温度低下による製造可能鋼種制約

連続圧延においては、各圧延スタンドで鋼材の体積速度が一定である為、鋼材断面積の大きな前段では速度が低く、小さな後段では速度が高い。熱間加工性が低い鋼種については粗圧延中に加工限界疵が発生することがあった。また、一定温度以下で加工に有害な金属相であるシグマ相（以下、 σ 相）が析出する二相系ステンレス鋼については圧延中の鋼材温度低下により安定製造が困難であった。このように、圧延中の温度履歴は製造可能範囲に大きく影響を及ぼしている。

◇ 従来の課題

1. シワ疵

シワ疵は圧延における減面の過程で、鋼材周方

◇ 各課題の概要と原因推定

1. シワ疵

シワ疵改善について、圧延孔型形状や減面率に

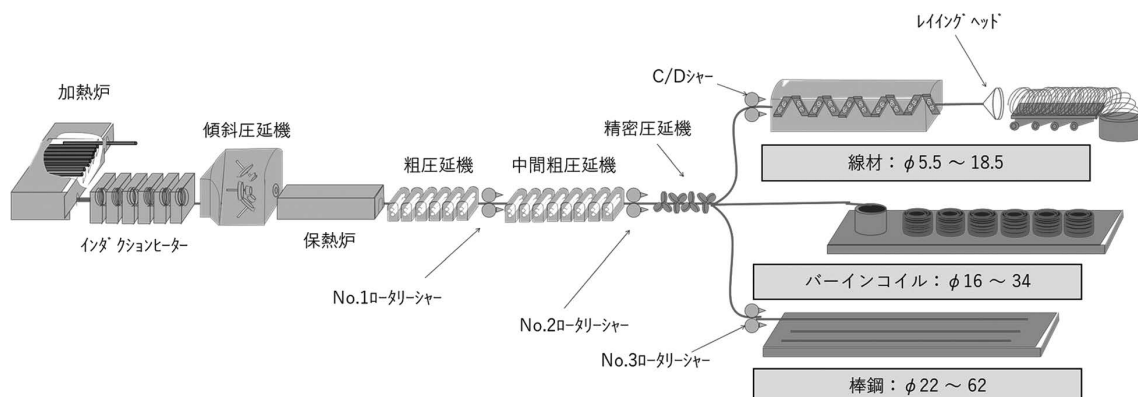


図 1 光棒線工場圧延レイアウト

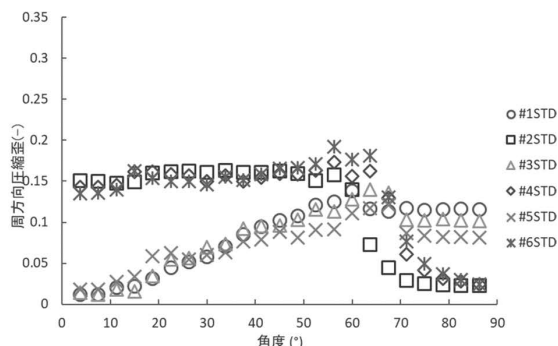
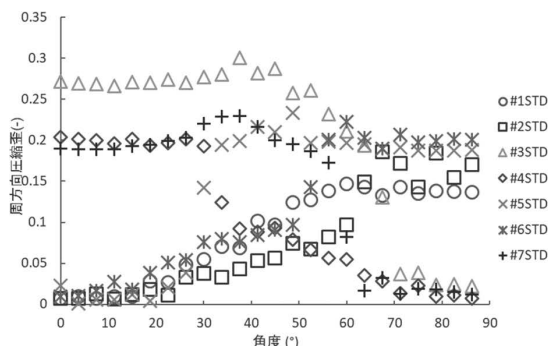


図 2 改善前後における周方向圧縮歪
(左図：改善前、右図：改善後) (解析ソフトウェア：NSCARM、日本製鉄社製²⁾)

関する指針を得るために、現状の孔型条件における周方向圧縮歪¹⁾を数値解析した結果を図2に示す。この指標を基に孔型形状と減面率の条件を検討した結果、図2に示す通り、周方向圧縮歪を大幅に低減できる条件を見出した。

特にフェライト系ステンレス鋼においては粗大粒起因でのシワ疵発生の懸念がある。傾斜圧延の高減面化と直後に配置された保熱炉での保定により、粗大粒の細粒化によるシワ疵改善の可能性がある。

2. 圧延中の鋼材温度低下による製造範囲制約

圧延中の鋼材温度は加工発熱と放冷、ロール等による抜熱により決まる。圧延速度が低い場合には抜熱が加工発熱を上回り、鋼材温度は低下する。粗圧延でこの傾向がみられるが、おおむね中間圧延以降ではその関係が逆転し圧延温度は上昇する。つまり、粗圧延時の温度降下抑制により圧延温度域を上昇させることが可能になる。当工場の粗圧延機は鋼材の捻転が必要な水平式圧延機を採用しており、鋼材を捻転させるために圧延機間距離が長く、このレイアウト上の制約は水平-垂直式の採用により改善できる可能性がある。

◇ 改善のコンセプト

前節の結果より、粗圧延機を水平式から水平-垂直式コンパクトミルに更新し、スタンド間距離を短縮し放冷を軽減した。粗圧延機の更新に伴う圧下スケジュール見直しとして、上流の傾斜圧延の減面率を高くし粗圧延を低減面率とする。併せて孔型形状も見直すことでシワ疵抑制を図った。以降の詳細は本報では割愛するが傾斜圧延の減面

率を高くすることにより導入歪の増加で組織改善を図り、製造可能範囲の拡大と品質改善を狙った。また、圧延機間にインダクションヒーターを設置することにより、温度低下抑制を強化した。さらに後端部の摺動疵発生防止対策としてNo. 1ロータリーシャーの更新を実施した。

粗圧延機は圧延ラインの中段に位置する為、既設操業と切り離された空間で工事を進める事が出来ない。今回は、工事内容を分割し比較的短い工事休止を繰り返す事で長期間の連続休止を回避し、操業中工事も行いう事で工事と生産活動のバランスを図った。

◇ 改善結果

1. シワ疵

改善前における20 μ m以下のシワ疵個数を100とすると、改善後は改善前に存在した深さ23 μ m以上の深いシワ疵がなくなり、同深さ未満の合計においても指数は13となり疵深さ、個数ともに低減された。未だ22 μ m程度のシワ疵が発生しているのは中間圧延機の捻転が残っていることが原因の1つと考えられる。

また、フェライト系ステンレスでは粗圧延機における減面低下のための傾斜圧延での組織改善によりシワ疵抑制につながった。

2. 圧延中の鋼材温度低下による製造範囲制約

改善により圧延温度域を約40 $^{\circ}$ C向上することが出来た。これにより二相系ステンレス鋼については高温圧延化が可能となったため、安定的に σ 析出温度域を回避し製造することが可能になった。

むすび

2016年に完了した一連の粗圧延の改善により、品質面、製造可能鋼種の拡大効果を得る事が出来た。しかし、最終製品から振り返ると棒線はあくまで中間製品であり、最終製品まで問題無く加工及びご使用頂く為には、更なる品質改善が求めら

れている。今後も改善を継続していく所存である。

なお、本稿の数値解析は日本製鉄の委託研究で実施した。

参 考 文 献

- 1) 串田仁ほか：神戸製鋼技報. 61 (1)、29 (2011)
- 2) 山田：第169、170回西山記念講座、(1998)、p. 53



4. 製品精整

中小形棒鋼 新矯正－検査ライン

山陽特殊製鋼(株) 谷口 玲
生産技術部 条鋼技術グループ

まえがき

当社の中小形棒鋼の製造工程の内、鋼材の2次加工・検査を実施する機種としては、矯正のみを実施する「多ロール矯正+2ロール矯正ライン」が4ライン、矯正－検査を直結して実施する「2ロール矯正+検査ライン」が3ライン、切断のみを実施する「切断ライン」が4ライン、検査のみを実施する「検査単独ライン」が2ラインと多種多様である。これらの適用寸法は、φ18～95で、熱間圧延材（As Roll材、以下R材）、冷間加工材、熱処理材等を工程に合わせ矯正、検査を実施している。

主要ユーザーである自動車メーカーは、電動化やコストダウンを目的とした小型・軽量化が進み、従来に比べ鋼材の小径化や、品種構成としては熱処理材の比率が高くなること、さらに切断処理が必要な対象が増える見込まれる。これらのニーズに応えかつ当社の生産量を達成するには、小径材かつ熱処理材の処理能力向上や切断能力の向上が課題となっていた。

そこで、熱処理材の矯正（多ロール矯正+2ロール矯正）と検査を一貫して実施できることに加え、切断能力を備えることで2次加工設備と検査設備を集約した「新矯正－検査ライン」を新設する事により、全体の矯正－検査能力を引き上げる事とした。

以下に、新たに導入した「新矯正－検査ライン」の設備概要について紹介する。

◇ 設備概要

今回導入した新矯正－検査ラインの概要を表1に示す。

新矯正－検査ラインの工程概要を図1に示す。積込み架台へ積込まれた鋼材は、解束後まず多

表 1 中小形棒鋼用 新矯正－検査ラインの概要

	設備名称	仕様
①	多ロール矯正機	φ18-95、速度70m/min
②	ショットブラスト	φ18-95、速度120m/min
③	2ロール矯正機	φ18-95、速度120m/min
④	漏洩磁束探傷機	φ18-95、速度150m/min
⑤	超音波探傷機	φ18-95、速度150m/min
⑥	磁粉探傷機	φ18-95、軸通磁化方式
⑦	高速切断機	最大φ95、エメリー切断
⑧	自動測長機	φ18-95、速度120m/min
⑨	自動寸法測定機	φ18-95、速度120m/min
⑩	異材判別装置	渦流弁別機、アーク分析器
⑪	検査台	φ18-95
⑫	自動結束機	4点結束

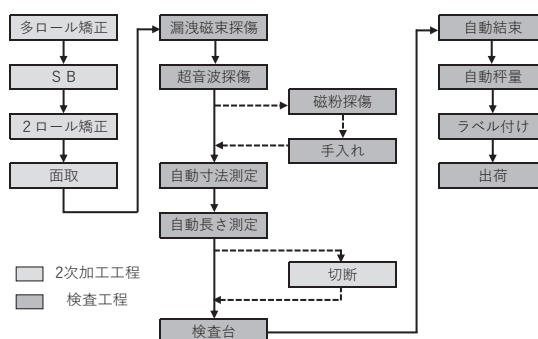


図 1 新矯正－検査ラインの工程概要

ロール矯正機で伸直され、ショットブラストにて鋼材表面のスケールを落とし、2ロール矯正機で最終の曲り許容レベルにまで伸直される。その後、デバリングテーブルで両端の面取りを行い、漏洩磁束探傷、超音波探傷機にて表面、内部の欠陥検出を行い、表面欠陥が検出された鋼材は、磁粉探傷機にて表面欠陥部を確認し、手入れを実施する。その後、搬送ライン中の自動測長・寸法測定機にて寸法・長さを測定し、検査台で色別ラベル表示、

火花検査を実施する。なお、切断が必要な場合は、検査の前に切断機にて端部切断や中断を実施する。検査後は、自動結束機にて結束し、自動秤量機にて秤量後、出荷ラベルを取付け、出荷する。

1. 矯正ライン

1.1 多ロール矯正機

千鳥配列で6本、対向配列で2本、計8本の矯正ロールを備えた多ロール矯正機（川副機械製）で、最大矯正速度は70m/minと2ロール矯正機に比べて遅いが、より曲がりの大きい鋼材の矯正が可能のため、熱処理材の矯正に適している。

1.2 2ロール矯正機

凹凹ロールが上下に1本ずつ配置された2ロール矯正機（川副機械製）にて、顧客仕様を満たす伸直度が得られるように矯正が施される。最大矯正速度は120m/minと速く、生産性に優れる。R材については鋼材の元曲がりが小さいので、2ロール矯正機のみ適用する。

2. 検査ライン

2.1 漏洩磁束探傷機

回転プローブ型の漏洩磁束探傷機で、当社既設の「2ロール矯正+検査ライン」にて導入実績がある機種と同型（フェルスター製 Ro-130）を導入した。優れた表面欠陥の検出能力に加え、最大速度150m/minと高い生産性に特徴がある。

2.2 超音波探傷機

非回転型のフェイズドアレイ超音波探傷機（エビデント製P-UST）であり、社内で8台目の導入となり、優れた欠陥検出能力と高い信頼性を誇る。同じ寸法範囲を検査する他のラインのP-USTと、探傷に用いるプローブ等の高額な予備品を共有さ

せることで、ランニングコストの削減を図っている。

2.3 異材弁別機

渦流原理を用いて束内での比較チェックを行い、異材の混入を弁別するとともに、アーク発光分析器を用いて束の代表1本の成分分析を実施し、束間での異常がないかの弁別を行っている。

3. 高速切断機

エメリー刃による高速切断機で、鋼材両端部の切断や、中断を実施する。切断にかかる所要時間は、前後工程である矯正や検査とマッチしないため、原則、オフラインでの処理となる。

4. その他

当ラインでは、通常、矯正（多ロール矯正、2ロール矯正）→検査を一貫して実施するようになっているが、双方の生産性や、操業状態に合わせ、矯正ライン、検査ラインを単体で稼動する事も可能となっている。

◇ 効果

2020年1月より本格稼動を開始し、順調に立ち上がり、熱処理材、R材の制約なく一貫して処理できる自由度の高い設備として高い生産能力を発揮している。

むすび

これまでに紹介した矯正→検査ラインにより、お客様の多様なニーズに応えさらに将来の需要増大に対応が可能な矯正→検査ラインが整った。今後も安定した生産性を維持し、品質・納期・コスト競争力向上に向け全社一丸となり取り組んでいく。

業界のうごき

浅井産業、共進精機を完全子会社化 成形機部品のラインアップを拡充

浅井産業は7月2日付で、樹脂成形機部品メーカーの共進精機を100%子会社化し、同社の事業を引き継いだ。成形機部品のラインアップ拡充や、同社のコーティング事業とのシナジー効果を見込む。

共進精機は、1968年設立で樹脂の押出成形機部品のスクリューやシリンダーなどを製造する。売り上げ規模は約10億円、従業員は42人。19年に工場兼事務棟を新設し、マシンングセンターやNCねじ研削盤、NC旋盤などの設備もあわせて増設している。後継者難の問題を抱えていたが、M&A仲介企業の紹介を経て、子会社化を決めた。

浅井産業が手がける樹脂の射出成形機部品のスクリューやシリンダーの販売に、押出成形用のスクリューやシリンダーが加わることで、一貫して樹脂の成形機部品に対応できる。両社で共通の顧客が複数存在するため、サービスの拡充にもつながる。樹脂成型機部品の表面処理分野の需要開拓も目指す。

(8月1日)

佐藤商事、浦安に新倉庫新設へ 鋼材用、2025年7月に竣工予定

佐藤商事は、千葉県浦安市に鋼材用倉庫を新設する。浦安市港の新倉庫には鋼板や特殊鋼などを在庫する計画だ。倉庫新築費用は約12億円で、土地取得や建物、設備などを含めた総投資額は約43億円。

2023年9月に取得した土地（敷地面積約5,824平方メートル）に倉庫（建築面積約3,898平方メートル）を新築し、鉄鋼事業部門における老朽化した既存倉庫（東雲倉庫、浦安倉庫）を集約移転する。これによって、業務効率化や販売体制強化を図る。

施工は関東建設工業が担い、24年

9月6日に着工し、25年7月末の竣工を計画する。

佐藤商事グループは第3次中期経営計画（23-25年度）において、「資産の入替などを実施しながら、積極的な投資活動を推進する」との方針を打ち出し、25年度を最終とする中計期間の投資額で130億円以上を目標に掲げる。今回の鋼材用新倉庫建設はこの一環。

(9月6日)

清水鋼鉄、チカラ工業を子会社化 特殊鋼鍛造や熱処理でシナジー

清水鋼鉄は8月26日付で、鍛造や熱処理を主体に事業を展開しているチカラ工業と資本業務提携に関する契約を締結して全株式を取得し、子会社化した。

チカラ工業は1963年に設立し、資本金は3,200万円。従業員は36人。自由鍛造と型打鍛造を手掛ける鍛造工場とともに、熱処理炉と焼入設備を置く熱処理工場を有する。航空機や原子力、発電機や産業機械、化学プラント向け鍛造品と熱処理を主体に、各種バルブ鍛造品なども提供する。

清水鋼鉄は宇都宮製作所、浦安鋼材課でチカラ工業と取引関係が長い。仲介業者を通じて資本業務提携の打診があった。清水鋼鉄は普通鋼の大型フリー鍛造がメイン。チカラ工業はステンレスなどの特殊鋼が主体で向け先が異なり、収益面でシナジーがあると判断した。

提携で、ステンレスを中心とした鍛造や熱処理機能が強化され、より多くの顧客に幅広い提案を行うことができる。

(8月27日)

大和特殊鋼、名古屋支店に導入 ファイバーレーザー、約2億円

大和特殊鋼は、名古屋支店稲沢商品センターのCO₂レーザー切断機2基をファイバー式1基にリブレースした。投資額は約2億円。作業効率

向上やランニングコスト削減につなげる。

トルンプ製の12キロワットファイバーレーザー「トルレーザー5060ファイバー」で、板厚は最大30ミリまで対応する。従来の6キロワットと4キロワットのCO₂レーザー切断機は導入から10年以上経過し老朽化していた。

生産量はこれまでと変わらないものの、切断スピードが速くなり、消費電力も半分以下となる。CO₂レーザーと比較して操作が容易で、メンテナンス費用も抑えられる。中厚板加工拠点である大和シャーリング春日工場（兵庫県丹波市）は、レーザー切断機全3基をCO₂レーザーからファイバーレーザーに切り替えており、今回の稲沢商品センターのリブレースで全てファイバーレーザーとなった。

(9月18日)

千曲鋼材、ファイバー機が稼働 特殊鋼の切断量・板厚を拡大へ

千曲鋼材は、茨城事業所と浦安工場倉庫に導入した小池酸素工業製12キロワットファイバーレーザー切断機「FIBERTEX6512—ZeroKF12000DBC」の稼働を軌道に乗せると同時に、CADシステムも更新した。老朽化した4キロワットCO₂レーザーをリブレース、切断能力増強と省エネ化を図った。消費電力、消耗品の低減などで約50%のランニングコスト削減を見込む。

茨城ではCO₂レーザー2基分以上の切断量を達成、今後も切断量を拡大する。浦安は高張力鋼板など特殊鋼鋼板の板厚19ミリまでの安定切断を可能とし、より厚い鋼板切断に取り組む。日本製鉄の高張力鋼板「WEL-TEN」、耐硫酸・塩酸露点腐蝕鋼板「S-TEN」など各種特殊鋼の切断で板厚19ミリまで安定切断できるようになり、習熟度を高め、より厚い鋼板切断に対応範囲を広げていく。

(9月4日)

豊田通商、南アフリカに製造合弁 トヨタ向けの自動車用部品を製造

豊田通商グループの豊田通商アフリカは、オギハラタイランドと、南アフリカトヨタ向けに自動車用プレス部品を製造する合弁会社「オギハラ南アフリカ」を、本年1月に南アフリカに設立した。出資比率はオギハラタイランドが51%、豊田通商アフリカが49%で、2026年1月からの製造開始を予定している。

部品の現地調達比率の向上を目的に、世界各国で自動車の骨格材やボディ材などのプレス部品製造を行うオギハラタイランドと共に、南アフリカトヨタ向けにプレス部品を製造する合弁会社の設立を決めた。工場稼働後は、段階的に現地でのプレス部品の生産比率を高め、最終的には完全なる現地生産とし、売上高を年間60億円規模まで高める。南アフリカトヨタの現地調達率の引き上げに寄与するとともに、現地生産する部品の種類の増加と比率向上にも取り組む。26年までに現地で約250人を雇用する。

(8月27日)

ナス物産、拠点レイアウトを刷新 関西加工拠点、シャーリング撤去

ナス物産は、ステンレスコイルセンターの関西加工センターで、倉庫の新設や事務所棟建て替えなどに約6億円を投じる。コイルセンター機能の再構築と、大阪支店を含めた職場環境改善、将来を見据えた基盤強化の一環。今回の設備投資は、拠点のレイアウトの見直しを兼ねており、その一つとしてシャーリング設備を撤去する。レイアウト見直しと建屋新設は、2026年3月の完成予定。

関西加工センターは、建屋と事務所棟の老朽化が進み、厚中板などの平置きスペースが不足していた。レイアウト刷新は、シャーリング設備

などが入っていた第一工場を中心に、建屋の半分を解体する改修工事を行い、約800平方メートルの倉庫に改修。残りの敷地に新事務所棟を建てる。

これによりステンレス鋼板の平置きスペースが約1.5倍に拡大。薄板や厚中板の品ぞろえの拡充と物流効率化に対応する。新事務所棟も敷地面積が約1.5倍となる。

(9月18日)

三井物産、電磁鋼板加工拠点開設 2026年4月稼働、70億円投資

三井物産は、ポーランド南部のスカルビミエシュに電磁鋼板加工会社を設立した。投資額は約70億円。2026年4月の工場稼働開始を予定する。欧州ではオランダ、チェコに続く3つ目の電磁鋼板加工拠点となる。気候変動問題への対応などで、電動車や変圧器の需要拡大が見込まれる中、安定供給の実現に向け、電磁鋼板サプライチェーンを増強する。

新会社「ポルスカミットスチール(PMS社)」は、電磁鋼板のスリット加工・販売を展開し、年間加工量は3万4,000トン計画。電動車(EV)のモーターコアに使われる無方向性電磁鋼板(NO)と、変圧器コア向けの方向性電磁鋼板(GO)の両方の加工・販売を手掛ける。従業員数は約50人を予定。PMS社はカナダと同様、NO・GOともに対応する計画で、EVと変圧器のいずれの分野に対しても電磁鋼板の供給力を高め、脱炭素社会の実現に貢献していく。

(8月16日)

愛知製鋼、共同研究の次世代肥料 トウモロコシ鉄欠乏症状を改善

愛知製鋼は石川県立大学と徳島大学との共同研究で次世代鉄肥料PDMA(プロリンデオキシムギネ酸)が、アルカリ性土壌におけるトウモロコシの鉄欠乏症状を効果的に改善できることを実証した。アルカリ性土壌

では鉄の溶解度が極めて低く、多くの植物は鉄を十分に吸収できず、鉄欠乏症状を起こす。2021年に徳島大学と共同開発したPDMAの鉄欠乏改善効果は従来の研究成果であるイネに加えて、今回、世界の主要作物であるトウモロコシでも効果があることが分かった。

この結果はトウモロコシだけでなく、近縁種で鉄欠乏にかかりやすいソルガムにも同様の効果があることが期待され、アルカリ土壌における食糧生産やバイオマスエネルギー活用への貢献が期待できる技術と考えられるとし、機関と協力しながら研究を継続するとともに、安価な製造方法の取り組みを進めることで、PDMAの早期実用化を目指す。

(9月18日)

神戸製鋼、中国コンテナ船に採用 低CO₂高炉材、常石造船の傘下

神戸製鋼所は、低CO₂高炉鋼材「コベナブルスチール」が、新たに常石造船の中国現地法人、常石集団(舟山)造船が建造する5900TEUコンテナ運搬船に採用された。同船は常石グループとして初建造となるメタノール二元燃料焚きコンテナ運搬船で、燃料タンク用途に使用、常石造船が掲げるCO₂排出量削減ロードマップの実現に生かす。コベナブルスチールは鋼材製造でのCO₂排出量をマスバランス方式で100%削減したグリーンスチールで、今回が初の海外採用となる。

建造されるコンテナ運搬船はメタノール二元燃料焚きの船舶で、重油に加え、メタノールにも使用可能な二元燃料エンジンを搭載する。回収したCO₂と再生可能エネルギー由来の水素から合成されたメタノールや、バイオマスから製造したバイオメタノールなどのグリーンメタノールを使用し、カーボンニュートラルを実践する。

(8月22日)

JFEスチール、東南アで市場形成 グリーン鋼材、マレーシア社と協業

JFEスチールは、マレーシアの鋼板・鋼管メーカーグループのマイクロンスチール（MSB）とグリーン鋼材「ジェイグリークス（JGreeX）」の供給スキームの確立に向けた覚書を締結した。マイクロングループはJFEにとって長期にわたるホットコイルなどの販売先で、東南アジアでの重要なパートナー。今回の協業に関する覚書の締結で、同グループとの戦略的なパートナーシップを拡大するとともに、東南アジアでのグリーン鋼材市場の拡充を目指す。

MSBは、冷延コイル鋼板の製造・販売を行っているマイクロンスチールCRC（MSCRC）と、鋼管の製造・販売を行っているメラワスチールチューブ（MST）を完全子会社として傘下に持つ純粋持ち株会社。MSCRCおよびMSTが製造・販売する鉄鋼製品の母材として「ジェイグリークス」を供給するスキームの確立を進める。

（9月25日）

大同特殊鋼、超大型金型鋼を販売 焼入性4倍、ギガキャスト工法向け

大同特殊鋼は、ギガキャスト工法に対応した熱間金型用鋼「DHA-GIGA」を開発し9月から販売を開始した。超大型ダイカスト金型用鋼の開発は日本初で、JIS SKD61相当鋼に対し約4倍の焼入性を実現。従来の金型用鋼に比べ使用中の割れを抑制でき、超大型ダイカスト金型の寿命の安定化、大型ダイカスト部品のトータルコスト低減に貢献していく。ギガキャスト工法の適用が先行する中国市場から本格販売を開始し、2030年には年間40億円の売り上げ規模を目指していく。

販売は中国から開始。無錫頂鋒日嘉金属制品（住友商事グループ）と

連携した在庫体制を整備、同社が導入済の大型熱処理設備と独自熱処理プロセスを用い、ギガキャスト用の金型を製作する現地メーカーからの焼き入れなどのニーズに対応。国内は大同DMソリューションをはじめ、特約店各社と連携した供給体制の整備を進める。

（9月10日）

日鉄ステンレスの塗装ステンレス 新ブランド「コルサム」に統合

日鉄ステンレスは、ステンレス鋼板にカラーコーティングを施した、カラー塗装ステンレス鋼板を、新ブランド「Colxam（コルサム）」に統合した。これまで3つあったブランドや仕様を統合し、製品保証期間を塗装鋼板としては最長の「穴あき30年保証」とする。

カラー塗装ステンレス鋼板は、原板に豊富な鋼種群を適用することができ、使用環境に応じた最適な製品の提案、長期的なメンテナンス負荷低減などのソリューションを提供。

ブランドの統合に伴い、製品コンセプトを「時代を超える社会の価値を守り続ける」と制定。カラー塗装ステンレス鋼板の耐久性や耐候性、意匠性がもたらす未来の暮らしを豊かに社会の価値を守り続ける「創造力」、ステンレスの可能性を追求し、新たな価値を創造する「製品力」、パートナー企業との相乗的な革新による「共創力」を持った素材であることをアピールする。

（9月24日）

日本製鉄、G/GJスチール増強 タイ電炉一貫ミル、60億円投資

日本製鉄はタイ子会社のGスチール、GJスチール（G/GJスチール）の品質対応力、コスト競争力強化のための約15億パーツ（約60億円）の投資を決めた。Gスチールでスキップ設備を新設、スクラップヤードを改善し、G/GJスチールとしてスク

ラップ管理強化投資を実施する。日本製鉄は投資資金を融資するなど競争力強化を支援する。

電炉から熱延製品を一貫生産するG/GJスチールはタイ唯一の鉄源・熱延一貫ミルとして重視している。今回決めた投資に加え、今後3年間必要な老朽更新を集中的に実施する方針。

G/GJスチールは主にタイ国内の建材、鋼管向けに安定供給してきたのに加え、高強度建材、建材リロールメーカー向け原板供給、欧州、近隣諸国向け輸出など市場開拓を進めている。タイ当局傘下の認証機関からカーボン排出量の認証を取得、他認証機関からの環境関連認証取得も検討している。

（8月13日）

三菱製鋼、特殊合金粉末を増産 広田で水アトマイズラインを増設

三菱製鋼は需要が拡大する特殊合金粉末を増産するため、広田製作所内において、水アトマイズラインを増設することを決めた。生産能力を現行比5割アップする計画であり、総投資額は約7億円。完成時期は2025年末を予定している。

三菱製鋼グループでは、特殊合金粉末事業を今後成長が期待できる戦略事業と位置付けている。特にスマートフォンや自動車などの通信・制御機器向けインダクターに使用される軟磁性粉末は市場が大きく伸びる見込み。

三菱製鋼の製品は粉末特性の技術的改善が進んだことによって、開発案件や受注が漸増している。現行の生産ラインはフル稼働状態にあることから、今回、増産に向けた設備投資に踏み切るもの。受注状況を見ながら、さらなる設備増強も検討するという。

（8月13日）

文責：（株）産業新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼 種 別

(単位：t)

年 月	構 造 用 鋼				特 殊 用 途 鋼						計	合 計
	工具鋼	機械構造用炭素鋼	構 造 用合金鋼	計	ばね鋼	軸 受 鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他		
'22 暦 年	206,094	4,161,155	3,482,662	7,643,817	318,691	838,284	2,439,490	475,955	4,516,055	447,854	9,036,329	16,886,240
'23 暦 年	131,234	3,899,876	3,309,651	7,209,527	305,663	732,298	1,949,309	440,740	4,731,166	371,781	8,530,957	15,871,718
'22 年 度	182,740	4,012,556	3,357,873	7,370,429	311,005	793,313	2,311,937	456,157	4,507,723	423,410	8,803,545	16,356,714
'23 年 度	124,303	3,808,100	3,291,381	7,099,481	303,187	735,856	1,953,747	433,670	4,829,099	376,470	8,632,029	15,855,813
'23. 7-9月	26,313	978,133	866,866	1,844,999	75,678	187,207	471,916	111,729	1,248,342	96,472	2,191,344	4,062,656
10-12月	31,337	984,424	810,733	1,795,157	79,080	180,417	488,160	110,947	1,212,803	88,301	2,159,708	3,986,202
'24. 1-3月	28,407	892,716	767,063	1,659,779	71,912	179,252	498,248	104,611	1,223,663	102,477	2,180,163	3,868,349
4-6月	31,225	852,571	785,419	1,637,990	71,608	169,398	509,372	98,132	1,144,155	94,333	2,086,998	3,756,213
'23年 7月	10,747	339,636	307,640	647,276	27,577	67,017	167,599	35,808	397,380	30,878	726,259	1,384,282
8月	7,165	298,290	250,449	548,739	20,496	56,933	157,521	33,753	419,799	31,087	719,589	1,275,493
9月	8,401	340,207	308,777	648,984	27,605	63,257	146,796	42,168	431,163	34,507	745,496	1,402,881
10月	10,637	330,374	289,712	620,086	25,381	56,771	148,392	35,709	407,462	32,767	706,482	1,337,205
11月	10,268	340,608	286,660	627,268	27,645	62,265	170,404	39,084	419,744	26,926	746,068	1,383,604
12月	10,432	313,442	234,361	547,803	26,054	61,381	169,364	36,154	385,597	28,608	707,158	1,265,393
'24年 1月	8,297	305,237	260,534	565,771	20,176	58,454	156,079	36,081	443,561	35,346	749,697	1,323,765
2月	10,399	285,776	254,630	540,406	26,042	60,596	174,801	32,795	380,592	34,116	708,942	1,259,747
3月	9,711	301,703	251,899	553,602	25,694	60,202	167,368	35,735	399,510	33,015	721,524	1,284,837
4月	10,034	264,730	241,242	505,972	23,084	54,442	161,654	29,710	368,511	32,227	669,628	1,185,634
5月	9,225	311,683	287,379	599,062	24,460	61,149	173,596	32,123	380,888	31,595	703,811	1,312,098
6月	11,966	276,158	256,798	532,956	24,064	53,807	174,122	36,299	394,756	30,511	713,559	1,258,481
7月	12,045	306,106	290,700	596,806	24,151	65,119	174,883	38,584	415,925	33,492	752,154	1,361,005
8月	8,872	276,156	233,510	509,666	24,682	53,753	172,209	36,040	368,051	29,079	683,814	1,202,352
前 月 比	73.7	90.2	80.3	85.4	102.2	82.5	98.5	93.4	88.5	86.8	90.9	88.3
前年同月比	123.8	92.6	93.2	92.9	120.4	94.4	109.3	106.8	87.7	93.5	95.0	94.3

出所：一般社団法人日本鉄鋼連盟『特殊鋼鋼材生産・消費・在庫内訳』から作成。

形 状 別

(単位：t)

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
'22 暦 年	293,422	5,401,742	1,019,267	3,386,987	1,083,496	5,701,276	16,886,190
'23 暦 年	232,299	5,089,014	930,232	3,120,799	1,021,303	5,477,902	15,871,549
'22 年 度	278,130	5,185,205	997,569	3,270,099	1,070,471	5,555,186	16,356,660
'23 年 度	224,655	5,025,161	936,013	3,117,568	1,033,099	5,519,352	15,855,848
'23. 7-9月	63,402	1,291,768	248,030	793,923	279,239	1,386,253	4,062,615
10-12月	51,194	1,274,735	207,850	810,680	250,978	1,390,760	3,986,197
'24. 1-3月	47,835	1,180,377	228,300	777,301	265,805	1,368,919	3,868,537
4-6月	56,041	1,143,543	231,302	746,405	273,606	1,305,295	3,756,192
'23年 7月	20,995	438,701	103,368	263,532	86,255	471,432	1,384,283
8月	11,866	392,938	69,527	244,818	84,371	471,964	1,275,484
9月	30,541	460,129	75,135	285,573	108,613	442,857	1,402,848
10月	18,966	437,015	83,080	260,985	76,245	460,914	1,337,205
11月	18,457	434,810	75,327	281,251	94,100	479,660	1,383,605
12月	13,771	402,910	49,443	268,444	80,633	450,186	1,265,387
'24年 1月	15,336	384,265	84,493	262,672	95,569	481,430	1,323,765
2月	16,926	382,904	80,180	253,809	81,099	444,828	1,259,746
3月	15,573	413,208	63,627	260,820	89,137	442,661	1,285,026
4月	17,998	344,918	80,634	238,726	96,806	406,544	1,185,626
5月	19,251	409,384	87,970	265,602	85,648	444,236	1,312,091
6月	18,792	389,241	62,698	242,077	91,152	454,515	1,258,475
7月	19,206	418,604	93,645	269,889	76,684	482,965	1,360,993
8月	8,622	362,556	71,805	251,571	64,472	444,512	1,203,538
前 月 比	44.9	86.6	76.7	93.2	84.1	92.0	88.4
前年同月比	72.7	92.3	103.3	102.8	76.4	94.2	94.4

出所：経済産業省『生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼						計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他		
'22 暦 年	240,621	2,647,463	1,418,096	4,065,559	60,774	373,650	1,457,325	114,890	71,058	91,912	2,169,609	6,475,789
'23 暦 年	222,460	2,603,870	1,370,867	3,974,737	96,262	338,483	1,206,080	101,169	58,915	82,812	1,883,721	6,080,918
'22 年 度	232,624	2,551,967	1,358,265	3,910,232	72,037	360,226	1,396,971	106,248	68,738	89,161	2,093,381	6,236,237
'23 年 度	218,218	2,615,710	1,413,014	4,028,724	95,069	331,334	1,159,703	99,779	58,281	81,495	1,825,661	6,072,603
'23年 12月	16,649	226,282	124,265	350,547	8,312	28,074	96,034	8,163	4,878	6,255	151,716	518,912
'24年 1月	16,736	211,956	115,755	327,711	7,219	25,628	87,119	6,793	4,638	6,138	137,535	481,982
2月	17,298	215,734	119,487	335,221	7,398	27,393	95,542	8,486	5,313	6,178	150,310	502,829
3月	17,257	195,123	114,007	309,130	7,825	22,826	97,572	7,659	4,937	7,295	148,114	474,501
4月	17,322	209,620	120,371	329,991	7,119	25,466	97,835	7,352	5,473	8,223	151,468	498,781
5月	17,971	215,755	121,978	337,733	7,376	27,031	105,002	7,373	5,191	5,305	157,278	512,982
6月	17,364	212,701	118,510	331,211	7,870	29,982	102,863	7,823	5,131	6,482	160,151	508,726
7月	19,010	227,861	128,576	356,437	8,249	32,101	108,809	8,306	5,390	6,282	169,137	544,584
8月	14,323	209,247	122,803	332,050	10,683	28,368	87,812	6,734	4,478	4,368	142,443	488,816
前 月 比	75.3	91.8	95.5	93.2	129.5	88.4	80.7	81.1	83.1	69.5	84.2	89.8
前年同月比	84.4	99.5	104.2	101.2	135.8	106.9	104.6	89.4	110.6	69.6	104.6	101.6

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力 鋼	そ の 他			
'22 暦 年	10,897	221,700	136,904	358,604	21,346	37,569	156,975	22,390	137,751	16,870	392,901	762,402	
'23 暦 年	6,379	184,699	122,687	307,386	17,529	33,998	112,876	17,584	147,601	16,229	345,817	659,582	
'22 年 度	8,870	207,670	133,119	340,789	17,942	28,734	126,791	21,907	129,474	19,381	344,229	693,888	
'23 年 度	6,318	190,855	126,343	317,198	21,360	32,140	115,164	19,343	145,922	20,728	354,657	678,173	
'23年 12月	6,379	184,699	122,687	307,386	17,529	33,998	112,876	17,584	147,601	16,229	345,817	659,582	
'24年 1月	6,275	193,940	123,871	317,811	17,848	30,429	112,645	21,139	155,758	26,397	364,216	688,302	
2月	6,834	199,119	124,482	323,601	19,326	32,509	115,026	19,220	154,755	27,598	368,434	698,869	
3月	6,318	190,855	126,343	317,198	21,360	32,140	115,164	19,343	145,922	20,728	354,657	678,173	
4月	5,409	180,027	113,027	293,054	18,926	28,648	114,106	16,870	144,963	22,198	345,711	644,174	
5月	5,106	180,460	118,152	298,612	17,653	30,137	112,087	19,764	157,293	20,036	356,970	660,688	
6月	6,274	171,692	122,663	294,355	17,179	33,207	99,577	17,543	153,522	18,824	339,852	640,481	
7月	4,974	167,521	118,703	286,224	18,866	32,089	99,172	19,969	155,338	20,459	345,893	637,091	
8月	5,933	197,065	132,610	329,675	20,384	34,058	108,717	22,454	154,189	24,613	364,415	700,023	
前 月 比	119.3	117.6	111.7	115.2	108.0	106.1	109.6	112.4	99.3	120.3	105.4	109.9	
前年同月比	111.9	97.3	97.9	97.5	118.5	96.9	94.3	102.0	96.3	114.3	98.1	98.0	

出所：一般社団法人日本鉄鋼連盟『特殊鋼鋼材生産・消費・在庫内訳』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力 鋼	そ の 他			
'22 暦 年	81,587	253,146	197,352	450,498	11,832	52,605	258,437	12,975	14,050	8,869	358,768	890,853	
'23 暦 年	79,254	272,987	225,003	497,990	4,212	53,648	245,905	12,373	13,819	6,796	336,753	913,997	
'22 年 度	81,307	258,660	201,555	460,215	5,698	53,549	251,097	11,289	13,844	10,330	345,807	887,329	
'23 年 度	80,788	265,640	219,878	485,518	4,220	53,304	254,822	12,870	13,897	9,408	348,521	914,827	
'23年 12月	79,254	272,987	225,003	497,990	4,212	53,648	245,905	12,373	13,819	6,796	336,753	913,997	
'24年 1月	78,805	273,421	217,674	491,095	3,983	52,479	247,115	12,445	13,791	7,098	336,911	906,811	
2月	78,950	262,986	215,291	478,277	4,189	53,578	247,111	13,237	13,772	7,232	339,119	896,346	
3月	80,788	265,640	219,878	485,518	4,220	53,304	254,822	12,870	13,897	9,408	348,521	914,827	
4月	80,430	262,061	217,724	479,785	4,860	54,140	253,568	12,875	13,798	6,994	346,235	906,450	
5月	83,899	262,420	217,044	479,464	4,202	56,650	248,315	11,621	13,592	7,615	341,995	905,358	
6月	84,822	260,928	220,183	481,111	3,831	55,172	247,509	12,529	13,800	8,351	341,192	907,125	
7月	83,003	252,434	213,112	465,546	2,955	52,153	247,588	11,559	13,916	8,709	336,880	885,429	
8月	84,593	251,757	212,770	464,527	2,082	51,525	245,812	11,538	13,975	7,936	332,868	881,988	
前 月 比	101.9	99.7	99.8	99.8	70.5	98.8	99.3	99.8	100.4	91.1	98.8	99.6	
前年同月比	105.2	104.8	109.4	106.9	55.4	91.8	99.1	111.0	104.1	110.7	98.2	103.3	

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸 出

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼					そ の 他 の 鋼			特殊鋼 鋼材合計	
		機械構造 用炭素鋼	構造用 合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ 線 材	計	高炭素鋼	合金鋼	計		
'22 暦 年	39,183	381,705	495,244	876,949	166,355	786,001	97,860	71,081	1,121,297	3,180	4,900,636	4,903,816	6,941,245	
'23 暦 年	27,430	330,181	432,404	762,585	154,170	687,942	77,594	49,297	969,003	2,384	4,406,897	4,409,280	6,168,298	
'22 年 度	37,482	369,309	484,741	854,050	164,491	757,239	90,378	70,711	1,082,819	3,209	4,735,671	4,738,880	6,713,231	
'23 年 度	25,446	328,463	410,320	738,783	145,601	678,595	76,319	49,323	949,838	2,112	4,543,153	4,545,265	6,259,333	
'23年 11月	2,124	25,926	38,496	64,422	12,866	52,844	8,150	4,203	78,063	153	375,885	376,038	520,647	
	12月	2,180	32,094	35,514	67,607	12,199	62,200	6,849	5,511	86,758	219	361,406	361,625	518,171
'24年	1月	1,964	24,215	29,411	53,626	10,843	51,299	6,154	2,166	70,462	142	389,404	389,546	515,598
	2月	2,038	25,993	34,570	60,563	11,784	56,863	5,731	7,758	82,136	270	370,271	370,541	515,277
	3月	2,361	31,035	31,061	62,096	9,479	61,263	7,057	3,586	81,385	119	413,614	413,732	559,574
	4月	2,239	22,257	40,106	62,363	15,310	58,713	6,655	2,890	83,568	202	321,172	321,374	469,544
	5月	2,221	29,829	31,659	61,488	15,232	63,665	3,814	8,443	91,154	159	370,619	370,778	525,641
	6月	2,298	26,670	34,504	61,174	12,357	58,919	8,561	4,919	84,757	141	338,779	338,919	487,147
	7月	2,556	25,434	40,600	66,034	12,392	64,327	6,394	3,224	86,337	146	382,764	382,910	537,837
	8月	1,892	24,284	36,593	60,877	10,238	64,046	9,043	4,724	88,051	155	326,117	326,272	477,092
前 月 比	74.0	95.5	90.1	92.2	82.6	99.6	141.4	146.6	102.0	106.6	85.2	85.2	88.7	
前年同月比	114.3	98.4	123.1	111.9	122.5	110.9	233.3	132.9	119.7	108.6	87.1	87.1	94.6	

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸 入

(単位：t)

年 月	工具鋼	ばね鋼	ス テ ン レ ス 鋼						快削鋼	その他の鋼			特殊鋼 鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管	計		高炭素鋼	合金鋼	計	
'22 暦 年	4,066	16,285	344	12,418	11,486	264,312	20,503	309,062	171	7,158	178,111	185,269	514,853
'23 暦 年	2,272	21,741	399	9,614	9,100	201,615	18,626	239,354	74	13,527	170,682	184,208	447,649
'22 年 度	3,489	17,731	395	11,981	10,646	235,419	20,335	278,777	138	8,721	173,885	182,606	482,740
'23 年 度	2,233	22,166	407	9,430	9,110	217,254	18,220	254,420	71	12,336	168,071	180,407	459,297
'23年 11月	175	1,648	43	649	736	17,558	1,780	20,767	2	1,273	16,720	17,992	40,585
12月	164	1,449	17	866	935	16,705	1,201	19,724	2	1,835	12,205	14,040	35,379
'24年 1月	170	1,698	63	712	828	19,173	1,567	22,343	3	779	13,911	14,690	38,903
2月	123	1,540	50	738	715	21,994	1,310	24,808	12	382	12,658	13,040	39,524
3月	263	2,153	29	903	789	17,680	1,454	20,855	1	1,253	14,162	15,415	38,686
4月	243	2,252	54	901	941	25,133	1,477	28,506	5	1,440	13,727	15,167	46,173
5月	228	1,856	51	939	951	23,994	1,883	27,818	2	880	11,323	12,203	42,107
6月	344	2,048	67	856	793	20,483	1,377	23,575	1	1,444	16,037	17,481	43,450
7月	338	2,226	50	1,057	934	19,632	1,802	23,476	4	998	14,016	15,014	41,059
p 8月	225	2,764	21	783	646	22,898	1,267	25,615	4	979	9,957	10,936	39,544
前 月 比	66.5	124.1	43.0	74.0	69.2	116.6	70.3	109.1	103.5	98.0	71.0	72.8	96.3
前年同月比	131.8	194.0	99.0	97.3	93.9	114.4	87.6	111.5	-	274.4	74.4	79.6	103.2

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p:速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年 月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新 車 登 録・ 軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機 械 受注額	産業機械 受注額	工作機械 受注額
	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	うち トラック	フル ドーザ	パワー ショベル	フォーク リフト	ショベル トラック			
'22 暦 年	7,835,482	1,184,553	3,813,269	406,156	4,201,320	747,543	-	232,157	126,574	11,795	107,418	52,146	17,596
'23 暦 年	8,998,538	1,127,470	4,422,682	341,140	4,779,086	777,949	-	238,886	105,102	13,322	103,550	55,504	14,865
'22 年 度	8,100,863	1,195,947	3,864,096	396,817	4,385,649	765,986	-	230,526	123,367	12,099	107,937	52,652	17,056
'23 年 度	8,678,446	1,034,605	4,462,335	317,691	4,528,668	713,014	-	235,643	99,584	13,384	102,968	55,822	14,531
'23年 11月	857,001	104,551	399,591	24,474	411,089	66,278	-	20,533	8,649	1,306	8,219	3,428	1,159
12月	741,457	90,612	432,532	29,727	362,839	60,334	-	19,282	7,957	1,144	8,378	7,359	1,271
'24年 1月	578,126	61,653	295,133	22,755	334,876	48,691	-	17,370	6,780	888	8,238	3,716	1,110
2月	616,763	54,964	350,166	21,657	344,820	45,355	-	18,150	7,825	1,123	8,868	4,075	1,142
3月	710,389	93,766	348,539	22,262	451,444	66,076	-	19,546	7,899	1,022	9,130	6,459	1,357
4月	646,404	84,926	365,106	26,501	310,345	50,902	-	17,550	8,081	1,107	8,863	3,962	1,209
5月	651,285	82,304	295,741	21,975	312,406	50,375	-	17,038	8,149	1,043	8,578	5,167	1,245
6月	691,286	89,210	362,975	26,221	373,599	60,806	-	17,212	8,347	1,069	8,761	5,472	1,338
7月	804,080	102,565	378,591	24,849	405,175	65,543	-	17,099	9,202	1,198	8,749	3,745	1,239
8月	-	-	294,158	22,767	328,471	56,145	-	12,773	6,897	943	8,581	3,394	1,108
前 月 比	-	-	77.7	91.6	81.1	85.7	-	74.7	75.0	78.7	98.1	90.6	89.4
前年同月比	-	-	82.9	87.4	96.5	95.0	-	68.6	89.8	96.5	101.6	76.7	96.5

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、

新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、

機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2 0 2 4 年 8 月 分

鋼種別	月 別		実 数 (t)	前 月 比 (%)	前 年 同 月 比 (%)	2015年基準 指 数 (%)	
	項 目						
工 具 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		8,872	73.7	123.8	43.0	
	鋼 材 輸 入 実 績		225	66.5	131.8	73.0	
	販 売 業 者	受 入 計	15,913	92.6	100.2	59.0	
		販 売 計	14,323	75.3	84.4	54.5	
		うち消費者向	11,903	74.4	83.2	62.9	
		在 庫 計	84,593	101.9	105.2	143.2	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		1,892	74.0	114.3	39.7	
	生 産 者 工 場 在 庫		5,933	119.3	111.9	71.5	
	総 在 庫		90,526	102.9	105.6	134.4	
	構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		509,666	85.4	92.9	74.5
販 売 業 者		受 入 計	331,031	97.1	102.1	50.6	
		販 売 計	332,050	93.2	101.2	50.8	
		うち消費者向	273,509	91.1	101.2	62.3	
		在 庫 計	464,527	99.8	106.9	132.0	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績		60,877	92.2	111.9	74.1		
生 産 者 工 場 在 庫		329,675	115.2	97.5	94.2		
総 在 庫		794,202	105.6	102.8	113.2		
ば ね 鋼		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		24,682	102.2	120.4	68.6
		鋼 材 輸 入 実 績		2,764	124.1	194.0	678.2
	販 売 業 者	受 入 計	9,810	133.1	131.3	46.3	
		販 売 計	10,683	129.5	135.8	50.9	
		うち消費者向	2,537	92.6	110.9	54.6	
		在 庫 計	2,082	70.5	55.4	17.1	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		10,238	82.6	122.5	65.1	
	生 産 者 工 場 在 庫		20,384	108.0	118.5	78.9	
	総 在 庫		22,466	103.0	107.2	59.1	
	ス テ ン レ ス 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		172,209	98.5	109.3	75.0
鋼 材 輸 入 実 績		25,615	109.1	111.5	177.0		
販 売 業 者		受 入 計	86,036	79.0	105.2	34.3	
		販 売 計	87,812	80.7	104.6	34.9	
		うち消費者向	43,445	83.0	99.9	77.7	
		在 庫 計	245,812	99.3	99.1	179.8	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績		64,046	99.6	110.9	73.0		
生 産 者 工 場 在 庫		108,717	109.6	94.3	94.4		
総 在 庫		354,529	102.2	97.6	140.7		
快 削 鋼		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		36,040	93.4	106.8	70.2
	販 売 業 者	受 入 計	6,713	91.5	84.4	47.5	
		販 売 計	6,734	81.1	89.4	46.8	
		うち消費者向	5,967	78.1	85.8	42.9	
		在 庫 計	11,538	99.8	111.0	85.2	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		9,043	141.4	233.3	94.5	
	生 産 者 工 場 在 庫		22,454	112.4	102.0	80.9	
	総 在 庫		33,992	107.8	104.9	82.3	
	高 抗 張 力 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		368,051	88.5	87.7	89.2
		販 売 業 者	受 入 計	4,537	82.4	109.4	44.1
販 売 計			4,478	83.1	110.6	44.0	
うち消費者向			3,719	83.6	111.3	55.5	
在 庫 計			13,975	100.4	104.1	127.5	
生 産 者 工 場 在 庫		154,189	99.3	96.3	81.3		
総 在 庫		168,164	99.4	96.9	83.8		
そ の 他		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		82,832	84.0	94.1	59.9
		販 売 業 者	受 入 計	31,335	87.7	90.8	77.3
			販 売 計	32,736	85.3	99.8	80.8
	うち消費者向		32,192	86.9	102.8	87.6	
	在 庫 計		59,461	97.7	94.0	111.9	
	生 産 者 工 場 在 庫		58,671	111.7	103.5	84.8	
	総 在 庫		118,132	104.2	98.5	96.6	
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,202,352	88.3	94.3	76.4
		鋼 材 輸 入 実 績 計		39,544	96.3	103.2	48.7
		販 売 業 者	受 入 計	485,375	92.8	102.0	47.7
販 売 計			488,816	89.8	101.6	48.0	
うち消費者向			373,272	88.8	100.4	64.8	
在 庫 計			881,988	99.6	103.3	138.4	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		477,092	88.7	94.6	74.2		
生 産 者 工 場 在 庫		700,023	109.9	98.0	89.1		
総 在 庫		1,582,011	103.9	100.9	111.2		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算。

(注) 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び銅管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(2024年8月1日～9月30日)

海外委員会

説明会

日 時：2024年9月26日（木）

15時00分～17時00分

場 所：「鉄鋼会館」802～804号室

演 題：2023年度調査報告書「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」

講 師：(株)現代文化研究所 調査研究本部
上席主席研究員 山元 哲史 氏

申込者：50名

市場開拓調査委員会

特殊鋼PR展示・講演会WG

第11回高機能金属展 東京展出展キックオフ
ミーティング

日 時：2024年9月9日（月）

11時00分～12時00分

方 式：Web会議

議 題：①共同出展社紹介
②ブースレイアウトについて
③今後のスケジュールについて

説明会

日 時：2024年9月19日（木）

13時00分～14時30分

場 所：「鉄鋼会館」803～804号室（Web参加含む）

演 題：2023年度調査報告書「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影響に関する調査」

講 師：コベルコビジネスパートナーズ(株)
産業情報部 産業情報グループ
主任研究員 本城 貴充 氏

申込者：270名

編集委員会

本委員会

日 時：2024年8月23日（金）

15時00分～16時00分

場 所：「鉄鋼会館」805号室（Web出席含む）

議 題：①編集委員会委員の交代
②2025年1月号特集「製鋼の設備と

技術」の編集方針、内容の確認

③2025年3月号特集「需要分野の動向と特殊鋼～航空宇宙産業、鉄道、自動車EV・PHV（中国市場・欧米市場）（仮題）」への情報提供

特集編集会議

日 時：2024年9月27日（金）

15時00分～16時00分

場 所：「鉄鋼会館」804号室（Web出席含む）

議 題：2025年3月号特集「需要分野の動向と特殊鋼～航空宇宙産業、鉄道、自動車EV・PHV（中国市場・欧米市場）～（仮題）」の編集内容の検討

人材確保育成委員会

委員会

日 時：2024年8月21日（水）

13時30分～15時40分

場 所：「鉄鋼会館」804号室（Web出席含む）

議 題：①副委員長、委員交代の報告
②2023年度事業報告
③2024年度ビジネスパーソン研修講座実施の検討
④2024年度特殊鋼教養講座実施について
⑤2024年度大学学生人材育成事業（業界紹介パンフレット「夢みる鉄」）の普及

2024年度特殊鋼教養講座2回目 名古屋地区

日 時：2024年9月27日（金）

15時30分～19時00分

場 所：大同健保会館

演 題：鉄鋼業の歴史と先端技術による未来への挑戦

講 師：(一社)特殊鋼倶楽部 専務理事
脇本 真也

受講者：15名

カーボンニュートラルWG（第Ⅱ期）

第14回会合（8月28日・Web会議）

第15回会合（9月27日・Web会議）

その他

物流2024年問題について、一般社団法人日本鉄鋼連盟主催「製品物流小委員会」への特殊鋼メーカー3社と共に参加協力。

8月度小委員会（8月7日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

9月度小委員会（9月13日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

[大阪支部]

第1回三団体責任者会議

開催日：2024年8月22日

議題：講演会・賀詞交換会他共催事業の検討

[名古屋支部]

生産性向上研修（三団体共催）

開催日：2024年9月5日（木）

場所：imy会議室

テーマ：相手に伝わるプレゼン資料作成

講師：(株)インテックス 中西 夏基氏

受講者：22名

中堅社員研修（三団体共催）

開催日：2024年9月11日（水）

場所：東桜会館

テーマ：中堅社員に求められるビジネススキル、マインド向上

講師：(株)名南経営コンサルティング
三軒 佳氏

受講者：22名

特殊鋼教養講座（二団体共催）

開催日：2024年9月27日（金）

場所：大同健保会館

テーマ：鉄鋼業の歴史と先端技術による未来の挑戦

講師：(一社)特殊鋼倶楽部 専務理事
脇本 真也

受講者：15名

特殊鋼倶楽部の動き

2023年度調査報告書「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影響に関する調査」報告書説明会の開催

市場開拓調査委員会（委員長：堀賀郎 山陽特殊製鋼株式会社取締役執行役員東京支社長）では、委員会活動の一環として新たな需要分野における特殊鋼使用動向調査並びに需要産業における特殊鋼使用実態調査を行っております。2023年度は「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影響に関する調査」を行い、報告書に取りまとめ報告会を開催いたしました。

神戸製鋼所グループの調査会社であるコベルコビジネスパートナーズ株式会社殿より講師をお招きして、「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影響に関する調査」を題材として本報告書の解説を頂きました。現在、世界各国で「カーボンニュートラル」実現のため、様々な取り組みが推進されていますが、本調査では化石燃料に代わる次世代エネルギーのひとつとして注目されている「水素」に焦点を当て、特殊鋼最大の需要分野である「自動車」における水素利用に着目し、「燃料電池車・水素エンジンの動向や特殊鋼に及ぼす影響」について調査・分析を行いました。また、各国・地域のエネルギー並びに水素関連政策、主要特殊鋼メーカーのカーボンニュートラルや水素利用における戦略・動向について整理しました。

今後もカーボンニュートラル実現に向けた次世代エネルギーとして進展していくことが予想される水素の利用拡大について、詳細にわかりやすく、ご報告頂きました。

対面にてのご参加、Teams配信にて多数の会員の皆様にお申込みご参加頂きました。

1. 日 時：2024年9月19日（木）13時00分～14時30分
2. 場 所：「鉄鋼会館」803～804号室（Web参加含む）
3. 演 題：2023年度調査報告書「水素の利用拡大に向けた取組みと特殊鋼への影響に関する調査」
4. 講 師：コベルコビジネスパートナーズ株式会社 産業情報部 産業情報グループ
主任研究員 本城 貴充 氏
5. 申込者：約270名

（注）報告書は会員会社のみ配布。

2023年度海外調査報告書「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」報告書説明会の開催

海外委員会（委員長：岩田龍司 大同特殊鋼株式会社取締役常務執行役員）では、委員会活動の一環として海外の主要特殊鋼市場の需給動向等について調査を行っております。2023年度は「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」を行い、報告書に取りまとめ報告会を開催いたしました。

冒頭、本調査報告のテーマ選定から調査内容の審議を行った海外委員会の専門部会部会長である大同特殊鋼株式会社 執行役員営業総括部長羽田浩二様からご挨拶の後、トヨタグループの調査会社である株式会社現代文化研究所殿より講師をお招きして、「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」を題材として本報告書の解説を頂きました。

脱炭素化に向け自動車産業で電動化等、産業構造の転換が中国・欧州で顕著となる一方で、新たな選択肢として合成燃料や水素方式の採用や既存の内燃機関存続の動きも並行する状況となっています。本調査では、中国・欧州各国の自動車の電動化政策の実態把握、合成燃料等の可能性も視野に今後の実現可能性を分析・比較しました。さらにこの政策への主要自動車メーカー、特殊鋼メーカーの対策・戦略を、インタビューを通じて明らかにし、特殊鋼需要予測と日本の特殊鋼産業にとってのリスクやチャンスを想定しました。

説明会にご参加の会員様は、熱心に聴講されていました。

1. 日 時：2024年9月26日（木）15時00分～16時30分
2. 場 所：「鉄鋼会館」802～804号室
3. 演 題：2023年度海外調査報告書「中国、欧州における電動車普及に伴う特殊鋼産業への影響」
4. 講 師：株式会社現代文化研究所 調査研究本部 上席主席研究員 山元 哲史 氏
5. 申込者：約50名

（注）報告書は海外会員会社に配布。

「2024年度 特殊鋼教養講座 名古屋地区」を開催しました

本講座は、一般社団法人特殊鋼倶楽部 人材確保育成委員会（委員長：小林和昭 日本高周波鋼業株式会社総務企画本部総務部長）が人材育成に関する事業の一環として、会員各社の社員教育の一助となるべく毎年度実施しています。

今回は2024年度の第2回目として、名古屋地区での新たに鉄鋼業界に入られた新入社員の方を中心に基礎知識を習得し、業務への知見を深められるよう講師から直に聴講していただける対面により下記のとおり開催しました。

受講者の皆様には、鉄と宇宙の成り立ち、製造方法の進化、身の回りにある製品との深い関係、将来の展望など歴史的背景や社会への役割、昨今のカーボンニュートラルとの関係などについて、初心者でもわかる内容と説明で理解しやすく勉強できたことと思います。

受講されました皆様には、大変お疲れさまでした。

日 時：2024年9月27日（金）15時30分～19時00分

場 所：大同健保会館

演 題：鉄鋼業の歴史と先端技術による未来への挑戦

講 師：一般社団法人特殊鋼倶楽部 専務理事 脇本 眞也

受講者：15名

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

【会 員 数】		【販売業者会員】			
製造業者	24社	愛 鋼 (株)	大 同 興 業 (株)	古 池 銅 業 (株)	
販売業者	100社	青 山 特 殊 鋼 (株)	大同DMソリューション(株)	(株) プ ル ー タ ス	
合 計	124社	浅 井 産 業 (株)	大 洋 商 事 (株)	(株) プロテリアル特殊鋼	
		東 金 属 (株)	大 和 特 殊 鋼 (株)	平 和 銅 材 (株)	
		新 井 ハ ガ ネ (株)	(株) 竹内ハガネ商行	(株) 堀 田 ハ ガ ネ	
		栗 井 銅 商 事 (株)	孟 銅 鉄 (株)	(株) マクシスコーポレーション	
		伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)	辰 巳 屋 興 業 (株)	松 井 銅 材 (株)	
		伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)	千 曲 銅 材 (株)	三 沢 興 産 (株)	
		(株) I S S リ ア ラ イ ズ	(株) テ ク ノ タ ジ マ	三 井 物 産 (株)	
		(株) U E X	(株) 鐵 鋼 社	三井物産スチール(株)	
		碓 井 銅 材 (株)	デルタスティール(株)	(株) メ タ ル ワ ン	
		ウ メ ト ク (株)	東京貿易マテリアル(株)	(株) メタルワンチューブラー	
		扇 銅 材 (株)	(株) 東 信 銅 鉄	(株) メタルワン特殊鋼	
		岡 谷 銅 機 (株)	(株) ト ー キ ン	森 寅 銅 業 (株)	
		カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)	特 殊 銅 機 (株)	(株) 山 一 ハ ガ ネ	
		兼 松 (株)	豊 田 通 商 (株)	山 進 産 業 (株)	
		兼松トレーディング(株)	中 川 特 殊 銅 (株)	ヤ マ ト 特 殊 銅 (株)	
		(株) カ ム ス	中 島 特 殊 銅 (株)	山 野 銅 材 (株)	
		(株) カ ワ イ ス チ ー ル	中 野 ハ ガ ネ (株)	陽 銅 物 産 (株)	
		川 本 銅 材 (株)	永 田 銅 材 (株)	菱 光 特 殊 銅 (株)	
		北 島 銅 材 (株)	名 古 屋 特 殊 銅 (株)	リ ン タ ツ (株)	
		ク マ ガ イ 特 殊 銅 (株)	ナ ス 物 産 (株)	渡 辺 ハ ガ ネ (株)	
		小 山 銅 材 (株)	南 海 モ ル デ ィ (株)		
		佐 久 間 特 殊 銅 (株)	日 金 ス チ ー ル (株)		
		櫻 井 銅 鐵 (株)	日 鉄 物 産 (株)		
		佐 藤 商 事 (株)	日鉄物産特殊鋼(株)		
		サ ハ シ 特 殊 銅 (株)	日 本 金 型 材 (株)		
		(株) 三 悦	ノ ボ ル 銅 鉄 (株)		
		三 協 銅 鐵 (株)	野 村 銅 機 (株)		
		三 京 物 産 (株)	白 鷺 特 殊 銅 (株)		
		三 興 銅 材 (株)	橋 本 銅 (株)		
		三 和 特 殊 銅 (株)	(株) 長谷川ハガネ店		
		J F E 商 事 (株)	(株) ハヤカワカンパニー		
		芝 本 産 業 (株)	林 田 特 殊 銅 材 (株)		
		清 水 金 属 (株)	阪 神 特 殊 銅 (株)		
		清 水 銅 鐵 (株)	阪 和 興 業 (株)		
		神 鋼 商 事 (株)	(株) 平 井		
		住 友 商 事 (株)	(株) フ ク オ カ		
		住友商事グローバルメタルズ(株)	藤 田 商 事 (株)		

“特集” 編集後記

本号を企画するにあたって、過去の特集を振り返ってみると棒線圧延・鍛造に特化した特集がなく、各特集の一部として情報が散在した形になっていることに気がつきました。このことから、圧延・鍛造に関する情報が欲しいときに、本号1冊が手元にあれば基本的な情報をすぐに確認することができるようにすることで、各特集を探す労力を軽減し業務効率を上げてもらうことを期待して構成を検討することにしました。

上述の基本コンセプトに基づき、過去特集のなかから圧延・鍛造に関するものをピックアップして基本的な技術情報を織り込んだほか、各社のご協力も得て、各項目に関する最新技術動向等も加えた内容としています。

特殊鋼棒線の圧延・鍛造が気になる方はぜひ、本号を活用いただきたいと思います。そして、本号で記載していない上工程や製品に関する情報などに興味を持たれたら、過去の特集や、今後発行されていく特集に手を伸ばして特殊鋼に関する知識の幅を広げていただくきっかけとなれば編集冥利に尽きるところです。

最後に本号を発刊するにあたって、多大なるご協力をいただいた執筆者の皆様や編集委員、事務局各位にお礼を申し上げるとともに、引き続きのご支援・ご協力を賜りますようお願いいたします。

〔日本製鉄(株) 棒線事業部 まつばら だい〕
棒線技術部 棒線技術室 室長 松原 大

特 集／製鋼の設備と技術

I. 総論

II. 各論

1. 高炉
2. 転炉
3. 電気炉
4. 精錬
5. 特殊溶解
6. 鑄造

III. 会員メーカーの最新動向

3月号特集予定…カーボンニュートラルに寄与する輸送機器に使われる特殊鋼のやさしい解説

特 殊 鋼

第 73 巻 第 6 号

© 2 0 2 4 年 11 月

2024年10月25日 印 刷

2024年11月1日 発 行

定 価 1,320円 送 料 200円

1年 国内7,782円（送料共）

発 行 所

一般社団法人 特 殊 鋼 倶 楽 部

Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館

電 話 03(3669)2081・2082

ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 脇 本 眞 也

印 刷 人 増 田 達 朗

印 刷 所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。

「特殊鋼」誌第73巻索引

2024年1～11月

	号・頁
「新年ご挨拶」……………清水 哲也	1・1
【年頭所感】	
「年頭所感」……………伊吹 英明	1・3
「年頭所感」……………中川 真史	1・5
「年頭所感」……………手塚 敏之	1・6
「2024年 年頭所感」……………樋 巳芳	1・7
「年頭所感」……………三原 雄二	1・8
「2024年を迎えるにあたって」……………大前 浩三	1・9
「年頭所感」……………田中 秀栄	1・10
「年頭所感」……………園田 裕人	1・11
「年頭のご挨拶」……………毛利 元栄	1・12
【需要部門の動向】	
産業機械……………片岡 功一	1・13
【寄稿文】	
「健康増進を図り悔いのない人生を」……………宮崎 義一	3・1
■ 特 集 記 事 ■	
☆ 最近の特殊鋼原料事情	
I. 総 論	
2024年世界経済のポイント……………本間 隆行	1・17
II. 鉄 源	
1. 原料炭マーケット概要……………林 俊宏	1・21
2. 鉄鉱石（還元鉄を含む）……………佐藤 功	1・24
3. 鉄スクラップ	
一カーボンニュートラルに向けた	
鉄スクラップの動き……………梅田 裕司	1・27
III. レアメタル	
1. ニッケル……………三宅 由洋	1・31
2. クロム……………渡邊 勤	1・35
3. タングステン……………本城 貴充	1・39
4. コバルト……………萩原 健弘	1・43
5. モリブデン……………小川 貴寛	1・46
6. マンガン……………山川 順司	1・49
7. バナジウム……………渡邊 真一	1・52
8. ニオブ……………双日(株) 金属原料部合金鉄第一課	1・55
9. チタン……………加藤 雅通	1・58
IV. 特殊鋼のリサイクル	
1. 特殊鋼リサイクルの現状と課題	
……………醍醐 市朗	1・62
2. 特殊鋼原料（特殊鋼スクラップの現状）	
……………鈴木浩一郎	1・65
V. 会員メーカーの省資源・リサイクル関連技術と商品	
……………1・68～1・70	
大同特殊鋼(株)、日本製鉄(株)、(株)プロテリアル	
☆ 特殊鋼の切断と最新動向	
I. まえがき……………迫間 保弘	3・3
II. 特殊鋼切断方法の概要	
1. シャーリング切断（丸）……………塩川 万造	3・4
2. シャーリング切断（板）……………相澤 邦充	3・7
3. 丸鋸切断……………上田 耕三	3・10
4. 帯鋸切断……………長野 裕二	3・12
5. ガス切断の原理と特徴……………島山 航	3・14
6. プラズマ切断の原理と特徴……………松井 功	3・18
7. レーザ切断……………二宮 一毅	3・22
8. スリッター……………今田 博之	3・26
9. ワイヤ放電加工機……………牧野 良則	3・29
III. 切断機の導入事例	
1. シャーリング切断（丸）……………小杉 直人	3・31
2. シャーリング加工（せん断加工）	
……………山崎 敦	3・33
3. 丸鋸切断機の導入……………山本 和也	3・36
4. 帯鋸切断	
システム全自動高速帯鋸盤	
KASTOtecF4……………藤田 憲義	3・39
5. ガス溶断……………山田 雅郎	3・41
6. プラズマ溶断機に関して……………小沢 友彦	3・43
7. レーザ切断機の使用状況……………中村 浩紀	3・46
8. スリット加工（裁断加工）……………山崎 敦	3・49
9. ワイヤ放電（ワイヤーカット切断）	
……………阿曾 章倫	3・52
IV. 鋸刃の基礎知識と最新動向	
1. 帯鋸刃の基礎知識と最新動向……………藤原 勝	3・54
2. 丸鋸刃基礎知識と最新動向……………田村 直康	3・56
V. 切断機の最新動向	
1. 最新切断機の紹介	
「十大新製品賞受賞」厚板全自動シャーリング	
ARS-1020DA……………相澤 邦充	3・58
社会課題の解決に向けた	
最新バンドソーソリューション……………只野 進	3・59
最新機種 ROBOCUT α-CiCシリーズ	
……………牧野 良則	3・60
2. 最新切断方法の紹介	
バルスカッティングバンドソー	
アマダマシナリー PCSAW-330導入による効果	
……………鈴木 忠	3・61
カーボンニュートラルに向けた	
水素ガス切断機の導入……………熊谷憧一郎	3・63
重量フィードバック機能で生産性アップ	
……………加村 直也	3・65
☆ 鍛造技術の今	
I. 総 論	
1. 鍛造概論……………小坂田宏造	5・1
2. 鍛造業界の現状……………鈴木 太	5・6
3. 自動車部品の鍛造……………小浜 孝行	5・13
II. 鍛造用鋼材	
1. 鍛造用条鋼……………高知 琢哉	5・17
2. 鍛造用ステンレス鋼……………高橋 伸幸	5・22
III. 鍛造技術	
1. サーボプレスを活用した鍛造技術	
……………成宮 洋輝	5・25
2. e-Axle部品の冷鍛成形開発事例……………岩崎 一真	5・30
3. アイアングルーフヘッドの精密鍛造	
……………土井 一宏	5・34
4. 熱間鍛造におけるダイレクト式サーボプレスと	
複動成形による多品種成形……………寺川 直人	5・38
5. 最近のフォーマーの動向……………黒川 則夫	5・42
IV. 鍛造周辺技術	
1. 鍛造用金型（熱間・冷間）用鋼……………谷井 一也	5・47
2. ウェットブラスト+非化成潤滑剤による	
冷間鍛造前潤滑処理……………橘 和寿	5・51
☆ 軸受および軸受用鋼の最新動向	
I. 軸受業界の最新の動向……………菅沼憲太郎	7・1
……………小熊健太郎	
II. 最近の軸受の動向	
1. 自動車の電動化に伴う軸受の技術動向	
……………安本 昇司	7・6
2. 風力発電装置用軸受……………山田 悠介	7・10
3. 鉄道車両用車軸軸受……………高野 浩二	7・14
4. 直動システム	
～軽量ボールねじ……………鈴木 秀忠	7・18
III. 最近の軸受製造技術における	
カーボンニュートラルへの対応	
1. 塑性加工……………松本 伸治	7・23
2. 熱処理……………宮本 祐司	7・26
3. カーボンニュートラルに向けた軸受研削	
（研磨）の取り組み事例紹介……………伏原 慎二	7・29
IV. 軸受用鋼の基礎知識……………前田 尚輝	7・32
V. 流通からみた軸受用鋼……………吉田 秀雄	7・35
VI. 最近の軸受用鋼の動向……………藤松 威史	7・39
VII. 会員メーカーの軸受用鋼	
……………7・43～7・44	
山陽特殊製鋼(株)、大同特殊鋼(株)	

☆ ミルシートと技術データに関する解説

まえがき	迫間 保弘	9・1
I. 総 論		
1. ミルシートを読む		
1) 単位の話	宮本 翔	9・2
2) 鋼の性質を左右する最重要因子 化学成分	宮本 翔	9・4
3) 鋼のねばさを評価するシャルピー衝撃値	渡部 了	9・5
4) 硬さ	小山 隆治	9・7
5) 機械設計強度の目安 引張特性	渡部 了	9・9
6) 焼きの入り易さを読む 鋼の焼入性試験方法 (ジョミニ式 一端焼入方法)	小山 隆治	9・10
7) 鋼の諸特性の代表指標 結晶粒度	門田 淳	9・12
8) 鋼中介在物量の多少を表す 清浄度	大久保 真	9・13
9) 鋼材表層部の炭素量低下度を表す 脱炭	鈴木 正伸	9・14
10) 鋼材の全体品位を見る マクロ組織	磯 新	9・15
11) 細かく調べて全体を判断する ミクロ組織	高橋 幸弘	9・16
2. 熱処理データを読む		
1) 状態図	今浪 祐太	9・18
2) CCT曲線	中島 孝一	9・19
3) TTT曲線	一宮 克行	9・20
3. 物理定数を読む		
1) 変形のしにくさを表す 弾性係数	松井 達哉	9・21
2) 温度による長さ、体積の変化を知る 熱膨張係数	松井 達哉	9・23
3) 熱の伝わりやすさを表す 熱伝導率	松井 達哉	9・25
II. 各 論		
1. 構造用鋼		
1) 浸炭、窒化等の硬さ分布曲線	齋藤 知昭	9・27
2) 被削性	濱 達哉	9・29
3) 焼戻し性能曲線	奥本 剛史	9・31
4) 遅れ破壊曲線	安居 尚志	9・32
5) 遷移温度曲線	齋藤 知昭	9・33
6) 冷間鍛造性 (変形抵抗)	劉 曉宇	9・34
2. ばね鋼		
1) 疲れ特性 (S-N曲線)	河口 和紀	9・35
2) リラクセーション (へたり)	河口 和紀	9・37
3. 軸受鋼		
転動寿命試験	藤松 威史	9・39
4. 工具鋼		
1) 鏡面度	宍道 幸雄	9・41
2) ヒートチェック試験	兼近 領	9・43
3) 経年変化	松岡 禎和	9・45
4) 抗折試験	齊藤 武文	9・46
5) 焼戻硬さ曲線 特性を十分に引き出すための焼戻条件とは?	黒川 政人	9・48
6) 摩耗試験機 耐摩耗性を評価するための試験機	黒川 政人	9・49
7) 熱処理変寸 焼戻しによって寸法が変化する	黒川 政人	9・51
8) 軟化抵抗 高温下での硬さ低下に要注意	黒川 政人	9・53
5. 耐熱鋼		
1) 高温機械的性質	副田 凌雅	9・54
2) クリープ特性	副田 凌雅	9・56
3) 高温酸化	副田 凌雅	9・57
4) 高温腐食	副田 凌雅	9・58
6. ステンレス鋼		
1) 腐食試験	橋本 暢之	9・59
2) 応力腐食割れ試験	橋本 暢之	9・61

3) 加工硬化曲線	三浦 健介	9・62
7. 電磁材料 ヒステリシス曲線	藤原 義行	9・63
8. その他		
1) 溶接性 ～高温割れ～	服部 広基	9・64
2) 破面の見方	宇田川毅志	9・66
☆ 特殊鋼棒線の圧延・鍛造に関する解説		
I. 総 論		
棒線圧延の基礎特性と加工熱処理技術	柳田 明	11・1
II. 製造工程		
1. 圧延	大坪 紘二	11・6
2. 鍛造 (熱間)	菅 洋一	11・10
	味田 悟	
3. 製品検査 (棒鋼) 棒鋼製品検査の概要	田中 健登	11・12
III. 各 論		
1. 制御・精密圧延技術		
1) TMCP	伊藤 樹一	11・14
2) コンパクトミル (粗圧延機)	田中 祥平	11・16
3) RSB (3 ロール) 圧延機について	石橋 直弥	11・17
4) 線材仕上圧延機 (RSM)	安盛 雄作	11・19
2. 調整冷却技術		
1) 衝風冷却・DLP	小山 陽平	11・21
2) EDC	小山 陽平	11・23
3) リターデット	小山 陽平	11・24
4) インライン熱処理	千葉 圭介	11・25
3. 製品検査技術		
1) 熱間渦電流探傷	吉川 仁	11・27
2) プロフィルメーター	小林 哲也	11・29
3) 矯正	平地 伸吾	11・32
4) 製品UT	山下 正和	11・35
5) 漏えい (洩) 磁束探傷	吉川 仁	11・37
IV. 最近のリフレッシュ事例		
1. 分塊工場の増強	多比良知秀	11・39
2. 鋼片加工 (精整)	前田 悟	11・42
3. 光棒線工場における粗圧延改善	森田 博樹	11・47
4. 製品精整 中小形棒鋼 新矯正-検査ライン	谷口 玲	11・50

【業界の動き】…………… 毎号掲載

【特殊鋼統計資料】

▲特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移	毎号掲載
▲特殊鋼鋼材の鋼種別販売 (商社+問屋) の推移 (同業者+消費者向け)	毎号掲載
▲特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の 推移	毎号掲載
▲特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)	毎号掲載
▲特殊鋼鋼材の輸出入推移	毎号掲載
▲関連産業指標推移	毎号掲載
▲特殊鋼需給統計総括表	毎号掲載

【倶楽部だより】…………… 毎号掲載

【特殊鋼倶楽部の動き】

…………… 1・81、3・76、5・66、7・54、11・61

◇お知らせ

お詫びと訂正	1・80、3・66
メタルジャパン 関西展にレギュラー出展	3・81
第251・252回西山記念技術講座	3・82
2024年経済産業省企業活動基本調査に御協力ください	5・67
2024年「経済構造実態調査」にご協力ください	5・68
「特殊鋼」定価・年間購読料改定のお知らせ	3・87、5・71、7・59
メタルジャパン 東京展 出展内容充実に	9・77
第253・254回西山記念技術講座	9・78
第75回白石記念講座	9・81

【会員会社一覧】…………… 毎号掲載