

特殊鋼[®]

2023 7
Vol.72 No.4
The Special Steel

特集

特殊鋼の技術と用語のやさしい解説（用語解説編・鉄鋼用語）

一般社団法人 特殊鋼倶楽部

特殊鋼

| 7 | 目 次 2023

【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)
〃	斎藤 隆 (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)
〃	谷井 一也 (日本高周波銅業)
〃	吉田 統樹 (日本冶金工業)
〃	上野 友典 (プロテリアル)
〃	佐山 博信 (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／特殊鋼の技術と用語のやさしい解説 (用語解説編・鉄鋼用語)】

I. 製鉄・製鋼

直接還元製鉄法	2	転炉	11
グリーンスチール	4	AOD、VOD	11
COURSE50 (革新的製鉄プロセス技術開発)	4	取鍋精錬(脱ガス)	13
SUPER-COURSE50	5	連続铸造法	15
CCS・CCUS	5	タンディッシュ	17
高炉	6	電磁攪拌装置	17
アーク炉	7	軽圧下	18
炉体旋回式電気炉(STARQ®)	8	鋼片	18
スクラップ予熱式電気炉	9	造塊法	19
偏心炉底出鋼	10	VIM	19
溶銑予備処理	10	ESR・VAR	20

II. 圧延・二次加工

圧延(鋼片、線材、棒鋼)	21	非破壊検査、超音波探傷試験、 磁気探傷試験、浸透探傷試験、 過電流探傷試験、漏洩磁束探傷試験	26
コンパクトミル	22	2次加工(線材の伸線)	28
RSM	23	冷間鍛造	29
3ロールブロックミル	23	熱間鍛造	30
圧延ロール		熱冷複合鍛造	31
鑄鉄(グレン、ダクタイル)、 鋼系(アダマイト、黒鉛)、 ハイス、WC	24	軸肥大加工	31
加工熱処理 TMCP	25		
精密圧延・精密圧延材	25		

III. 材 質

非調質・非調質鋼(冷鍛)	32	耐粗粒化、耐粗粒化鋼、低ひずみ鋼	36
非調質鋼(熱鍛用途、直接切削用途)	33	熱処理時間短縮鋼	37
焼鈍、焼準省略鋼	34	高纯净度鋼	38
耐遅れ破壊 耐遅れ破壊非調質鋼	35	非鉛快削鋼	39

IV. 熱処理(鋼材組織)

Fe-C(鉄-炭素)系平行状態図	40	変態	41
恒温変態線図(TTT)	40	残留オーステナイト	42
連続冷却変態曲線(CCT)	41	時効	42

非金属介在物	42	焼ならし(焼準)・焼なまし(焼鈍)	46
中心偏析	42	サブゼロ処理	47
浸炭、浸炭窒化、浸窒焼入れ	43	パテンチング	47
真空熱処理	43	リターデット、EDC、DLP	48
窒化、硫化	44	熱処理炉、浸炭焼入れ炉	50
固溶化熱処理	45	雰囲気ガス	51
焼入れ・焼戻し	46		

“特集” 編集後記	日本製鉄㈱ 青山 敦司	63
-----------	-------------	----

●「会長就任ご挨拶」	一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 清水 哲也	1
------------	-----------------------	---

■業界のうごき	52
---------	----

▲特殊鋼統計資料	55
----------	----

★倶楽部だより (2023年4月1日～5月31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	62
----------------------	----

特集／「特殊鋼の技術と用語のやさしい解説(用語解説編・鉄鋼用語)」編集小委員会構成メンバー

(2023年1月17日現在)

役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
小委員長	青山 敦司	日 本 製 鉄 (株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
委 員	宇田川毅志	愛 知 製 鋼 (株)	品質保証部 お客様品質・技術室 チーム長
〃	吉原 直	(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 条鋼商品技術部グループ長
〃	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
〃	吉田 統樹	日 本 冶 金 工 業 (株)	ソリューション営業部 課長
〃	大石 裕之	三 菱 製 鋼 (株)	技術開発センター 製品評価グループ マネージャー
〃	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
〃	番場 義信	(株) U E X	仕入部長 兼 仕入部 仕入チームリーダー
〃	白神 哲夫	中 川 特 殊 鋼 (株)	フェロー

「会長就任ご挨拶」

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 ^{しみず}清水 ^{てつや}哲也



2023年5月の一般社団法人特殊鋼倶楽部の定時総会、理事会において前任の藤岡愛知製鋼株式会社社長の後を受け、第18代会長に選任されました大同特殊鋼株式会社の清水哲也です。

特殊鋼倶楽部は、1952年（昭和27年）5月16日に特殊鋼専業メーカーと専業問屋との業界発展のための交流の場として任意団体でスタートしましたが、時代を経ると共に、メーカーでは特殊鋼専業に加えて高炉および普通鋼電炉、流通業では総合商社も会員として加入し、1983年（昭和58年）には通商産業省から社団法人の認可を受けるに至りました。その後、2013年（平成25年）には内閣総理大臣から一般社団法人への移行が認可され、現在に至っております。現時点では、会員はメーカー25社、流通業者100社という規模になっております。

創立以来の70年余を振り返ってみますと、創立当初の1952年度の我が国の粗鋼生産は691万トンであり、そのうち特殊鋼粗鋼は47万トン、粗鋼に占める特殊鋼の比率はわずか6.7%でしたが、2022年度には粗鋼8,784万トン、うち特殊鋼粗鋼1,973万トン、特殊鋼比率22.5%にまで拡大・成長してきております。

言うまでもなく特殊鋼は最先端技術の「粋」であり、鉄鋼材料の中で独特の高い機能を有する材料であります。自動車をはじめとする輸送機器や産業機械、建設機械、工作機械等、幅広い産業分野の中核部品材料として使われております。特に自動車等の性能・安全性を支える重要保安部品に加え、最終製品や部品の製造工程における性能やコスト削減の鍵を握る加工性をも左右し、我が国の製造業の競争力の根本を支える重要な素材です。また家庭においてもキッチンや器具では広くステンレス鋼が使われるなど国民経済生活と密接な関わり合いを持つものであり、特殊鋼産業が人々の生活を支えているといっても過言ではありません。

最近の日本経済は、新型コロナウイルスへの対応

と経済活動の両立を図るウィズコロナの段階からアフターコロナの段階へと移行し、総じて緩やかな持ち直しが続いております。しかしながら、原燃料価格の高騰や電力料金および物流費の増大によるコストの上昇、地政学リスクの高まり、サプライチェーンの混乱による供給制約、ゼロコロナ政策終了後の中国経済の動向等、多くのリスク要因を抱えております。

特殊鋼業界におきましても、需要面では国内市場の縮小・構造変化、供給面では、製造コストの増大、海外特殊鋼メーカーや他素材との競合激化など厳しい状況にあります。このような背景もあり、2022年度の特鋼熱間圧延鋼材生産量は1,636万トンとなり、前年度の1,832万トンに比べ10.8%減となりました。

特殊鋼業界の将来を見据え、特殊鋼倶楽部としては、この2年間GX（グリーン・トランスフォーメーション）実現に向けてカーボンニュートラルの推進のための活動に取り組んで来ましたが、この課題は引き続き業界全体で取り組む必要があるものと考えます。また、生産から流通までの各段階におけるDX（デジタル・トランスフォーメーション）の推進も喫緊の課題であります。

さらに、これまで培って来た特殊鋼技術を核として、航空宇宙分野、海洋分野、エネルギー分野など新たな領域に進出するための研究開発、技術開発を推進することも極めて重要です。今後の特殊鋼業界を支えるあらゆる分野での人材を育成していくことも継続的に取り組んでいく必要があります。

激しく変化する社会経済環境に対処するため、製販一体の団体であるという特殊鋼倶楽部の特徴を最大限に活かしながら、メーカー会員・流通会員が連携・協力して、我が国特殊鋼の競争力の強化のために取り組んでいくことが必要と考えております。そのための基盤を提供すべく努力してまいりますので、関係各位の特殊鋼倶楽部及びその会員各社へのご支援をお願い申し上げます。

特殊鋼の技術と用語の やさしい解説

特集

用語解説編
鉄鋼用語

I. 製鉄・製鋼

直接還元製鉄法

◇ 直接還元製鉄法とは

直接還元製鉄法は、粉鉱石や塊成鉱を比較的低温で固体のまま還元し還元鉄を製造する方法である。2021年の還元鉄生産量は1.1億トン¹⁾で、鉄鋼生産の鉄源の約5%を占めている。

天然ガスまたは石炭が還元剤として用いられ、天然ガスを使用するものにシャフト炉と流動層、石炭を用いるものにロータリーキルンと回転炉床炉がある。還元鉄生産の内、シャフト炉法が75%、

ロータリーキルン法が約25%を占め、さらにシャフト炉法の内、80%がMIDREX[®]法、17%がHYL/Energiron法である¹⁾。

還元鉄は、中東などのスクラップ発生量の少ない地域では電気炉の主原料として使用されている。また、米国などのスクラップを主に使用する電気炉において、スクラップ中に含まれる銅などの不純物元素の希釈材として使用されている。

◇ プロセスの概要

直接還元製鉄法の代表例として、MIDREX法のフローを図1に示す。主要な構成要素は二つあり、

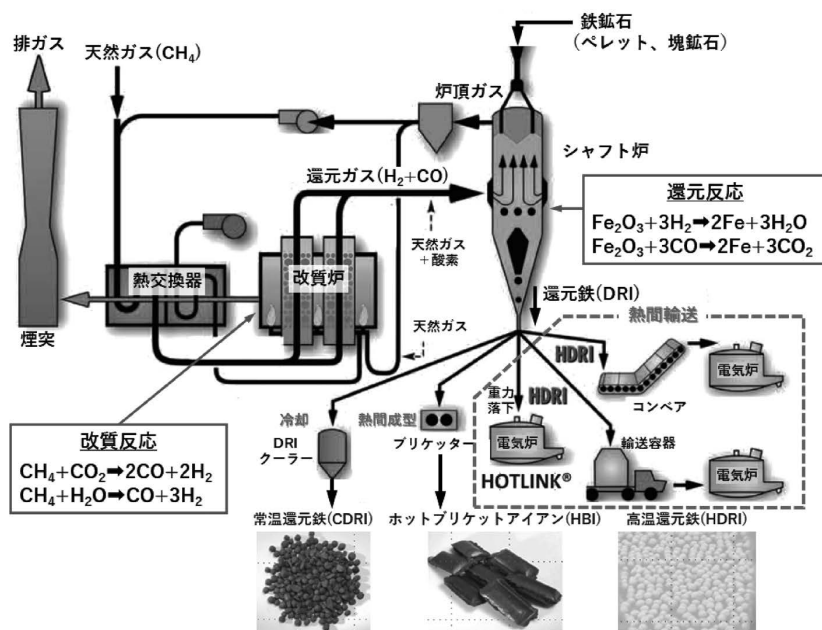


図 1 直接還元製鉄法のプロセスフロー (MIDREXプロセス)

鉄鉱石原料（ペレット、塊鉱石）を還元して還元鉄にするシャフト炉と、シャフト炉での還元に必要な還元ガスを製造するリフォーマー（改質炉）である。

このプロセスの特徴^{2)、3)}は、炉頂ガス中CO₂を利用して天然ガスを改質炉で水素（H₂）と一酸化炭素（CO）に改質し、還元ガス（H₂：約55%、CO：約36%）を製造することである。この還元ガスをシャフト炉で使用するにより、H₂による吸熱還元反応とCOによる発熱還元反応が共存して熱的なバランスがとれ、シャフト炉内を安定した高温に維持することが可能となり、安定した操業と高品質な還元鉄（DRI）の製造が可能となっている。また、炉内圧を比較的低压にしていることも安定操業に繋がっている。1969年に年産15万トンの初号機から始まり、これまで全世界で90基以上建設され、現在最大で年産250万トンのプラントが稼働している。

シャフト炉で製造された還元鉄には、酸素が除去されたことによって生じた気孔が多数存在し、空気などに触れると再酸化するという性質がある。そこで、シャフト炉を出て直ぐの高温の還元鉄を圧縮成型してブリケット化し、空隙率を減少させたのがホットブリケットアイアン（HBI）である。HBIは耐再酸化特性に優れ、長期貯蔵や海上輸送に伴う問題を解決するとともに、ハンドリング中の粉発生による歩留り低下を防いでいる。

一方、直接還元プラントで製造された還元鉄を隣接する電気炉工場で使用する場合、還元後の600℃以上の還元鉄を高温のまま電気炉で使用する事で、溶解エネルギーの多くを減らすことができる。このような高温の還元鉄を搬送して電気炉へ装入する技術が開発され、電気炉の生産性向上とCO₂排出削減に貢献している。

◇ 直接還元製鉄法によるカーボンニュートラルへの道筋

鉄鋼業は温室効果ガスを最も多く排出する産業の一つであり、排出量全体のおよそ7～9%を占める²⁾。鉄鋼生産の7割を占める高炉－転炉法では、コークスおよび石炭を熱源および還元剤として

使用するため、約2.2t/t-steelのCO₂を排出する⁴⁾。このCO₂排出削減に向けて、高炉－転炉から電気炉に置き換える動きが広がりつつある。しかし、電気炉の主な原料であるスクラップの発生は今後増加するものの限定的であり、スクラップを補完する鉄鉱石由来の電気炉原料が必要となっている。直接還元製鉄法では天然ガスを還元剤としていることからCO₂排出量が少なく、直接還元－電気炉法は高炉－転炉法と比べてCO₂排出量が20～40%少ない⁴⁾。さらに、CO₂フリー電力による水素製造が可能になれば、天然ガスを部分的に水素で置換していき、最終的には水素100%への置換が可能である。また、二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）との組み合わせによって、CO₂を回収・貯留することも容易に可能である^{2)、3)}。水素利用の事例として、当初天然ガスを利用し、その後水素への転換を行う方式（MIDREX FlexTMプロセス）の年産250万トンプラントが2026年末稼働に向けてドイツで計画が進められ、またCO₂フリー電力の豊富なスウェーデンでは、当初より水素100%利用（MIDREX H2TMプロセス）の年産210万トンプラントの建設計画が2025年稼働に向けて進められている。

このように、直接還元製鉄法を軸にすることで、足元の短中期的なCO₂排出低減だけでなく、長期的な観点で将来のカーボンフリー製鉄への道筋を描くことができ、鉄鋼業におけるカーボンニュートラル実現の鍵として大きな期待が寄せられている。

参考文献

- 1) Midrex Technologies, Inc.: “2021 WORLD DIRECT REDUCTION STATISTICS”, <https://www.midrex.com/wp-content/uploads/MidrexSTATSBook2021.pdf>, (2023年6月8日)
- 2) ビンセント・シェヴリエ、ローレン・ロレーン、道下晴康：R&D神戸製鋼技報、70（2020）1、81
- 3) 道下晴康、杉立宏志、三村毅：ふえらむ、27（2022）8、542
- 4) International Energy Agency: Iron and Steel Technology Roadmap Towards more sustainable steelmaking, October 2020

〔株神戸製鋼所 エンジニアリング事業部門 新鉄源センター技術室 担当部長 三村 毅〕

グリーンスチール

鉄鋼製造過程で最大限水素を使用すること、CO₂を捕集し貯蔵、活用するCCUS技術により、製造工程のCO₂排出量が実質ゼロとなる「グリーンスチール」の生産が、2050年時点で約5億トンに到達し、2070年にはほぼ全ての鉄鋼製品がグリーンスチールに変わることが見込まれている。日本鉄鋼業界として、これまで築いてきた高品位鋼の製造技術に加え、グリーンスチールの製造技術開発を他国に遅れることなく進める必要がある。

グリーンスチールの製造方法として、従来の高炉法をベースとし「水素」を使って鉄鉱石を還元する「水素還元製鉄」とカーボンニュートラル電源を使用した電気炉法がある。良質なスクラップが十分に供給される場合は、電気炉法の活用が近道と言えるが、長期的な鉄鋼需要や高品質な鉄鋼製品の需要を考えると、高炉法と電気炉法を適材適所でバランスよく使用することが必要である。日本鉄鋼業界では水素還元製鉄によるグリーンスチール製造法を実用化するために、2008年からCOURSE50プロジェクトに取り組んでいる。

Conventional COURSE50

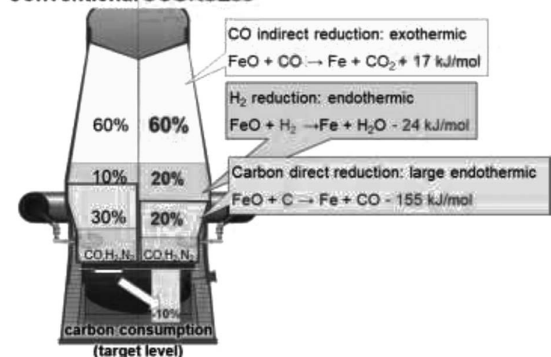


図 1 高炉内還元比率 (Conventional/COURSE50)
(日本鉄鋼連盟「ゼロカーボンスチールへの挑戦」より)

COURSE50 (革新的製鉄プロセス技術開発)

2020年度の日本の全CO₂排出量のうち38%が産業部門から排出され、更にその40%が鉄鋼業から排出されていることから、製鉄業における技術革新は日本のCO₂削減対策の柱であると言える。経済産業省と日本鉄鋼連盟では、高炉プロセスの低炭素化を図る技術「CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50)」プロジェクトを推進している。

これまでの高炉製鉄法では、鉄鉱石 (Fe₂O₃) に含まれる酸素を取り除く (還元) ために、主にコークス (C) が燃焼する際に発生する一酸化炭素 (CO) が用いられる。COは鉄鉱石を還元 (Fe₂O₃ + 3CO → 2Fe + 3CO₂) するとCO₂となり大気中に放出される。鉄鉱石を還元させる方法としては「CO間接還元」、「H₂間接還元」、「炭素直接還元」の3つの方法があるが、従来の高炉法ではこの3つのプロセスのうち、発熱反応であるCO間接還元の比率を高め、より効率的な鉄鋼生産を行ってきた。しかしCO₂排出量を削減するためには、H₂還元の比率を高める必要がある。そこで、従来は圧延工程などで使用されていたメタン (CH₄) やH₂が豊富に含まれるコークスガス (石炭を蒸し焼きにしてコークスを製造する工程で発生するガス) を高炉に投入しCO₂発生量を低減させるプロセスの研究開発、実証実験を進めている。

しかし、鉄鉱石の還元には大きな熱量が必要という課題がある。これまで発熱反応であるCO間接還元の割合を増やす努力を進めてきたが、H₂間接還元は吸熱反応である為、高炉操作方法の大きな転換が必要となる。また、完全にCO₂排出をゼロにすることは困難である為、CCS技術によるCO₂捕集技術の開発が必須である。鉄鋼業界では水素還元により▼10%、CCS技術により▼20%の計▼30%のCO₂削減を目指している。

参考文献

日本鉄鋼連盟：ゼロカーボンスチールへの挑戦

SUPER-COURSE50

「COURSE50」に加え、外部からの加熱水素の大量吹込みによる水素還元率の最大化や、鉄鉱石に代わり直接還元鉄を投入すること、更にCCS、CCUSの活用最大化により最終的にはカーボンニュートラルを目指す技術である。

この技術を確認するには、高炉に吹き込む H_2 の安定的な調達を始めとして、直接還元鉄のカーボンニュートラル化と安定調達に加え、CCS技術の効率化、CCU技術の拡大、 H_2 の電気分解製造に使用する電源のカーボンニュートラル化が必要である。また、現状の直接還元鉄の生産では H_2 や CH_4 を多く含む天然ガスによる生産が一般的であるが、天然ガスも化石燃料の一種であることから、将来的にはカーボンフリー電源を用いた電気分解 H_2 主体の生産に移行する必要がある。

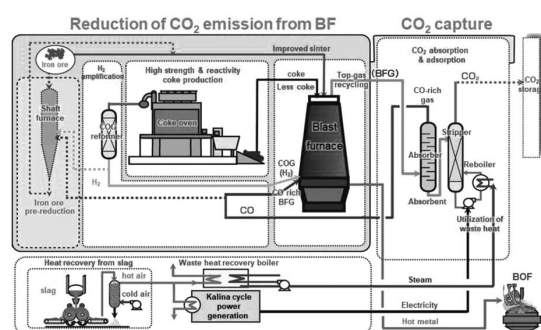


図 2 COURSE50プロジェクト概念図（日本鉄鋼連盟 ゼロカーボンスチールへの挑戦より）

参考文献

日本鉄鋼連盟：ゼロカーボンスチールへの挑戦

CCS・CCUS

「CCS」とは、「Carbon dioxide Capture and Strage」の略で「二酸化炭素回収・貯留」と呼ばれる技術である。高炉や発電所や化学工場などからの排ガスから、 CO_2 を分離して集め、地中深くに貯留・圧入する技術である。

「CCUS」は、「Carbon dioxide Capture, Utilization and Strage」の略で、分離・貯留した CO_2 を利用する技術である。

【分離技術】化学吸収法、物理吸収法、固体吸収法、膜分離法などがあり、一部の工場では実機ベースでの回収が実用化され、炭酸ガスなどへの有効活用が始まっている。しかし、10%以下の低濃度 CO_2 の回収には課題があり、更な技術開発が必要である。

【貯留技術】実施例として、国内では苫小牧沖で実証実験が行われており、国外では CO_2 を古い油田に注入することで、油田に残った原油を圧力で押し出しつつ、 CO_2 を地中に貯留する技術が広がっている。また、 CO_2 を有効利用するCCUSの観点から、炭酸ガスとしての利用やメタネーション技術による再資源化（合成燃料、化学品など）へ技術開発が進められている。

【課題】①効率化と低コスト化、②貯留施設までの輸送技術である。①については、現在、6,000円台/t- CO_2 程度と高コストであるが、2030年には2,000円台/t- CO_2 を達成、更に革新的環境イノベーション戦略として、2050年までに CO_2 分離回収コスト1,000円/t- CO_2 を目指し技術開発を行う計画が立てられている。一方、②については、液化した CO_2 を海上輸送する技術開発が行われているが、有効な貯留施設となる油田までの距離が遠い日本は不利である為、国内、日本近海での好適地の選定が急がれる。

高 炉

高炉は円筒状の徳利型の“反応容器”を主体とする、鉄鋼業の主要装置の一つである。その高さは100mを超え、立地する地域のどこからでも見ることが出来る製鉄所のシンボルである。日本では1857年に釜石で産声を上げ、八幡にて高炉操業が本格化した。高炉設備は先述の徳利型の反応容器だけではなく、原料である「コークス」「焼結鉱」「石灰石」の装入装置（ベルトコンベア）、還元反応を促進させる「熱風炉」、また外部から購入する場合もあるが鉄鉱石を焼き固める「焼結工場」、石炭を蒸し焼きにする「コークス工場」も併設され、鉄鉱石、石炭、石灰などの原料置き場まで含めると製鉄所の半分を占める、まさに製鉄所の顔である。

高炉操業は、設備の最頂部から鉄鉱石とコークスを交互に地層を作るように装入し、その層になった状態をなるべく崩さないように炉内をゆっくりと降下させていく。高炉の下部からは、熱風炉から送られた熱風と補助還元剤である微粉炭を吹き込む。吹き込んだ熱風により、コークスや微粉炭が一酸化炭素や水素などの「還元性ガス」にガス化され、炉内を激しい上昇気流となって高炉内を吹き上がる際、炉内を下降してくる鉄鉱石を昇温させながら酸素を奪い取っていく（間接還元）。溶けた鉄分はコークス層内を滴下しながらコークスの炭素分と接触し更に還元されていく。これを直接還元と言い、最終的に炭素分を約5%弱含む溶銑となり炉底に溜まる。これが鉄鋼製品の源となる「銑鉄」であり、炉底の横に設けられた「出銑口」から排出され、次工程である製鋼工程に送られる。尚、この際用いられるラ

グビーボール型の搬送容器は「トーピードカー」と呼ばれ、その独特な形状から製鉄所を代表する設備の一つとなっている。

出銑と同時に鉄鉱石中の不純物である、ケイ素やアルミが溶解・分離された形で排出される。これらはスラグと呼ばれ副産品としてセメント材料や路盤材などに活用される他、スラグ中に含まれる鉄分を利用して「磯焼け」の改善にも効果を挙げている。

このように高炉は石炭の炭素分を用いて、酸化鉄である鉄鉱石の酸素分を除去する工程であることから、鉄鋼業のCO₂排出量の過半を占める工程である。現在、高炉工程ではカーボンニュートラルへの様々な取り組みが進められており、この技術動向を注視する必要がある。

参 考 文 献

2021年7月号、特殊鋼製造のやさしい解説

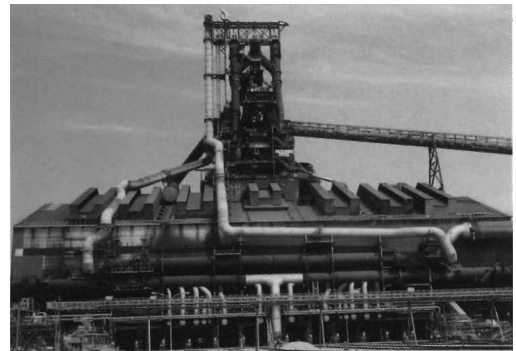


写真 1 日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区第4高炉
(鉄と鉄鋼がわかる本より)

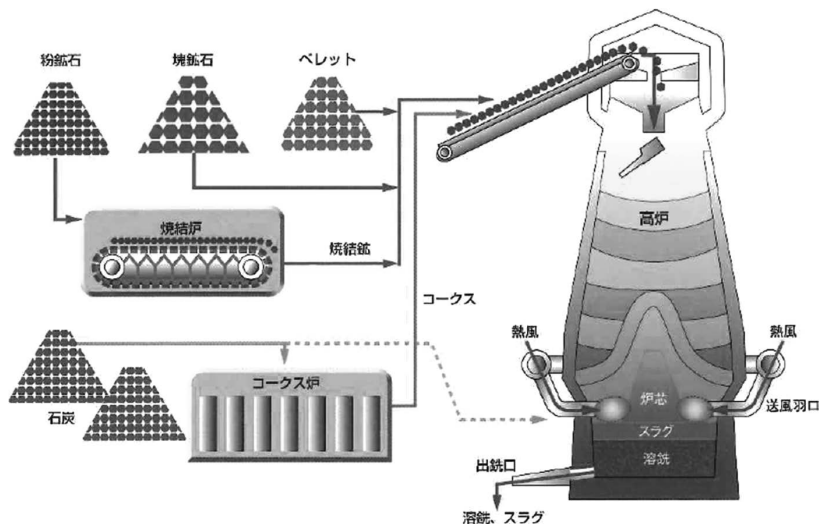


図 1 高炉法の工程（鉄と鉄鋼がわかる本より）

〔日本製鉄(株)〕

アーク炉

◇ アーク炉の役割と歴史

鉄鋼製造の用途に用いられるアーク炉の多くは、市中から発生するスクラップを原料として、再び利用価値の高い鉄鋼材料へ生まれ変わらせている。アーク炉は1879年にシーメンス氏によって開発されたものであり、電氣的発弧現象で生ずる高温を利用して鉄鋼の溶解を行う。開発当初にはさまざまな形式のアーク炉が現れたものの、その後の100年以上にわたる改良の結果、今日のアーク炉の容量（一度の溶解により溶かせる鉄のt数）は150t～200tにまで拡大している。また溶解のための電力供給を交流・直流のいずれで行うかによって、交流アーク炉および直流アーク炉に分けられている。

◇ 交流アーク炉

図1に交流アーク炉の断面イメージを示す。交流アーク炉の主要構成要素として、炉殻、炉床耐火物、電極支腕、電極支柱、黒鉛電極（3本）、二次導体等が挙げられる。

そして電極支柱、電極支腕、黒鉛電極はスクラップが効率よく溶解するように、電極先端とスクラップ間の距離を一定に保つよう制御される。

図2に交流アーク炉操作の手順を示す。空のアーク炉に原料となるスクラップを装入し、アーク熱によってそれらの原料を溶解し、不要成分や不純物をスラグにして取り除き、最後に溶鋼の温度を目標値まで昇熱した後に出鋼し、次の精錬工程へ送る。

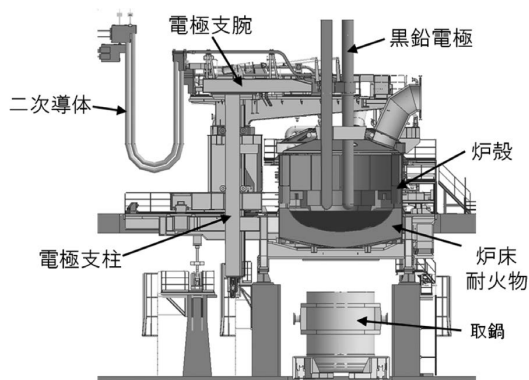


図 1 交流アーク炉の断面図、機器構成図

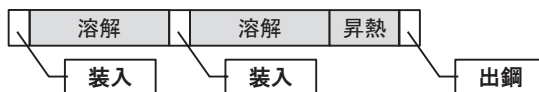


図 2 交流アーク炉操作の手順

◇ 直流アーク炉

直流アーク炉においても、その主要構成要素の大半は交流アーク炉と共通である。相違点の大部分は電力の供給部分に集中している。

例えば直流アーク炉では炉底電極（耐火物の一部に導体としての機能を持たせた炉底）を有すること、黒鉛電極とそれを昇降動作させる電極支腕や電極支柱の数が1式（近年の大型の直流アーク炉では2本またはそれ以上の例もみられる）であること、商用電源から直流の大電力を得るために整流器を備えていることが挙げられる。

◇ 特殊鋼製造におけるアーク炉の特徴

特殊鋼を溶製するアーク炉は、普通鋼を溶製するアーク炉と比べて合金添加のための設備が大掛かりになる傾向にはあるが、それ以外の差は大きくない。むしろ操作方法の違いが大きい。

例えばアーク炉操作の末期には溶鋼へ酸素を吹き込むことで酸化熱による昇温を行うが、特殊鋼製造においては溶鋼中のクロム等の高価な成分が酸化し失われてしまうことから、酸素吹込みの量は普通鋼と比べて少ない。また特殊鋼工場の運用の実際を考えると、同じ鋼種の特殊鋼を溶かし続けることは稀である。そのため残湯操業（直前の溶解と次の溶解との間で一部の溶鋼を持ち越す操業）は製品成分調整にとって外乱となることから、好まれない傾向にある。直流アーク炉では次溶解の通電性を確実にする面からも残湯操業が推奨されるため、特殊鋼製造において直流アーク炉が適用されることは少ない。

参考文献

- 1) 特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」
- 2) 電気製鋼 1991年 第62巻 第3号「製鋼用アーク炉の電磁障害と対策」

炉体巡回式電気炉（STARQ[®]）

炉体巡回式電気炉（以下STARQ[®]）は大同特殊鋼（株）（以下当社）が開発した設備であり、2013年に当社知多工場で生産を開始した世界初の技術を有した製鋼用交流式電気炉である。

図1に従来交流電気炉とSTARQ[®]のアーク放電による溶解性の比較を示す。

図示するように交流式電気炉はアークを発生させる電極が三角形に配置されているのに対して、炉殻が円筒形状である。そのため、電極と炉殻との距離の違いによってスクラップが溶けやすい場所（以下ホットスポット）、溶けにくい場所（以下コールドスポット）が発生していた。

従来コールドスポットのスクラップは、主に補助的にバーナを使って溶解するなど対策しているが、バーナの燃焼熱はアークに比べて温度が低く着熱効率が悪い。そのため総使用エネルギー量は悪化するなど、この不均一溶解対策は、交流式電気炉が開発された当初からの課題であった。また、電気炉の大型化や高電力操業が主流になるにつれ、その課題はより顕著になってきていた。

当社が開発したSTARQ[®]は電気炉の炉体を巡回させ、ホット／コールドスポットを入れ替えることで、スクラップの溶解性を均一にすることができ、先に述べたバーナ追加方式と比べ、エネルギーロスを低減、電力原単位削減など、高い省エネ性と生産性を実現する。

また、本技術の大きな強みとして小設置スペースに収まる改造対応が可能な点である。一般的に従来交流電気炉の生産性を向上させたい場合、スクラップ予熱、排熱回収など追加設備の設置スペース確保のため既存の建屋まで更新が必要となることが多い。STARQ[®]は図2に示すように炉体とプラットホームの間に炉体巡回機構を追加するだけで改造更新できる利点がある。

次に炉体巡回を用いた操業の流れを説明する。従来のバッチ式電気炉は通常2回から3回に分けて炉内にスクラップを装入する。炉体巡回は、この生産

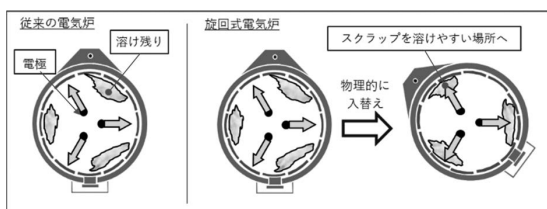


図 1 従来交流電気炉とSTARQ[®]のアーク放電による溶解性

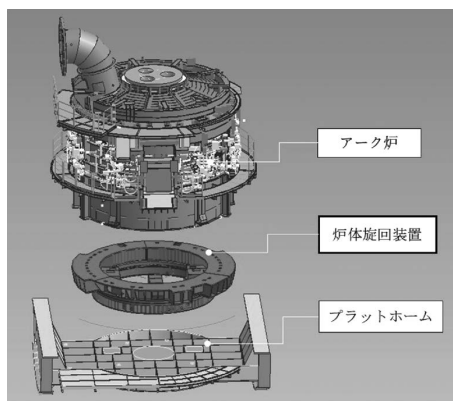


図 2 巡回式アーク炉設備構成イメージ¹⁾

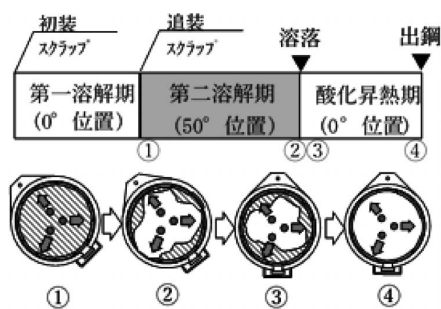


図 3 STARQ[®]の操業パターン例¹⁾

に寄与していないスクラップ装入の通電停止時に行う。図3に操業時の巡回タイミングの一例を示す。スクラップを追装する際に炉体を巡回させ（図中①の状態）、その後、溶解が進みホット／コールドスポットが発生してきたら（図中②の状態）先ほどと逆方向に炉体巡回させ、均一な溶解を進める流れとなる（図中③④の状態）。

当社知多工場の実操業において、炉体巡回させずに操業した場合と、巡回させた場合を比較し、次の結果を確認した。均一溶解の効果として冷却水や放散による持ち去り熱が減少し、炉壁抜熱ロスは平均で7.8%減少した。それに伴い通電時間は約5%の短縮でき、電力量原単位も4.9%低減した。その他、ホットスポットへ必要以上に入熱することを抑制することで炉内耐火物の消耗量も減り、補修材原単位も約16%削減できており、炉体巡回により多岐に渡る効果が得られている。

参考文献

- 1) 小川正人：「アーク炉の技術変遷と最新技術紹介」エレクトロニクスNo. 233

〔大同特殊鋼（株） 機械事業部 鉄鋼設備部鉄鋼設計室 はやかわ よしまさ 早川 義昌〕

スクラップ予熱式電気炉

電気炉は原料スクラップを溶解する過程で高温度の排ガスを発生させるため、排ガス熱の有効活用が模索されてきた。図1に電気炉の熱収支例を示す。

図中の数値は溶鋼1トンあたりの熱量を示し、単位はkWh/tである。一般的に1600℃の溶鋼含熱量が鉄鋼の物性値として385kWh/tであることが分かっているが、この熱量を得るために電気炉へおおよそ倍のエネルギーが投入される。主要熱源は「アーク」つまり電力であるが、酸化精錬に伴う金属酸化熱や炭素の酸化熱、及び助燃バーナの燃料燃焼熱など、電力以外のエネルギーが全入熱量の5割に達する例も報告されている。各種エネルギーの選択は使用する原料や電力事情、エネルギー単価などの条件を総合的に判断して決定されるのが通常である。

熱収支例の出熱側に着目すると排ガス損失熱が全体の33%以上を占めており、スクラップ予熱技術はこの膨大な排ガス損失熱を回収して有効利用する点に着目した技術といえる。当社の経験から、先述した入熱にどのエネルギーを選択したかによって出熱の傾向にも影響が及ぶ。例えば、炭素の酸化熱や燃料燃焼熱を多く利用すると排ガスの発生量が増えるため、出熱に占める排ガス損失熱の割合が大きくなる。

スクラップ予熱技術はスクラップを保持する予熱容器へアーク炉排ガスを流入させ、排ガス顕熱をスクラップへ熱伝達させるもので、設備開発当初はスクラップバケットを予熱容器としていた。このバケット式予熱は高温度の排ガスを直接接触させることによるバケットの損傷や、原料中の油がガス化して搬送時に白煙が発生するといった諸問題が顕在化した。1990年代に入ると、連続装入炉やツインシエル炉などの新しい予熱機構を備えた炉が導入され始め、90年代後半からは、より高温の予熱が可能な炉頂型スクラップ予熱装置を装

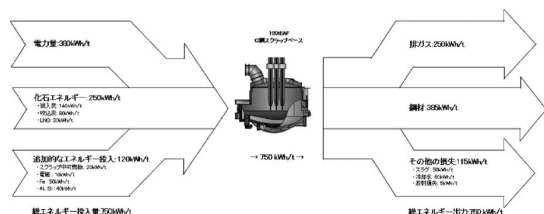


図 1 電気炉の熱収支例¹⁾

表 1 各種スクラップ予熱装置の特徴比較²⁾

		予熱温度	
		高温	従来温度
装入形態	連続	①高い予熱効果 ②低フリッカ	①従来並の予熱効果 ②低フリッカ
	バッチ	①高い予熱効率 ②高い溶解効率	①従来並の予熱効果 ②高い溶解効率 ③原料制限無し

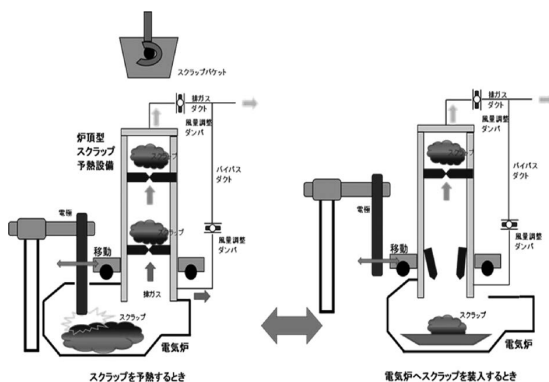


図 2 移動式炉頂スクラップ予熱設備 (MSP®/SSP®) 概念図

備した炉が稼働し始めた。予熱容器が塔＝シャフトのような形状であるため、世界的にシャフト炉と呼称されている。

現在世界で稼働している主なスクラップ予熱装置を予熱温度で分類するとシャフト炉に代表される高温予熱装置とダクトなどで予熱容器まで排ガスを導く従来温度の予熱装置に分別される。また、原料スクラップの電気炉への装入形態で分類すると連続装入式とバッチ装入式に分別される。表1に各種スクラップ予熱装置の特徴比較を示す。

バッチ装入・高温予熱式の例として、当社が開発・導入した移動式炉頂スクラップ予熱設備 (MSP® (Multi stage Super Preheater)/SSP® (Single stage Super Preheater)) の概念図を図2に示す。本設備のコンセプトは、従来のバッチ式電気炉の持つ溶解期の高い溶解効率を維持し、かつ、新たな原料制約が無いことである。

参考文献

- 1) 亀島隆俊、堀秀幸、松尾国雄：「電気製鋼におけるプラントエンジニアリングの発展」電気製鋼 第84巻 (2013) 2号
- 2) 堀哲：「最近のアーク炉設備技術の動向」第242回西山記念講座

〔大同特殊鋼㈱ 機械事業部 鉄鋼設備部鉄鋼設計室 はやかわ よしまさ 早川 義昌〕

偏心炉底出鋼

アーク炉の炉底から出湯する炉底出鋼方式は1979年西独のマンネスマン・デマージ社とティッセン特殊鋼社との間で共同開発されたCBT（中央炉底出鋼-Concentric Bottom Tapping）が始まりである。

CBTにおいて炉底出鋼孔は炉の中心部に位置しており、これは炉壁の水冷領域を拡大することによる耐火物コスト低減を目的としていた。その後、出鋼孔のメンテナンス性向上や、清浄鋼の製造に有利なスラグカットの徹底等を目的として、図1のようなEBT（偏心炉底出鋼-Eccentric Bottom Tapping）に改善されて現在に至っている。

炉底出鋼方式は従来の傾注式出鋼方式に比較して次のような種々の利点があり、日本でも注目を集め多数の電気炉に採用されている。

- (1) 出鋼時の傾動角度が小さくて済むので、そのぶん炉壁水冷域を下方へ拡大して耐火物原単位の改善ができる。
- (2) スラグフリー出鋼が可能となり、取鍋への持ち込み酸化物を低減できるため清浄鋼の製造に有利である。
- (3) 出鋼流断面積を大きくとることが可能で出鋼時間が短くなり、操業能率が改善できる。
- (4) 出鋼が整流に近く、かつ短いため空気中の窒素ピックアップなどが少なく清浄鋼が得やすい。
- (5) 炉内に溶鋼を残して材料装入・通電を開始するいわゆる残湯操業に適しており、アークの早期安定や生産性向上が期待できる。

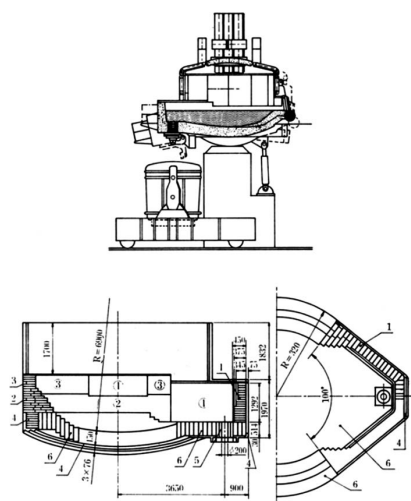


図 1 EBTの構造※

参考文献

特殊鋼の技術と用語のやさしい解説、1998年 p. 72よりの引用図

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 ちば かつまさ
プロセス技術研究室 千羽 亮征〕

溶銑予備処理

鋼に対する品質要求は、より過酷な環境への適用やそれに伴う様々な事故、不具合により、年々厳しさを増す一方である。特に低りん鋼材、低硫黄鋼材への要求はppmオーダーとなっていることから、製鉄プロセスの中で「転炉工程」への負荷が極めて高くなった。

脱りん反応は、溶鋼中のりんを酸化させてりん酸とし、スラグに移行させるプロセスであるが、この反応は酸化精錬で高温となる転炉では不利に働くだけでなく、これを補うために多量のスラグを使用したり、スラグ中の酸化鉄濃度を高くする必要があるため、副産物の増加、鉄歩留まりの低下によるコスト悪化が避けられない。更に低りん鋼を連続出鋼すると転炉内のりん濃度が上昇することで転炉操業が更に苦しくなるだけでなく、連続 casting 工程の連々铸を制限する必要もあり更なるコスト悪化を招く。

そこで、溶銑段階で予め脱りんや脱硫黄を行う思想が生まれ、トーピードカーや転炉装入鋼で脱りん、脱硫黄などの溶銑予備処理を行い、転炉を脱炭専用炉としたり、複数転炉を持つ製鋼工場では転炉1基を「脱りん炉」とするプロセスが考案された。具体的な処理プロセスとしては、主に生石灰系のフラックスと酸化鉄・気体酸素の酸化剤と混合して溶銑中に添加する。酸化精錬中の転炉内と比較して低温な溶銑中での脱りん反応の優位性からフラックスは少量で済み、更に転炉内での副原料使用量の大幅の削減と鉄歩留りの向上をもたらす。このプロセス技術の向上により低りん鋼の安価且つ安定供給が可能となった。

溶銑予備処理プロセスは主要製鉄所の標準設備として確立し、日本鉄鋼業のコスト、品質面の優位性を支えている。

参考文献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

〔日本製鉄(株)〕

転 炉

一言で「鉄」と言っても、その炭素濃度が約2%を境として「鋼（はがね）」と「鑄鉄（ちゅうてつ）」に分類される。通常、加工することができる炭素含有量は1.2%程度が限度とされており、2%を超える鑄鉄は、鑄型に流し込んで形状を作りこむ。高炉で生産される鉄鉄には5%弱の炭素が含まれていることから、このままでは鍛造整形等の用に供することは出来ない。現在の鉄鋼業では「転炉法」による「脱炭精錬」を行うことが主流となっており、転炉を中心とした鋼の精錬技術が確立されている。

当初、様々な効率性を求めて「ベッセマー転炉（底吹き）」「トーマス転炉（底吹き）」「平炉法」などの精錬法が欧州、北米で開発されてきたが、「空気液化分離装置」により安価な純酸素が利用できるようになったこと、転炉上部から酸素を吹くだけで十分に溶鉄が攪拌され精錬できることが発見されたことから、1949年に「上吹き転炉」が導入された。1970年頃には転炉底部の炉体を保護する技術が現れ、攪拌力の強い「底吹き転炉」が現れたが、上部の温度が上がりにくいという課題があったことから、1980年頃からは上吹きで純酸素を吹き込みながら、攪拌力の強い底吹きで補完する「上底吹き転炉」が現在の主流となっている。

上吹きガスは純酸素であるが、底吹きガスは酸素を吹き込むこともあるが、攪拌力を得る目的でアルゴン、窒素などの不活性ガスを吹き込んだり、2重管構造により内側から酸素、外側から吸熱性のあるガス（炭化水素ガス）を吹き込んだりしている。

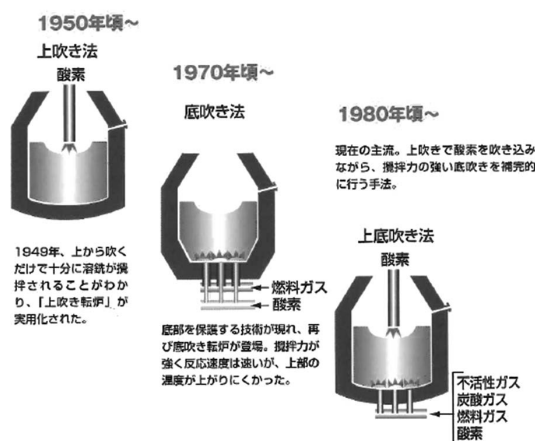


図 1 転炉法の技術の変遷（鉄と鉄鋼がわかる本より）

参 考 文 献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

〔日本製鉄株〕

AOD、VOD

◇ AOD

Argon Oxygen Decarburization（アルゴン－酸素脱炭法）の略で、含クロムの脱炭精錬に伴う、クロム成分の酸化軽減を目的として、酸素と同時に大量のアルゴンガスを混合吹込みするプロセスをいう。アルゴンガスによる強力攪拌が特徴である。

本法は、1954年米国のUnion Carbide社のHilty等の研究により始められ、1968年にJoslyn Steel社で実用化され、その高い生産性がCC化のニーズと合致したことから、急速にステンレス鋼生産の主流となった。

設備は底吹転炉の流れを汲み、炉底壁部付近に複数の二重管羽口を備えた転炉と、羽口に混合ガスを供給するバルブ・スタンド、副原料投入装置、集塵装置からなる。さらに生産性を上げるため、上吹送酸ランスを備えた複合型AOD、炉を垂直にしたまま测温・サンプリングが可能なサブランスを備えたものもある（図1、表1）。

操業は、炭素を酸化除去する酸化期と、その間に生成したクロム酸化物をSi、Al等で還元する還元期と、さらに脱酸、脱硫を促進するため、還元スラグを一部除滓して、CaO、CaF₂等のフラック

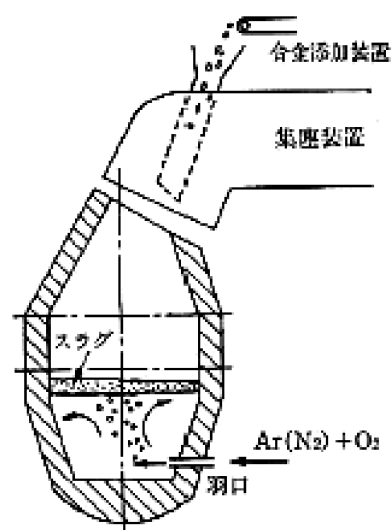


図 1 AODの設備概要図

（出典：第118回、119回西山記念講座、p. 21）

表 1 60t+AOD設備の仕様例

項目	AOD
容量	60t/ch
炉体基数	2基（炉体交換式）
炉体寸法	鉄皮外径：4,090mm 炉 高：6,145mm
ガス吹込速度	Max. 4,200Nm ³ /h
合金添加装置 （冷却を含む）	バンカー 27槽 ラリーカー・スキップ式
测温サンプリング装置	サブランス旋回方式 プローブ自動着脱方式

スを添加後、アルゴンガスによるスラゲーメタル攪拌混合を行う仕上期とに別れる。酸化期は炭素濃度に応じてアルゴン－酸素の混合比を変え、還元、仕上期はアルゴンのみを吹込む。アルゴンガスのコストは掛かるが、高炭素から極低炭素まで能率良く脱炭することが出来る。窒素レベルの高い鋼種では、アルゴンより安価な窒素ガスを用いる事も行われる。また、真空精錬による脱炭効率化や、ダブルスラグ法を採用することで極低硫化が、可能である。

◇ VOD

Vacuum Oxygen Decarburization（真空酸素脱炭法）の略で、含クロム鋼の脱炭精錬に伴う、クロム成分の酸化の軽減を図る手段として、真空（減圧）雰囲気中で、炭素が優先酸化する現象を利用する方法である。脱炭能に優れており、極低炭素化が可能である。

本法は、AOD法の実用化の約1年前1967年、西独Witten社とStandard Messo社の共同開発により実用化され、AODよりも一足早く全世界に広まった。VOD法は、通常0.4～0.6%〔C〕域から適用されるため、前工程として予備脱炭が必要であり、転炉を経由するものをLD-VAC法、電気炉を経由するものをELO-VAC法と呼ぶ。

設備は、取鍋型製鉄炉であり、鍋底に溶鋼攪拌用のアルゴンガスを吹込むための、ポーラス・プラグを備えた精錬用取鍋と、取鍋を収納する真空容器と、それに連結された排気装置、及び酸素吹込用上吹ランスから成る。付帯設備としては、減圧下で测温、サンプリングを行うサブランス装置及び合金鉄、媒溶剤添加装置を加える（図2、表2）。

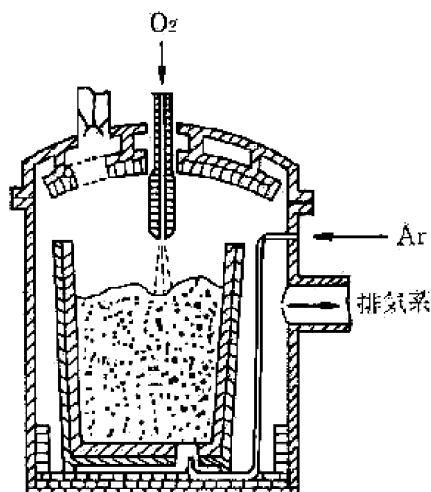


図 2 VODの設備概要図
（出典：第118回、119回西山記念講座、p. 13）

表 2 50tELO-VACの設備仕様例

分類	項目	仕様
真空タンク	内径	4,850mmφ
	シェル高さ	4,400mm
	天井高さ	1,600mm
取鍋	内径	3,300mmφ
	高さ	3,200mm
	Ar量	最大 200N l/min
真空排気系	スチーム エジェクタ	6ステージエジェクタ 5ステージコンデンサ
	容量	160kg/h 0.5Torr
		1,900kg/h 40Torr
		1,900kg/h 200Torr
	到達真空度	0.2Torr
酸素吹錬機構	吹錬能力 ランス	最大1,500Nm ³ /h 消耗型
合金添加機構	バンカ数	9個（電磁フィーダー付）

操業は、酸化期と還元期からなり、AOD法に比べクロム酸化が少ないことから、極低炭素化に適し、脱窒素にも優れることから高純度フェライト系ステンレス鋼の製造に用いられる事が多い。一方、鋼浴の攪拌がAODに比べ小さいことから、脱酸、脱硫反応は弱く、補助的に上吹ランスから、粉体の脱硫・脱酸用フラックスを不活性ガスにより吹込む方法を併せ用いる場合もある。

参考文献

特殊鋼の技術と用語のやさしい解説 1998年

〔日鉄ステンレス(株) とうじょう まさゆき〕
〔商品開発部 主幹 東城 雅之〕

取鍋精錬（脱ガス）

◇ 取鍋精錬法

取鍋精錬法は製鋼法において、転炉または電気炉と連続鑄造の間に設置される補助的なプロセスであるが、両プロセスの結びつきを円滑にするとともに、両プロセスの生産性を高めつつ、鋼の品質も向上させるプロセスである。また取鍋精錬法は、主に以下の3つの狙いを元に発展してきた。

- 1) 転炉または電炉では行えない精錬機能の付加（品質の向上）
- 2) 転炉または電炉をより効率的におこなうための精錬機能の分化（精錬能率の向上）
- 3) 多品種の鋼を効率的に量産するための製鋼プロセスの構築

そして、取鍋精錬には次のような冶金操作が含まれる。

- (1) 脱水素、脱炭、脱硫
- (2) 脱酸（非金属介在物の除去）
- (3) 成分調整（合金添加）
- (4) 非金属介在物の形態制御
- (5) 溶鋼成分及び温度の微調整、及び均一化

1. 取鍋精錬

取鍋精錬法は真空設備や加熱設備の有無で区別され、表1に示す特徴を有している。

LF法は大気（ArまたはN₂雰囲気）下でアーク加熱を行う方法でスラグ精錬による脱硫、脱酸を主目的としている。一方、VAD法はグロー放電をさせつつ、減圧下（<200Torr）でアーク加熱を行っており、真空処理中も加熱できるという特徴がある。ASEA-SKF法では大気下でのアーク加熱処理と真空処理を直結しており、それぞれ異なるタイミングで実施している。

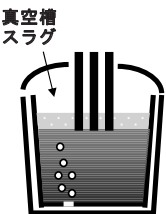
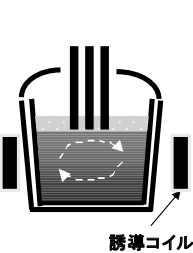
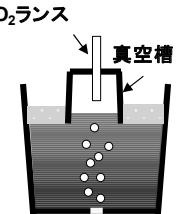
しかし、アーク加熱を有する真空取鍋精錬法（VAD法やASEA-SKF法）は、設備費が高い上に、処理時間が長く大電力の消費や取鍋耐火物の損耗などにより操業費もかかるので、これらの適用は量産鋼用としてではなく、合金鋼や極厚鋼板などの高級鋼に限定されている。

2. 取鍋精錬（脱ガス）

前項では、取鍋精錬法は真空設備や加熱設備での区別を行ったが、反応容器でも区別が可能である。取鍋を反応容器として利用している方法、反応容器を取鍋に浸漬し、その反応容器へ取鍋内の溶鋼を供給しつつ精錬する方法とがある。大容量（200t級）の取鍋では、取鍋精錬設備をコンパクトにしたいこと、既存の製鋼工場に設置しやすいこと、溶鋼の熱容量が大きく処理中の温度降下が小さいことなどから、反応槽を別の容器とする方法（DH法、RH法）が適用されている。

表2に真空取鍋精錬設備の一部を示す。

表 1 取鍋精錬法比較

	LF ^{※1}	VAD ^{※2}	ASEA-SKF ^{※3}	CAS-OB ^{※4}
設備模式図				
加熱方式	アーク	アーク	アーク	反応熱
攪拌方式	底吹きガス	底吹きガス	電磁攪拌	底吹きガス
雰囲気	大気	真空	大気、真空	真空
特徴	温度・成分調整容易であり最も普及している設備	減圧下でのアーク加熱が可能 製造原価、設備費高い	アーク加熱と減圧下での脱ガスをシリーズで実施可能	O ₂ により昇熱。再酸化抑制、合金歩留良好

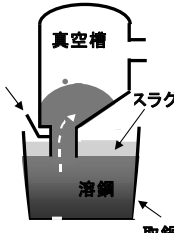
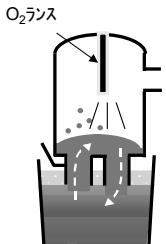
※1. LF (Ladle Furnace)

※2. VAD (Vacuum Arc Degassing)

※3. ASEA-SKF (ASEA (Almenna Svenska Elektriska Aktibolaget) とSKF (Svenska Kullagerfabmken) が共同開発した設備)

※4. CAS-OB (Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling Oxygen Blowing)

表 2 真空取鍋精錬設備比較

	LVD ^{※5}	DH ^{※6}	RH ^{※7}	RH-MFB ^{※8}
設備模式図				
脱ガス方式	底吹きガス	吸上げ	環流	環流
スラグ有無	無し（一部有り）	有り	有り	有り
介在物浮上除去	効果小	効果大	効果大	効果大
特徴	スラグ無く、温度降下大きい	脱酸、合金調整能力に優れる	脱酸、合金調整能力に優れ、最も普及している設備	RHに吹酸ランスを設置して、昇熱機能を付与した設備

※5. LVD (Ladle Vacuum Degassing)

※6. DH (Dortmund-Hörde)

※7. RH (Ruhrstahl-Heraeus)

※8. RH-MFB (RH Multiple Function Burner Method)

LVD法は、取鍋を真空容器の中に入れ、底吹きガスにより、溶鋼を攪拌しながら、溶鋼中の脱ガスを行う。処理中にスラグ中のガスによって、スラグが膨らむことで発生するオーバーフローを防止するために、事前にスラグを除去していることが望ましい。一方でその結果、溶鋼の保温効果が薄れ、温度降下が大きい課題がある。

DH法は、真空槽が下降すると、真空槽下部に設けた1本の吸上げ管が取鍋内の溶鋼を吸い上げ真空内に飛散し、逆に真空槽が上昇すると槽内の溶鋼が取鍋内に吐き出される。真空槽の周期的な下降と上昇を繰り返すことにより溶鋼が真空中で脱ガスされる。

一方、RH法は2本の浸漬管を使用し、気泡ポンプの原理を用いて溶鋼を環流させる。すなわち真空槽内へ溶鋼を吸い上げた状態で片方の浸漬管にArガスを吹き込むと、吹き込み側浸漬管内部の溶鋼はAr気泡により見掛け密度が下がり、この比重差によって2本の浸漬管の間で溶鋼が循環し始める。真空槽内に噴流として吸入された溶鋼は、吹き込みガスの放出により微粒滴となり、表面積を増して飛散する。この間に各種脱ガス反応が進み溶鋼は下降管を通して取鍋に戻る。

DH法、RH法いずれも真空槽には合金添加装置や加熱装置が設置されている。脱ガスを促進するために吸上管よりArガスを吹き込むことも実施さ

れている。

1970年以降は、DH法での加熱方式や耐火物技術などのノウハウがRH法に展開され、RH法の操業が安定したこともあって、連続的に環流するRH法が優先的に設置されるようになった。

RH—MFB法はRH法に加えて、処理中の酸素とLNGによる溶鋼および槽内加熱による槽内の地金付着防止や酸素吹錬によるAl昇熱や脱炭促進による精錬機能向上を目的としたランス機能が付加されている。

むすび

ここまで取鍋精錬の製造方法について述べた。これは取鍋精錬設備の僅か一部分であり、この他にも様々な技術が適用されている。今後、品質要求レベルは厳しさを増すものと考えられ、より一層の品質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) 梶岡博幸：取鍋精錬法（多品種・高品質鋼量産化への挑戦）
- 2) 飯田義治：鉄と鋼（1981）67巻2号 取鍋精錬技術の進歩
- 3) 沖森麻佑巳：鉄と鋼 vol 79 日本におけるDH真空精錬法の進歩
- 4) 桑原達朗：鉄と鋼 vol 73 日本におけるRH真空精錬法の進歩

〔愛知製鋼(株) 鋼生産技術部 特殊鋼技術室 室長 尾崎 敦志〕

連続鋳造法

1. 連続鋳造法

連続鋳造法とは、転炉や電気炉で精錬され、鋼となった溶鋼を連続的に冷やし固めて「鋳片」を製造する工程である。鋼の連続鋳造法には垂直型、湾曲型、垂直曲げ型の方式があり、それぞれ異なる特徴を持っている。

一般的な連続鋳造機の構造及び操業方法は次の通りである（図1を参照の事）。

- ・最上部に精錬工程から送られてきた「取鍋」がおかれる。取鍋を取り換えながら連続的に鋳造する為、「ターレット」や「レードルカー」などの取鍋交換設備が設置されている場合が多いが、設備費を抑える為に2基のクレーンを用いて、取鍋交換を行うケースもある。尚、鋳造時間が長くなることが多いことから、「焼酎」などで保温されることが多い。
- ・取鍋の下にはタンディッシュ（TD）が配置される。TDは取鍋から溶鋼を受け、更にその下のモールドに分配する機能を持つ。TDには溶鋼の分配機能だけでなく、溶鋼内の不純物である介在物を浮上させたり、溶鋼を一定の速度でモールドに注入する役目も持つ。
- ・その下にはモールドが配置されている。ここから、溶鋼は冷却され鋳片に姿を変えていく。モールドは主に銅板で出来ており、その銅板には冷却水を通す溝が施工されている。モールド

での冷却を1次冷却と言う。この段階では、鋳片は外殻（シェル）だけ凝固しており、内部はまだ溶けた状態である。

- ・モールドの下には、サポートロールが配置され、鋳片を保持しながら下方に引き抜いていく。このサポートロールの間には、水冷ノズルが配置され、2次冷却が行われる。この2次冷却は鋼種毎に水量が決められており、急激な冷却による鋳片割れや、冷却不足による内部割れなどの品質異常が発生しないように条件が設定されている。
- ・鋳片が中心部近くまで凝固する場所に、ピンチロールが配置されている。このピンチロールで鋳片を引き抜いていく。
- ・尚、多くの若い営業、流通の方々から「連続鋳造をスタートする際、どのように鋳片の先端を凝固させるのか」という質問を受けることがある。鋳造開始時には、「ダミーバー」という巨大なチェーンのような設備でモールドの下穴を塞ぎ、そこに溶鋼を溜めて「鋳片の先端」を作ってから下部に引き抜いていく（一部の連続鋳造機では鋳造機を横から見た形状そのままのダミーバーを用いているものもある）。このダミーバーは、ピンチロールを過ぎたところで、鋳片から分離されて鋳造機の上部に格納される。
- ・鋳片が内部まで凝固した後、カッターで所定の長さにカットされ、「鋳片」として次の工程に送られていく。

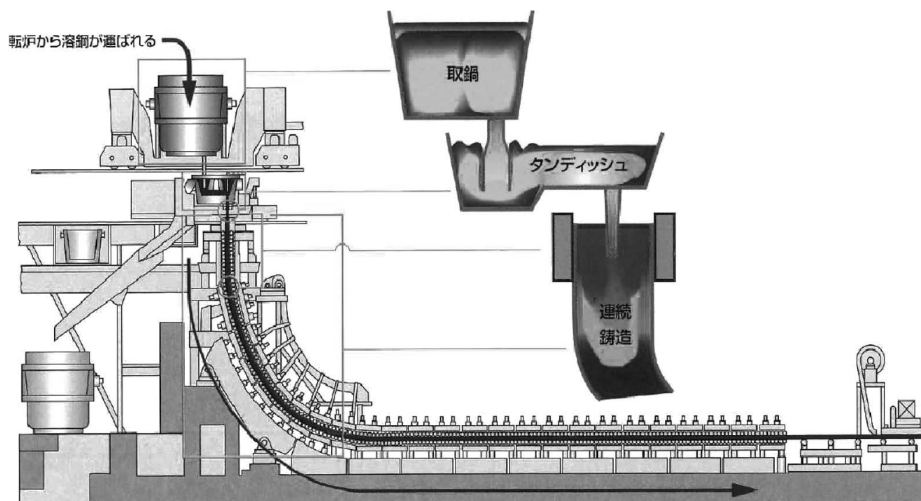


図 1 連続鋳造機の概要

2. 連続鑄造機の種類

・垂直型連続鑄造機

モールドで初期凝固した鑄片を下方に引き抜いていく、という考え方からすると連続鑄造の基本的な形式である。介在物の浮上分離や、最後まで鑄片を曲げることがないので、介在物、鑄片割れの品質リスクを低く抑えることが出来る。一方、設備的には、生産性を上げるために垂直方向に設備を伸ばしていく必要があるので、建屋を高くする、地下を深く掘るなどの建築土木コストが増大する。また、物流面でも、地下部でカットされた鑄片を引き上げる設備が必要になるなど、湾曲型、垂直曲げ型に対して不利な点がある。しかし先述した通り、品質的なアドバンテージを優先して、採用しているメーカーが多数存在する。

・湾曲型連続鑄造機

モールドの直下から曲げ始めることから、設備や建屋を低くすることが出来るので建設費を抑えられる。一方で介在物が浮上分離し終わる前に曲

げ始めることから、鑄片上部に介在物がトラップされたり、十分に凝固する前に曲げることから内部割れの懸念がある。このような事情から高級特殊鋼には適さないとの評価もあったが、湾曲型の課題と生産性、設備費のバランスを取った「大湾曲タイプ」の連続鑄造機を導入するケースもみられる。

・垂直曲げ型連続鑄造機

垂直型の優位性を生かしつつ、設備費や物流を改善することを目的に設計された連続鑄造機である。モールド直下に垂直部を設けて介在物の浮上分離を促進し、ピンチロール近傍で徐々に水平方向に曲げていく構造である。湾曲型に比べて設備と建屋の高さが必要になるが、湾曲型と同様、地上の水平部で鑄片を切断し搬出できるメリットがある。

参考文献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

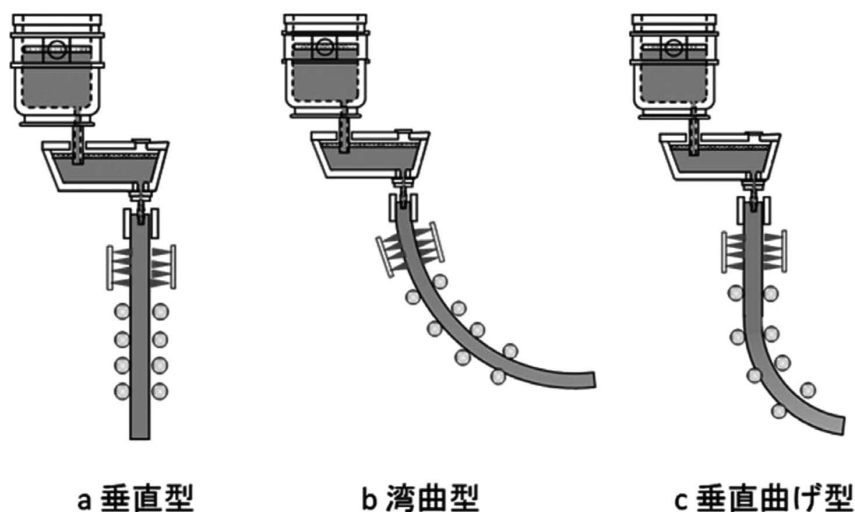


図 2 連続鑄造機の種類

タンディッシュ

タンディッシュは、取鍋から溶鋼を受け、モールドに分配する容器としての機能に加え、次のような機能がある。

①介在物浮上分離機能

タンディッシュには空っぽの舟のようなイメージを持っている方もいるが、その内部には「堰」が設けられ、溶鋼の流れを制御している。取鍋から注入された溶鋼は、この堰で作られた湯道を通り、時間をかけてモールドに注がれていく。この間に溶鋼よりも軽い介在物が溶鋼上部に浮上していき、溶鋼はより清浄度を増していくことになる。

②モールド湯面レベル調整機能

タンディッシュからモールドに溶鋼を注ぐノズルには、「ストッパー」や「スライディングノズル」といった溶鋼流量を制御する設備が備わっている。この設備を用いて、モールド湯面レベルの上下に応じて流量を制御し、モールドでの初期凝固の安定化やモールドからの溶鋼流出を防いでいる。

③溶鋼温度補償機能（溶鋼加熱装置）

凝固する際の溶鋼温度は、操業、品質面で大きな意味を持つ。溶鋼温度が高すぎると、モールドで形成されるシェルが薄くなったり、鑄片の内部品質が悪化したりする。逆に溶鋼温度が低いと、モールドに到達する前にノズル内で凝固し連続鑄造が続けられなくなる。また、鑄造が計画通りに継続できない場合、その後の工程が乱れて大幅なロスが生じることから、現場レベルでは一般的に溶鋼温度を高めめに設定することになる。この場合、不要な昇熱をすることになるのでコスト的に不利になる。この対策として、タンディッシュに誘導加熱法やプラズマ加熱法などの昇熱装置を配置し、より低温で安定した温度で鑄造する連続鑄造機がある。

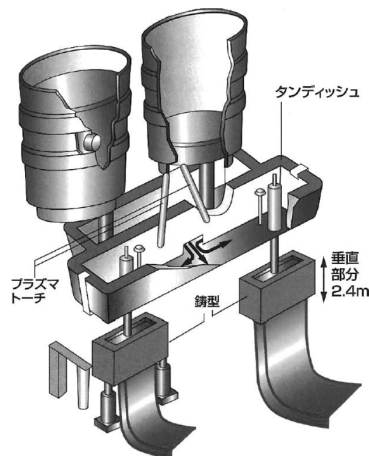


図 1 タンディッシュ・鑄型（モールド）・加熱装置（鉄と鉄鋼がわかる本より）

参考文献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

〔日本製鉄株〕

電磁攪拌装置

モールドには鑄片の品質を向上させる目的で、電磁攪拌装置が配置されているものがある。

①鑄型内電磁攪拌（In-mold electromagnetic stirrer: EMS）

鑄片の表面に介在物が捉われて製品欠陥になることを防ぐために、モールド内で溶鋼の流れを作る方法である。鑄型の外側に磁界を発生させ、その力で鑄型内の溶鋼に周方向の流れを作る。この流れが介在物が浮上する過程で表層に留まることが出来なくなり、鑄片の表面が綺麗になる。また、EMSは鑄型内を攪拌することにより、鑄片の凝固偏析を改善する効果もあり、殆どの連続鑄造機に設置されている。

②電磁ブレーキ（Level Magnetic Field: LMF）

タンディッシュからノズルを介してモールドに溶鋼が注入される際、溶鋼がモールドの深いところまで届かないように制御する機能である。モールドには溶鋼を凝固させる目的だけでなく、介在物の浮上分離の機能もあるが、あまりに深い位置まで届いてしまうと十分に浮上分離できない。LMFはモールド内に垂直方向の磁場を掛け、溶鋼の下流速度を落とすことで、介在物の浮上分離を促進する機能である。尚、モールド内の溶鋼流動制御としては、注入ノズルの先端形状の工夫も重要であり、耐火物メーカーによる流動実験も盛んに実施されている。

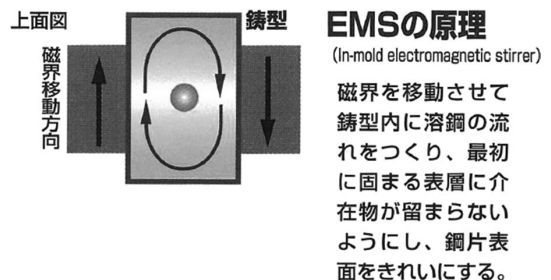


図 1 EMSの原理（鉄と鉄鋼がわかる本より）

参考文献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

〔日本製鉄株〕

軽圧下

凝固の最大の課題は、鋼材の品質を大きく下げるである。この偏析の改善には、長年多くの製鋼技術者が関わってきた。偏析とは、凝固により発生する体積収縮によって発生した隙間に濃化溶銅が吸い込まれて、部分的に不均一な成分、組織となる現象である。特に、温度が下がり難く、最後に固まる中心部にはこのようにして移動してきた濃化溶銅が集積され中心偏析が生じる。この中心偏析の対策として、凝固収縮によって出来た隙間を潰して濃化溶銅を流入させないようにするのが「軽圧下」である。溶銅が固まる体積収縮分を、ロールで圧下をかけて潰し、濃化溶銅が流動する隙間を無くしていく。この軽圧下には、鑄片に負けない強度と剛性を持ったロールを使用し、徐々に変化する体積収縮に追従するようにロール間隔を設定することが重要である。

参考文献

2021年7月号、特殊鋼製造のやさしい解説

〔日本製鉄(株)〕

鋼片

①スラブ (SL)

幅が広く扁平な鑄片のことをいい、SLと表記されることが多い。主に鋼板の素材となる鑄片である。スラブ用連続鑄造機は鑄片の幅を変えることが出来るようになっており、熱延鋼板や厚板の注文幅に応じて様々な任意の幅のスラブを製造することが出来る。また、厚板製品の注文厚さによっては、圧減比を確保するために通常よりも厚いスラブが必要になる場合がある。このようなニーズに対応する為に、鑄造時の厚みを変えられる機能があるものや、極厚スラブの鑄造に特化した連続鑄造機も存在する。

②ブルーム (BL)

主に条鋼製品の素材となる鑄片であり、BLと表記されることが多い。型钢製品ではブルームをそのまま圧延に供することが多いが、棒線製品では分塊圧延によりビレットを製造して圧延に供している。

③ビレット (BT)

主に棒線製品や鋼管製品の素材であり、BTと表記される。ビレットは圧延ラインの設計によって、角ビレット、丸ビレットを使い分けており、更にそのサイズも様々である。かつては、圧延機の能力やサイズの関係か断面が100mm角程度のビレットが用いられていたが、現在は圧延機の大型化、高剛性化の進展で150mm角以上のビレットが用いられることが多い。

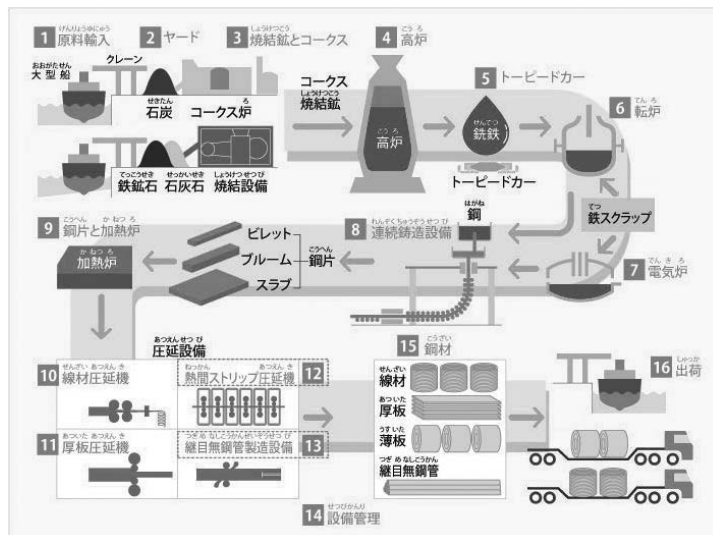


図 1 鉄のでき方
(出所：(一社)日本鉄鋼連盟、ホームページから)

〔日本製鉄(株)〕

造塊法

溶鋼を鑄鉄製のインゴットケース（固定鑄型）に注入し凝固させる方法を造塊という。連続鑄造法が確立されるまでは、この方法が一般的に用いられており、1970年代までに完成した日本の多くの製鉄所には、今でもその名残が建屋の名前や記念碑などで残っていることが多い。

造塊法の鑄型には、正方断面の角型と扁平型があり、棒鋼、線材、鋼管などの等方断面品種には角型鑄型を、薄板、厚板などの板用には扁平型を用いるのが一般的である。鑄型には鋼塊を引き抜きやすくするためにテーパがついている。下部が上部より大きいものを正錐鑄型、その逆を逆錐鑄型という。正錐鑄型は凝固した鋼塊を引き抜くのに便利である。一方で収縮孔が深くまで入り、品質、歩留りが劣る。逆錐鑄型は引き抜きの際、倒立させなくてはならないのが煩わしいが、収縮孔が小さく、偏析部分が少ない為、高級鋼向きと言える。鑄型の大きさも様々あるが、大鋼塊は歩留り面で有利になるが、内部偏析が大きくなるデメリットがあり、鋼種や品質レベルなどによって適切な大きさを選定することが重要である。

造塊方法には上注法と下注法がある。上注法は溶鋼を取鍋から定盤の上においた鑄型に直接注入する方法である。大型の鑄型で採用されることが多い。この方法では、溶鋼が飛散し周囲の環境が悪化することや、注入速度が速くなり表面割れが生じやすいという欠点がある。下注法は、注入管と定盤の煉瓦で作った湯道を通して溶鋼を鑄型に注入する方法である。この方法の場合、湯道の作り方で複数の鑄型に同時に溶鋼を注入することが出来る。また、溶鋼が鑄型の下から静かに上昇するので、表面性状がよく、高級鋼に適している。勿論、湯道を作る手間やコストがかかることや、煉瓦の湯道を溶鋼が通る際、介在物に汚染させる恐れがあることから、鋼種特性とコストを勘案した選定が必要である。

VIM

VIM（Vacuum Induction Melting）法は、高真空下で電磁誘導を利用して金属を溶解、精錬、鑄造を行うプロセスである。図1に一般的なVIMの基本構造を示す。構造としては、真空水冷チャンバー、誘導炉、真空排気装置、原材料添加装置、测温装置、内部／外部ドア、電源などから構成される。溶解は、水冷された誘導コイル内に、耐火材ライニングまたはルツボを入れた炉体で行われるが、炉体自体は水冷チャンバーで密閉されており、チャンバーは真空ポンプなどで真空排気されるので、真空下もしくは減圧下の不活性ガス雰囲気中で溶解、精錬、鑄造が行われる。このプロセスは大気による汚染がないこと、活性な金属元素の正確な添加と調整が可能なこと、真空精錬による非金属介在物の除去効果などの利点を有する。以上の利点から、一般的には、高度な品質の信頼性を要求される航空機エンジンおよび発電用タービンに使用される耐熱材料をはじめとして、スーパーアロイ、マルエージング鋼、ステンレス鋼などの溶解に適用されている。これらの用途へは、後述するESR（Electro Slag Remelting）法およびVAR（Vacuum Arc Remelting）法と組み合わせて適用されるケースが多く、高度な信頼性が求められる材料の一次溶解プロセスとして、幅広く標準的に採用されている。

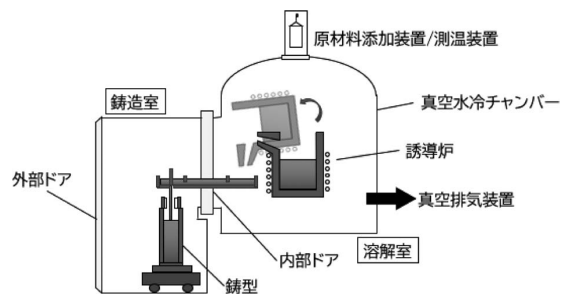


図 1 VIM基本構造図

ESR・VAR

ESR (Electro Slag Remelting) 法は、大気中または不活性ガス雰囲気中において、消耗電極を溶融スラグのジュール熱によって再溶解し、滴下した溶銅を水冷Cuモールド内で積層凝固させるプロセスである。図2に一般的なESRの基本構造を示す。構造としては、水冷Cuモールド、電源などから構成される。なお、水冷Cuモールドの型式として、モールド固定方式、モールド移動方式、銅塊引き抜き方式の3種があるが、図2は一般的に適用事例が多いモールド固定方式である。ESRプロセスは、高い塩基度を有する溶融スラグにより脱硫および脱酸が促進されること、介在物が溶融スラグに吸着・除去されること、一定方向の均質な凝固組織が得られる積層凝固が実現できるなどの利点を有する。以上の利点から、工具鋼、耐熱

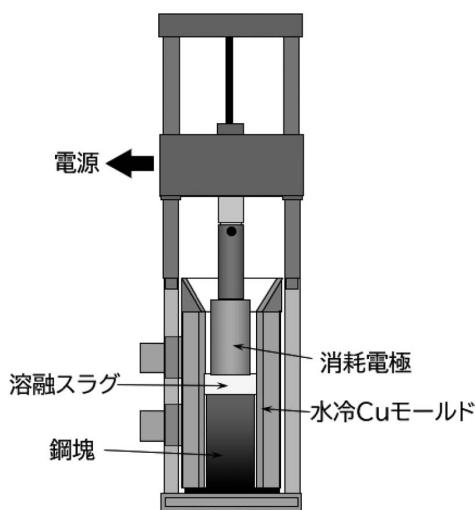


図 2 ESR基本構造図

鋼、ステンレス鋼、スーパーアロイなどの溶解に幅広く適用されている。

VAR (Vacuum Arc Remelting) 法は、高真空中で消耗電極をアーク熱によって再溶解して、滴下した溶銅を水冷Cuモールド内で積層凝固させるプロセスである。図3に一般的なVARの基本構造を示す。構造としては、真空チャンバー、真空排気装置、水冷Cuモールド、電源などから構成される。VAR法は大気や耐火物による汚染がないこと、真空精錬および浮上分離による非金属介在物の除去効果と、脱ガス効果が大きいこと、前述のESR法と同様な積層凝固が実現できるなどの利点を有する。以上の利点から、高度な品質の信頼性を要求される航空機エンジンおよび発電用タービンに使用される耐熱材料をはじめとして、スーパーアロイ、マルエージング鋼、ステンレス鋼などの溶解に適用されている。

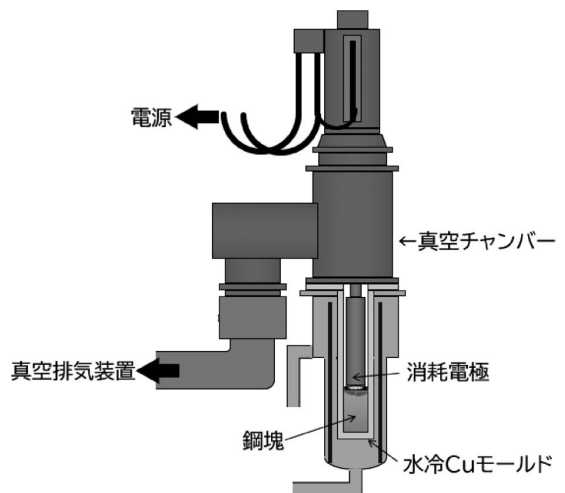


図 3 VAR基本構造図

〔(株)プロテリアル 安来工場 おんだ やすひさ〕
副工場長 兼 技術部長 恩田 靖久

Ⅱ．圧延・二次加工

圧延（鋼片、線材、棒鋼）

◇ 分塊圧延

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。加熱工程では製鋼で鋳込まれた素材を、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。高グレード品では介在物延伸性に優位な長時間加熱が望まれるため、バッチ炉で加熱を行う。また、加熱炉に装入するビレット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。分塊圧延機は後段の仕上圧延の負荷軽減、内質改善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を溶削し、表面欠陥（脱炭及び疵）を除去するための設備である。仕上圧延機は材料を均等に圧下するため、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。

◇ 線材圧延

線材圧延は、加熱・圧延・調整冷却の3工程で構成されている。圧延する素材には、分塊圧延で

製造し鋼片精整工程で検査手入れ（疵取り）が完了したビレットを基本的に使用する。まず、加熱工程では、ビレットを加熱炉で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℃程度に加熱する。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。圧延ロールは、板圧延と異なり、スクエア（角）・ダイヤ（菱）・オーバル（楕円）・ラウンド（丸）等の孔型を切削した溝型ロールを使用する。線材製品の用途によっては±0.1mmの高い寸法精度が要求されるため、多くの線材ミルの仕上圧延機では、サイジングミルや3ロール圧延機の導入が進んでいる。最後の調整冷却工程では、捲取機でリング状に形成された後、コンベア上を搬送される線材に対し、衝風冷却やカバー徐冷等の様々な冷却方法を適用することにより、各線材製品に求められる材質制御を行っている。また、年々高まる加工・熱処理工程の省略化等のニーズに対し、日本製鉄では東日本製鉄所君津地区のDLP[®]（Direct in-Line Patenting）や北日本製鉄所釜石地区のSCS[®]（Slow Cooling System）同室蘭地区のEDC（Easy Drawing Conveyer）等のインライン熱処理設備を活用して対応している。

◇ 棒鋼圧延

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、その後所定の長さで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

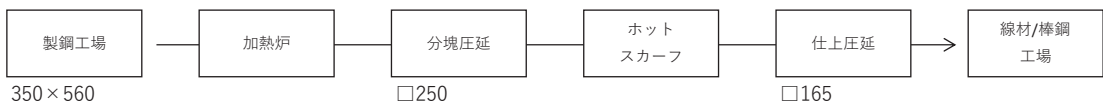


図 1 分塊圧延工程 概略

のもある。検査を終えた棒鋼は束状、またはコイル状に結束され、需要家へ出荷される。棒鋼工場では仕上圧延機に3ロール圧延機を導入しており、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。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フィーダー数が集約され、ロール孔型数を削減し、組替時間も大幅に削減することが出来、需要家の高度な要求にも対応することが可能となった。

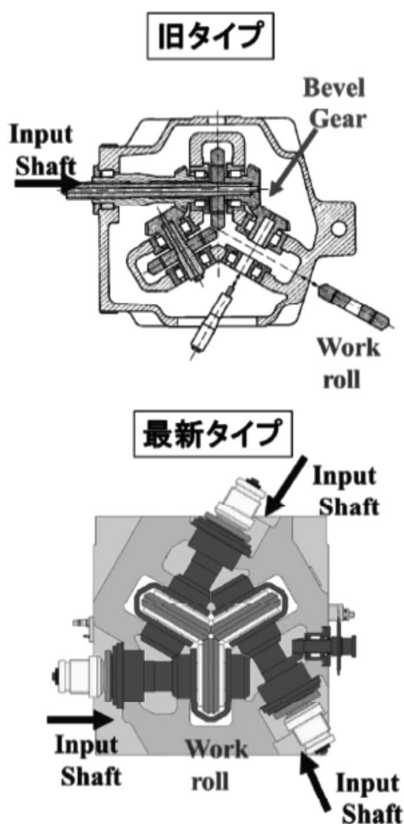


図 2 3ロール圧延機模式図

参考文献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

〔日本製鉄(株) 北日本製鉄所棒線技術室 主査 おおつば こうじ 大坪 紘二〕
〔日本製鉄(株) 北日本製鉄所棒線技術室 やすもり ゆうさく 安盛 雄作〕

コンパクトミル

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、従来よりも圧延機間隔を大幅に短縮した圧延機がコンパクトミルである。コンパクトミルの例として、図1に外観写真を示す。

圧延機は水平・垂直型の交互配置、駆動装置は個別駆動、垂直型は上部駆動式とし、圧延機ソーブルートの一体化や4～6台の圧延機を共通台車に乗せてオンラインにセットする方式などにより圧延機間隔を短縮している。例えば、公称ロール径400mm（フランジ部最大径470mm）の圧延機で、通常は圧延機間隔3.5m程度としているところを1mまで短縮している。コンパクトミル導入メリットは、①狭いスペースに設置可能で圧延機の更新や増設に適用しやすい、②圧延材の温度低下が少なく省エネに寄与できる、③圧延機間隔が短いことで圧延機間での圧延材姿勢の維持が容易となり圧延材の誘導性に優れている、などが挙げられる。さらに、図1の例では、圧延ロールの胴長を短くして圧延機の剛性を高め、また、圧延ロールがシンメトリに圧下動作することでパスラインを一定に保つ構造として圧延材誘導性を高めており、高強度材圧延や低温圧延、高減面圧延を可能にしている。

一方、デメリットは、①圧延機間の圧延材の挙動を目視確認し難いこと、②ミスロール処理の作業スペースが狭いこと、③ロール胴長を短くした場合は、ロールに加工する孔型の本数が1～2本程度となりロール原単位が劣ることなどがある。

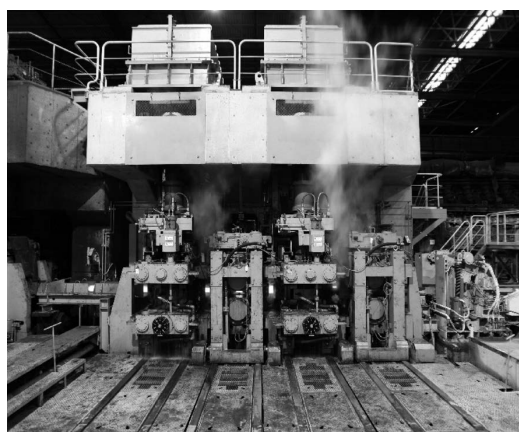


図 1 コンパクトミル外観写真

〔(株)神戸製鋼所 機械事業部門 もりもと たけし 森本 剛司〕
〔技術本部 産業機械技術部 重機械室〕

RSM

また、増速機内に変速機構を設けた多段増速機を採用したことにより、各スタンド間の速度比を可変、すなわち各スタンド間の減面率を可変に出来るため、入側母材径集約による孔型フローの簡略化が可能となった。さらにロール交換作業は、予備スタンドとのクイックチェンジ方式を採用したことで短時間化され、孔型フロー簡略化とあわせてサイズ替時間の大幅な短縮を実現した。

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

3 ロールブロックミル

〔山陽特殊製鋼(株) 研究開発センター
研究開発企画グループ 福島 福嶋 としほ 利保〕

圧延ロール 鋳鉄 (グレン、ダクティル)、鋼系 (アダマイト、黒鉛)、ハイス、WC

◇ アダマイト (黒鉛鋼ロール含む)

組織は、初析セメンタイト、パーライトにて構成される。鋼系ロールに比べて炭素含有量が多く、初析セメンタイトの体積率が高いため、高硬度となり、耐摩耗性に優れる。

特徴として、深硬性が良い (内部への硬度ドロップが小さい) 点が挙げられる。 casting時には、内部に向かって冷却速度が低くなることで黒鉛が析出するが、アダマイトはセメンタイトの体積率が比較的低い為、組織の変化が小さい。これに対して後述の材質では、セメンタイトで硬度担保をしている為、黒鉛化によって顕著な硬度ドロップを示す。このことからアダマイトは、比較的、深硬性が良い傾向を示す。

さらに、特にアダマイトに黒鉛を析出させたロールを黒鉛鋼ロールと呼ぶ。黒鉛を析出させることで耐亀裂性を改善したロールとなる。

深硬性が良いことから深底カリバでの使用に適しており、主に分塊ロールや棒鋼の粗スタンド用に用いられている。

◇ ダクティル

組織は、初析セメンタイト、パーライト、球状黒鉛から構成される。球状黒鉛を有することで亀裂進展を抑制し、耐亀裂性を向上している。亀裂抑制のメカニズムとして、パーライトから球状黒鉛へ亀裂進展した際に亀裂が球状黒鉛内で分散し、かつその後の黒鉛と基地組織の境界で亀裂先端の応力集中が緩和されることによって亀裂進展を抑制している。

上記の組織より、比較的低硬度を有しているが、亀裂進展を抑制する組織構造からと比較的高い衝撃値を示す。対して欠点として、硬度ドロップが大きく、深底カリバを有するロールには向かないという点が挙げられる。

耐摩耗性の観点から、基地のマルテンサイトもしくはベイナイト化や合金添加によって合金炭化物を析出させ、高硬度化させることも可能である。

棒線系の圧延工場では、比較的摩耗の許容度の大きい粗列に主に採用されている。

◇ グレン

組織は、初析セメンタイト、パーライトと片状黒鉛を有している。黒鉛形状が片状に析出していることから、切欠き効果となって強靱性を阻害するため、ダクティルに比較して低靱性となる。 casting系ロールでは中程度の硬度範囲となっている。さらに、合金添加によって合金炭化物を析出させると高硬度化が可能である。棒線系の圧延工場では、耐摩耗の観点から主に中間列に採用されている。

◇ チルド

チルドロールの組織は、初析セメンタイト、パーライトで構成されており、黒鉛を有していない。

これまでの静地 casting法での製造では、金型に溶湯を注入すると、金型の急冷効果によって表層にチル層が形成され、内部への凝固と共に黒鉛が析出してくる。このチル層の深さ (チル深さ) は、黒鉛化促進元素の添加量と冷却速度によって制御する。

casting系ロールでは中程度の硬度範囲となっている。チルドもグレン同様に合金添加により合金炭化物を析出させると高硬度化が可能である。

棒線系の圧延工場では、耐摩耗の観点から主に中間列に採用されている。

◇ ハイス (黒鉛ハイス含む)

組織は基地のマルテンサイトに炭化物 (MC、M₂C、M₇C₃) を分散析出させたものである。基地組織の硬化および析出硬化にて高硬度化を図っている。HIP製造されたハイスは、基本組織は casting系と同様であるが、微細な粒状炭化物が均一分散するマクロ偏析のない組織である。この均一組織によって casting系と比較して耐摩耗/肌荒れ性を具備したロールとなる。

特に十分な冷却能力がない場合、ロール表面の亀裂を発生させ、亀裂部分にスケールの咬みこみ、ビルドアップが起こることで特有の凹凸肌荒れを発生させる。

ハイスロールの棒線材系ミルへの適用のためには、これらのロール肌荒れの改善が必須であり、その為に冷却能力の向上や亀裂発生抑制のための材質開発が検討されている。

さらに最新のハイスロールの研究として、組織均一化による耐肌荒れ性の改善や炭化物生成傾向の強いVの添加による高硬度化等を目的に研究が行われており、中間・仕上列への適用拡大が期待されている。

◇ 超硬ロール (WCロール)

圧延における肌品質の向上、耐摩耗性の向上の要求から、高硬度の材質からなるロールが仕上スタンドを中心に多く用いられている。様々なロール材質の中でも、特に優れた耐摩耗性、耐クラック性を有する材料として、炭化タングステン (WC) 系超硬合金ロールが棒線圧延には数多く適用されている。

超硬合金の特徴は、高硬度で耐摩耗性が高い、圧縮方向の力に強い、耐食性に優れる、熱膨張係数が小さい、温度上昇による寸法変化が小さい点などが挙げられる。一方、短所として、延性に乏しく脆い、引張方向の力に弱い、衝撃に弱い、クラックが一度生じると進展し易い点などがあり、その使用にはロール冷却水の管理が重要である。

〔日本製鉄(株) 北日本製鉄所 生産技術部 生産技術室 設備計画課 加藤 夏輝〕

加工熱処理 TMCP

加工熱処理は、塑性加工と熱処理とを組み合わせることによって、鋼の機械的性質を向上させる手法である。強靱な鋼を得るため、1950年代後半から欧米において加工熱処理の研究が始められ、1960年代には日本においても活発に研究がなされた。鍛造と焼入れを組み合わせた鍛造焼入れなどもあるが、ここでは熱間圧延に限定して記述する。1970年代に入り実用化された制御圧延は、鋼の熱間圧延法の一種で、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、および靱性の向上が可能な加工熱処理である。最初の制御圧延は低温圧延とも呼ばれ、仕上げ圧延温度を一定温度以下に管理する圧延であった。

1980年代から、制御圧延と加速冷却などの冷却制御技術とを組み合わせたTMCP (thermomechanical control process) によって、さらなる機械的性質の向上が達成可能となった。主な活用方法を3点挙げる。第一に、強度と靱性を向上させるため、低温圧延や加速冷却によって、そのまま製品に組み込まれるボルトや、焼入れ焼き戻しが省略された非調質鋼の製造に用いられている。第二に、熱間圧延後の軟化熱処理省略や、処理時間の短縮を達成するため、圧延条件最適化や冷却速度を遅くするなどの制御冷却がされている。第三に、高炭素鋼の伸線性を向上させるため、圧延後の衝風冷却や冷媒による制御冷却を行い、組織の微細化と初析セメントタイトの析出抑制が行われている。

参考文献

- 1) 鉄と鋼：Vol. 100 (2014) No. 9、1062-1075
- 2) 電気製鋼：第69巻1号 (1998) 1月、79-84
- 3) 塑性と加工：第40巻 第467号 (1999-12)、1141-1145

精密圧延・精密圧延材

JIS規格やAISI規格よりはるかに高い精度の寸法公差で熱間圧延する技術を精密圧延と呼び、その条件で圧延された棒鋼及び線材は精密圧延材と呼ばれる。

寸法や圧延条件にもよるが、精密圧延材は $\pm 0.15 \sim 0.20\text{mm}$ の公差で製造され、現在では $\pm 0.1\text{mm}$ 公差の超精密圧延も可能であり、精密圧延材と言えば $\pm 0.1\text{mm}$ 公差材を示す場合も多い。

精密圧延材は優れた寸法精度により、従来、ピーリング材や引抜き材が使われていた用途、例えば、冷・温間鍛造に黒皮のまま使用することにより、少資源、コストダウンを図ることが可能となる。

精密圧延にて、このような代替を推進するためには、寸法精度の向上以外にも、脱炭、表面疵等の低減による表面品質の向上や、顧客要求を満足する圧延組織の確保等、総合品質の向上が必要である。

また、用途に応じた最適な寸法が製造できなければ精密圧延の価値は半減するため、フリーサイズ圧延技術と組み合わせられての製造が望まれる。

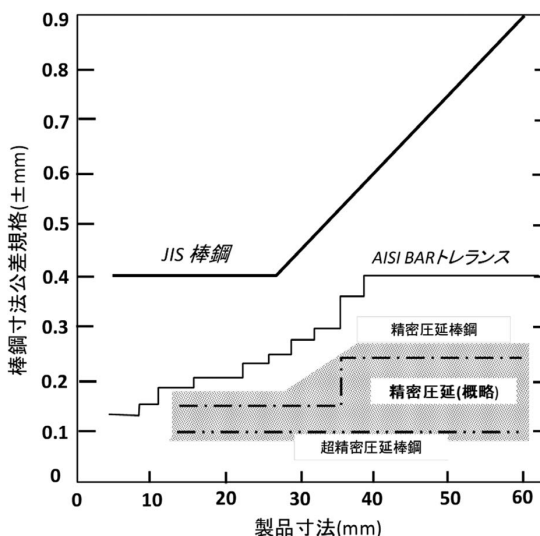


図 1 JIS規格、AISI規格及び精密圧延棒鋼の寸法公差の比較

非破壊検査、超音波探傷試験、 磁気探傷試験、浸透探傷試験、 渦電流探傷試験、漏洩磁束探傷試験

◇ 非破壊検査の種類

NDI：非破壊検査（Nondestructive Inspection）…
非破壊試験の結果から、規格などによる
基準に従って合否を判定する方法。

NDT：非破壊試験（Nondestructive Testing）…
素材又は製品を破壊せずに、品質又はきず、
埋設物などの有無及びその存在位置、大き
さ、形状、分布状態などを調べる試験。

NDE：非破壊評価（Nondestructive Evaluation）…
非破壊試験で得られた情報を、試験体の
性質又は使用性能の面から総合的に解
析・評価すること。

◇ 超音波探傷試験（UT: Ultrasonic Testing）

一般に数MHzの高周波数で振動する超音波を試
験体に入射させ、試験体中に存在するきずなどか
らの反射や超音波の伝搬特性（音速、減衰等）を
計測することで試験体のきずや材質を調べる方法
である。UTにおいては、超音波の伝搬方向に垂直
なきずからの反射が大きいため、一般に板材など
で発生する探傷面に平行なきずの探傷には超音波
を探傷面に対して垂直に入射する垂直探傷法を、
溶接部などで発生する探傷面に垂直、あるいは、
一定の角度を有するきずの探傷には超音波を探傷

面に対してある角度を持たせて入射させる斜角探
傷法が適用されている。

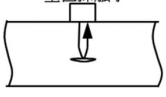
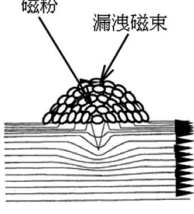
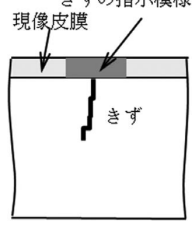
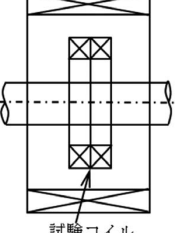
UTにおいては、きずの高精度な定量化や画像化
の研究開発が多く推進されており、複数の超音
波振動子を順に励振することで従来の機械走査に
ない高速な電子走査の実現や、複数素子を適切な
時間遅れで励振することにより超音波の入射角度
や集束位置を変えることが可能なフェーズドアレ
イ技術が一般化している。近年、開口合成処理は
全波形を収集する技術（FMC: Full Matrix Cap
ture）と、収集した波形から探傷画像を再構成す
る技術（TFM: Total Focusing Method）で実現
されており、全ての深さで高分解能な探傷画像を
得ることが可能である。

通常超音波を入射する探触子と試験体は水や油
を介して直接接触しているが、接触媒質を必要と
しない非接触超音波技術（レーザ超音波、空中超
音波、電磁超音波）の開発が盛んに行われており、
実用化も進められている。さらにはSCC（応力腐
食割れ）などの非開口のきずから反射する超音波
成分には、入射する周波数以外にも高調波成分や
サブハーモニック成分が生じる非線形現象を利用
した検出法の研究も行われている。

◇ 磁気探傷試験（MT: Magnetic Particle Testing）

磁粉（磁石に吸いつく鉄粉）を含む適切な試験
媒体を利用し、漏洩磁界によって表面、および、
表面近傍のきずを検出する方法である。磁化され

表 1 非破壊検査の種類

	超音波探傷試験	磁気探傷試験	浸透探傷試験	渦電流探傷試験
探傷方法の略図	〈垂直法〉 垂直探触子  〈斜角法〉 斜角探触子 			
きず検出の原理 （物理現象）	超音波パルスの反射	磁気吸引作用	浸透作用 （毛細管現象）	電磁誘導作用
対象とする材質	金属、非金属材料	金属（磁性材料）	金属、非金属材料	金属（導電材料）
対象とするきず	表面、内部	表層部	表面（開口きず）	表層部

た鉄鋼材料（強磁性体：磁石に吸着する材料）などの表面きず部分から漏洩する磁束により、磁粉がきず部に吸着、凝集し、その拡大された磁粉のきず模様を目視によって判定し、きずの存在を検知するものである。磁粉としては蛍光塗料をコーティングしたものが一般的であり、紫外線を照射することで観察を行う。そのため暗所での使用が必要になるが、明るい場所で紫外線なしで使用できるように黒色磁粉を用いる場合もある。磁気探傷では磁粉そのものがきずを検出するセンサであり、きず部に直接付着することからきずの検出性能は高い反面、試験体表面の性状や物性の変化等でも漏洩磁界が発生することから疑似模様とよばれるノイズも多く現れる。そのため判定には熟練の技能を要する。また、暗所での適用が必要な場合が多いことから検査員への負荷も高く、検査の自動化を目指した磁化や磁粉の自動適用や、画像処理による磁粉模様の判別技術がビレットなどで開発・実用化されている。

◇ 浸透探傷試験（PT: Penetrant Testing）

表面に開口したきずに対して、毛細管現象を利用して浸透液をしみ込ませた後に、現像剤や加熱などによりきずから浸透液をしみ出させ、きずを拡大し、かつコントラストを高めた目視観察可能なきず指示模様を得る方法である。試験体の材質やきずの方向性をあまり問わないことと、簡便な装置で試験できる利点がある（手法によっては、水や電気がない場所での試験も可能である）が、きずの深さなどの定量的な測定は困難である。試験方法として、明るい場所で試験する染色浸透探傷試験と暗い場所で試験する蛍光浸透探傷に大別されるが、一般に蛍光浸透探傷の方が微細なきずの検出が可能である。

◇ 渦電流探傷試験（ET: Eddy Current Testing）

ETは試験コイルを内蔵するプローブを用い試験体（導体）に、時間的に変化する交流磁場を与え、導体に生じた渦電流がきずなどによって変化することを利用してきずの検出を行う方法である。きず信号の振幅や位相差からきずの有無・大きさ・種類を推定する。ETは非接触での試験であるため、線材における熱間圧延直後での高温材の高速探傷も可能である。

試験プローブの型式としては、試験体をコイル内部に挿入して用いる貫通プローブ、試験体内部に挿入して用いる内挿プローブ、試験体の表面上を走査させて探傷する上置プローブがある。一般に管・棒・線材の製品検査などに貫通プローブが、熱交換器伝熱管の保守検査などに内挿プローブが、板材の製品検査や航空機の保守検査などに上置プローブが使用されている。

強磁性の鉄鋼材料の探傷においては、試験体の磁氣的ノイズを抑えるため磁気飽和装置の設置等の対策が必要である。ETにおいては、上置プローブの形状と配置を工夫して探傷時のガタ雑音の抑制や微小きずの検出精度の向上を目指した新型コイルや広範囲の探傷部位を高速で検査する目的でマルチコイルの開発が進められており、棒鋼や角・丸ビレットのETにアレイ状のコイルを適用した事例もある。

渦電流探傷試験はきずの検出だけでなく、渦電流の発生が試験体の材質や組織に大きく影響を受けることから、材質判別にも用いられている。

◇ 漏洩磁束探傷試験（FT: Magnetic Leakage Flux Testing）

FTの検出原理は磁気探傷に類似しており、磁化された鉄鋼材料のきず部からの漏洩磁束を、磁粉ではなくサーチコイルやホール素子などの半導体磁気センサで直接検出する方法であり、電気的な処理で実行されるため自動化装置として適用されている。

漏洩する磁束の大きさはきず深さに略比例するため、きずの深さの推定も可能であり、磁気探傷試験に比較してきずの定量評価性に優れる。磁化には直流と交流の2タイプがあり、内部や部材裏面のきずを検出するためには磁場が深く浸透する直流磁化が用いられる。反対に交流磁化を用いると表皮効果により磁束が材料表面に集中するため浅いきずの検出能が高くなる。棒鋼では表面の微小なきずを検出するために数kHzの高い周波数を用いた漏洩磁束探傷装置が用いられた事例がある。また、漏洩磁束探傷試験においてもアレイセンサーを用いた高速化、高精度化の取組が進められている。

参考文献

特殊鋼 2022年3月号「非破壊検査技術と特殊鋼」

〔日鉄テクノロジー(株) やまだ ひろひさ〕
計測・検査事業部 山田 裕久

2 次加工（線材の伸線）

ま え が き

鉄鋼メーカーで製造された圧延線材は、自動車等の各種部品、ばね、ボルト類など様々な製品に加工される。それら製品加工において、線材は酸洗、伸線といったいわゆる 2 次加工により、表面のスケール除去、潤滑被膜処理、粗さや寸法精度向上等が図られた 2 次加工線材とされた後、冷間鍛造等による部品加工が施される。以下、線材の 2 次加工について概説する。

◇ 2 次加工工程

図 1 に線材の代表的な 2 次加工工程を示す。

圧延線材は最終製品の品質に影響を及ぼす脱炭、表面疵といった材質制御のため、鉄鋼メーカーにて温度や圧下率等の熱間圧延条件の制御のもと製造される。

圧延線材の表面には熱間圧延時に生成したスケール（酸化被膜）が存在するため、2 次加工最初の工程としてスケール除去が行われる。スケール除去の方法としては、酸洗やショットブラストが用いられる。酸洗は硫酸や塩酸等により化学的にスケールを除去する手法であり、またショットブラストは鋼球等の硬質粒子を高速で線材に投射し、スケールを除去する物理的手法である。酸洗では、酸洗不足によるスケール残存、過酸洗による表面荒れやピット疵といった不具合防止のため、酸濃度・温度、処理時間の管理が重要である。

スケール除去後の線材は軟化焼鈍、球状化焼鈍、パテンティングといった熱処理が施される。熱処理の目的は、伸線加工性・冷間鍛造性の向上、ダ

イス・金型寿命の向上、最終部品の組織や機械的特性の調整等である。

熱処理後の線材は、熱処理で生成したスケールを再度酸洗等で除去した後、潤滑被膜処理が行われる。潤滑被膜処理の主な目的は、次工程の伸線でのダイスや次々工程の冷間鍛造での金型との焼付き防止である。潤滑被膜の種類としては、石灰石鹸、リン酸塩被膜＋石灰石鹸、リン酸塩被膜＋化学反応型石鹸等がある。この他にも潤滑被膜処理材として様々な薬剤があり、線材材質、伸線条件、冷間鍛造条件および最終製品用途等により使い分けがされている。浸リンによる遅れ破壊の懸念がある高強度ボルトについてはリン非含有タイプの薬剤が使用される。

潤滑被膜処理後の線材は表面平滑化、寸法精度向上のため伸線が行われる。これは次の冷間鍛造工程での製品形状安定化、摩擦低減等の役割がある。伸線は線材よりもやや小径のダイスに線材を通材することにより、線材を減径する事により行われる。伸線工程では表面疵保証のため、伸線後に探傷が実施される場合がある。探傷には渦流探傷機が広く使用されており、ダイス後方に探傷機を設置し、オンラインでの自動検査が行われている。渦流探傷機には大きく回転型と貫通型の 2 形式があり、回転型はセンサーが線材周りを回転することで探傷を行い、主に線材長手方向の疵を検出する事が出来る。一方、貫通型は固定された円環状センサーの中心を線材が通過する事で探傷を行い、円周方向の疵検出を得意とする。一般的には回転型が使用されることが多い。

参 考 文 献

- 1) 中野聡志：特殊鋼 2016 年 5 月号「線材・棒鋼の 2 次加工技術動向」

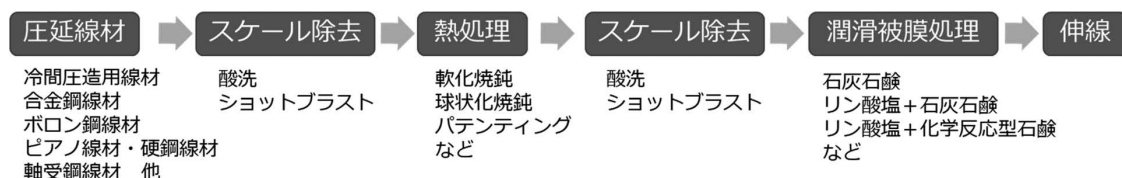


図 1 線材の代表的な 2 次加工工程

〔JFE スチール(株) 棒線事業部 おおもり やすひろ
棒線商品技術部 倉敷商品技術室 室長 大森 靖浩〕

冷間鍛造

冷間鍛造は室温もしくは鋼の再結晶温度未満の温度で塑性加工を行う部品の成形方法であり、予加熱が必要ないため熱間鍛造に比べ仕上りの寸法精度や生産性が高いという特長がある。冷間鍛造技術の進歩に伴い、工法、プレス機械、ワーク材、工具材、潤滑剤、シミュレーション技術など周辺技術も進歩し、適用範囲はボルトからギア、中空品、板鍛造まで広がっている。特に最近では

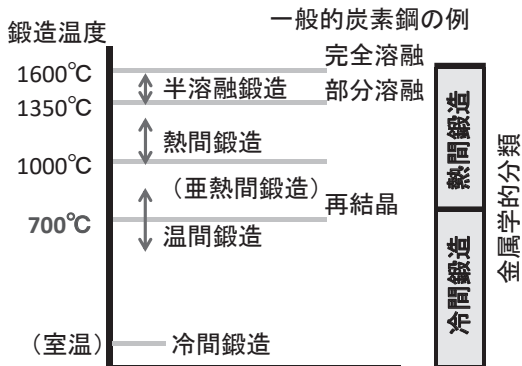


図 1 鋼の鍛造における素材加熱温度域

冷間鍛造品のネットシェイプ化が進められている。

冷間温度域で塑性変形を受けた材料は加工硬化が生じるため割れやすくなる。大きな塑性変形を伴う鍛造加工では途中で焼なましをおこなうが、省エネルギーやコストダウンのため低炭素ボロン鋼を使うなど中間焼なましを減らす努力が行われている。また金型工具は高価なため、金型寿命が延びれば製品1個当たりの金型費を抑えることができる。現在では鍛造荷重と素材変形を予測できるシミュレーション技術が開発されており、金型の早期破損を防止できるようになった。金型工具には冷間ダイス鋼や超硬合金も最近使われ、金型工具材の破損は減っているが、金型工具材が硬くなると少しの曲げでも欠けが生じやすくなる。そのため金型工具内部はある程度の硬さにとどめ、表面をセラミックスでコーティングする技術が開発された。また、工具とワークの直接接触による焼付きを防止するため、化成潤滑材や非化成潤滑材が開発され、世界中の冷間鍛造で使われている。

参考文献

北村憲彦：特殊鋼 2020年9月号「塑性加工」



図 2 冷間鍛造品の例（単純品ボルト→複雑ギア、中空品）

熱間鍛造

まえがき

鍛造の歴史は古く古代より産業の基盤を担ってきたが、中でも熱間型鍛造は今日においても鍛造品生産における主力の加工技術である。鍛造には汎用性のある工具または金型を用いて少しずつ形を造り上げる自由鍛造と、目的の形に型彫りされた金型を用いた、ハンマー鍛造、プレス鍛造等を行う型鍛造に大別できる。また、鍛造加工する温度域により常温で鍛造する冷間鍛造、600℃～900℃で鍛造する温間鍛造、そして再結晶温度以上、固相線温度以下の1100℃～1250℃で鍛造する熱間鍛造に分けられている。ここでは、熱間型鍛造について、その特徴について述べる。

◇ 熱間鍛造の特徴

熱間鍛造では材料を加熱することにより、材料の引張り強さや降伏強さを常温時と比較し約1/10に低下させることができ、伸び、絞りとは大幅に向上する。すなわち変形抵抗が大幅に低下することになる。このことにより常温では塑性加工しにくい材料に大きな変形を与えることができるので、大型で複雑な形状の鍛造品を比較的容易に製造することができる（図1参照）。

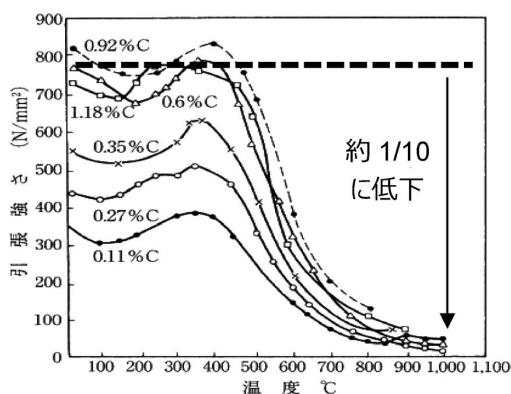


図 1 炭素鋼の高温引張り強さ

表 1 鍛造方法の分類と特徴

分類	冷間鍛造	温間鍛造	熱間鍛造
鍛造温度	常温	600～900℃	1100～1250℃
精度	直径	±0.01～±0.1	±0.1～±0.3
	厚さ	±0.1～±0.3	±0.3～±0.5
	抜勾配	≒0	1°以下
表面脱炭	0(焼鈍時の脱炭は残存)	0.1以下	0.3～0.5

しかし、加熱と鍛造後の冷却の際に表面の酸化や脱炭が生じ、また、高温下での加工による金型の熱膨張や摩耗、鍛造品の熱収縮等による寸法精度のばらつきが生じるため、精度が必要な部位においては後加工が必須である（表1参照）。

むすび

日本で生産されている鍛造品はその約70%が自動車産業用であり、自動車の生産量に伴い鍛造品の生産重量も増加の一途をたどってきた。その自動車がCASEと言われる100年に一度の大改革を迎えようとしている。

鍛造工場においては、従来の鍛造条件の常時監視から、今後はIoT、フィードフォワード制御、AI等の活用と、自社の強みを活かした高付加価値な鍛造品の提供が重要と考える。

参考文献

- 日本塑性加工学会 「わかりやすい鍛造加工」
- 日本塑性加工学会 「すばらしい鍛造の世界」
- 鍛造技術研究所 「やさしい鍛造技術」
- 日本鍛造協会 「鍛造技術講座」

〔株〕ゴーシュー たさき けんじ
先行開発部 部長 田嶋 賢児

熱冷複合鍛造

熱冷複合鍛造とは、「複雑な変形を長所とする熱間鍛造」と「変形量は少ないが精度が良い冷間鍛造」をうまく組み合わせたコンビネーション鍛造であり特にスプライン等の歯車の製造に多く利用されている。

熱冷複合鍛造のメリットとして「歯車等のネットシェーブ化」や「機械加工で2部品や3部品に分割・接合されていた製品の一体化が図れる事」「機械加工における工具の逃げやヌミ溝など、加工都合による形状を廃止・省略することが可能で、これにより小型化や軽量化及び強度アップが図れる事」等があげられる。

一方、実際の熱冷複合鍛造適用時には「本工法で得られる寸法精度の見極め」や「従来よりも高い熱間鍛造の精度管理」等様々な事に留意する必要がある。特に鍛造歯車は歯が先に仕上がりそれを基準に機械加工を行っていく必要があるため機械加工基準がその部品の最終精度に大きく影響を与える。鍛造側だけではなく後工程の機械加工側との連携が非常に重要である。

熱冷複合鍛造は熱間で作ったプリフォームを冷間で再度成形するという工程になるが、冷間時の工法には「据え込み（コイニング）成形」や「しごき（アイオニング）成形」等数種類があり、製品特徴や仕上り精度を考慮しそれらの工法を選ぶ必要がある。

高い精度の（歯車）鍛造品を効率的に作る手法として熱冷複合鍛造は非常に有効であり、その精度確保という意味で冷間鍛造側に目が行きがちであるが冷間鍛造のプリフォームとなる熱間鍛造段階での良し悪しが成功のカギを握っていると言っても過言ではない。熱間・冷間の特徴を最大限に生かし熱冷複合鍛造の適用範囲を広げていきたい。

軸肥大加工

軸肥大加工は、冷間または温間で丸鋼の一部を据込んで拡張させる塑性加工技術であり、材料や製造エネルギーを節約できる省資源・省エネルギーな加工法である。回転している材料に曲げを加えた状態で圧縮荷重を付与することで曲げ圧縮側に高い面圧を発生させ、その領域を塑性変形させる。材料は回転しているので円周方向で逐次的に変形が生じて成形が進行していく。小さな荷重で大きな変形が得られるので装置がコンパクトであり消費電力も少ない。打撃を伴うような動作がないので騒音や振動も発生しない。直径をどこまで拡張できるかは材料の延性割れ限界によって決まる。その目安は、冷間加工の場合は素材直径の1.6倍程度であり、素材に球状化焼鈍を施した場合は2～3倍の拡張が可能である。温間加工の場合は3倍以上の拡張が可能である。太径部の厚みは、据込み比が2.5倍を超えてくると座屈を生じてしまう理由から、同時に得ようとする直径によって制約を受ける。仮に1.6倍の拡張を行った場合、同時に得られる太径部の厚みは素材直径の1倍程度となる。軸肥大加工の加工方法は特徴的ではあるが、成形品の機械的特性などは通常の据込み加工品と同様である。寸法精度は一般公差の粗級程度なので基本的には後工程で切削加工が必要となる。ツバ出し工程において、技術および品質上の課題があったり、多大なエネルギーを消費していたりする部品への適用を期待したい。



図 1 軸肥大加工方法

Ⅲ．材 質

非調質・非調質鋼（冷鍛）

ま え が き

冷間鍛造は、自動車・産業機械など機械構造部品の生産に欠くことのできない製造方式となっている。従来、熱間鍛造または切削加工によって製造されていた製品に広く適用され、生産性の向上、コスト低減、環境負荷低減に寄与してきた。最近、カーボンニュートラルの実現に向けた取組について議論が活発化しており、冷間鍛造においても、高強度鋼を使用することで自動車を軽量化しCO₂排出量を低減する取り組みや、熱処理工程の省略が可能な鋼材を適用するニーズが拡大している。

◇ 冷間鍛造用非調質ボルト鋼

製造工程でのCO₂削減に向けた冷間鍛造用鋼として、非調質ボルト鋼がある。当鋼材は、鍛造前の鋼線強度を高めた上でボルトへの冷間鍛造性を付与したもので、ボルト圧造前の軟化熱処理と圧造後の焼入れ・焼戻し処理を省略できる。ボルト強度は鋼線の強度で決まり、鋼線の強度は圧延線材強度と伸線による加工硬化により決定される。軟化熱処理を施した中炭素鋼鋼線と比べると、非調質ボルト用線材は圧造前の強度が高いため、フランジボルト等の加工率の高い部品に使用されるのは、8.8級の強度までが殆どである。9.8級以上の強度では、工具寿命が著しく低下するので、主にスタッドボルトやUボルトなど簡単な形状の部品に限定されている。

非調質ボルト用線材の工具寿命改善は、8.8級強度でも課題であり、工具寿命改善を図った新しい非調質ボルト用線材も開発されている。当社の開発鋼では、鋼材の化学成分としてSiやN量を低減し、加工硬化や動的ひずみ時効による変形抵抗上昇を抑制することで、圧造時の変形抵抗を低減した。また、伸線加工率を適正化する事により、一

鋼 種	記号	化学成分（質量%）							備 考
		C	Si	Mn	Cr	Al	N	Al/N	
KNCH8S	●	0.29	0.02	1.45	0.1	0.045	0.0032	14.1	非調質線材(冷圧性重視型)
KNCH8	■	0.3	0.24	1.51	0.05	0.033	0.0045	7.3	非調質線材(従来型)
KCH45KT-W	△	0.45	0.18	0.72	0.15	0.024	0.0046	5.2	従来工程(焼入れ・焼き戻し)

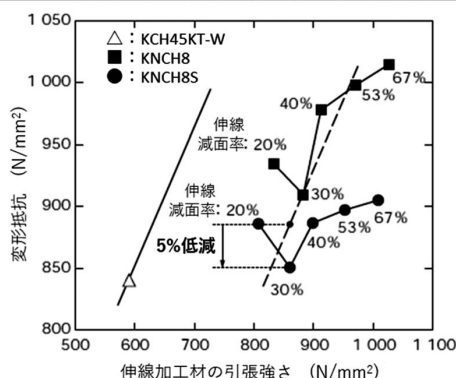


図 1 伸線材の強度と変形抵抗の関係

種のバウシinger効果を最大限に利用することで、変形抵抗の低減を実現している（図1）。従来型の非調質ボルト用線材に比べ、開発鋼は工具寿命が約2倍に向上しており、比較として用いたS45Cの球状化焼鈍材と同等の工具寿命が得られた。

む す び

今後、製造工程におけるCO₂削減が求められる中で、軟化熱処理と焼入れ・焼戻し処理が省略できる冷間鍛造用非調質鋼の適用は増加すると考えられる。更なる複雑形状部品への対応や、小型・軽量化に向けた高強度材での適用ニーズも高まっていくと考えられ、これらに対応できる鋼材と冷間鍛造技術の充実も図って行く必要がある。

参 考 文 献

- 1) 吉原 直：特殊鋼 2021年11月号「脱炭素社会に対応する特殊鋼」
- 2) 吉原 直：特殊鋼 2021年11月号「脱炭素社会に対応する特殊鋼」

〔神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット いわさき かつひろ
線材条鋼商品技術部 マーケティンググループ グループ長 若崎 克浩〕

非調質鋼（熱鍛用途、直接切削用途）

ま え が き

近年、地球の温暖化が急速に加速している中で2015年9月に国連サミットで採択されたSDGsでは13番目の目標に「環境変化に具体的な対策を」とあり、具体的政策の一つとして、政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すことを宣言しています。熱処理省略可能である非調質鋼はカーボンニュートラルに貢献できる鉄鋼材料になります。

◇ 非調質鋼の特徴

図1に調質鋼と非調質鋼の熱履歴の違いを示します。非調質鋼は熱処理工程を省略しますが熱間成形時の温度や冷却速度を制御し組織を造り込

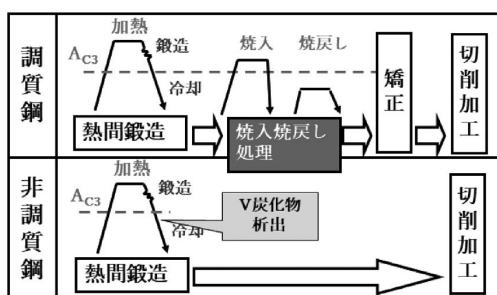


図 1 調質鋼と非調質鋼の熱履歴

表 1 非調質鋼への適用範囲一例

荷重モード	部品適用への向き・不向き	用途例
静的・疲労モード	向き	シャフト類 (クランクシャフト等)
衝撃モード	不向き	ギヤ全般

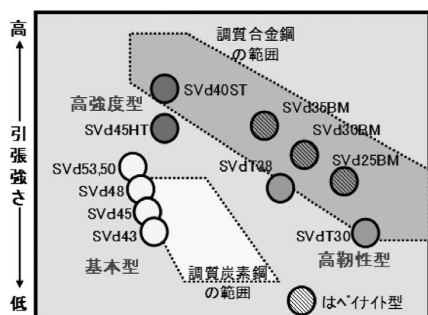


図 2 衝撃値と引張強度

むことで、炭素鋼や合金鋼（調質材）と同等の引張強度（硬さ）を保有しています。化学成分としては基本、炭素鋼にVを添加しており熱間成形後の冷却過程にてバナジウム炭窒化物析出させる析出強化を活用して引張強度（硬さ）を確保しています。また、必要特性に応じてCやMnを調整しています。

ただし、調質鋼と非調質鋼は製品の引張強度（硬さ）が同じであっても組織が異なっており、その違いから衝撃値（靱性）は低下する傾向にあります。そのため、部品に要求される機械的性質を十分に理解した上で適用可否検討をする必要があります。表1に非調質鋼への適用範囲の一例を示します。非調質鋼はシャフト類への適用に対して向いていますが、衝撃荷重が付与されるギヤ類への適用は不向きな鋼材です。なお、非調質鋼の組織はフェライト・パーライト組織やフェライト・ベイナイト組織となっています。

◇ 非調質鋼（熱鍛および直接切削）

熱鍛用途では熱間鍛造温度や冷却速度を制御し、鍛造後の形状が成形された段階で機能を保持しています。また、直接切削用途では熱間圧延温度や冷却速度を制御し、圧延鋼材が製造された段階で機能を保持しています。それぞれの用途でその後、切削加工等を施すことで、熱処理を省略しながら機能を確保した部品を製造可能です。部品の必要特性に合わせて、基本型（フェライト・パーライト組織）、高靱性型（フェライト・ベイナイト組織、低C、高Mn化等）、高強度型（高V、高Mn化等）があります。図2に愛知製鋼が製造する直接切削用途の非調質鋼の引張強度と衝撃値の関係を示します。図2には合わせて調質炭素鋼と調質合金鋼の範囲も示しています。

む す び

熱処理省略を可能にする非調質鋼を簡単ではありますが紹介しました。本紹介を読んでもいただき、現在、調質鋼を使用しているものに対して、非調質鋼への切り替えることで、CO₂排出削減に貢献できれば幸いです。

参 考 文 献

特殊鋼 2021年11月号「脱炭素社会に対応する特殊鋼」

〔愛知製鋼㈱ 品質保証部 宇田川毅士〕
お客様品質・技術室

焼鈍、焼準省略鋼

ま え が き

特殊鋼を用いた部品製造工程（熱間鍛造、冷間鍛造、切削等）において、加工性確保は重要な課題である。また、冷間鍛造後に直接浸炭する場合、部品強度低下の要因となる結晶粒粗大化が生じやすく、その対策も課題である。そこで、加工性改善や浸炭結晶粒粗大化防止のため、通常、焼鈍や焼準が実施される。一方、低コスト化や生産性改善、さらにカーボンニュートラル推進の点から、これら熱処理を省略することには大きなメリットがある。そこで本稿では、焼鈍、焼準省略を可能とする鋼材技術を紹介する。

◇ 焼鈍・焼準省略技術

焼鈍は材料の軟質化を目的とし、例えば冷間鍛造における変形抵抗の低減のために実施される。一方、焼準は組織の均質化を目的とし、主に熱間加工（圧延、鍛造）された鋼材・部品での硬さばらつき低減や不均一化したマイクロ組織の解消による切削性の改善、さらに冷間鍛造品の浸炭時の結晶粒粗大化防止のために実施される。

ここからは、焼鈍、焼準省略を可能とする鋼材技術について製造プロセスと成分設計の特徴を説明する¹⁾。

（１）鋼材製造プロセス

焼鈍・焼準省略のためには、圧延ままでも軟質な鋼材適用することが有効となる。軟質な鋼材の製造には、制御圧延-制御冷却が適用される。その基本的な条件は、仕上げ圧延の低温化と、引き続きの徐冷であり、これにより連続冷却組織としては最も軟質なフェライト+パーライト（硬質なベイナイトを抑制）が得られ、さらにパーライト自体の硬さも低減する²⁾。仕上げ圧延の低温化は、鋼の再結晶、粒成長が生じにくく、微細なオーステナイト粒が形成されることを通じて、フェライト変態を促進させる効果がある〔図1³⁾〕。

また、精密圧延棒鋼の圧延設備である3ローラタイプの圧延機は、その高い剛性を活かして低温で高リダクションの圧延を行うことができ、微細なオーステナイトを得やすことから⁴⁾、有力な制御圧延手段として活用されている。

（２）成分設計

焼鈍・焼準省略に向けた鋼材軟質化には、成分設計からのアプローチも有効である。例えば、合金元素の中で、フェライト強化作用の大きいSi、Mnの低減が、圧延まま材の軟質化につながる^{5)~7)}。Si、

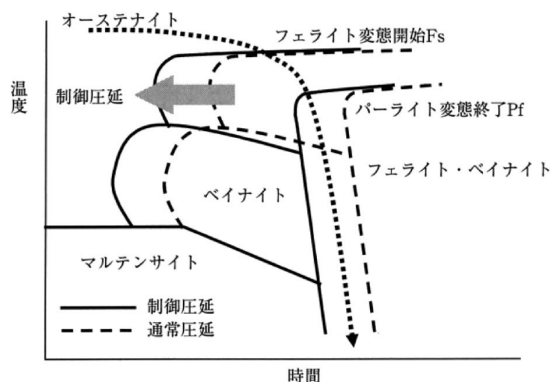


図 1 制御圧延によるフェライト+パーライト化の促進³⁾

Mnの低減による焼入性の低下は、フェライト強化作用の小さいCrの増量で補うことができる。また、微量添加で焼入性を大きく向上させるBも活用される^{5)、6)}。なお、B自体にも鋼を低温加工した際にフェライト分率を増加させる効果があり、軟質化に有効である²⁾。

次に、冷間鍛造部品の浸炭時結晶粒粗大化防止のために実施される焼準の省略を目指した鋼の開発例を紹介する⁸⁾。冷間鍛造に先立つ球状化焼鈍材にラメラ状炭化物が存在すると、冷間鍛造時に局所的な不均一ひずみが導入され、浸炭時結晶粒粗大化を誘発する。そこで、この開発鋼はSCr420よりもCrを増量してラメラ状炭化物を抑制し、球状化焼鈍組織の均質性を高め、さらに、微量Nb添加により結晶粒界ピン止め効果の高い微細な炭・窒化物を分散させた。これにより、冷間鍛造後に焼準を省略しても、通常浸炭温度域での結晶粒粗大化抑制が期待できる。

む す び

焼鈍、焼準省略は、部品製造コスト削減や生産性向上に加え、CO₂排出削減を通してゼロカーボン社会実現にも寄与する重要技術である。今後、さらなる技術の発展や適用範囲の拡大が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 藤松威史：特殊鋼 2021年11月号「脱炭素社会に対応する特殊鋼」
- 2) 戸田正弘ほか：塑性と加工、52、600（2011）、p. 153
- 3) 鹿磯正人：特殊鋼 2010年5月号「コスト低減に寄与する特殊鋼」
- 4) 石橋直弥：山陽特殊製鋼技報、28（2021）、p. 71
- 5) 藤松威史ほか：まてりあ、45、2（2006）、p. 141
- 6) 紅林豊ほか：電気製鋼、71、1（2000）、p. 65
- 7) 今波祐太ほか：まてりあ、58、2（2019）、p. 108
- 8) 山陽特殊製鋼技報、28、1（2021）、p. 62

〔山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 新商品・技術開発室 商品開発1グループ 松尾 けんた〕

耐遅れ破壊 耐遅れ破壊非調質鋼

◇ 耐遅れ破壊

耐遅れ破壊とは、遅れ破壊に対する抵抗性を表す用語である。遅れ破壊は、ある部品に荷重が負荷されてから、ある時間経過後に突然破壊を生ずる現象であるために、その発生を予測するのは困難であり、また重大な災害をもたらす可能性もあるため、鉄鋼材料において耐遅れ破壊性は重要な特性の1つである。

遅れ破壊は1,000MPa以上の強度を有する部品に長期間大きな力がかかる場合に生じやすく、具体的には高強度ボルトにおいては特に耐遅れ破壊に対する考慮が必要である。

遅れ破壊した部品の破面は粒界破面を呈しており、これは鋼中に侵入した水素が粒界脆化をもたらすためと考えられている。また、遅れ破壊の要因として、ボルト製造時あるいは使用環境より鋼中に侵入する水素量、部品への負荷応力、部品材質、部品形状が挙げられるが、部品材質については図1に示すように、引張強さが高くなると耐遅れ破壊性が低下し、また鋼種によりその限界は異なる。

遅れ破壊を防止するためには、製造時の鋼中水素を低減するためのベーキング処理、及び塩水、湿気等の環境から部品を遮断することがある。

また、最近では耐遅れ破壊性の優れた高強度ボルト用鋼も多く開発されてきている。

◇ 耐遅れ破壊性の優れた非調質鋼

従来、ボルト用鋼として、JIS強度区分6.8までは、低炭素鋼または中炭素鋼の焼きならし材が使用され、それ以上では中炭素鋼あるいは合金鋼の焼入れ焼戻し材が使用されている。これらに対し、ボルトの低コスト化を図るために、従来の焼入れ焼戻しが省略できる、非調質鋼を用いた強度区分8.8クラスのボルトが開発され、実用化されている。これらボルト非調質鋼は化学成分として、低C、高Mn、Nb、Ti添加を特徴としている。

ボルトに必要な特性として、耐遅れ破壊性がある。強度区分8.8クラスまでの非調質ボルトに関して数多く評価され、同強度の焼入れ焼戻し材に比べ同等以上であり、実用には問題ないという報告がされている。

その他、ボルトに必要な特性として、耐衝撃破壊性、疲労特性、リラクゼーションがあるが、非調質ボルトは合金鋼焼入れ焼戻し材ボルトと同等以上であることが報告されている。

また、より高強度の非調質ボルトが望まれているが、金型の寿命低下によるコストアップのため、現在は加工度が低い強度区分10.9クラスのスタッドボルトなどで使用されている程度である。

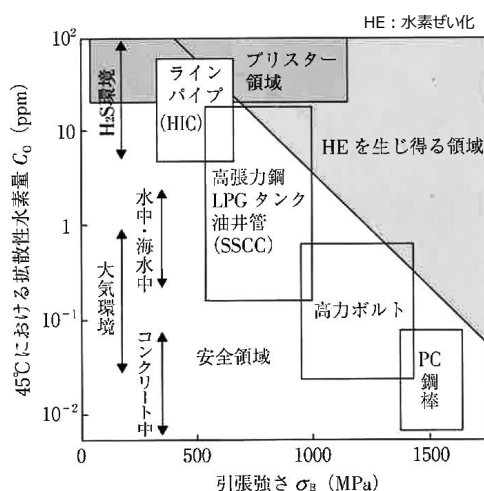


図 1 引張強さと材料中の水素溶解量で整理した水素ぜい化感受性
松山晋作、遅れ破壊 (日刊工業新聞社)、(1989) P. 70

〔日本製鉄(株) 棒線技術部棒線商品技術室 門田 淳〕

耐粗粒化、耐粗粒化鋼、低ひずみ鋼

まえがき

近年、自動車などに使用される歯車は、製造工程の合理化、低コスト化を目的として、冷間鍛造が適用されるケースが増加しています。冷間鍛造は、熱間鍛造に比べて加熱に要するエネルギーが不要となるだけでなく、加工精度が高いため鋼材歩留りが高く、環境負荷の小さい工法であり、カーボンニュートラルにも寄与する工法です。本稿では、大同特殊鋼(株)（以下、大同）が開発した冷間鍛造に適し耐粗粒化特性も有する歯車用肌焼鋼について紹介します。

◇ 冷鍛歯車用ボロン肌焼鋼（ALFA鋼¹⁾、Super-ALFA鋼²⁾）

通常、歯車を冷間鍛造する場合、高い変形能や寸法精度が要求されるため、冷間鍛造前に球状化焼なましを主とした軟化処理を行います。大同では、圧延素材までも十分な低硬さが得られるALFA鋼（Annealing Less cold Formability Alloy steel）を開発しました。ALFA鋼は、SiやMnを低減することで素材の硬さを下げ、そして、SiやMn低減に伴う焼入れ性の低下をボロン（B）添加により補完した鋼材です。ALFA鋼では、圧延素材において75HRB程度の硬さが得られるため、球状化焼なましをおこなうことなく、圧延素材のままで冷間鍛造を行うことが可能です。

さらに結晶粒粗大化抑制能を高めた鋼材がSuper-ALFA鋼です。本開発鋼は、ALFA鋼より多くのNbを添加し、Nb炭窒化物量を増やすことで結晶粒粗大化抑制能をさらに高めた鋼材です。Super-ALFA鋼は、ALFA鋼と同様に冷間鍛造前の球状化焼なましを省略することが可能です。また、冷間鍛造材はそのまま浸炭処理をおこなうと、結晶粒粗大化が発生する 경우가多く、通常、浸炭処理前に応力除去を目的とした焼なまし等をおこないません。Super-ALFA鋼は、高い結晶粒粗大化抑制能を有しているため、冷間鍛造後の焼ならしも省略することが可能です。なお、ALFA鋼とSuper-ALFA鋼は、通常の肌焼鋼と同等以上の疲労強度や靱性を有しています。また、結晶粒粗大化を抑制することにより、結晶粒粗大化が生じた場合に比べて低ひずみが期待されます。

むすび

本稿で紹介した開発鋼を用いた場合の製造工程例を表1に示します。これら開発鋼は、自動車用の冷鍛歯車を中心に様々な冷鍛部品に適用され、部品製造コストと環境負荷低減に寄与しています。今後はさらなる適用拡大を図っていきたいと考えています。

参考文献

- 1) 紅林ら：電気製鋼、69（1998）、P 57
- 2) 紅林ら：電気製鋼、71（2000）、P 65

表 1 開発鋼を用いた冷間鍛造歯車の製造工程例

区分	鋼材	成分例	製造工程例
JIS鋼	SCr420H	0.20C-0.25Si-0.8Mn-1.0Cr	素材 - 球状化焼きなまし - 冷鍛 - 焼ならし - 浸炭処理
開発鋼	ALFA鋼	0.18C-0.10Si-0.5Mn-1.0Cr-B-Nb 少	素材 - 省略 - 冷鍛 - 焼ならし - 浸炭処理
	S-ALFA鋼	0.18C-0.10Si-0.5Mn-1.0Cr-B-Nb 多	素材 - 省略 - 冷鍛 - 省略 - 浸炭処理

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料研究室 室長 山崎 歩見〕

熱処理時間短縮鋼

まえがき

自動車に使用されている歯車、シャフトなどの駆動系部品は疲労強度と耐摩耗性を確保するために浸炭処理が多く適用されています。これらの部品に求められる特性としては、疲労強度はもちろんのこと、同時に製造コスト低減や省エネルギー化が求められます。それらの課題を解決する手法の1つに浸炭処理温度の高温化が挙げられます。通常、浸炭処理は920℃前後でおこなわれますが、例えば処理温度を1020℃まで高温化すると、炭素の拡散速度が約3倍になるため、浸炭処理時間を大幅に短縮することができ、生産性向上による製造コスト低減や省エネルギー化が期待できます。その際、課題となるのが結晶粒の異常粒成長（粗大化）です。結晶粒粗大化が生じると、疲労強度や熱処理ひずみが悪化する場合¹⁾があり、部品としては結晶粒粗大化を抑制することが必要です。本稿では、それらの課題に対応可能な技術について紹介します。

◇ 結晶粒粗大化防止鋼（ATOM[®]鋼²⁾）

JIS-SCr420Hに代表される一般的な肌焼鋼では、AlとNを添加し、AlN析出物（ピン止め粒子）により結晶粒粗大化抑制能を高めています。しかしながら、高温での浸炭処理では、AlNは固溶してしまうため、結晶粒粗大化抑制能が低下し、結晶粒粗大化が起こってしまう場合があります。

大同が開発したATOM鋼は、AlN析出物に加え、Nb炭窒化物を活用することで、粗大化抑制能をさらに高めた鋼材です。ATOM鋼では、Nb炭窒化物の効果により、高温浸炭をおこなっても結晶粒粗大化が起こることなく、優れた強度特性と熱処理ひずみが得られます。

◇ ピン止め粒子レス異常粒成長抑制鋼^{3)、4)}

大同が開発したピン止め粒子レス異常粒成長抑

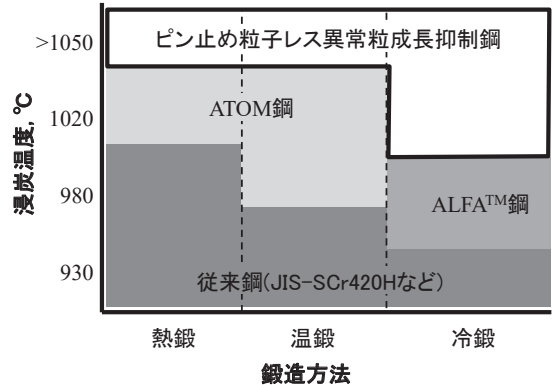


図 1 種々の鍛造方法における適用可能な浸炭温度域

制鋼は、上述したAlN析出物やNb炭窒化物を活用し結晶粒粗大化抑制能を高めるのではなく、それらのピン止め粒子を極力析出させないことで異常粒成長を抑制する鋼材です。すなわち、浸炭処理時に結晶粒を均一に成長させることで、異常粒成長の発生を抑制します。図1に示すように、本鋼材は上述したATOM鋼よりもさらに高い浸炭温度においても結晶粒粗大化を抑制可能で、製造コスト低減に大きく寄与することが可能です。

むすび

本稿で紹介した開発鋼は、高温での浸炭処理においても結晶粒粗大化を抑制することができ、疲労強度や耐摩耗性を十分に確保しつつ、製造コスト低減や省エネルギー化に大きく貢献することが可能です。今後さらに高まることが予想される環境負荷軽減に対する要求にも応えていきたいと考えています。

参考文献

- 1) 瓜田ら：電気製鋼、59（1988）、P 33
- 2) 紅林ら：電気製鋼、65（1994）、P 67
- 3) 中山ら：電気製鋼、85（2014）、P 133
- 4) 井上：電気製鋼、90（2019）、P 79

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料研究室 室長 山崎 歩見〕

高纯净度鋼

まえがき

高纯净度鋼とは、鋼を製造する過程で鋼中に不可避免的に含有され、鋼製品中に残留している非金属介在物（以下、介在物と略す）を可能な限り減らした鋼のことである。高纯净度鋼では、介在物の小径化や、個数の低減が図られている。このような鋼は、使用中に介在物が起点となって疲労破壊する可能性がある部品に適用することで、破壊の抑制や、部品の長寿命化が期待できる。高纯净度鋼が求められる代表的な部品としては、軸受が挙げられる¹⁾。軸受では、部品内部に含まれる介在物に応力が作用することで破壊がもたらされる場合がある。以下では、高纯净度鋼の製造方法について簡単な紹介を行い、また、今後の高纯净度鋼のニーズについて述べる。

◇ 高纯净度化のための製造技術

鋼中の介在物としては、酸化物、硫化物、窒化物など様々な種類がある。図1²⁾に介在物の観察例を示す。そのなかでも特に酸化物は、従来から軸受の破損原因として注目されてきた。鋼は、大

気中で溶解して製造されることが一般的になっており、酸化物を減らすためには、その工程の中で溶鋼を大気に触れないようにしつつ、鋼に含まれる酸素をいかに取り除くかが大事になる。以下、当社の概略製造工程（下記）を例に高纯净度鋼の製造について説明する。

＜鋼の製造工程の例＞：電気炉（EF）溶解→取鍋（LF）精錬→RH脱ガス→連続 casting（CC）

電気炉（Electric Furnace（EF））では、スクラップなどの主原料を溶解し、いったん溶鋼の状態にする。そして、溶鋼が汚染されにくいように電気炉の炉底側から溶鋼を取鍋に移す。次の取鍋（Ladle Furnace（LF））精錬では脱硫と酸化物系介在物の除去、および成分調整が行われる。続くRH脱ガスと呼ばれる工程で溶鋼を真空槽中へ引き込んで還流させながら、水素や酸素といったガス成分を除去する。その後、清浄に保たれた溶鋼を外気と遮断した状態で垂直型の連続 casting（Continuous Casting（CC））設備に casting 込む。この casting 込み方は、 casting 中にも介在物の浮上除去が促進されやすく高纯净度鋼の製造に適している。これらの製造方法の追求によって、現在では酸素量が数ppm程度の超高纯净度鋼を大気溶解プロセスで安定的に製造することが可能になっている。

むすび

近年、主要各国においてカーボンニュートラル化社会実現を目標に掲げた取り組みが活発化している。そのような背景から、環境にプラスとなる影響が期待される電気自動車、鉄道、風力発電機などのエコプロダクトが注目されている。これらに組み込まれる軸受の性能は、製品寿命やメンテナンスの負荷を左右するため、その素材として用いられる高纯净度鋼のニーズもますます高まり、その重要性が増すものと予想される。

参考文献

- 1) 藤松威史：特殊鋼 2019年7月号「特殊鋼の合金元素の基礎知識」
- 2) 藤松威史：ふえらむ、20、5（2015）、p. 195

〔山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター部長 藤松 威史〕

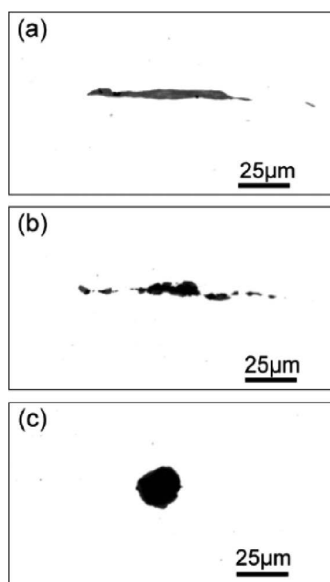


図 1 鋼中の非金属介在物の光学顕微鏡観察例²⁾
(エッチングなし)
(a) 硫化物、(b) (c) 形態の異なる酸化物

非鉛快削鋼

ま え が き

鋼材の被削性は、機械部品の製造コストやリードタイムに大きな影響を与える。近年では、加工効率向上のための高速化や無人化が推し進められており、切削課題の解消は非常に重要になっている。これまで、被削性に優れた鋼材として、鉛（Pb）快削鋼が広く用いられていたが、物質の有害性や環境規制の観点から、鉛を代替する快削性元素の研究開発が進み、いわゆる非鉛快削鋼（または鉛フリー快削鋼）が提案されてきた^{1)~4)}。快削鋼としては、大別して低炭素系快削鋼と機械構造用鋼に快削性元素を添加した鋼材の2種類がある。

◇ 非鉛快削鋼の種類と特徴

①硫黄（S）快削鋼

硫黄を多量に添加し、鋼中に非金属介在物であるマンガン硫化物（MnS）を生成・分散させ、これを切削時の応力集中源として亀裂の発生・伝播を助長することで広い条件下で良好な被削性を示す。しかし、硫化物は軟質であるため鋼材の熱間圧延および加工中に展伸し、強度の異方性が出る場合がある。このようなデメリットを低減するために、元素添加量や圧延加工条件の制御または第3元素を添加することでMnSの大きさや分散状態を最適化した低炭素硫黄快削鋼⁴⁾や機械構造用快削鋼も開発されている。

②黒鉛快削鋼

S快削鋼は様々な用途に適用できる優れた材料であるが、非金属介在物を多く含むことから冷間鍛造性に劣るとされている。その課題を解決する冷間鍛造用非鉛快削鋼として、黒鉛快削鋼が開発された⁵⁾。鋼中の硬質なセメントサイトを軟質な黒鉛に変えることにより、鋼材の硬度が低下して冷間加工性が良好になる。黒鉛は潤滑作用があり、特にハイスドリル加工性に優れるとされている。また黒鉛は最終的な焼入れ処理で鋼中に固溶し、疲労強度を劣化しにくい特徴もある。しかし、セメントサイトの黒鉛化に時

間を要する点や黒鉛化を抑制する元素を制限しなければいけない課題もある。

③ビスマス（Bi）快削鋼

Pbと同様にBiは低融点金属元素として、切削加工中の溶融脆化により切り屑を分断しやすくすることで優れた効果を発揮する⁶⁾。また人体への有害性がPbに比べ低いとされている。Biの添加はハイスドリル寿命を向上させる一方、超硬工具寿命向上にはあまり効果がないとされPbの添加と同様な作用を有する。また、Biはレアメタルゆえ調達性の課題もある。

④窒化ホウ素（BN）快削鋼

BNは白色黒鉛とも呼ばれ、黒鉛と似た特徴を有する。BNを活用する際のB添加量は数十ppmとされ、他の快削性元素の添加量に比べ少量であることから機械的性質への悪影響は小さい⁷⁾。BNには、切欠き効果、切り屑せん断域での脆化作用、潤滑効果、工具の拡散摩擦抑制効果があるとされている。また比較的少ないS量で効果が得られることから黒鉛快削鋼と同様に冷間鍛造用途への適用が期待されている。

む す び

これまでに環境負荷の高い鉛（Pb）を用いない様々な非鉛快削鋼が開発され、AISI 12L14代替の低炭素硫黄快削鋼やクランクシャフトおよびコンロッドなどの機械構造用鋼でも実用化が進んでいる。最近では機械部品製造工程での更なる高能率化や無人化が進んでおり、被削性の向上は引き続き取り組むべき課題と考えている。

参 考 文 献

- 1) 藤松成史：特殊鋼 2014年5月号「切削加工と特殊鋼」
- 2) 杉本淳：特殊鋼 2014年1月号「頑張る日本の特殊鋼」
- 3) 白神哲夫：ふえらむ、Vol. 21（2016）、No. 2、14
- 4) 長谷川達也：特殊鋼 2021年11月号「脱炭素社会に対応する特殊鋼」
- 5) 岩本隆、村上俊之：JFE技報、4、（2004）、64
- 6) 柴川雅美、鹿磯正人、松島義武、家口浩：R&D神戸製鋼技報、51、No. 1（2001）、13
- 7) 村上俊之、富田邦和、白神哲夫：NKK技報、23（2009）、10

〔JFEスチール(株) スチール研究所 いちみや かつゆき〕
構造材料研究部 主任研究員 一宮 克行

表 1 快削性に寄与する元素の例

合金元素	快削性への寄与
S、Mn	硫化物の主要形成元素
Ca、Mg、Ti、Zr等	硫化物形態制御
C	セメントサイトの黒鉛化による潤滑作用
B	BN形成による応力集中作用、潤滑作用
Pb、Bi	潤滑作用、溶融金属脆化、応力集中作用
Se、Te	硫化物形態制御（球状化）による被削性、異方性改善
Cr	硫化物大型化による切削面粗さ向上
P	マトリックスおよび結晶粒界脆化

IV. 熱処理（鋼材組織）

Fe-C（鉄－炭素）系平衡状態図

Fe-C系平衡状態図を図1に示す。Fe-C系平衡状態図とは、横軸にC量、縦軸に温度を取った場合の熱力学的に安定な状態を示す図である。この図を用いることにより、我々はC量と温度の情報を得ることで、鋼の性質を知ることが出来る。鋼を扱う者にとって、覚えておきたいポイントを下記に示す。

A₁線…共析変態温度

A₃線…オーステナイト／フェライト変態線

α…フェライト相

γ…オーステナイト相

α+γ…フェライト／オーステナイト2相域

Fe₃C…セメンタイト

S…共析点

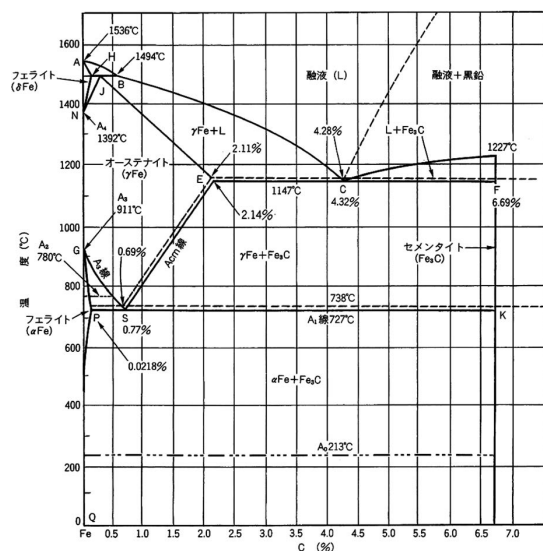


図 1 鉄－炭素2元系状態図（熱処理技術入門）

恒温変態線図（TTT）

オーステナイトの変態挙動について、縦軸に温度（Temperature）、横軸に対数時間（Time）を取った図に変態の開始、及び終了時間を図示したものである。この図によると、過冷却されたオーステナイト組織には、三つの変態領域があり、それらを「パーライト変態」「ベイナイト変態」「マルテンサイト変態」と呼ぶ。図中では、それぞれの頭文字と変態開始（Start）と変態終了（Finish）の頭文字を取り、Ps、Pf（パーライト変態の開始と終了）、Bs、Bf（ベイナイト変態の開始と終了）、Ms、Mf（マルテンサイト変態の開始と終了）と表現する。

図2に共析鋼（0.8% C）のTTT線図を示す。それぞれの温度における変態の開始時間と終了時間、及び得られる組織が示されており、我々はこの情報をもとに、熱処理に必要な時間と温度を判断し、鉄鋼を製造する際の製造標準や設備設計に生かしている。

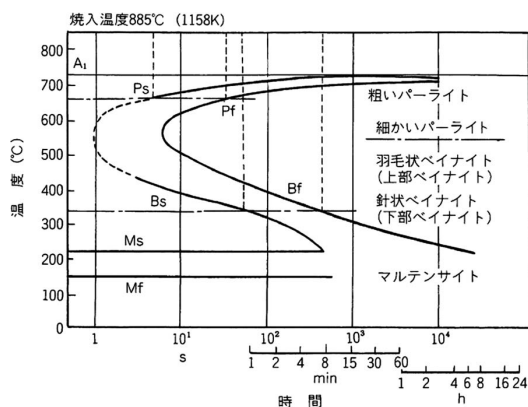


図 2 共析炭素鋼の等温変態線図（熱処理技術入門）

連続冷却変態曲線 (CCT)

恒温変態曲線 (TTT線図) に対して、オーステナイトを様々な冷却速度で変態した時の挙動を示したものが連続冷却変態曲線である。縦軸に温度 (Temperature)、横軸に対数時間 (Time) を取った図である点はTTTと同様であるが、様々な冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) に対応する為に、低温側、且つ長時間側にシフトされている。

この図は、パーライト変態がスタートする線に掛からない速度で冷却された場合はマルテンサイト変態、パーライト変態が終了する線に掛かる速度で冷却された場合は完全パーライト組織になることを示している。従って、パーライト変態のスタート線が右側、即ち遅い時間側にあるほど、その鋼材は「焼入れ性が高い」といわれ、太い棒鋼、厚い鋼板でも中心部までマルテンサイト組織とすることが出来る。殆どの合金元素は、パーライト変態を遅延させる効果を持つが、特に焼入れ性を高める目的でクロムやモリブデンなどの合金元素が添加される。

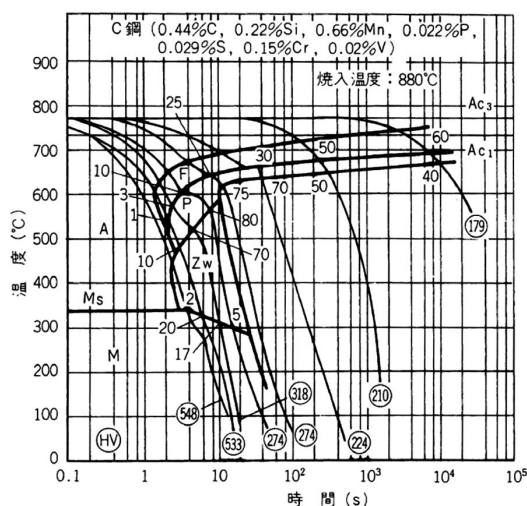


図 3 0.44% C 鋼の連続冷却変態図 (熱処理技術入門)

[日本製鉄株]

変 態

◇ パーライト変態

パーライトとはフェライトとセメンタイトが交互に層を成す組織である。光学顕微鏡で観察すると真珠色に見えることにその名が由来する。このようにフェライトとセメンタイトの2つの相が配列する理由は、オーステナイトからこの2つの二相が“同時に析出する (共析)” ことと関係に關係する。

先述のフェライトとセメンタイトでは、それぞれの組織の平衡C量が大幅に異なる。オーステナイトでは均一に存在していた炭素 (C) が、変態の際にフェライトとセメンタイトの2相に拡散分配される。しかし、Cが拡散するための時間が必要であるため、拡散距離が短くて済む「層状構造 (ラメラ構造)」を取る。この為、より高温で変態した場合にはラメラ間隔が大きく、低温になるに従い、その間隔が狭くなる。

パーライト変態はオーステナイトの粒界から始まり、粒内に向けて成長する。この為、鉄鋼の材質を制御する目的で初期のオーステナイト粒径 (オーステナイトの大きさ) の制御も行われている。

◇ ベイナイト変態

ベイナイト変態とは、パーライト変態より低温で熱処理を行った際、原子の拡散速度が低下するために、パーライト変態のような層状組織を形成することが出来ず、棒状や粒状のセメンタイトを有する組織となる。ベイナイトの名は、その存在を明らかにしたアメリカの研究者ベインに由来する。

約350 $^{\circ}\text{C}$ を境にそれより高い温度で変態して得られる組織を「上部ベイナイト」といい、低い温度で得られる組織を「下部ベイナイト」という。上部ベイナイトはパーライト組織に近いが、短い針状のセメンタイトが存在する組織が観察され、下部ベイナイトは、焼き戻しマルテンサイトのような、粒状のセメンタイトを有する組織である。

ベイナイト組織は高い強度と良好な靱性の他、様々な良好な特性を示すことが知られており、その特性を利用した様々な製品が開発されている。

◇ マルテンサイト変態

オーステナイト組織の焼入れ速度を大きくすると、パーライト組織の特徴である「拡散」が働かず結晶構造が変わる「無拡散変態」となる。この変態によって得られる組織を「マルテンサイト」という。この名はドイツの金属組織学の研究者であるマルテンズに由来する。

[日本製鉄株]

残留オーステナイト

恒温変態線図（TTT）の項で述べた、マルテンサイト変態の終了点（Mf）が室温以下となると、変態が完了しなかった（未変態）オーステナイトが組織の中に残る。残留オーステナイトの存在はその材料の焼入れ硬さを低下させる。一方、工具鋼、ダイス鋼、軸受鋼はその用途より、より強靱な材質が求められることからMs点は低くなる。このような材料では、残留オーステナイトをマルテンサイトに変態させる目的で、焼入れ後に室温以下の適切な温度に冷却する「サブゼロ処理」が行われている。

〔日本製鉄㈱〕

時 効

金属組織では材料特性が時間の経過に伴い変化することを時効という。鉄鋼材料の製造、加工工程で、加熱と冷却によって過飽和状態になることがある。過飽和状態になった材料は常温のような比較的低い温度になってから、徐々に金属間化合物が析出し、時間の経過とともに増加する。時効における特性変化は、最初は硬化するが、最大値を過ぎると硬度が落ちる。

最初に時効硬化現象が発見されたのは、アルミ合金の「ジュラルミン」である。1906年にドイツのウィルムによって発見された現象であるが、当初、ウィルムは鉄鋼以外の金属に適当な元素を添加して焼入れを行うと硬度が増すのではないかと考えたが、鉄鋼のような特性を示す金属は見つからなかった。しかし、アルミニウムに銅を4%、マグネシウムを0.5%含有するアルミニウム合金を焼入れし、数日経ってから硬度を測定すると、非常に硬くなっていることを発見した。

〔日本製鉄㈱〕

非金属介在物

非金属介在物とは、鉄鋼の内部に残存した酸化物や炭化物、硫化物などの非金属物質を指す。一般的には非金属介在物は鉄鋼の組織中に溶け込まないために、破壊の起点となったり、靱性を低下させるなど、製品寿命の低下や事故につながる可能性もあり、精錬工程や連続鑄造工程で極力取り除く処理が行われる。

一方で完全に除去されないまでも、微細且つ均一に分散していることが望ましいとされており、快削鋼のように鉛や硫黄、ビスマスなどを添加し、非金属介在物をうまく分散させて切削性を高めた鋼材もある。また、軸受鋼のように長時間連続運転する機械に使用される鋼材では低酸素、低非金属介在物の鋼材が必要とされ、スチールタイヤコード等の極細線用のピアノ線では、加工中の断線を避けるために、伸線加工で細かく碎けるような軟質な非金属介在物への調整が行われる。このように、製品の特性に合わせた非金属介在物の利用技術、無害化技術が開発されている。

鋼材の清浄度を測定する検査方法としてJISでは顕微鏡を用いる試験方法（JIS G0555）が規定されており、その形態や組成による区分が規定されている。また、特殊溶解法を用いて試験片溶解し非金属介在物を浮き上がらせる方法を用いる例もある。現在では自動電子顕微鏡を用いて、介在物の数、組成を測定する方法も実用化されている。

〔日本製鉄㈱〕

中心偏析

溶鋼中に残った不純物は固体には液体ほど溶け込まない。鑄造の冷却過程では凝固によって体積が収縮する際に内部に隙間が生まれ、この隙間に不純物の濃い液体が吸い込まれて生じるのが中心偏析である。中心偏析は鋼材の脆さの原因となることから、内部に生じた隙間に濃い液体が吸い込まれないようにしなくてはならない。

その方法として開発されたのが「軽圧下」である。凝固収縮によって生じる内部の隙間を、多数のロールで順次圧下することで無くし、濃化溶鋼の流動を抑える方法である。

〔日本製鉄㈱〕

浸炭、浸炭窒化、浸窒焼入れ

◇ 浸炭

浸炭は、C量0.2%程度の鋼材を A_3 変態点以上に加熱・保持し、雰囲気中のCを表面から浸透拡散させた後に焼入れする熱処理である。これにより表層は750Hv程度の高C（0.8%程度）マルテンサイト組織、芯部は350Hv程度の低C（0.2%程度）マルテンサイト組織となる。このような硬度傾斜を持つ組織とすることで、耐磨耗性、耐疲労特性、耐割れ性等を付与している¹⁾。浸炭方法として、固体浸炭、液体浸炭、ガス浸炭等があるが、工業的に最も普及しているのがガス浸炭である。一方、近年ではCO₂排出抑制といった環境側面や操業面においてメリットがある真空浸炭も広がっている²⁾。

◇ 浸炭窒化

浸炭窒化は、浸炭中にNH₃を加えた雰囲気中で加熱・保持することでCと同時にNを浸透拡散させ、その後に焼入れする熱処理である。浸炭と比較すると、① A_1 変態点が低下する為、低温での熱処理が可能であり熱処理歪みが抑えられる、②表面近傍の焼入性が上昇し、浸炭異常層が低減する、③焼入性の低い鋼種でも硬化層が得られ易い、④焼戻し軟化抵抗性（高温使用時の軟化しにくさ）が向上する、等の特徴が挙げられる³⁾。一方で、鋼中の窒素濃度が過多になると、残留オーステナイトの増加やボイドの発生等が進行し機械的特性の低下に繋がる為、鋼中窒素濃度の制御が重要となる。

◇ 浸窒焼入れ

浸窒焼入れは、材料をNH₃中で加熱・保持し、Nを浸透拡散させた後に焼入れする熱処理である。同様にNの拡散を行う窒化処理とはマルテンサイト変態を伴う点が異なる。浸窒焼入れでは、①熱処理歪みが小さい、②窒化処理とは強化機構が異なる為、窒化物形成元素が少ない鋼種でも強化が可能、③操業中のCO₂排出量ゼロ、等の特徴が挙げられる⁴⁾。しかし、浸炭窒化と同様に、浸窒焼入れにおいても鋼中窒素濃度の制御が重要となる。

参考文献

- 1) 大林巧治：特殊鋼 2018年7月号「表面改質技術とその応用」
- 2) 田中裕樹：特殊鋼 2021年5月号「よくわかる特殊鋼の熱処理」
- 3) 川田一喜：本当によくわかる窒化・浸炭・プラズマCVD、(2012)、168、日刊工業新聞社
- 4) 奥宮正洋：素形材、60 (2019) 10、2

〔山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 山陽 新商品開発室 商品開発1グループ 難波 つよし 剛士〕

真空熱処理

真空熱処理とは、一般的に90kPa～ 1.3×10^{-4} Pa（650Torr～ 1×10^{-6} Torr）の圧力範囲に減圧された環境で行われる熱処理を言う。その目的および被熱処理物により真空度、温度が設定される。真空熱処理の特徴としては、①光輝処理が可能である、②脱炭現象がない、③浸炭現象がない、④脱スケール作用がある、⑤脱脂作用がある、⑥脱ガス作用があることなどが挙げられる。また、放射加熱のみであり、緩やかな加熱が可能であるため、加熱時の熱応力の発生（膨張、収縮）が軽減される。そのため熱処理変形が少ないことや表面品質が優れるため、工具・金型・規格構造部品としての耐久性が向上することなども特筆される。さらに真空熱処理炉の炉外壁は一般に常温であり、使用ガスも不活性ガスであるため、作業環境が良く、クリーンな熱処理が可能であるのも大きな特徴である。図1に、噴流ガス式真空炉の構造図例を示す。実際に適用されている真空熱処理としては、①真空焼なまし、②真空焼入れ、③真空焼戻し、時効処理、④真空焼結、⑤真空浸炭などが挙げられる。

ここで真空浸炭に関しては、真空熱処理の特徴として浸炭現象が無いという事と相反する内容であるため、個別に説明をする。真空浸炭とは、メタン・プロパン・アセチレン・エチレンなどの炭化水素系ガスを使用し、熱分解によって生じる活性炭素を被熱処理物表面に浸透させる熱処理方法で、酸化脱炭反応がなく、粒界酸化を生じない特徴がある。

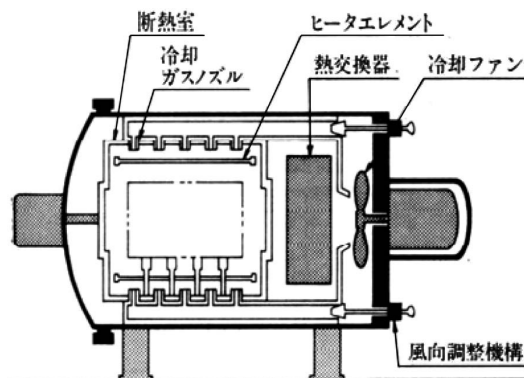


図 1 噴流ガス式真空炉の構造

参考文献

- 1) 並木邦夫：特殊鋼の技術と用語のやさしい解説、1998年 4. 熱処理 (3) 真空熱処理、97

〔日本冶金工業(株) さとう まさあき ソリューション営業部 次長 佐藤 正昭〕

窒化、硫化

◇ 窒化処理の特徴

特殊鋼への窒化処理は、オーステナイト変態点以下の低温での処理であり、深い硬化深さは望めないものの、浸炭焼入れのように変態を伴わないため、寸法変化が少なく、浸炭焼入れでは精度を満足できない部品や治工具・金型に広く適用されている。

最近の自動車用歯車にはノイズ低減が求められ、高い形状精度を達成するため、改めて窒化に注目が集まっている。

◇ 窒化処理の種別

窒化処理の種別は、窒素を侵入させる工法によって、アンモニアガスを用いたガス窒化、塩浴に浸漬する塩浴窒化、減圧下でグロー放電を用いて行うプラズマ窒化（イオン窒化）、などに分類されている。また、窒素と炭素を同時に侵入させる場合の熱処理を特に、軟窒化と呼んでいる¹⁾。軟窒化の炭素源は、ガスでは吸熱型変成ガスや炭酸ガスなどが、塩浴ではシアン酸塩が用いられる。

◇ ガス窒化法

ガス窒化処理された部品表面に生成する窒化層は、再表面の窒化物層とその下部に隣接する拡散層と呼ばれる領域から構成される。窒化物層は主として、 ϵ 相 (Fe_{2-3}N) と γ' 相 (Fe_4N) によって構成されており、これらは拡散層に比べて硬く、耐磨耗性、耐凝着性に有利であるが、硬くてもろい性質も併せ持つため、窒化処理後に除去される場合や、窒化物層を生成させないで拡散層のみを生成させる処理が行われる場合がある。

拡散層の硬さは窒化物形成元素が添加された鋼種では増加する。これは微細な合金窒化物による析出強化機構によるものである²⁾。

◇ 塩浴窒化法

塩浴窒化法に用いられる溶融塩の中には拡散源

となる窒素および炭素が存在するため、塩浴軟窒化と呼ばれることもある³⁾。塩浴軟窒化は窒化を阻害する不働態膜を除去する工程が不要であるため、ステンレスなどの難窒化材にも適している。

さらに、溶融塩と材料の界面における窒素のポテンシャルが高いため、短時間で均一な窒化組織を得ることができる。

塩浴軟窒化後の組織および特性は、基本的には他の窒化処理と同様である。しかし、他の手法と比べ、窒化物層は ϵ 相の割合が多く、表面の数 μm はポーラス構造をとりやすいなどの特徴を持つ。この窒化物層のボイドには油が保持されやすく、潤滑油下での摺動特性に優れるという報告もある³⁾。

◇ 浸硫処理、浸硫窒化処理

浸硫処理とは、硫黄を侵入させる処理であり、アルカリ性水溶液法、電解浸硫法、そして最も広く応用されている塩浴浸硫法などが存在する⁴⁾。

また、鋼に硫黄と窒素を同時に侵入させる浸硫窒化処理を施すと、表面から硫化物層、窒化物層および拡散層が形成される。この際表面に形成する数 μm の硫化物層が摺動特性の向上に寄与することが報告されている⁵⁾。ガススペースの浸硫窒化処理法やプラズマ浸硫窒化処理法も可能であるが、処理ガスとして有毒の硫化水素を使用するので取扱いに注意が必要となる⁶⁾。

参考文献

- 1) JIS B 6905: 1995
- 2) 清水克成：特殊鋼 2021年5月号「よくわかる特殊鋼の熱処理」
- 3) 石塚はる菜：特殊鋼 2022年5月号「特殊鋼の窒化」
- 4) 山崎恒友：金属表面技術現場パンフレット、11、2 (1964) 19-25
- 5) 大黒貴、兼崎昭士：日本機械学会論文集、30、220 (1964) 1493-1507
- 6) 市井一男、横井大門、武田裕正：第190回西山記念技術講座（日本鉄鋼協会編）(2006) 117-139

〔愛知製鋼(株) 部品開発部 まきの こうめい〕
パワートレイン開発室 牧野 孔明

固溶化熱処理

固溶化熱処理とは、析出物を固溶することやひずみを消失することにより適正な組織を得て、耐食性や機械的性質等を確保することを目的として行われます。固溶化熱処理を行う材料としては、オーステナイト系ステンレス鋼、オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼、析出硬化系ステンレス鋼、耐食耐熱超合金、ニッケル及びニッケル合金があり、JIS規格で規定又は熱処理条件の例が記述されています。表1に板・帯・棒・線・管の主なJIS規格一覧を示す。

固溶化熱処理及び固溶化熱処理後に行われる析出硬化処理について代表的なステンレス鋼で説明します。オーステナイト系ステンレス鋼の固溶化熱処理は前工程で生成した炭化物、マルテンサイト、 σ 相やひずみをなくしてオーステナイト単相として、優れた耐食性と加工性等を確保します。オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の固溶化熱処理は前工程で生成したひずみや析出物をなくすことのみならず、適切な相比を得ることも目的とした温度範囲で実施されます。析出硬化系ステンレス鋼の場合は、代表的なSUS630は固溶化熱処理により低Cの軟質マルテンサイトとなり、析出硬化処理でCu-rich相を析出させます。SUS631は固溶化熱処理により準安定オーステナイトとなり、析出硬化処理ではオーステナイトのMs点調整とマルテンサイト化を行い、最終熱処理段階でNi-Alの金属間化合物を析出させて硬化させます。SUS630及びSUS631の析出硬化熱処理はその目的に応じて数種の条件があります。

表 1 板・帯・棒・線・管の主なJIS規格一覧

規格番号	規格名称
JISG3214	圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品
JISG3446	機械構造用ステンレス鋼鋼管
JISG3447	ステンレス鋼サニタリー管
JISG3448	一般配管用ステンレス鋼鋼管
JISG3459	配管用ステンレス鋼鋼管
JISG3463	ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼鋼管
JISG3467	加熱炉用鋼管
JISG3468	配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管
JISG4303	ステンレス鋼棒
JISG4304	熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
JISG4305	冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
JISG4309	ステンレス鋼線
JISG4311	耐熱鋼棒及び線材
JISG4312	耐熱鋼板及び鋼帯
JISG4313	ばね用ステンレス鋼帯
JISG4314	ばね用ステンレス鋼線
JISG4315	冷間圧造用ステンレス鋼線
JISG4317	熱間成形ステンレス鋼形鋼
JISG4318	冷間仕上ステンレス鋼棒
JISG4321	建築構造用ステンレス鋼材
JISG4901	耐食耐熱超合金棒
JISG4902	耐食耐熱超合金、ニッケル及びニッケル合金－板及び帯
JISG4903	配管用継目無ニッケルクロム鉄合金管
JISG4904	熱交換器用継目無ニッケルクロム鉄合金管

参 考 文 献

- 1) 及川 誠：特殊鋼 2021年5月号「よくわかる特殊鋼の熱処理」

〔日本冶金工業(株) さとう まさあき〕
〔ソリューション営業部 次長 佐藤 正昭〕

焼入れ・焼戻し

焼入れ・焼戻しは、鋼の使用目的に応じた硬さや靱性などの特性を確保するために重要な熱処理であり、熱処理方法の中でも基本的な処理である。

焼入れ (Quenching) とは、鋼を均一なオーステナイト組織となる高温域で十分に加熱した後、急速に冷却してマルテンサイト組織に変態させ、鋼を硬くする熱処理である。マルテンサイト組織は、オーステナイト組織を急冷することによって無拡散変態した組織のため、炭素が鋼の結晶格子中に過飽和固溶しており非常に硬い。その一方で脆く、じん性に劣ることが知られている¹⁾。

焼戻し (Tempering) は、鋼種と目的に応じて A_1 変態点以下の温度で処理することによりマルテンサイト組織中の過飽和な炭素を炭化物にすることで安定化させ、硬さの調整やじん性を向上させる熱処理である²⁾。

焼入れ・焼戻しは、耐摩耗性が要求される軸受や工具、強度やじん性が要求される構造用部品などに幅広く適用されている。

参考文献

- 1) 吉田直之：特殊鋼 2021年5月号「よくわかる特殊鋼の熱処理」P11-15
- 2) 日本熱処理技術協会、日本熱処理技術協会 『熱処理ハンドブック』 (大河出版、2008) P131-132

焼ならし (焼準)・焼なまし (焼鈍)

◇ 焼ならし (焼準)

焼ならしは、オーステナイト (γ) 単相領域への加熱・保持後に空冷を行い、均一微細なフェライト・パーライト、もしくはパーライト組織とすることで前工程で生じたひずみや、粗大または不均一になった組織を整え、材料の機械的性質を向上させる熱処理である。

◇ 焼なまし (焼鈍)

焼なましはその目的に応じて拡散焼なまし、完全焼なまし、球状化焼なまし、等温変態焼なまし、低温焼なまし (応力除去焼なまし) の5種に分かれる。

拡散焼なまし (ソーキング) は、1000℃～1300℃の高温に加熱・保持することで、鑄造工程で生じた材料中の成分や不純物の偏析を拡散・均質化させることや、樹脂状品などの鑄造組織の改善を目的とした熱処理である。

完全焼なましは、 γ 単相領域に加熱・保持した後に徐冷を行い、フェライト・パーライト、もしくはパーライト組織とすることで材料の軟化、ミクロ組織の均一化、前工程で生じた残留応力 (ひずみ) の除去を行う熱処理である。この際の冷却速度が遅い程パーライト間隔が広くなり、硬さは低下する。

球状化焼なましは、二相領域への加熱・保持後に徐冷を行い、亜共析鋼ではパーライト中のラメラ状炭化物の分断、過共析鋼ではセメントタイトの球状化が生じ、加工性 (冷間加工性や被削性) を向上させる熱処理である。

等温変態焼なましは、 γ 単相領域で加熱・保持した後にパーライト化温度 (550℃～650℃) で保持し、変態完了後に空冷を行う熱処理である。目的は完全焼なましと同様だが、短時間での熱処理が可能である。

低温焼なましは、 γ 化温度以下の600℃程度に加熱・保持した後に徐冷することで、前工程で生じた残留応力の除去を行う熱処理である。

図1にFe-C系平衡状態図に上記に説明した各熱処理の温度を加えたものを示す。

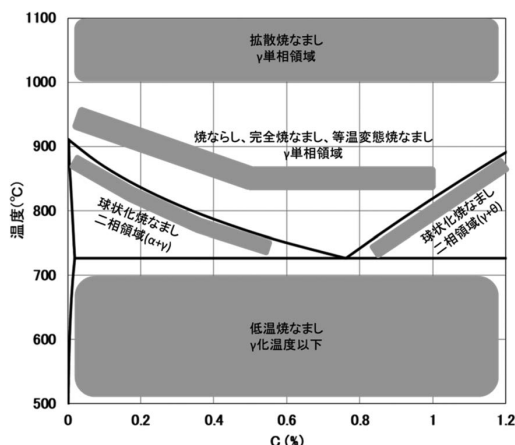


図 1 Fe-C系平衡状態図

参考文献

- 1) 宇田川毅志：特殊鋼 2021年5月号「よくわかる特殊鋼の熱処理」
- 2) 桂隆之：特殊鋼 2021年5月号「よくわかる特殊鋼の熱処理」
- 3) 神谷祐樹：特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

〔株神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 ひろおか とよひさ〕
技術開発センター 線材条鋼開発部 廣岡 豊久

〔山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター なんば つよし〕
新商品開発室 商品開発1グループ 難波 剛士

サブゼロ処理

鋼材を焼入れすると、被処理材である鋼材の合金元素の種類や添加量および熱処理条件によって、熱処理後も多少のオーステナイトが残留することがある。この残留オーステナイトは硬さの低下や、時間の経過に伴う寸法変化（経年寸法変化）を引き起こす原因となる。鋼材の炭素量が多いほどマルテンサイト変態温度は低下し、残留オーステナイトは多く残りやすい。このため、この現象は高炭素鋼で生じやすく、寸法変化を嫌う精密部品や冷間金型などでよく問題となる。この解決策の一つとして、焼入れ後の被処理材を0℃以下の温度まで冷却する方法がある。これをサブゼロ処理という。図1に、SKD11のサブゼロ処理の有無による経年寸法変化量を示す¹⁾。サブゼロ処理によって、経年寸法変化が抑制されていることが分かる。

サブゼロ処理は一般に、-100℃までの普通サブゼロ処理と、-130℃以下まで温度を下げる超サブゼロ処理に分けられる。普通サブゼロ処理は通常、ドライアイスを使用し、超サブゼロ処理では液体窒素が使用される。普通サブゼロ処理を行うことで、硬さが増し、経年寸法変化が安定する。超サブゼロ処理では、普通サブゼロ処理の場合と硬さはあまり変わらないが、残留オーステナイトをほとんど全てマルテンサイト化することによって、耐摩耗性が大幅に向上する効果もある²⁾。

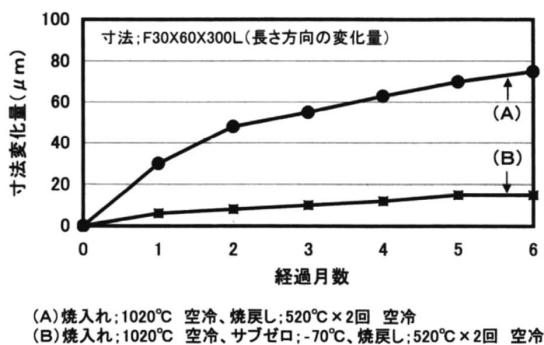


図 1 SKD11経年寸法変化のサブゼロ処理による抑制効果¹⁾

参考文献

- 1) 特殊鋼 2001年5月号「特殊鋼技術データの読み方」
- 2) 大和久重雄、日本金属学会会報 第21巻、第8号、584-588

(株)プロテリアル 特殊鋼事業部 村崎 拓哉
工具鋼部 技術グループ

パテンチング

ピアノ線材などの高炭素線材は、熱間圧延後に巻き取られたままコンベア上を搬送されると、冷却速度が遅くなり粗いパーライト組織になったり、厚いスケールが生成するため、鉄筋などの用途とは異なり、圧延された線材をそのまま使用することは稀である。通常、熱処理を施した後に、伸線加工などの2次加工を経て、ワイヤーロープやプレストレストコンクリート用ワイヤー、ラジアルタイヤ用スチールコードなどの製品となるが、線材組織を整え、加工しやすくするための熱処理のことをパテンチングという。

粗いパーライトとフェライトの混合組織の高炭素線材は、伸線加工性が悪く、伸線中に断線が発生したり、鋼材内部にクラックが入ったりする。そこで、伸線性の良い鋼材組織を得るための方法として、圧延材または伸線材をA3変態点以上の温度に加熱してオーステナイト化した後、風を掛けて冷却速度をコントロールする「エアパテンチング」や、一定温度の鉛浴の中で冷却する「鉛パテンチング」が実施される。

熱間圧延工程での直接パテンチングも様々な方法が実用化されており、圧延材をリング状に巻き取った後のコンベア上で、コンベアの下部から風を吹き付けて冷却する方法が一般的に採用されており、これを「ダイレクトパテンチング」と呼んでいる。また、巻取機の直後に「温水」「冷水」の槽を設置し冷却速度を高める「EDC」を設置したり、同様に「溶融塩」を用いた冷却層を設置し、鉛パテンチングに近似した「DLP®」をインラインで実施している線材圧延ラインもある。

19世紀に発明され、「パテント」の語源ともなったパテンチング技術は、鉛の優れた冷媒としての特性を生かした熱処理技術として、現在も活用され続けているが、一方では鉛の人体や地球環境への影響から規制が厳しくなっており、代替技術への転換が行われている。代表的な代替技術として、鉛の代わりに珪砂やアルミナなどの細かい固体粒子を槽内で流動させ、その中にワイヤーを通す方法が採用されており「流動層パテンチング」と呼ばれる。また、近年では水と特殊なポリマーを混合させた流体に加熱されたワイヤーを通す「水パテンチング」を採用する例も増えている。

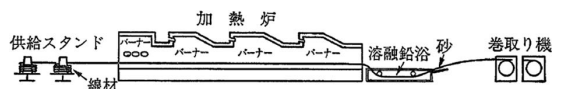


図 1 鉛パテンチング設備の概略

(日本製鉄株)

リターデット、EDC、DLP

◇ EDC

◇ 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。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成形しやすく熱処理工程が省略可能な軟質線材が求められることがある。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ニーズを捕捉することができる。通常、熱間圧延後の線材の冷却は、リング形状にて搬送しながら行われる。線材の軟質化には、この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。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。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ことが特徴であり、省エネルギーで環境に優しい緩冷却プロセスである。

EDC (Easy Drawing Conveyor) は、冷水または沸騰水を冷却媒体とし、一般的な衝風冷却よりも熱間圧延後の線材の冷却速度を早くすることができる調整冷却プロセスである。ボルト、ナットやプレストレストコンクリート用鋼棒等の用途では、成形加工後に焼入れ・焼戻し等の熱処理を行い、所定の強度レベル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強度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強度レベル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。成形後の熱処理による機械的性質調整を行わない場合、線材の機械的性質がそのまま最終製品に影響するが、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急冷するため、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い特徴がある。合金成分設計とEDCプロセスを組み合わせることにより、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ができ、多様な工程省略ニーズを捕捉している。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。

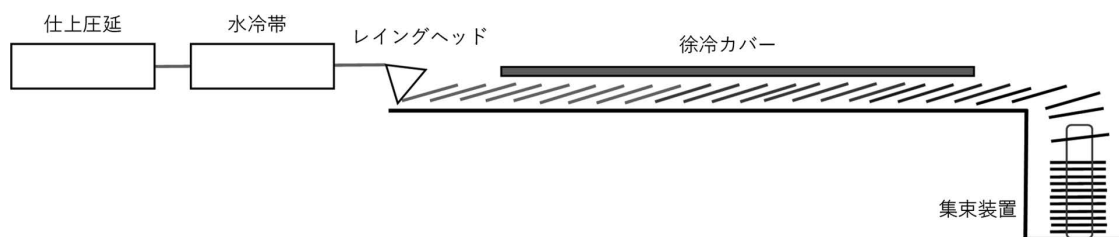


図 1 リターデットプロセス

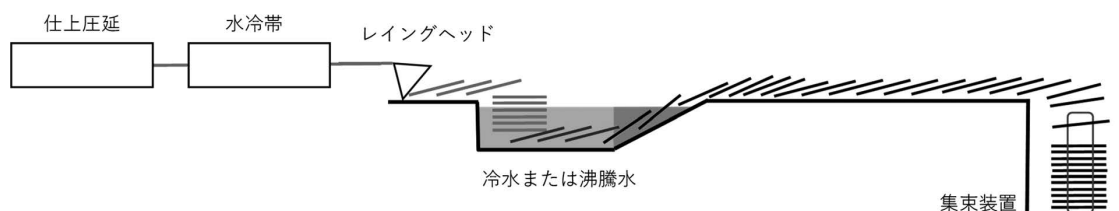


図 2 EDCプロセス

◇ 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、鉛パテンティングの省略に寄与している。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。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。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削減に寄与している。鉛のフリー化も可能であり、今後も環境負荷低減商品として活躍が期待できる。

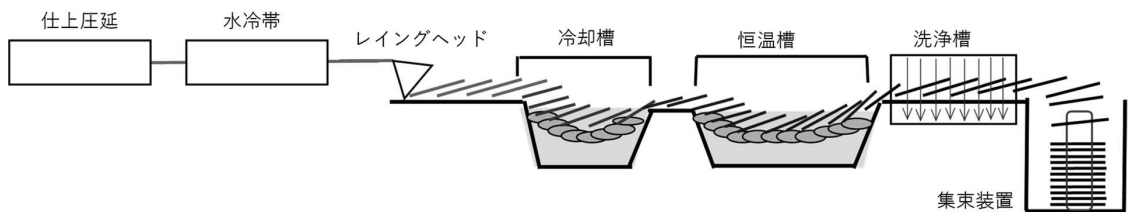


図 3 DLPプロセス

参考文献

特殊鋼 2021年7月号「特殊鋼製造のやさしい解説」

熱処理炉、浸炭焼入れ炉

熱処理炉は、加熱・冷却や搬送の方法、処理目的や処理品サイズ・量などの違いによって様々な炉形式が存在する。代表的な炉形式を表1に示す。

熱処理炉の形式は大きく、バッチ式と連続式に分類される。バッチ式は処理ごとに熱処理条件を変更することが可能であり、その機動性の高さから多品種少量生産に向いている。また一般的に連続式より操炉作業が容易とされる。反面、連続式は処理品を連続的に炉内投入し処理するので、処理条件の変更は容易ではないが、一定の温度、雰囲気を保持しながら連続的に処理を行うため生産性が高く、品質も安定しやすいので小品種大量生産に向いている。また連続操業中は、炉内の構成部材を昇降温することがないことから一般的にバッチ式よりもランニングコストを抑制できるとされる。

炉形式や搬送方法は、処理品の形状やサイズ・重量などにより多くの仕様が存在し、昇温・均熱・表面処理や冷却速度などの熱処理条件が最適に行われるよう決定される。

熱源は、主に電気と燃料（オイルまたはガス）が使用されるが、どちらを採用するかは燃料原単位、設備導入費用などの他、昇温特性、温度分布、加熱雰囲気への影響、温度と雰囲気制御の難易など配慮の上、熱処理目的にあうよう決定される。

加熱時の雰囲気ガスは、処理品表層への影響（酸化、脱炭、浸炭、窒化など）に配慮しながら選定されるが、使用するガスによって、熱処理炉の気密性確保や排気ガスの無害化処理など、安全に十分配慮する必要がある。

表 1 代表的な炉形式

分類	炉形式／搬送方式	加熱方式	雰囲気	冷却方式
バッチ式	炉床型（炉外フォーク）	・ 燃焼加熱式 （直火バーナ） （ラジエント チューブバーナ）	・ 大気	・ 油 （ミスト）
	ローラーハース型 台車型			
	エレベータ型	・ 抵抗加熱式 （ヒータ）	・ 雰囲気ガス （変成ガス） （不活性ガス） （酸化性ガス） （還元性ガス） （中性ガス）	・ 水 （ミスト）
	ポット型 ベル型			
連続式	ローラーハース型 ウォーキングビーム型	・ 誘導加熱式 （誘導コイル）	・ 真空	・ ガス （不活性ガス） （大気）
	回転炉床型 ストランド型			
	エレベータ型	・ 真空	・ 真空	・ 真空
	ストランド型			

次に熱処理炉の代表例として、浸炭焼入れ炉について紹介する。浸炭焼入れ炉は、歯車や軸などの鋼材部品の表面硬さを上げる目的に使用され、加熱・均熱の後に処理品表層に炭素を侵入・拡散させる工程を経て、最後に焼入れを行う熱処理炉である。鋼材の浸炭方法として工業的には、COを主体とした浸炭性ガス雰囲気下で熱処理を行うガス浸炭法と、減圧下で炭化水素系ガス（主にアセチレン）を流しながら熱処理を行う真空浸炭法に大きく区別される。ガス浸炭法は古くから広く実施されてきたが、近年では使用する雰囲気ガスの危険性や、環境面への配慮から、安全かつクリーンな真空浸炭法が主流になりつつある。

また、生産量と処理品鋼種によって、一般的にバッチ式、連続式が使い分けられるが、処理品鋼種や浸炭条件（表面硬度、浸炭深さなど）が多岐に及ぶ場合は、バッチ処理ごとに条件を変化させ易いバッチ式を採用することが多い。一方で同一鋼種、浸炭条件の処理を大量に行う場合は、生産性の良く品質が安定する連続式を採用することが多いが、近年ではバッチ式と連続式の利点を併せ持つモジュール式（図1）が主流となっている。モジュール式は主に真空浸炭法をベースとして、熱処理工程を浸炭、保温搬送、焼入モジュールに分担させて浸炭処理を行うものであり、バッチ式のようなメンテナンス性・機動性や、連続式のような生産性をも兼ね備える浸炭焼入れ炉として広く普及が進んでいる。

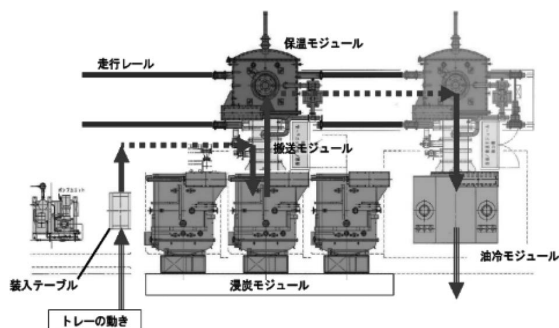


図 1 モジュール式真空浸炭炉

〔大同特殊鋼㈱ 機械事業部 まつもと のりゆき
熱処理設備部熱処理設計室 松本 則幸〕

雰囲気ガス

金属の物理的・化学的性質や機械的性質を変化させ、製品として要求される性状にするため、必要に応じて熱処理（加熱・冷却プロセス）が施される。熱処理において金属の周囲に存在する気体を一般に雰囲気とよび、この雰囲気は金属表面にさまざまな影響をもたらす。

鉄鋼を大気雰囲気で加熱すると、表面に酸化スケールが生じ、素地は酸化あるいは脱炭を生じてしまうため、酸化や脱炭を防止するためには加熱雰囲気として特殊ガスを用いて熱処理を行うことが一般的である。また浸炭や窒化のように積極的に表面性状を変化させる熱処理においても同様であり、熱処理においてはその雰囲気ガスの選定、構成およびコントロールが非常に重要となってくる。

鉄鋼の熱処理に関係深い雰囲気ガスを表1に示すが、表中乾燥水素とアンモニア分解ガスは化学的には還元性であるが、鉄鋼の熱処理に関しては中性で分類される。熱処理ではこれらのガスを一

表 1 雰囲気ガスの種類と性質

性 質	種 類
不活性ガス	Ar、He
中性ガス	N ₂ 、dryH ₂ 、NH ₃ 分解ガス
酸化性ガス	O ₂ 、H ₂ O、CO ₂
還元性ガス	H ₂ 、CO、炭化水素ガス（CH ₄ 、C ₃ H ₈ 、C ₄ H ₁₀ ）
窒化性ガス	NH ₃ ガス

定の混合比にして雰囲気ガスを生成し使用することが一般的である。

雰囲気ガスは工業的には都市ガス、天然ガス、プロパンガスなどを変成したガスが主に用いられる。変成ガスの種類と組成を表2に示す。

吸熱型ガスは原料ガス（メタン、プロパン、ブタン等）に理論量の空気を混合し、外部から加熱されたレトルト中に充填されたニッケル触媒を通すことによって変成される。強還元性、浸炭性であり、主に光輝焼鈍や浸炭などの雰囲気ガスとして使用される。

発熱型ガス（窒素型ガス含）は、原料ガスに空気を混合し、その燃焼反応熱を利用して変成される。発熱型ガスは混合する空気の量によってリーン型とリッチ型の2種類に分類され、主に無酸化焼鈍や光輝焼鈍などの雰囲気ガスとして使用される。窒素型ガスは燃焼ガスから二酸化炭素と水分を除去したものであり、主に光輝焼鈍の雰囲気ガスとして使用される。

アンモニア分解ガスは、ニッケル触媒の入った高温（900～1000℃）のレトルト内で水素と窒素の混合ガスを発生させる。光輝焼鈍などの雰囲気ガスとして使用されるが、一部未分解アンモニアが残留することで窒化問題を起こす可能性があるため、ドライヤなどで除去する必要がある。

滴注式分解ガスは、メチルアルコールなどの有機溶剤を高温炉内に直接滴注することで、加熱室内で熱分解して発生する。COガス濃度が高いため、鋼の浸炭処理の雰囲気ガスとして使用される。

表 2 主な変成ガスの種類と代表組成

炉 気 名	通 称	変成法	AGA No.	ガス組成例					
				CO(%)	CO ₂ (%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	N ₂	露点(℃)
吸熱型ガス	RXガス	部分燃焼 外 熱	301	19.6	0.4	34.6	0.3	残	-7～+10
			302	20.7	—	38.7	0.8	残	-4～-21
窒素型ガス	NXガス	部分燃焼 脱CO ₂ 脱水脱湿	201	1.7	—	1.2	—	残	-40
			202	11.0	—	13.2	0.5	残	-40
発熱型ガス	DXガス	部分燃焼 自熱脱水	101	1.5	10.5	1.2	—	残	—
			102	10.5	5.0	12.5	0.5	残	—
NH ₃ 分解ガス	AXガス	熱分解 外 熱	601	—	—	25	—	残	-40
滴注式分解ガス	—	熱分解	—	20	—	80	—	—	—

業界のうごき

愛鋼・衣浦工場が認定取得 「ステンレス建築構造物製作工場」

愛鋼の衣浦工場（愛知県半田市）が日本鋼構造協会建築鉄骨品質管理機構から「ステンレス建築構造物製作工場」の認定を取得した。

愛知製鋼は1996年にステンレス鋼構造物のエンジニアリング部門を立ち上げて以来、同分野の機能拡大を進めている。2019年には愛鋼が新たな製作拠点として衣浦工場内に第2工場を立ち上げ、ステンレス部材事業部を発足。主に土木・水処理向けのステンレス鋼構造物の製作を進め、現在までに大小46物件の製作を手掛けてきた。

今回の認定取得を機に、従来分野に加えて建築や医薬品・食品・飲料工場向けのステンレス鋼構造物製作も手掛けていく。2024年には一般建設業の許可を取得して現場施工への対応も図る方針。2030年までにステンレス鋼構造物事業分野で愛鋼で売上高10億円、愛知製鋼グループ全体で現在の5倍強となる50億円の売上高を計画している。（4月4日）

北島鋼材、構造用鋼の加工能力増強 新本社事務所・倉庫が3月末竣工

北島鋼材は新本社事務所と倉庫を大阪市住之江区南港中に建設し、3月末に竣工した。新本社の開設で業務の効率化を図るとともに、在庫や切断・加工能力を増強した。旧本社（住之江区南港南）の倉庫は流通加工センターとして活用し、在庫・加工拠点を2拠点にした。

新倉庫には、日本鑄造のマイティバー（鑄鉄水平連続鑄造材）や10トンクレーンを生かした構造用鋼や合金鋼の太丸など重量物を順次在庫していく。加工設備は旧倉庫から切断機2基を移設したほか、帯鋸切断機、両頭フライスを各1基新設した。

旧本社倉庫の流通加工センターは、設備移設で空いたスペースに、超硬丸鋸切断機を3月末に1基新設。今夏には全自動超硬丸鋸切断機、来年には帯鋸切断機を各1基新設する。両倉庫合わせ在庫能力は従来の1.5倍の6,000トンとなったため、今後在庫アイテムの拡充を進めていく。

（4月18日）

大洋商事、特殊鋼鋼板販売を強化 浦安にファイバーレーザ導入

大洋商事は浦安倉庫（浦安鉄鋼団地内）における特殊鋼鋼板加工販売を強化する。浦安倉庫に営業を配置し製販一体化するほか、ファイバーレーザ切断機の初導入、クレーン更新などにより即納体制を強化する。来年4月までの本格稼働を目指す。

浦安は特殊鋼鋼板の在庫・切断拠点。過去に営業を本社に集約した経緯があるが、新たに営業5人を配置した。設備導入では11月にNCガス切断機1基を老朽更新する。最大板厚は100ミリ強から150ミリに拡大する。レイアウト改善や天井クレーン3基の老朽更新などで作業スピード向上も図る。

2024年3月には12KWファイバーレーザ切断機を新設する。CO2レーザ切断機2基のうち1基をリプレースする。スピード強化に加え、最大板厚が16ミリから32ミリとなる。浦安は11～12メートルの長尺板を在庫しており、厚板・長尺の対応を強化する。辰巳倉庫では10月に帯鋸盤1台を老朽更新する。（4月28日）

辰巳屋興業、金沢営業所建て替えへ 働きやすい職場実現目指す

辰巳屋興業は働きやすい職場実現の一環で、石川県金沢市内に用地を取得し、自動車部品部・金沢営業所の建て替えへ計画を本格始動した。建屋が老朽化する拠点は他にもあり、

今後も積極的に社屋のリニューアルを進める。

2017年に本社ビルを一新したほか、安全で確実な職務遂行、職場環境の改善を目的に、近年国内に約30カ所ある支店・営業所の建て替えを進めている。直近では福岡支店を建て直し、昨年末から稼働をスタートした。

金沢営業所は建屋が竣工から66年が経過し老朽化しているため、新棟建設と拡張移転の検討を重ねてきた。用地の選定を進めていたところ、金沢市内に約1,000平方メートルの適切な土地が見つかり、先月購入。新社屋の詳細は今後順次決めていく方針で、計画が固まり次第建設に着手する。

（5月24日）

名古屋特殊鋼、3Dプリンター導入 EV関連製品量産へ事業領域拡大

名古屋特殊鋼は、電気自動車（BEV）向け部品、金型の量産を狙い事業領域の拡大を図る。丸紅情報システムズと協業し、本社工場にバインダージェット方式の中量産向け3Dプリンターを日本で初めて設置し、稼働を開始した。従来型と比較して生産性が大きく上がる点を武器に、BEVだけでなく非自動車分野の需要開拓にも努め、3Dプリント加工を事業の柱に育てたい考え。総投資額は約1億5,000万円。

世界的な電動車の普及を受けて、多くの自動車部品メーカーが電池製造ラインの増設を進めている。これに関連する金型、消耗品のニーズは今後、段階的に伸長するとみられる。名古屋特殊鋼はBEV分野への参入を目指し、3Dプリンター購入の検討を進めていた。現在主流のレーザ方式と比べて生産性が最大10倍に上るバインダージェット方式に注目し、新鋭機の導入を決定した。

（4月12日）

業界のうごき

ノボル鋼鉄、清水倉庫が本稼働 静岡支店と連携、開発鋼の拠点に

ノボル鋼鉄は3日、清水倉庫（静岡市清水区）の本稼働を開始した。静岡支店（静岡市駿河区）と連携して在庫・配送機能を強化する。熱処理設備を持つ静岡支店と併せ、ノボル鋼鉄が力を入れる開発鋼の拠点としても運用していく。静岡支店から移設した切断機6基を保有し、うち1基を6月に更新する予定。

現在は店売り、ユーザー向けの特殊鋼丸棒などを600～700トン在庫する。静岡支店の倉庫には普通鋼厚板500トンと特定ユーザー向けの特殊鋼150トン在庫しており、静岡支店と清水倉庫で配送を分担することで効率化を図る。ノボル鋼鉄は昨年、西日本エリアの営業体制を見直し静岡支店内に「西日本チーム」を設置しており、清水倉庫は新東名高速道路が近く、名古屋向けのバックアップ体制を整備できるため東海エリアの配送機能も強化できる。清水倉庫と隣接するノボル精密向けの材料も在庫している。（4月17日）

白鷺特殊鋼、相次ぎ切断機更新 グループで8基、効率化進む

白鷺特殊鋼グループは、切断加工の効率化を進めるため切断機8基の更新を進めている。同社は全国に17拠点を構え、5社のグループ会社と連携し切断・鍛造・機械加工を一貫で手掛けている。

機械加工のハクロマシナリーは切断機1基を更新し、フリー鍛造のハクロフォージングは切断機を1基更新し鍛造品の切断に活用する。白鷺特殊鋼は関東スチールセンター（埼玉県加須市）で1基を老朽更新する。いずれも7月頃までに後継機を設置する。

更新・導入済みの切断機は、白鷺

特殊鋼の大阪支店・大正倉庫（大阪市大正区）で1基、九州支店（福岡県糟屋郡）で1基、切断加工のハクロスチールで3基。

今後の予定ではハクロマシナリーの関西加工センターで切断機を1基増設し1,300ミリ径まで対応可能な切断機を3基に増やす。増加傾向にある大型切断品への対応力を強化していく。（5月8日）

阪和興業が新中期経営計画を策定 鉄鋼取扱量1,700万トンに照準

阪和興業は2023年度から3カ年を対象とする新中期経営計画を策定した。最終年度の目標として経常利益700億円（前期は642億円）、全世界での連結鉄鋼取扱重量1,700万トン（同1,459万トン）、期間中の累計投融資枠800億円（2020～22年度は628億円）を掲げる。電池資源の確保に重点を置き、サステナビリティ経営を基礎に経営基盤の強化、事業戦略の発展、投資の収益化を図る。

鉄鋼事業では国内は在庫販売など現物ビジネスや「そこか（即納・小口・加工）」事業からの発展を志向。海外は東南アジアを中心に現地で仕入れて販売する「地産地消型」の供給網を構築させる。

ニッケルやリチウムなど電池資源関連では、組織を国内拠点の「電池チーム」から全世界にまたがる「電動化グローバルグループ」に今年度から刷新する。資源情報が集まるシンガポールに拠点を置き、海外に偏在する金属資源の確保を推し進める。（5月15日）

神戸製鋼と三井物産が還元鉄生産 オマーンで、年産500万トン規模

神戸製鋼所と三井物産は、中東のオマーンで還元鉄製造事業に乗り出す。特別経済地区で事業用地を確保した。事業スキームや稼働時期など

詳細はこれから詰めるが、第1段階として年産500万トンのホットブリケット・アイアン（HBI）を製造・販売する方向。神鋼の全額出資子会社で、還元鉄プラントのエンジニアリングを手掛ける米ミドレックス社（ノースカロライナ州）のプラントを採用。天然ガスを還元剤に使うが、将来的に水素を活用し二酸化炭素（CO2）の排出を大幅に抑えるプロセスに切り替える計画。

両社は、特別経済特区を管轄するオマーン行政機関OPAZと低炭素鉄源事業の推進に関する包括的覚書（MOU）を締結。ドクム特別経済地区の港湾管理会社と土地予約契約を結んだ。オマーン政府の協力を得ながら、プロジェクト立ち上げに向け事業化の本格的な検討に入る。（4月11日）

大同特殊鋼、知多第2で特殊溶解 VAR3基を新設、全15基体制へ

大同特殊鋼は知多第2工場（愛知県知多市）でも特殊溶解に乗り出す。24年度末までに真空アーク溶解炉（VAR）を3基導入する。現在稼働するVARは渋川工場に10基、チタン専用で星崎工場に1基ある。渋川では7月に15トン炉1基が稼働開始予定で、知多第2工場に導入する3基と合わせて24年度末には全15基体制となる。

知多第2工場では、半導体製造装置や航空エンジン部品に使用されるニッケル基合金・クリーンステンレスなど高級鋼の増産対応の一環で15トン炉2基を導入するほか、チタン専用で1基を導入する。

知多第2工場は敷地スペースに十分な余裕がある。渋川工場はスペースの制約で新規増設は難しい状況。今後は知多第2工場と渋川工場、星崎工場間で高級鋼の最適生産体制を構築する方針で、知多第2工場では他拠点からの設備集約や二次加工、精整工程などの設備投資も検討していく。（5月1日）

業界のうごき

日本金属、マレーシアCCで設備増強 精密スリッター、品質・生産性向上

日本金属のマレーシア子会社でコイルセンターの「ニッポン・キンゾク・マレーシア」（ジョホール州）が6月稼働予定でステンレス鋼帯用高性能スリッターを1基増設し、3基体制とする。日金マレーシアは東南アジア諸国やインドへの拡販と品質向上を図るとともに、同じく日本金属子会社のコイルセンターであるニッポン・キンゾク・タイランド（アユタヤ県）と連携してBCP体制を強化する。

加工板厚は0.05～1ミリ、加工板幅は10～450ミリで従来機の生産可能サイズをカバーする。母材の単重は最大2.8トンで大単重化への対応力は高まる。高精度コラムクランプ方式C型フローティングシート対応式やベクトルモーター速度制御を採用し従来機より品質が向上するほか、2軸フリクション巻取式により生産性・歩留まりも向上する。（4月7日）

日本製鉄・棒線事業部が運用開始 新受発注管理システムを本格的に

日本製鉄・棒線事業部は受発注管理システム「LinC-S」（以下リンクス）の本格運用を開始する。需要家の材料使用予定やサプライチェーンにおける在庫状況、ミル進捗情報など各種データを一元把握し有効活用することでデリバリーを安定化し、日鉄・商社一貫での受発注関連業務の整流化を図る。

リンクスは、営業系のDX推進の一環で日鉄の情報システム部、日鉄ソリューションズと開発した棒線事業部独自の基幹システム。働き方改革を意識しつつ受発注関連業務の改革を目指す。日鉄は、本格運用で確認されたシステム改良や機能追加などの要望に応えながら、商社と協力

して互いの業務改革につなげていく。

棒線分野における新たな需要捕捉や課題解決に一層傾注するとともにQCDDの総合力向上を目指し、新たな価値の創出を目指す。リンクス対象注文は棒線事業部の国内注文のほぼ8割をカバーする。（4月24日）

日本冶金が新中期計画を策定 高機能材販売量1.5倍に拡大へ

日本冶金工業は、2023年度を起点とする3カ年中期経営計画を策定した。高機能材販売量は2022年度比1.5倍に拡大する計画で、単独の高機能材売上高比率は2025年度50%（前中計期間平均41%）を目指す。成長が見込まれるインド・中東市場を見据えた拡販戦略を打ち出し、現地法人の設置も検討する。川崎製造所では2024年度に水素環境での材料評価試験場を新設する予定。

2025年の創立100周年を越えて持続的成長を遂げるため3つの基本戦略を設定した。3年間で減価償却費を上回る設備投資（検収ベース344億円）を実施する計画。内訳は戦略投資176億円、コーポレート基盤強化49億円、更新投資77億円、グループ会社42億円。

CO2削減目標は大江山製造所のカーボンレスニッケル製錬の進展に加え燃料転換や省エネ施策の積み上げにより、従来計画を5年前倒しして2025年度に46%以上削減（2013年度比）を目指す。（5月10日）

ネツレン、今期設備投資計画50億円 戦略投資継続、前期繰り越し分も

ネツレンは2023年度に連結ベースで50億円の設備投資計画を組む。国内外で戦略投資を継続し、北米の自動車向け高強度ばね用鋼線「ITW」増産投資や国内ICT化投資などを進める。減価償却費を大幅に上回り、2019年度（42億円）以来の規模にな

る。半導体などの部品不足による設備導入遅れで大型設備投資が前期から繰り越しとなった影響もある。

内訳は国内35億円、海外15億円。研究開発費は10億円の計画で、次世代技術の開発や持続的成長を見据えた投資を継続する。

海外増産投資では、ITW関連で北米の第1次増設投資（引き抜き工程増強など）を完了し量産開始したのに続き、11月予定の熱処理設備導入などで生産能力は全体で4割拡大する。一連の投資規模は約10億円になる。IH事業部関連（熱処理受託加工）では、インドネシアで約3億円の設備投資が完了し量産立上げに取り組んでいる。（5月29日）

三菱製鋼、戦略事業に積極投資へ 8年間の投資枠750億円

三菱製鋼は、2023年度を起点とする2030年度までの長期目標と3カ年中期経営計画を策定した。2030年度の連結財務目標として売上高2,200億円、ROE10%、配当性向30%以上を掲げ、基盤事業強化と戦略事業育成を両輪に事業ポートフォリオ変革を進める。新中計は「利益拡大・財務強化」と「次の飛躍への助走」を行う期間に位置づけ、稼ぐ力の強化、戦略事業の育成、人材への投資、サステナビリティ経営を基本方針に据える。8年間の投資枠は750億円。新中計期間では160億円を計画する。

海外鋼材と商用車用板ばねは両事業のシナジーを追求する形で成長を目指す。北米、インドなどばね事業の製造拠点をもち市場の規模と更なる成長が期待できる地域で、室蘭、JATIMに次ぐ第3の鋼材製造拠点を検討する。JATIMは東南アジア唯一の特殊鋼一貫メーカーであり、新中計でも段階的に増産投資を進める。（5月22日）

文責：（株）鉄鋼新聞社

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	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'21 暦年	221,395	4,709,058	3,726,591	8,435,649	374,891	987,441	2,578,832	580,434	4,875,054	493,548	9,890,200	18,547,244
'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
'21 年度	227,889	4,669,266	3,691,309	8,360,575	359,466	975,524	2,584,063	571,328	4,747,315	487,191	9,724,887	18,313,351
'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
'22. 4-6月	54,666	1,003,201	855,459	1,858,660	78,750	218,728	596,110	118,904	1,134,452	114,063	2,261,007	4,174,333
7-9月	46,999	996,288	849,948	1,846,236	76,617	200,068	638,774	115,906	1,146,735	101,301	2,279,401	4,172,636
10-12月	45,737	1,028,575	867,133	1,895,708	81,250	198,823	583,243	109,666	1,100,806	110,258	2,184,046	4,125,491
'23. 1-3月	35,338	984,492	785,333	1,769,825	74,388	175,694	493,810	111,681	1,125,730	97,788	2,079,091	3,884,254
'22年 3月	17,825	392,529	311,806	704,335	28,755	72,717	211,270	47,834	382,447	47,872	790,895	1,513,055
4月	18,786	339,219	291,299	630,518	27,161	71,108	200,101	40,680	384,959	37,949	761,958	1,411,262
5月	17,608	333,873	300,345	634,218	24,043	71,240	196,022	41,215	394,593	38,242	765,355	1,417,181
6月	18,272	330,109	263,815	593,924	27,546	76,380	199,987	37,009	354,900	37,872	733,694	1,345,890
7月	16,090	320,424	296,553	616,977	25,760	73,427	209,409	40,154	363,507	32,149	744,406	1,377,473
8月	15,308	329,391	274,061	603,452	22,611	62,534	222,303	36,578	401,647	35,116	780,789	1,399,549
9月	15,601	346,473	279,334	625,807	28,246	64,107	207,062	39,174	381,581	34,036	754,206	1,395,614
10月	16,490	357,381	301,222	658,603	28,608	68,094	190,015	38,150	372,924	41,187	738,978	1,414,071
11月	15,324	345,164	300,086	645,250	26,549	68,296	197,861	34,586	384,759	35,699	747,750	1,408,324
12月	13,923	326,030	265,825	591,855	26,093	62,433	195,367	36,930	343,123	33,372	697,318	1,303,096
'23年 1月	10,758	331,191	262,646	593,837	23,487	64,599	164,079	34,868	387,230	32,249	706,512	1,311,107
2月	12,306	321,354	252,217	573,571	26,558	57,958	162,938	36,468	334,507	31,260	649,689	1,235,566
3月	12,274	331,947	270,470	602,417	24,343	53,137	166,793	40,345	403,993	34,279	722,890	1,337,581
4月	14,111	294,106	274,535	568,641	24,121	56,801	158,871	31,869	341,088	27,530	640,280	1,223,032
前 月 比	115.0	88.6	101.5	94.4	99.1	106.9	95.3	79.0	84.4	80.3	88.6	91.4
前年同月比	75.1	86.7	94.2	90.2	88.8	79.9	79.4	78.3	88.6	72.5	84.0	86.7

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』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
'21 暦年	278,898	6,065,226	856,955	3,846,183	1,081,675	6,422,384	18,551,321
'22 暦年	293,422	5,401,742	1,019,267	3,386,987	1,083,496	5,701,276	16,886,190
'21 年度	286,265	6,050,584	877,842	3,749,037	1,115,176	6,239,200	18,318,104
'22 年度	278,130	5,184,392	997,569	3,270,099	1,070,471	5,555,186	16,355,847
'22. 4-6月	71,956	1,339,400	254,912	814,997	272,696	1,420,368	4,174,329
7-9月	84,129	1,313,407	263,763	798,334	277,872	1,435,102	4,172,607
10-12月	66,566	1,288,168	256,375	876,236	265,894	1,372,247	4,125,486
'23. 1-3月	55,479	1,243,417	222,519	780,532	254,009	1,327,469	3,883,425
'22年 3月	27,941	505,436	71,733	322,412	97,759	487,768	1,513,049
4月	22,479	440,709	93,362	281,028	98,222	475,462	1,411,262
5月	24,502	455,424	84,364	263,527	90,490	498,868	1,417,175
6月	24,975	443,267	77,186	270,442	83,984	446,038	1,345,892
7月	41,729	447,779	92,640	258,723	82,034	454,554	1,377,459
8月	16,861	408,817	98,612	267,493	97,178	510,582	1,399,543
9月	25,539	456,811	72,511	272,118	98,660	469,966	1,395,605
10月	21,063	455,338	90,559	301,824	90,234	455,050	1,414,068
11月	25,686	429,672	82,444	299,399	87,905	483,218	1,408,324
12月	19,817	403,158	83,372	275,013	87,755	433,979	1,303,094
'23年 1月	19,898	411,241	78,269	261,088	89,757	450,854	1,311,107
2月	16,185	406,995	71,180	257,956	66,834	416,414	1,235,564
3月	19,396	425,181	73,070	261,488	97,418	460,201	1,336,754
4月	20,279	393,935	95,916	220,493	80,985	410,313	1,221,921
前 月 比	104.6	92.7	131.3	84.3	83.1	89.2	91.4
前年同月比	90.2	89.4	102.7	78.5	82.5	86.3	86.6

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 レ	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他			
' 21 暦 年	245,486	2,716,911	1,455,748	4,172,659	49,883	399,243	1,459,480	124,703	61,853	95,991	2,191,153	6,609,298	
' 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	
' 21 年 度	247,110	2,752,134	1,092,322	3,137,987	36,133	300,281	1,125,634	93,152	45,860	73,500	1,674,560	4,996,127	
' 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	
' 22年 8月 9月 10月 11月 12月 ' 23年 1月 2月 3月 4月	18,215	201,777	111,210	312,987	3,185	26,829	101,871	8,189	4,925	7,616	152,615	483,817	
	21,172	228,226	123,791	352,017	3,721	30,942	113,074	9,209	5,754	9,168	171,868	545,057	
	20,185	217,124	117,525	334,649	8,701	34,403	117,978	9,690	5,333	8,395	184,500	539,334	
	19,319	209,822	115,273	325,095	8,713	32,445	119,009	9,984	5,384	7,461	182,996	527,410	
	12,714	203,853	111,764	315,617	8,400	30,511	112,074	7,960	5,274	6,631	170,850	504,081	
	17,273	194,923	96,843	291,766	7,239	25,625	104,030	7,483	4,498	6,249	155,124	464,163	
	18,899	207,662	107,158	314,820	7,802	29,904	105,918	8,194	5,570	6,692	164,080	497,799	
	19,361	208,388	103,101	311,489	8,594	27,467	116,662	8,651	5,454	7,987	174,815	505,665	
	19,212	188,764	93,541	282,305	8,038	25,446	104,970	9,059	4,820	7,212	159,545	461,062	
	前 月 比	99.2	90.6	90.7	90.6	93.5	92.6	90.0	104.7	88.4	90.3	91.3	91.2
	前年同月比	83.7	84.3	79.2	82.6	194.1	86.0	82.3	96.0	73.7	93.4	86.3	83.9

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 ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'21 暦 年	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846	
'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	
'21 年 度	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225	
'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	
'22年 8月	10,099	233,714	151,418	385,132	23,725	36,519	156,782	27,165	199,220	26,602	470,013	865,244	
9月	10,567	227,351	143,353	370,704	22,840	36,087	158,521	23,893	158,711	25,119	425,171	806,442	
10月	10,644	227,059	140,180	367,239	22,444	37,856	151,554	23,042	136,776	23,914	395,586	773,469	
11月	10,472	225,398	143,009	368,407	24,487	37,084	150,496	21,897	140,504	19,005	393,473	772,352	
12月	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年 1月	10,139	223,278	146,521	369,799	19,537	35,904	157,955	23,252	162,728	21,153	420,529	800,467	
2月	10,506	217,654	135,080	352,734	22,415	32,434	139,638	24,843	140,379	20,826	380,535	743,775	
3月	8,870	207,670	133,119	340,789	17,942	28,734	126,791	21,907	129,474	19,381	344,229	693,888	
4月	10,790	200,880	131,879	332,759	19,417	30,385	130,004	20,955	143,028	18,211	362,000	705,549	
前 月 比	121.6	96.7	99.1	97.6	108.2	105.7	102.5	95.7	110.5	94.0	105.2	101.7	
前年同月比	134.7	81.0	83.5	82.0	75.9	89.2	90.8	69.3	90.3	78.5	87.3	85.2	

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』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							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 ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他	計		
'21 暦 年	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560	
'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	
'21 年 度	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349	
'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	
'22年	8月	80,639	251,111	201,328	452,439	12,412	56,466	247,760	12,021	14,508	10,256	353,423	886,501
	9月	78,376	248,813	195,425	444,238	12,322	52,575	247,329	11,034	14,674	9,900	347,834	870,448
	10月	81,517	253,927	197,247	451,174	12,256	52,776	251,765	12,057	14,023	9,854	352,731	885,422
	11月	80,549	248,667	198,668	447,335	12,831	52,074	251,946	11,374	14,344	8,965	351,534	879,418
	12月	81,587	253,146	197,352	450,498	11,832	52,605	258,437	12,975	14,050	8,869	358,768	890,853
	1月	81,879	256,088	200,010	456,098	7,543	54,067	253,500	12,829	13,916	9,251	351,106	889,083
	2月	80,951	261,811	202,544	464,355	5,468	53,055	253,884	11,681	13,805	9,534	347,427	892,733
	3月	81,307	258,660	201,555	460,215	5,698	53,549	251,097	11,289	13,844	10,330	345,807	887,329
4月	80,837	247,843	195,238	443,081	4,944	50,387	243,658	11,272	13,711	9,876	333,848	857,766	
前 月 比	99.4	95.8	96.9	96.3	86.8	94.1	97.0	99.8	99.0	95.6	96.5	96.7	
前年同月比	103.0	85.6	96.7	90.1	38.2	83.3	99.8	74.7	83.6	89.5	92.7	92.2	

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		
'21 暦 年	41,270	437,028	558,747	995,775	198,944	846,790	122,324	73,541	1,241,600	2,866	5,394,930	5,397,827	7,676,441	
'22 暦 年	39,183	381,705	495,244	876,949	166,355	r 786,001	97,860	71,081	r 1,121,297	3,180	4,900,636	4,903,816	r 6,941,245	
'21 年 度	42,446	428,197	548,765	976,962	197,417	846,850	121,221	64,398	1,229,885	3,006	5,313,266	5,316,272	7,565,565	
'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	7月	3,489	32,206	40,279	72,485	14,017	64,387	11,931	3,143	93,479	203	408,382	408,585	578,038
	8月	3,385	27,597	33,042	60,639	12,231	r 59,439	4,918	4,633	r 81,220	183	380,267	380,450	r 525,693
	9月	2,646	29,962	34,361	64,322	13,818	61,311	8,725	4,471	88,325	166	402,565	402,731	558,024
	10月	3,266	26,411	43,620	70,031	14,265	68,475	6,331	5,522	94,594	244	384,935	385,179	553,070
	11月	3,244	39,194	46,008	85,203	10,636	55,160	4,360	9,811	79,966	410	369,508	369,918	538,331
	12月	2,472	33,450	43,639	77,089	17,578	61,462	5,095	8,211	92,346	271	412,499	412,770	584,677
	1月	2,279	20,230	35,874	56,104	15,328	51,258	4,206	5,078	75,871	209	316,903	317,112	451,365
	2月	2,656	35,479	43,007	78,486	8,746	63,109	5,235	3,877	80,967	335	338,286	338,621	500,731
	3月	3,411	27,251	38,246	65,497	16,600	64,405	10,776	4,529	96,310	259	381,842	382,101	547,319
	4月	2,330	25,395	31,597	56,993	9,854	61,835	4,873	1,565	78,128	238	351,217	351,455	488,905
	前 月 比	68.3	93.2	82.6	87.0	59.4	96.0	45.2	34.6	81.1	91.8	92.0	92.0	89.3
	前年同月比	65.9	86.1	72.1	77.7	69.2	97.8	51.5	28.9	84.6	105.2	90.7	90.8	87.9

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	
'21 暦 年	3,425	7,333	282	12,395	11,674	237,726	18,602	280,679	310	7,765	274,257	282,022	573,769
'22 暦 年	4,066	16,285	r 344	12,418	11,486	264,312	20,503	r 309,062	171	7,158	r 178,111	r 185,269	514,853
'21 年 度	3,909	9,290	270	12,657	12,725	249,314	19,380	294,346	270	7,528	237,040	244,568	552,383
'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
'22年 7月	324	2,109	21	1,326	1,293	28,501	1,975	33,115	26	743	13,910	14,653	50,227
8月	304	393	r 32	1,005	729	21,910	1,827	r 25,502	28	1,043	r 14,688	r 15,731	41,959
9月	303	2,256	r 26	737	611	18,289	1,505	r 21,167	22	168	r 12,842	r 13,011	36,759
10月	279	841	r 24	1,183	850	14,550	1,881	r 18,488	3	490	r 12,375	r 12,865	32,477
11月	254	2,118	r 48	986	802	19,805	1,647	r 23,287	-	176	r 17,521	r 17,697	43,355
12月	249	1,421	r 23	944	697	15,737	1,478	r 18,879	-	866	r 14,825	r 15,691	36,240
'23年 1月	187	1,455	49	925	842	17,348	1,755	20,919	-	1,639	13,235	14,873	37,438
2月	183	1,437	64	777	597	12,428	1,315	15,180	17	946	11,880	12,826	29,642
3月	224	2,074	23	835	884	13,432	1,667	16,841	-	1,020	18,227	19,247	38,385
p 4月	191	1,935	26	680	757	17,369	1,353	20,184	44	635	12,708	13,343	35,698
前 月 比	85.4	93.3	114.2	81.4	85.6	129.3	81.2	119.9	-	62.3	69.7	69.3	93.0
前年同月比	81.1	146.8	80.5	48.7	80.7	75.1	77.2	77.2	-	230.2	71.1	73.5	78.1

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	ブル 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				
'21 暦 年	7,846,958	1,154,054	3,818,910	379,007	4,448,340	765,762	-	222,252	119,477	11,205	102,086	55,176	15,414	
'22 暦 年	r 7,835,482	r 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	
'21 年 度	7,545,141	1,130,201	3,684,025	384,446	4,215,826	742,108	-	228,906	122,697	11,671	103,732	49,494	16,675	
'22 年 度	8,100,959	1,196,043	3,864,096	396,817	4,385,649	765,986	-	230,411	123,417	12,120	107,937	52,652	17,056	
'22年	7月	699,708	107,455	356,957	38,341	349,335	60,894	-	19,350	10,660	976	9,488	3,768	1,424
	8月	584,291	90,642	293,765	32,976	290,042	55,432	-	16,556	8,998	833	9,050	4,928	1,393
	9月	757,790	115,750	369,095	36,358	395,163	69,750	-	20,440	11,637	1,243	8,763	4,476	1,508
	10月	694,157	107,244	331,958	37,226	359,159	62,914	-	21,864	11,344	1,159	9,073	3,290	1,411
'23年	11月	767,241	113,308	371,870	32,284	377,079	68,593	-	22,342	11,718	1,216	8,466	4,158	1,342
	12月	r 699,026	r 103,578	356,975	30,893	344,364	59,443	-	20,822	10,514	1,114	8,489	5,081	1,405
	1月	r 620,476	r 90,382	256,178	26,232	382,338	61,931	-	16,133	8,364	922	9,296	3,244	1,291
	2月	738,730	100,436	313,203	28,924	426,726	69,748	-	19,830	9,815	953	8,880	4,001	1,241
	3月	866,260	112,526	384,804	34,967	572,494	93,378	-	22,231	9,893	1,117	8,529	6,688	1,410
	4月	-	-	363,639	25,806	349,592	59,597	-	19,712	8,715	1,009	9,000	3,182	1,327
	前 月 比	-	-	94.5	73.8	61.1	63.8	-	88.7	88.1	90.3	105.5	47.6	94.1
前年同月比	-	-	115.7	71.2	116.7	108.4	-	115.5	80.5	116.5	94.6	84.2	85.6	

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 3 年 4 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		14,111	115.0	75.1	68.5
	鋼 材 輸 入 実 績		191	85.4	68.8	62.0
	販 売 業 者	受 入 計	18,742	95.1	79.3	69.4
		販 売 計	19,212	99.2	83.7	73.1
		うち消費者向	13,999	89.9	78.3	74.0
		在 庫 計	80,837	99.4	103.0	136.9
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		2,330	68.3	65.9	48.9
生 産 者 工 場 在 庫		10,790	121.6	134.7	130.1	
総 在 庫		91,627	101.6	106.0	136.0	
構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		568,641	94.4	90.2	83.1
	販 売 業 者	受 入 計	265,171	86.3	85.0	40.6
		販 売 計	282,305	90.6	82.6	43.2
		うち消費者向	222,466	92.4	82.2	50.7
		在 庫 計	443,081	96.3	90.1	125.9
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		56,993	87.0	77.7	69.4
	生 産 者 工 場 在 庫		332,759	97.6	82.0	95.1
総 在 庫		775,840	96.9	86.5	110.6	
ば ね 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		24,121	99.1	88.8	67.1
	鋼 材 輸 入 実 績		1,935	93.3	165.9	474.7
	販 売 業 者	受 入 計	7,284	82.5	189.8	34.4
		販 売 計	8,038	93.5	194.1	38.3
		うち消費者向	2,358	88.8	78.8	50.7
		在 庫 計	4,944	86.8	38.2	40.5
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		9,854	59.4	69.2	62.7
生 産 者 工 場 在 庫		19,417	108.2	75.9	75.2	
総 在 庫		24,361	103.0	63.2	64.1	
ス テ ン レ ス 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		158,871	95.3	79.4	69.2
	鋼 材 輸 入 実 績		20,184	119.9	77.2	139.5
	販 売 業 者	受 入 計	97,531	85.6	82.5	38.9
		販 売 計	104,970	90.0	82.3	41.8
		うち消費者向	49,397	87.4	77.6	88.3
		在 庫 計	243,658	97.0	99.8	178.3
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		61,835	96.0	97.8	70.5
生 産 者 工 場 在 庫		130,004	102.5	90.8	112.8	
総 在 庫		373,662	98.9	96.5	148.3	
快 削 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		31,869	79.0	78.3	62.1
	販 売 業 者	受 入 計	9,042	109.5	99.5	63.9
		販 売 計	9,059	104.7	96.0	63.0
		うち消費者向	8,752	105.2	97.4	62.9
		在 庫 計	11,272	99.8	74.7	83.3
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		4,873	45.2	51.5	50.9
	生 産 者 工 場 在 庫		20,955	95.7	69.3	75.5
総 在 庫		32,227	97.1	71.1	78.0	
高 抗 張 力 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		341,088	84.4	88.6	82.6
	販 売 業 者	受 入 計	4,687	85.3	76.4	45.6
		販 売 計	4,820	88.4	73.7	47.4
		うち消費者向	3,976	87.2	71.4	59.3
		在 庫 計	13,711	99.0	83.6	125.1
	生 産 者 工 場 在 庫		143,028	110.5	90.3	75.4
	総 在 庫		156,739	109.4	89.7	78.1
そ の 他	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		84,331	96.5	77.3	60.9
	販 売 業 者	受 入 計	29,042	79.0	81.3	71.7
		販 売 計	32,658	92.1	87.5	80.6
		うち消費者向	31,260	91.4	89.0	85.1
		在 庫 計	60,263	94.3	84.3	113.4
	生 産 者 工 場 在 庫		48,596	101.0	84.9	70.2
	総 在 庫		108,859	97.2	84.5	89.0
特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,223,032	91.4	86.7	77.8
	鋼 材 輸 入 実 績 計		35,698	93.0	78.1	43.9
	販 売 業 者	受 入 計	431,499	86.3	84.8	42.4
		販 売 計	461,062	91.2	83.9	45.3
		うち消費者向	332,208	91.6	82.0	57.7
		在 庫 計	857,766	96.7	92.2	134.6
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		488,905	89.3	87.9	76.0
生 産 者 工 場 在 庫		705,549	101.7	85.2	89.8	
総 在 庫		1,563,315	98.9	88.9	109.8	

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めない。



(2023年4月1日～5月31日)

総会

2023年度（5月31日・対面会議+Web会議）

- ①2022年度事業報告について
- ②2022年度決算について
- ③2023-24年度役員選任について

理事会

第1回（5月11日・対面会議+Web会議）

- ①2022年度事業報告について
- ②2022年度決算について
- ③2023年度定時総会における役員選任案について
- ④2023年度定時総会招集について

第2回（5月31日・対面会議+Web会議）
会長、副会長、専務理事の選任について

運営委員会

本委員会（4月25日・対面会議+Web会議）

- ①2022年度事業報告について
- ②2022年度決算について
- ③2023年度定時総会における役員選任案について

総務分科会・財務分科会（4月24日・対面会議+Web会議）

- ①2022年度事業報告について
- ②2022年度決算について
- ③2023年度定時総会における役員選任案について

2022年度監事監査（4月28日・対面）

市場開拓調査委員会

特殊鋼PR展示・講演会WG

第10回高機能金属展 関西展出展キックオフ
ミーティング（4月5日・Web会議）

- ①共同出展社紹介
- ②展示内容について
- ③ブースレイアウトについて
- ④今後のスケジュールについて

第10回高機能金属展 関西展

- ①協賛すると共にブースを出展（5月17～19日）

②技術セミナーを開催（5月18日）

編集委員会

本委員会（4月18日・Web会議）

- ①委員交代の報告
- ②2023年9月号特集「切削加工の基礎と最近の動向（仮題）」の編集方針、内容の確認
- ③2024年1月号以降の特集テーマの選定

小委員会（5月23日・Web会議）

2023年11月号特集「特殊鋼の技術と用語のやさしい解説（用語解説編・新材料、磁性材料等）（仮題）」の編集内容の検討

流通委員会

説明会（4月12日）

演 題：2023年度第1・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
中村 綾乃 氏

方 式：オンライン同時配信（東京・名古屋・大阪3地区）

参加者：125名

カーボンニュートラルWG

第22回会合（4月27日・Web会議）

[大阪支部]

運営委員会（5月25日・対面会議）

- ①2022年度事業
- ②2022年度収支
- ③2023年度事業計画
- ④2023年度収支予算

2022年度会計監査（5月22日、25日・対面）

第10回高機能金属展 関西展に協賛すると共に
ブースを出展（5月17～19日）再掲

説明会（4月12日・全特協との共催）再掲

演 題：2023年度第1・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
中村 綾乃 氏

方 式：オンライン配信
参加者：25名（大阪地区参加）

[名古屋支部]

運営委員会（4月20日・対面会議）
定時総会内容事前確認

部会

工具鋼部会（4月18日・対面会議）
構造用鋼部会（4月24日・対面会議）
ステンレス鋼部会（4月26日・対面会議）

講座、研修会、セミナー等

説明会（4月12日・全特協との共催）再掲

演 題：2023年度第1・四半期の特殊鋼需要
見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
中村 綾乃 氏

方 式：オンライン配信
参加者：23名（名古屋地区参加）

新入社員研修（4月21日）

テーマ：仕事の基本
講 師：リ・カレント 森 氏
方 式：対面研修
参加者：16名

2022年度会計監査（5月15日、18日・対面）



特殊鋼倶楽部の動き

「第10回高機能金属展（メタルジャパン） 関西展」 （於：インテックス大阪）へ出展しました。

特殊鋼倶楽部は5月17日～19日、インテックス大阪にて開催されました「第10回高機能金属展（メタルジャパン）関西展」の協賛団体として出展をいたしました。

特殊鋼倶楽部ブースには、会員様企業から自社製品PRを目的として秋山精鋼(株)様、(株)川口金属加工様、南海モルディ(株)様の3社が出展し、積極的なPR活動を実施しました。

5月18日、メタルジャパン専門セミナーに山陽特殊製鋼(株) 粉末事業部粉末技術部長 相川芳和様が「ガスアトマイズ粉末の特徴と金属AMへの適用事例」と題して講演されました。

コロナ禍の状況も鎮静化の方向に進んだこともあり、ブースには前回を上回るさまざまな業種の多くの方々にお立ち寄りいただき、特殊鋼及び当倶楽部の認知度アップに貢献いたしました。

本展には、23,217名の業界関係者が来場し、大変盛況な展示会となりました。

★会場の様子>>> <https://youtu.be/K53UP5h7apw>

以下に、会場写真を掲載いたします。



【特殊鋼倶楽部ブース】

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】		
(正 会 員)				
製造業者	25社			
販売業者	100社			
合 計	125社			
【製造業者会員】				
愛 知 製 鋼 (株)		大 同 興 業 (株)		
秋 山 精 鋼 (株)		大同DMソリューション(株)		
(株) 川 口 金 属 加 工		大 洋 商 事 (株)		
高 周 波 熱 錬 (株)		大 和 特 殊 鋼 (株)		
(株) 神 戸 製 鋼 所		(株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行		
合 同 製 鐵 (株)		孟 鋼 鉄 (株)		
山 陽 特 殊 製 鋼 (株)		辰 巳 屋 興 業 (株)		
J F E ス チ ー ル (株)		千 曲 鋼 材 (株)		
J X 金 属 (株)		(株) テ ク ノ タ ジ マ		
下 村 特 殊 精 工 (株)		(株) 鐵 鋼 社		
大 同 特 殊 鋼 (株)		デルタステール(株)		
高 砂 鐵 工 (株)		東京貿易マテリアル(株)		
東 北 特 殊 鋼 (株)		(株) 東 信 鋼 鉄		
日 鉄 ス テ ン レ ス (株)		(株) ト ー キ ン		
日 本 金 属 (株)		特 殊 鋼 機 (株)		
日本高周波鋼業(株)		豊 田 通 商 (株)		
日 本 精 線 (株)		中 川 特 殊 鋼 (株)		
日 本 製 鉄 (株)		中 島 特 殊 鋼 (株)		
日本冶金工業(株)		中 野 ハ ガ ネ (株)		
(株)広島メタル&マシナリー		永 田 鋼 材 (株)		
(株) 不 二 越		名 古 屋 特 殊 鋼 (株)		
(株) プ ロ テ リ ア ル		ナ ス 物 産 (株)		
三 菱 製 鋼 (株)		南 海 モ ル デ ィ (株)		
ヤマシンスチール(株)		日 金 ス チ ー ル (株)		
理 研 製 鋼 (株)		日 鉄 物 産 (株)		
		日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株)		
		日 本 金 型 材 (株)		
		ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)		
		野 村 鋼 機 (株)		
		白 鷺 特 殊 鋼 (株)		
		橋 本 鋼 (株)		
		(株)長谷川ハガネ店		
		(株)ハヤカワカンパニー		
		林 田 特 殊 鋼 材 (株)		
		阪 神 特 殊 鋼 (株)		
		阪 和 興 業 (株)		
		(株) 平 井		
		(株) フ ク オ カ		
		藤 田 商 事 (株)		

“特集” 編集後記

昨年の9月号から始まった「特殊鋼の基礎」も3回目となり、今回は特殊鋼業界で目にする「用語」について特集しました。編集方針としては「特殊鋼の製造、流通に関わる若手向け」というコンセプトを踏襲し、若手の皆さんが特殊鋼の技術を理解するための「入り口」になるような内容としました。また、従来の鉄鋼用語に加えて、カーボンニュートラルに関連する内容も盛り込んでおりますので、読者の皆様の参考になれば幸いです。

また、特殊鋼誌には、これまでに多くの方がご苦勞されて執筆した財産があります。今回は用語解説ということで、多くの用語を扱うために一つ

一つの用語は、ごく簡単な解説となっていますが、詳しく知りたい方には「特殊鋼誌何年何月号」という形で過去の財産を活用して頂く紙面作りにも取り組んでみました。このような取り組みによって、特殊鋼誌が若手の皆さんのお役にたてましたら幸いに存じます。

最後に本件の編集にご対応頂いた方々にお礼を申し上げますと共に、特殊鋼誌の編集に引き続きのご支援を賜りますようお願い致します。

〔日本製鉄(株) 北日本製鉄所棒線部 部長 青山 敦司〕

特 集／切削加工の基礎と最近の動向

- I. 総論
- II. 切削加工のトレンド
- III. 切削加工機の種類
- IV. 切削工具の種類
- V. 先端加工技術の紹介
- VI. 切削加工に対する会員メーカーの取り組み

11月号特集予定…特殊鋼の技術と用語のやさしい解説（用語解説編・新材料、磁性材料等）

特 殊 鋼

第 72 巻 第 4 号
© 2 0 2 3 年 7 月
2023年 6 月 25 日 印 刷
2023年 7 月 1 日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円
1 年 国内7,434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。