

特殊鋼

2021
Vol.70 No.4

7

The Special Steel

特集／特殊鋼製造のやさしい解説



特殊鋼

7

目次

2021

【編集委員】

委員長	井上幸一郎	(大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫	(中川特殊鋼)
委員	宇田川毅志	(愛知製鋼)
〃	吉原 直	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	小川 道治	(大同特殊鋼)
〃	青山 敦司	(日本製鉄)
〃	正能 久晴	(日本金属)
〃	吉田 統樹	(日本冶金工業)
〃	酒寄 一志	(日立金属)
〃	大石 裕之	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎	(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／特殊鋼製造のやさしい解説】

I. 特殊鋼製造の概論

.....愛知製鋼(株)	宇田川毅志	3
--------------	-------	---

II. 特殊鋼の製造方法

1. 製 鋼

(1) 高炉・転炉.....	JFEスチール(株)	川畑 涼	6
(2) 電炉・二次溶解.....	日立金属(株)	松本 祐治	9

2. 連 鑄.....

三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	木村 太一	12
--------------	-------	----

3. 圧 延.....

日本製鉄(株)	片山 佳昭	16
日本製鉄(株)	大坪 紘二	
日本製鉄(株)	石橋 寿麻	
日本製鉄(株)	青山 敦司	

4. 鍛 造

《ハンマー》.....	日立金属(株)	菅 洋一	22
《プレス》.....	日立金属(株)	味田 悟	24

5. 二次加工

—線材二次加工における特殊鋼の製造方法—

.....	(株)神戸製鋼所	ファミバンドック	26
-------	----------	----------	----

6. 熱処理.....

大同特殊鋼(株)	神谷 祐樹	30
----------	-------	----

7. 検 査.....

大同特殊鋼(株)	森 大輔	36
----------	------	----

8. 粉末製造.....

山陽特殊製鋼(株)	相川 芳和	41
-----------	-------	----

III. 会員メーカーの最新設備

1万トン級自由鍛造プレス.....	日立金属(株)	味田 悟	45
-------------------	---------	------	----

● 「ご挨拶」…………… 一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 藤岡 高広 1

■業界のうごき…………… 46

▲特殊鋼統計資料…………… 49

★倶楽部だより（2021年4月1日～5月31日）…………… 53

☆特殊鋼倶楽部の動き…………… 55

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧…………… 56

特集／「特殊鋼製造のやさしい解説」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	小川 道治	大同特殊鋼(株)	技術開発研究所 ソリューション支援室 兼企画室 副主席部員
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 主任職
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	浜田 貴成	日本製鉄(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	殿村 剛志	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 商品技術部（東京駐在） 担当次長
〃	及川 誠	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部長
〃	北園 大輔	日立金属(株)	金属材料事業本部 技術部長
〃	藁口 光樹	三菱製鋼(株)	技術開発センター 主任研究員
〃	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
〃	岡崎誠一郎	(株) U E X	顧問
〃	関谷 篤	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	白神 哲夫	中川特殊鋼(株)	フェロー

「ご挨拶」



一般社団法人特殊鋼倶楽部 会長 ふじ おか たか ひろ 藤岡高広

2021年5月の一般社団法人特殊鋼倶楽部の総会、理事会で、前任の樋口山陽特殊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愛知製鋼株式会社社長の藤岡高広です。

特殊鋼倶楽部は、2013年4月に一般社団法人に移行後、私は、2015年5月から2年間会長を務めさせていただき、今回は2回目の会長就任と身の引き締まる思いです。

会長としての基本的な思いは、「我が国特殊鋼の競争力の向上」を目指した活動を行って参りたいという点です。

言うまでもなく特殊鋼は、最先端技術の「粹」であり、鉄鋼材料の中で独特の高い機能を有する材料で、粗鋼生産の20%強を占め、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います。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、静脈産業である特殊鋼業のレベルが国民経済を支えています。

しかしながら、我が国の特殊鋼業界を巡る環境は、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。既存のマーケットが縮小し浸食されることが避けられない今こそ、我々が長年磨きをかけてきたもの、品質、開発力、提案力やそれら技術の中核としたお客様との信頼関係、これらの真価がこれまで以上に問われる時が来たと考えべきです。「Return to the basic with Innovative Manner」

(今までとは違う発想で「原点回帰」し、より挑戦的に新しい価値に取り組む)で、長年のお客様、新しいお客様に「選ばれる特殊鋼 (Special steel of choice)」となりたいと思います。

第1回目の2015年の私の会長就任の際には、「選ばれる特殊鋼」を目指して、「特殊鋼のPR強化」、「製造業者会員と販売業者会員の連携・協力強化」、「国際問題への対応」という3点に特に注力する旨お話し、着実に一歩ずつ実行して参りました。これらは今後も重要な点であり、引き続き実施する所存ですが、今回は最近の社会経済情勢を踏まえ、特殊鋼倶楽部会長として2つの事に特に力を入れていきたいと考えております。すなわち「カーボンニュートラルへの取組」、「DX推進のための一環としてミルシートの電子化拡大を念頭に課題を整理する」の2点であります。

2020年10月に日本政府が発表した「2050年カーボンニュートラル宣言」では、2050年までに脱炭素社会を実現し、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目標としています。特殊鋼倶楽部としても、「カーボンニュートラルに関する推進グループ」(仮称)を立ち上げ、各社の技術開発等の取組について情報交換・共有化等を行い、特殊鋼倶楽部として取りまとめ、その上で今後の取組について情報発信をしていくこととして参りたいと考えております。

また、DX(デジタルトランスフォーメーション)を推進するにあたり、EDI(電子データ交換)を更に推進することが大きな課題となっております。そのためにはミルシートの電子化に向けた取組が必要と言われておりますが、特殊鋼会社と流通関係者として「ミルシートの電子化拡大に関する検討グループ」(仮称)を立ち上げ、電子化拡大を念頭に課題を整理し、その結果を発信することとしたいと考えております。

特殊鋼倶楽部は、1952年に設立され、特殊鋼流通の円滑化と需要拡大という共通目標実現に向け、現時点でメーカー25社、流通・販売業者103社からなる製販一体の団体であります。以上述べましたように、「我が国特殊鋼の競争力の強化」のため、広報や統計など、基盤的な事業を着実に実施しながら、特殊鋼業界の直面するカーボンニュートラルへの対

応、ミルシートのユーザー側まで考慮に入れた電子化等の課題に対して、製販一体の団体であるという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・協力して取組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参りますので、皆様から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。



特殊鋼製造のやさしい解説

I. 特殊鋼製造の概論

愛知製鋼(株) 品質保証部 宇田川 毅 志
 お客様品質・技術室 主任職

まえがき

製鉄そのものは人類の歴史と同じく、非常に長い歴史を持っています。例えば日本においては「たたら製鉄」が栄え、1899年に雲伯鉄鋼合資会社が設立され、鉄鋼業が誕生しました。

また、近代鉄鋼業は18世紀末のイギリスにおける産業革命期に発祥しています。その後、第二次世界大戦まではイギリス、フランス、ドイツ、アメリカを中心として鉄鋼が生産されてきました。

日本では、その技術をドイツから輸入し、1901年に官営八幡製鉄所が設立されたことで、近代鉄鋼業が始まりました。この当時、「特殊鋼」については、ほとんど輸入に頼っていましたが、第一次世界大戦で欧州の特殊鋼需要が逼迫したことをきっかけに、自国で生産を迫られることとなります。

それから100年以上が経ち、日本国内の特殊鋼は性能、品質、製造技術で世界のトップレベルに到達し、今後もグローバルで進行する社会の工業化を支えるための非常に重要な役割を担うように成長しました。

ここでは簡単に特殊鋼を解説した後、特殊鋼の製造について解説します。

◇ 特殊鋼とは

特殊鋼とは鉄に炭素以外の合金元素を添加した合金鋼です。添加する合金元素の種類によって硬度、強度、粘り強さ、加工性などの色々な特性が変化します。すなわち、用途によってさまざまな特性をアップさせている鋼になります。

特殊鋼は図1に示すように分類されます。そして特殊鋼は図2に示すようにさまざまな分野で使用されています。特に自動車分野で広く使用されており、図3に特殊鋼の生産量と自動車の生産台数の推移を示します。近年はやや減少がみられるものの、特殊鋼の生産量は自動車の生産台数の増

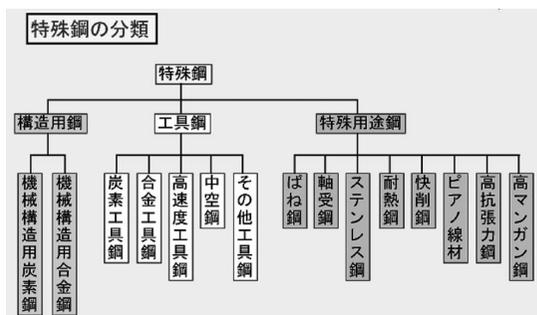


図 1 特殊鋼の分類

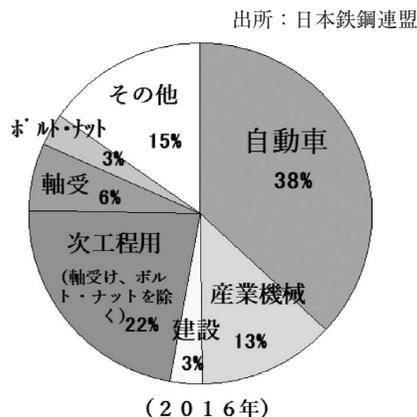


図 2 特殊鋼の用途

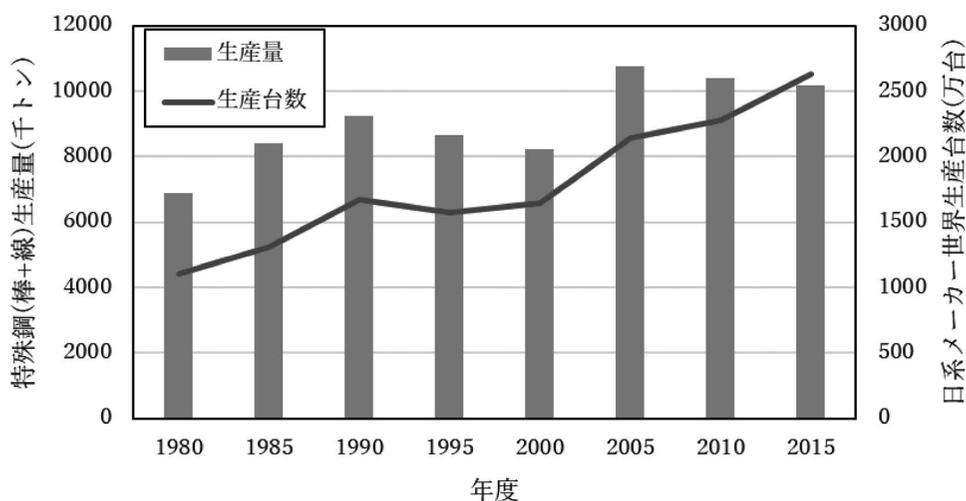


図 3 特殊鋼の生産量と自動車生産台数 出所：鉄鋼統計要覧2017

	製品前の素材製造工程				部品(製品)の製造工程		
	溶解 (溶かす)	精錬 (綺麗にする)	鋳造 (固める)	圧延・矯正 (延ばす)	加工(鍛造等)する (粗形状)	熱処理 (機能付与)	仕上げる (部品)
品質ポイント	○成分、 ×介在物、不純物		○組織 ×偏析、粗大粒	○寸法、表面性状 ×キズ、脱炭、酸化		○強度、形状精度 ×割れ、キズ	

図 4 特殊鋼の基本製造プロセス

加に伴い、合わせて成長してきています。

◇ 特殊鋼製造

1. 特殊鋼の基本製造プロセス概略

図4に特殊鋼の基本製造プロセスの要点を示します。特殊鋼には図4に示すように溶かす、固める、延ばす、機能を付与するなどの各プロセスを経て特殊鋼が製造されます。それぞれのプロセスにおいて、付加価値を加える製造技術によって、より高品質の特殊鋼が製造されています。本稿では図4に示す基本製造プロセスのうち、加工前の素材である圧延工程までについてを解説することとします。

2. 製鋼プロセス（溶解～鋳造）

現在の鉄鋼メーカーにおいて鉄を溶かす技術として、鉄鉱石を還元して溶鋼を生成する高炉・転炉法とスクラップを溶解する電気炉法が主に利用されています（高炉・転炉法でもスクラップは多少使用しています）。

製鋼プロセス重要な品質管理項目は不純物成分や介在物を最小限にすることです。どちらの原料

（鉄鉱石、スクラップ）には不純物が含まれています。スクラップは鉄鉱石と比較して不純物が多いため、特に電気炉法では原料となるスクラップは品質を厳選したものを使用し、そのうえで、スラグ（組成を調整した酸化物の層で溶鋼の上に形成されている）を使い、溶鋼中の不純物（酸素等）を徹底除去していきます。また、溶鋼から取鍋に出鋼する際には溶鋼の上部にあるスラグが混入しないように炉の底から出鋼する技術が実用化されています。

溶鋼が取鍋に移されたのちには次工程である二次精錬工程に進みますが、この工程でさらに品質を向上させています。二次精錬工程の役割は溶鋼の品質を安定化させ、次工程の鋳造プロセスに安定供給することが目的であることが念頭に置かれ、二次精錬工程は発展を遂げてきています。二次精錬の代表的なプロセスとして、LF（Ladle Furnace）法、RH（Ruhrstahl-Hausen）法があり、近年ではこの2つの設備の複合プロセスにて鋼の高品質化を達成しているのが一般的となっています。

現在、主流である取鍋加熱精錬プロセスである

LF法は1970年前後より、開発が始まり、実用化されています。LF法は取鋼中の溶鋼をアーク放電で加熱し溶鋼の温度を調整しながら、スラグ組成を調整することで、脱硫や介在物除去に非常に優れたプロセスとなっています。現在にてこのLF法が発展した要因は優れた不純物除去に加えて、後述の casting 工程である連続 casting に対して適応力が高いことが大きい理由として考えられます。連続 casting では溶鋼の温度を安定化させることが品質安定化に重要であり、温度コントロール精度が非常に高いLF法は連続 casting 材の品質向上、安定化に対して、非常に貢献している二次精錬法です。

一方でRH法は1950年代後半に海外にて開発され、1960年代初期に日本に初めて設置されている。この当時は真空脱ガス法として他にDH法も広く使われていたが、脱ガス能力の観点と設備の複雑さから、1990年代後半からはRH法が主流となっている。RH真空脱ガス設備は2本の浸漬管を備えた真空槽で構成されており、片方の浸漬管にArガスを吹き込むことで、エアリフトポンプ作用で真空槽内に溶鋼を循環させることで、窒素や水素などのガス成分を除去する方法になっています。この処理にて溶鋼の清浄度はより高くすることが可能です。

二次精錬プロセスが完了したら、次は casting プロセスになります。今の casting プロセスで広く利用されているのは生産効率がよい連続 casting です。本稿では簡単ですが、連続 casting について、解説します。

連続 casting では精錬プロセスまで完了した溶鋼を一度タンディッシュに注ぎ、タンディッシュの湯口からモールド（水冷された鋳型）に溶鋼を流します。溶鋼はモールドと接することで冷却され、外側から凝固していきます。この時、内部はまだ溶融状態であり、この溶鋼を外側から印加した電磁力で攪拌することで、介在物を浮上除去していきます。さらに凝固が進んだ段階で、鋳片を外側からロールで圧下することで、偏析や中心付近の割れ発生を防止し、高品質な鋳片を製造します。

3. 圧延プロセス

前述した製鋼プロセスで製造した鋳片を製品形状に近づけるための圧延プロセスも非常に重要な工程になります。製造した鋳片は鋼種により、最適な加熱温度や加工量のコントロールが異なっ

てきます。これらの条件が圧延材（鋼種）と合っていない場合、寸法不良や表面キズが発生してしまいます。また、熱間圧延された材料は当然冷却されますが、この冷却についても非常に重要な管理項目になります。圧延では形状を変更するだけでなく、これより材料の組織を調整する役割も持っています。そのため、材料の冷却が箇所によってバラついてしまうと、組織がバラついてしまうため、結果として材料強度にバラつきが発生してしまいます。

4. 特殊鋼の更なる高品質化に向けて

3-2、3にて製鋼から圧延までのプロセスについて解説しました。モノづくりの上で、より高品質なものを製造していくために解説した設備の構成の最適化や条件の最適化は今もお継続して研究されています。

製造条件の最適化による高品質は当然重要ですが、それらを達成するために必要な技術として分析技術や検査技術の高度化も非常に重要です。細かい介在物を広い範囲で検出できる分析技術に支えられることで、材料の高清浄度化（介在物除去）が進み、より細かいキズなどの検出技術の高度化が支えられ、圧延プロセスが進化しています。

また、合わせて近年ではシミュレーションソフトなどのIT技術が普及してきているため、製造現場から得られたビックデータを有効に活用した高品質化の取り組みが今後は加速していくものと主流になってくるものと考えられます。

従来技術の高度化+IT技術の活用したさらなる特殊鋼の高品質化が今後のテーマとして加速していくものと考えられます。

むすび

本稿にて特殊鋼製造プロセスについて解説しました。日本国内での歴史を考えると約一世紀を経て、世界のトップレベルになるまで成長してきました。新興国の台頭もある中で、今後も世界のトップレベルを維持するためには今回解説したようにモノづくりの条件を突き詰めるだけでなく、分析・検査技術やIT技術を組み合わせた材料開発を行い国内メーカーが常に成長し続けていくことが非常に大事だと考えます。

II. 特殊鋼の製造方法

1. 製 鋼

(1) 高炉・転炉

JFEスチール(株) かわ ばた りょう
製鋼研究部 川 畑 涼

◇ 高炉-転炉法

高炉-転炉法における特殊鋼製造においては、高炉から出銑される銑鉄から不純物を除去し、効率よく低S・低Pの溶鋼を製造し、二次精錬での成分調整に供するか、という観点でプロセス開発が行われてきている。また、近年においては、環境保全の観点から、処理の際に生成する副産物（スラグ）の極小化やリサイクルといった開発、CO₂削減の観点から予備処理炉の活用開発が実施されてきている。本報ではその概要を示すが、より詳しく知りたい場合は既報¹⁾等を参考にされたい。

高炉で鉄鉱石をコークスで還元して得られる溶銑中には、鉄鉱石中に含まれる鉄 (Fe) よりも還元されやすい元素が含まれている。代表的な成分としては以下の5元素であり、出銑時のおおよそ

の成分値を示す。

Fe-炭素(C)4.5%-ケイ素(シリコン、Si)
0.3-0.6%-マンガン(Mn)0.1-0.2%-燐(P)
0.10~0.18%-硫黄(S)0.02-0.05%

この銑鉄中の不純物を化学反動的・熱的に効率よく除去して所定の成分を得ることが製鋼精錬、とくに転炉までの主目的である。硫黄を除き、鉄よりも燃えやすい成分であるため酸化除去が主体となる。図1に高炉出銑から溶銑予備処理をへて転炉、二次精錬に至る際のプロセスの流れ、表1に代表的な成分推移を示す。プロセス個別の特徴について以下に示す。

◇ 溶銑予備処理（脱S）

脱硫 (S) 反応は下記の反応式で示される。
 $[S] + CaO + [C] = (CaS) + CO$

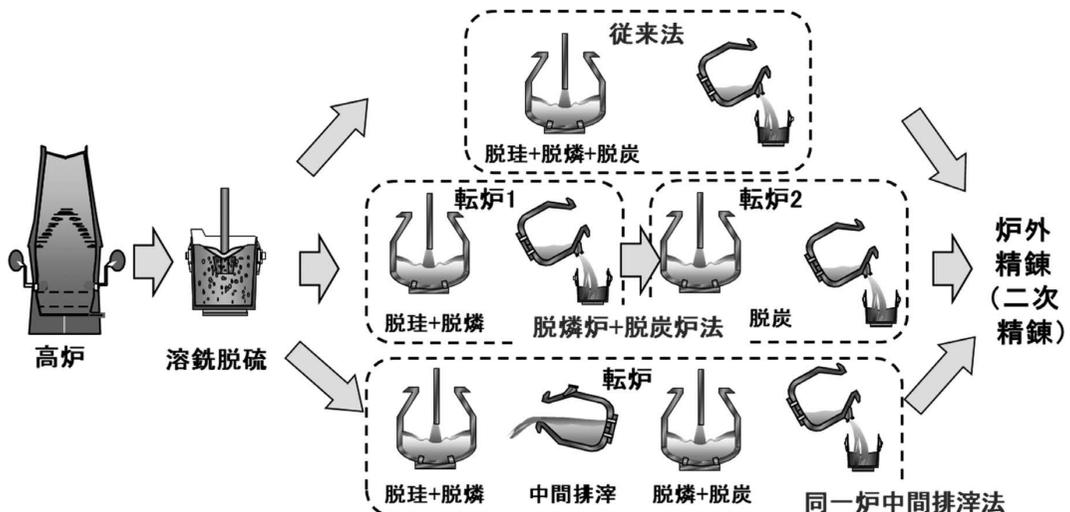


図 1 高炉以降の溶銑予備処理/転炉のプロセスフロー

表 1 各不純物成分の推移

プロセス	高炉	脱硫	脱珪・脱磷	脱炭
元素	還元反応		酸化反応	
C	4.4-4.6%	←	2.8-3.2%	0.04-0.8% (調整)
Si	0.3-0.6%	←	0	0
P	0.10-0.18%	←	0.015-0.050%	0.005-0.030%
S	0.02-0.05%	0.001-0.002%	0.002%	0.002%
Mn	0.1-0.2%	←	0.1%	0.1%

この反応は高炉と同様の還元反応であり、高温下、溶銑中にC、Siが高いほどより効率的に除去することができることから、転炉等の酸化精錬の前に実施されることが多い。鍋に入れた溶銑に対して、粉の生石灰（CaO）を主体に反応促進材として若干のAl源を含んだ脱S材を添加して処理を実施する。耐火物製インペラを回転させて攪拌し反応させるKR法、脱S材を浴中にガスとともに吹き込んで反応促進させるINJ法等があり、処理後のS濃度は0.002%程度までとなる。これより低いS濃度が必要な場合は転炉以降の二次精錬で更なる脱S処理を実施することで必要な成分を得ている。近年の環境規制の厳格化から、2000年代以降は、これまで反応効率向上のために用いられていた蛍石（CaF₂）やカルシウムカーバイド（CaC₂）などの補助剤を用いず、生石灰主体の脱S材を用いることが多くなった。また、副産物のスラグに脱S能力が残っていることを利用した脱Sスラグの脱S処理リサイクル、脱S材のさらなる効率化を志向した投射法などが開発されている。

◇ 溶銑予備処理（脱Si／脱P）～転炉（脱C）

溶銑中の不純物のうち、炭素（C）、ケイ素（Si）、磷（P）は鉄（Fe）よりも燃えやすく、酸化物は鉄よりも軽いことから、容器内で純酸素を吹き付け、下記の反応式で示される酸化反応で除去する。



これらの反応を高速、かつ高効率で行うために開発されたのが純酸素転炉法である。日本においては、1957年に初めて導入されて以来急速に導入が進んだ。導入当初は、純酸素転炉法ではこれらの反応を同一炉で実施してきたが、低P鋼の溶製

ニーズの高まり、脱Pに必要な石灰の削減を図るために、1980年代に溶銑予備処理（脱P）法が急速に開発・普及した。酸化反応である脱P反応を効率的に進めるためには処理温度は低温である方がよく、脱Si、P処理と、高温処理が必要な脱C処理を切り分け、それぞれに適した処理を行うことで極低P鋼の溶製と石灰の削減を両立した（SRP法、LD-NRP法など）。一方で脱Si／脱P用と脱C用に2基の転炉が必要であるデメリットがあることから、1基の転炉で脱Si／脱Pまで実施した時点で処理を中断、炉内のスラグを排出（中間排滓）したのちに続けて脱C処理を行う方法（同一炉中間排滓法、MURC法など）も開発された。

溶銑予備処理法が開発された当初は、高炉法各社において、混銑車や溶銑鍋といった溶銑搬送容器を用いた脱Si、脱P処理法も開発されていたが、処理時間の短さ、反応効率の高さから転炉型予備処理への変更が進んでいる。

近年の環境規制の厳格化から、脱P処理においても反応効率向上のため使用していた蛍石の使用ができなくなり、生石灰主体の処理が主体となっている。これにより低下した生石灰の反応効率向上を図る技術として、従来の塊状石灰を用いる方法から、上吹きの酸素ランスを經由して石灰粉を吹き付けて反応性向上を図る技術が開発されている。また、発生するスラグの精錬能を再利用するリサイクル技術などの開発も進んでいる。

処理後の溶鋼は転炉から取鍋に出鋼され、LFやRHなどの二次精錬をへて製造される。転炉精錬時のスラグは過酸化状態となっており、二次精錬以降の処理、鋳片品質に悪影響を及ぼすおそれがあるため、品質厳格鋼においては、転炉スラグを次工程に持ち越さない技術も導入されている。溶鋼とスラグの導電率の違いを用いた誘導コイル式ス

ラグセンサ、輻射率の違いを用いた赤外カメラ式
スラグセンサと、転炉の炉体側部の出鋼口に設置
された圧空式スラグストッパーを組み合わせてス
ラグ流出を抑制する技術などが開発、導入されて
いる。

◇ 今後の展開

高炉法に用いられる鉄鉱石の品位の低下から、

溶銑中の不純物（特にSi、P）濃度の上昇が予想さ
れていること、また 顧客からの溶鋼清浄度向上
の要求が厳格化されていくことから、今後より一
層の溶銑予備処理技術の開発が求められると考え
られる。

参考文献

- 1) 小田雄司ら 鉄と鋼 Vol. 100 (2014)、No. 4 p 434



(2) 電炉・二次溶解

日立金属(株) まつもと ゆうじ
製鋼部製鋼グループ 松本 祐治

◇ 電気炉

製鋼法には大きくわけて、高炉法と電気炉法があり、高炉法では鉄鉱石と石炭から銑鉄を経て鋼を製造するのに対して電気炉法ではスクラップなどの冷鉄源を主原料として製造を行う。

現在、電気炉として使用されているものは大きくわけて、弧光式電気炉（以降、アーク炉と記述）と高周波誘導炉の2種類がある。アーク炉（図1(a) 3相交流アーク炉）では、黒鉛電極と原料の間でアークを発生させて加熱溶解を行い、高周波誘導炉（図1(b)）では、ルツボの周囲にコイルを設置し、高周波電流による誘導加熱で原料の溶解を行う。高炉法と比較してスクラップを主原料とする電気炉のメリットとして、(1) 設備投資費が安い (2) 需要の変動に柔軟に対応できる (3) 多品種小ロット対応がしやすい (4) 溶鋼の温度調整が容易 (5) 使用原料の制約が少ないといった利点がある。炉容量としては、3相交流アーク炉では10-80トンが一般的であるが、最近では250トンの大型炉もある¹⁾。一方、高周波誘導炉においては、比較的小規模（数百キログラム～数

トン程度）の溶解で使用されることが多い。

1960年頃までの電気炉（アーク炉）操業は、溶解、酸化（脱炭、脱リン）、還元（脱酸、脱硫）といった精錬作業を電気炉のみで行っていたが、現代においては炉外精錬法（ASEA-SKF^{*1}やRH^{*2}に代表される2次精錬設備）の発達により電気炉は溶解に特化し、炉容量は大型化されている。また炉容量だけでなく、炉用変圧器の容量も大きくすることで溶解時間の短縮が行われ、生産性の向上が図られている。2次精錬設備、連続鋳造の発展に伴い、現代の電気炉の役割は溶解時間を短くして電力原単位を下げ、効率よく溶解するという事が重要な要素となっている。

現代のような資源リサイクルが必要な時代において、資源循環が可能であり、需要変動に柔軟に対応ができる電気炉の役割は重要である。高炉法が主体の日本における電気炉の割合は30%程度であるが、電気炉需要は世界的にみても今後更に高まっていくものと思われる。

*1. ASEA-SKF：炉外精錬法の一つで、取鋼内において溶鋼を加熱してスラグ精錬や脱ガスを実施する精錬方法

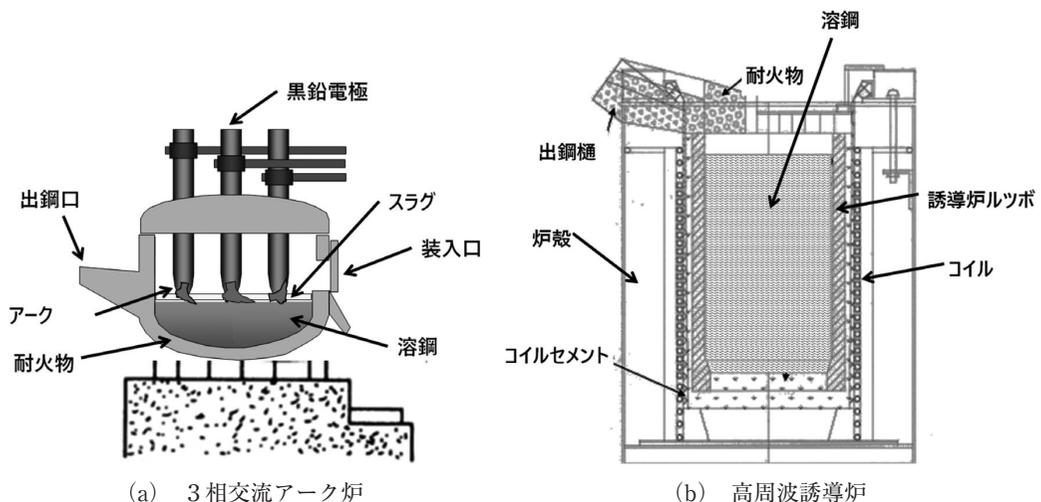


図 1

*2. RH：溶鋼を真空槽中で循環させて脱ガスを実施する精錬方法

◇ 二次溶解

二次溶解とは、前記ASEA-SKF法やRHなどに代表される2次精錬や真空溶解法（VIM）において一度製造された鋼を再度溶解する製法で、再溶解法とも呼ばれる。代表的な再溶解法として、“真空アーク再溶解法（VAR）”と“エレクトロスラグ再溶解法（ESR）”と呼ばれるものがある。

1. 真空アーク再溶解法（VAR）

VAR（Vacuum Arc Remelting）法は、高真空下（ $\leq 10\text{Pa}$ ）で被溶解材（消耗電極）をアーク溶解し、滴下した溶鋼を水冷銅ルツボ内で積層凝固させるプロセスである²⁾。図2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、水冷銅ルツボ、電極駆動系などが

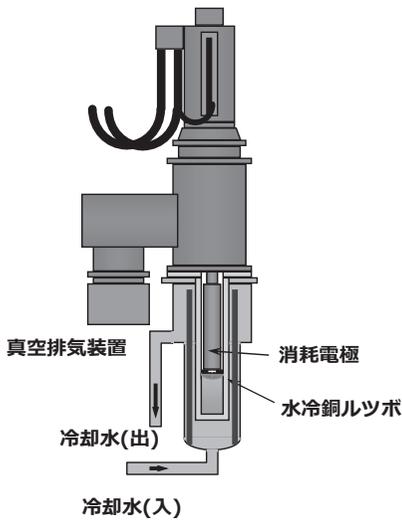


図 2 VAR基本構造図

ら構成される。表1にVAR法の特徴を示す（後述するESR法や普通造塊法との比較も示す）。VAR法では耐火物やスラグの使用がなく、真空中で消耗電極を溶解するため、水素、窒素、酸素などのガス成分の低減効果が著しく、非金属介在物の低減が可能である。また一定方向の均質な凝固組織が得られる積層凝固が出来るため、再溶解を実施しない大気溶解材と比較して、靱性の改善、衝撃値の向上、疲労強度やクリープ強度が向上し、航空機用材料、ガスタービン材、原子炉用部材といった高度な信頼性を要求される材料に用いられる。

2. エレクトロスラグ再溶解法（ESR）

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、被溶解材（消耗電極）を溶融スラグ中に浸漬し、通電で発生したジュール熱によって再溶解し、滴下した溶鋼を水冷銅型内で積層凝固させるプロセスである²⁾。図3に一般的なESRの基本構造を示す。構造としては、電源、水冷銅ルツボ、電極昇降装置などが

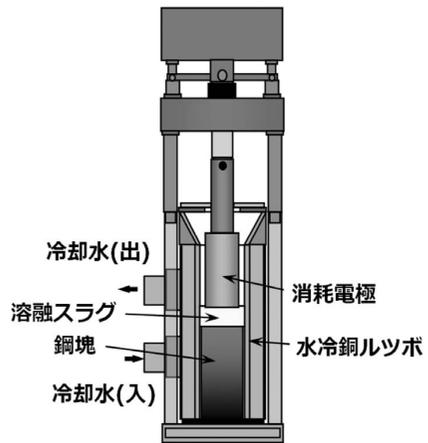


図 3 ESR基本構造図

表 1 普通造塊法、VAR法、ESR法の特徴

	普通造塊法	真空アーク再溶解法（VAR）	エレクトロスラグ再溶解法（ESR）
雰囲気	大気雰囲気	真空雰囲気（ $\leq 10\text{Pa}$ ）	大気雰囲気もしくは不活性ガス
凝固	自然凝固による偏析	積層凝固による緻密な組織	積層凝固による緻密な組織
鋼塊肌	酸化防止剤あり、美肌	鋼塊表面は肌荒れ有り	スラグ層により、美肌
メリット	下注ぎ製造法では一度に複数本製造が可能	ガス成分（酸素、窒素、水素）の除去効果大 活性元素（Al、Ti）制御が容易	スラグによる介在物除去 スラグによる脱酸、脱硫効果大
デメリット	製造時の耐火物汚染	脱硫ができない	水素欠陥を生じやすい

ら構成されている。VARと比較し、VAR法は真空中で溶解されるのに対し、ESR法は消耗電極を大気雰囲気中の溶融スラグ中で溶かすといった違いがある。ESR法は真空設備が不要で比較的簡単な設備であることから、VAR法と比較すると相対的にコストも安くなる。ESR法では溶解時にスラグを用いることで脱硫および脱酸が行われ、非金属介在物が溶融スラグ中に除去される。また、凝固した鋼塊と水冷銅ルツボの間にスラグ層があることからVARに比べ鋼塊肌が良好である。凝固組織と

しては、VAR法と同様に一定方向の均質な積層凝固が出来る。以上の利点から、ESR法では高い要求品質を必要とされる工具鋼、耐熱鋼、ステンレス鋼、航空機材などに幅広く適用されている。また、近年では製品の大型化に伴い、20トン以上のESRなども一般的になってきている。

参考文献

- 1) 金属化学入門シリーズ2 鉄鋼製錬 日本金属学会 (2000)
- 2) 特殊鋼 2015.5 Vol. 64 No. 3 P12 特殊鋼倶楽部



2. 連 鋳

三菱製鋼室蘭特殊鋼(株) 木村 太一
製造部製鋼グループ

まえがき

特殊鋼製造では生産性向上や省エネルギー、品質安定性等の観点から連続鋳造が多く採用されている。連続鋳造は製鋼工程の最終段階であり、品質を決定する重要なプロセスになる。ここでは連続鋳造法について紹介するとともに、製造方法や各設備の役割について述べる。

◇ 連続鋳造法の概要

連続鋳造法は精錬工程で処理した溶鋼を凝固させて一定サイズの鋳片を連続的に製造する方法である。1960年代までは鋳型に溶鋼を注入し、自然冷却して固めたインゴットを再加熱して分塊圧延し、鋼片を製造する方法が主流であった。しかし、連続鋳造法はインゴットと比較し a) 連続的に鋳造が可能であり、生産性向上と省エネルギー効果がある、b) 鋼塊の頭部や底部に相当する切り捨て部分が非常に少ないため、歩留が大幅に向上する、c) 成分偏析が少なく品質が安定している、などのメリットがあり、1970年代より日本でも盛んに導入され、1980年代になると連続鋳造比率は90%を超え、大部分が連続鋳造法で行われるようになった。

◇ 連続鋳造設備型式の特徴

連続鋳造設備の型式は図1に示すように垂直型、湾曲型、垂直曲げ型が多く導入されている。連続鋳造が導入された当初は垂直型で工業化されていたが、垂直型は鋳片への曲げや矯正歪みが生じないので品質面では優れている一方、生産性の向上が課題であった。その後、垂直曲げ型や湾曲型が実用化され、建設コスト低減や生産性の向上が可能となり広く普及した。ここでは、各型式の特徴について紹介する。

1. 垂直型

垂直型は鋳型から垂直に設備を配置しており、鋳片を曲げることなく鋳造を行う。

- メリット：①鋳片の熱間曲げがなく、鋳片内・外部に割れが少ない
②小面積の場所でも設置が可能である
③介在物浮上効果が高い

- デメリット：①機長確保には建屋高さが必要であり、建設費が高額になる
②機長確保が困難であり、低速鋳造しか出来ず生産性が悪い
③溶鋼静圧が大きくロール間での

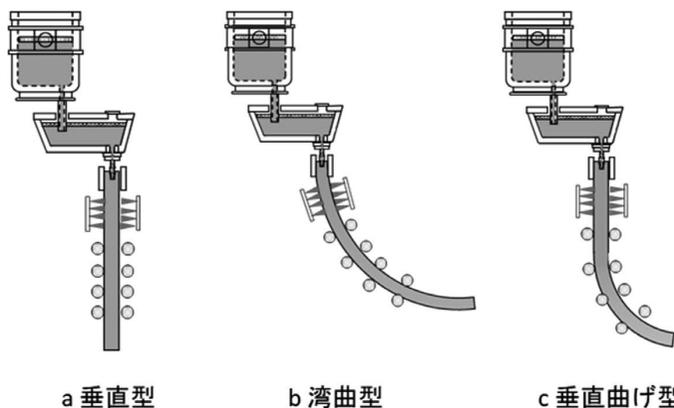


図 1 連続鋳造設備型式比較

バルジングが大きくなる

2. 湾曲型

湾曲鋳型と設備を同一半径の円弧上に配置し、鋳片を水平に矯正して鋳造を行う。

メリット：①マシン高さが垂直型よりも低く、建設費が安い

②溶鋼静圧が小さく、バルジングが少ない

③機長確保が比較的容易であり、高速鋳造が可能、生産性に優れる

デメリット：①矯正部分で応力が発生し、鋳片内部割れが発生する可能性がある

②鋳片上面に介在物が偏在する傾向がある

3. 垂直曲げ型

垂直曲げ型は設備上部では垂直型と同様に鋳型から垂直に設備を配置し、その後鋳片に曲げと矯正を加えて水平に鋳造を行う。

メリット：①機長確保が比較的容易であり、高速鋳造が可能になる

②垂直型より溶鋼静圧は減少する

③鋳片中の介在物が浮上しやすく、介在物の偏在も少ない

デメリット：①湾曲型以上の建屋高さが必要であり、建設費が高額になる

②曲げと矯正ポイントがあり、鋳片内部割れが発生しやすい

◇ 連続鋳造プロセス

一般的な連続鋳造プロセスの概略図を図2に示す。主要構成としては取鍋、タンディッシュ、鋳型、二次冷却装置、ピンチロール装置、切断装置からなる。精錬処理後の取鍋内溶鋼を連続鋳造設備の上部まで運搬し、取鍋下底のノズルを通じてタンディッシュと呼ばれる中間容器へ溶鋼を注入し、タンディッシュからノズルを通じて鋳型へ注入する。鋳型は水冷構造となっており、鋳型へ注入した溶鋼を外側から冷却凝固する。鋳造開始時は、鋳型下端をダミーバーにて塞いだ状態で溶鋼を注入する。ダミーバーは鋳造開始時には鋳型の底蓋として機能し、鋳造開始後は鋳片と連結してピンチロールに到達するまでのガイドとなる。鋳型に溶鋼が溜まったところでピンチロール装置に

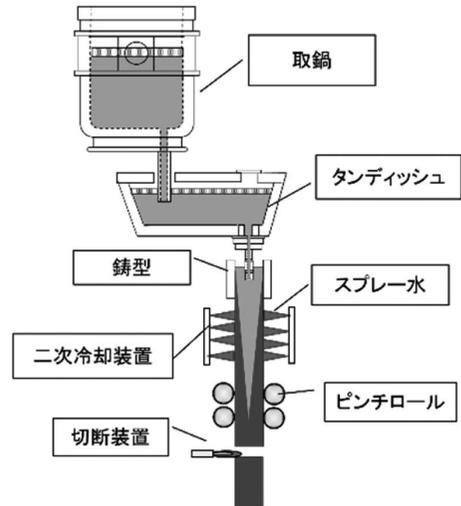


図 2 連続鋳造概略図

てダミーバーの引抜きを開始する。鋳型を抜けると二次冷却装置があり、スプレー水により更に周囲から冷却を行い、凝固を進行させて引抜いていく。鋳片の凝固が中心部まで完全凝固した後に切断装置にて切断を行う。

取鍋から注入が終了した後も、タンディッシュ内の溶鋼が無くなる前に次の取鍋からの注入を開始することでチャージ毎に鋳造を停止することなく、連続的に鋳造が可能である。これによって得られる鋳片は鋳型の形状によって決まるが、最も多く利用されているのはビレット、ブルーム、スラブであり、断面サイズにより分類されている。鋳片サイズと鋳造速度から必要な生産能力を達成するためにストランド数（同時鋳造ライン数）を決定する。これは鋳造鋼種や要求される品質、前工程とのマッチングなどを考慮の上、決定されている。

◇ 連続鋳造における主要設備

ここでは、連続鋳造の主要設備について紹介する。

1. タンディッシュ

タンディッシュは取鍋からの溶鋼を受ける中間容器であり、耐火物で内張りされている。役割としては各鋳型への溶鋼の分配、取鍋交換時の鋳型への注入継続、鋳型への注入量制御、非金属介在物の浮上分離などがある。タンディッシュ形状は

舟形やT形、H型など多様であり、通常は堰の配置を工夫して溶鋼流制御を行う。取鍋からタンディッシュに溶鋼を注入する際に外気との接触による溶鋼再酸化を防止するため、取鍋-タンディッシュ間はロングノズル等を使用し、不活性ガス雰囲気でシールを行う。タンディッシュ内も不活性ガスやタンディッシュパウダーを使用して再酸化防止を図っている。各鑄型への溶鋼注入量制御にはスライディングノズルプレートやストッパーなどの耐火物を使用しており、これにより安定した注入量に制御が可能となる。

鑄片品質に影響を与える重要な因子として、タンディッシュ内の溶鋼温度（鑄造温度）がある。鑄造温度が高いと内部割れや中心偏析といった品質欠陥や、凝固シェル成長不良によって未凝固溶鋼が流出するブレイクアウトといった操業トラブルを引き起こす。逆に鑄造温度が低すぎる場合にはタンディッシュノズル閉塞が起こり鑄造中止となってしまう。近年ではタンディッシュ内溶鋼の加熱が可能な誘導加熱装置やプラズマ加熱装置が導入されており、鑄造温度の変動を低減し、品質の安定化とノズル閉塞による操業トラブル防止が実現している。

2. 鑄型

鑄型には熱伝導率が高く、熱変形の少ない銅合金などを使用する。溶鋼に接する面にはメッキや溶射を施して表面の摩耗性を上げる処理を行っている。銅板背面には水冷を行うための溝や孔が加工しており、冷却水を均一に流す構造となっている。この鑄型に注入した溶鋼を鑄型との接触面で冷却凝固（一次冷却）させ、引抜いていく。引抜きを行う際に鑄型内壁と鑄片との摩擦力が凝固シェルの強度を超えた場合はブレイクアウトが発生する。これを防止するために鑄型振動装置による鑄型の往復運動（オシレーション）と潤滑剤の供給を行っている。鑄型振動に関しては、振動数、振幅、波形などの条件は各社様々であり、適切な組み合わせを行っている。潤滑材としては高温で溶融するパウダーを使用しており、パウダーの溶鋼への巻き込み防止と溶鋼の酸化防止のため、タンディッシュ-鑄型間には浸漬ノズルを併用している。鑄型で生成した凝固シェルは、上部では鑄型壁面に密着しているが、凝固収縮により隙間

（エアギャップ）が発生する。エアギャップが発生すると鑄型への熱伝導が減少し、凝固シェル厚みが不均一になるため割れの起点となる場合がある。こうしたエアギャップによる冷却不均一を防止するために鑄型には鑄片の凝固収縮に合わせたテーパーを設けている。

3. 二次冷却装置

鑄型から出た鑄片は表面から僅かに凝固している程度であるため、二次冷却装置で更に凝固を進行させる必要がある。二次冷却装置にはスプレー帯がありスプレー水により鑄片外側から冷却凝固を進行させる。スプレー水は水のみの一流体（スプレー冷却）ではなく、水とエアを混合した二流体のミスト冷却を用いることが多い。ミスト冷却はスプレー冷却と比較すると、広い使用水量範囲で均一冷却が可能であり、また冷却能力に優れている。スプレー水量制御は鑄片凝固の進行状況にあわせて一定のゾーンを設け、ゾーン毎に制御するように設計されている。スプレー水量は鑄片1kg当たりの水量：比水量（ℓ/kg）で管理しており、比水量が多すぎると鑄片表面割れが増加し、逆に少なすぎると内部割れが発生するため、比水量を適切に調整し、均一冷却することが非常に重要である。

4. ピンチロール装置

ピンチロール装置は、上下ロールとロール回転駆動設備、ロール圧下設備で構成されている。ロールを圧下した状態でロールを固定することで保持し、正転させることで鑄片を引抜く役割を持つ。

5. 切断装置

切断装置はアセチレン、プロパン等を高圧酸素によって燃焼させ、鑄片を切断するガス切断が一般的である。ガス切断装置にはクランプ装置が設置されており、切断時に鑄片をクランプした状態で、鑄片の鑄造速度に追従しながら切断を行う。鑄片断面の小さいピレットでは油圧剪断機が用いられ、ステンレス鋼の切断ではパウダーカッティングが用いられている。

◇ 付帯設備

連続鑄造では様々な欠陥が発生する。主な欠陥として鑄片中心部に炭素や燐、硫黄などが濃化し

て偏析する中心偏析がある。これらの成分元素は固体より液体に溶け込む性質があり、最後に凝固する鑄片中心部分に偏析し易い。中心偏析は鋼材の剛性を低下させるため、防止方法として電磁攪拌装置や鑄片圧下装置などの付帯設備が設置されている。ここでは電磁攪拌装置と鑄片圧下装置について紹介する。

1. 電磁攪拌装置 (EMS)

電磁攪拌は鑄片を取り囲むように配置されたコイルによって回転磁界を発生させる装置であり、回転磁界により生じる誘導電流との相互作用で溶鋼に攪拌の流れを発生させる。これにより、凝固組織の等軸晶を拡大させ、中心偏析低減に効果がある。設置位置は鑄型 (M-EMS) やガイドロール (S-EMS)、最終凝固位置 (F-EMS) などに設置され、複数設置されている例もある。

2. 鑄片圧下装置

凝固末期の凝固収縮流動を制御するために、軽

圧下法、強圧下法、大圧下法等があるが、その中でも軽圧下装置が広く普及している。軽圧下装置は凝固末期の位置に設置されており、鑄片の未凝固溶鋼の凝固収縮分を圧下して潰し、濃化溶鋼の移動を抑制し、中心偏析を低減させる効果がある。従来、鑄片の圧下量はスパーサーにより固定されていたが、最近では鋼種成分や溶鋼温度、鑄造速度等の鑄造条件から凝固完了位置を推定し、適正な圧下量制御を行うダイナミック軽圧下も導入されている。

むすび

ここまで連続鑄造の製造方法について述べた。これは連続鑄造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、鑄片への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。

3. 圧延

日本製鉄(株) 九州製鉄所棒線部棒線技術室 室長 片山佳昭
 室蘭製鉄所棒線部棒線技術室 室長 大坪紘二
 東日本製鉄所線材部線材技術室 いし石橋 寿麻
 棒線事業部棒線技術部棒線技術室 室長 青山敦司

◇ 緒言

特殊鋼線材、棒鋼は最終製品になるまでに2次、3次加工メーカーで伸線、熱処理、鍛造、切削といった各種の加工が施され、その製品は自動車、産業機械、建設機械、工作機械など各種産業分野の重要部品として使用される例が多い。また、近年では自動車の電動化や風力発電等の自然エネルギー活用などによるCO₂削減に寄与する鋼材としての注目が高まっている。このような背景から、特殊鋼圧延工程ではユーザーと一体となって、高強度鋼材、加工工程省略材等の高機能鋼材の開発、インライン熱処理技術、精密圧延技術や細径圧延技術、制御圧延技術等の生産性、コスト削減技術の開発、導入に取り組んできた。本稿では、①線材圧延法と熱処理（日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区）、②線材高機能仕上圧延機と調整冷却技術（同室蘭製鉄所）、③棒鋼圧延法と仕上3ロール圧延機（同九州製鉄所八幡地区）の例を取り上げ、基本的な特殊鋼棒鋼、線材の圧延について解説する。

◇ 基本的な線材圧延方法とインライン熱処理技術

(1) 基本的な線材圧延工程

線材および棒鋼圧延は、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）形状などの孔型を切削した溝型ロールで圧延する。同様に形鋼圧延も溝型ロールで圧延する共通点を持つことから、棒鋼、線材圧延と共に「条鋼」と呼ばれている。

線材製品の基本的な圧延ラインは、図1（マルチストランド線材工場の例）に示す通り、加熱工程、圧延工程、調整冷却工程で構成されている。

一般的に、まず初めに圧延前に素材となる鋼片（以下ビレットとする）を鋼片精整工程で検査手入れ（疵取り）を行う。ビレットには、ブルーム鋼片を分塊ラインでビレットに圧延したものと、連続鑄造機でビレットサイズに直接鑄造するものがあり、其々に適切な方法で検査手入が行われる。次に、加熱工程では、素材となるビレットを加熱炉で所定の温度まで加熱する。圧延工程での良好な変形特性を得る事や調整冷却工程での材質制御を目的に加熱温度が規定されており、品種に応じて1000～1200℃程度の温度に加熱する。線材ミルによっては、インダクションヒーターなどの加熱設備で補助的に加熱することで、生産性を向上させている事例もある。

次工程の圧延では、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に造り込む。前段、後段共に1列構成であるシン

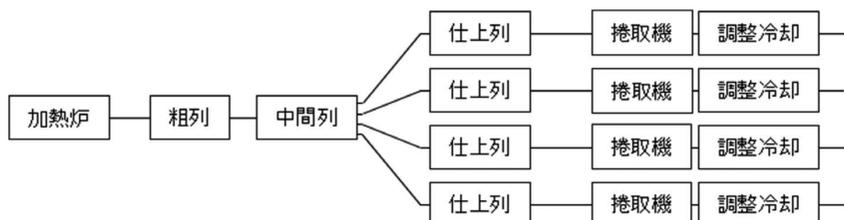


図 1 線材ミルレイアウト（マルチストランドミルの例）

グルストランドミルは小ロット多品種製造に適しており、前段の圧延機で複数ビレットを同時圧延し、後段に圧延機を複数列配置しているマルチストランドミルは生産性に優れ大ロット製造に適したレイアウトと言える。線材製品用途によっては±0.1mmの寸法精度が要求されるものもある。そのようなニーズに対応するため、多くの線材ミルでサイジングミルや3ロール圧延機の導入などが進んでいる。

(2) 高性能仕上圧延機

特殊鋼線材は自動車用部品等の重要保安部品に使用されるケースが多い。また、部品になるまでの工程が長い為、ユーザー側での加工・熱処理工程を省略できる商品や厳格な品質管理が求められる。

熱処理工程を省略する製品の製造には、低温圧延を用いた厳密な組織制御による線材の軟質化が必要である。これを実現するために、室蘭製鉄所線材工場の仕上圧延機には前段リダクションミル2パスと後段軽減面サイジングミル2パスをタンデムに配置した全4スタンドからなるRSM (Reduction Sizing Mill) を導入している。前段2パスは圧延温度750℃までの低温圧延が可能な高負荷型圧延機であり、ロール径は従来比20%増の246mmの大径ロールを採用している。一方、後段2パスが軽減面サイジングパスとなっており寸法許容差で±0.1mm以内の精密圧延が可能である。加えて鋼材圧延中でもロール隙調整が出来る遠隔オンロード圧下機能も備えており、作業者は圧延機の前後に配置された寸法測定機と合わせて迅速かつ容易に高精度の寸法造り込みが可能な構成と

なっている。

また、仕上圧延機の増速機には変速機構を設けた多段増速機を備えており、各スタンド間の速度比を自由に可変できる構造となっている。この速度比の可変機構により、単一の仕上圧延前母材径から複数サイズを造り分けることが出来るようになり、室蘭製鉄所では孔型フローを大幅に簡略化することが可能となった。サイズ替えや摩耗によるロール交換は予備スタンドとのクイックチェンジ方式であり、オフラインにて事前にスタンドを準備しておくことでサイズ替え時間を大幅に短縮することが可能となり、生産性、エネルギー効率の改善にも寄与している。

(3) 調整冷却工程

特殊鋼製品は最終製品となるまでに多くの熱処理、加工を経る為、線材製品は需要家から生産性向上、製造コスト、環境負荷低減といった観点より熱処理や加工工程省略化が求められる。調整冷却工程では、衝風冷却を始めとした様々な冷却方法により、各線材製品に求められる材質制御を行っている。日本製鉄では東日本製鉄所君津地区のDLP[®] (Direct in-Line Patenting) や同釜石地区のSCS[®] (Slow Cooling System)、室蘭製鉄所のEDC (Easy Drawing Conveyer) 等のインライン熱処理設備を活用して需要家の多様なニーズに対応している。

①DLP[®]の例 (日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区)

図2に示すDLP[®]設備は冷却媒体に溶融塩を用いてインラインでパテンティング処理を行うことを特徴とする熱処理設備である。高強度が求めら

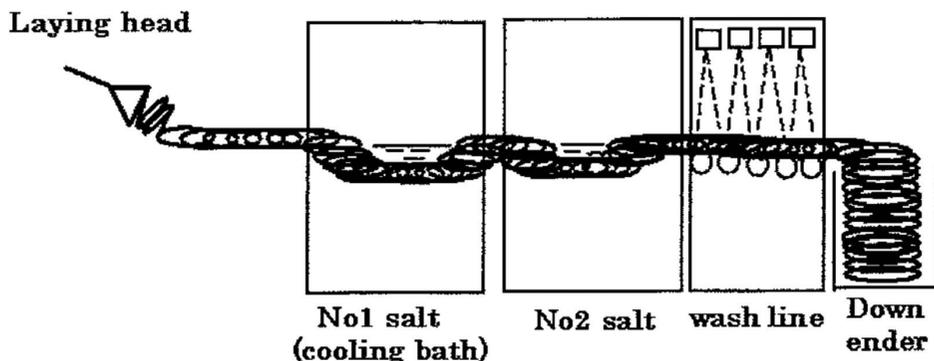


図 2 DLP[®]熱処理設備

れる高炭素鋼の強度と延性調整に効果的で、需要家での鉛パテント（以下LPとする）処理の工程省略に寄与している。尚、冷却媒体に鉛ではなく熔融塩を使うのは、従来の鉛に近い熱伝導性が確保できる上に、処理時に線材に付着した熔融塩を水で簡単に洗い流すことで回収・再利用が容易なことや、鉛に比べ環境負荷が少ないなどのメリットがあるからである。

DLP[®]設備は冷却槽および恒温槽の2つに分かれている。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により任意の冷却槽温度を選択することが出来る。一方、恒温槽は恒温変態を効率的に行うためにパーライトノーズ温度で熱処理を行っている。

DLP[®]線材は熱間圧延された線材を塩浴に直接投入することから、衝風冷却材と比較して高い冷却速度が得られる。この効果により、微細且つ層状組織間隔が狭く加工性に優れたパーライト組織が得られる特徴がある。以上より、DLP[®]処理はLP材と同等の高機能材に造り込むことが出来る上に、室温から再加熱するLP処理に対して、熱間圧延工程の顕熱を有効利用することでCO₂削減に寄与する省エネルギー工程であると言える。

更に、**図3**に示すようにDLP[®]線材はLP材と同等の強度で比較した場合、絞り、伸びといった延性が優れる機械的性質がある。これはLP処理では室温から再度オーステナイト領域まで再加熱されるため、オーステナイト結晶粒径が大きくなるのに対して、圧延直後に塩浴に投入されるDLP[®]線材

は微細な組織が維持されるためである。

このように、DLP[®]線材は、圧延工程で組織を造り込むことで、ユーザー側の再加熱処理と鉛パテント処理及び設備の省略を実現し、特殊鋼商品の高機能化、生産性向上、CO₂削減に寄与している。また、環境負荷物質である鉛のフリー化が可能であることから、今後も環境負荷低減商品として活用の幅の広がりが期待できる。

②リターデット、EDCの例（日本製鉄㈱室蘭製鉄所の例）

調整冷却技術はRSMによる制御圧延を利用した組織制御に加えて、更に熱間圧延後の冷却速度を厳密にコントロールすることで二次加工での熱処理工程を省略することを目的とした技術である。**表1**、**図4**に室蘭製鉄所における調整冷却設備を用いた熱処理省略型線材の代表例を示す。

1) 軟質線材

最終製品で高強度が必要となる部品であっても、熱間圧延材で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。軟質線材は、先に述べた高機能仕上圧延機による制御圧延によって組織制御された鋼材をリターデッドプロセスにて徐冷することで、鋼材を軟質化させ二次加工での焼鈍工程の省略を可能としている。

リターデッドプロセスは搬送コンベアにカバーを設置することで、熱間圧延後の鋼材顕熱を利用した高温雰囲気による徐冷が可能となるプロセスであり、省エネルギーで環境に優しい技術である。

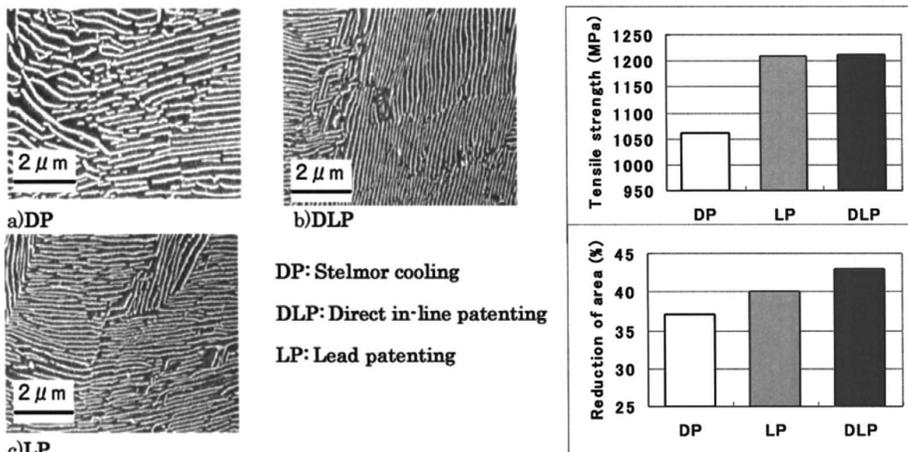


図 3 衝風冷却（DP）材とLP材、DLP[®]材の圧延組織と強度比較

表 1 調整冷却設備による工程省略線材の例

用途	狙い	調整冷却設備	冷却速度	冷却媒体
① 軟質線材	軟化焼鈍省略	リターデット	徐冷	高温雰囲気
② 非調質線材	焼入れ焼き戻し省略	ステルモア	急冷	衝風
		EDC	急冷	温水

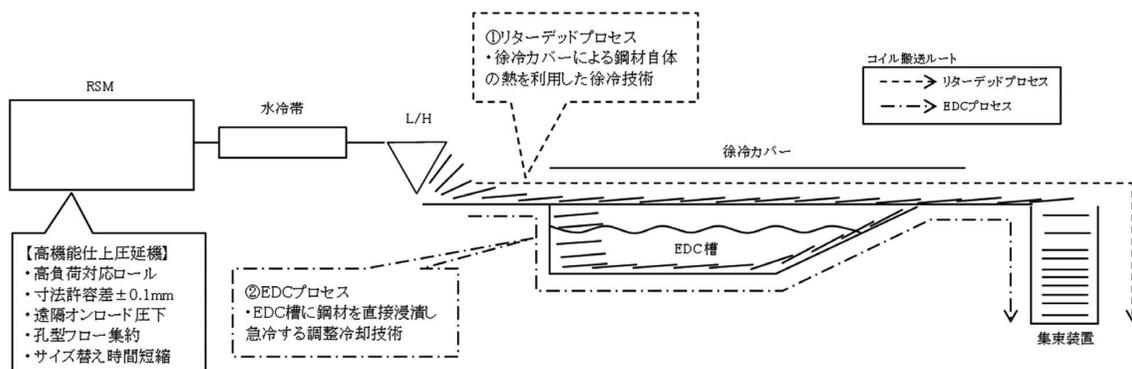


図 4 高機能仕上圧延機と調整冷却コンベアのレイアウト

2) 非調質線材

非調質線材は熱間圧延材の強度を適正なレベルに調整し、二次加工での伸線加工によって所定の強度レベルを満足することで、焼入れ焼き戻しの熱処理工程の省略を可能としている。ボルト形成後の熱処理による機械的性質の調整を行わないため、熱間圧延後の材質がそのまま最終製品に影響を及ぼす。そのため、熱間圧延後の素材には所定の強度レベルの確保と材質ばらつきを小さくすることが求められる。強度レベルの確保には特別な成分設計を行い、EDC (Easy Drawing Conveyor) プロセスによる急速冷却を施すことで得られる。また、EDCプロセスは熱間圧延後の鋼材を直接沸騰水中に浸漬させて急冷するため、ステルモアに比較し材質ばらつきが小さい特徴がある。

ボルト用非調質線材は素材強度が高いため冷間鍛造時の金型寿命の点でボルトの形状に制約があるものの、焼入れ焼き戻しの熱処理を省略することができ、大きな環境改善効果を発揮している。

◇ 棒鋼圧延法と仕上3ロール圧延機

(1) 基本的な棒鋼圧延

棒鋼圧延は線材圧延と同様に、加熱炉にて所定の温度に加熱された鋼片を粗圧延から中間圧延、仕上圧延機を経て、所定の断面形状に熱間圧延さ

れる。仕上圧延機を経た棒鋼は冷却床に送られ長尺のまま冷却され、その後所定の長さに切断されて検査される。一部はポーリング工程にてコイル状に巻き取られるものもある。検査を終えた棒鋼は束状、又はコイル状に結束され、成品ヤードに保管された後、需要家へ出荷される。

(2) 3ロール圧延機

ユーザーである加工メーカーの要望としては、素材原価低減・自社製造コスト削減・加工工程省略・短納期化といったものが挙げられ、年々その要求レベルは高くなっている。それらユーザーニーズを踏まえ、3ロール圧延機のメリットとしては、①高い寸法精度による品質バラつきの低減、②サイズスケジュールフリー圧延（異なる製品サイズを同じローラーの間を変えるだけで製造する圧延方法）による生産性向上、③生産性向上によるマルチサイクル圧延・小ロット品対応、が挙げられる。

代表的な棒鋼圧延ラインを図5に示す。加熱炉にて1000~1200℃程度に加熱した後、V-H 2ロール圧延機で粗、中間圧延を行い、仕上圧延に高剛性3ロール圧延機を用いることで前述のユーザーニーズを達成している。

①寸法精度向上

旧タイプと最新の3ロール圧延機を図6に示す。旧タイプでは一軸から動力を伝達しベベルギアに

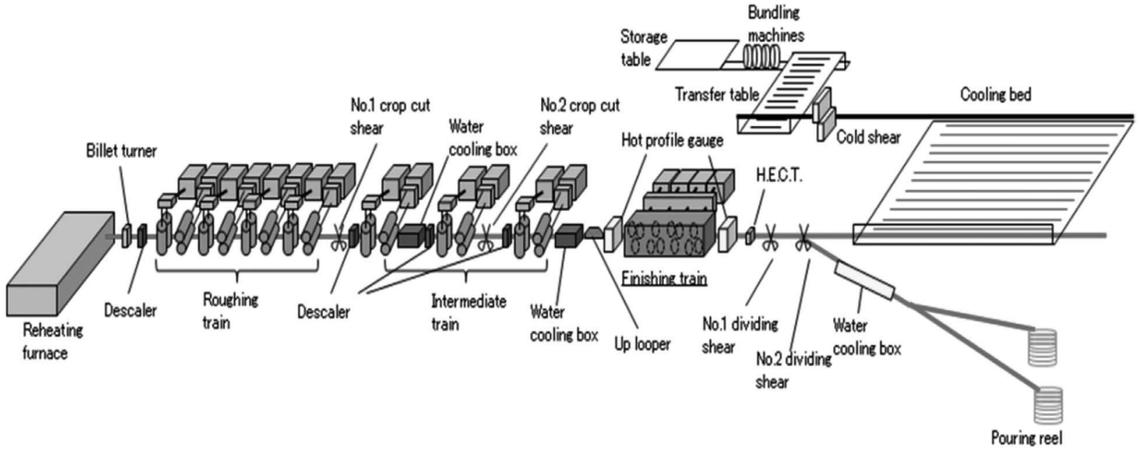


図 5 棒鋼圧延ライン概要

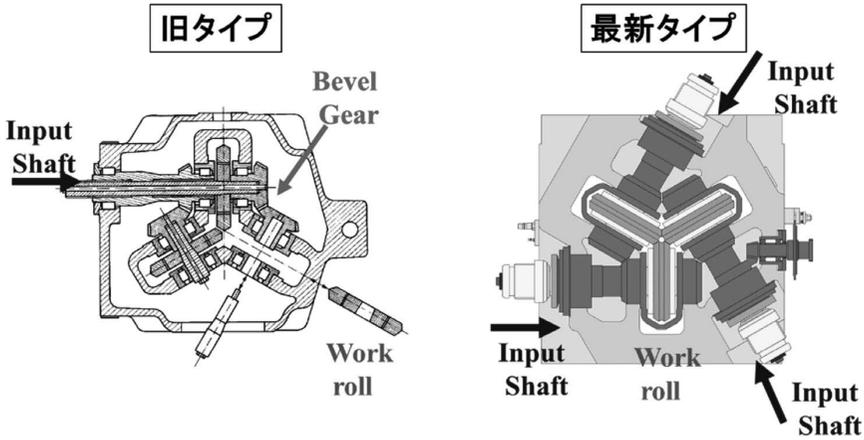


図 6 3ロール圧延機模式図

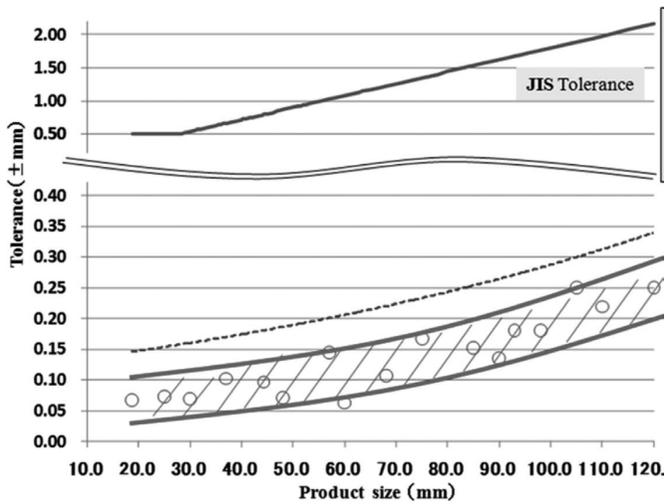


図 7 サイズフリー圧延を適用した際の製品寸法

より3ロールを駆動していた。しかし最新の3ロール圧延機では三軸から動力を伝達している。これにより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大幅に貢献した。図7にサイズフリー圧延を適用した際の製品寸法を示す。φ70.0mmより小さい製品サイズで±0.2mm以下、φ70mmより大きい製品サイズでは±0.3mm以下の高寸法精度製品を得ることができた。

②サイズフリー圧延による生産性向上

ミル剛性の向上により、3ロール圧延の適用サイズも拡大した。従来1サイズごとに保持していた太径仕上げ孔型が必要なくなり、またサイズフリー圧延によりフィーダー数が集約された結果、パススケジューリングはシンプルになり、必要な2ロール孔型数を4割減少させる効果を得た。太径サイズの型替え時間に関しては、例えば製品サイズφ85mmからφ83mmへの2ロール型替に要する時間が改造前は5分必要だったが、改造後は3ロールミルの遠隔ギャップ調整のみのため型替え時間は1分以内である。また月内のトータル型替時間は改造前比で31%の削減を達成した。

③生産性向上によるマルチサイクル圧延・小ロット品対応

マルチサイクル圧延を行なう場合、従来パスス

ケジュールでは多くの型替作業が必要であった。その為、生産量確保を優先した場合、1サイズ当たりのサイクルは基本的には1回/月、生産量の多いサイズについては2回/月とし、製造ロットを集約して長期に在庫を持つようにして対応していた。

更新後は型替に要する時間が減少し、従来からの生産性を維持したまま2回/月または3回/月のマルチサイクル圧延への対応が可能となった。また、小ロットサイズの生産も改造前と比較して応じやすくなり、ユーザーの要求する短納期化・小ロット生産の対応が可能となった。

むすび

本稿では、基本的な特殊鋼棒鋼、線材圧延について述べるとともに、様々なユーザーニーズに対応した設備改善事例について報告した。今後、製品に対する要求はより厳格化、多様化していくと考えられる上、ゼロカーボンをはじめとする世界的な環境対策のニーズにも取り組んで行かなくてはならない。今後も日本鉄鋼業が常に世界の1歩先を進むことができるよう技術開発を進めていく。

参考文献

- 1) 新日本製鐵(株)：新日鉄技報第386号(2007)
- 2) 新日鉄住金(株)：新日鉄住金技報401号(2015)

4. 鍛 造

《ハンマー》

日立金属(株) 安来工場 かん しょう いち
特殊鍛造工場 管 洋 一

◇ 鍛造の分類

鍛造は加工温度により分類され、被加工材を再結晶温度（約700℃）以上に加熱して行う鍛造を熱間鍛造、再結晶温度以下での鍛造を冷間鍛造と呼ぶが、冷間鍛造でも500℃付近での鍛造を温間鍛造と呼ぶ。また、加工温度の他に鍛造に使用する工具によっても分類され、単純形状の工具を用いて鍛造材料の拘束が小さい状態での鍛造を自由鍛造、最終製品形状に近い形の金型を用いた鍛造を型鍛造と呼んでいる。以下では、熱間自由鍛造について説明をする¹⁾。

◇ 熱間自由鍛造の目的と主な鍛造法

熱間鍛造の主な目的は鋼を打撃して材質を良くすると共に所望の形状にすることであり、溶解工程で製造された鑄造鋼塊の内部空隙の圧縮や金属組織改善により鑄造材の材質改善を行いながら成形を行うことである。自由鍛造は上下2つの金敷の間に被鍛造材をはさみ、打撃あるいは圧縮を加えて被鍛造材を変形させるが、鍛造法としては次のような鍛造法がある（図1）²⁾。

- (a) 鍛伸：一方向（一般的には上下方向）から圧縮し断面積を減少させ、長さを伸ばす鍛造
- (b) 据込鍛造：断面積を増加させて、長さを減

少させる鍛造

- (c) 中空鍛造：中空体の断面積を中空のまま減少させ、長さを増加させる鍛造
- (d) 穴ひろげ鍛造：中空部を拡大する鍛造

また、自由鍛造で製造された鍛造材は型鍛造用素材などにも用いられることも多く、材質、用途によっては自由鍛造の段階で要求される品質を概ね満足させておく必要があり、製品特性を造り込む上で重要な工程である。

◇ 熱間自由鍛造設備（エアハンマー）

鍛造用機械はその構造、原動力、用途によって分けられているが、最も古くから用いられてきた加工機械にハンマーがある。人類は物を加工するのに人力で扱えるハンマーから、加工能力を向上させるために家畜や水力などの動力を用いて人力では扱うことのできない重いハンマーを動かすようになり設備化した。この設備はハンマーを空気や蒸気、ボード等によって持ち上げた後、自由落下或いは初速を与えて落下させ、被加工物を鍛造するものである。以下では、ハンマーの中でも空気を動力源としたエアハンマーについて説明する¹⁾。

エアハンマーは空気を用いて上金型、ラム、ピストンロッド、ピストン等昇降可動部に運動エネ

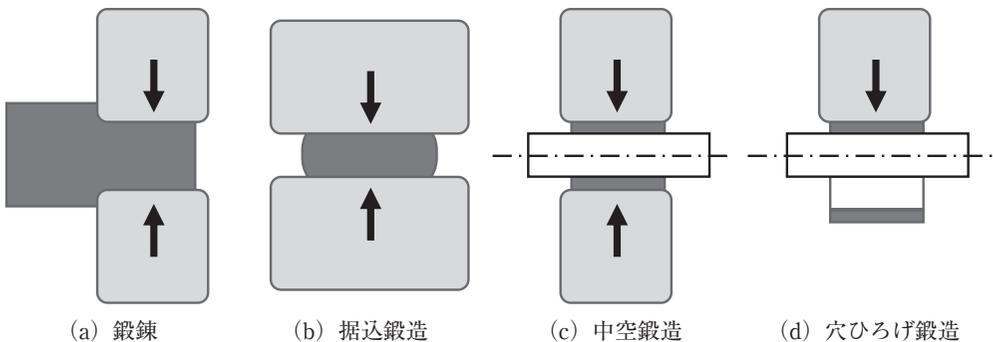


図 1

ルギーを与え、この運動エネルギーを被加工物の変形エネルギーとして用いる機械であり、プレス機械などに比し設備費が安価で、用途に融通性のある機械として広く用いられてきた(図2)。更にハンマーの速度は数m/sと変形速度が非常に速く、金敷と材料の接触時間が短いため、鍛造品に与えられた熱エネルギーが金型に逃げる熱損失が少なく、済み型寿命が良くなる利点もある。また、エアハンマーは弁の切り換えによりラムを上下させ、制御弁ハンドル、ペダルの操作により空気量を加減して連打、軽打、中打、強打と打撃力を増減することができる。機械操作もペダルによれば一人で作業することが可能である³⁾。アンビルブロックは打撃による振動が機体に及ばぬよう、機体とは独立の強固な基礎の上に取り付け、また重量も十分大きくしなければならない。また、ハンマーはその構成するフレームの形状から門型フレーム、C型フレームに大別される。C型は見通しがよく作業上便利であるが、当然振動が生じやすいため、比較的小型のハンマーに用いられることが多い。

◇ ハンマーの鍛造能力

ハンマーの容量の表し方は製造者によって異なるが、全落下重量で表す場合が多い。ただし、各種型式と構造により全落下重量が同じであっても利用できる材料の塑性変形に用いられるエネルギーには差が生じるため注意が必要である。例えばハンマーで得られるエネルギーEは次式のようにあらわされる¹⁾。

$$E = 1/2 \times W \times V^2$$

E：打撃前のエネルギー (N・m)、W：落下部

質量 (N・s²/m)、V：打撃速度 (m/s)

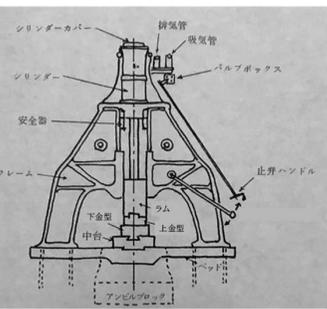
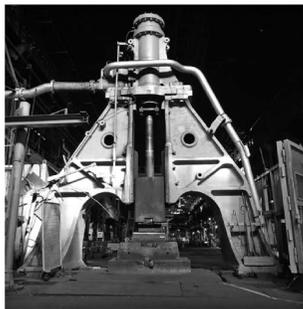
一方で、ハンマー鍛造時に上式により得られた運動エネルギーはラムの反発に費やされる仕事量、金敷に吸収される仕事量やその他にも落下機構の摩擦損失、基礎、アンビル、その他のハンマー部品に対してのエネルギー損失を避けることができないため、運動エネルギーからこれら損失を差し引いたエネルギーが材料変形に使用されるエネルギーとなる。従って、ハンマー鍛造効率を上げるためにも強固なフレーム、アンビル、基礎の重量と設計は非常に重要である。

◇ 課題

現在ではハンマーを用いた熱間自由鍛造は騒音や振動に対する操業環境や加工精度他の品質面など、様々な点からプレス機に置き換わってきたが、用途融通性から少量生産のアイテムなどへは未だに適用されている。また、ハンマー鍛造作業は作業者の習熟に依存した加工法であるという側面も持ち合わせており、作業者の育成もしくは労働環境の改善をクリアするため、例えば鍛造作業に材料を把持する役目をもったマニプレータが適用されるようになったようにさらなる機械化、自動化による省力、省人化、さらには耐衝撃、耐振動といった大きな課題はあるがロボットを積極活用した抜本的な取り組みが重要となってきた。

参考文献

- 1) 吾妻ら、塑性加工金属工学講座加工編Ⅱ、(1962)、P29-32、263-264
- 2) 長田ら、基礎からわかる塑性加工、(2013)、P89-91
- 3) 井戸ら、鍛造作業、(1968)、P34-35



a. エアハンマー (門型フレーム) 外観 (左) と概要図 (右)
(日立金属株)

b. エアハンマー (C型フレーム) 外観
(日立金属株)

図 2

《プレス》

◇ 鍛造加工の概要

鍛造加工とは、ハンマーやプレス機を用いて鋼塊やビレット素材を打撃・加圧して、金型と金型との間で素材を圧縮することにより成形する加工法である。鍛造加工は加工温度により、熱間鍛造・温間鍛造・冷間鍛造に分類され、金型への型彫りの有無に従い、自由鍛造と型鍛造他に分類される。主に特殊鋼の製造で用いられる熱間鍛造は、再結晶温度以上の温度領域で加工し、1) 塑性変形に要する荷重の低下、2) 塑性変形能(伸び)向上、3) 再結晶による鑄造組織の改質・製品均質化・機械的特性改善、といった特徴がある。本稿では熱間自由鍛造について説明をする¹⁾。

◇ 熱間自由鍛造の目的と特徴

自由鍛造は、平面或いは単純な曲面を持つ上下二つの金型の上に、加熱された材料を移動させながら挟んで加圧し、種々の寸法や形状の製品を自由に成形する方法をいう。加熱された状態で加圧することで、空孔や鑄巣などの内部欠陥が低減され、結晶粒が細くなり、組織が緻密で均質化される。さらに、鍛造により材料内部に製品の形状に沿った結晶組織である鍛流線(メタルフローライン)が形成され、引張り強度など鍛伸方向の機械的性質を高めることも可能である。一般的には、

大・中形品の多種少量生産に向いている。また自由鍛造は、鋼塊や予備成形、型鍛造前の素材荒地を造る場合に用いられる場合が多い。治工具を補助的に使用することで、素材の切込みや分割も行え、多様な製品が成形できることも特徴である。

◇ 熱間自由鍛造の設備概要(プレス)

自由鍛造は一般的に熱間加工であり、使用する設備は、鍛造機の外に素材の加熱設備・搬送設備・切断設備等の付帯設備が必要である。また自由鍛造に使用される加工機には、プレス、ハンマー及び回転鍛造機に大別される。一般的にプレスとハンマーが多く使用されており、補助設備としてマニピュレータ、金敷交換装置等が設置されている。ここでは鍛造加工をするプレスと搬送設備であるマニピュレータについて記す²⁾。

一般的に自由鍛造プレスは、衝撃・偏心荷重・高熱・粉塵等、極めて過酷な条件下で使用されるため、その構造・剛性・安全性等の面で十分な配慮が必要とされる。鍛造プレスはコラムの数から2柱式と4柱式に分類され、構造的に分類すると(1) プッシュダウン型、(2) プルダウン型、(3) ムービングシリンダ型となり(図1(a)(b)(c))、その特徴はそれぞれ次の通りである²⁾。

(1) プッシュダウン型(図1(a))

加圧シリンダーが鍛造作業スペースより上に位

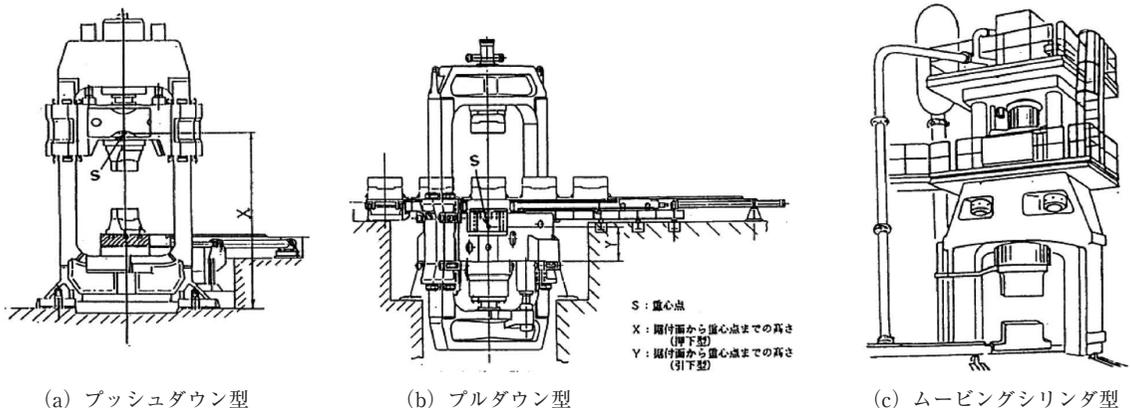


図 1

置するためプレス全体の重心が高く背の高いプレスとなる。従って基礎は浅くてすむが建屋及びクレーンハイト等は高くなる。製作上の都合から一般的に5,000tonを超える大型プレスは殆どこのタイプとなっている。

(2) プルダウン型 (図1 (b))

加圧シリンダーが鍛造作業スペースより下の地下ピット内に位置するためプレス全体の重心が低く、同時にプレスの地上高さも低いものとなり、安定性もあり建屋及びクレーンハイトも低くてすむ。また一般的に高速鍛造及び偏心荷重時のプレスの振動が少なく、5,000ton以下のプレスにはこのタイプが多いとされる。

(3) ムービングシリンダ型 (図1 (c))

プッシュダウン型と同様加圧シリンダーは鍛造作業スペースより上に位置するが、この加圧シリンダーは主ラムが固定されており、シリンダー本体が上下に作動する構造となっている。従って可動部重量が軽くなり高速作動の制御が容易で基礎地盤へ伝達される振動も少なくなる。シリンダー類のパッキン交換等の保全業務は高所作業となるため安全対策が必要である。

これらの鍛造プレスは、いずれもコラム間寸法(コラムとコラムの間の距離)を大きくとり、オペレータの作業視野を確保し作業性を高めている。また一般的に鋼塊の据込み作業を行うために、デライト(プレスのスライド部分の上死点(一番上に上がった状態)において、スライド下面からベッド上面までの距離)とストローク(プレスのスライド部分の上死点から下死点(一番下に下がった状態)までの距離)を大きくとった設計となっている。鍛造スペース内には移動テーブルとこれに直交するボトムダイ移動装置や、上部には上金敷の回転及び着脱装置が装備され、作業効率の向上に配慮されている。加圧速度は金敷と赤熱

鋼塊の接触時間を短くするために速い程良い。また1分間の作動回数(Stroke Per Minute)も多い程能率が良くプレスの重要な機能であるが、作動切換速度を速くすると振動が大きくなるため、振動対策も考慮した仕様設計が必要である。

鍛造マニピュレータは赤熱鋼塊等を把持し、昇降・回転・走行等の動作を行う設備であり、その性能は鍛造プレスの生産性に大きな影響を及ぼす。また鍛造プレスと同様大きな衝撃荷重を常に受ける事から可動部にはバネや油圧アキュムレータ等による干渉装置を設け、鋼塊が円滑にかつ迅速にハンドリングされるよう種々工夫されている。マニピュレータは軌条式と自由走行式の2通りあり、軌条式は精度が良いが鍛造作業にしか使用できず、加熱炉への素材の出し入れには別の方法(クレーンまたはチャージングマニピュレータ)を要する。自由走行式は作業の自由度は高いが精度が劣る。それぞれ得失があり、その選択は鍛造品の大きさ、材質、精度、人員、スペース等の因子によって決める必要がある。

◇ 自由鍛造プレス他の技術動向

大型化する汎用鋼素材や超耐熱合金素材をより効率的に鍛造するために、大きな加圧力と一定の鍛造速度を兼ね備えたハイスピードタイプの自由鍛造プレスが趣向されており、同時に環境面(騒音振動)への対策が重要となってきている。自動データ収集と可視化による設備状態の確認や鍛造作業におけるプログラム自動鍛造・2D/3Dレーザーによる鍛造品計測及びCAE解析の導入等が進み、ものづくりの高精度化が進んでいる。

参考文献

- 1) 鍛造加工技術、技能マニュアル(1999) P1-3 中小企業事業団
- 2) 熱間自由鍛造、鍛造荒地加工及びローリング鍛造マニュアル(2000) P25-28、P123-125 中小企業総合事業団

5. 二次加工

—線材二次加工における特殊鋼の製造方法—

㈱神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 技術開発センター
線材条鋼開発部 線材加工技術開発室 ファムバンドック

まえがき

二次加工工程（図1）はエンドユーザでの部品加工に必要な特性を線材に付与するため、熱処理・脱スケール・皮膜処理・伸線加工を施すプロセスであり、冷間圧造用、軸受用、ばね用など品種を問わず線材の品質を決定づける重要な工程である。本報は各工程の製造方法概要について紹介する。

◇ 熱処理

被加工材に良好な引抜き加工性を付与したり、引抜き後の製品に所定の特性を付与するため、引抜き前後あるいは引抜き加工工程の途中で、必要に応じて種々の熱処理が実施される。代表的な熱処理として焼なまし、パテンティング、オイルテンパーなどがある。

焼なましは引抜き加工、引抜き後の製品加工などを容易にするための軟化処理であり、処理条件として材料を適当な温度に加熱・保持した後、徐冷する。焼なましは主に三つに分類され、目的に応じて、使い分けされる。

- (1) 完全焼なまし
- (2) 低温焼なまし
- (3) 球状化焼なまし

このうち、球状化焼なましは、鋼材中の炭化物を球状化し、最も軟らかく、冷間加工性に優れた状態にする処理で、特に冷間圧造などの強加工を

容易にするために行われる。焼なましを施す熱処理設備として、ローラーハースのバッチ炉や連続炉が主流である。図2にバッチ式ローラーハース設備の外観写真を示す。一方で、焼なましは鋼材を長時間にわたり、高温に保持する必要があるため、他工程に比べてエネルギーコストが高い。この課題に対して近年、鋼材成分・熱処理パターンの最適化や熱間圧延後の直接処理より、熱処理時間短縮や熱処理工程そのものを省略する技術の開発が進められている^{1)、2)}。

高炭素鋼材は良好な伸線性と高い強度を得るため、引抜き前にパテンティング処理が行われる。この熱処理は線材の組織を微細かつ均一なパーライト組織にするため、線材を引出した状態で加熱炉を通しAc3点以上の温度で連続加熱後にパーライト組織が生成するAc1点以下の温度に保持した溶融鉛に通し急冷して、適当な時間保持し、その後常温まで冷却する。一方で、鉛パテンティングは鉛ヒュームの発生や酸化鉛の処理など、環境負荷が高いことから近年、鉛パテンティング処理が少なくなり、冷却媒体としてジルコンサンド気体流動層³⁾ 図3やソルトパテンティングなどを利用した処理が採用されている。

オイルテンパーは適当な強度を持った焼戻マルテンサイト組織の鋼線を得るため、炭素鋼線材や低合金鋼線材を所定の寸法に引抜いた後、実施される焼入・焼戻処理である。

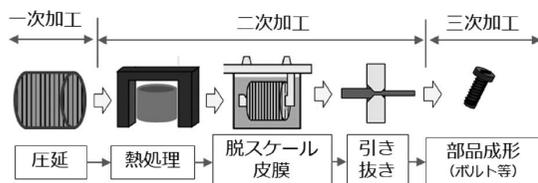


図 1 線材二次加工工程の一例



図 2 バッチ式ローラーハース設備の外観

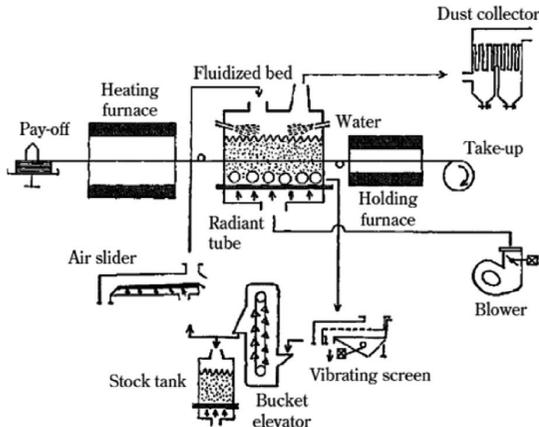


図 3 流動層パテンティングの概略図

◇ 脱スケール

線材の脱スケールは、最終加工品の表面品質に影響を与えるため、線材二次加工工程の中で最も重要な工程とされる。脱スケール法は化学的と機械的な方法に大別され、図4のように示される。

化学的な方法は、主に硫酸、塩酸が用いられ、処理温度、濃度によって脱スケール性が異なるため、所定の表面品質が得られるように鋼種や線径に応じて、酸の種類、処理温度、時間の適正化が必要である。酸洗装置には線材コイルのままの荷姿で処理するバッチ式と線材を引出した状態で処理するインライン式があるが、バッチ式酸洗は生産性が良いため主流となっている。図5にバッチ式の酸洗設備の一例を示す。コイルのままの荷姿で処理されるバッチ式酸洗はコイルの線間に酸液が浸透しにくく、脱スケールむらが発生しやすい課題がある。この課題を改善するため、振動酸洗方法が開発されていた。図6に開発された振動装置の概要を示す。この装置は、振動モータを積載したフックをばねで受ける機構でコイルを上下に振動させる方式であった。コイルを上下に振動させることで酸洗時間短縮効果があったが、コイルとCフックの接触部にスケール残りが発生する問題があった。そこで、コイルとフックの接触部をずらしながら回転させるコイル回転振動方法が開発された。この方法はモノレールタイプ（各ホイスからフックを吊り下げる方式（図7））に適用したところ、酸洗時間を従来の1/3に短縮させる効果が確認された^{4), 5)}。

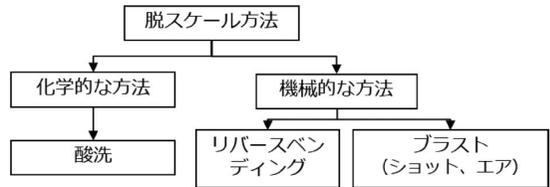


図 4 脱スケール法の種類

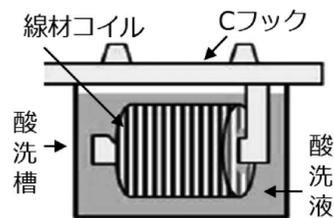


図 5 バッチ式酸洗装置の一例

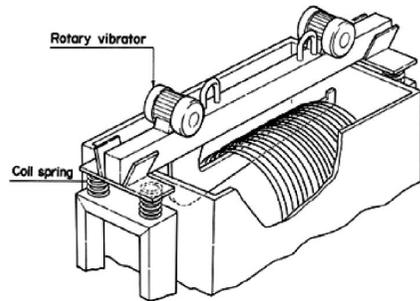


図 6 振動酸洗装置



図 7 モノレールタイプ酸洗設備

一方で、酸使用に伴うヒュームや廃酸スラッジが発生するため、環境負荷が大きい問題がある。酸を使用せず酸洗に比べ環境負荷が小さい脱スケール方法として、機械的な脱スケール方法がある。この方法はスケールが比較的剥離しやすい炭素鋼線材を中心に適用されている。本法は対象となる素材、製品品質等によって、さまざまな方法が開発され、現在では、リバースベンディング法、ブラスト法（ショット、エア）が主に用いられる。表1に各方法の原理を示す。ベンディング法は線材に曲げやねじりを付与し地鉄とスケールの延性差でスケールを剥離させる方法である。この方法は構造が簡単で設備も安価であり、スケールの靱性が低い熱圧延材に対して主に用いられる。しかし、太い線径や靱性が高い焼なましや合金鋼線材には適用できない問題がある。ショットブラスト法は高速投射されたスチームグリットの衝突でスケールを除去する方法である。ショットブラスト法は脱スケール性効果が大きく、ベンディング法では、困難とされる靱性が高い焼なましや合金鋼線材には適用できる。しかし、表面粗さが比較的が大きくなるため、表面粗さが厳しい製品への適用が難しいとされている。エアブラスト法は砥粒材を圧縮空気によりノズルで加速してスケールを削り取るため、殆どの鋼の脱スケール

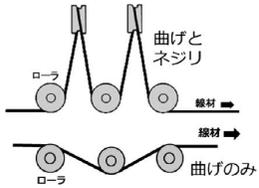
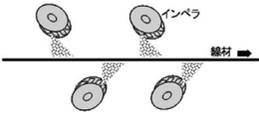
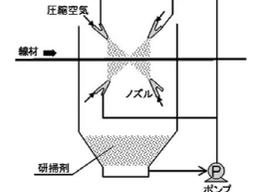
に適用できる。しかし、ベンディング法とショットブラスト法よりも設備費が高額である。

◇ 皮膜

脱スケールされた線材に塗布された皮膜は後工程の引抜き加工や冷間圧造加工における加工性の確保と鋼線の運送、保管中に鋼線を発錆させない防錆性の確保を目的に施される。皮膜には地鉄との化学反応により線材表面に皮膜を生成させる化学型皮膜と線材表面に付着させる物理型皮膜がある（図8）。

化学型皮膜の代表的な皮膜としてりん酸塩皮膜がある。りん酸塩皮膜は線材表面に強固な皮膜を形成するため、加工性と防錆性はともに優れており、線材二次加工において、永年にわたり多用されてきた。りん酸塩皮膜は種々のタイプがあり、具体的にはりん酸亜鉛皮膜、りん酸亜鉛カルシウム皮膜がある。この2種類皮膜の特徴、皮膜組成の一例を表2に示す。りん酸亜鉛皮膜は皮膜結晶が大きく、線材表面に厚く付着されるため、防錆性が優れる。一方で、りん酸亜鉛カルシウムは結晶が細かく、耐熱が高い特徴を持っている。鋼線材表面品質要求性能に応じて使い分ける必要がある。一方、りん酸塩皮膜に含まれるりんは熱処理工程

表 1 機械的な脱スケール法の種類

種類	原理
ベンディング	線材に曲げやねじりを与え、地鉄とスケールの延性差でスケール剥離 
ショットブラスト	高速投射されたスチームグリットの衝撃でスケール割れ 
エアブラスト	研磨材（水の有無）を圧縮空気によりノズルで加速してスケール除去 

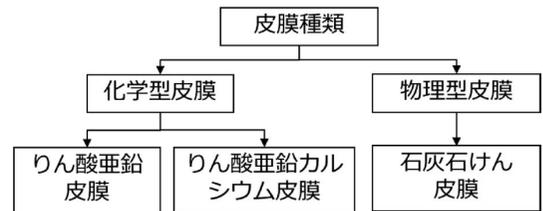
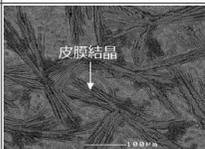
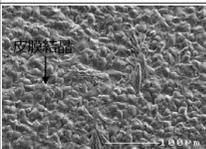


図 8 皮膜の種類

表 2 りん酸塩皮膜の種類と特徴

	りん酸亜鉛	りん酸亜鉛カルシウム
SEM写真		
皮膜組成	$Zn_3(PO_4)_2$ $Zn_2Fe(PO_4)_2$	$Zn_2Ca(PO_4)_2$ $Zn_2Fe(PO_4)_2$
皮膜付着量	多	少
結晶サイズ	粗	細
耐熱性	低	高

において鋼中に侵入する浸りん現象の発生による環境負荷増加や高強度ボルトへの悪影響などの課題がある。

物理型皮膜の代表的な皮膜として石灰石けん皮膜がある。石灰石けん皮膜は安価で処理しやすく、主に軟鋼線材に広く用いられている。しかし、石灰石けん皮膜は物理塗布のため、皮膜の付着が弱く、剥離しやすいため、りん酸亜鉛皮膜より加工性、防錆性が共に劣り、高速伸線、強冷鍛加工、長期保管など条件が厳しい場合への適用が困難である。近年、りん酸塩皮膜と石灰石けん皮膜が持つ課題を解決するため、物理的塗布型の非りん皮膜の開発が進められており、優れた加工性、防錆性を有することを報告されている⁶⁾。

◇ 引抜き

脱スケール・皮膜処理された後の線材には寸法調整や強度の向上などを目的に引抜き加工が施される。引抜き加工には一般的に孔ダイスが用いられる。ダイスは引抜き加工で最も重要な工具であり、引抜き加工に適用したダイスの材質、形状の選定が必要である。線材を連続的に引抜き加工するとき、ダイスは高い圧力と摩擦を受けるため、ダイスに用いられる材質は硬度の高い、耐摩耗性に優れたものを選定する必要がある。現在、ダイスに用いられる材料は、超硬合金を中心にダイヤモンドやコーティングを施された超硬合金、セラミックスがある。ダイスの形状は伸線速度、ダイス寿命に大きな影響を及ぼすため、引抜き条件に適した形状を選定する必要がある。また、ダイスと線材の金属接触による焼付き防止や引抜き速度を高めることによる生産性向上を目的に、引抜き潤滑剤が使用されている。潤滑剤は乾式、湿式、油性があり、引抜き条件に応じて使い分けられている。一方、引抜き高速化に伴い、線材の加工発熱および線材—ダイス間の摩擦熱が増加するため、ダイスの熱軟化および潤滑剤の潤滑効果の低下に

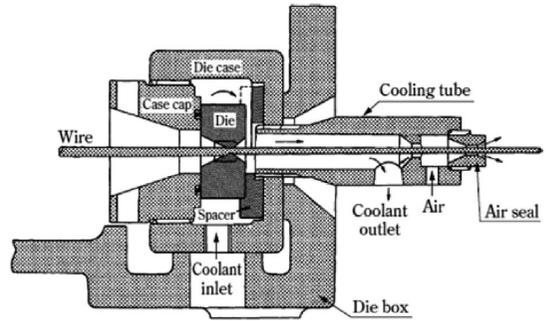


図 9 冷却引抜き装置の概念図

よりダイス寿命が短くなる。さらに、引抜き中、線材の温度上昇による線材の時効脆化が促進される。これらの問題を改善するため、ダイスの冷却や引抜き後の線材を直接冷却する装置が開発された⁷⁾(図9)。

線材・棒材をダイスに通して引抜き、断面を縮小する機械は引抜き機という。引抜き力をブロックより与え、線材コイルを生産する機械を伸線機と呼ばれ、主に直線状に引抜き、バー材を生産する機械を抽伸機と呼ばれる。

むすび

以上、線材二次加工における特殊鋼の製造方法について紹介した。今後、線材・製品の品質や生産性向上・コストダウンの要求がますます加速と予想される。更に環境問題を配慮した新たな製造方法の技術開発が一層求められると考えている。

参考文献

- 1) 百崎寛ら：神戸製鋼技報、50-1 (2000)、45-48
- 2) 土田喜一郎ら：新日鉄技報、386 (2007)、28-31
- 3) 高橋栄治：鉄鋼界、Vol. 25、No. 12 (1975)、pp. 42-48
- 4) 田中勝正ほか：最近の振動酸洗技術、(1992)、pp. 1-4
- 5) 山根茂洋：神戸製鋼技報、61-1 (2001)、93-97
- 6) 上田孝行ほか：日本パーカライジング技報、No. 16 (2004)、pp. 9-19
- 7) 川上平次郎：鋼線の伸線加工速度の向上に関する研究、(1988)、p. 96

6. 熱処理

大同特殊鋼(株) 機械事業部 かみ や ゆう き
 設計部 熱処理設備設計室 **神 谷 祐 樹**

まえがき

鉄鋼材料の代表的な特徴のひとつが、温度の上げ方、下げ方あるいは保ち方により結晶構造や組織が変わる『変態』である。この変態を意図的に起こし材料の調質を図る『熱処理』は、特殊鋼の製造工程において加工性向上、歪みの除去などの重要な意味を持つ。また出荷された特殊鋼には最終製品と至るまでの間に、複数回にわたって熱処理が施されることもあり、特殊鋼と熱処理は切っても切れない関係であると言える。

本稿では特殊鋼の熱処理、及び熱処理に使用される設備の概要を紹介する。

◇ 熱処理の種類と目的

図1に示す特殊鋼製品の製造工程概要のように、一口に熱処理といっても、その目的によってさまざまな種類に分けられる。その種類は多岐にわたるが、いずれの熱処理にも共通する点は『特定の環境下で材料を加熱・均熱した後、冷却すること』である。

ここで言う『特定の環境』とは、材料を取りま

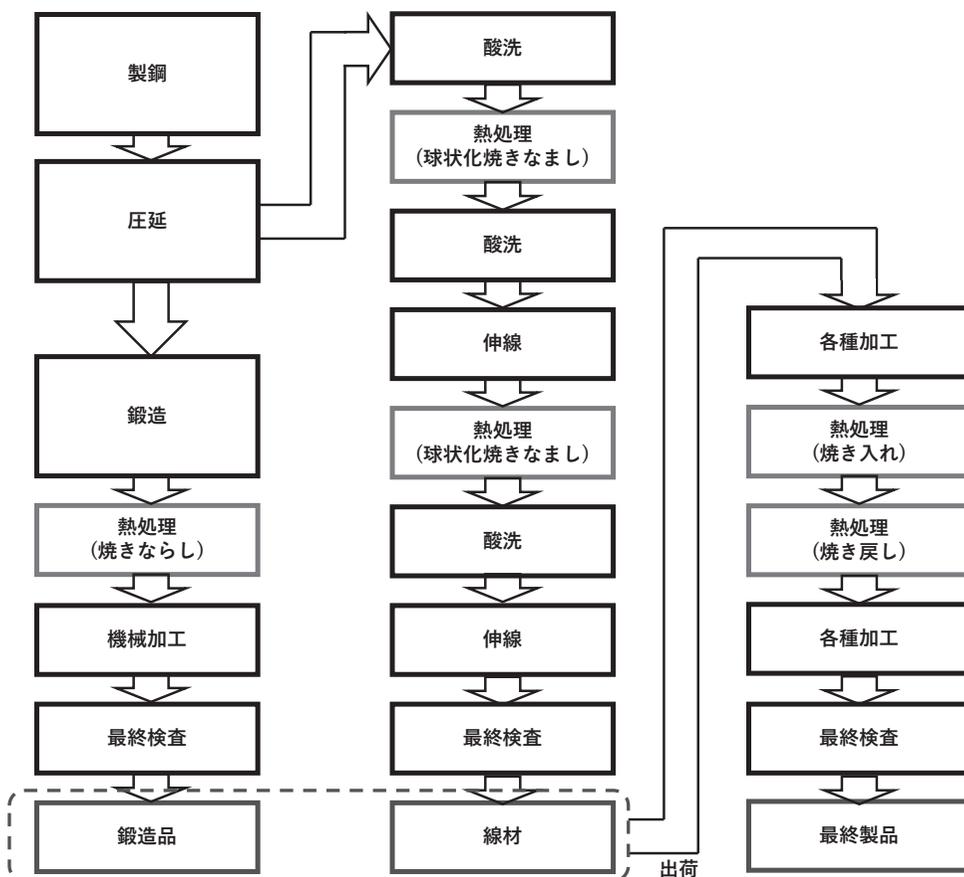


図 1 特殊鋼製品 製造工程概要

き接触する気体の成分や圧力のことを指す。一般に材料は加熱され高温になると化学反応が起こりやすくなる。そのため、ただ単に空気中で材料を加熱すると空気中の O_2 と鋼中のFeとの酸化反応が起きてしまう。またFeの酸化以外にも、鋼中のCが酸化されて材料から流出する脱炭という現象も熱処理品質上無視することができない。従い熱処理を行う際は、材料を取りまく環境から O_2 あるいは分子構造上 O_2 を有する水蒸気 (H_2O)、 CO_2 を排除する必要がある。 O_2 成分を排除しながら熱処理を行う手法は大きく2通りに分けられ、不活性ガスや還元性ガスなどで満たした容器内で材料を処理する方法と、減圧した空気、すなわち真空の容器内で処理する方法が存在する。前者を雰囲気熱処理、後者を真空熱処理と言い、これらの手法の中から熱処理の目的や鋼種に適したものをを用いて『特定の環境』を作りだし、その環境下において材料の加熱・均熱、及び冷却を行う。

また同様にどの温度まで加熱・均熱して、どのような速度で冷却するのも熱処理の目的や鋼種により異なる。

図2に熱処理工程における熱処理時間-材料温度のイメージ図(熱処理パターン)を示す。横軸を時間、縦軸を材料温度とする。熱処理温度や冷却速度などは、後述のように熱処理の目的や鋼種に応じて決定される。また加熱・均熱に要する時間は熱処理設備の加熱・均熱能力や材料の重量・形状などから決定される。あくまで一部であるが、

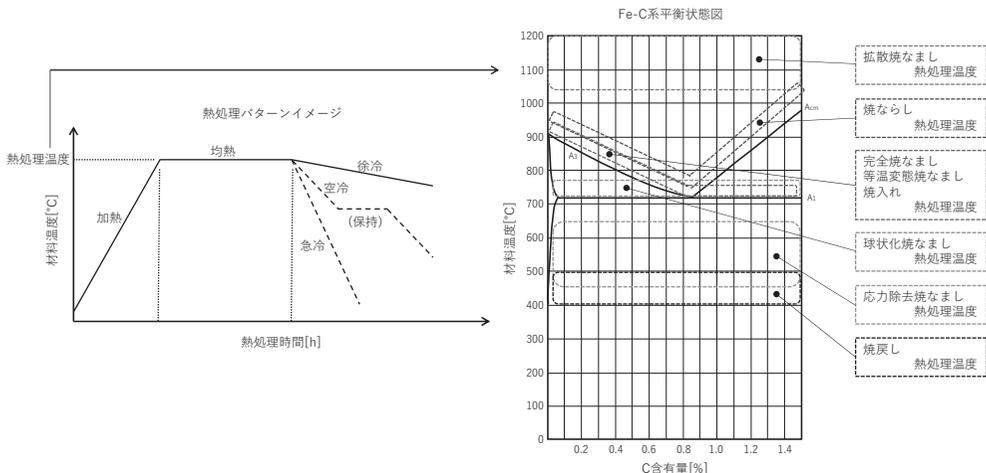


図 2 熱処理パターンイメージ及びFe-C系平衡状態図

熱処理の目的ごとの種別を以下に示す。

(1) 焼なまし(焼鈍)

焼なましはその目的に応じて拡散、完全、球状化、等温変態、応力除去焼なましの5種に分かれる。

拡散焼なましの目的は鑄造工程で生じた材料中の成分や不純物の偏析を拡散して均質にすることであり、主に大型の鉄塊や鋼片の段階で行われる。

完全焼なましの目的は冷間加工などで生じた粗大な結晶粒を標準化し、残留応力(歪み)を完全に除去、また材料を軟化させることである。

球状化焼なましは加工性を良くするために鋼中の炭化物を球状にして軟らかくすることを目的とする。主に塑性・切削加工前の線材や棒鋼に対して施される。

等温変態焼なましの目的は完全焼なましと同じく、残留応力の除去や材料の軟化である。熱処理にかかる時間を短縮するために、他の焼なましより冷却速度が速く、代わりに冷却の途中に材料温度を一定に保つ『保持』の時間を要することを特徴とする。

応力除去焼なましの目的は冷間加工などで生じた残留応力(歪み)の除去、及びそれによる材料の軟化である。

それぞれにおける熱処理温度を図2のFe-C系状態平衡図に示す。横軸を鋼中の炭素濃度、縦軸を鋼の温度とし、 A_1 、 A_3 、 A_{cm} 線は鋼が変態する境界温度を表す。また赤、青、緑、黄枠部はそれぞれ

れ、拡散、完全及び等温変態、球状化、応力除去焼なましにおける熱処理温度を表し、これらの温度域まで材料を加熱し、均熱する必要がある。等温変態焼なましを除く焼なましの冷却速度は、ゆっくり冷やす『徐冷』で、等温変態焼なましについては、徐冷よりも速い『空冷』だが、保持の時間が必要となる。

(2) 焼ならし (焼準)

焼ならしの目的は加工などの影響で材料に生じたひずみや粗大、不均一になった組織を整え、強靱性などの材料の機械的性質を向上することで、鋳造、鍛造、圧延加工などの後に施される。熱処理温度は図2の紫枠部、冷却速度は空冷である。

(3) 焼入れ

焼入れの目的は材料を硬化、強度向上することであり、材料が製品となる最終段階近くの工程で施される。熱処理温度は図2の青枠部で、冷却速度は急速に冷却する『急冷』である。

(4) 焼戻し

焼戻しの目的は焼入れによって脆くなった組織を粘り強くすることである。焼入れによって材料は硬くなるが、同時に脆く、割れやすくなってしまいうため、そのままでは使用することができない。従い硬くてかつ丈夫な製品とするためには、焼入れと焼戻しをセットで行う必要がある。熱処理温度は図2の黒枠部、冷却速度は空冷である。

◇ 熱処理の設備

図3～6に熱処理設備の外観を、図7に概要図を示す。熱処理設備は単一品種大量生産に向けた連続式と多品種小ロット生産に向けたバッチ式に大別される。連続式は熱処理スペースが複数のエリアに分かれていることを特徴とする。材料がそれらのエリアを順次通過していくことで、図2に示す熱処理パターン的一部分ずつが順次施されていく。材料が最初のエリアから次のエリアに送り出される度に、次の材料を設備に装入することが可能であり、大量生産に向いていると言える。

対してバッチ式の特徴は単一のエリアにて加熱から冷却あるいは均熱までの、熱処理パターンの大部分を行うことである。処理を行っている間、次処理材を設備内に装入することが出来ないため大量生産には適さないが、材料を装入するたび設

定温度や熱処理環境を変えることが出来るため多品種生産に向いている。

一般に熱処理設備に求められる機能・性能とし



図 3 熱処理設備外観 1

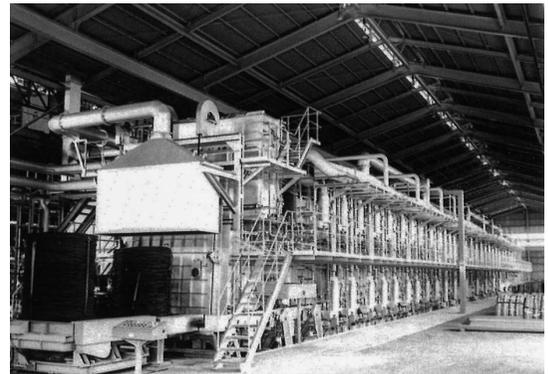


図 4 熱処理設備外観 2

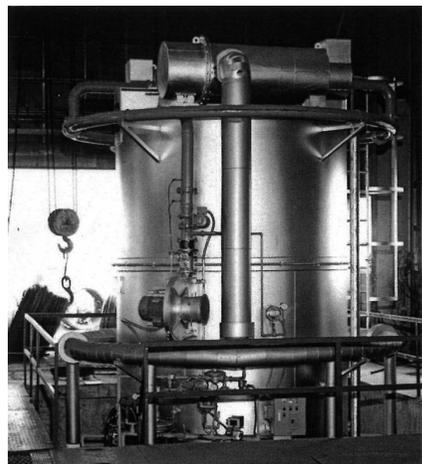


図 5 熱処理設備外観 3

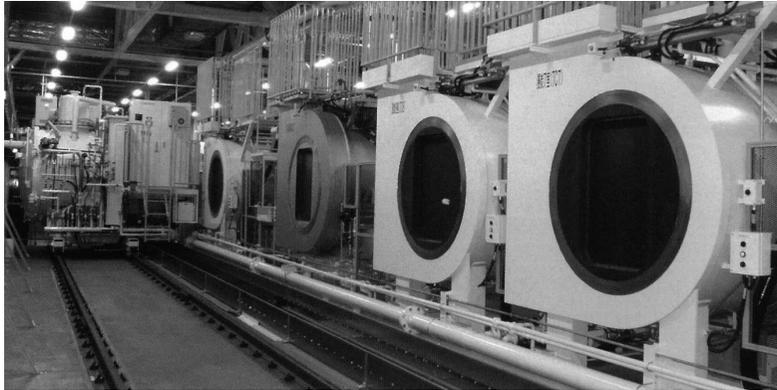


図 6 熱処理設備外観4

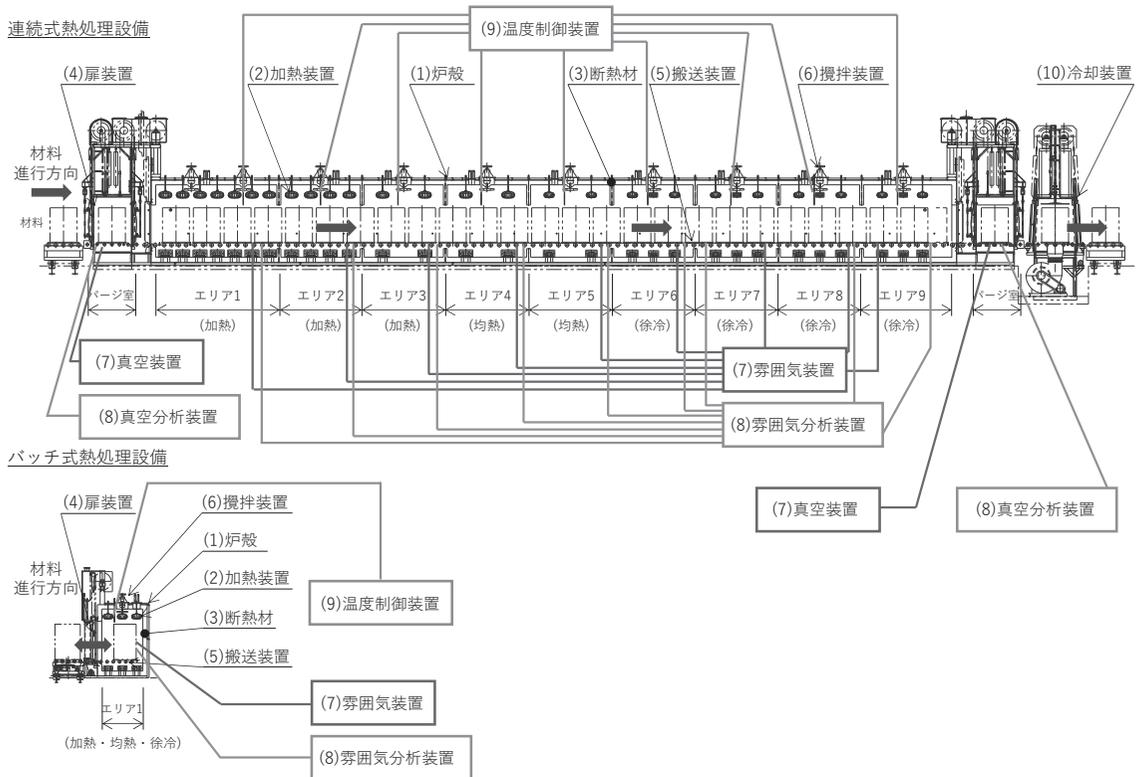


図 7 熱処理設備概要図

では、材料を表層から内部まで均しく加熱・冷却する機能、熱処理環境を作り保つ機能、安全性、省エネ性・省人性などが挙げられる。それらを実現するための、熱処理炉を構成する装置を以下に示す。

(1) 炉殻

炉殻は材料を空気から隔離し、雰囲気や真空な

どの熱処理環境を保つ容器のような役割を持つ。『加熱室』『冷却室』のように『室』と称することも多い。空気を内部に侵入させない、また雰囲気を外部に漏らさない機能が求められるため、製作段階から気密性を確保することが重要となる。また内部の雰囲気圧力や真空圧に耐え得る強度も必要である。

(2) 加熱装置

加熱装置は炉殻内部の材料や雰囲気を加熱し、高温にするための装置であり、熱処理設備の中心となる装置である。熱処理設備における加熱装置には、油や燃料ガスを空気と混ぜて燃焼させるバーナか、電流を抵抗体に流して発熱させるヒータの2通りが広く用いられている。

バーナの大きな特徴は燃焼排ガスが排出されることである。燃焼排ガスは熱処理にとって大敵となる O_2 成分を多く含むため、炉殻内部で直接バーナを燃焼させると、排気ガスにより熱処理環境が乱れてしまう。従い熱処理設備においては、バーナ燃焼空間と炉殻内の空間とを金属の仕切りで隔離する間接加熱方式が採られることが多く、特にラジアントチューブと呼ばれる金属管内部でバーナを燃焼させるラジアントチューブバーナが広く用いられている。またバーナに流す油や燃料ガスを止めて空気のみを流すことで、燃焼反応を起こさずに炉殻内の熱を空気で奪う冷却装置としての機能を兼ねることが出来る。その冷却能力は高くはないが、焼なましのような遅い冷却であればバーナを用いた冷却で対応可能である。そのため単一エリアで加熱と徐冷の両方を行うバッチ式の焼なまし炉とは特に相性が良い。

ヒータの特徴は、バーナと違い排気ガスを排出しないためクリーンであることや、抵抗体が高温となるため高い温度の熱処理に対応可能なことが挙げられる。ただしバーナとは違い冷却を行うことはできないため、積極的な冷却を施す場合は別途冷却装置が必要となる。

(3) 断熱材

熱処理設備を効率的に加熱するためには、加熱装置で炉殻内部に加えた熱を可能な限り設備外部に逃がさないことが重要となる。そのため炉殻の内側には熱を通しにくく、高温に耐性を持つ断熱材が張り巡らされる。断熱材の材質は熱処理温度やその他環境などを考慮して選定され、熱処理設備においてはシリカとアルミナを主成分とする粘土質やハイアルミナ質などが広く用いられている。この断熱材により設備外部に放散する熱量を抑え、省エネ性が向上する。

(4) 扉装置

扉装置は材料を炉殻内に搬入、もしくは炉殻外

に搬出する出入口を仕切り、外気の炉殻内への侵入を防ぐ役割を持つ。扉は、材料の搬入・搬出を行う間は開き、熱処理中は常に閉じており、シリンダなどで扉に外力を加えて、シール材や炉殻と密着させることで気密性が確保される。

特に連続式熱処理設備の出入口側には、前後に扉装置を有するパージ室と呼ばれる小さな室があるのが一般的である。パージ室前後の扉は同時に開くことがなく、材料がパージ室に入る、あるいはパージ室から出るたびに室内の O_2 成分を除去(パージ)することで、熱処理エリアに O_2 成分が侵入することなく連続的に材料の出し入れを行うことができる。

(5) 搬送装置

搬送装置は材料を、炉殻外部から炉殻内部へ、また炉殻内部でエリアから次のエリアへ、そして炉殻内部から炉殻外部に搬送するための装置であり、この搬送装置を自動制御することで熱処理設備の省人性に寄与する。搬送装置の方式も材料の形状や重量などにより様々だが、回転するロールの上に材料を置く、あるいは巻き付けて搬送するストランド式が広く採用されている。

(6) 攪拌装置

多くの雰囲気熱処理設備では、炉殻内に取り付けられたファンで高温の雰囲気を攪拌し、雰囲気に流れを生み出している。これにより材料への対流熱伝達が促され、効率的に材料を加熱することができるため、均熱性を向上させることが出来る。

(7) 雰囲気あるいは真空装置

炉殻には雰囲気ガスを貯留あるいは生成し、送気する、もしくは真空排気するための装置が配管接続される。雰囲気ガスとしては用いられるガスには、窒素やアルゴンなどの反応性が低いガスや水素のような還元性ガス、また窒素や水素、一酸化炭素などが混合した変成ガスなど様々存在する。これらの中から、熱処理品質やランニングコストなどの条件を考慮し、適したものが使用される。

(8) 雰囲気あるいは真空分析装置

分析装置は炉殻内の熱処理環境を管理するためのもので、雰囲気装置などと同様に炉殻に配管接続される。分析項目は設備により異なるが、一般に O_2 濃度や水分量、炉殻内圧力などを対象項目とすることが多い。

(9) 温度制御装置

炉殻内の温度は炉殻内に取り付けられた温度センサにより測定され、その測定値を基に加熱もしくは冷却装置の出力を自動操作することで制御される。炉殻が大きい場合、ひとつの温度センサで炉殻の端から端まで管理することは不可能であるため、炉殻を複数のエリアに区切り、それぞれのエリアごとに温度センサを設置し、温度を管理する。

(10) 冷却装置

焼入れのように急激な冷却が求められる場合、設備の出口付近に専用の冷却装置を設ける必要が

ある。冷却媒体には水、油、ガスなどが用いられ、これらの流体中に高温の材料を投入し、攪拌することで材料の熱を急速に奪う。

むすび

特殊鋼熱処理および熱処理設備の概要について紹介した。

ここに紹介した熱処理以外にも、浸炭や窒化など数多くの熱処理が特殊鋼製品に関わっている。熱処理の技術・設備の概要を知ることは、特殊鋼の製造工程を理解する上で重要である。



7. 検査

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 計測制御研究室 森 だい すけ 大 輔

まえがき

特殊鋼製品は、各種産業分野において高負荷環境で使用されるため、その要求品質は厳格化してきている。これらの要求品質に応えるために、特殊鋼の製造時には各種試験や検査、分析が実施されている。中でも特殊鋼製品の検査には大きく2つの目的がある。1つ目は製造された製品が顧客の要求する品質仕様を満足するものかどうかを判定すること、2つ目は製造中の品質水準を把握し、結果をフィードバックすることで、不良品の再発防止を図るとともに製造品質水準をより良いものにする事である^{1)、2)}。そこで本稿では、特殊鋼製造プロセスにおける検査技術について紹介する。

◇ 圧延・鍛伸工程における検査^{1)、2)}

特殊鋼材料の製造プロセスでは、スクラップを原料として、溶解、 casting、各種圧延工程を経て、大型の角製品や丸製品から、平鋼、棒鋼などさまざまな形状の特殊鋼製品を生産している。ここでは、圧延工程と各工程で実施される主な試験・検査を図1に示す。

また、素材から各種製品になるまでに実施される主な試験・検査として、図2に示すような内部や表面のきずを検査する非破壊試験がある。そして、製品が顧客要求に合った寸法で製造されているか寸法測定がおこなわれている。

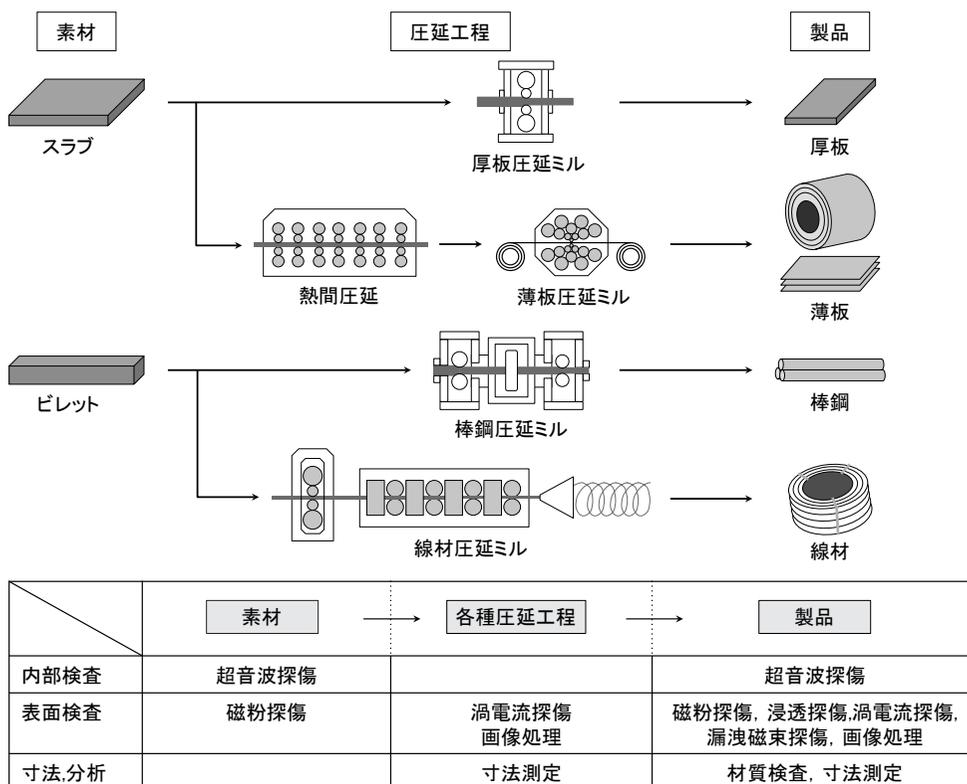
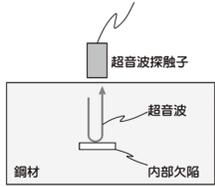
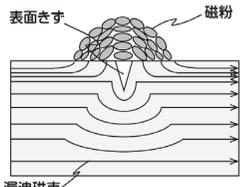
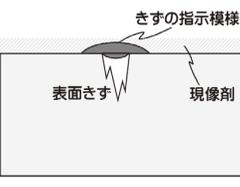


図 1 特殊鋼製品の圧延工程と実施される主な試験・検査^{1)、2)}

試験方法	超音波探傷	磁粉探傷	浸透探傷
探傷方法概略図			
検出原理	超音波パルスの反射	磁気吸引作用	浸透作用 (毛細管現象)
対象材質	金属・非金属	金属(磁性材料)	金属・非金属
対象きず	表面・内部	表層部	表面(開口きず)

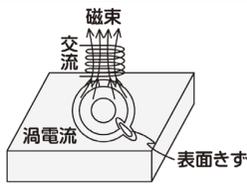
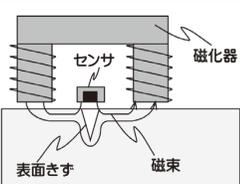
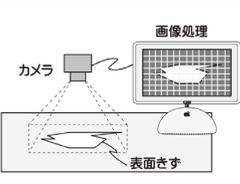
試験方法	渦電流探傷	漏洩磁束探傷	画像処理法
探傷方法概略図			
検出原理	電磁誘導	磁束の漏洩検出	カメラ画像の処理
対象材質	金属(導電性材料)	金属(磁性材料)	金属・非金属
対象きず	表層部	表層部	表面(開口きず)

図 2 各種非破壊試験方法¹⁾

1. 非破壊試験

(1) 超音波探傷試験 (UT: Ultrasonic Testing)

超音波探傷試験は、鋼材の内部検査として広く使われている。超音波探傷試験は、鋼材表面から超音波パルスを送信し、鋼材の内部欠陥から反射されるエコーを受信して欠陥の位置や大きさをする方法であり、特殊鋼材料で検査対象となる内部欠陥は、非金属介在物、空隙（未圧着）などが挙げられる。

近年では、図3のように複数個の超音波振動子を配列した探触子（アレイ探触子）を用いて、各振動子を振動させるタイミングを制御することにより、超音波を任意の位置や角度に収束することが可能である³⁾。また、複数個の振動子で受信した超音波信号（探傷結果）の位置関係から、デジタル処理により画像化することも可能で、大型の

角ビレットを探傷した結果を図4に示す。素材段階（各種圧延工程の前段階）で内部欠陥を検出することにより、生産性や歩留まりの向上が期待できる⁴⁾。

(2) 磁粉探傷試験 (MT: Magnetic Particle Testing)

磁粉探傷試験は、被検査材に磁界を与え、磁粉と呼ばれる細かい鉄粉を散布し、表面および表面下の欠陥部分に集まった磁粉模様を検出して、欠陥の有無を知る方法である。

磁粉探傷試験は、検査作業の環境改善や検査の自動化を目指して、新たな磁粉探傷方式や装置の開発が進められており、近年では、カメラで撮像した欠陥の磁粉模様を、画像処理法で検出する自動検査装置が開発されている。

(3) 渦電流探傷試験 (ET: Eddy Current Testing)

渦電流探傷試験は、コイル（プローブ）を用い

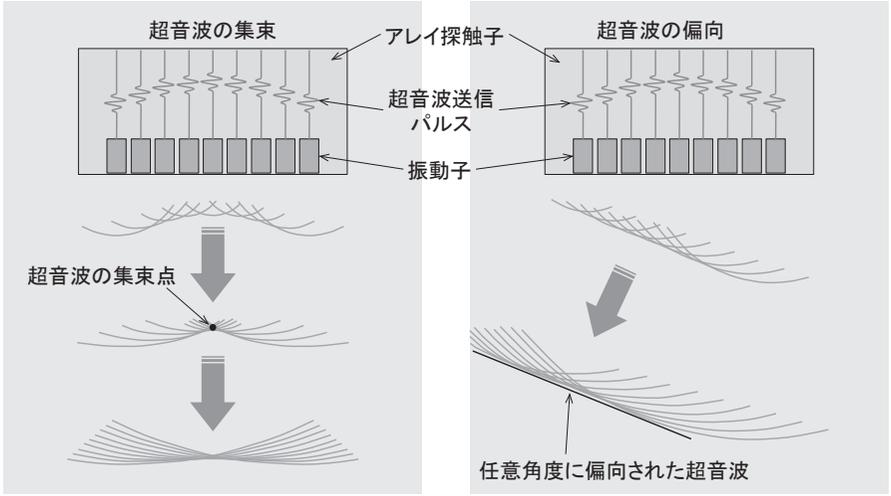


図 3 アレイ探触子による超音波の集束と偏向

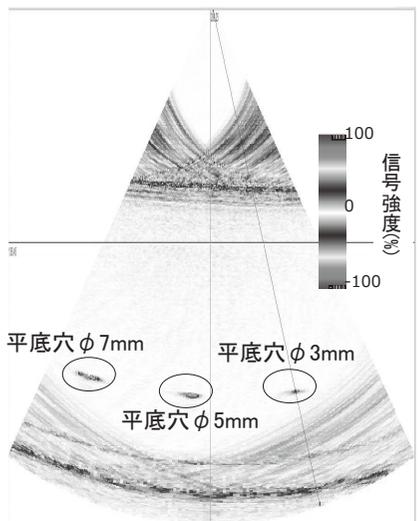


図 4 角ドリットの探傷画像

て被検査材（導体）に時間的に変化する磁場を与え、導体に生じた渦電流が表面きずなどの不連続部によって変化することを利用した方法である。表面きず信号の振幅や位相差から、きずの大きさ・種類も推定することが可能である。加えて、非接触検査が可能であるため、コイルを冷却することで熱間圧延中の材料を探傷することができる。

近年では、図5のようなコイルを2次元配列したアレイEC法が開発されている。この技術により、渦電流の発生方向を変化させることで、さまざまな方向の表面きずを検出することができる⁵⁾。また、画像化することが容易できずの判定精度向上が期待できる。平板材に加工した人工表面きずの検出事例を図6に示す。

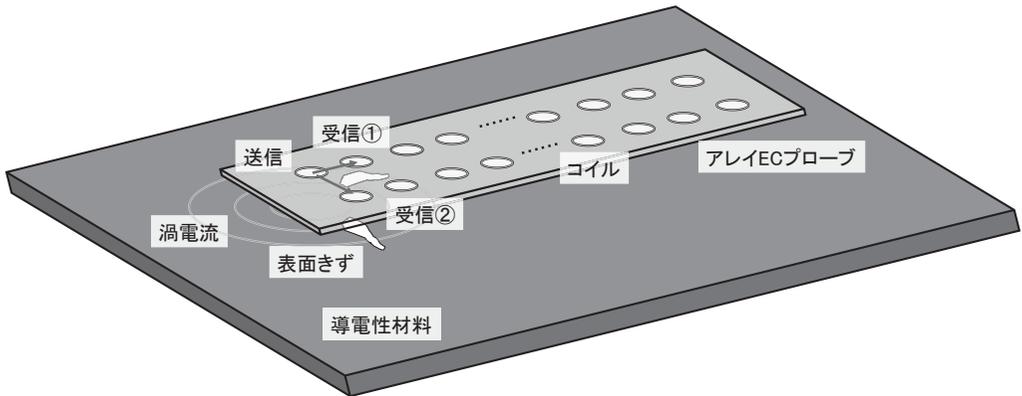


図 5 アレイEC（コイルの2次元配列）の概要

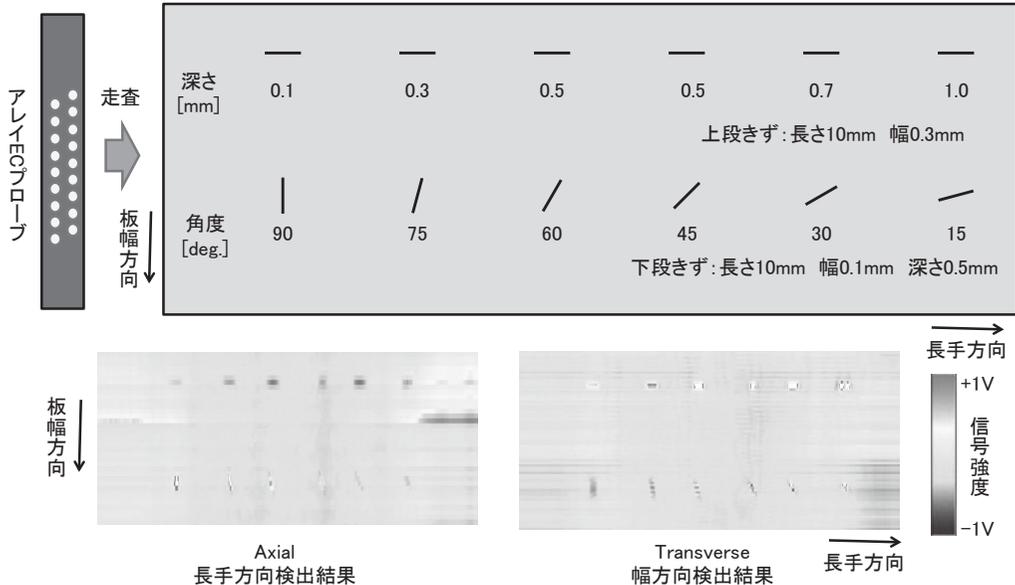


図 6 平板の人工表面きず（上）とアレイECによる探傷画像（下）

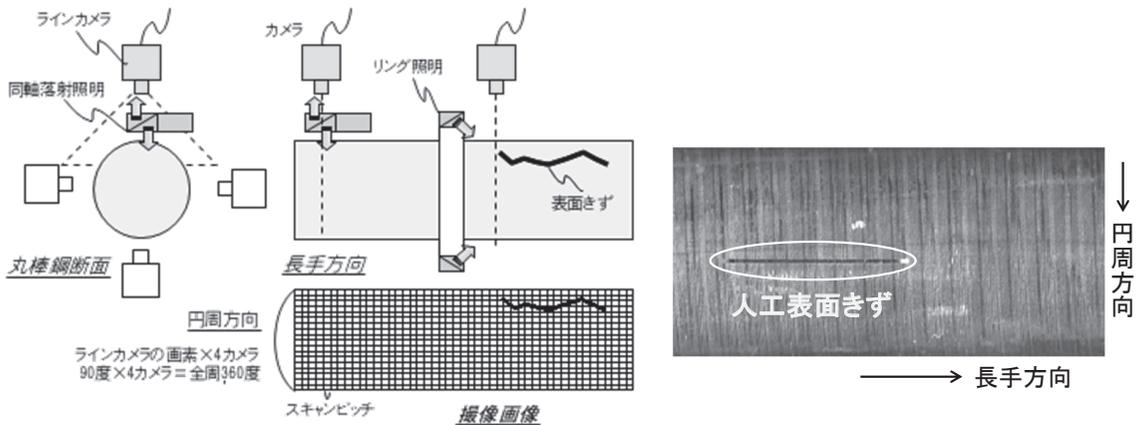


図 7 丸棒鋼の撮像方法（左）、撮像された人工表面きず画像（右）

(4) 漏洩磁束探傷試験 (MLFT: Magnetic Leakage Flux Testing)

漏洩磁束探傷試験は、磁化器により磁化された鉄鋼材料の表面きずから漏洩する磁束の検出を、半導体磁気検出子などで直接検出する方法である。磁粉を用いる磁粉探傷試験と比較して自動化に適しており、定量的な検査が可能である。

近年では、渦電流探傷試験と同様に、マイクロデバイス化された磁気センサを用いた高感度の探傷プローブが開発されている。

(5) 画像処理法 (Image Processing)

画像処理法は、鋼材の表面をカメラで撮像した画像を使って、パソコン等で画像処理をおこない、表面きずの有無を判定する方法である。また、照明を用いることで表面きずの陰影が際立ち、識別性を高めることが期待できる。

近年では、パソコン性能の向上に伴い、機械学習 (AI) をきず判定に取り込んだ方法が開発されている。ここでは、丸棒鋼の表面きず検査事例として、ラインカメラを円周方向に配置し、長手方向へ輪切りに連続撮像する方法を図7に示す⁶⁾。

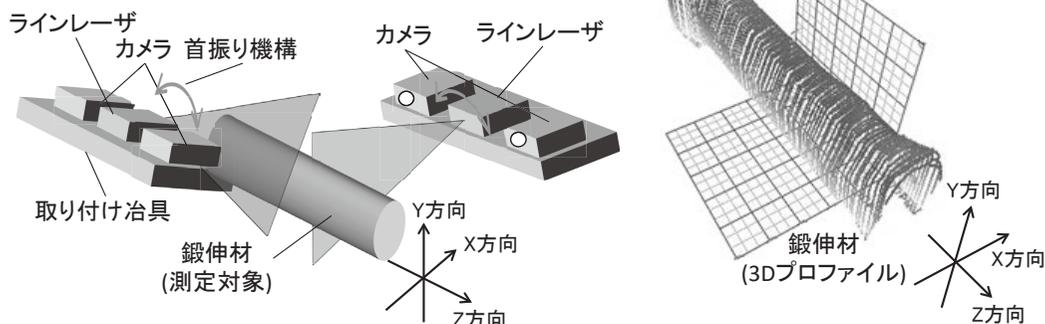


図 8 ステレオカメラ計測概要 (左)、鍛伸材の3次元計測結果 (右)

2. 寸法測定

オフラインの寸法測定については、オペレータによりマイクロメータ、ノギス、リミットゲージなどを直接接触させて計測している。また、オンラインの寸法測定については、丸棒鋼の直径、長さ、曲がりといった各種寸法の計測方法として、ラインレーザを用いた三角測量法や画像処理法が多く採用されている⁷⁾。

近年では、図8のように鍛伸材にラインレーザを照射し、その照射位置をステレオカメラで連続撮像することで鍛伸材の形状を3次元計測する方法が開発されている。このステレオカメラ方式は、三角測量法の応用でヒトの眼の視差と同様の原理を応用しており、高速な3次元形状計測が期待できる⁸⁾。

むすび

特殊鋼製品は、多くの産業分野から我々の日常生活まで、広範囲に渡り使われるようになってきた。特殊鋼製品は各種工法により製造されるため、検査対象物や発生する欠陥は多種多様である。さ

らに、進化する特殊鋼材料は、高負荷環境や特殊な環境下での利用が期待されている。そのため、高品質かつ高機能を担保するためには、高度な検査技術に裏付けられた品質保証が必要である。

これらの多様な要求に応えるため、今回紹介した特殊鋼の各種検査手法を上手く活用し、目的に適した技術開発を目指すことが大切である。今後も、より高い検査技術の開発、実用化が進み、特殊鋼業界を支えていくことを期待する。

参考文献

- 1) 片岡克人：特殊鋼、64巻5号 (2015) 15-18
- 2) 杉浩司：特殊鋼、60巻3号 (2011) 2-5
- 3) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧 第4巻 分析・試験 (2014) 262-263
- 4) 樹神啓司：電気製鋼、89巻1号 (2018) 39-46
- 5) 西水亮：日本原子力学会和文論文誌、7巻2号 (2008) 142-151
- 6) 森大輔：電気製鋼、90巻1号 (2019) 53-59
- 7) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧 第5巻 計測・制御・システム (2014) 92-93
- 8) 森大輔：電気製鋼、88巻1号 (2017) 19-25

8. 粉末製造

山陽特殊製鋼(株) あい かわ よし かず
粉末事業部 粉末技術部 相川 芳和

まえがき

本報では金属粉末の製造法を分類し、代表的な粉末製造法のいくつかについてその概略を解説する。

◇ 金属粉末の製造方法の分類

日本工業規格の粉末冶金用語（JIS Z 2500）では、粉末とは「最大寸法1mm以下の粒子の集合体」として定義されている。さらに、45 μ mのふるいを通過する粉末を“微粉”、最大寸法1 μ m以下の場合は“超微粉”として区別されている。

金属粉末製品の特長や性能は、上記粒子サイズ以外に粒子形状も重要なファクターとなる。例えば、金属粉末を金型に入れて圧縮成形した後、高温で焼き固めること（焼結）で使用される製品については、焼結時の粉末同士の結合性が高くなるように、絡みついて接触しやすい樹枝状や不規則

形状等の粉末が選定される場合が多い。なお、このように、型を用いた粉末成形法は粉末冶金法（Powder Metallurgy/PM）と呼ばれ、最終製品に近い形状（ニアネットシェイプ）をつくる技術として、金属粉末の中でも最もメジャーなアプリケーションとして知られている。

一方、最近注目されている金属積層造形（3Dプリンティング）では、造形装置の構造上、原料粉末の供給やノズルからの噴射など粉末を搬送する機構が多く、これらを安定的に行うために流動性の高い球状粉末が求められる。また、塗料に用いるアルミ粉末等においては、金属光沢を活かすために鱗片状粉末が使用されるケースもある。

表1に金属粉末の主な製造方法、適用される材料、粉末形状、用途の一例を示す。金属粉末の製造法は、熔融プロセス、機械的プロセス、化学的プロセスに大別され、アプリケーションや粉末組成、製品に必要とされる特性に応じた工法を選定

表 1 主な金属粉末の製造方法の分類

製造方法		主な材料	粉末形状例	用途例
溶解プロセス	ガスアトマイズ法	Ni、Fe、Al、Ti、超合金	球形状	3D用粉末 粉末ハイス
	水アトマイズ法	Fe、Cu	不規則形状	焼結部品
	ディスクアトマイズ法	Sn	真球形状	はんだ用（Sn系）
	回転電極法	Ti	真球形状	医療、電子部品
化学的プロセス	化学還元法	Fe、Cu、Co、Al、Ni、W	球形状	電子部品
	カーボニル法	Ni、Fe	球形状	電子部品
機械的プロセス	粉碎法	Fe、Al、Cu、Cr	不規則形状 鱗片状	医療、塗料
	メカニカルアロイング法	アモルファス 分散強化合金	不規則形状 鱗片状	超硬合金 サーメット

することが最も重要な材料設計の一つとなる。

溶解プロセスは、所定の原料を一旦溶解した後、物理的な冷却により粒子に作り上げる。また、化学的プロセスは、ガスや溶液の化学反応により粒子とする。いずれの方法も、気体や液体から核生成と成長により、粒子に組み立てることから、ビルドアップ法という位置付けで分類されることもある。

一方、機械的プロセスは、衝撃力や剪断力を加えることで原料を破碎、変形することで粉末化するプロセスであり、前記のビルドアップ方式に対して、ブレイクダウン方式として位置付けられる。

◇ ガスアトマイズおよび水アトマイズ法

図1にガスアトマイズ装置の概略図を示す¹⁾。一般的にガスアトマイズ装置は、原料溶解部（坩堝）、噴霧部、冷却タワー、粉末回収部からなる。所定の原料を坩堝内で溶解後、溶湯をノズルから鉛直下方に落下させ、その溶湯に高圧の不活性ガスを噴霧することにより液滴に分断する。液滴は冷却タワーを落下する過程で急冷凝固することにより金属粉末が得られる。噴霧ガスには通常ArもしくはN₂などの不活性ガスが選定される。

一般的にガスアトマイズ法で得られる金属粉末は球形状である。ガスアトマイズ法は冷却媒体と

して不活性ガスを用いているため、酸素値が低い粉末が得られる工程としても知られており、合金によって異なるものの数十ppmから数百ppmの酸素レベルを有する金属粉末の作製が可能である。

粉末が球形状となるガスアトマイズ法は、高い流動性が必要とされる用途において優位な工法と言える。例えば、前述の3Dプリンティング用途に加え、溶射（表面処理の一種。加熱溶融状態の粒子を物体表面に吹き付けて皮膜を形成する）等、粉末の搬送や噴射処理等の工程が入る場合に有利である。また、球形状であることは粉末の充填性も向上することを意味しており、その後の成形工程により緻密化しやすいことから、粉末ハイス鋼などへも適用されている。

また、噴霧媒体として高圧水を使用する水アトマイズも大量生産に向けた汎用の粉末製造法として広く知られている。この場合得られる粉末はガスアトマイズと異なり突起の多い不定形状になりやすい。この要因としては、それぞれのアトマイズ法における、“冷却速度”と“溶湯の表面張力”の2つの差異から説明が可能である。すなわち、ガスによる冷却速度は水に比べて小さい。このことは、ガスアトマイズの場合、冷却媒体（ガス）の衝突により生成した液滴が、表面張力により球状化するだけの凝固時間を有していると理解でき

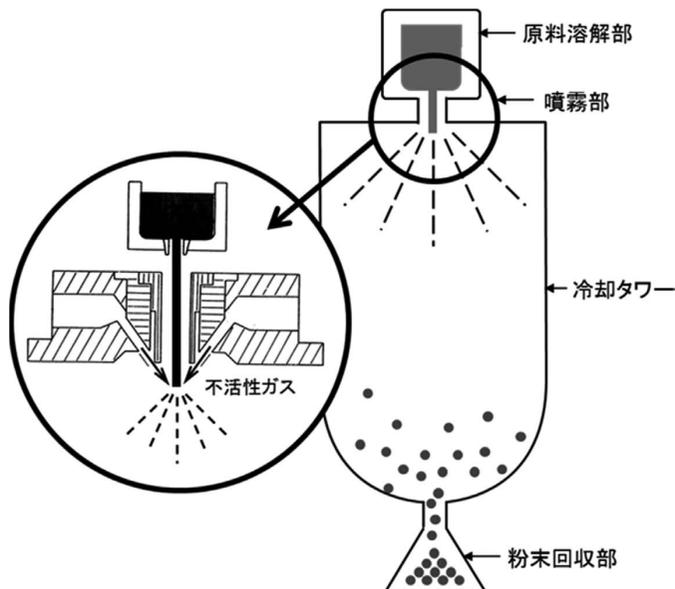


図 1 ガスアトマイズ装置の概略¹⁾

る。一方、水アトマイズでは球状化に至る前に凝固することが不定形化の要因の一つと理解されている²⁾。

さらにガスアトマイズは、水アトマイズと比較して溶湯の表面張力を低下させる酸化物の生成が極めて少ないことが二つ目の要因と考えられている³⁾。

冒頭で述べた粉末冶金法で用いる粉末の多くは水アトマイズ法により製造される。特にバインダーと金属粉を混合し成形するMIM法（Metal Injection Molding、金属射出成型法）が考案されてからは、微細で焼結性の良い合金粉末を作製できる水アトマイズ法の需要はさらに高まっている⁴⁾。

◇ ディスクアトマイズ、回転電極法⁵⁾

図2にディスクアトマイズ法の概略図を示す。ディスクアトマイズ法では、溶湯がノズルから高速回転するディスクの中心に落下し、回転ディスク上に生じる遠心力により外周部に飛散することで液滴が形成される。

液滴は水平方向に飛散されている間に冷却凝固されて粉末となるが、雰囲気ガスの対流の影響を大きく受けずに一定方向に液滴が飛散する。その結果、液滴同士の衝突が少なく、ガスアトマイズ法と比較して、さらに真球形状の粉末が得られるのが特長である。

回転電極法は、高速で回転させた金属電極をプラズマで溶解し、遠心力で飛散した溶湯が凝固し粉末として回収される。遠心力により液滴を外周方向に飛散させることで粉末とする原理はディス

クアトマイズと同様であり、真球形状が得られるのが特徴である。回転電極法により溶解された金属はディスクや坩堝と非接触であるため、粉末は純度が高く、Tiのような活性な金属でも作製が可能となる。

以上、ディスクアトマイズ、回転電極法は、真球形状という点でガスおよび水アトマイズ法よりも優位であるが、ディスクアトマイズ法は、ディスクの耐熱性の問題から主にSnやBi等の低融点合金製造に限定される。なお、回転電極法は、生産性が電極の大きさに依存する為、量産性に課題があり、現状はガスおよび水アトマイズ法が高融点金属合金粉末を量産する方法として最もメジャーとなっている。

◇ カーボニル法

Feの鋳塊を粉砕した後、200℃程度で一定の圧力を負荷した状態で一酸化炭素と長時間反応させ、鉄カーボニル $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ガスとした後冷却して液化する。これを所定の温度と圧力で熱分解することにより直径10 μm 程度以下の球状鉄粉が得られる⁶⁾。カーボニル法は、不純物を含む金属原料を揮発性の化合物にした後、熱分解により金属に戻す精錬プロセスとしても位置付けられており、高純度かつ微細な球状粉が得られることから、MIM、コイル部品、電磁波吸収体シートなどで使用されている。なお、同様の反応により粉末が得られるケースとしてカーボニルNi粉末も知られており、自動車用焼結部品、触媒等で実用化されている。

◇ 粉砕法

金属塊を機械的に粉砕して粉末化するという手法は、かなり古くから実用化されており現在でも広く普及している。金属塊が比較的大きい場合は、ジョークラッシャーと呼ばれる圧縮粉砕機やハンマーミル等を使用するケースが多く、いわゆる一次粉砕工程として一定サイズ以下の粒状物を得る目的で行われる。その後の微粉化は、ボールミル、振動ミル、高速攪拌ミルなど多数の粉砕処理機が提案されている。

ボールミルは、メディアと呼ばれる直径数mmから数cm程度の粉砕ボールと原料を容器に入れ、

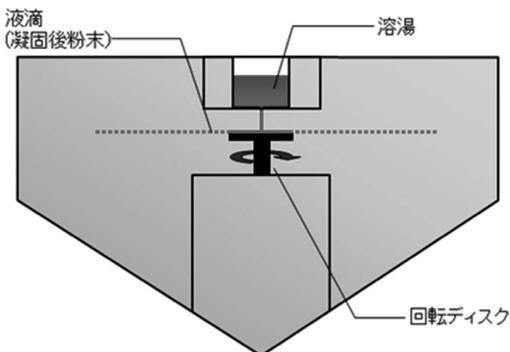


図 2 ディスクアトマイズ装置の概略

容器の回転により生じる粉砕ボール同士の衝突、摩擦により原料を粉砕するものである。振動ミルも装置構造は同様であり、容器を高速振動させることで粉砕力を生じさせている⁷⁾。

高速攪拌ミルの構造例を図3に示す。攪拌シャフトを高速回転することで粉砕ボールを高エネルギーで衝突させて微粉化する。

ボールミル、振動ミル、高速攪拌ミル等、粉砕ボールを使ったミリング法は、単純に粉末を得るためのプロセスだけではなく、金属の硬さに応じて鱗片状に制御することも可能となる。このような鱗片形状の粉末は、冒頭述べたような塗料に用いるアルミ粉末以外にも、電磁波吸収体、ノイズ

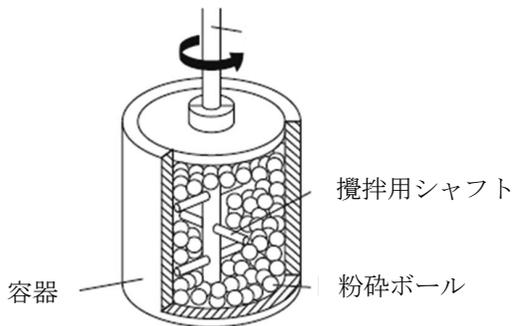


図 3 高速攪拌ミルの模式図

吸収用の磁性粉末に活用することで、製品の性能を向上させる効果があることも知られている。さらに、このようなミリング加工により異なる材料の合金化も可能であり、メカニカルアロイング法として各種研究も行われている。

むすび

金属粉末の製造法は、金属の材質、必要な粉末サイズ、形状、製品に必要な物性に応じて様々であり、現在も新たな粉末製造法についての研究が盛んに行われている。今回紹介したプロセスはその中のごく一部のエッセンスであり、興味を持たれた方は粉体工学、粉末冶金関連の専門書を参照頂きたい。

参考文献

- 1) 西面由夏：月刊Material Stage、17 (2017)、8、22-24
- 2) 河合伸泰、佐藤義智、関義和：資源処理技術、33 (1986)、4、39-44
- 3) 日本金属学会：改訂4版金属データブック、丸善株式会社 (2004)、71
- 4) 川村誠、大河内敬雄：電気製鋼、80 (2009)、1、139-145
- 5) 山本隆久：山陽特殊製鋼技報、23 (2016)、1、27-30
- 6) 渡辺尙尚、若林章治：新版 粉末冶金、技術書院 (1976)、13
- 7) 木藤茂：型技術、32 (2017)、10、76-79

Ⅲ. 会員メーカーの最新設備

■ 日立金属(株)

1万トン級自由鍛造プレス

日立金属株式会社が安来工場（鳥根県安来市）に新たに導入した1万トン級自由鍛造プレス（以下、1万トンプレス：図1）の設備を以下に紹介する。1万トンプレスは、熱間工具鋼の製品性能と生産性の向上および航空機・エネルギー関連材料事業の強化を図るために導入し、2018年4月より稼働開始、同年5月より本格的に量産稼働を開始した設備である。

1万トンプレスの鍛造荷重は最大約9,000トン、据込荷重は最大11,000トンを出力させることができる4柱式プッシュダウン型の油圧プレス機である。ストローク、デーライトともに弊社既設プレスよりも広く確保した設計であり、またプレス最大SPM（Stroke Per Minute）は、既設機同等以上の動作速度を有しているものである。プレス機本体の両サイドには、軌条レール式のマニピュレータを設置し、最大30トンの素材を把持走行できる仕様となっている。マニピュレータはともにミリメートルの精度で鍛造品を位置決めでき、プレス機のストロークと完全に同期して動作させる



図 1 1万トン級自由鍛造プレス

ことが可能である。また効率的かつ省スペースの油圧システムで構成され、プレス地下内に設置された高性能油圧ポンプによる高速鍛造の実現も合せ、1万トンプレス機は最大加圧力1万トン級を有したハイスピードタイプの自由鍛造プレス機であると言える。

1万トンプレス導入により、鍛造初期において能力荷重を最大限活用した大圧下鍛造、金敷面積を増加させることで高送り鍛造の導入を実現している。また鍛造パススケジュール毎に加圧荷重モードの切り替えが可能で、鍛造する素材アイテムや素材部位（厚・幅方向や角部等）によって、このモードを3段階（約3,000t・約6,000t・約9,000t、加圧荷重モードが小さい方がプレス機の動作速度が速くできる）に切り替えることで、生産性を極限まで高めることができる利点がある。

1万トンプレスは、固定基礎上にスプリングとダンパーで構成される防振装置を介して中間基礎を据付し、その上にプレス機本体を据付しており、振動を最小限に抑えることが可能な環境配慮型のプレス機でもある。

付帯設備としては、テーブルシフト装置、ボトムダイシフト装置およびダイマガジン装置も設置しており、より幅広い各種の鍛造作業をスムーズに進行でき、プレス上において金型の自動交換も可能な構造となっている。プレスオペレーターは、作業に応じて全自動から半自動または手動モードに切り替えることができ、事前に設定されたパススケジュールに基づいて、プレス機とマニピュレータを完全自動モードで動作させるプログラム鍛造も導入し、さまざまな鍛造品を再現性高くかつ高効率で製造できる設備である。また各種レーザー測定システムを搭載し、オンラインで鍛造品の寸法形状を測定・可視化することで高精度なモノづくりをサポートしている。

〔日立金属(株) 安来工場 鋼材部 味田 悟〕

業界のうごき

カマス、表面処理事業を北米展開 テイクロに技術供与、神鋼と共同

カマスは、神戸製鋼所と共同で表面処理メーカーのテイクロに独自の冷間プレス金型用表面処理を技術供与した。北米市場における自動車ハイテン用金型の表面処理需要に対応するのが狙い。テイクロは米国工場に神鋼製の大型成膜装置を導入し、「K-Forte」のブランド名で8月から受注開始する予定。

「マカオンコートKS-G」は冷間プレス金型用に開発したPVD表面処理皮膜で、ハイテン成形用金型の寿命向上で評価されている。米国・カナダ・メキシコにおけるハイテン需要拡大に伴うニーズに対応するため、現地の技術・人材基盤を持つテイクロと技術提携する。

テイクロは米国子会社（テイクロ・コーポレーション）のスプリングフィールド工場（オハイオ州）に神鋼製の大型成膜装置を導入した。技術ライセンスを受けた皮膜を、同社の表面処理皮膜ラインアップの一環として展開する。（5月11日）

川本鋼材、静岡で丸棒切断を強化 来年初旬、浜松で新工場稼働へ

川本鋼材は、静岡県のユーザーに供給する特殊鋼丸棒の加工体制を強化する。浜松営業所（浜松市南区）を拡張移転する形で大型工場を新設し、来年初旬をめどに本稼働を始める。新拠点開設を機に業務全体の効率化、省力化を推進し、BCP強化も図りながら、小ロット・短納期対応力の向上を目指す。

浜松営業所は在庫能力2,000トンの置場、切断機6台を持ち、近隣の二輪・四輪関連ユーザーに特殊鋼製品を供給している。開所からおよそ半世紀が経ち設備が老朽化するとともに、更なる切断品の生産体制強化に

向けて、数年前から移転計画を進めてきた。営業所社員の通勤の利便性も考慮して、同市東区での新工場建設を決めた。

今月土地の売買契約が完了し、着工した。新工場は東名高速浜松IC至近で、敷地面積は約7,600平方メートル。建屋の面積は約3,500平方メートルの予定。（4月13日）

JFE商事、4カ年経営計画策定 電磁鋼板加工流通で世界一へ

JFE商事は、2024年度までの4カ年経営計画を策定した。2024年度にセグメント利益400億円（2020年度200億円）を目標とし、4年間で設備投資・事業投融資を約1,200億円計画する。強みを持つ電磁鋼板の加工流通業で世界一の体制構築を目指す。

電磁鋼板加工ではカナダのコジェントを買収し、中国・メキシコはブルジョアと、タイは一宮電機と共同で展開している。方向性電磁鋼板の加工量は世界トップで、無方向性電磁鋼板は2位グループに位置する。今後はトータルで世界一の体制構築を目指す。

自動車向け鋼材のSCM（サプライチェーン・マネジメント）や海外建材事業の取り組みも強化する。新たなビジネス機会にも対応する。洋上風力発電向け鋼材・加工製品のSCM構築を図るほか、バイオマス燃料の取引を拡大する。DXへの取り組みにも注力し、DXを活用した新規ビジネス創出を検討する。（5月11日）

神鋼商事、新中期経営計画を策定 車用鋼材、アルミなどに200億円

神鋼商事は2021年度から3カ年の中期経営計画を発表した。EV・自動車軽量化と資源循環型ビジネスを重点分野と定め、2023年度に2020年度比2.3倍の経常利益95億円以上を目指す。3年間で自動車向け鋼材加工

や環境リサイクル、アルミ加工に総額200億円を投資する。

2023年度のセグメント別経常利益目標は鉄鋼41億円、鉄鋼原料13億円、非鉄金属23億円、機械情報13億円、溶材5億円。非トレード比率は前中計の16%から22%に拡大し、2030年度に33%を目指す。鉄鋼事業は調達先の多様化や加工機能、建材ビジネスの強化を推進し、中国、米国需要を取り込む。

投資計画では車用鋼材加工で中国と北米をターゲットに20億円を投じ、2024年以降の収益化を狙う。環境リサイクルで30億円、アルミ加工で80億円、国内や東南アジアのM&Aによる流通再編で20億円、海外サプライチェーン拡大で50億円を想定する。（5月21日）

大同DMソリューションが本社集約 経営効率化、製販連携強化

大同DMソリューション（本社・大阪府大東市）は、経営効率化や製販の連携強化を進めるため、東京本社（東京都港区芝）を廃止し、本社機能を大阪に集約する。現在の東京本社に常駐する営業、海外部隊は、大同特殊鋼が東京本社を置く大同品川ビル（港区港南）に移り、調達部隊は相模センター（神奈川県座間市）に移る。

本社機能の集約では5月6日から新体制に移行し、現東京本社関係の営業・海外・調達の新体制は6月にスタートする。

同社は大同特殊鋼グループの工具鋼流通・加工の中核企業。2020年7月に構造改革プロジェクトをスタートし、11月から本格的に実行に移している。本社機能の集約は構造改革が進む中での一歩であり、生産本部（大阪）と営業本部（東京）が離れていた体制も見直し、本社内に生産本部も営業本部も置き、製造と営業の一体感を強める。（4月23日）

業界のうごき

大洋商事、国内外で加工設備増設 特殊鋼棒鋼、新規案件に対応

大洋商事は国内外で特殊鋼棒鋼の加工設備を増強する。国内では5月に辰巳倉庫（東京都江東区）で高速超硬丸鋸盤を1台増設し、6月に福町倉庫（大阪市西淀川区）で旋盤を1台導入する。フィリピンで産機部品の加工・販売を行う大洋スービックでは、CNC旋盤5台程度の増設を予定する。

辰巳倉庫の特殊鋼棒鋼の切断加工設備は丸鋸盤4台、帯鋸盤2台になる。自動車関連の新規案件に対応するため増強する。福町の旋盤は初号機で、納期対応の向上を狙いに比較的簡単な外注加工の一部を取り込む。大洋スービックは2020年5月に機械加工工場を稼働開始した新会社。

8月末には本社事務所を同じビル内の2階から8階に移転する。スペースは現在の約200坪から1割広くなる。現事務所は2004年5月から使用しており、什器類を一新するとともに、ウェブ会議が増えている実態に即し商談スペースを増やす。（4月28日）

中島特殊鋼、横根工場を再稼働 需要増に対応、切断機を移設、新設

中島特殊鋼は、丸棒切断品の需要拡大に対応し、横根工場（愛知県大府市）の加工業務を再開した。他工場から帯鋸盤1台を移設し、パルスカッティングソー1台を新設した。3月から本稼働を開始した。

2018年に基幹拠点として北崎IC工場（同）を開設。車関連切断品の能力増強や加工効率向上を狙いに設備の新設、集約を実行した。その後、横根工場は置場として使用していた。

車関連需要が回復に加えて車以外の切断品も増加も見めるため、横根工場は車関連以外の切断に活用する。同社のPCソーは合計6台となり、新型

機は主に150～400ミリ径の母材切断で活用する。横根工場はスペースに余裕があり、更なる増強も検討していく。

他工場では、4月末をめどに第3工場にCNC自動旋盤ラインを1基新設し切削加工を強化し、北崎IC工場で今夏をめどに最新鋭の超硬丸鋸切断機2台を増設する方針。（4月5日）

日鉄物産、5カ年経営計画を策定 連結鋼材取扱量2,100万トン以上

日鉄物産は、2021年度から5カ年の経営計画を策定した。事業基盤強化、成長戦略、ESG経営深化など主要施策の大半を2023年度までに実行し、2025年度にかけて深耕を図る。連結経常利益目標は2023年度420億円、2025年度450億円以上。鉄鋼事業が収益拡大や成長戦略をけん引する。

5年間の事業投資・設備投資は750億円、システム投資は170億円。トップヘビーで施策を進め、施策効果の50%以上は2021年度の実現を目指す。

連結鋼材取扱数量は2019年度1,992万トン（下期968万トン）から2020年度1,685万トン（同870万トン）に低下したが、2021年度は1,860万トン（同960万トン）への回復を見込み、2023年度は2,100万トン以上を計画する。

次世代車、電磁鋼板、再生可能エネルギー関連など高付加価値材や高機能材を重点強化する。建材、自動車向けの強化や海外事業の深化・拡充、DX戦略によるサプライチェーン一貫の効率化も推進する。（5月11日）

愛知製鋼、新中期経営計画を策定 生産リエンジニア推進、新分野を拡大

愛知製鋼は2023年度までの新中期経営計画を策定した。カーボンニュートラルへの対応策として「減らす・再利用・再生可能」（4R）の視点から技術開発、工程革新を進め、鍛鋼一貫技術による電動車部品・CASE部品の開発・受注強化を進める。印

バルドマンの特殊鋼供給などインド・アセアン地域でのグローバル供給体制も構築する。2023年度は売上高2,580億円（2020年度比22.4%増）、営業利益150億円（同4.23倍）を目指す。

「持続可能な地球環境への貢献」では、生産リエンジニア、工程省略、次世代電気炉の検討などのプロセス改革を進め、電気炉排熱を蒸気エネルギーに変換するシステムの運用や新蓄熱材による再利用を進める。

「事業の変革で豊かな社会を創造」では、鍛鋼一貫技術を駆使した長尺部品や新素材部品の開発・実用化、高性能磁石粉末と高強度材料を融合したCASE部品の受注拡大を進める。

（5月11日）

神戸製鋼所、中期経営計画を策定 製鉄事業、粗鋼630万トンで利益

神戸製鋼所は2021年度から3カ年の中期経営計画を発表した。カーボンニュートラルへの挑戦では、2030年度の鉄鋼事業のCO2排出量を2013年度比30～40%減らす目標を掲げた。ROIC（投下資本利益率）は2023年度に5%以上に高める。

安定収益基盤の確立に向け、不採算事業の再構築に取り組む。2019年度に減損損失を計上した鋳鍛鋼、チタンに加え、赤字が続くクレーン事業で合理化策を実施する。鋳鍛鋼は大規模な要員削減を実施し、不採算品種から撤退する。チタンは要員削減に加え、上工程の稼働体制などを見直す。

製鉄事業では長期的に鋼材の国内需要が縮小すると想定。粗鋼生産量630万トンの前提で安定収益を確保できる体制を構築。600万トンでも黒字を確保できるようにする。コスト削減や固定費削減に加え、海外事業で収益力を強化。最終年度に経常利益（在庫評価影響除く）230億円以上を目指す。（5月12日）

業界のうごき

山陽特殊製鋼が5カ年経営計画 25年度に経常利益140億円

山陽特殊製鋼は、2025年度を最終年度とする5カ年経営計画を策定した。海外事業の収益力強化、日本製鉄・オバコとの3社シナジーのフル発揮、EV・風力発電・鉄道・水素社会関連などの技術先進性の拡大に取り組む。

今後は特殊鋼内需の縮小、国内外の特殊鋼メーカーとの競争激化、鉄源調達の競争激化が見込まれる。連結ベースの事業基盤を強化し、安定的な収益を確保する企業体質を確立し、グローバル市場で企業価値の向上を図る。

2025年度の連結業績目標は売上高2,800億円、経常利益140億円（のれん償却費を除くと163億円）。主要3社の売上数量と経常利益は山特が75万トンで90億円、オバコが60万トンで60億円、MSSSが13万5,000トンで4億円を見込む。

5年間の設備投資総額は減価償却費を下回る600億円。カーボンニュートラル対応（省エネ）やDX推進も行う。研究開発費は前中計並みの125億円。（5月6日）

JFEスチール、鉄スクラップ活用 安定調達に転換、CO2削減へ

JFEスチールは、地球温暖化対策の一環として鉄スクラップの使用を拡大する。今年度から購入を本格化する。まず年間20万～25万トンを購入し、徐々に増やしていく。従来のスポット的な調達を見直し、安定購入による調達ルート構築に軸足を移す。

購入品種の中心はHSで、工場リターンの新断も一部購入する。数年後に数百万トン規模に拡大する可能性がある。国内のスクラップ市場にも影響を与えそうだ。

鉄スクラップを安定購入するのは、製鉄工程でのCO2排出削減を進めるため。昨年、鉄鋼事業で2030年

度のCO2排出量を2013年度比20%以上削減する総量削減目標を高炉メーカーで初めて表明した。スクラップの購入を拡大するのは西日本製鉄所の福山、倉敷両地区のほか東日本製鉄所の千葉地区。西日本ではきょう5日から購入に入る。数量的には西の両地区が中心となりそうだ。（4月5日）

大同特殊鋼、鋼材営業本部を新設 内需減少見据え、全体最適化推進

大同特殊鋼は、6月1日付で大掛かりな組織再編を行う。策定作業が最終段階に入った新中期経営計画を、新組織で実行する。特殊鋼、工具鋼などの内需が中期的に漸減するとみて、全体最適の組織とするために「鋼材営業本部」を新設する。自動車、ステンレス・軸受産機の両ビジネスユニットを廃止して「特殊鋼営業部」「ステンレス営業部」を置き、海外事業部（6月廃止）のうち関係する部門を編入し「海外営業部」を新設する。

素形材、工具鋼の両事業部は「素形材・工具鋼事業部」に統合し、海外営業も事業部内に置き「高合金海外営業部」「工具鋼海外営業部」としてスタートする。同事業部では自動車、航空機分野の需要増が見込みにくい中、渋川工場に由来する製品の最適化を進める。

製造部門では生産技術部、知多工場、星崎工場を一元的に統括する「鋼材生産本部」を新設する。（5月6日）

日本製鉄、車体設計モデルを考案 EV、次世代移動体向け

日本製鉄は、同社が考案した次世代の鋼製自動車設計モデル「エヌ・セーフ・オート・コンセプト（NSAC）」のラインアップを拡充した。従来は自動車全般を対象とする1種類だったが、EVなど電動車向けと、次世代モビリティ（移動体）向けに特化した2種類のコンセプトを追加し

た。次世代モビリティ向けでは、少量生産を考慮し、鋼管を駆使した金型不要の車づくりも提案する。

電動車向けでは、世界最高の1.5GPa級冷間プレス用超ハイテンやGPa級ホットスタンプ鋼板に加え、電動車特有の電池やバッテリーボックスなどの部材も考慮した素材や構造を提案する。例えば、バッテリーボックスはアルミ製と重量は同等で大幅なコスト削減が可能な「オール鋼製バッテリーボックス」を開発済みで、提案活動を2021年度下期から本格的に始める予定。冷却用管材やセルケースも鉄鋼製品への置き換えを目指す。（5月26日）

日立製作所、日立金属売却で合意 ベイン連合が完全子会社化へ

日立製作所は、ベインキャピタル、日本産業パートナーズ、ジャパン・インダストリアル・ソリューションズの日米ファンド連合に対して、日立金属株（53%）を売却する契約（公開買付不応募契約）を締結した。譲渡予定額は3,820億円（1株1,674円）で、日立は2022年3月期の単独決算で関係会社株式売却益3,280億円、連結決算で事業再編等利益1,140億円を計上する予定。ベイン連合は11月に株式公開買付（1株2,181円）を開始する予定で、2022年3月までに完全子会社化する方針だ。

日立と日立金属は2020年7月、売却の本格的検討で合意し、11月から買い手候補への打診や入札手続きを進め、今年4月、ベイン連合を最終買付候補者として選定した。

日立金属は、ベイン連合の知見や投資先企業のネットワークも活用し、再成長による企業価値の向上を目指す。経営体制や経営方針は買収完了後に両者協議で決める。（4月30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	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計	
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力	その他			
'19 暦年	220,798	4,696,002	3,849,414	8,545,416	397,465	939,803	2,667,128	570,971	5,335,063	506,642	10,417,072	19,183,286		
'20 暦年	155,917	3,419,635	2,861,119	6,280,754	294,388	646,096	2,172,096	421,126	4,144,375	388,543	8,066,624	14,503,295		
'19 年度	208,719	4,424,471	3,684,277	8,108,748	371,016	858,786	2,648,575	548,062	5,236,485	483,150	10,146,074	18,463,541		
'20 年度	161,061	3,578,698	2,956,593	6,535,291	309,316	702,538	2,114,557	428,594	4,157,054	397,469	8,109,528	14,805,880		
'20.	4-6月	38,716	634,069	547,545	1,181,614	55,850	133,035	486,844	78,179	799,176	76,124	1,629,208	2,849,538	
	7-9月	30,823	715,392	630,347	1,345,739	66,102	128,391	443,432	78,650	924,824	76,315	1,717,714	3,094,276	
	10-12月	39,324	1,056,354	833,297	1,889,651	89,865	208,530	568,149	131,180	1,171,253	116,441	2,285,418	4,214,393	
'21.	1-3月	52,198	1,172,883	945,404	2,118,287	97,499	232,582	616,132	140,585	1,261,801	128,589	2,477,188	4,647,673	
'20年	3月	16,898	350,072	283,398	633,470	29,740	62,061	225,586	49,338	402,851	43,247	812,823	1,463,191	
	4月	15,670	267,876	220,510	488,386	24,788	55,965	172,201	30,273	311,152	36,720	631,099	1,135,155	
	5月	12,532	195,199	166,504	361,703	12,185	44,349	170,977	26,008	242,975	18,400	514,894	889,129	
	6月	10,514	170,994	160,531	331,525	18,877	32,721	143,666	21,898	245,049	21,004	483,215	825,254	
	7月	8,719	203,852	186,060	389,912	17,074	36,501	146,824	20,920	245,162	25,915	492,396	891,027	
	8月	10,525	236,816	203,918	440,734	22,146	39,616	143,755	25,808	340,111	22,508	593,944	1,045,203	
	9月	11,579	274,724	240,369	515,093	26,882	52,274	152,853	31,922	339,551	27,892	631,374	1,158,046	
	10月	12,981	334,660	277,006	611,666	28,171	61,704	195,552	42,467	386,279	44,238	758,411	1,383,058	
	11月	12,979	356,087	274,536	630,623	32,032	72,584	179,340	44,175	375,623	35,515	739,269	1,382,871	
	12月	13,364	365,607	281,755	647,362	29,662	74,242	193,257	44,538	409,351	36,688	787,738	1,448,464	
	'21年	1月	15,682	372,859	296,328	669,187	30,002	66,332	204,565	41,230	416,562	40,591	799,282	1,484,151
	2月	16,845	374,034	309,346	683,380	32,617	80,647	199,435	46,797	381,683	41,284	782,463	1,482,688	
3月	19,671	425,990	339,730	765,720	34,880	85,603	212,132	52,558	463,556	46,714	895,443	1,680,834		
4月	18,294	408,808	340,632	749,440	29,946	80,297	212,529	48,060	381,395	37,097	789,324	1,557,058		
前月比	93.0	96.0	100.3	97.9	85.9	93.8	100.2	91.4	82.3	79.4	88.1	92.6		
前年同月比	116.7	152.6	154.5	153.5	120.8	143.5	123.4	158.8	122.6	101.0	125.1	137.2		

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		
'19 暦年	327,633	5,859,800	1,229,819	3,910,932	1,310,485	6,550,016	19,188,685		
'20 暦年	236,085	4,263,744	r 846,580	2,974,323	1,048,015	r 5,137,647	r 14,506,394		
'19 年度	293,237	5,497,480	r 1,202,234	3,709,327	1,333,238	6,433,580	r 18,469,096		
'20 年度	237,286	4,512,899	780,205	3,099,528	935,791	5,243,680	14,809,389		
'20.	4-6月	60,177	771,677	220,453	536,404	264,727	r 996,104	r 2,849,542	
	7-9月	55,332	937,551	154,755	624,189	232,033	r 1,090,305	r 3,094,165	
	10-12月	58,373	1,328,262	181,667	944,369	205,498	1,497,941	4,216,110	
'21.	1-3月	63,404	1,475,409	223,330	994,566	233,533	1,659,330	4,649,572	
'20年	3月	20,168	422,243	r 95,776	306,114	130,682	488,736	r 1,463,719	
	4月	19,558	314,292	90,566	230,476	106,283	374,493	1,135,668	
	5月	20,843	227,442	69,200	163,329	83,012	325,713	889,539	
	6月	19,776	229,943	60,687	142,599	75,432	r 295,898	r 824,335	
	7月	14,200	271,118	51,873	175,454	70,754	r 306,362	r 889,761	
	8月	19,901	294,972	56,740	209,847	90,605	373,878	1,045,943	
	9月	21,231	371,461	46,142	238,888	70,674	410,065	1,158,461	
	10月	16,633	418,930	67,675	315,453	68,393	496,500	1,383,584	
	11月	15,719	453,040	48,237	318,676	64,243	483,691	1,383,606	
	12月	26,021	456,292	65,755	310,240	72,862	517,750	1,448,920	
	'21年	1月	21,061	441,608	71,368	322,516	68,734	559,604	1,484,891
	2月	19,947	483,262	76,603	319,688	69,074	514,532	1,483,106	
3月	22,396	550,539	75,359	352,362	95,725	585,194	1,681,575		
4月	26,225	496,073	92,222	331,137	87,015	524,889	1,557,561		
前月比	117.1	90.1	122.4	94.0	90.9	89.7	92.6		
前年同月比	134.1	157.8	101.8	143.7	81.9	140.2	137.1		

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	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'19 曆年	273,872	2,970,829	1,631,511	4,602,340	62,907	376,372	1,488,018	141,142	89,625	82,507	2,240,571	7,116,783
'20 曆年	209,727	2,198,378	1,185,987	3,384,365	56,123	314,764	1,229,083	109,383	64,711	85,442	1,859,506	5,453,598
'19 年度	259,702	2,759,143	1,499,742	4,258,885	52,877	356,356	1,413,730	132,161	90,062	96,935	2,142,121	6,660,708
'20 年度	211,779	2,240,670	1,213,083	3,453,753	55,083	328,523	1,232,187	108,689	56,572	82,995	1,864,049	5,529,581
'20年 8月	14,036	148,067	82,830	230,897	5,764	22,220	88,643	7,597	3,246	5,682	133,152	378,085
9月	18,471	197,384	109,514	306,898	3,667	26,891	97,931	9,840	4,469	7,239	150,037	475,406
10月	22,075	215,984	116,893	332,877	3,786	30,108	113,116	10,994	5,076	9,118	172,198	527,150
11月	20,060	223,300	118,890	342,190	3,797	29,833	107,572	10,877	5,341	8,080	165,500	527,750
12月	19,198	212,895	116,174	329,069	4,115	32,289	110,681	10,489	4,445	7,885	169,904	518,171
'21年 1月	19,301	206,653	113,994	320,557	5,331	29,306	102,934	10,022	4,799	7,090	159,482	499,340
2月	19,867	214,669	116,185	330,854	3,973	31,812	108,305	9,873	5,559	7,156	166,678	517,399
3月	22,738	250,014	133,247	383,261	4,446	37,844	122,607	11,656	5,635	8,245	190,433	596,432
4月	21,847	227,909	135,300	363,209	4,454	34,106	118,314	11,795	4,469	8,088	181,226	566,282
前月比	96.1	91.2	101.5	94.8	100.2	90.1	96.5	101.2	79.3	98.1	95.2	94.9
前年同月比	136.4	116.3	142.8	124.9	72.4	111.5	103.1	145.2	68.6	116.3	104.7	118.0

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	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'19 曆年	10,060	251,976	163,330	415,306	24,572	30,691	129,191	26,275	186,987	18,501	416,217	841,583
'20 曆年	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375
'19 年度	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885
'20 年度	6,109	225,231	149,743	374,974	25,103	34,654	118,733	24,034	145,894	22,503	370,921	752,004
'20年 8月	9,583	210,890	130,165	341,055	20,347	25,894	126,687	25,949	152,155	20,799	371,831	722,469
9月	8,643	216,613	137,222	353,835	24,446	27,250	126,084	24,567	142,030	17,733	362,110	724,588
10月	7,381	213,585	143,386	356,971	23,041	24,409	130,016	26,432	124,538	22,502	350,938	715,290
11月	6,872	222,657	137,302	359,959	23,241	29,122	125,589	30,573	125,169	18,544	352,238	719,069
12月	7,121	227,632	138,579	366,211	23,123	34,242	122,999	27,331	143,334	23,014	374,043	747,375
'21年 1月	7,158	255,179	155,206	410,385	25,544	31,991	138,693	29,167	131,346	22,187	378,928	796,471
2月	6,555	239,586	156,812	396,398	25,822	36,594	129,251	30,959	130,458	22,293	375,377	778,330
3月	6,109	225,231	149,743	374,974	25,103	34,654	118,733	24,034	145,894	22,503	370,921	752,004
4月	6,536	245,760	156,815	402,575	21,217	34,341	121,437	28,162	150,477	20,214	375,848	784,959
前月比	107.0	109.1	104.7	107.4	84.5	99.1	102.3	117.2	103.1	89.8	101.3	104.4
前年同月比	63.8	103.8	107.9	105.4	98.3	125.7	92.4	102.5	108.7	77.0	100.9	102.6

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						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'19 曆年	78,181	249,537	186,489	436,026	12,273	59,071	178,758	14,078	10,161	9,526	283,867	798,074
'20 曆年	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618
'19 年度	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121
'20 年度	64,494	277,040	177,841	454,881	11,736	53,793	217,355	14,206	16,535	5,470	319,095	838,470
'20年 8月	75,141	250,970	172,131	423,101	12,522	52,200	194,218	13,730	11,399	8,839	292,908	791,150
9月	71,130	238,234	164,101	402,335	11,745	50,418	189,626	13,728	12,014	8,408	285,939	759,404
10月	67,206	240,411	158,135	398,546	11,634	50,842	190,187	12,160	12,765	7,146	284,734	750,486
11月	65,151	240,640	163,345	403,985	11,733	52,530	193,514	11,592	12,940	7,021	289,330	758,466
12月	65,383	253,328	167,185	420,513	11,503	54,038	203,455	12,278	13,904	6,544	301,722	787,618
'21年 1月	64,386	256,029	167,332	423,361	11,084	52,368	204,097	12,410	14,614	6,040	300,613	788,360
2月	64,164	259,558	171,415	430,973	11,629	54,528	205,009	12,627	15,196	5,722	304,711	799,848
3月	64,494	277,040	177,841	454,881	11,736	53,793	217,355	14,206	16,535	5,470	319,095	838,470
4月	63,604	277,061	171,374	448,435	12,001	51,579	218,795	12,503	17,211	5,220	317,309	829,348
前月比	98.6	100.0	96.4	98.6	102.3	95.9	100.7	88.0	104.1	95.4	99.4	98.9
前年同月比	82.0	109.5	95.4	103.6	98.8	94.6	119.3	82.8	169.4	51.9	111.2	104.2

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	
'19 曆年	37,039	373,118	549,771	922,888	187,541	912,981	96,189	78,476	1,100,522	3,982	4,847,994	4,851,976	7,087,091
'20 曆年	29,024	265,564	383,431	648,995	130,574	777,330	83,044	59,199	1,050,147	3,072	4,101,391	4,104,463	5,832,629
'19 年度	35,063	353,608	527,588	881,195	174,665	925,925	95,132	74,822	1,270,544	3,858	5,014,950	5,018,808	7,205,611
'20 年度	30,661	286,158	400,957	687,115	139,795	757,172	88,335	64,008	1,049,310	2,961	4,065,480	4,068,440	5,835,525
'20年 7月	2,836	14,098	19,665	33,763	8,221	56,127	1,796	4,334	70,478	305	249,855	250,159	357,237
8月	1,983	13,484	23,285	36,769	6,245	57,535	4,926	3,441	72,147	142	277,626	277,769	388,668
9月	1,775	12,884	27,186	40,070	9,382	45,567	6,572	2,621	64,141	253	328,185	328,438	434,424
10月	2,498	24,833	37,550	62,383	13,288	57,993	6,954	3,156	81,391	379	340,546	340,926	487,198
11月	1,992	26,606	33,389	59,995	15,031	60,944	6,695	9,079	91,749	196	335,794	335,990	489,725
12月	2,235	32,316	37,808	70,124	14,412	67,390	10,864	4,911	97,578	272	363,013	363,285	533,222
'21年 1月	3,183	25,587	38,346	63,933	11,713	57,928	4,467	7,942	82,049	181	364,359	364,540	513,705
2月	2,564	38,176	48,129	86,305	16,091	67,838	10,163	8,273	102,365	161	441,152	441,313	632,547
3月	3,125	40,425	51,136	91,561	16,263	81,725	14,173	6,782	118,943	292	478,149	478,441	692,070
4月	3,349	34,237	53,406	87,642	18,100	74,679	9,205	3,662	105,647	240	471,003	471,243	667,881
前月比	107.2	84.7	104.4	95.7	111.3	91.4	64.9	54.0	88.8	82.2	98.5	98.5	96.5
前年同月比	104.4	159.8	178.1	170.5	146.7	97.7	114.0	42.3	100.1	67.7	135.1	135.0	131.2

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
'19 曆年	3,901	7,382	557	15,075	8,603	193,072	15,995	233,301	306	8,622	536,308	544,930	789,819
'20 曆年	4,425	8,681	481	11,582	7,806	182,037	15,644	217,550	226	5,508	378,421	383,929	614,813
'19 年度	4,566	8,270	575	14,214	7,762	198,515	15,501	236,568	283	8,259	476,144	484,403	734,090
'20 年度	3,570	8,042	435	11,445	8,396	188,470	15,730	224,477	250	6,395	358,609	365,004	601,343
'20年 7月	384	831	40	1,095	863	12,791	1,345	16,135	12	51	27,006	27,058	44,418
8月	228	437	38	817	796	12,051	1,223	14,925	-	101	28,064	28,164	43,755
9月	224	590	28	1,141	769	13,070	1,131	16,139	10	41	33,604	33,645	50,609
10月	189	651	41	720	448	12,922	1,154	15,285	12	551	25,953	26,504	42,640
11月	195	749	49	923	925	14,371	1,088	17,358	38	234	38,517	38,750	57,090
12月	250	994	52	897	969	14,548	1,474	17,941	38	519	24,100	24,619	43,842
'21年 1月	183	377	18	871	896	20,742	1,362	23,889	-	669	20,208	20,877	45,326
2月	238	605	32	1,003	512	18,060	1,223	20,829	57	618	28,153	28,771	50,501
3月	266	582	28	838	702	21,712	1,541	24,821	35	991	36,441	37,433	63,137
p 4月	207	950	18	998	1,104	17,196	1,600	20,916	15	575	43,745	44,320	66,408
前月比	77.9	163.4	63.0	119.1	157.1	79.2	103.9	84.3	42.8	58.0	120.0	118.4	105.2
前年同月比	38.7	140.4	48.5	88.5	204.3	92.9	99.1	95.8	59.7	27.5	170.6	159.8	130.7

出所: 財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p: 速報値

関連産業指標推移

(単位: 台)

(単位: 億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	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			
'19 曆年	9,684,294	1,232,917	4,818,132	324,973	5,195,216	880,539	-	192,203	110,794	10,972	104,323	48,441	12,299
'20 曆年	8,067,943	1,037,731	3,740,832	259,879	4,598,615	779,300	-	180,833	108,419	r 8,267	95,570	46,022	9,018
'19 年度	9,489,302	1,196,578	4,714,027	318,555	5,038,727	852,328	-	190,374	r 111,917	9,935	104,036	47,879	10,995
'20 年度	7,969,529	1,064,697	3,670,703	275,189	4,656,632	790,406	-	184,423	105,357	8,732	94,870	50,322	9,885
'20年 7月	697,867	87,359	291,171	14,746	396,346	64,869	-	14,058	8,496	694	7,582	2,665	698
8月	556,276	69,435	269,953	14,684	326,439	55,537	-	11,140	6,331	570	7,619	4,850	680
9月	821,092	98,372	378,337	23,761	469,706	78,192	-	16,646	9,050	r 954	7,345	4,182	841
10月	838,205	101,870	413,862	26,153	406,851	66,472	-	18,524	8,901	960	8,274	3,067	822
11月	782,237	101,074	394,890	26,910	411,601	74,200	-	16,896	9,002	827	8,368	3,160	887
12月	751,629	93,248	370,651	30,178	379,896	64,081	-	17,037	8,723	734	8,809	3,829	991
'21年 1月	687,029	93,541	305,014	25,071	384,442	59,480	-	15,743	8,175	669	8,417	2,623	886
2月	704,800	102,156	r 337,567	32,373	r 432,298	r 69,701	-	17,766	8,956	730	7,698	9,873	1,056
3月	869,937	120,010	395,656	36,579	613,003	101,087	-	19,777	10,878	802	7,981	6,611	1,279
4月	-	-	355,659	33,988	349,894	61,049	-	19,490	9,105	804	8,029	3,413	1,240
前月比	-	-	89.9	92.9	57.1	60.4	-	98.5	83.7	100.2	100.6	51.6	96.9
前年同月比	-	-	183.7	192.8	129.4	121.2	-	147.8	89.2	155.8	105.7	90.9	220.8

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

2021年4月分

鋼種別	項目	月別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年同月比 (%)	2015年基準指数 (%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	18,294	93.0	116.7	88.8		
	鋼材輸入実績	207	77.9	38.7	67.2		
	販売業者	受入計	20,957	90.8	137.5	77.6	
		販売計	21,847	96.1	136.4	83.2	
		うち消費者向	18,246	96.6	138.4	96.4	
		在庫計	63,604	98.6	82.0	107.7	
	鋼材輸出船積実績	3,349	107.2	104.4	70.3		
	生産者工場在庫	6,536	107.0	63.8	78.8		
	総在庫	70,140	99.3	79.9	104.1		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	749,440	97.9	153.5	109.5	
販売業者		受入計	356,763	87.6	119.3	54.6	
		販売計	363,209	94.8	124.9	55.6	
		うち消費者向	283,987	92.5	122.2	64.7	
		在庫計	448,435	98.6	103.6	127.4	
鋼材輸出船積実績		87,642	95.7	170.5	106.6		
生産者工場在庫		402,575	107.4	105.4	115.1		
総在庫		851,010	102.5	104.4	121.3		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	29,946	85.9	120.8	83.3	
		鋼材輸入実績	950	163.4	140.4	233.2	
	販売業者	受入計	4,719	103.6	80.4	22.3	
		販売計	4,454	100.2	72.4	21.2	
		うち消費者向	2,978	101.4	123.7	64.0	
		在庫計	12,001	102.3	98.8	98.3	
	鋼材輸出船積実績	18,100	111.3	146.7	115.1		
	生産者工場在庫	21,217	84.5	98.3	82.2		
	総在庫	33,218	90.2	98.5	87.3		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	212,529	100.2	123.4	92.5	
鋼材輸入実績		20,916	84.3	95.8	144.5		
販売業者		受入計	119,754	88.7	100.1	47.8	
		販売計	118,314	96.5	103.1	47.1	
		うち消費者向	61,382	92.5	93.6	109.8	
		在庫計	218,795	100.7	119.3	160.1	
鋼材輸出船積実績		74,679	91.4	97.7	85.2		
生産者工場在庫		121,437	102.3	92.4	105.4		
総在庫		340,232	101.2	108.0	135.1		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	48,060	91.4	158.8	93.7	
	販売業者	受入計	10,092	76.3	122.1	71.4	
		販売計	11,795	101.2	145.2	82.0	
		うち消費者向	11,329	98.4	143.0	81.4	
		在庫計	12,503	88.0	82.8	92.4	
	鋼材輸出船積実績	9,205	64.9	114.0	96.2		
	生産者工場在庫	28,162	117.2	102.5	101.5		
	総在庫	40,665	106.3	95.5	98.5		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	381,395	82.3	122.6	92.4	
		販売業者	受入計	5,145	73.8	68.1	50.0
販売計			4,469	79.3	68.6	43.9	
うち消費者向			3,650	76.9	63.1	54.5	
在庫計			17,211	104.1	169.4	157.0	
生産者工場在庫		150,477	103.1	108.7	79.3		
総在庫		167,688	103.2	112.8	83.6		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	117,394	88.7	126.7	84.8	
		販売業者	受入計	39,730	88.1	540.7	98.0
			販売計	42,194	91.5	606.8	104.1
	うち消費者向		40,228	90.1	624.2	109.5	
	在庫計		56,799	95.8	564.5	106.9	
	生産者工場在庫	54,555	95.4	101.8	78.9		
	総在庫	111,354	95.6	175.0	91.0		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,557,058	92.6	137.2	99.0	
		鋼材輸入実績計	66,408	105.2	130.7	81.7	
		販売業者	受入計	557,160	87.7	112.5	54.8
販売計			566,282	94.9	118.0	55.7	
うち消費者向			421,800	92.5	116.9	73.2	
在庫計			829,348	98.9	104.2	130.1	
鋼材輸出船積実績計		667,881	96.5	131.2	103.9		
生産者工場在庫		784,959	104.4	102.6	99.9		
総在庫		1,614,307	101.5	103.4	113.4		

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、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(2021年4月1日～5月31日)

総会 (5月31日・対面会議+Web会議)

- ①2020年度事業報告について
- ②2020年度決算について
- ③役員(理事及び監事)の任期満了に伴う選任について

理事会

第1回 (5月14日・Web会議)

- ①2020年度事業報告について
- ②2020年度決算について
- ③役員(理事及び監事)の任期満了に伴う選任について
- ④職員(事務局長)の採用について
- ⑤第40回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 総務・財務分科会合同委員会

第1回 (5月11日・Web会議)

- ①2020年度事業報告について
- ②2020年度決算について
- ③役員(理事及び監事)の任期満了に伴う選任について
- ④職員(事務局長)の採用について
- ⑤第40回定時総会招集について

2020年度監事監査 (4月27日・対面)

市場開拓調査委員会

調査WG (5月10日・Web会議)

- ①2020年度調査事業「自動車産業における特殊鋼製品のサプライチェーンの変化」最終報告
- ②2021年度調査事業について(プレーストリーミング)

特殊鋼関連記号集編集委員会 (4月27日・Web会議)

- ①「特殊鋼関連記号集2019年度改定版」最終原稿(案)の検討
- ②今後のスケジュール

編集委員会

本委員会 (4月8日・Web会議)

- ①9月号特集「在庫・物流(仮題)」の編集方針、内容の確認
- ②2022年1月号以降の特集テーマの選定

小委員会 (5月19日・Web会議)

11月号特集「工程省略材(仮題)」の編集内容の検討

9月号特集「在庫・物流(仮題)」全日本特殊鋼流通協会座談会 (5月26日・対面)

流通委員会

説明会 (4月14日)

演題: 2021年度第2・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 谷内 愛氏

方式: オンライン配信

参加者: 49名

特殊鋼統計連絡会

第1回 (5月27日・Web会議)

経済産業省金属課実施の特殊鋼に関する一般統計の見直しについて

[大阪支部]

2021年度臨時三団体責任者会議 (4月2日・対面)

- ①青田新運営委員長ご紹介挨拶
- ②オンライン講演会・説明会・研修の本部・他支部への案内と参加

2020年度会計監査 (5月14日・対面)

運営委員会 (5月14日・対面会議+Web会議)

- ①2020年度事業・収支報告
- ②2021年度事業計画(案)・収支予算(案)
- ③2021年度役員体制(案)

説明会 (4月14日・全特協との共催)

演題: 2021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
谷内 愛 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：26名

[名古屋支部]

運営委員会（4月14日・Web会議）
定時総会内容事前確認

部会

構造用鋼部会（4月15日・Web会議）

工具鋼部会（5月18日・Web会議）
ステンレス鋼部会（5月20日・Web会議）

二団体共催新入社員研修（4月21日・オンライン研修）

①コンプライアンス研修

講 師：善利弁護士

②仕事の基本、ビジネスマナー

講 師：名南経営 三軒 氏

参加者：20名

2020年度会計監査（4月28日・対面）



特殊鋼倶楽部の動き

「第8回高機能金属展 関西展」(於：インテックス大阪)へ出展しました

当倶楽部は6月23日～25日、インテックス大阪にて開催されました「第8回高機能金属展関西展」の協賛団体となると共に昨年に引き続き2回目の出展を致しました。

当倶楽部ブースには、会員様企業から自社製品PRを目的として秋山精鋼(株)様、クマガイ特殊鋼(株)様の2社が同時出展し、積極的なPR活動を実施しました。

コロナ禍にもかかわらず、ブースにはさまざまな業種の多くの方々にお立ち寄り頂き、特殊鋼及び当倶楽部の認知度アップに貢献致しました。

以下に、会場写真を掲載いたします。



【(写真左から) 秋山精鋼(株)様、クマガイ特殊鋼(株)様】

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 103社</p> <p>合 計 128社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>高 周 波 熱 錬 (株)</p> <p>(株)神 戸 製 鋼</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 鉄 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 製 鉄 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)広島メタル&マシナリー</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>住友商事グローバルメタルズ(株)</p> <p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大同DMソリューション(株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デルタステール(株)</p> <p>東京貿易マテリアル(株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>(株)ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 島 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>日 立 金 属 商 事 (株)</p>	<p>(株)日 立 ハ イ テ ク</p> <p>(株)平 井</p> <p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)プ ル ー タ ス</p> <p>平 和 鋼 材 (株)</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 ス チ ー ル (株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

今月号は「特殊鋼製造のやさしい解説」を企画しました。特殊鋼製造に関しては2015年5月号で「よくわかる特殊鋼の製造プロセス」の特集が組まれています。特殊鋼は自動車、航空機、産業機械など様々な分野で活躍しており、数年ごとに特殊鋼製造に関する特集を組むことは読者の皆様にご興味を持っていただけたと思います。

本特集号では特殊鋼製造の概論、特殊鋼の製造方法、最新設備についてご紹介いただきました。特殊鋼の製造方法では製鋼、連铸、圧延などの各工程について、より理解を深めていただくために図解や写真を用いてわかりやすく解説いただきました。

特殊鋼は高い強度が必要な部品や高温環境で使用するような部品など、他の素材では置き換えることができない重要な部分に使用されています。今後は脱炭素社会に向けた水素などの新しいエネルギー活用や自動車の電動化が進むと考えられ、特殊鋼が活躍することに期待したいと思います。読者の皆様が特殊鋼の製造方法を理解していただき、少しでも業務にお役立ていただければ幸いです。

本特集号にご寄稿いただきました執筆者の皆様、ご協力いただきました編集委員の皆様および事務局の皆様がこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 おがわ みちはる
ソリューション支援室 兼 企画室 小川 道治〕

特 集 / 特殊鋼取引における在庫と物流

- I. 総論
- II. 特殊鋼の取引形態
- III. 特殊鋼問題の在庫機能と特色
- IV. 特殊鋼の物流管理と特色
- V. 会員企業の在庫・物流

11月号特集予定…脱炭素社会に対応する特殊鋼

特 殊 鋼

第 70 卷 第 4 号
© 2 0 2 1 年 7 月
2021年6月25日 印 刷
2021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。