

特殊鋼

2021
Vol.70 No.3

5

The Special Steel

特集／よくわかる特殊鋼の熱処理



特殊鋼

| 5 | 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)
〃	及川 誠	(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／よくわかる特殊鋼の熱処理】

I. 熱処理技術の現状と今後の展望

.....日本パーカラizing(株)	渡邊 陽一	2
---------------------	-------	---

II. 特殊鋼の熱処理

1. 一般

(1) 焼ならし.....	愛知製鋼(株)	宇田川毅志	6
(2) 焼なまし.....	山陽特殊製鋼(株)	桂 隆之	8
(3) 焼入れ・焼戻し.....	(株)TONEZ	吉田 直之	11
(4) サブゼロ処理.....	日立金属(株)	平本 篤博	15
(5) 固溶化熱処理.....	日本冶金工業(株)	及川 誠	18

2. 表面硬化処理

(1) 浸炭.....	大同特殊鋼(株)	田中 優樹	22
(2) 窒化.....	DOWAサーモテック(株)	清水 克成	27
(3) 高周波焼入れ.....	高周波熱錬(株)	三阪 佳孝	31

III. 熱処理設備

1. 熱処理炉.....	中外炉工業(株)	白田 淳一	36
2. 浸炭焼入れ炉.....	河田技術士事務所	河田 一喜	40
3. 冷却媒体.....	出光興産	市谷 克実	44

IV. 会員メーカーの熱処理・素材技術

冷間鍛造性と結晶粒度特性に優れる高強度肌焼鋼

ECOMAX5(エコマックス5)...	山陽特殊製鋼(株)	松尾 健太	47
---------------------	-----------	-------	----

Hi-BSC®処理……………日立金属(株)、日立金属工具鋼(株) 平本 篤博 48

“特集”編集後記……………山陽特殊製鋼(株) 西森 博 65

●一人一題：「特殊鋼との付き合い」… 中川特殊鋼(株) 白神 哲夫 1

■業界のうごき…………… 49

▲特殊鋼統計資料…………… 52

★倶楽部だより（2021年2月1日～3月31日）…………… 56

☆特殊鋼倶楽部の動き…………… 58

◇お知らせ 2年連続、関西高機能金属展に特殊鋼倶楽部として出展… 60
第241回西山記念技術講座…………… 61

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧…………… 64

特集／「よくわかる特殊鋼の熱処理」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	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
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
〃	福岡 義晃	(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 次長
〃	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
〃	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
〃	及川 誠	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部長
〃	蓑口 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
〃	白神 哲夫	中川特殊鋼(株)	フェロー

一人一題

「特殊鋼との付き合い」

中川特殊鋼(株) しらが てつ お
フ エ ロ ー 白 神 哲 夫



技術屋（材料専門）でありながら、商社である中川特殊鋼の一員となって、もう数年が経ちました。いざ入ってみると、その業務は実に幅広いものです。若手の技術教育は当然として、鉄鋼メーカー様を始めとするお客様に対する技術的なサポート、社内の切断工場対応、また最近では海外材対応も増えています。以下では、このような状況に至った経緯を述べさせていただきます。

特殊鋼と具体的に付き合いだしたのは、約50年前です。大学で、まだ金属や冶金という学科の存在していたころ、特殊鋼学講座に配属され、特殊鋼の研究の幕開けでした。

鉄鋼メーカーに入社し、会社でも、特殊鋼の研究室に配属され、「卒業」まで研究一筋でした。会社に入って、一番驚いたのが、サンプルの豊富さでした。大学では、5kg鋼塊が、会社では150kgの鋼塊や実炉材が多数でした。試験片も大学では10mm角×1mm厚で、熱処理・研磨・光学顕微鏡観察などを自分で実施も、会社ではその当時すでにほとんど自分では実施しない状態でした。研磨も大学では一部で光沢があれば使用していましたが、会社ではφ25mmの断面を表層から中心までピカピカに研磨する技術を見て、驚嘆したことも今更ながら思い出します。

以来、特殊鋼棒線の材料開発に約40年関わって、純鉄から軸受鋼まで対応しました。すなわち、炭素量がほぼゼロの鋼材から、過共析の鋼材まで、まさに、鉄・炭素状態図を網羅していました。また、特殊鋼棒線は圧延のままで最終製品になるものは少なく、二次加工の工程が多く、引拔（伸線）・鍛造（冷間・温間・熱間）・切削・熱処理（表面硬化も含む）などが行われます。したがって、部品などを製造するこれらの工程に必要な特性（例えば、伸線性・冷鍛性・被削性・焼入性・表面硬化性など）を付与した材料開発が必要となります。

さらに、製品となって使用される際には、強度・靱性・疲労特性や細かく言うと、遅れ破壊特性などの特性が必要となります。これらの様々な特性を付与した鋼材を開発するわけで、すべてを満足することは不可能に近いですが、最適解を探すと言った方が早いということです。

重要なのは（重要だと気が付いたのは）、お客様といかにコミュニケーションをとるかということです。例えば、営業の方が、疲労特性の良いものが欲しいとの情報を入れてくれた場合、疲労特性の素晴らしいものを開発しても、部品を仕上げるまでに、上記の複雑な工程を通ります。その際に、この材料は割れないとか、鍛造しても型持ちが悪いとかでてきて、これではだめだとなることもありました。よく考えると、当たり前に思えますが、お客様とよく会話すれば、当然出て来ることです。営業の方から第一報をもらってから、足しげくお客様に通って、ご要望にお応えできる材料が開発できた時の喜びは素晴らしいものでした。その際に、お客様との間に立って動いてくれたのが中川特殊鋼の担当者でした。このような経験から、退職後は、是非お役に立ちたいと思っていました。

技術屋でも商社において幅広く活躍できること、これは社長以下の方々のより良いものをお客様に届けるという熱意によるものと思います。今後も、「特殊鋼」の世界で、お役に立てるよう、まだまだ頑張らせていただきます。

〔編集委員会 副委員長〕

特集

よくわかる特殊鋼の熱処理

I. 熱処理技術の現状と今後の展望

日本パーカライズング(株) 渡邊 陽一
執行役員・総合技術研究所副所長

まえがき

自動車における内燃機関の著しい進歩や電動化の勢いは予想以上であり、エンジン、変速機や減速機などパワートレイン系の鋼部材に求められる強度や機能は高まるばかりである。鋼部材の強度や機能は、合金成分と熱処理に左右されることは言うまでもない。

鋼は、Fe-Fe₃C平衡状態図から分かるように、熱処理によって様々に相変態し所望の組織、強さと靱性を得ることができる極めて魅力ある金属材料である。特殊鋼では、種々の合金成分と熱処理との組み合わせからさらに多様な機能特性を得ることができる。

本稿では、熱処理の中でも付加価値が高く近年多様化が進んでいる表面硬化熱処理に重点を置き、その歴史を含め現状と今後の動向について概観したい。

◇ 熱処理加工市場の現状と動向

世界全体の熱処理市場は日本円で約3兆円規模との試算がありその約20%弱が受託加工市場とされている。日本の金属熱処理加工、すなわち、焼ならし・焼なまし、焼入焼戻し、浸炭焼入れ、窒化・軟窒化、高周波焼入れおよび真空熱処理などで占める全加工高の推移を図1に示す。全加工高は、2008年のリーマンショック後順調に回復し2018年度には最高額の約1,200億円を更新した。これは過去5年間で約20%の伸びである。またこの間いずれの熱処理も増加傾向にある。熱処理種別

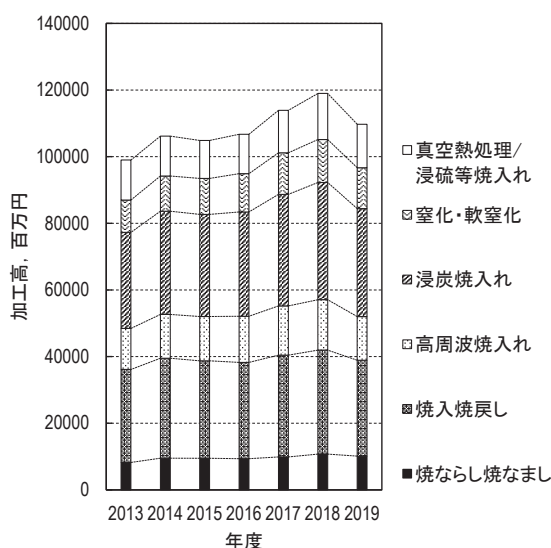


図 1 日本の金属熱処理加工高の年度推移（経済産業省統計データ（日本金属熱処理工業会調べ）に基づいて作成）

の比率の大きな変化はないが、窒化の加工高の増加率が約33%と最も大きく、わずかであるが比率も増加している。

2019年12月以降、新型コロナウイルス（COVID-19）感染症の感染拡大は、世界の経済活動に大打撃を与えた。熱処理産業においても例外でなく、緊急事態宣言の発令が4月にあった2020年度は1,000億円を割り込んだ。2020年半ばからは、中国の急速な経済成長を背景として自動車需要を中心に前年以上に回復を遂げており、日本の熱処理業界もすでに回復基調にある。今後、アフターコロ

ナ時代を背景とした自動車の電動化の加速による熱処理市場の動向予測は難しいが、市場が縮小するとは考えにくく、ものづくり産業における環境対応やDX（デジタルトランスフォーメーション）シフト実現に貢献する新たな熱処理市場が創出されると推察する。

◇ 熱処理用鋼材の変遷

熱処理技術を展望するに際し、まず、日本の熱処理鋼材の現在の規格が出来上がるまでの経緯概要を理解しておきたい。古くから鋼の強度（主に引張強さ）はほぼ焼入硬さによると考えられ、もっぱら焼入性や焼戻軟化性の観点から合金成分が検討されてきた。自動車の歯車やクランクシャフトなど駆動系部材の鋼を例にすれば、米国では、第二次大戦前はNi含有鋼が多用されていたが、戦時中合金成分の節約から低NiのCr-Mo鋼が研究され、大戦後規格化（例えばSAE8600）されている。英国（BS970に規定）もほぼ同じ傾向だったようである。ドイツは、高Ni含有鋼から低NiやNiフリー鋼に移行していく傾向は共通するが大戦中でも多種の合金鋼が使われたようである。また最大の特徴は、溶融塩による浸炭や窒化が発展しNiやMoを含有しないCr鋼でも十分な浸炭や窒化品質が確保されていたことである。日本の第二次大戦

直前から現在に近い規格になるまでの主な変遷を表1に簡単にまとめた。日本は、1930年代、SAE規格が適用されてはいたが、その多くが清浄度や結晶粒の不均一性といった品位において欧米に明らかに劣っていた。特に鍛造用炭素鋼では、成分不均一や表面・内部欠陥などの不良材が多く、鍛造割れ、熱処理割れなどが多かった。また、脱酸不十分なりムド鋼が出回り、熱処理後の不良を多く招いた。本山ら¹⁾は、戦後米国学術雑誌から学んだジョミニ試験の重要性を強く認識し、実験や調査に基づく膨大なデータを持って、鉄鋼メーカーやJIS鋼材委員会への説得交渉・提言などを行っている。その甲斐あって、鋼材の品質改善が進むと共に、1959年の焼入性保証鋼（H鋼）制定に至り、現在に近い鋼材の規格が出来上がった。

◇ 浸炭系熱処理の歴史と展望

浸炭の歴史は古く、紀元前15世紀頃のヒッタイト族の鉄製武器の加工に始まるとされる。日本では、平安時代後期、“たたら”（7世紀頃開始）で作られた“玉鋼”、別称“和鋼”を素材とする日本刀の固形浸炭や焼入れ処理が熱処理の起源とされていることは良く知られている。

現在の主流であるガス浸炭法は、ずっと後の1910年にアメリカのガス炉会社によって開発されたが、燃料ガスや炉材などの様々な問題から1925年まで実用化されなかった。日本では、第二次大戦後、数年のブランクを経て1950年に研究が再開され、1953年にアメリカからガス浸炭技術が導入されてプロパンガスを使った現在の吸熱型ガス浸炭になった²⁾。

メタン、プロパンやアセチレンなどの炭化水素ガスを炭素の供給源とし、数kPa程度の減圧下で浸炭する真空浸炭は、1972年にアメリカのC. I. Hayes社によって開発された。ガス浸炭に比較し浸炭効率に優れ、コールドチャンバーを使用した減圧雰囲気のため高温化（迅速化）しやすいことや粒界酸化を抑えられること、またCO₂の排出量も最大約50%低減できるなどの利点から、1990年代後半からヨーロッパにおいて、日本では2000年以降に急速に普及した。特に、フランスECM社によるセル方式真空炉の商品化（ICBP[®]）に成功してからは、欧州をはじめ米国、そして日本の自動

表 1 日本の熱処理鋼材の変遷の概要

1936年頃まで	ニッケル鋼、ニッケルクロム鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼
1937年頃	無ニッケル鋼（クロム鋼、クロムモリブデン鋼）の研究が開始する。
1938年頃～	ニッケル含有鋼は軍用のみとなる。
1941年頃～	無ニッケル鋼（クロム鋼、クロムモリブデン鋼）の使用が行渡る。
1945年～（終戦後～）	鋼材の新たな製造は皆無、戦時中の残材を使用する。このため正規材はなく各種鋼材が入り乱れ、異材混入、欠陥など頻発する。
1946年	JES（日本標準規格）が、臨時規格や新規格を経てJIS（日本工業規格）に統合する。
1950年	自動車工業会から自動車用鋼材品質向上対策委員会が発足する。
1959年	焼入れ性バンドを規定した“H鋼”が規定される。 （現在に近い規格が完成）

車用の量産歯車への適用で広く普及するに至った。当初は、黒鉛やタールの炉内付着・堆積などによる問題が生じ、真空浸炭における炭素浸入機構が解明されていないことが対策を困難にした。現在では、真空浸炭における炭素の浸入は、浸炭ガスから生成した黒鉛が鋼に吸収される機構として解明³⁾され、シミュレーションにより炭素濃度分布を予測できるようになった。今後、CO₂排出量が少なく安全性の高い真空浸炭炉の占める割合が増加することは間違いないであろう。

生産技術も大きく進歩しつつある。生産システムの理想を長年追求してきた成果として、2006年、真空浸炭による微浸炭を行った後高周波加熱水焼入れすることで、クリーンで安全な生産現場の実現と共に処理時間を約55%もの短縮化ができる“マイルド浸炭”技術⁴⁾が開発され国内外から注目された。さらに、近年、少量多品種生産による一個流し (one piece flow) 生産を理想とする考え方に基づいて研究開発が行われ、コンパクトな真空浸炭ガス焼入れ装置が開発・実用化されている。

また、近年の高性能内燃エンジン用駆動部品は高機能と高精度が求められる。例えば新型可変圧縮比ターボエンジンのリンク部品は、高疲れ強さ、高じん性かつ寸法の高精度化が必要とされる。部位による肉厚差が大きい当部品は、浸炭焼入れによる高い表面硬さと低ひずみの両立が難しい。平面 (一層) 積載の小型浸炭室で浸炭しその後ガス冷却できる前述の新設備による生産技術は、冷却の制御が可能で浸炭後の焼入れひずみを低減しやすいため、2017年に当部品の量産化⁵⁾に成功した。

◇ 窒化・軟窒化系熱処理の歴史と展望

窒化や軟窒化は、歴史的には、1923年にドイツKrupp社の冶金技術者A. Fryが行った約500℃でのNH₃の分解反応を利用したアルミやクロム添加鋼への窒素浸入処理が初めてで、第一次大戦で使われた大砲が一向に砲身の内壁の減らないことに疑問を持ち、砲弾の摩擦熱と硝煙が内壁を強くしたとの仮説から考案したとされる。この窒化技術は、第二次大戦中の軍事利用を通じ広く世界で使われるようになった。その後、後述する溶融塩浴法と同じような軟窒化 (当時は炭窒化とも呼んだ) をガスで実現する研究がなされ、吸熱反応型変性

ガス (RX[®]ガス) とNH₃ガスの混合ガスを使うガス軟窒化法 (1962年、GM法) や発熱反応型変性ガス (NXガス) とNH₃ガスを使う方法 (1969年) が開発され、日本でも多く採用された。その一方で、日本でも独自の研究が行われた。例えば、宮田・伏見⁶⁾は、雰囲気中に微量の空気あるいはO₂ガスを添加することにより、500~600℃における浸炭や窒化が促進することを見出し、NH₃ガスに5~8vol%程度の空気を添加した雰囲気中で処理するニッサンナイトライド (NN) プロセス (1974年) を開発した。これは酸窒化法の一つで、オーステナイト系ステンレス鋼や耐熱鋼への窒化も可能とした。

一方、1929年、A. B. Kinzelらによって溶融塩浴法が初めて報告された。その後ドイツDegussa AG社において基礎研究が開始され、1950年代に工業化に向けた開発の基礎が築かれた。初期のTENIFER[®]法、無毒化を図り環境面で改良されたTUFFTRIDE[®]法がよく知られているが、現在は日本でさらに改良を加えたISONITE[®]法、最近ではCN⁻濃度を0.3%以下の極限にまで、CNO⁻濃度も15%程度にまで下げて環境対応力をさらに高めたISONITE LS[®]法が開発された。ISONITE LS[®]法は、窒化と同時に最表面にLi-Fe複合酸化層⁷⁾を形成する塩浴酸軟窒化であり、優れた耐食性、耐摩擦摩耗性、耐焼付き性ならびに耐溶損性を付与できる。これらは、自動車用エンジンバルブ、ブレーキパットのバックプレート、デファレンシャル機構用部品の他、アルミ押し出し金型などへも広く適用されている。

窒化ポテンシャル $K_N = P_{NH_3} / (P_{H_2})^{3/2}$ (atm^{-1/2}) 値を制御する雰囲気制御技術は、1970年代に欧州で研究が進められ、1990年代後半には実用化が進んだ。近年、さらに高精度な組織制御の基礎研究や応用開発が活発化している。化合物層の相構造制御や高温あるいは低温浸炭焼入れ技術がその例である。化合物層やFe-N系マルテンサイトの構造・特性および窒化物析出による強化機構などは、近年の高精度分析解析装置 (例えば三次元アトムプローブ) を駆使したナノ解析技術や計算科学の手法によって飛躍的に解明されつつある。独自の窒化用鋼も開発されており、低ひずみ熱処理という利点を活かして、例えば浸炭歯車に代替する高機

能窒化歯車の実現が期待されるまでになっている。

◇ 熱処理ひずみへの最近の取り組み

焼入れによるひずみの安定化および低減は、長年の一大課題である。対策には、ひずみの主要因とその影響の解明が必要であり、鋼材の成分を考慮した浸炭および焼入れ過程の計算機シミュレーションが有効である。ドイツでは、焼入れひずみの低減を目的としたCAEの国家プロジェクトSFD570が、2001年から2011年までの10年間に渡り、熱処理工程だけでなくその前後工程を含む製造工程全体のシミュレーションを実施した。この“プロセスチェーン”シミュレーションは、リング、シャフト、ディスクおよび歯車を対象に行われ、ひずみ要因とその相互作用の解明に成果を上げている。日本では、(一社)日本熱処理技術協会において、熱処理シミュレーションに関する研究部会活動が2001年から本格的に開始した。特に、2012年から2015年まで実施した「焼入冷却と変形シミュレーション研究部会」そして2015年から2018年までの「熱処理シミュレーション実用化研究部会」は、量産工程におけるシミュレーションの適用方法に関する知見の蓄積や計算に必要なデータベースの充実と精度向上を図った⁸⁾。現在は、さらに高度な実用化を目指し「熱処理シミュレーションによるプロセス最適化研究部会」が発足し、次世代生産

システムを想定しIOTを適用した熱処理現場における諸現象の解明とそのデータベースへの織り込み手法の検討や開発の新しい手法であるMBD (Model Base Development) 法を取り入れた熱処理ラインのモデル化とそのシミュレーションによる品質改善手法の確立などを目指している。

むすび

近年注目度の高い浸炭系および窒化系熱処理に絞って解説したが、ほんの一部に過ぎない。今後の技術としては、多機能化のための複合技術や油冷代替加圧ガス冷却技術などがあり、改めて紹介できればと思う。

参考文献

- 1) 例えば、本山盛太郎：機械設計、4、2 (1960)、p. 52
- 2) 内藤武志：浸炭焼入れの実際 第二版、日刊工業新聞社、(1999)、p. 2
- 3) T. Morita and T. Hanyuda: Tetsu-to-Hagane、92、4 (2006)、p. 268
- 4) 大林巧治：日経 Automotive Technology、11 (2007)、p. 160
- 5) 藤川真一郎、池田明彦、徳永直人、杉本剛、中西仙太郎、堀哲：素形材、59 (2018)、p. 23
- 6) 宮田武、伏見慎二：日産技報、3 (1977)、p. 156
- 7) 石塚はる菜、渡邊陽一、竹山雅夫：トライボロジスト、65、7 (2020)、p. 440
- 8) 「熱処理シミュレーション実用化研究部会」活動成果報告会 概要集、(一社)日本熱処理技術協会 (2018年10月19日)

Ⅱ．特殊鋼の熱処理

1．一般

(1) 焼ならし

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

◇ 焼ならしとは

焼ならしはJISでは以下に定義されてます。

“オーステナイト化後空冷する熱処理。

備考：その目的は、前加工の影響を除去し、結晶核を微細化して、機械的性質を改善することである。対応英語（参考）Normalizing”

◇ 焼ならしの目的

1. 前加工の除去

圧延・鍛造で作られた鋼材・鍛造品は、その製造課程において強い加工によるひずみ分布の影響で、鋼のミクロ組織の不均一性が多少なりとも残ってます。鋼のミクロ組織の均一化（整粒化・微細化）する加熱後空冷する熱処理が焼ならしであります。いいかえれば 焼ならしは、その前歴を消去できる可能性がある熱処理であります。

2. 結晶核を微細化して機械的性質の改善

圧延・鍛造で作られた鋼材・鍛造品は、機械的性質が十分ではありません。変態点より高めの温度で再加熱し、空冷することで結晶粒が微細化するので強靱性などの機械的性質の向上が期待できます。同時に内部の残留応力（熱勾配及び組織変態に起因した残留応力の分布）の低減も期待できます。

◇ 焼ならしの用語

・焼準（しょうじゅん）：古い文献は焼準と記述しています。大戦前の航空機材料において“管、板、棒は通常、抗張力の最大値を定めた焼準状態のものを買い入れる”という内容があります。

“準”は訓読みで“ならず”で“均なす”に通じます。焼準は鋼を焼いて標準状態（ノルマルな姿）にする意味をもっています。

・HNR：JIS B 6911の加工記号では「HNR」と記載されます。これはヒートトリートメント・ノルマライジングからの短縮化された影響が伺える表現です。HNRは発注者と熱処理メーカー等の間で多く使われております。

・N 鋼材の仕様で“N”というイタリック文字一字で表現することがあります。鋼材の検査成績書（ミルシート）の仕様欄及び機械図面の材料指定欄等で使われます。これは効率化を得意とした日本特有の短縮表現と推定されます。

◇ 焼ならしのメリット

1. ミクロ組織の均一化

製品部品製造段階での歪の安定化

圧延・鍛造後、焼ならしを実施することで、その後工程での浸炭熱処理、軟窒化の熱処理歪の安定が期待できます。そのため不良率低減、取り代低減、寸法精度向上による工程省略等により低コストで高機能な部品製造に寄与されます。

2. 切削性の改善

圧延・鍛造後に、焼ならしを実施することで切削性の向上が期待されます。焼ならし実施で組織の微細化による切削性向上と若干の硬さ低下、硬さの安定化による切削性向上が期待されます。

3. 熱処理が簡易である

熱処理カーブが820～900℃程度に加熱しその後空冷するという比較的単純な熱処理カーブであります。よって熱処理時間が短い、熱処理設備の占

有時間が短い、熱処理設備がコンパクトで良い、熱処理炉・熱処理メーカーの選択肢が広い、国際的に広く実施可能である、等の主に汎用性・コスト的な利点があります。

◇ 焼ならしのデメリット

1. 高合金材には不向きな熱処理である

焼ならしが多く実施されるのは炭素鋼、低合金鋼の鋼材・鍛造品であります。合金の含有量が増えると加熱後空冷ではノルマルなマイクロ組織が得られずに硬いマイクロ組織が現出しやすくなり、その後の切削加工で工具寿命が悪くなります。そのため、合金含有量の多い鋼材は焼ならし以外の軟化熱処理（例 焼なまし 球状化焼なまし等）が選択されます。

2. 酸化スケール・焼べり

大気炉で熱処理を実施すると鋼材表面が酸化され酸化スケールとなります。酸化スケールはショットブラスト工程等の追加でスケール除去工程が必要な場合があります。また、酸化スケール発生分は鋼材が焼べりして細めになることがあり、黒皮残り、旋盤等でのチャッキング不良等の問題になることがあります。

◇ 焼ならし熱処理の温度カーブ例

例) S45C：820℃～870℃空冷（図1）、SCr420H：850℃～900℃空冷

むすび

焼ならし熱処理は鋼を焼いて標準状態にする（ノルマルな姿にする）ことです。

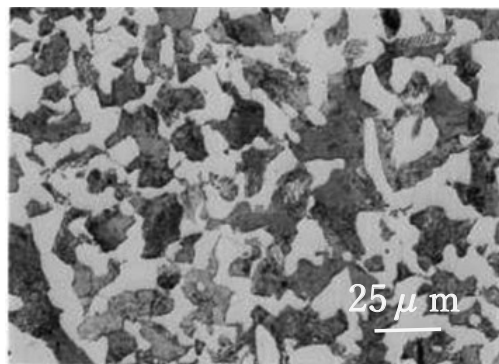
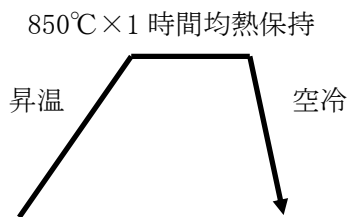


図 1 熱処理カーブの例（S45C）及びマイクロ組織

(2) 焼なまし

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター かつら
研究開発企画室 管理グループ グループ長 桂

たか ゆき
隆 之

まえがき

焼なましは特殊鋼鋼材を所定の温度に加熱・保持後、決められた速度で冷却する熱処理方法であり、対象鋼種や目的により種々の条件が用いられる。本稿では、その代表である拡散焼なまし、完全焼なまし、球状化焼なまし、低温焼なましについて解説する。

◇ 拡散焼なまし

铸造後の鋼塊では合金元素が鋼中に均一に分布しておらず、偏析と呼ばれる局所的な濃淡が生じている。また、軸受鋼のような高炭素クロム鋼の場合、鋼塊には共晶巨大炭化物（巨炭）が存在する。これらを解消するため、拡散焼なまし（ソーキング）が施される。その方法は固相線直下の高温域（1200～1250℃）での長時間保持であるが、処理条件は鋼塊サイズや偏析の程度などに左右されるため、最適パターンを示すことは困難である。処理温度を高くするほど合金元素の拡散は容易となるが、オーバーヒートの懸念が高まるため温度設定は慎重に行う必要がある。なお、最近では連続铸造化とそれに伴う電磁攪拌、圧下技術の進歩により、比較的短時間の処理で良好な品質が得られるようになっている¹⁾。

◇ 完全焼なまし

圧延、鍛造といった熱間加工を受けた場合、部位により加工温度、加工量、冷却速度などが異なるため、ミクロ組織や硬さにばらつきが生じ、鋼材内部には応力やひずみが残留した状態となる。完全焼なましを実施する目的はこれらを解消することであり、鋼材を軟化させること、内部ひずみを除去すること、及びミクロ組織を均質化させることが可能である。これにより冷間加工性や被削性などを改善することができ、部品形状への加工が容易となる。

完全焼なましの方法は、亜共析鋼であれば鉄-炭素系平衡状態図の A_3 点+20～30℃（例えばSCr420では850℃程度）、過共析鋼の場合は A_1 点+20～50℃（750℃程度）に加熱保持後、徐冷を行う。亜共析鋼の場合は加熱により完全にオーステナイト化した後、冷却中にフェライトとパーライトが析出する。パーライトとはフェライトとセメンタイト（炭化物）が層状に並んだ組織であり、冷却速度を遅くするほど層間隔は広くなり、焼なまし後の硬さは低下する。

代表例として、SCr420の完全焼なまし前後のミクロ組織を図1に示す。焼なまし前の熱間圧延状態ではフェライト-パーライト組織を呈しており、

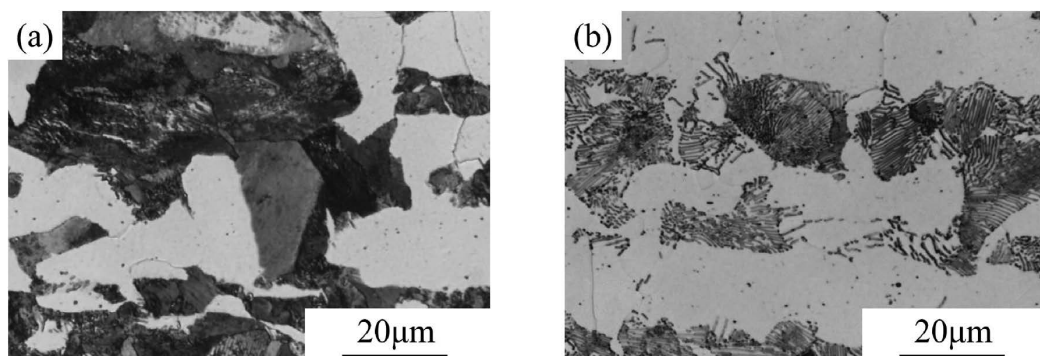


図 1 SCr420のミクロ組織 (a) 完全焼なまし前、(b) 完全焼なまし後

特にパーライトの大きさにばらつきが見られる。一方、完全焼なまし後もフェライトーパーライト組織であるが、パーライトの大きさが均一になり、層間隔が広がっている。代表的な条件で処理した場合、85HRB程度であった熱間圧延材の硬さが、完全焼なましにより78HRB程度まで軟化した。

◇ 球状化焼なまし

球状化焼なましは主に軸受鋼や工具鋼のような高炭素鋼に実施される熱処理であり、硬さを低下させるとともに、最適な球状化組織を得ることが目的である。軸受鋼のような過共析鋼の場合、熱間加工後はパーライト主体の組織となり、35～40HRC程度の高硬度となる。この状態では切削などの加工が困難なため、球状化焼なましが施される。球状化焼なましにはいくつかの方法があるが、最も一般的なものは徐冷法である。まず、オーステナイトとセメンタイトの2相域（軸受鋼では800℃程度）に加熱することによりパーライトが分断され、一部はマトリックスに固溶するが、残りが未固溶炭化物として残存する。その後、650℃程度まで徐冷することにより、未固溶炭化物を核として球状に成長し、図2(a)のように軟らかいフェライト中に球状化炭化物が均一分散した組織が得られる²⁾。

球状化焼なましでは特に加熱保持温度と冷却速度が重要である。保持温度が高過ぎると未固溶炭化物が減少し、核間距離が大きくなるために拡散凝集しきらず、冷却中にパーライトが析出する。一方、低過ぎると炭化物数が多く分離不十分な組織となる³⁾。また、冷却速度を遅くするほど炭化物が凝集し、焼なまし後の硬さは低下する。一般

的な球状化焼なましが施された場合、軸受鋼の代表であるSUJ2の硬さは90HRB程度となるが、その硬さは球状化炭化物の分散状態とマトリックスのフェライト結晶粒径に左右され、炭化物間距離を広げることで硬さ低減は可能である⁴⁾。なお、軸受鋼などで炭化物を球状化させる理由は硬さ低減により良好な加工性を得るためだけではなく、その後の焼入れ加熱時に炭化物を適度に残存させ、製品としての強度や耐摩耗性を確保するためでもある。

一方、SCr420のような肌焼鋼を球状化焼なましした場合、炭素含有量が少ないために加熱保持中に核となる炭化物が確保されず、図2(b)のように均一分散や球状化が不十分な組織となる。ただし、完全焼なましに比べて層間隔が広がるため、硬さは75HRB程度まで低下する。

◇ 低温焼なまし

低温焼なましは A_1 変態点（720～730℃程度）以下に加熱後、空冷、もしくは炉冷する焼なまし方法であり、内部応力やひずみの除去、及び軟化のために実施される。低温焼なましの軟化の機構は再結晶によるものであり、加熱により鋼材中のひずみが解放され、結晶粒界などからひずみのほとんどない新しい結晶粒が生成することで硬さは低下する。

例えばSCr420であれば前述のように熱間圧延後の硬さは85HRB程度であるが、低温焼なましにより80HRB程度まで軟化する。また、引拔や冷鍛といった冷間加工を受けるとより多くのひずみが導入されて硬さが高くなるため、低温焼なまし実施による軟化効果は大きくなる。

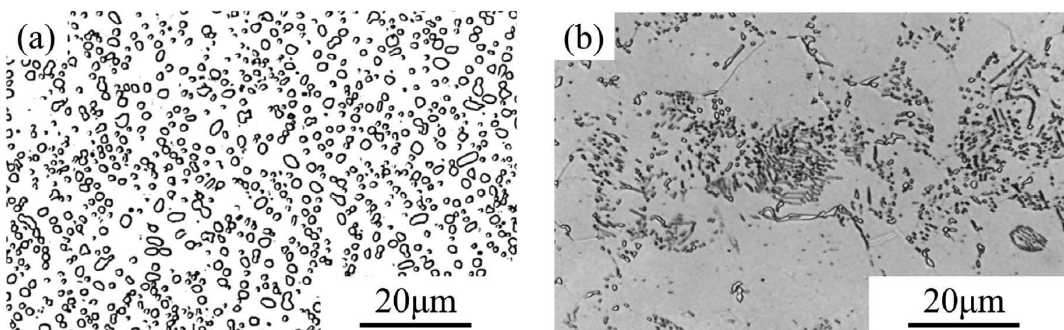


図 2 球状化焼なまし後のマイクロ組織 (a) SUJ2²⁾、(b) SCr420

むすび

ここでは特殊鋼の焼なましについて、その目的、方法、代表鋼種での事例などを紹介した。焼なましでは加熱温度や冷却速度により処理後のミクロ組織、硬さが大きく変化し、その後の焼入れ組織にも大きな影響を与えるため、目的に応じた条件

で実施するよう注意が必要である。

参 考 文 献

- 1) 瀬戸浩蔵：軸受用鋼、日本鉄鋼協会（1999）、166
- 2) 坪田一一：Sanyo Technical Report、5（1998）、105-112
- 3) 瀬戸浩蔵：Sanyo Technical Report、3（1996）、64-71
- 4) 平岡和彦、木下斎：Sanyo Technical Report、6（1999）、47-51



(3) 焼入れ・焼戻し

(株) T O N E Z よし だ なお ゆき
高砂第2工場 管理課 吉 田 直 之

「焼入れ」「焼戻し」は、特殊鋼の熱処理の中では基本的な処理であるとともに、鋼の使用目的に応じた特性を得る上で重要な役割を果たしている。ここでは焼入れおよび焼戻しの各種処理とそれらが鋼の特性を決める組織変化を中心に説明する。

◇ 焼入れ (Quenching)

・目的

焼入れとは鉄鋼材料を組織がオーステナイト組織になるまで加熱・保持し、その後急速に冷却してマルテンサイト組織を得る熱処理である。このマルテンサイトは硬い組織であり、これによって鋼を硬化させることが焼入れの目的である。

・仕組み

図1の状態図に示されるように未熱処理の鋼材は室温においてはフェライト+パーライト (図4-①) もしくはパーライト+セメンタイトによって構成されているが、これを炭素濃度0.77%未満の亜共析鋼では A_3 変態点以上、0.77%を超える過共析鋼では A_1 変態点以上に加熱するとオーステナイト (+セメンタイト) へと変態を起こす。この

オーステナイトの状態から冷却すると再び変態を起こし元のフェライトやパーライトになろうとするが、それには幾らかの時間が必要である。そのため急速に冷却を行うと変態する時間が足りずマルテンサイト組織 (図4-②) へと変態を起こす。

マルテンサイト組織は、本来は炭素が少ししか固溶しないフェライトに過剰な炭素が強制的に固溶された状態で、脆いが非常に硬い性質を持つ。

この急冷によるマルテンサイト変態を起こして鋼を硬くさせる熱処理が鋼の焼入れである。

・方法

1. 加熱温度

図1の斜線部分で示すように加熱は亜共析鋼では A_3 線より、過共析鋼では A_1 線より30-50℃高い温度まで昇温させ保持する。この温度を焼入れ温度もしくはオーステナイト化温度 (T_A) という。図1のとおり A_3 ・ A_1 線を超えていれば鋼材はオーステナイト化されるが、実際には様々な要因によりオーステナイト化が不十分になる可能性があるため確実なオーステナイト化の為に、変態点より高めに設定するのが一般的である。

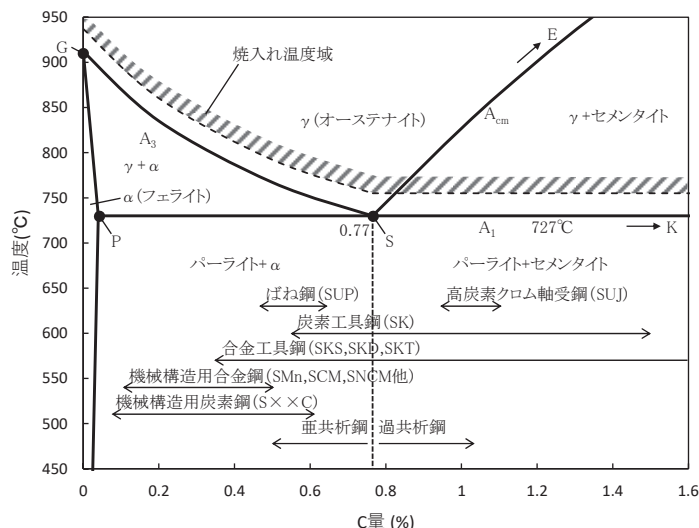


図 1 鉄-炭素平衡状態図と焼入れ温度

2. 保持時間

焼入温度到達後の保持時間（図2）は機械構造用鋼の場合は0時間でよいとされる、これは鋼材の内外が同一温度になりさえすればよいのである。ただし工具鋼や軸受鋼の場合は数分～約30分保持する必要があるとされている¹⁾。

焼入れの時間で30分/25mmといわれることがあるが、これは鋼材の中心部が焼入温度まで上がる昇温時間を意味している場合が多い。

3. 冷却

焼入れの冷却は多くの場合、水や油の冷却槽に浸漬することで行われる。この時注意しなければならないのは焼入温度（ T_A ）から約550℃までの臨界区域を出来るだけ早く冷やすことである。この区域の冷却が遅いとパーライト変態が先に起きてしまい十分なマルテンサイト組織とならず不完全焼入となってしまふからである。そしてそのままマルテンサイト変態が完了するMf点まで冷却することで焼入れ完了となる。これを普通焼入れという（図3の（1））。しかしながらマルテンサイト変態が開始するMs点以下で急速に冷却すると様々な問題が起こり得る。

（Ms点を求める式の一例。機械構造用鋼の場合

$$Ms(℃) = 550 - 350C - 40Mn - 35V - 20Cr - 17Ni - 10Cu - 10Mo - 5W + 15Co + 30Al + 0Si^{2)})$$

Ms点以下の温度で変態が始まると、冷却による収縮とマルテンサイト変態による膨張が合わさって進行するが、鋼材の内外で温度差があり、肉厚

に大小があると冷却速度にも差が出る為、部位によって膨張収縮の度合いが異なり内部応力が発生する。この内部応力が鋼材の引張強さを超えると焼割れを生じさせる。これを防ぐにはMs点以下をいかにゆっくり冷やすかにかかっている、他にも曲りや変寸、変形、硬さムラなど様々な欠陥が起こり得るので、これらの欠陥を防ぐため様々な焼入方法がある。

3.1. 中断焼入（図3の（2））

鋼材が冷却剤の温度になるまで放置せずMs点手前で冷却槽から引上げ空冷などのゆっくりとした冷却に切り替える方法である。これを中断焼入れ、二段焼入れ、または引上げ焼入れという。その中

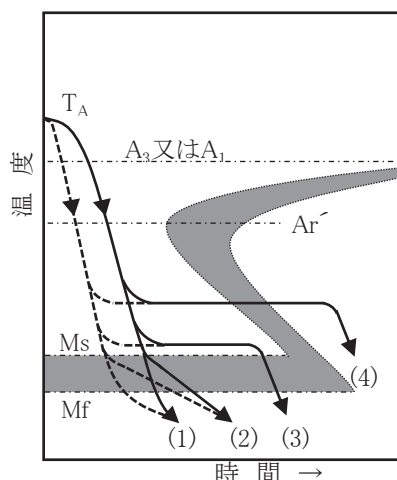


図 3 焼入れの冷却方法

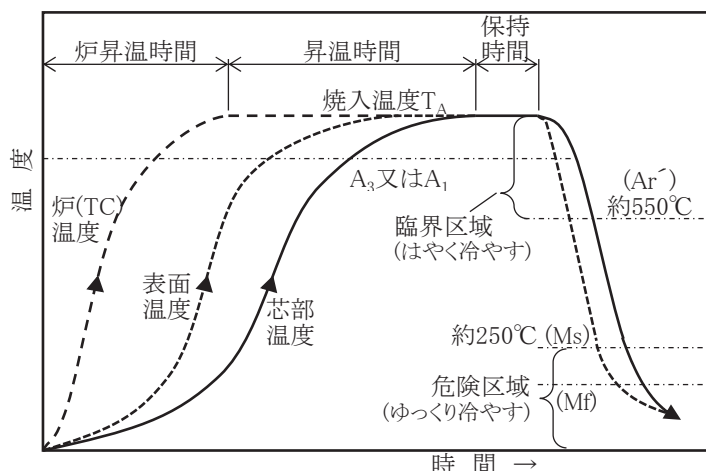


図 2 焼入れの熱処理パターン

でも冷却剤に漬けた瞬間からの時間を数えて引上げる方法を時間焼入という。時間の目安は水焼入れする場合は直径3mm（板厚では2mm）当たり1秒、油焼入れは同3秒となる³⁾。

3.2. マルテンパ（図3の（3））

Ms点直上の温度に保持した油槽又はソルトバスに焼入れし鋼材内外の温度が同一になるまで（直径25mmにつき約4分⁴⁾）保持する。その後ベイナイト変態を起こす前に引上げて空冷する。危険区域を均一に冷却させるので焼割れ、ひずみを防止できる。マルクエンチとも呼ばれる。

3.3. オーステンパ（図3の（4））

300～500℃に保持したソルトバスまたはメタルバスに焼入れし等温変態完了後引上げて空冷する。マルテンパ以上に焼割れ、ひずみを防止でき、また硬く靱性のあるベイナイト組織になるため焼戻しを必要としない。ベイナイト焼入とも呼ばれる。

・ 注意点

1. 質量、形状の影響

焼割れや変形を避けるためには全体が均一に冷却するのが理想的であるが鋼材の形状や大きさは冷却を不均一にする要因となる。焼入れ時の冷却の速さは、表面で最も早く内部になるにつれ遅くなる。そのため表面では焼きが入っても内部深くになるほど焼きが入らず、鋼材が大きくなるほど

その傾向は顕著になり、また、それに起因して表面も冷却が遅くなり焼きが不十分となることがある。このような鋼材が大きくなるほど焼きが入りにくくなる現象を質量効果と呼ぶ。焼入れ性の良い鋼材であれば深く焼きが入るので質量効果の影響は小さくなる。

形状によっても冷却速度は異なり球、丸棒、板材では「球：丸棒：板＝4：3：2⁵⁾」となり、また一つの部品内でも部位によって異なり凸部は早くなり凹部は遅くなる。

2. 置き割れ、置きぐり

焼入れしたままの組織にはマルテンサイトに変態せず残留オーステナイトとして残ることがある。この残留オーステナイトを放置すると時間経過や厳寒期に冷却された時にマルテンサイト化して膨張、変形や変寸を起こしたり焼入時に残った内部応力と合わさって割れを引き起こす。これを防ぐためにも焼入れ後の早い内、60℃程度に冷えてくるまでに次の焼戻しを行うのが望ましい。

◇ 焼戻し（Tempering）

・ 目的

焼入れによって得られたマルテンサイトは硬いが脆い組織となっている、この硬さを低下させ靱性を与えるのが焼戻しの目的である。

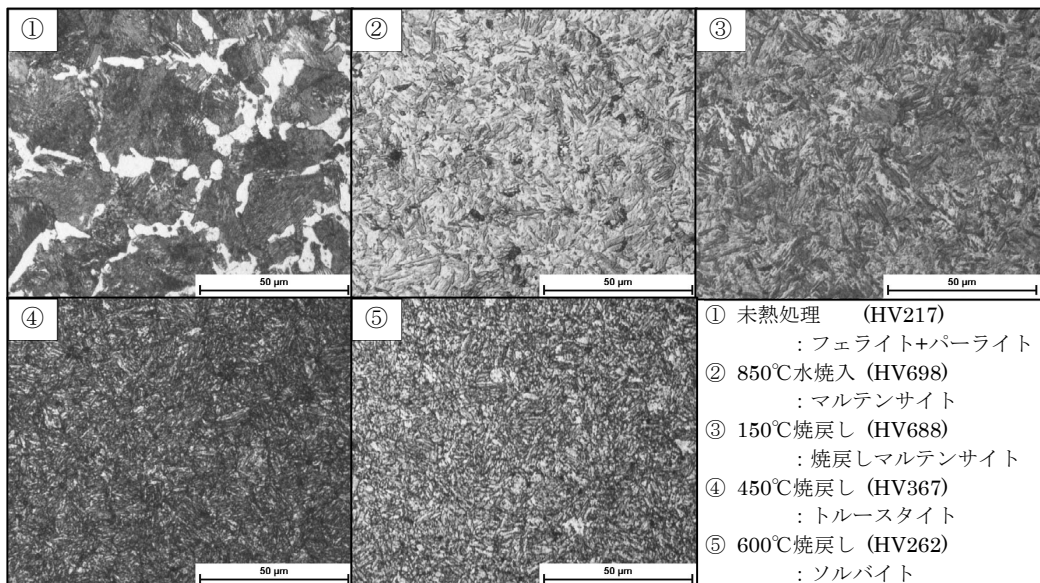


図 4 S45Cの焼入焼戻し前後のマイクロ組織

・仕組み

焼入れで得られたマルテンサイト組織に熱を加えると過飽和に固溶されていた炭素が炭化物として析出し、組織は安定なものになり性質も変化していく。この加熱する温度を調整することによって目的の硬さや機械的性質を得るのが焼戻しである。

・方法

加熱温度はA1変態点以下で行う。保持時間は焼戻しの場合ある程度の時間が必要で、その長さによって効果が変わるが1時間を超えると大きな差は見られない、そのため時間は1時間程度を目安にし得たい性質によって温度を調節するのが普通である。

1. 低温焼戻し

150～250℃程度で焼戻しすることで焼入れ硬さをあまり低下させずに内部応力を低下させ組織は焼戻しマルテンサイト（図4-③）へと変化する。ひずみや割れを防ぐため空冷以下の遅めの冷却が望ましい。炭素工具鋼や合金工具鋼（熱間金型鋼を除く）等、硬さや耐磨耗性を要求される鋼種に適用される。

2. 高温焼戻し

400～680℃程度で行われ、焼戻し温度が高くなるほど硬さや降伏点、引張強さは低下し伸び絞りや衝撃値は向上する。温度によって得られる組織が異なり400℃付近ではトルースタイト組織（図4-④）となり硬さを残しつつある程度の靱性が得られ、600℃付近ではソルバイト組織（図4-⑤）となり適度な硬さと高い靱性が得られる。機械構造用鋼等に適用される。

この高温焼戻しを行う焼入焼戻しを調質とも呼ぶ。

・焼戻し脆性

焼戻しは靱性を得るために行う処理であるが、二つのある温度範囲においては脆化を引き起こすことがある。一つは250～350℃の焼戻しで発生す

る脆化現象でこれを低温焼戻し脆性と呼ぶ。もう一つはMn鋼やCr鋼、NiCr鋼等を450～550℃で焼戻した際に発生する脆化で高温焼戻し脆性と呼ぶ、衝撃値を低下させるのでこの温度域での焼戻しは避ける方が良い。

低温焼戻し脆性はより高い温度で焼戻しを行うと発生しなくなるが、高温焼戻し脆性はより高い温度での焼戻しから温度域を通過する時にも発生する。そのため冷却時に500℃付近を通過する場合、空冷以上の速めの冷却を行うのが望ましい。

・適用事例

焼入焼戻しを行うことで鋼材は様々な特性を得ることができるため、耐磨耗性が要求される軸受や工具、強度と靱性が要求される構造用部品など幅広く適用されている。例として以下のような部品等に施されている。

機械構造用炭素鋼：S-C

主軸、キー、ピン、手工具

機械構造用合金鋼：SCM、SNCM、他

ボルト、ナット、調質ギヤ、クランク軸

炭素工具鋼：SK

のこぎり、やすり、エンドビット

合金工具鋼：SKS、SKD、SKT

治工具、ゲージ、鍛造用型、シャープブレード、ばね鋼：SUP

板バネ、トーションバー

高炭素クロム軸受鋼：SUJ

ボールベアリング、冷間用ロール

参考文献

- 1) 日本熱処理技術協会、日本金属熱処理工業会 『熱処理技術入門』（大河出版、2004） p 157
- 2) 大和久重雄 『鉄鋼材料選択のポイント 増補改訂2版』（日本規格協会、2000） p 104
- 3) 大和久重雄 前掲書 p 149
- 4) 大和久重雄 前掲書 p 150
- 5) 大和久重雄 前掲書 p 66

(4) サブゼロ処理

日立金属(株) 金属材料事業本部 ひらもと あつひろ
特殊鋼統括部 工具鋼部 技術グループ 平 本 篤 博

ま え が き

サブゼロ処理は、鋼材の焼入れ後、ただちに0℃以下の温度に冷やす処理であり、深冷処理とも言われる。前半は工具鋼の一般的な内容を示し、後半は冷間加工用工具鋼のSKD11について、評価事例と合わせて紹介する。

◇ 残留オーステナイトとサブゼロ処理

鋼を焼入れ後、焼戻ししていない状態では、マルテンサイト以外に未変態のオーステナイトが存在する。この残留オーステナイト (γ_R) は、鋼の種類やオーステナイト化温度 (焼入温度)、および冷却の方法によってその量が大きく変動する。各鋼種での適正な焼入方法でも、炭素工具鋼で10～20%、冷間加工用工具鋼で15～25%、高速度工具鋼では15～35%程度の γ_R が残留する。

一般にこの γ_R は不安定であり、常温でも徐々にマルテンサイト変態が進行することで、経年寸法変化を生じ、精密部品では問題となる。サブゼロ処理は、焼入処理を施して常温近くまで冷却した鋼を-60℃～-150℃程度まで冷却し、 γ_R をできる限りマルテンサイトへ変態させる処理である¹⁾。

◇ サブゼロ冷却装置

-60℃～-150℃程度まで冷却するために、寒剤として液体窒素や、アルコールなどの有機溶剤とドライアイスの混合浴がよく使われる。また、液体窒素から気化した N_2 ガスを循環させる方法もよく用いられている。サブゼロ温度としては、一般的には-80℃前後が実用的である。通常のサブゼロ処理よりもさらに γ_R を低減させるため、超サブゼロ処理 (クライオ処理) として-130℃以下で処理することも実用化されている^{1), 2)}。

◇ サブゼロ処理での注意事項

図1にサブゼロ処理のサイクル図を示す。サブ

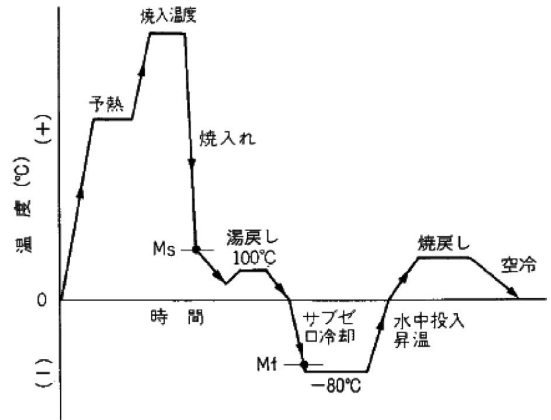


図 1 サブゼロ処理のサイクル図¹⁾

ゼロ処理は γ_R が安定化してしまうと効果が小さくなるため、原則的には焼入直後に行うべきであるが、複雑な形状の工具ではマルテンサイト変態による膨張の影響でサブゼロクラックを生じ、割れる場合がある。その時は前処理として100℃程度の仮焼戻しをしてから実施するのがよい^{1), 3)}。

製品の温度がサブゼロ処理温度まで下がればよいが、それを見極めるのは難しいので、およそ1インチ角あたり30分の割合で寒剤中に入れておいてから、取り出して水中または湯中に投入する。これをアップ・ヒル・クエンチという。その後で所定の焼戻しを行う⁴⁾。

実際の熱処理現場では、サブゼロ装置から出して、衝風用ファンで鋼材の温度を室温まで戻していく熱処理業者も多い。衝風用ファンで室温まで戻していく過程で、結露によって水滴が付く場合は、錆の発生を抑制するために拭き取ったほうがよい。またサブゼロ装置によっては加熱装置が付いており、鋼材の温度を室温以上にして取り出せる設備もある。

◇ サブゼロ処理の有無による焼戻硬さの変化

図2はSKD11のサブゼロ処理 (-196℃) 材と

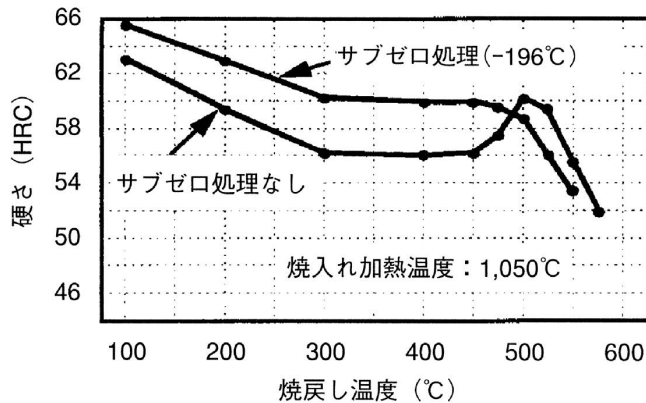


図 2 焼戻硬さに及ぼすサブゼロ処理の影響 (SKD11)⁵⁾

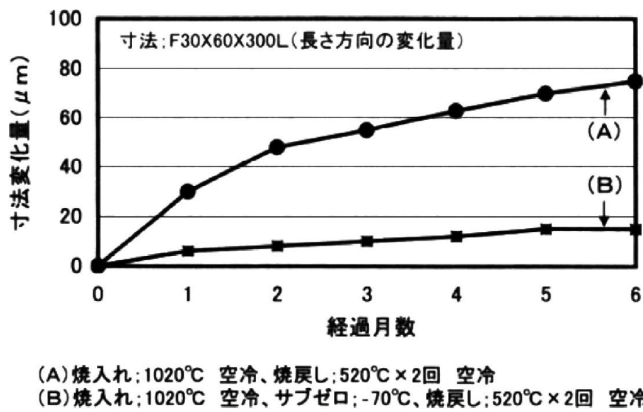


図 3 SKD11のサブゼロ処理の有無による経年寸法変化⁶⁾

非サブゼロ処理材の焼戻曲線を示したものであるが、両曲線の比較によりサブゼロ処理なしの場合には、450℃前後で γ_R の変態が始まっていると考えられ、また、60HRC前後の硬さを得るためには、焼戻温度として490～500℃と約180℃の2つの選択があることを示している⁵⁾。また、サブゼロ処理を行うと、 γ_R の減少により、焼戻し後の2次硬化のピークがなくなるため、サブゼロ処理を工程に追加し、高温焼戻しで60HRC前後の硬さを得るためには、サブゼロ処理がない条件よりも少し低い焼戻温度に設定すべきである。

◇ サブゼロ処理と経年寸法変化（経年変寸、経年変化量）

経年寸法変化とは時間が経つとともに γ_R が変態し、材料が膨張する現象である。 γ_R は、高温焼戻しによって不安定化しており、工具・金型の使用

中であっても、時間の経過とともにマルテンサイトに変態し易い。経年寸法変化を抑制する方法の1つとして、 γ_R を減少させるサブゼロ処理は効果的である。例として、図3にSKD11のサブゼロ処理の有無による経年寸法変化を示す⁶⁾。

また、金型の経年寸法変化への要求がより厳しい場合は、サブゼロ処理だけでは対応できないこともあり、他の処理と組み合わせることも必要となる場合がある。図4にSKD11におけるサブゼロ処理、および安定化処理による、経年寸法変化の抑制効果を示す。安定化処理とは焼戻し後に250～400℃前後で加熱保持する処理のことであり、 γ_R を安定化させ、経年寸法変化を抑制する。図4にて、サブゼロ処理+焼戻しでは、焼戻しのみの処理よりも経年寸法変化は抑制される。焼戻し+安定化処理では、特に490℃以上の焼戻しで、サブゼロ処理+焼戻しの処理よりも抑制されている。また焼

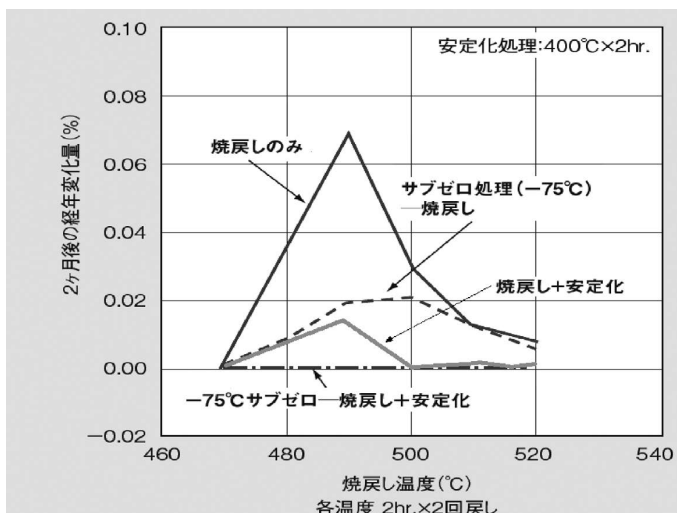


図 4 SKD11の熱処理条件と経年寸法変化の関係

入れ-サブゼロ処理-焼戻し-安定化処理では、今回の条件の中では、最も経年寸法変化を抑制できていると考える。

より精密な金型を必要とされるメーカーや、依頼者からの要求でサブゼロ処理が必須である場合は、安定化処理を最後の工程に追加することも、選択肢の1つである。

むすび

今回サブゼロ処理について記述したが、単純に経年寸法変化の抑制に効果があるだろうと、安易にサブゼロ処理を追加するだけでは、最適な条件になるとは限らない。過剰品質にならないように、且つ、必要な品質は担保できるように、依頼者と熱処理業者、材料メーカーで相談・検討され、被処理品にとって最も適した条件が採用されることが望ましい。

また鋼種の組成が変われば、図4で示した経年寸法変化の傾向とは違いが生じると考えられるため、材料メーカーや熱処理業者などで評価されている結果をもとに熱処理条件をよく考え、選択されるとよい。また実際の金型の実績を熱処理業者にフィードバックすることで、最適な熱処理条件を構築されていくことも重要であると考え。

参考文献

- 1) (社) 日本熱処理技術協会、日本金属熱処理工業会：全面改訂・熱処理技術入門（2004）50、164-165
- 2) 大和久重雄：テクニカブックス 熱処理108つのポイント（1986）144-145
- 3) (社) 日本熱処理技術協会：熱処理ガイドブック（2002）132
- 4) 大和久重雄：よくわかる材料と熱処理Q&A（2003）15、154
- 5) 田部博輔：金型技術者のための型材入門（2006）178
- 6) 特殊鋼倶楽部編集委員会：特殊鋼技術データのやさしい読み方（2001）32

(5) 固溶化熱処理

日本冶金工業(株) おいかわ まこと
ソリューション営業部長 及川 誠

まえがき

固溶化熱処理は、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、ステンレス鋼や耐熱鋼等に適用されます。本稿では、代表的な材料としてステンレス鋼を取り上げて、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解説を行います。

◇ オーステナイト系ステンレス鋼の固溶化熱処理

ステンレス鋼は10.5%以上のCrを含有する耐食性を向上させた合金鋼です。常温における金属組織でオーステナイト系、オーステナイト・フェラ

イト系、フェライト系、マルテンサイト系、析出硬化系の5種類に分類され、固溶化熱処理はオーステナイト系ステンレス鋼とオーステナイト・フェライト系ステンレス鋼に適用され、析出硬化系ステンレス鋼では固溶化熱処理とその後に析出硬化処理が適用されます。

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。表1¹⁾にJIS G 4304に参考として記載されている熱処理条件を示します。熱処理温度条件は3種類に分けられます。ほとんどの鋼種は1010～1150℃の範囲ですが、3鋼種で下限温度が900℃台であり、7鋼種では少し高温となり1030～1180℃の範囲となっ

表 1 オーステナイト系ステンレス鋼の熱処理条件¹⁾

種類の記号	固溶化熱処理	種類の記号	固溶化熱処理
SUS301	1010～1150℃ 急冷	SUS316	1010～1150℃ 急冷
SUS301L	1010～1150℃ 急冷	SUS316L	1010～1150℃ 急冷
SUS301J1	1010～1150℃ 急冷	SUS316N	1010～1150℃ 急冷
SUS302B	1010～1150℃ 急冷	SUS316LN	1010～1150℃ 急冷
SUS303	1010～1150℃ 急冷	SUS316Ti	920～1150℃ 急冷
SUS304	1010～1150℃ 急冷	SUS316J1	1010～1150℃ 急冷
SUS304Cu	1010～1150℃ 急冷	SUS316J1L	1010～1150℃ 急冷
SUS304L	1010～1150℃ 急冷	SUS317	1010～1150℃ 急冷
SUS304N1	1010～1150℃ 急冷	SUS317L	1010～1150℃ 急冷
SUS304N2	1010～1150℃ 急冷	SUS317LN	1010～1150℃ 急冷
SUS304LN	1010～1150℃ 急冷	SUS317J1	1030～1180℃ 急冷
SUS304J1	1010～1150℃ 急冷	SUS317J2	1030～1180℃ 急冷
SUS304J2	1010～1150℃ 急冷	SUS836L	1030～1180℃ 急冷
SUS305	1030～1150℃ 急冷	SUS890L	1030～1180℃ 急冷
SUS309S	1030～1180℃ 急冷	SUS321	920～1150℃ 急冷
SUS310S	1030～1180℃ 急冷	SUS347	980～1150℃ 急冷
SUS312L	1010～1150℃ 急冷	SUSXM7	1010～1150℃ 急冷
SUS315J1	1010～1150℃ 急冷	SUSXM15J1	1010～1150℃ 急冷
SUS315J2	1010～1150℃ 急冷		

(JIS G 4304 附属書 表JA.1)

ています。

この理由は炭化物の分解の点から説明されます。オーステナイト系ステンレス鋼の主な炭化物はCr炭化物であり、これを固溶化熱処理により分解させる必要があります。高温ほどオーステナイト相中に固溶できるC量が多くなり、炭化物が分解しやすくなるので、C含有量の多いステンレス鋼ほど熱処理温度を高めにする必要があります。ここで、TiやNbはCとの親和力が強く、安定な炭化物を作るため、固溶しているC量はステンレス鋼のC含有量に比べて著しく減少しています。そのため、安定化元素であるTi、Nbを添加したSUS316Ti、SUS321やSUS347ではオーステナイト相のC固溶量が少ない900℃台でもCr炭化物が消失しますので、900℃台での固溶化熱処理も可能となります。一方、CrやNiを多く含有するステンレス鋼では固溶できるC量が低くなるので、C含有量が等しければ、炭化物を分解するためには、より高温の熱処理が必要となります。そのため、SUS310S、SUS836LやSUS890Lなどでは高温の固溶化熱処理が必要となります。なお、炭化物の分解の点からは熱処理を高温にするほど有利になりますが、一方で、結晶粒径が粗大化してしまうなどの問題も生じますので、最適な温度範囲が存在します。

固溶化後の冷却は全ての鋼種で急冷とします。550～800℃近傍の温度域で冷却速度が遅いと、Cr炭化物が主に結晶粒界に析出し、その周囲にCr濃度の著しく低いCr欠乏層が生成します（図1²⁾）。

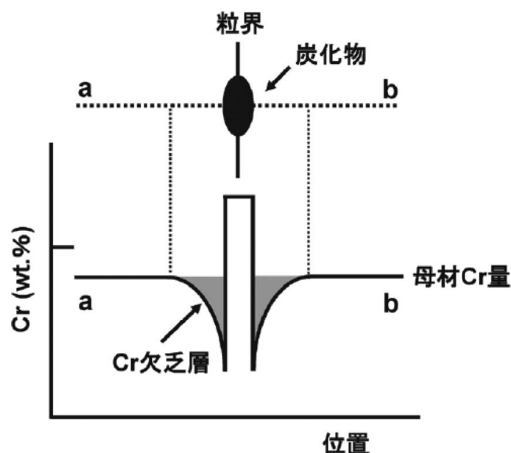


図 1 ステンレス鋼におけるCr炭化物の析出とCr欠乏層の模式図²⁾

このCr欠乏層は耐食性に劣り優先的に腐食しやすいので、粒界腐食の原因となります。よって、冷却時には、熱処理で固溶化させたCをCr炭化物として析出させないように急冷することが必要です。

◇ 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

JIS G 4304に参考として記載されているオーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の熱処理条件を表2に示します。

オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼ではオーステナイト相とフェライト相の相比が耐食性や機械的性質等に影響を及ぼし³⁾、この相比は熱処理温度によって変化します。そのため、オーステナイト・フェライト系ステンレスの固溶化熱処理では、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。また、オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の代表的な析出物はσ相です。CrやMoを多く含有し、かつ硬く脆いσ相が析出しますと、ステンレス鋼の耐食性、靱性が低下しますので、この相を分解し、析出しない温度を選択することも必要です。CrやMoの含有量の多いオーステナイト・フェライト系ステンレス鋼ではσ相の析出が高温化し、また、より短時間で生じますので、SUS327L1では、その点も考慮して高温の熱処理条件となっています。

固溶化後の冷却は、σ相の析出などを防止するために全ての鋼種で急冷が必要となります。

◇ 析出硬化系ステンレス鋼の熱処理

析出硬化系ステンレス鋼では、一般的には固溶

表 2 オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の熱処理条件¹⁾

種類の記号	固溶化熱処理
SUS821L1	940～1100℃急冷
SUS323L	950～1100℃急冷
SUS329J1	950～1100℃急冷
SUS329J3L	950～1100℃急冷
SUS329J4L	950～1100℃急冷
SUS327L1	1025～1125℃急冷

(JIS G 4304 附属書 表JA.2)

化熱処理を行った状態で成形等を行い、その後、析出硬化処理を行い、基地に微細な第2相を均一に析出させて強度を得ます。表3にJIS G 4304に参考として記載されている固溶化熱処理と析出硬化処理の条件を示します。

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。表3には4種類の析出硬化処理条件が示されていますが、熱処理温度が最も低いH900処理により最も高い強度が得られ、熱処理温度が高

くなると強度は低下して靱性が改善されます。そのため、靱性を必要とする用途においてはH1150処理が用いられます。図2⁴⁾にH900析出硬化処理とH1150析出硬化処理によるSUS630の機械的性質の変化を示します。

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、510℃あるいは565℃の最終熱処理段階でNi-Alの金属間化合物を析出させて硬化させます。

表 3 析出硬化系ステンレス鋼の熱処理条件¹⁾

種類の記号	熱処理		
	種類	記号	条件
SUS630	固溶化熱処理	S	1020～1060℃急冷
	析出硬化処理	H900	470～490℃空冷
		H1025	540～560℃空冷
		H1075	570～590℃空冷
		H1150	610～630℃空冷
SUS631	固溶化熱処理	S	1000～1100℃急冷
	析出硬化処理	RH950	955±10℃に10分間保持、室温まで空冷、24時間以内に-73±6℃に冷却し8時間保持、510±10℃に60分間保持後空冷
		TH1050	760±15℃に90分間保持、1時間以内に15℃以下に冷却し30分間保持、565±10℃に90分間保持後空冷

(JIS G 4304 附属書 表JA.5)

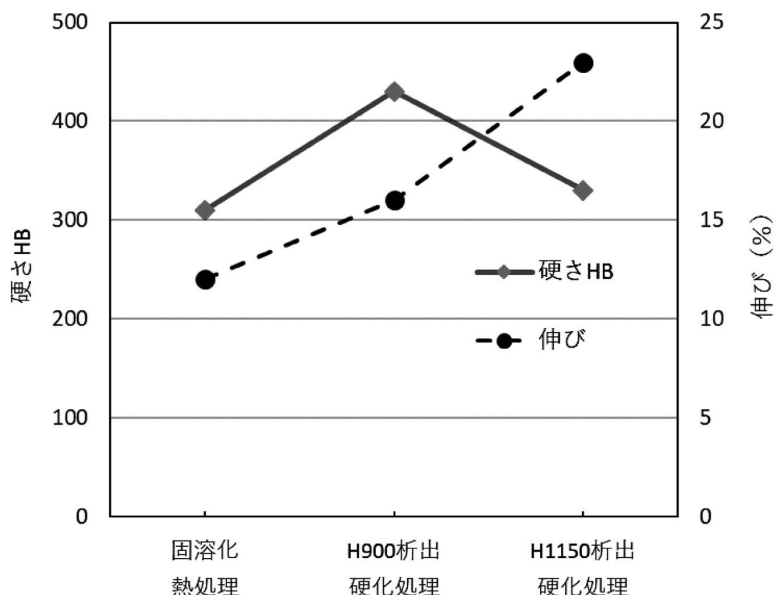


図 2 析出硬化処理によるSUS630の機械的性質の変化 (13mm材)⁴⁾

むすび

本稿では、ステンレス鋼の固溶化熱処理と析出硬化処理について概要を解説しました。固溶化熱処理と析出硬化処理は、製品の特性に強く影響する重要な熱処理ですので、理解を深めるためには、金属組織学の点も含めて、他の文献^{5)、6)}も参照いただきたい。

参考文献

- 1) 日本規格協会編：JISハンドブック 1 鉄鋼 I
- 2) 渡邊隆之：ふえらむ、25 (2020)、518
- 3) 例えば、M. Oikawa and Y. Ikegami：8th Duplex Stainless Steels Conference Proceedings、France (2010)、119
- 4) 日本冶金工業（株）技術資料
- 5) ステンレス協会編：ステンレス鋼便覧 第3版 (1995)、日刊工業新聞社
- 6) 細井裕三監修：ステンレス鋼の科学と最新技術—ステンレス鋼100年の歩み— (2011)、ステンレス協会



2. 表面硬化処理

(1) 浸炭

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 田中優樹
 構造材料第一研究室、第二研究室(兼務) 室長

まえがき

浸炭処理は、高い疲労強度や耐摩耗性などが得られることから、歯車やCVT-プーリー等の動力伝達部品に広く適用されている¹⁾。浸炭方法としては、固体浸炭、液体浸炭、ガス浸炭があるが、工業的に最も普及しているのがガス浸炭であり、古くから多くの技術開発がなされ、生産性や機能向上に大いに寄与してきた。しかし、2000年前後からは減圧下で行う真空浸炭についても、CO₂ガス排出抑制といった環境面や品質面において多くのメリットが得られることから²⁾、真空浸炭用鋼³⁾、

真空浸炭炉のメリットを活用した新しいプロセス⁴⁾など多くの技術開発がなされ、現在もその実用導入が活発に検討されている。

本稿では、浸炭処理の特徴について、他の代表的な表面硬化処理である窒化・軟窒化、高周波焼入れと違いを中心に解説した上で、ガス浸炭の振り返りと普及拡大が見込まれる真空浸炭について、鋼材の開発事例を交えて概説する。

◇ 浸炭処理の特徴

図1(a)(b)に、浸炭、窒化・軟窒化、高周波焼入れ処理のヒートパターン、及び処理前後のミ

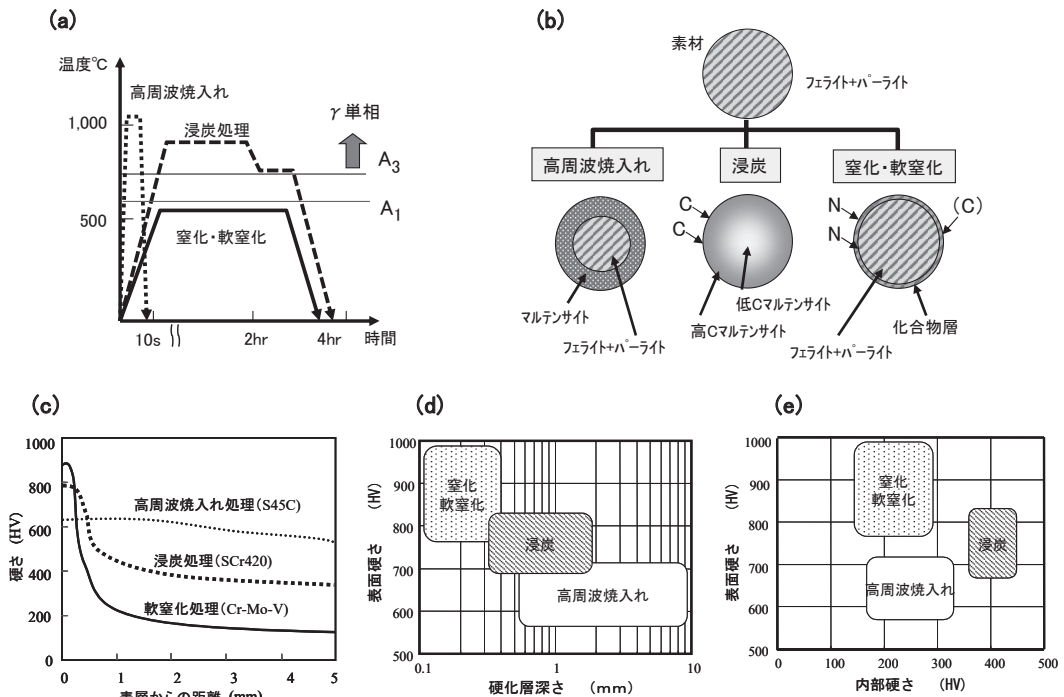


図 1 各種表面硬化熱処理とその特徴

(a) ヒートパターン、(b) 処理前後のミクロ組織の変化、(c) 硬さ分布、(d) 表層硬さと硬化層深さの関係、(e) 表層硬さと内部硬さの関係

クロ組織の変化を模式図で示す。処理温度と組織の観点で比較すると、窒化・軟窒化⁵⁾は A_1 点以下のフェライト (α) 温度域での処理であるのに対し、浸炭¹⁾、高周波焼入れ⁶⁾は、 A_3 点以上のオーステナイト (γ) 温度域で行われる処理であり、 γ 相から焼入れ (急冷) してマルテンサイト組織を得ることで硬化させる処理である。浸炭の場合、 γ 温度保持中に (通常 $\geq 900^\circ\text{C}$)、鋼の表層から化学反応によりCを浸透拡散させる。通常、ここでの表層C量は、焼入れ後に最も高硬度となる0.8%前後に調整される。浸炭後の表層は高Cマルテンサイトであるため非常に硬く、内部は低Cマルテンサイトのため比較的軟らかく、かつ韌性に富んだ傾斜特性となる。尚、浸炭用の鋼材としては、機械加工性や浸炭後の内部韌性からC量を0.1~0.3%とし (通常 $\approx 0.2\%$)、焼入れ時にマルテンサイト組織となるようMnやCr、Mo等を適量添加した合金鋼が使用される。JIS規格においては、SCr420やSCM420がその代表となる。

図1(c)に代表的な鋼材を用いて浸炭処理、軟窒化処理、高周波焼入れ処理した部材の硬さ分布を示す。また、図1(d)、(e)には、表面硬さ、硬化層深さ、内部硬さの各関係を示す。表面硬さについては、通常の浸炭では700~800HVが得られ、窒化・軟窒化には及ばないものの、高周波焼入れよりは高い表面硬さが得られる。硬化層の深さについては、浸炭処理の場合、処理時間を長時間とすることで深さを増加することは可能であるが、一般的には0.5~1.5mmであり、高周波焼入れには及ばないが、窒化・軟窒化よりは深い硬化層が得られる。一方、内部硬さについては、図1(e)に示すように、浸炭処理が最も高くなる。窒化・軟窒化処理は変態を伴わない処理であるため処理前後の内部の組織には変化がなく、処理前の硬さがそのまま処理後の硬さになる。実部品では表面硬化処理前に機械加工を行うため、機械加工の可能な硬さが窒化・軟窒化処理で得られる内部硬さとなる。高周波焼入れは、硬化層深さの自由度が高いので内部硬さに関する問題は少ないが、高周波焼入れも内部には熱影響がないので、内部組織は処理前後で変化せず、機械加工が可能な硬さが処理後の内部硬さとなる。これに対し浸炭処理は部品の全体を加熱する処理であるため、処理後の

内部組織は処理前の組織に関係なくマルテンサイトとなる。通常、機械加工の容易性から、浸炭処理前は200HV以下のフェライト+パーライト組織に調整されるが、処理後はマルテンサイトとなり350~450HVの内部硬さが得られる。

以上総じると、窒化・軟窒化処理は、表層硬さは極めて高硬度であり耐摩耗性や耐焼付性などに優れるが、硬化層が浅く心部硬さが低いために、高面圧、高負荷が作用する部品には制約がつく。一方、高周波焼入れ処理では深い硬化層が得られ疲労強度などには優れるが、表層硬さが他の処理に比べて低いために耐摩耗性などには劣っている。これらに対し、浸炭処理は両処理の中間に位置しており、耐摩耗性や疲労特性、衝撃特性のバランスに優れた処理と言える。このような特徴から浸炭処理は、自動車、建設機械用の動力伝達部品を中心に広く適用され、表面硬化処理としても最も普及が進んでいる。以降は、最も普及しているガス浸炭と普及拡大が見込まれる真空浸炭について概説する。

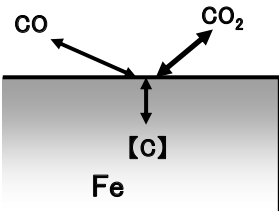
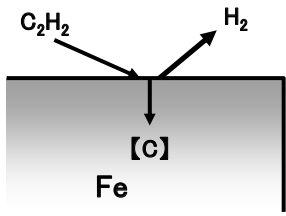
◇ ガス浸炭

表1にガス浸炭および真空浸炭の処理条件の主な違いを比較して示す。ガス浸炭はプロパンやブタンなどのガスを主原料として作製した搬送 (carrier) ガス (CO 、 H_2 、 N_2) の次に示すブドア (Boudouard) 反応により炭素が供給される¹⁾。



ガス浸炭は、大気圧における平衡反応での処理であり、浸炭と脱炭 (酸化) 反応が同時に進行する。図2にSCr420ガス浸炭材の断面表層部の組織を示す。図2(a)のノーエッチ写真に示すように、ガス浸炭においては浸炭雰囲気中に酸素が存在することに起因し処理材の最表層部には結晶粒界に沿って酸化物が形成する。この酸化物中にはSi、Cr、Mn等の合金元素が取り込まれ⁷⁾ 粒界酸化物周辺の焼入れ性が低下する結果、図2(b)の最表層部の黒色組織のようにマルテンサイトが得られない、いわゆる不完全焼入れ層が表層から数十 μm の範囲に形成し疲労強度低下の要因となるので注意が必要である。ガス浸炭用には、JIS-SCr420やSCM420が多く使用されているが、特に強度が必要とされる用途に関しては、粒界酸化が抑制可能

表 1 ガス浸炭と真空浸炭の比較

比較項目	ガス浸炭	真空浸炭 (減圧浸炭)
使用ガス	プロパン (C ₃ H ₈)、ブタン (C ₄ H ₁₀) 等 → 搬送ガス (CO等)	炭化水素ガス [アセチレン (C ₂ H ₂)、プロパン (C ₃ H ₈) 等]
処理圧	大気圧	1/100気圧
制御	一定ガス流量 (CO、CO ₂ 濃度)	流量制御 (パルス浸炭)
浸炭機構	平衡反応 (浸炭・脱炭反応が同時に進行)	非平衡反応 (浸炭反応のみ進行)
	$\text{Fe} + 2\text{CO} \rightleftharpoons [\text{Fe} + \text{C}] + \text{CO}_2$	$2\text{Fe} + \text{C}_2\text{H}_2 \Rightarrow 2 [\text{Fe} + \text{C}] + \text{H}_2$
		

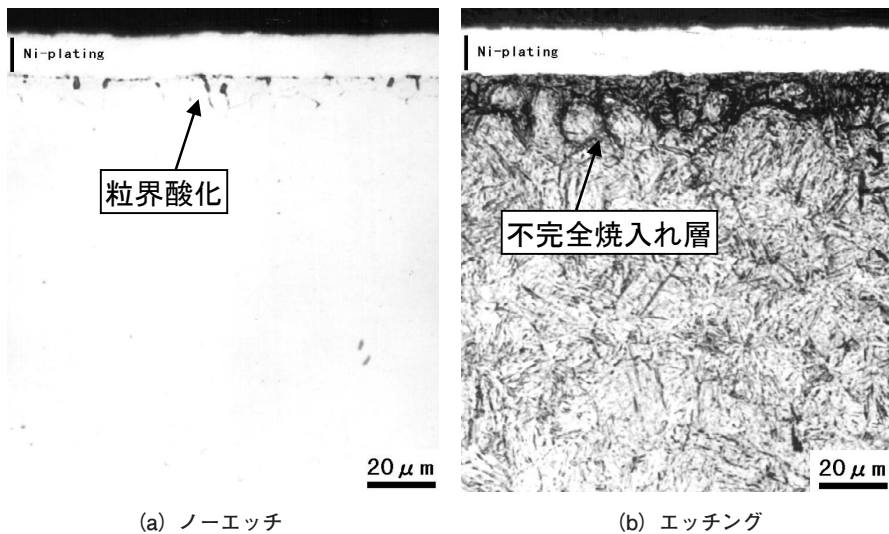


図 2 ガス浸炭後の断面組織の観察例 (JIS-SCr420)

な高疲労強度鋼 (DSG鋼) が開発されている⁸⁾。本開発鋼では粒界酸化の生成を抑制するためにSi、Mn、Cr量を低減させると同時に、選択酸化され難いNiやMoの添加で焼入性を改善し不完全焼入れ層を抑制しており、歯車の歯元曲げ疲労試験においてSCM420に対して10%以上の疲労強度の向上が得られている。また、歯車においては、使用環境によっては歯面のピッチング損傷が問題となる場合もあるが、ピッチング強度を改善した鋼材

(DPG鋼) も開発されている⁸⁾。ピッチングを抑制するには歯面の発熱による軟化を抑制することが重要であり、本開発鋼では軟化抑制のためにSCr420、SCM420よりもSi、Crを増加させており、SCr420のピッチング寿命に対して10%以上の高強度化が図られている。

◇ 真空浸炭

表1に示したように、ガス浸炭と真空浸炭では

その原理が異なる。減圧下で行う真空浸炭は、粒界酸化やこれに起因した不完全焼入れ層が生成しないことやCO₂排出量が少ない²⁾一方で、表面炭素濃度が形状の影響を受けるため期待される強度が得られないという課題がある。例えば歯車の歯面部を適正な炭素濃度とすると歯端のエッジ部は炭素濃度より高い、いわゆる過剰浸炭された状態となりエッジ部の強度が低下する^{9)、10)}。

現在では、真空浸炭機構およびエッジ過剰浸炭発生機構の解明が進み¹¹⁾、上記の課題を解決可能な真空浸炭用鋼（DEG鋼）が開発されている³⁾。**図3**には、SCM420と開発鋼において、平面部が0.75%Cとなるよう浸炭処理されたものの断面組織を示す。SCM420の真空浸炭では平面部に炭化物が存在していないのに対し、60°エッジ部では過剰浸炭されており旧 γ 粒界に沿って粗大な炭化物が生成している。一方、開発鋼では、平面部、エッジ部ともに粗大炭化物が存在しない健全な組織となっている。**図3**には、平面部のC濃度を0.8%前後に真空浸炭処理したSCM420と開発鋼の疲労強度を、同じくガス浸炭処理したSCM420と合わせて示す。SCM420の真空浸炭材ではエッジ部が過剰浸炭したことによりエッジ角度が鋭角な場合においてガス浸炭よりも強度が低下している。一方、開発鋼では過剰浸炭が起こらないため、エッジ角度によらずガス浸炭材よりも高い強度が得られ、真空浸炭のメリットである粒界酸化抑制の効果が

発現できている。

真空浸炭はコールドウォールで構成されているため、ガス浸炭に比べより高温での浸炭が可能である。浸炭を高温化すると炭素の拡散が速くなるため、浸炭時間の短縮が可能となる。つまり、真空浸炭は、環境、品質面だけでなく、浸炭の高温化による生産性向上も期待できる。しかし、浸炭を高温化すると γ 結晶粒の異常粒成長が発生し易くなり、疲労強度¹²⁾や熱処理歪¹³⁾の劣化が起こる。真空浸炭による高温化を実現するには異常粒成長の抑制が必要となるが、異常粒成長を抑制可能な鋼材が開発されている。その代表例が、微細なピン止め粒子を多数分散させた鋼材である。通常の浸炭用鋼材には、異常粒成長抑制のためにAINが使用されるが、Nb (C, N)¹⁴⁾やTiC¹⁵⁾を導入した鋼材では、AIN鋼よりも高い浸炭温度においても異常粒成長が抑制されることが報告されている。また、最近ではピン止め粒子をあえて分散させないことで浸炭時に γ 粒を均一に成長させ、異常粒成長の発生を抑制する新たな鋼材も提案されている¹⁶⁾。本開発鋼では平均結晶粒径が大きくなることから焼入性が向上し省合金化が図れることや低サイクル疲労強度が向上するとも報告されている。

むすび

浸炭が適用される部品は今後一層の小型軽量化が必要であり、それに応えるためには鋼材だけで

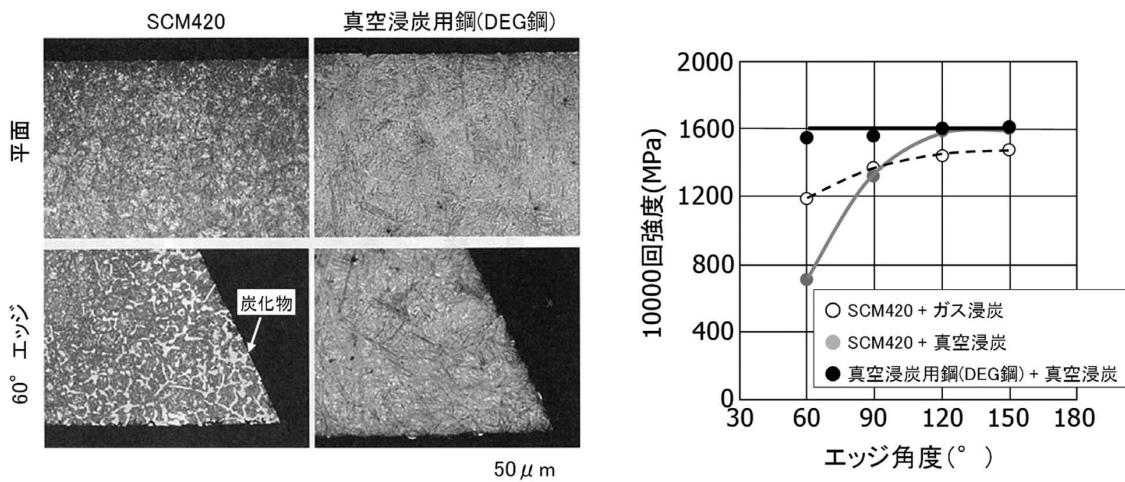


図 3 JIS-SCM420および真空浸炭用鋼（DEG鋼）の真空浸炭後のミクロ組織、及び疲労強度とエッジ角度の関係³⁾

はなくプロセスや場合によっては設計まで踏み込んだ開発が不可欠になってくる。少なくとも部品製造プロセスの知識を広げ新たなアイデアを出し続ける必要がある。また、部品製造工程において浸炭は時間・スペースともに大きなウエイトを占めることから、浸炭炉の小型化や機械加工ラインとの同期（インライン）化などが進むと考えられ、このような工程革新に素材面から寄与するためには、一層の異常粒成長抑制能の向上や機械加工性の改善などが必要である。

参 考 文 献

- 1) 例えば 内藤武志：浸炭焼入れの実際第2版、日刊工業新聞社（1999）
- 2) 田中辰実：電気製鋼、vol. 84、p. 123（2013）
- 3) 製品紹介、電気製鋼、vol. 79、p. 83（2008）
- 4) 大林巧治：熱処理、vol. 48、p. 161（2008）
- 5) 例えば（社）日本熱処理技術協会：熱処理ソースブック第2巻、（2008）
- 6) 例えば（社）日本熱処理技術協会：熱処理技術便覧、日刊工業新聞社、p. 788（2000）
- 7) 並木邦夫：博士論文
- 8) 羽生田智紀、紅林豊：電気製鋼、vol. 73、p. 73（2002）
- 9) 森田敏之、松村康志、梅本実：電気製鋼、vol. 79、p. 15（2008）
- 10) 森田敏之、梅本実：鉄と鋼、vol. 96、p. 400（2010）
- 11) 森田敏之、羽生田智紀：鉄と鋼、vol. 92、p. 268（2006）
- 12) 瓜田龍実、並木邦夫、飲久保知人：電気製鋼、vol. 59、p. 33（1988）
- 13) 松島義武、安部聡：熱処理、vol. 43、p. 214（2003）
- 14) 紅林豊、中村貞行：電気製鋼、vol. 65、p. 67（1994）
- 15) 井口誠、長岡享、小林一博：山陽特殊製鋼技報、vol. 6、p. 41（1999）
- 16) 中山恭平、宮崎貴大、井上圭介：電気製鋼、vol. 85、p. 133（2014）



(2) 窒 化

D O W A サ ー モ テ ッ ク (株) し み づ か つ し げ
熱処理事業部 新商品開発グループ 清 水 克 成

ま え が き

自動車をはじめとする輸送機産業において燃費向上を目的としたさまざまな取り組みが進められているが、車両、ユニットの小型、軽量化は燃費の向上における最重要課題である。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、熱処理による変寸が少なく、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。本稿では窒化処理のうちガス窒化・プラズマ窒化に関する事例と当社での取り組み事例を紹介する。

◇ 窒化処理

窒化処理とは材料表面から侵入させた窒素によって、表面部を硬化し耐摩耗性や疲労性、耐食性などの特性を向上させる表面硬化処理の総称である。アンモニアガスによる窒化処理は今から約100年前の1923年にA. Fryによって発表された¹⁾。このときすでに鋼への合金元素の添加が、窒化の硬さへ強く影響していることが示されている。

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軟窒化、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²⁾。窒化と軟窒化という呼称であるが、窒素を侵入させる熱処理のことを窒化と呼び、また、窒素と炭素を同時に侵入させる場合の熱処理を軟窒化と呼んでいる。軟窒化の炭素源は、塩浴ではシアン酸塩が、ガスでは吸熱型変成ガスや炭酸ガスなどが用いられる。

1. ガス軟窒化

低合金鋼（SCM415）にガス軟窒化処理を行った金属組織および硬さ分布の一例を図1に示す。金属組織観察の際に用いる腐食液に腐食されず白く見える層は、化合物層と呼ばれ、数 μm から十数 μm 程度の厚みであり、主として ϵ 相（ Fe_{2-3}N ）と γ' 相（ Fe_4N ）によって構成されている。さらに内部は合金成分のうち窒化物形成傾向が強い合金元素（Crなど）が形成する微細合金窒化物を含んだ拡散層からなっている。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。硬さの発現はこうした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³⁾。合金窒化物形成元素を含まない炭素鋼においては固溶窒素によって硬化するが、合金鋼ほどの硬化は起こらない。化合物層は拡散層に比べて硬く、耐摩耗性、耐凝着性に有利であり、耐食性も優れているが、硬くて脆い性質も併せもつため、用途によって窒化処理後に除

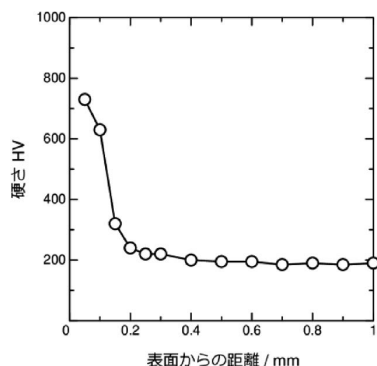
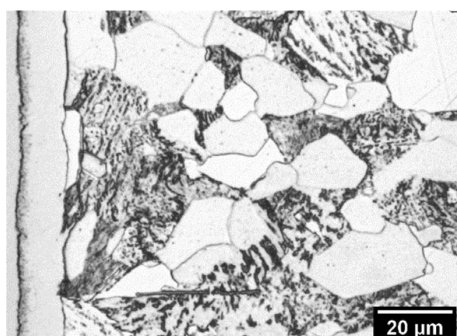


図 1 ガス軟窒化の一例（SCM415）

去する場合や、化合物層を生成させないで拡散層のみを生成させる窒化処理が行われる場合がある。

2. プラズマ窒化

拡散層のみを生成させることができる窒化処理として、プラズマ窒化処理がある。プラズマ窒化処理は100～1,000Paの減圧下で $N_2 \cdot H_2$ を導入し、被加工材を陰極、炉壁を陽極として、グロー放電下でイオン化された窒素を鋼中に浸入拡散させる。 $N_2 \cdot H_2$ 比を変更することで、窒化の強弱を調節できる。 H_2 比を高めることで拡散層のみを生成させることが比較的容易に可能である。逆に N_2 比を高めることでガス窒化同様の化合物層を得ることも可能である。マスキングにより部分的な防窒化が容易に行えることもプラズマ窒化の利点である。一方で端部や凸部にプラズマが集中する場合や、細穴部にプラズマが入りにくい場合があり、複雑形状のものには均一な窒化ができない場合があることには注意が必要である。

化合物層を生成させないでプラズマ窒化処理を工具鋼 (SKD11) に行った金属組織および硬さ分布の一例を図2に示す。表面に化合物層は見られず、黒色に腐食されている部分が拡散層である。工具鋼への窒化は、窒化処理中の温度が材料の焼き戻し温度を超えないようにすることで、内部の硬さの低下を起こさずに、表面を強化することができる。

◇ 高強度ガス窒化処理

近年、従来の窒化・軟窒化に対して、制御窒化と呼ばれる方法が積極的に導入されている。ガス窒化の炉内雰囲気気を連続的に測定し、炉内の窒化

ポテンシャルKNを制御することで、ガス窒化工程の自動化や安定化、ガス使用量の削減などの取り組みが行われている⁴⁾。また、化合物層である、 ϵ 相もしくは、 γ' 相を選択的に生成することで、部品の機械的特性へ及ぼす影響を明らかにしようとする取り組みも行われてきた^{5)～8)}。

従来のガス軟窒化の条件では窒化化合物層は ϵ 相主体となることがほとんどであったが、窒化化合物層を γ' 相主体の化合物層とすることで、疲労強度の向上が認められている。この γ' 相による各種疲労強度の向上は、 γ' 相が ϵ 相に比べて、面心立方型の結晶構造でじん性に優れていること⁵⁾や、塑性変形が可能であること⁶⁾、破壊応力が高いこと⁷⁾によって説明されている。

ところで、雰囲気組成・温度と窒化物の形態の関係についてはレーザー図からある程度予測することができるが、レーザー図はFe-N系のポテンシャル図であり、炭素や合金元素を含むとその相安定性は変化する。これら炭素や合金元素を考慮した計算状態図も報告されており^{9)、10)}、炭素やクロムなど合金成分を変化させた鋼材において、化合物相内の相構造が変化するということが報告されている^{9)～11)}。ここでは計算状態図を用いて、化合物層生成を最適化するヒートパターンを検討した事例を紹介する。

計算状態図の作成は、Thermo-Calcを用い、系をFe-N-Cの3元系とした。窒化ポテンシャルKNを拘束条件とし、縦軸を温度、横軸を炭素濃度とした計算状態図を作成した。その結果を図3に示す。この状態図からは、ある一定の窒化ポテンシャルのもとで、温度や炭素濃度が変化した時の

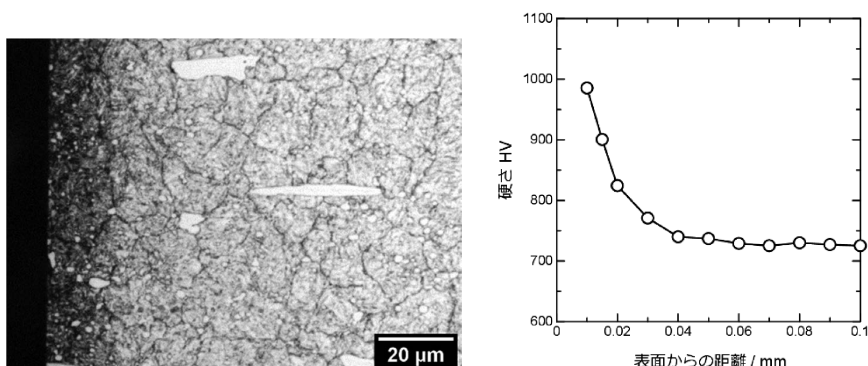


図 2 プラズマ窒化の一例 (SKD11)

相安定性や相比の情報が得られる。

この状態図では、 $\gamma' + \varepsilon$ の2相共存域が存在している。ここで、図中に示した $\gamma' + \varepsilon$ 共存域と ε 単相域の境界部分（600℃・炭素濃度0.55wt%）に存在する ε 相を考える。ここからKN、全体の炭素濃度を維持したまま矢印のように温度を低下させた場合を考える。温度が低下すると、 γ' 相の炭素の固溶限はあまり変化しないが、 ε 相の安定域が高炭素濃度側に大きく移行する。このため、炭素濃度が0.55wt%だった ε 相は炭素濃度1.2wt%の ε 相と炭素濃度0.1wt%の γ' 相に相分離することになる。すなわち、温度操作によって、 ε 相から γ' 相が新たに析出することが予測される。

図4にSCM435材をKN一定の下でa) 600℃×2時間の窒化処理から急冷したもの、b) 600℃×

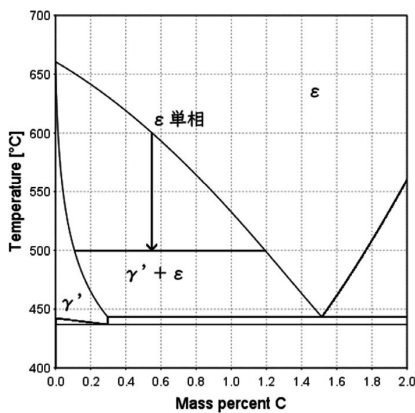


図 3 計算状態図

2時間の窒化処理のあと、図3に示すように降温し、一定時間等温保持してから急冷したもののEBSD相分析結果を示す。a) では全体で10μmほどの化合物層が生成しており、表面側に γ' 相、母材側に ε 相が生成している。b) においても、全体で10μmほどの化合物層が生成しているが、 γ' 相の割合はa) に比べ明らかに増加している。EPMAによってa) とb) の ε 相中の炭素濃度を比較したところ、b) の ε 相の方が炭素濃度が高くなっており、高温で生成した ε 相を低温で保持することによって、炭素の再分配が生じ、 ε 相から $\varepsilon + \gamma'$ 相への相分離が起きたものと考えられる。

このときの硬さ分布を図5に示す、化合物層の相比は変化していたが、硬さ分布には違いが表れていない。低温での等温保持中は、拡散層中の窒素の拡散速度は低下しているため、硬さ分布には

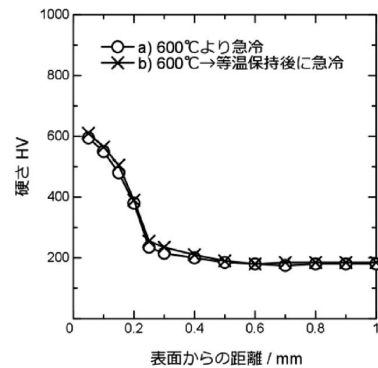
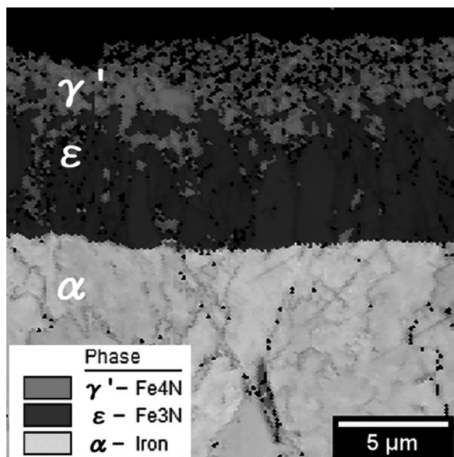
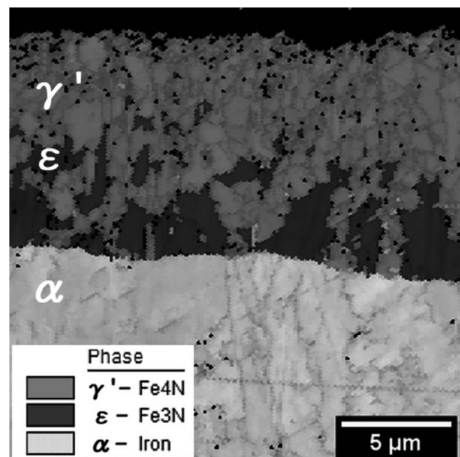


図 5 硬さ分布



a) 600℃より急冷



b) 600℃→等温保持後に急冷

図 4 EBSD相分析結果

影響を及ぼさなかったものと考えられる。

同様の処理を行った回転曲げ疲労試験片のS-N線図を図6に示す。比較としてガス軟窒化処理の結果も記載してある。a)、b) どちらもガス軟窒化処理に比べ疲労限が向上しているが、b) はさらに低サイクル側での寿命や疲労減が向上している。

同様の処理を行ったローラーピッチング試験の結果を図7に示す。面圧1.96GPaの条件下で、a) では早期にピッチングを起こしたのに対し、b) では試験終了の 10^7 サイクルにおいてもピッチングは発生していなかった。どちらの疲労試験の結果も、b) の方が高い疲労強度を示し、硬さ分布には差

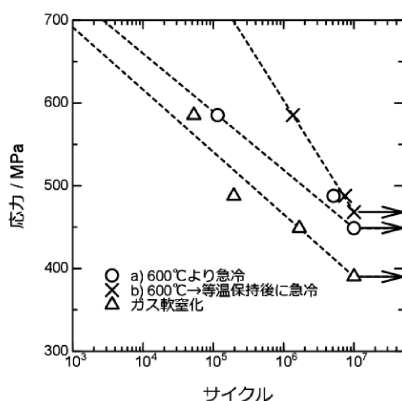
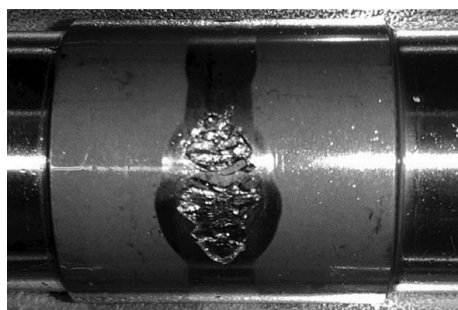
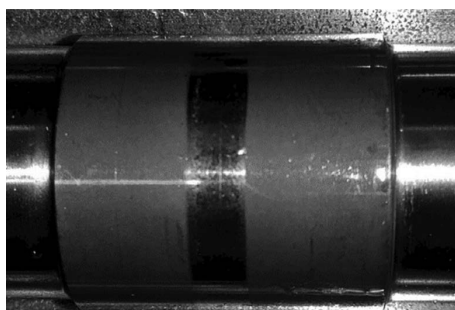


図 6 回転曲げ疲労試験結果



a) 600°Cより急冷



b) 600°C→等温保持後に急冷

図 7 ローラーピッチング疲労試験結果

異が表れていないことから、高温での窒化処理後に低温での等温保持操作を行ったことによる化合物相中の相分離が疲労強度の向上に寄与したものと考えられる。

むすび

窒化処理は、表面から侵入する、窒素および炭素、母材に含まれる炭素や添加される窒化物形成元素による微細析出物、結晶成長、時効などによって、金属組織や機械的特性が複雑に変化する。これからの高強度化ニーズに対応するためには、部品設計・熱処理設計・材料設計の技術者が連携し、ものづくりの工程全体を最適化する取り組みがより一層重要となるであろう。

参考文献

- 1) A. Fry : Stahl und Eisen, 43 (1923)、1271
- 2) JIS B6905 : 1995
- 3) 宮本吾郎ら：熱処理、51 (2011)、128
- 4) 梅田孝彰ら：KOMATSU TECHNICAL REPORT、Vol. 60 No. 167 (2015)、17
- 5) 小林厚ら：自動車技術会論文集、45 (2014)、1153
- 6) 平岡泰ら：熱処理、57 (2017)、64
- 7) 高木眞一ら：鉄と鋼、104 (2018)、594
- 8) 山田明徳ら：熱処理、60 (2020)、193
- 9) 平岡泰ら：熱処理、54 (2014)、313
- 10) 梅原崇秀ら：熱処理、59 (2019)、61
- 11) 浅田格ら：熱処理、58 (2018)、43

(3) 高周波焼入れ

高周波熱錬(株) 三 阪 佳 孝
取締役 研究開発本部長

まえがき^{1)、2)}

近年、熱処理・表面処理関連業界でも地球環境への優しさが求められ、CO₂排出量の低減、省エネルギー・省資源化が積極的に推進されている。高周波誘導加熱（IH: Induction Heating）熱処理は、クリーンな電気エネルギーを用いることから、燃焼式加熱炉による一般熱処理や浸炭焼入れなどの各種表面処理方法に比べてCO₂排出量が少なく、熱処理時間効率も優れている。また、加熱面の特徴である（１）急速短時間加熱、（２）表面加熱、（３）部分加熱を活用した表面硬化や組織微細化による高強度高靱性化は機械部品の小型軽量化に役立ち、“W-Eco[®]（Ecological & Eco-nomical）”熱処理として注目され、熱処理技術として利用が拡大しつつある。

さらに、高周波熱処理は「一個流し」処理が主体で、一個一個の被加熱物（ワーク）を管理された条件で加熱冷却するため、安定した品質管理（生産）が可能で、結果、“定”まった品質・寸法精度が得られやすく、加熱体積が少ないことから“低”い（少ない）変形（高精度）も可能で、これらを合わせて“W-テイ[®]（定・低）変形”熱処理という特徴も有している。

本講では、高周波焼入れの基礎とその特徴について紹介する。

◇ 誘導加熱の原理³⁾

高周波誘導加熱の原理は、Cu製の加熱コイルに高周波電流を流すことによって周囲に交番磁束が生じ、その磁場によって被加熱物に電流が流れてジュール熱が発生する直接（抵抗）加熱のため、非接触ながら急速加熱される。高周波電流には周波数が高いほど表面に流れやすくなる「表皮効果」があり、これによって表面加熱される。高周波熱処理の代表的な加熱方法には「一発焼入れ」と「移動焼入れ」がある。複雑形状の被熱処理部品ではこの加熱冷却方法の選択および加熱コイルと冷却ジャケットの設計が実務的なポイントとなり、コンピュータシミュレーションも活用したプロセス設計の合理化、効率化が進んでいる。

◇ 高周波熱処理設備の構成と役割⁴⁾

図1に高周波焼入れ設備の構成を示す。

高周波電源は、高周波大電力を発生させる装置で、高周波熱処理に用いられるのは一般的に周波数が3～200kHz、出力が数10～数百kWである。ちなみに家庭用IH調理器は、出力が1kW程度と小型ながら周波数は数10kHzで高周波焼入れ装置とほぼ同じ周波数帯域の電源が使用されている。高周波電源の形式は火花式から始まり電動発電式、サイリスタ式、トランジスタ式と発展し、近年は半

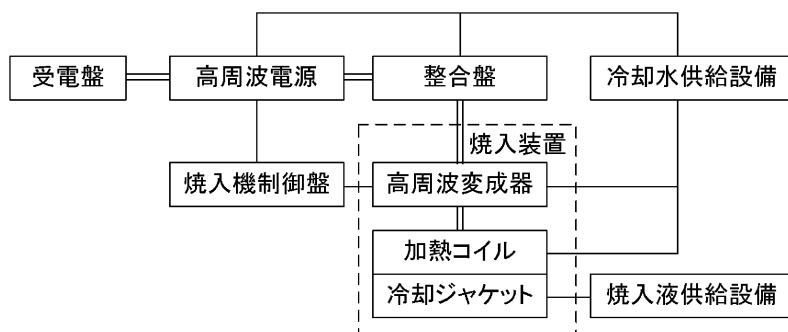


図 1 高周波焼入れ設備の構成

導体素子の発展により、トランジスタ式電源が主流として使用されており、その電源単体の電力効率は95%に達している。高周波加熱電源は、従来、連続加熱を想定し設計・製作される事が多かったが、自動車部品等で使用される場合は、ほとんどが10秒以下の短時間連続加熱である。この点に着目して、「短時間定格」という新しいコンセプトでの電源が実用化されている。また、最新半導体(SiC)を活用することで、最大50%の小型化を達成し、同時にメンテナンス性も向上した電源も開発、実用化されている。

加熱コイルは被加熱物の形状に合わせ、ワーク直近に配置し、大電流を流すことにより、被加熱物にも誘導大電流を発生させ、ワークが自己発熱する。この加熱コイルはワークに対して一品一様で設計製作され、その設計は、従来、過去の優れた経験や技術・技能に頼ることが多かったが、近年はコンピュータシミュレーション技術の発展により、その設計が可能となっている⁵⁾。

焼入機は加熱工程の機械的動作(搬入、排出)を自動化するものである。その目的と被加熱物の形状により千差万別であるが、専用機として自動インライン化したり、手付けオフラインタイプ、多目的用途の汎用機など様々である。設備メーカーとしては、設備コストの日常的な改善努力は継続しているものの、高周波熱処理設備は多機種・少台数製作のため、低コスト化はなかなかの難題であるが、関連技術や部品が進化しており、メーカーとしてはつねに技術革新を進めている。

焼入液は水を使用する場合があるが、表面焼入れでは、焼割れ防止のため、ほとんどで高分子のポリマーを添加した水溶性焼入冷却剤が使用されており、その濃度や温度、噴射方法などを管理・コントロールして冷却速度を制御している。液濃度は、通常、糖度計を用いて測定しているが、使用中に、ワークに付着している切削液等が不純物として混入、ポリマーの低分子化、液の腐敗等で、糖度計による換算液濃度と冷却能が一致せずに焼割れ等の不具合がでる場合があるので、実質的な冷却能を評価し管理する必要がある。

◇ 高周波熱処理の特徴

高周波焼入れは、一般に表面焼入れに用いられ

るが、熱移動を利用して鋼棒・鋼線の全体加熱焼入れ・焼戻しにも利用され、コンクリート構造物補強用のPC(Pre-stressed Concrete) 鋼棒や冷間成形コイルばね用鋼線“ITW”などの高強度鋼棒・鋼線が製造されている⁶⁾。

高周波熱処理の加熱面での特徴は、直接加熱による「優れた熱効率」、「大きな熱サイクル設定の自由度」、CO₂を直接排出しない「清潔な環境」、スイッチのON、OFFによる「迅速な運転・停止」、コンピュータ制御による電気加熱ゆえの「容易な自動化」、高効率なトランジスタ電源化が進んだことによる「小さいスペース」などが挙げられる。

高周波熱処理の材質面での特徴は、同じ炭素量でも炉加熱による全体加熱焼入材より「高い表面硬さ」、浸炭や窒化に比べて周波数、熱サイクル設定の自由度大による「深めで調整可能な硬化層」、表面のみ硬化による「高い圧縮残留応力」、急速短時間加熱オーステナイト(γ)化焼入れによる「微細組織(焼戻しでは析出炭化物も微細)」、「少ない脱炭」「W-テイ(定・低)変形」、「安い材料費(炭素鋼でも高強度化)」などが挙げられる。

図2に超急速短時間加熱焼入れ“SRIQ[®]”(Super Rapid Induction heating and Quenching)を用いて、輪郭に沿って焼入れした歯車(モジュール3、

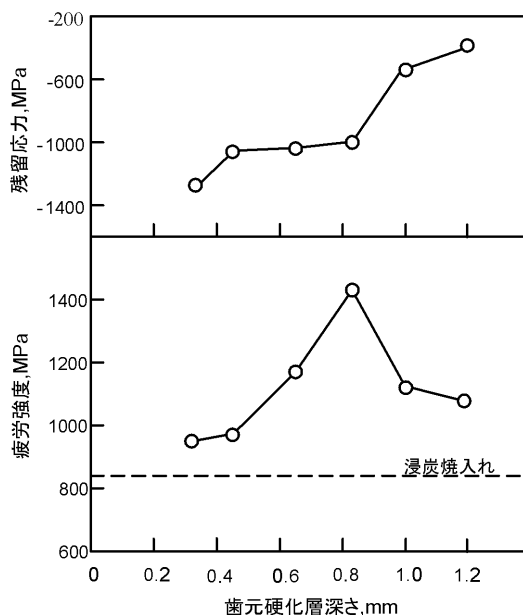


図 2 高周波輪郭焼入れ歯車の硬化層深さと歯元残留応力、歯元曲げ疲労強度の関係

材質S45C)の歯元硬化層深さ、歯元残留応力と歯元曲げ疲労強度の関係を示す。歯元に生起する高い圧縮残留応力の効果により、どの硬化層深さ水準でも浸炭焼入れに比べ高疲労強度を示すが、高疲労強度を得るには適正な硬化層深さが存在する。これは、硬化層深さが浅い場合、圧縮残留応力の絶対値は大きくなるものの浅い硬化層直下の硬さが低い非硬化部が負荷に耐えられず内部が塑性変形して、高負荷時に残留応力が減衰することにより、疲労寿命が低下するためである⁷⁾。このように、高疲労強度を確保するには、ワーク断面での負荷応力分布を想定しながら必要な硬化層深さを設定する必要がある。

◇ 高周波熱処理適用部品の事例

高周波熱処理は、浸炭、窒化同様に代表的な表面硬化法として知られ、JIS B6912「鉄鋼の高周波焼入れ焼戻し加工」に準拠して熱処理加工し、機械部品の性能向上に役立っている。

図3に示す自動車部品の例では、足回り部品の駆動軸、ハブ軸受、エンジン部品のカムシャフト・ギヤ・スプロケット・クランクシャフト、

ミッション部品、ステアリング部品などを多様な鋼種、寸法形状、硬化パターンで高周波焼入れしている。ステアリング用中空ラックバーでは、中空材に独自の冷間逐次成形法によりラック部歯型を加工し、ラック部と軸部を高周波焼入れ焼戻ししている⁸⁾。

また、加熱コイルあるいはワークが相対的に移動しながら順次部分的に加熱冷却する“移動焼入れ”を利用することにより、長尺部品や大径部品およびPC鋼棒やばね鋼線のような高強度鋼線・鋼棒の熱処理を行っている。建設機械や産業・工作機械部品では、旋回ベアリング部品、中・大型圧延ロール、トンネル掘削機用旋回輪、ボールねじ軸などを高周波焼入れしている。

◇ 高周波熱処理適用材質

最も多く使用されているのが中炭素鋼（炭素量0.40～0.50wt%程度）である。その他、合金鋼、工具鋼、鋳鉄等種々の材料の焼入れは可能であるが、浸炭焼入れや窒化と異なり、高周波焼入れ後の硬さは鋼材に含まれる炭素量によって決まるため、要求仕様を満たす鋼材選定が必要である。また、

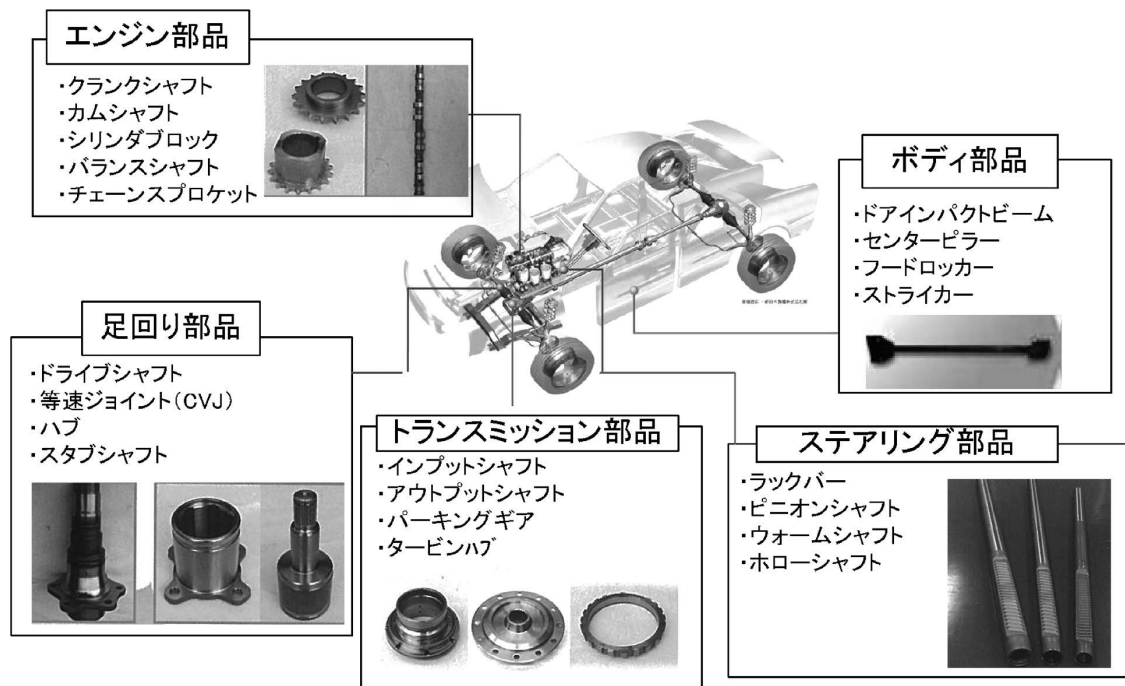


図 3 高周波熱処理適用自動車部品

高合金鋼などでは、炭化物などが存在し、短時間加熱中の炭化物の分解、固溶、拡散も複雑なので、あらかじめ、TTA（Time-Temperature-Austenitization）線図などを作成して、最適な加熱条件を求める必要がある⁹⁾。

◇ 高周波熱処理での主な仕様とトラブル事例¹⁰⁾

高周波熱処理仕様検討時には、材質、形状寸法、前組織はもちろん、測定法を含めた要求硬さ、焼入組織、変形（寸法精度。必要なら矯正方法も）、検査法を含めた割れ（特に大型部品では熱処理前の探傷検査も重要）、焼戻方法（要不要を含む）などについてユーザーと協議し、安心安全なモノ造りのために必要十分な仕様書を作成することが肝要である。

高周波焼入れでトラブルが発生したら、まずはトラブルシューティング策の迅速な検討実施による生産回復が必要であるが、場合によっては調査に時間をかけて、素材から前加工、熱処理、後加工、部品使用状況まで見渡した真因追及と恒久対策により根本的な再発防止を図ることが望ましい。

急速短時間加熱を特徴とする高周波焼入れでは、焼入前組織の影響が大きいことを常に留意する必要がある。同じ材質でも前組織が異なりフェライト面積が大きくなると硬化層深さは浅くなり、炭素を均一分散分布させた調質（焼入れ焼戻し）材

に比べて同じ高周波焼入条件でも有効硬化層は大きく異なってくるので、前処理の管理が重要である。また、前組織によって硬化層から非硬化層への遷移領域の組織・硬さの変化が異なるので注意が必要である。

図4は素材の偏析起因の硬さ不具合の事例を示したもので、偏析が強いと局所で材質・組織が異なり、焼入後の硬さが異なる。同左図は加熱温度と硬さ、結晶粒度の関係を示す。加熱温度が高くなると結晶粒は粗大化するものの、硬さのパラッキ（約200HV）は解消されていない。同右図はEPMA分析結果で、高周波加熱により、原子半径の小さいCは均一拡散するものの原子半径の大きなCr、Moは1200℃と高温加熱でも均一拡散されず、硬さのパラッキの原因となっているので、できるだけ元素が均一分散した素材が望まれる。

むすび

高周波焼入れは環境に優しく高強度・高靱性化、低変形化を実現でき、機械部品の小型化・軽量化に役立つ様々な材質面の特徴やCO₂排出が少なく環境にも優しい熱処理工法であるが、その性能を発揮するためには、熱処理だけでは解決できないものの多く、例えば急速加熱を考慮した鋼材の選定、部品の形状、さらに硬化層深さの設定等部品設計者との検討が必要である。つまり、設計技術

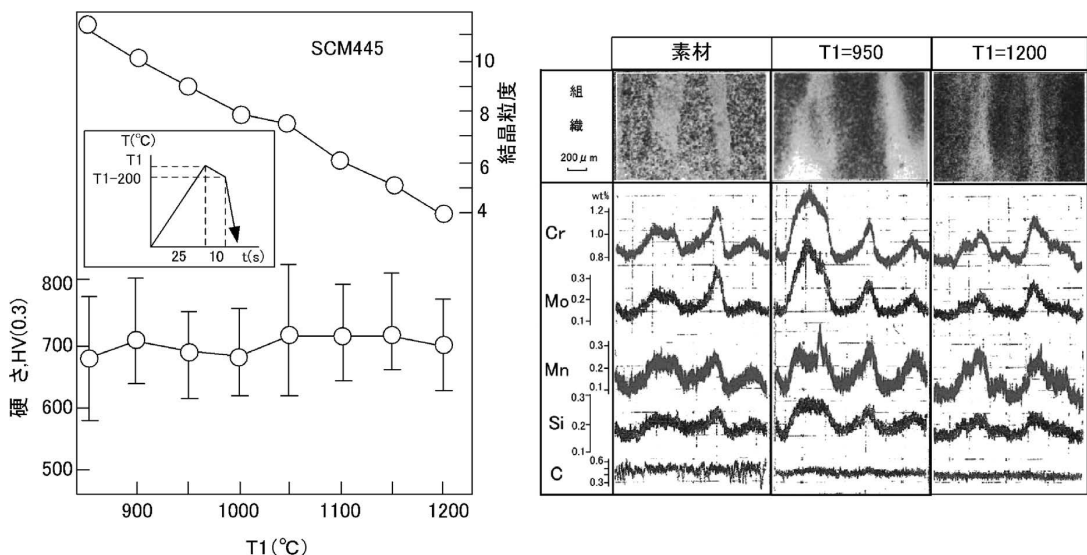


図 4 偏析品の加熱温度と硬さ、結晶粒度の関係と元素分布

者の協力と熱処理技術者の研鑽が重ねられれば、高周波焼入れの効果も一層顕著なものになり、その適用拡大につながると考える。本稿が高周波熱処理の理解と利用拡大に役立てば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) 三阪佳孝、川寄一博：工業加熱、50、6、19 (2013)
- 2) 川寄一博、三阪佳孝、他：熱処理、50、4、368 (2010)
- 3) 日本熱処理技術協会編：熱処理技術入門、大河出版、272-291 (1998)
- 4) 日本熱処理技術協会編：熱処理技術便覧、日刊工業新聞社、272
- 5) 堀野 孝：日本熱処理技術協会主催平成30年度第3回熱処理セミナーテキスト、3-1 (2018)
- 6) 川寄一博、溝口 茂、村山行雄、山下英治：ふえらむ、5、1、38 (2000)
- 7) 三阪佳孝、堤 邦彦、川寄一博、山崎隆雄：熱処理、43-3、155-160 (2003)
- 8) ネットレンHPより
- 9) 川寄一博、高岡憲久、山崎隆雄、尾崎良二：熱処理、20-6、281-288 (1980)
- 10) 川寄一博、三阪佳孝、高岡憲久、清澤 裕、山崎隆雄：工業加熱、41-2、23-31 (2004)



Ⅲ．熱処理設備

1．熱処理炉

中外炉工業㈱ 熱処理事業部 部長 白田 淳一
真空機能材設計部

まえがき

熱処理の方法は多種多様で、材料、目的に応じた処理を行っている。例えば、素材の硬化と耐摩耗性向上などを目的とする焼入れ、焼戻しや浸炭焼入れ、窒化など素材表面に耐摩耗性を付与する目的で行う熱処理などが挙げられる。

一方、熱処理炉においても上記のような処理目的に応じ様々な種類が存在する。処理量、温度、雰囲気、圧力、昇温・冷却速度など様々な条件に対して最適な構造（構成物の材質、加熱・冷却装置容量など）の炉が使用されている。

本稿では、代表的な熱処理炉の紹介、その中でも金型や工具鋼に適用される真空熱処理炉を中心にこれらの特徴などについて説明する。

◇ 代表的な熱処理炉

熱処理炉の構造は大別して、バッチ式と連続式に分類される。

バッチ式は、連続式と比較して設備費が安価で処理毎に熱処理条件を変更可能なため、少量多品種向けに適した炉形である。代表的な設備形状を図1に示す。ガス浸炭・焼入れの他に浸炭窒化、ガス軟窒化処理などにも用いられ、材料は加熱室で所定のガ

ス雰囲気、温度で処理後、焼入室で急冷処理される。通常雰囲気保護のため装入扉にフレームカーテンが取付けされるがベスチブルを真空置換することにより炎が発生しないフレームレス型にしてガス使用量の削減と安全性を高めた構造としている。

連続式は温度、雰囲気が一定に保持されている炉内を材料が移動する方式である。生産性が高く品質が安定することから、同一品種の大量生産に適した炉形である。炉の立上げ、立下げの頻度が少ないため、エネルギー消費量が少なく、断熱材など炉内構成物への負荷も軽減され長寿命であるのが特長である。

図2は連続式熱処理炉の中で代表的なガス浸炭炉の炉形を示す。加熱・浸炭・拡散・焼入温度保持の工程毎に仕切扉を設け、温度・雰囲気の均一性を保ち安定した品質を確保している。

これらの炉と洗浄や焼戻しなど前後工程の装置へはトランスファーカー（移動台車）で搬送している。近年では搬送から各装置での処理は無人で行われるものも多く、遠隔集中管理により各種データを蓄積し分析、予測することで、故障前にメンテナンス通知を行うことも可能である（図3）。また、材料自動積載のため高温下でも変形せず長寿命な炭素繊維複合材を用いたトレイも採用されつつある（図4）。

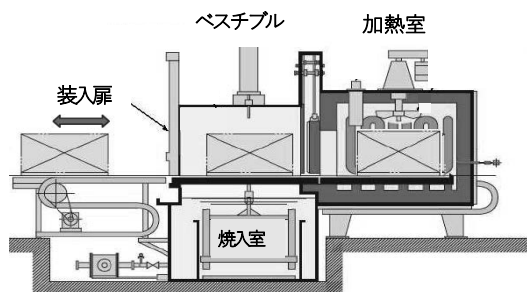


図 1 バッチ式熱処理炉

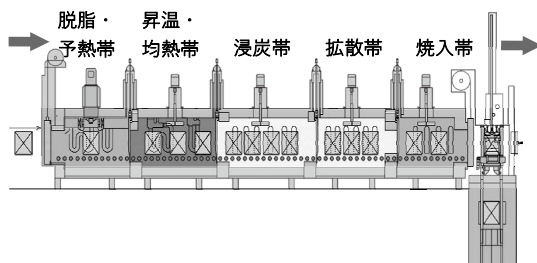


図 2 連続式熱処理炉

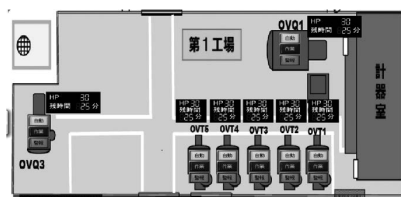


図 3 集中管理モニタ画面の参考例



図 4 炭素繊維複合材トレイ

◇ 真空熱処理の特長

工具鋼や金型等の特殊鋼の熱処理には真空炉を用いることが多い。その昔、塩浴処理や雰囲気処理が行われていたが、作業環境や安全性向上を主目的に1970年代から真空熱処理が適用され始めた。

真空熱処理は処理品の酸化、脱炭等の表面変化が少なく光輝性に優れる他、放射加熱のため昇温が緩やかで、処理品の変形が少ない。また熱処理の自動化も容易で作業環境もよいことから幅広く使用され、発展を遂げてきた。

冷却についても1980年代あたりから急速に開発が進み、現在では加圧高速冷却により大型の金型についてもガス冷却が可能である。

◇ 工具鋼の熱処理

金型や工具鋼等の熱処理に要求される真空炉の性能の一つとして、冷却速度の向上と歪みの低減がある。ガス冷却速度の向上は、ガス圧力の増加やHe、H₂ガスの使用により対応が可能である。一方の歪みの低減は、冷却速度が向上しても冷却時での均一なガスの流れが要求される。

図5に一室型の加圧真空焼入炉の構造を示す。

加熱時、上下のダンパーは閉状態で加熱を行う。また、対流加熱用のRCファンを装備し、昇温途中まで雰囲気加熱することで材料昇温時間を短縮している。

図中の矢印は冷却時の風の流れを示し、加熱後

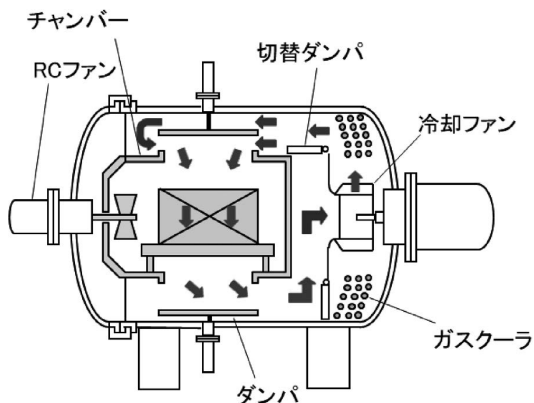


図 5 一室型加圧真空焼入炉

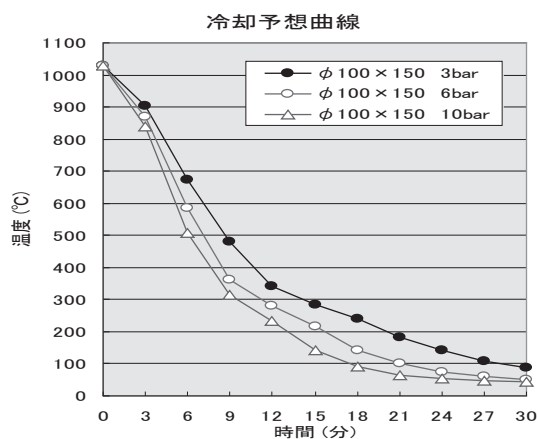


図 6 冷却圧力と冷却速度との関係

上下のダンパーが開き、炉内を急速加圧して冷却ファンを運転、冷却ガスをガスクーラに通し循環させて材料冷却を行う。冷却風は上下の開口部より導入、排出されるため、大風量の循環が可能である。さらに切替えダンパーにより所定時間で風向きを上→下、下→上に切替えての運転も可能で、上下の冷却速度差による歪みを低減することができる。

ガス冷却速度の向上は前述のガス種の転換はガス単価、回収装置の設備費の問題より広く普及しておらず、冷却するガス圧力と流速（流量）を上げて対応するのが一般的である。

図6はΦ100×150の材料を冷却ガス流量が一定で圧力を3～10barに変化させた場合の冷却速度の計算値を示す。

冷却圧力が高くなるにつれ材料冷却速度が上昇

していることがわかる。冷却ガス圧力ならびに冷却ガス流速を上げると材料の抜熱が促進され冷却能力は向上する。冷却速度は一般的にガス冷却圧力、流速の約0.6乗に比例するとされており、次式のような関係がある。

$$(\text{冷却速度}) \propto k (P \times V)^{0.6}$$

(P：冷却ガス圧力、V冷却ガス流速、k：材料熱伝導などによる定数)

これより冷却圧力または流速を2倍にすると材料冷却速度は約1.5倍(=2^{0.6})となる(材料の熱伝導による影響を除外した場合)。この場合、冷却ファンの動力を上げる必要があるが、必要動力は(風量)×(全圧力)の関係があり、全圧力は一般式 $\Delta P = \gamma \cdot V^2 / 2g$ より算出される。冷却圧力が2倍ならガス密度 γ が2倍となり必要動力も2倍となるが、流速が2倍の場合は風量が2倍×全圧力は4倍(流速Vの2乗より)となり必要動力は8倍になる。冷却速度向上は、ガス冷却圧力を上げる方が冷却ファン動力の増加が抑えられ効率的である。

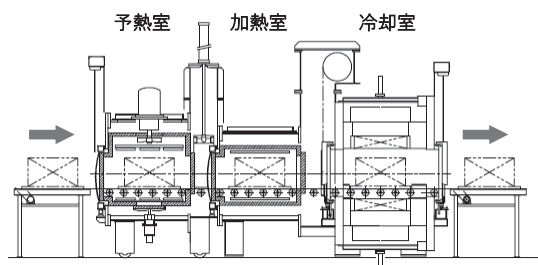


図 7 ローラハース型連続真空焼入炉

◇ 最新の真空熱処理炉

前述の通り、金型や工具鋼等の熱処理には高い冷却能力と低歪みを実現する設備が求められるが、これに加えて生産性の高い設備であることも重要である。

図7に加圧冷却機能を有した連続炉の構造概要を示す。加圧(10bar)可能な冷却専用室を設け、加熱後に搬送される材料を加圧冷却する。冷却は一室型同様上下切替えが可能な構造となっている。冷却に比べ加熱は長時間要するため、予熱、加熱の2室を設けてサイクルタイムを短縮している。加熱、冷却処理中にも次材料を投入可能であり、一室型(バッチ炉)と比較して2倍以上の生産能力を持つ。また、加熱室を常温まで冷却する必要がなく劣化速度も低減できるため、ランニングコスト、維持管理面でも有利である。

一方、EV化へ向けて自動車ボデー、サスペンション系部品用金型のニーズより、大型の処理部品の熱処理ニーズも増加傾向にある。

図8はΦ1,000mmを超えるような大物部品処理用の堅型真空炉を示す。

全周にガス噴射ノズルが設置され、冷却時は処理品に対し360°全方位から冷却ガスが噴射される(ガス噴射ノズルを複数にグループ分けして部分噴射も可能な構造としている)。更に処理品に複数の熱電対を取付け、処理品温度を常時監視することで、フィードバック制御により冷却中処理品温

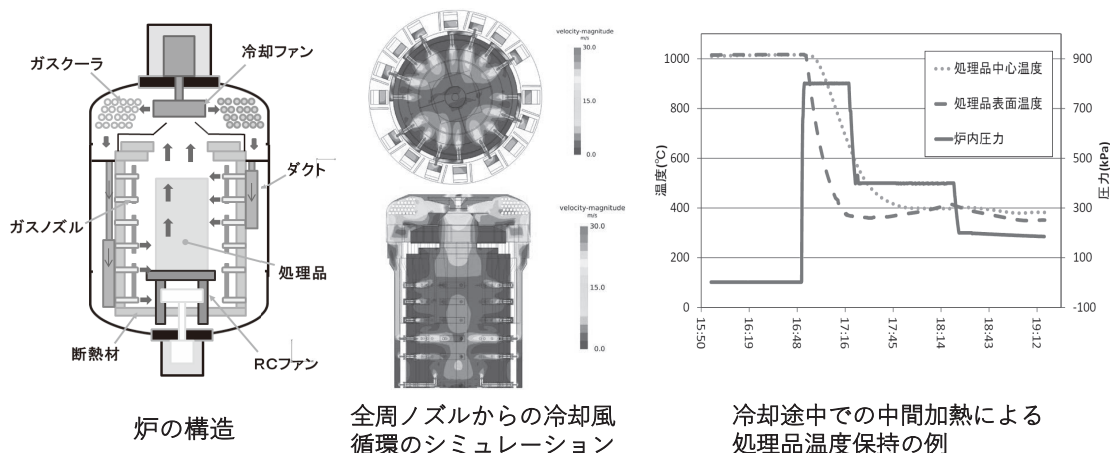


図 8 全周冷却型堅型真空焼入炉の概要

度にバラつきが生じた場合に特定エリアにだけ冷却ガスを噴射するマルチフロー冷却が可能である。

また、冷却途中でヒータとRCファンによる中間加熱を行い、Ms点直上で処理品温度を均一保持させることで疑似マルクエンチ処理も可能である。

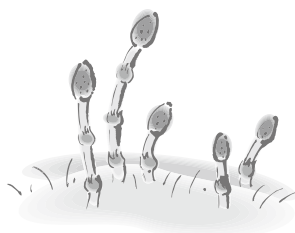
むすび

熱処理は大量にエネルギーを消費するプロセスであるため、脱炭素社会実現へ向けて再生エネル

ギーの積極的な活用や省エネルギーへの取組みは設備メーカーとしての責務である。これらに積極的に取組み、顧客ニーズを満足し、安全かつ省人化も考慮した生産性の高い設備を提供していく所存である。

参考文献

- 1) 藤野智彦：素形材、Vol. 55 (2014) No. 2
- 2) 村上弘二：工業加熱、Vol. 54 (2017) No. 6



2. 浸炭焼入れ炉

河田技術士事務所 かわ た かず き
所 長 河 田 一 喜

まえがき

地球環境の観点から脱炭素社会に向けて自動車業界もガソリン車から電気自動車（EV）や燃料電池自動車（FCV）への取り組みを加速させている。世界各国の自動車メーカーが2030年代には新車販売の50%以上を電気自動車にすることを目標に掲げている。CO₂を全く排出しない電気自動車を製造する過程で、CO₂排出を削減した浸炭焼入れ炉の要求が高まることは必然と思われる。そこで、環境対策、省エネルギー化を図ったガス浸炭炉の最近の動向と環境に優しい真空浸炭炉の新しい取り組みについて報告する。

◇ ガス浸炭炉

現在、自動車部品に最も多く適用されている浸炭焼入れはガス浸炭焼入れである。浸炭処理は浸炭後焼入れを行うことで硬さ、強度を増すことができるため、ガス浸炭焼入れ炉には浸炭室（加熱室）と焼入れ油槽（あるいはソルト槽）がセットになっている。炉の型式としてピット型、バッチ型、連続型があり、用途、処理量によって使い分けされている。また、浸炭ガス発生方法としては浸炭炉とは別の変成炉により吸熱型変成ガスを発生させる方法とメタノールあるいはN₂とメタノールを直接浸炭炉内に導入して浸炭ガスを発生させる方法とがある¹⁾。

ガス浸炭炉は歴史的には最もシンプルなピット型から始まり、その後バッチ型、連続型へと進化していった。ピット型ガス浸炭炉は、設備価格が安く、長尺物の浸炭処理には歪の観点から有利である。ただし、加熱（浸炭）炉と油槽が独立した設備であり、油槽へ焼入れしたときに炎・黒煙が立ち上がるなど、作業環境の悪化や大気汚染の問題がある。一方、浸炭室と油槽を備えたバッチ型ガス浸炭炉は、ピット炉と違って雰囲気ガス中で焼入れするため炎・黒煙が発生しなく、処理品の

仕上り肌も光輝である。ただし、このような従来のバッチ型ガス浸炭炉においては、処理品の出し入れは「フレームカーテン」を焚きながら行うことと、雰囲気ガス排気を燃焼させているため、大量のCO₂排出が避けられない。自動車メーカーや大手自動車部品メーカーで少品種大量生産向けに使用している連続浸炭炉はトレープッシャー型から品質向上、省スペース化、処理時間短縮できるローラーハース型に移行してきている。ただ、処理品の入り口と出口においてはフレームカーテンを焚くタイプであれば、雰囲気ガス燃焼排気と合わせて大量のCO₂排出は避けられない。

◇ 新しいガス浸炭炉

CO₂排出を削減する観点から、ガス浸炭焼入れ炉は、その加熱源、雰囲気ガス燃焼排気、フレームカーテンに関して次のような取り組みが行われている。

まず、フレームカーテンに関しては、図1に示すようなガス浸炭炉¹⁾を使えば、前室は真空パージ後室素腹圧できるためフレームカーテンレスで安全で、処理品出し入れによるCO₂排出もない。また、気密性に優れているため、炉内供給ガスも少なく、CO₂排出量も削減できる。ローラーハース型連続ガス浸炭炉に関しても、前室、後室をフレームカーテンレスの真空パージ室にすれば、処理品出し入れによるCO₂排出をなくせる。また、別置きの変成炉を使わず、小型の炉内設置型ガス発生機²⁾を使用すれば、CO₂排出をさらに抑えることができる。雰囲気ガス燃焼排気に関しては、前室と加熱室の両方とも真空引きできる気密性に優れる炉⁴⁾を使用すれば、炉内供給ガス量をさらに少なくできるため燃焼排気されるCO₂量も削減できる。

加熱源に関しては、電気加熱を使えば浸炭炉からは燃焼加熱に伴うCO₂排出はないが、電気を作るために化石燃料を使っている限りでは結果的に

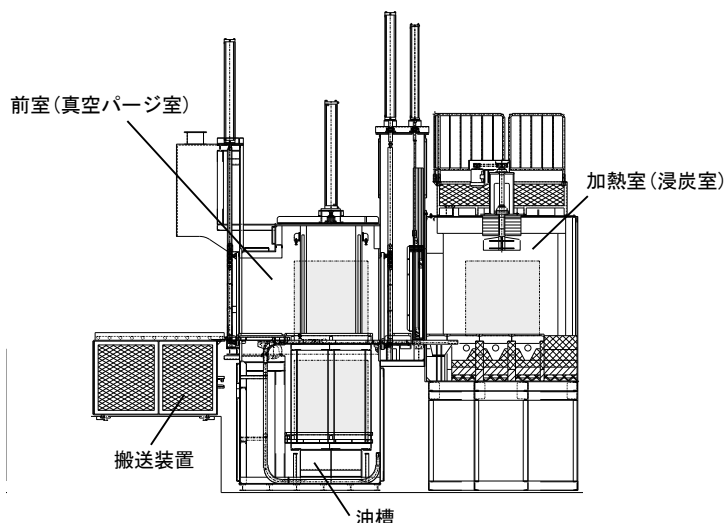


図 1 真空パージ室付きバッチ型ガス浸炭炉の概略図¹⁾

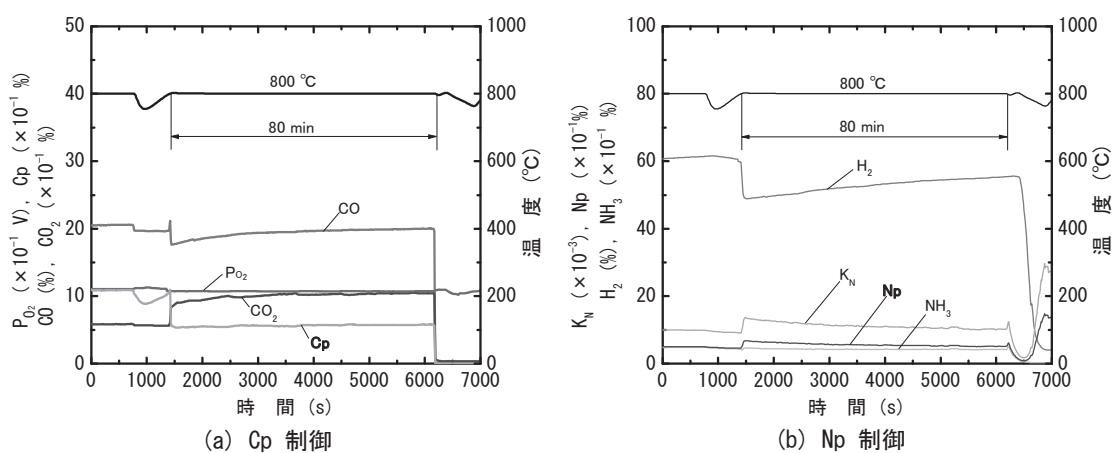


図 2 ガス浸炭窒化中の実際のCp、Np独立同時制御チャート⁶⁾

CO₂排出をしていることになる。将来、100%再生可能エネルギーによる電気が供給されるようになればCO₂排出をゼロにできる。現時点では、加熱に関しては天然ガスを使ったリジェネレイティブバーナー³⁾を使用すれば省エネルギー化とCO₂排出削減が達成できる。また、水素を使ったバーナーも開発され、一部実用化されている^{4)、5)}が、このような水素バーナーをガス浸炭焼入れ炉の加熱源に使用すれば加熱源に伴うCO₂排出をゼロにできる。

ガス浸炭にNH₃を添加するガス浸炭窒化は、次のような特徴がある。①非合金鋼の焼入れ性と耐摩耗性を向上させる。②低合金鋼や高合金鋼に対

しても性能を向上させることができる。③焼戻し軟化抵抗が高く、強度・耐摩耗性・疲労強度・耐食性を向上させ、摩擦係数を低減できる。このような優れた特性を処理品に付与できるガス浸炭窒化は、カーボンポテンシャル (Cp) と窒素ポテンシャル (Np) の両方が精密に制御されて達成することができる。図2にガス浸炭窒化中の実際のCp、Np独立同時制御チャート⁶⁾を示す。今後、電気自動車や燃料電池自動車が普及するときには、浸炭以上に部品の性能向上を図れるガス浸炭窒化焼入れを安定して再現性よく実行できる設備は必要不可欠である。

◇ 真空浸炭炉

ガス浸炭に代わって炎が出なく、環境に優しいプロセスである真空浸炭が徐々に普及してきている。真空浸炭炉の加熱源は、ほとんどが電気であるため、将来100%再生可能エネルギーによる電気が供給されるようになれば加熱に伴うCO₂排出をゼロにできる。また、浸炭ガスとして主にC₂H₂を使用するため燃焼排気させる必要がないため、燃焼排気に伴うCO₂排出をゼロにできる。炉の型式としてパッチ型、モジュール型、インライン型、連続型があり、用途、処理量によって使い分けされている。

日本においては、欧米と違って高圧ガス保安法規制や肌焼鋼材料により浸炭後は油冷しないと十分焼きが入らない。そのため、1つのトレーに多くの品物を充填したパッチ処理の場合、油槽付きの真空浸炭炉が標準になる。真空浸炭においても、ガス浸炭のように雰囲気制御あるいは監視することは品質保証の観点から必須になるものと思われる。図3に熱伝導式水素センサを使って雰囲気制御しながら真空浸炭処理した実際の制御記録チャート⁷⁾を示す。

ヨーロッパにおいて、モジュール型の真空浸炭炉⁸⁾が開発され、全世界に普及してきている。このような真空浸炭炉の特徴は、欧米の肌焼鋼を使って浸炭し高圧ガス冷却により焼きを入れることである。また、パッチ炉の場合、炉毎に加熱室、

冷却室が必要だが、モジュール型は少ない冷却室で兼用ができ、処理量に応じて加熱室だけを増設できるメリットがある。すなわち、少量生産から大量生産までフレキシブルに対応できる。日本においては、高圧ガス保安法規制や肌焼鋼材料の制限のため、図4に示すようにモジュール型真空浸炭炉は、ガス冷却室ではなく、油槽を装備している。

自動車工場においては、前後工程との関係で浸炭焼入れ炉もインライン型が望まれている。図5にヨーロッパにおいて開発されたインライン型真空浸炭炉に投入される部品荷姿⁹⁾を示す。パッチ炉と違い小さいトレー上に1段のみ処理品をセットし、約1050℃で高温短時間浸炭を行い、高圧ガス焼入れを行う。この場合の高圧ガス冷却は処理品が少ないため、N₂ガスによる600~900kPa程度

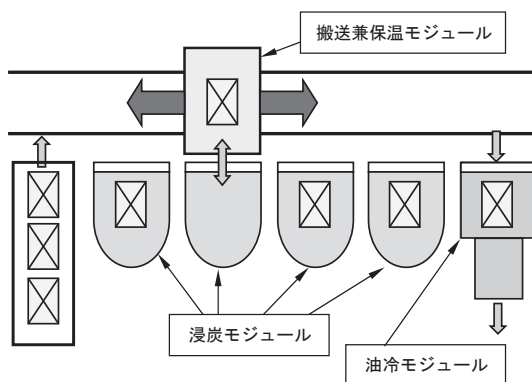


図 4 モジュール型真空浸炭炉のレイアウト

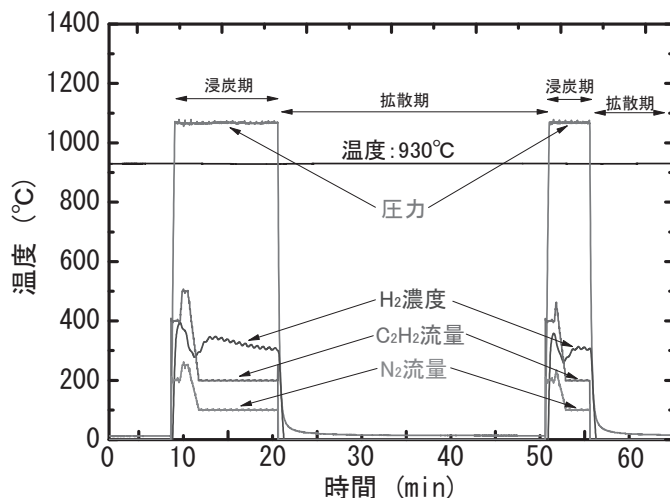


図 3 真空浸炭処理における実際の雰囲気制御記録チャート⁷⁾
(浸炭温度：930℃、圧力：1.067Pa、添加ガス：C₂H₂ + N₂)

の圧力であるため日本でも採用できる。また、図6に示すように処理品1個だけを真空浸炭+拡散+高圧ガス焼入れするインライン型真空浸炭炉¹⁰⁾も開発されている。日本で開発され量産化されたインライン型真空浸炭炉により真空浸炭+ガス冷却+高周波再加熱水焼入れする技術¹¹⁾がある。この場合、焼入れは処理品1個ずつ水溶性焼入れ液により行うことで歪低減とCO₂排出を抑制できる。

以上のように、インライン型真空浸炭炉は油焼入れしないで高圧ガス焼入れや水焼入れすることで、CO₂排出抑制、歪低減、作業環境、省エネルギーに貢献している。

今後、真空浸炭以上に部品の性能向上を図れる真空浸炭窒化焼入れ、真空CD (Carbide Dispersion) 浸炭、真空CD浸炭窒化が安定して再現性よく実行できる設備が要求される。



図 5 インライン型真空浸炭炉に投入される部品荷姿⁹⁾

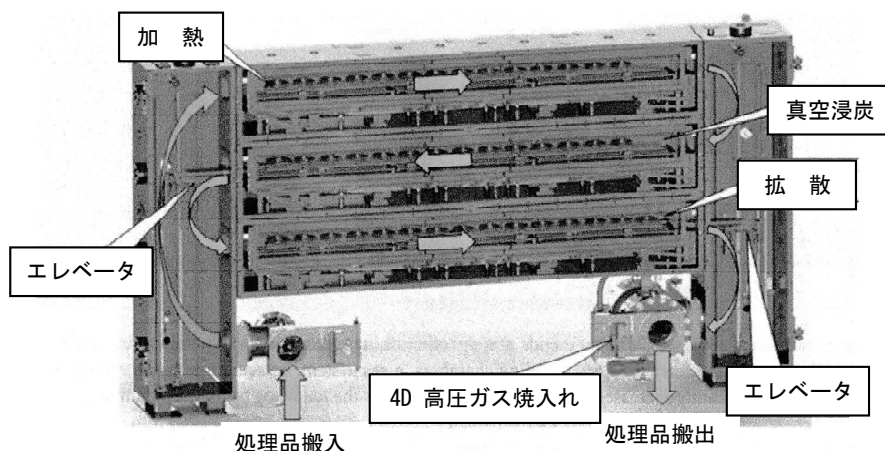


図 6 1個流しインライン型真空浸炭炉¹⁰⁾

むすび

脱炭素社会に向けて、ガス浸炭焼入れ炉は加熱源に電気や水素バーナー等を使い、フレイムカーテンレス、気密性に優れる炉構造によりCO₂排気ガスを削減することが重要である。また、部品性能向上の観点から、ガス浸炭窒化焼入れを安定して再現性よく実行できる設備が望ましい。真空浸炭焼入れ炉はバッチ型からモジュール型、インライン型と進化しており、高圧ガス焼入れ、高周波加熱水焼入れにより歪低減、CO₂排出の削減に貢献している。また、真空浸炭は品質保証の観点から水素センサによる雰囲気制御あるいは監視が重要になると思われる。

参考文献

- 1) 河田一喜：本当によくわかる窒化・浸炭・プラズマCVD、日刊工業新聞社（2012）
- 2) 藤野智彦：素形材、55、2（2014）9-15
- 3) 仲町一郎：工業炉の基礎知識 改定版、（一社）日本工業炉協会（2012）34-35
- 4) 高橋孝明ほか：第87回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集、（2019）7-8
- 5) 池田勇：Chugai Ro Thermal Technology News、3（2020）
- 6) 河田一喜：日本熱処理技術協会西部支部「第33回特定テーマ講習会」講演概要集、（2021）
- 7) 河田一喜：MECHANICAL SURFACE TECH、8（2015）32-35
- 8) K. Löser: Vacuum Technology、3（2016）97-103
- 9) V. Heuer、T. Leist、G. Schmitt: HTM J. Heat Treatm. Mat.、71、2（2016）83-89
- 10) M. Korecki et al.: HTM J. Heat Treatm. Mat.、72、3（2017）175-183
- 11) 大林巧治：熱処理、48、3（2008）160-167

3. 冷却媒体

出光興産 潤滑油二部 市谷 克実

まえがき

焼入れの目的は、所定の硬さを確保しながら、焼入歪を最小化することにある。その冷却媒体には、大別して水系と油系があるが、その他、ソルトやガス冷却などが用いられている。歪低減は熱処理工程の永遠の課題であるが、昨今は環境問題への配慮から、省エネや作業環境改善などのニーズも高まっており、それらの要望に応じた商品開発も進められている。

本報では、焼入れに用いる冷却媒体の特徴について概説し、さらに水系、油系に分け、水系の管理方法などに加え油系の歪低減油などの最新動向を含め紹介する。

◇ 冷却媒体の種類

焼入れ用の冷却媒体としては、熱処理油のJIS K2242に油系の1種から3種までの分類があり、また国際規格ISO 9950においては水系の分類も記載されている。水系の冷却媒体は広く水道水も使用されているが、焼割れが問題になる場合には、ポリマー水溶液が用いられる。図1に、水系、油系の冷却媒体に加え、ソルト、ガスのJIS冷却性試験に準拠した方法で測定した冷却曲線を示す。

鋼を焼入れする際には、高温域を速く、低温域を遅く冷やすことが望ましいとされている。低温

域とはマルテンサイト変態の開始（Ms点）から終了の温度域を指し、この温度域を速く冷やすと歪が大きくなり、場合によっては焼割れが生じる。Ms点は材質によって異なるが、広く焼入れに使われる合金鋼では400℃前後であり、これ以下の温度をゆっくり冷やすことが望ましい。

図1において、400℃以下の冷却速度を見ると、水道水が最も速く、ポリマー水溶液にすると速度が緩和される。次にコールド油、ホット油の順となり、ソルトやガス冷却はホット油と同等かさらに遅くなる。

ソルトは油系よりも歪低減に優れるものの常温で固体であることや廃液処理の問題などから使用は限定的である。また、ガス冷却も歪低減に優れ、さらに熱処理後の洗浄が不要というメリットがあり特に欧米を中心に普及が進んでいる。ただし、油系に比べ冷却能が低く大物部品に適用が難しいことや、日本ではランニングコストが高くなることなどが、拡大の妨げになっている。

そのため現在も、水系、油系といった液体の冷却剤が熱処理の現場では主流の冷却媒体として使用されている。

◇ ポリマー水溶液

昨今、焼入れ現場では火災対策が強く求められるようになり、高引火点油や水系冷却剤のニーズが高まってきている。水系冷却剤としては、大物部品などには水道水が使われることが多いが、焼割れが許されない場合にはポリマー水溶液が用いられる。

ポリマー水溶液は、濃度によって冷却性を調整できるのが大きなメリットであるが、一方、使用に伴い濃度変化するため、日々の濃度管理が必要になる。また液が腐敗しやすいことや、処理物が錆びやすいなどの問題もあり、火災対策に優れるものの管理に多大な負荷がかかる。

図2にポリマー水溶液の濃度によるJIS冷却曲線

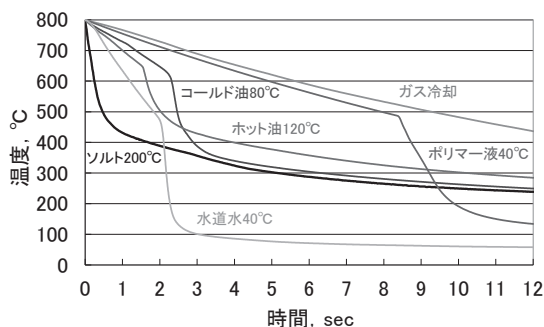


図1 各種冷却媒体のJIS冷却曲線

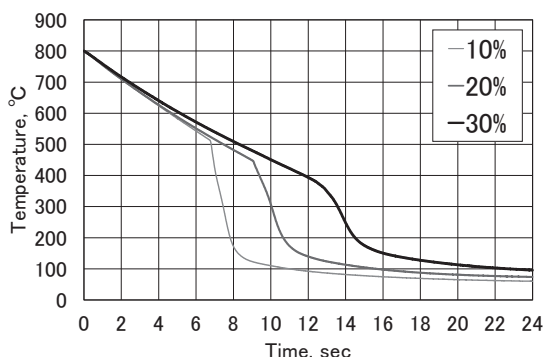


図 2 ポリマー水溶液のJIS冷却曲線

の変化を示す¹⁾。前述の400℃以下の冷却速度を見ると、濃度上昇に伴い冷却速度が遅くなっており、焼割れ防止能が高くなることが解る。ポリマー水溶液の場合、水が蒸発すると液が高濃度化し、逆に処理物にポリマーが処理物に付着して持ち去られると液が低濃度化する。従って濃度変化は、現場によって大きく異なるが、いずれにせよ日常管理が重要となる。液の濃度は糖度計を用い現場で簡単に確認が可能で、操業中は毎日確認するのが望ましい。また、腐敗や錆の目安となるのがpHであり、pHメーターや試験紙などで確認ができる。また、補給のみで長期間使用するとポリマーが熱分解を起こしポリマーの冷却抑制効果が低下することから、1～2カ月に1度冷却性を確認するのが望ましい。冷却性評価は、油剤メーカーのアフター分析機関に依頼することができる。

◇ 熱処理油の技術動向

1. 熱処理油の種類

ポリマー水溶液は焼割れ抑制はある程度可能であるが、焼入歪が問題となる部品ではやはり油系が広く用いられる。熱処理油のJIS K2242には冷却性ごとに6種類の分類があり、JIS 1種はコールド油で硬さを重視する際に、JIS 2種はホット油で歪を重視する際に用いられる。一方、市販されている熱処理油の商品数は、優に200種類を超えており冷却性の分類ごとに、長寿命、高引火点、光輝性改善、歪低減など目的に応じて各種ラインナップされているのが実情である。そこで次に、最近の熱処理油技術について紹介する。

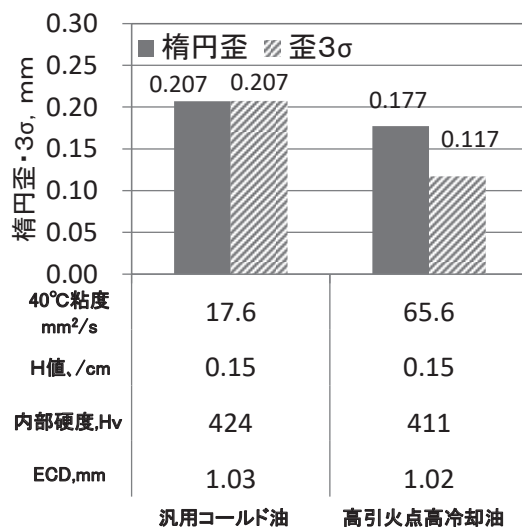
2. 高引火点高冷却油

焼入れ現場の火災対策にあたり、水系が使用できない場合は高引火点油が採用される。熱処理油は消防法分類によると、第三石油類、第四石油類、指定可燃物があり、ホット油の多くが指定可燃物となる。ただしホット油は冷却性が低く、高い硬さが必要とされる場合は引火点が低いコールド油が用いられる。そこで最近では、コールド油並みの冷却性を持ちながら高い引火点を持つ高引火点高冷却油が開発されている。

図3に汎用コールド油（3石）と高引火点高冷却油（指定可燃物）で焼入れした結果を示す。浸炭したSCM415リングの楕円歪を評価したものであるが、ほぼ同等の硬さを確保しながら、楕円歪とそのばらつきが低減している。コールド油は80℃、高引火点高冷却油は120℃で処理した結果である。冷却性が同等ながら歪が低減する理由としては、油温が高いことで特に浸炭層のMs点（200℃前後）以下が遅く冷えることや、粘度が高いことによる攪拌むらが少ないことが原因ではないかと考えられる。

3. 歪ばらつき低減油

前述の例はコールド油の歪低減に関するものであったが、一般に歪が重視される場合はホット油が使用され、ホット油における更なる歪低減の要



処理物:SCM415リング φ80×44×4mmt

図 3 高引火点高冷却油の歪低減効果

求が高い。そこで、従来のホット油と同等の冷却性を持ちながら歪低減可能な商品も開発されている。

図4に、汎用のホット油と歪ばらつき低減油で焼入れした結果を示す²⁾。歪低減はその絶対値に

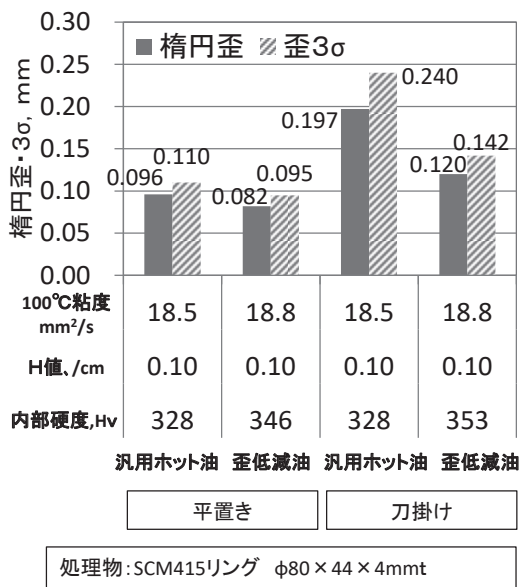


図 4 歪ばらつき低減油の性能評価

加え、ばらつきが小さいことが重要で、歪の標準偏差 3σ を評価している。図3と同様のSCM415リングの楕円歪を評価したものである。歪ばらつき低減油は、同等の硬さを確保しながら楕円歪とそのばらつきが低減している。

図1でホット油とコールド油の冷却曲線を示したが、ホット油は400℃以下の冷却速度が遅いことに加え、蒸気膜段階と呼ばれる高温域での遅い冷却段階が短いことが解る。歪ばらつき低減油はこの蒸気膜段階を従来のホット油よりもさらに短くしている。部品各部で蒸気膜の破断むらが生じることが歪のばらつきに影響すると考えられ、蒸気膜段階を短くしたことで部品各部の冷却過程における温度差を小さくした点がポイントである。

今回はニーズが高い歪低減油を中心に紹介したが、現場ではさらなる作業環境改善などが求められている。今後とも環境に配慮した油剤開発に力を入れていきたい。

参考文献

- 1) 野口賢郎、出光トライボレビュー、33-10、(2010)、p 2117
- 2) 市谷克実、出光トライボレビュー、38-08、(2015)、p 2376

Ⅳ. 会員メーカーの熱処理・素材技術

山陽特殊製鋼(株)

冷間鍛造性と結晶粒度特性に 優れる高強度肌焼鋼 ECOMAX5 (エコマックス5)

まえがき

自動車の歯車等の動力伝達部品には耐摩耗性が求められることから、浸炭を施す肌焼鋼が広く用いられている。近年では環境対応のため、部品の小型・軽量化ニーズがあり、肌焼鋼の高強度化が求められている。肌焼鋼の高強度化には、NiやMo等の合金を添加する手法が用いられるが、これらの合金添加は、素材コスト上昇や加工性悪化につながる。このような背景のもと、山陽特殊製鋼ではNiやMo元素の添加に頼ることなく高強度化を実現した肌焼鋼「ECOMAXシリーズ」を商品化している。

◇ ECOMAXシリーズの特徴

ECOMAX鋼は、SCM420と比べて高Si-低Mn-高Cr組成に設計しており、かつ少量のNbを含有する。これにより、特に歯車で求められる耐ビッチング特性と耐結晶粒度特性を向上させた。更に使用用途に応じて、以下の特徴を有する3鋼種を提供している。

<ECOMAX1、2>

B添加により、特に強靱性を重視する対象に適する¹⁾。また、SCM420に対してC量を低めており、加工性にも優れる。

<ECOMAX4>

浸炭焼入れ後の熱処理変形量が小さく²⁾、寸法精度を重視する対象に適する。熱処理変形抑制のためC量を高めており、球状化焼鈍条件によっては、冷間鍛造時の荷重が高くなる場合がある。

◇ ECOMAX5の特徴

今回紹介するECOMAX5は新たに開発した鋼種であり、ECOMAXシリーズの優れた耐ビッチング特性を活かしながら、特に球状化焼鈍後に冷間鍛造を行い、焼準を省略してそのまま直接浸炭する部品製造工程においても、部品品質を満足することができる³⁾。

<球状化焼鈍組織>

通常、図1に示すようにSCM420等の汎用肌焼鋼では球状化焼鈍後、フェライトに球状化炭化物が不均一に分散し、かつラメラ炭化物も生成する。対

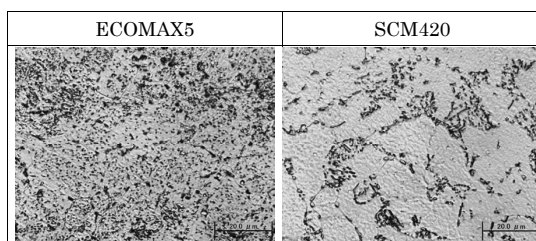


図 1 ECOMAX5の球状化焼鈍組織

して、ECOMAX5は高Cr成分の効果により、球状化炭化物のみが均一分散した組織が得られる。また、この良好な組織は、焼鈍時の最高点温度の低下や徐冷時間の短縮など、条件を簡略化した場合でも得られることを見出している。

<冷間鍛造性>

球状化焼鈍したECOMAX5の冷間変形抵抗は、SCM420と同等である。一方、冷間加工における限界据込み率（円柱試験片を据込んだ際に割れが発生するときの据込み率）は、SCM420に比べて優れており、割れが発生し難い。これは、前述した均質な組織により、不均一変形が抑制されたためであると考えられる⁴⁾。

<結晶粒度特性>

室温で70%据込み後、擬似浸炭（浸炭の温度履歴のみを模擬した処理）をしたとき、ECOMAX5は擬似浸炭温度980℃でも整細粒を維持しており、900℃で粗大粒が発生したSCM420に比べて大幅に優れる。

これは、Nb添加によって結晶粒界の移動をピン止めする微細析出物を増量したことに加え、高Cr成分により結晶粒粗大化の要因となるラメラ炭化物を抑制したことによる⁴⁾。

むすび

ECOMAX5は球状化焼鈍後の炭化物組織の均質さにより、冷間鍛造後に直接浸炭する部品製造工程でも優れた加工性・結晶粒度特性を確保できる。

参考文献

- 1) 山陽特殊製鋼技報、22 (2015)、54
- 2) 藤松威史、丸山貴史、中崎盛彦：まてりあ、56 (2017) 2、79
- 3) 山陽特殊製鋼技報、26 (2019)、65
- 4) 藤松威史、橋本和弥、平岡和彦、福本信次、山本厚之：鉄と鋼、95 (2009) 2、169

〔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 ライン担当 まつお けんた 松尾 健太〕

Hi-BSC®処理

ま え が き

ダイカスト金型において、生産性向上のためサイクルタイム短縮化が図られており、これに伴う金型の内冷強化が増えている。その方策として、冷却孔を金型表面に近づけたり、冷却孔数を多くしたりするなどの、金型の設計変更がある。それにより、成型時の繰返し熱応力の影響がより大きくなり、また、冷却孔内部への錆の発生により、冷却孔割れが発生するリスクが高まる。錆の発生は冷却孔内径が細くなるため、冷却効率の低下が問題となる場合もある。

サイクルタイムが短縮化されると、金型成型面でのヒートクラックの発生リスクが大きくなることも懸念される。

これらの対策として、当社ではショットピーニング*)処理による表面処理『Hi-BSC®処理』を開発した。

◇ Hi-BSC®処理の特長

(1) 金型冷却孔の耐腐食疲労特性の向上

図1に金型の冷却孔を模擬した腐食疲労試験の方法の概念を、図2にSKD61での試験結果を示す。Hi-BSC®処理により、冷却孔表層に圧縮応力が付与されることで、繰返し作用する引張応力に対して疲労強度が向上していると考えられる。また、Hi-BSC®処理では耐錆性も

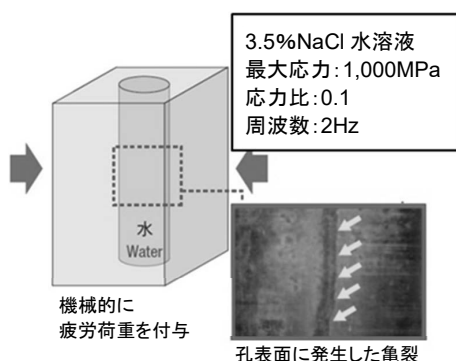


図 1 腐食疲労試験方法の概念図

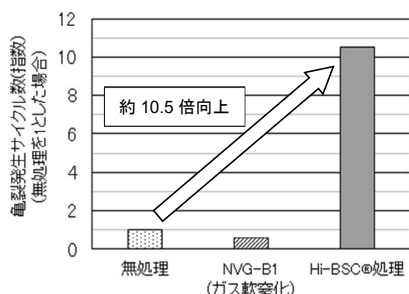


図 2 SKD61 (45 ± 1HRC) での腐食疲労試験結果

母材:SKD61 熱処理硬さ 45 ± 1HRC

NVG-B1 (5,000サイクル後)	Hi-BSC1® (5,000サイクル後)	Hi-BSC1® (10,000サイクル後)
ヒートクラック多数	ヒートクラック無し	ヒートクラック無し

図 3 各処理でのヒートクラック模擬試験後の表面写真

向上する³⁾。その結果、図2に示すように、無処理品と比較して、亀裂発生サイクル数(指数)が約10.5倍に向上することから、冷却孔割れの抑制効果が期待できる。

(2) 耐ヒートクラック性の向上

図3に、薄膜窒化(ガス軟窒化、NVG-B1)のみを施した試験片と、薄膜窒化の上にHi-BSC®処理を施した試験片にて、ヒートクラック模擬試験を実施した後の、表面写真を示す。本試験では試験片表面を570℃まで加熱後(離型剤塗布無)、100℃まで水を掛けて冷却する。このサイクルを5,000回と、10,000回実施した。試験の結果、薄膜窒化のみの試験片では、ヒートクラックが発生したのに対し、Hi-BSC®処理した試験片においては、10,000回後もヒートクラックの発生がなかった。この結果は、ショットピーニング処理により、表層に圧縮応力がより加えられたことで、圧縮・引張の繰返し応力に対して疲労強度が向上したことに加え、ヒートクラックの起点となり易い表面凹凸が減少したことで、耐ヒートクラック性が向上したと推測される。

む す び

今後も、ダイカスト製造現場では、サイクルタイム短縮化を目的とした内冷強化に伴い、冷却孔割れ低減の要望がますます増えてくると予想される。また、金型寿命の向上・製品不良の低減による原価低減は必要不可欠な課題である。耐ヒートクラック性が向上するという推測も踏まえ、金型寿命の向上や、生産の安定化に貢献する、『Hi-BSC®処理』をご活用いただければ幸いである。

*) Hi-BCS®処理は日立金属(株)、日立金属工具鋼(株)、(株)不二機販3社共同特許です。「特許(PATENT No.)第6644334号」Hi-BSC®処理に用いるショットピーニングには(株)不二機販のWPC®処理を使用。

WPC®処理に関連する特許：

特許第4772082号、特許第5341971号、特許第6286470号、特許第6371333号、特許第6644334号

WPC®：(株)不二機販、(株)不二製作所、(株)不二WPCの登録商標

参 考 文 献

- 1) 村崎祐哉：型技術、Vol. 31、No. 8 (2016) 86-87
- 2) 庄司寛：型技術、Vol. 32、No. 6 (2017) 32-35
- 3) 小林寛和：型技術、Vol. 35、No. 6 (2020) 34-37

〔日立金属(株) 金属材料事業本部 ひらもと あつひろ
特殊鋼統括部 工具鋼部 技術グループ 平本 篤博〕

業界のうごき

伊藤忠丸紅鉄鋼、サンコールに出資 伊藤忠から一部譲受け、EV関連強化

伊藤忠丸紅鉄鋼は、伊藤忠商事からサンコールに対する出資12%相当（約18億円）を譲り受けることで合意した。伊藤忠商事はサンコールの設立から関わる筆頭株主で出資比率26.63%。伊藤忠丸紅鉄鋼は、メガトレンドである自動車電動化時代に備え、優れた技術力を持つメーカーとのパートナーシップ強化によるサプライチェーンの進化を目指している。

サンコールは金属の精密塑性加工技術、製品開発力をベースに特殊ばねやEV用のバスバー・シャントセンサーなど精密加工部品を製造する。コア技術を応用し、自動車電動化で新規事業の創出に取り組んでいる。

サンコールは「伊藤忠丸紅鉄鋼のグローバルネットワークの活用（金属材料のグローバル調達、EV関連部品顧客の開拓支援、物流・納入業務など）、同社グループ関連企業とのビジネスシナジーを期待する」という。（3月8日）

三悦、丸棒切断でシステム帯鋸盤増設 業務IoT化にも対応

三悦は本社工場に最新鋭のシステムバンドソー1基を増設し、本稼働を開始した。丸棒切断品の高精度化、加工速度アップを通じて生産性向上を図り、ニーズ対応力に磨きをかけ、将来の加工数量増を目指す。

同社はSC材など各種特殊鋼の在庫販売を手掛け、切断品ニーズにも幅広く対応する。生産面だけでなく、業務効率向上を狙ったシステム開発、物流業務でのAI活用など、全社でハード増強を進めている。

アマダ製のシステムバンドソー「ASPC430」の設置を昨年11月に完了し、今月中旬に本稼働に移行した。

切断機はパルスカッティングソー「PCSAW430」（対応製品径30～330ミリ）を採用。加工スピードは通常のバンドソーより3倍速い。母材搬入側、切断品排出側それぞれに専用装置を取り付けて工程全体を自動化し、オペレーターの負担を軽減した。

（2月22日）

三和特殊鋼、高付加価値品の加工拡大 2年連続で健康経営優良法人に認定

三和特殊鋼は今期（2021年12月期）、売上高27億900万円（前期比40.5%増）を目指す。新型コロナ禍からの需要回復を期待するとともに、切断機の更新やNC旋盤を増設して加工能力の強化を図り、直近ピークの2018年12月期（27億9,200万円）並みの売上高を目指す。

同社は工具鋼を中心に扱う。昨年の月商は3月をピークにコロナの影響で減少。5月はリーマンショック後の2009年8月以来の低水準となった。月商の落ち込みは8月に底を打ち、秋口から上向いているが、2020年12月期の売上高は19億2,800円と前期比24.2%減となった。販売数量も前期より2割落ち込んだ。

加工設備以外の今期の設備投資は、販売管理システムの更新、本社工場の機械加工部門の空調設備の導入などを計画。合計額で1億5,000万円を予定している。また今年、経済産業省から健康経営優良法人・中小規模法人部門の認定を2年連続で受けた。（3月16日）

大和特殊鋼、ファイバーレーザを増設 生産性向上、低コスト化図る

大和特殊鋼は、生産性向上とランニングコスト低減のため、春日工場（兵庫県丹波市）のCO2レーザ切断機1基を大型ファイバーレーザ切断機（小池酸素工業製）に更新する。新設機は3月中旬に稼働する予定

で、集塵機やバリ取り機も設置する。工事費も含めた総投資額は2億円。

全社のレーザ切断機は5基。春日工場に1基、稲沢商品センター（愛知県稲沢市）に2基あるCO2レーザについても、ファイバーレーザに順次更新する。

春日工場のファイバーレーザとしては2基目で、出力は12KW。幅3.4メートル、長さ19メートルまで対応し、同社は30ミリ厚までの中厚板切断に活用する。切断スピードは従来機の1.5倍、電気代は3分の2以下で、メンテナンスも簡単に行え、ランニングコストが低減できる。発振器にDBC（デュアルビームコントロール）を採用し、切断面がきれいで切断品の品質が向上する。

（2月24日）

千曲鋼材、浦安エコカンパニー認定 10年継続表彰受ける

千曲鋼材は、2月に浦安市から「浦安エコカンパニー認定10年継続表彰」を受けた。鈴木聡社長は「2011年に宣言し、千曲鋼材のあるべき姿を明確にし、理想となる会社像を構築すべく努めてきた。社会貢献と環境保全活動においても当社に何ができるかを常に考え、事業活動を通じて地球環境に対する負荷を軽減し、常に信頼される企業であり続け、持続可能な社会づくりに貢献していきたい」と話した。

浦安市は地球温暖化防止活動の一環で浦安エコカンパニー認定制度を制定。市内の事業者に対して、環境に配慮した事業の推進を促す狙いで、2010年度に認定事業を開始した。

千曲鋼材は環境問題が最重要経営課題の一つであるとの認識に立ち、全従業員が職場で環境保全活動を実践し、高い環境品質と顧客満足度の向上を実現することを目指している。

（3月3日）

名古屋特殊鋼、部品加工事業を強化 笹倉製作所（富山）の事業継承

名古屋特殊鋼は部品加工事業の機能拡充を図る。1月27日付で笹倉製作所（本社・富山県富山市、社長・笹倉加代子氏）の事業を継承し、切削・研磨加工能力を強化した。他のグループ会社で生産する自動車向け冷間圧造品だけでなく、加工領域の拡大による非自動車関連需要の捕捉も視野に入れ、部品事業の一層の拡大を目指す。

名古屋特殊鋼は自動車関連中心の鍛造金型、プレス金型の加工に加え、近年は部品加工にも注力している。2012年には北陸精鍛をグループ化し、冷間圧造品事業を拡大している。

笹倉製作所は1970年創業で、工具メーカー向けドリル部品など精密切削研磨加工を行う。多品種少量対応で安定生産を続けているが、後継者不在で事業継承が難しくなっていた。笹倉製作所の社名、生産体制を残し、37人の従業員も継続雇用する。北陸精鍛の田中社長が代表に就任し、笹倉社長は顧問に就いた。（2月9日）

サステックとステンレスワンが合併 メタルワン-NSSC系CC2社

メタルワンと日鉄ステンレス（NSSC）が共同出資するステンレスコイルセンターであるサステックとステンレスワンが4月1日付で合併する。新「サステック」は連結売上規模約700億円。両社の経営資源、物流網、技術力を有効活用し、機能と専門性を高める。

サステックは関東1工場、関西2工場と、大阪・東京本社を含め全国9営業拠点、2子会社（サステック東北、テック物流）を持つ国内大手3社の一角で連結人員は約500人。ステンレスワンは関東1工場と本社

を含め2営業拠点をもち、特に広幅極薄の精密加工に定評があり、人員は約60人。現在の出資比率は共にメタルワン75%、NSSC25%。

新「サステック」は資本金34億円。工場体制は関西2・関東2の全4拠点で、両本社を含む営業拠点は9拠点とする。NSSC国内薄板事業の最重要流通加工の1社として存在感を高める。

（2月5日）

リントツ、潮干に裏面検査設備導入 厚物・広幅鋼板の検査工程の安全対策

リントツはステンレス厚物・広幅製品における検査工程の安全対策を強化する。潮干コイル流通センター（愛知県半田市）のスリッターラインに、コイル裏面の品質を検査するシステムを導入し、今春をめどに本格的な運用を始める。オペレーターの手離れを進めて作業の安全性を高め、品質向上にもつなげる。

近年、ステンレスコイルの表面だけでなく、裏面を含めた品質管理を求める需要が増える傾向にある。オペレーターが目視で裏面を検査していたが、ライン内での作業となり、安全性が十分とは言えなかった。安全な作業環境を構築するため、昨夏から自動化に向けた検討をスタート。検査システムの導入を決め、先月末にスリッターラインへの据え付けが完了した。

設置したのはキーエンス製のラインスキャンカメラ2台と画像処理システム。現在データの蓄積を進めている。

（2月15日）

愛知製鋼、アセアンで鍛造母材現調化 22年度中、資本提携の印社が供給

愛知製鋼は、資本提携、技術支援を行うインドの特殊鋼メーカー「バルドマン・スペシャル・スチール」で生産した特殊鋼鋼材（棒鋼）を鍛造用母材として活用し、インドやア

セアンの鍛造拠点へ供給する体制を2022年度中をめどに目指す。バルドマン社の技術レベルが順調に向上し、自動車向けのグローバルサプライチェーン整備や、品質・コスト競争力向上につなげる見通しがついてきた。グローバルの自動車向け需要の伸長に対し、特殊鋼鋼材の現地調達を進めるとともに、日本からの母材供給比率を下げ、国内での増量要請にも対応する。

バルドマン社は自動車向け特殊鋼棒鋼が主力で、直近の粗鋼生産量は年間約18万トン。2019年に愛知製鋼が第三者割当増資を引き受け資本参加し、次課長クラスなど数人を派遣し、特殊鋼鋼材の品質・生産性向上に向けた技術支援を継続的に行っている。

（3月8日）

神戸製鋼所、高炉に還元鉄大量投入 CO2を20%削減、加古川で実証

神戸製鋼所は、高炉法による製鉄プロセスで、二酸化炭素（CO2）排出量を約20%削減する技術の実用化にめどを付けた。高炉原料に還元鉄を活用し、原料炭由来のコークスの使用量を大幅に減らせる。全額出資子会社の米ミドレックス社の持つ還元鉄製造技術との融合で実現した。今後、自社での活用を検討する一方、CO2削減に関するソリューションビジネスに発展させることも検討する。米ミドレックス社のプラント受注にもつなげたい考えた。

既存の高炉にDRI（還元鉄）を固めたホット・ブリケット・アイアン（HBI）を大量投入し、コークスの使用量を減らす。昨秋に加古川製鉄所（兵庫県加古川市）の第3高炉（炉容積4,844立方メートル）で技術実証した。使用したHBIはミドレックス社製を利用。還元鉄製造時に発生するCO2を加味すると、削減比率は約12%になるという。

（2月17日）

山陽特殊製鋼、清浄度の新評価技術 迅速・正確な測定方法を確立

山陽特殊製鋼は、特殊鋼の清浄度を測定する新たな評価技術を開発した。鋼中にわずかに含有される非金属介在物は、ベアリングなど機械構造部品の信頼性に影響を及ぼす。これを迅速かつ正確に測定する方法を確立したもので、最大介在物の大きさをこれまで以上に高い精度で推定できる。新たな評価技術を生かし、清浄度向上を目指した製造技術の開発などにつなげる。

従来の顕微鏡観察法、超音波探傷法、破断面観察法にはそれぞれ長所、短所がある。新たな評価技術では、従来の試験片より数十倍大きい独自設計の大型試験片を利用。これを水素脆化させ、超音波で疲労破壊しやすくする。破断面を電子顕微鏡で分析し、測定結果に極値統計法を適用して最大介在物の大きさを推定する。この手法により、迅速かつ正確に大型試験片の清浄度を測定・推定できるようになった。（3月31日）

大同特殊鋼、健康経営銘柄に初認定 「ホワイト500」は4年連続

大同特殊鋼は、経済産業省と東京証券取引所が選定する「健康経営銘柄2021」に初めて認定された。各事業場の特色ある取り組みや、健康課題への改善施策が評価された。「健康経営優良法人（大規模法人部門）ホワイト500」には4年連続で認定された。

健康経営銘柄は、東証上場企業の中から原則1業種につき1社、健康経営に優れた企業を選定する制度。従業員などの健康管理を経営的な視点で考え、戦略的に取り組む上場企業のうち、特に優れた取り組みを実践する企業が対象になる。

同社は、創業100周年を迎えた2016年を「健康改革元年」と位置づけ、

安全と健康は幸せの原点であり人財は会社の宝であるとして、健康経営宣言や健康経営方針を制定し、健康経営を進めている。事業場それぞれの特色ある取り組みや、取り組み過程で明らかになった健康課題への改善施策が高く評価された。（3月5日）

日鉄ステンレス、最適生産設備体制へ 収益改善効果170億円

日鉄ステンレスは最適生産設備体制の構築を中心とする競争力強化策を発表し、伊藤仁社長が本社で記者会見した。（単独経常損益ベースの）「収益改善効果は2025年度に構造ベースで約100億円、変動費削減で約70億円、合計約170億円の見通し」だと明らかにした。衣浦製造所、山口製造所（周南）の休止設備を存続した場合、2025年度までに必要になる老朽更新費用は約60億円で、この費用も回避する。

今回公表した休止設備に係る直営人員は衣浦約240人、周南約90人。配置転換で雇用を確保するが、「昨年2月に衣浦の精密品専用設備、熱延設備の休止を決め、2年間かけて存続の可能性を模索しようとした。衣浦は多能工化やKPI改善に取り組んできたが、新型コロナ影響で将来の事業環境見通しが一段と厳しくなり、今回の決定に至った」と語り、「従業員の気持ちに立ち、血の通った会社として丁寧に対応する」と述べた。（3月9日）

日本製鉄が中長期経営計画を策定 国内4,000万トン体制へ再構築

日本製鉄は2021年度から5年間の数値計画を含む中長期経営計画を策定した。国内は商品と設備の取捨選択による集中生産を基軸に、設備の構造改革（休止）や20%を上回る要員合理化（2025年度末まで、協力会社含む）を進める。現有能力より1,000万トン削減して国内粗鋼4,000万トン体制（単独と日鉄ステンレスの

合計）へ再構築する。

海外ではインドでのアルセロールミッタルとの合併事業（AM/NSインド）の能力拡張、中国やアセアンにおける一貫製鉄所の買収・資本参加などを検討し、グループで年間粗鋼1億トン体制（関連会社の出資持ち分を考慮しない単純合計ベース）を目指す。

海外の成長戦略のための事業投資は5年間で6,000億円規模を計画。国内再構築のための設備投資は5年間で2兆4,000億円とし、グローバル戦略の中核を担うマザーミルと位置付ける。2025年度の単独粗鋼生産規模は3,800万トンを想定する。（3月8日）

日本冶金工業、土工分野向けに拡販 微粒フェロニッケルスラグ

日本冶金工業は、大江山製造所（京都府宮津市）で副次的に生産する微粒状のフェロニッケルスラグ「ナスファインサンド」が土工用リサイクル材料として画期的な機能を持つことを確認した。従来の窪地の埋め戻し材としての用途に加え、重機走行基盤材・排水性基盤材・一般土工（宅地造成や道路基盤造成用土木材）など土工分野に対して拡販する。特に軟弱地盤の土工工事で工期短縮などコスト削減効果が大きい。

ナスファインサンドは、独自の製錬工程により、粒子表面に複雑かつ微細な凹凸があり、粒子内部には微細な空隙が数多く存在し、高性能な物理・力学特性を発揮する。汎用土工機械で踏み固めるだけで、即時に重機の走行基盤を造成できる。軟弱地盤にも適している。

この技術は立命館大学・建山研究室、前田建設工業・ICI総合センターと共同で開発し、3者で特許も取得済み。（3月11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	構 造 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸 受 鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	そ の 他		
'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
'18 年 度	254,113	5,231,860	4,054,690	9,286,550	430,796	1,032,732	2,881,369	648,216	5,498,472	564,665	11,056,250	20,596,913
'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. 1-3月	47,054	1,013,820	849,930	1,863,750	82,571	176,140	673,671	133,117	1,249,122	119,663	2,434,284	4,345,088
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
'20年 1月	13,363	330,582	275,829	606,411	24,844	56,694	220,519	38,409	436,453	38,423	815,342	1,435,116
2月	16,793	333,166	290,703	623,869	27,987	57,385	227,566	45,370	409,818	37,993	806,119	1,446,781
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
前 月 比	107.4	100.3	104.4	102.1	108.7	121.6	97.5	113.5	91.6	101.7	97.9	99.9
前年同月比	100.3	112.3	106.4	109.5	116.5	140.5	87.6	103.1	93.1	108.7	97.1	102.5

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	846,564	2,974,323	1,048,015	5,141,035	14,509,766
'18 年 度	383,020	6,439,522	1,203,698	4,292,348	1,495,812	6,788,499	20,602,899
'19 年 度	293,237	5,497,480	1,202,218	3,709,327	1,333,238	6,433,580	18,469,080
'20. 1-3月	62,203	1,226,254	289,689	869,361	345,757	1,553,297	4,346,561
4-6月	60,177	771,677	220,453	536,404	264,727	997,763	2,851,201
7-9月	55,332	937,551	154,755	624,189	232,033	1,092,034	3,095,894
10-12月	58,373	1,328,262	181,667	944,369	205,498	1,497,941	4,216,110
'20年 1月	24,198	391,670	95,270	277,185	109,583	537,703	1,435,609
2月	17,837	412,341	98,659	286,062	105,492	526,858	1,447,249
3月	20,168	422,243	95,760	306,114	130,682	488,736	1,463,703
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	297,557	825,994
7月	14,200	271,118	51,873	175,454	70,754	308,091	891,490
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
前 月 比	94.7	109.4	107.3	99.1	100.5	91.9	99.9
前年同月比	111.8	117.2	77.6	111.8	65.5	97.7	102.5

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力 鋼	そ の 他			
'19 暦 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 暦 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
'18 年 度	322,765	3,543,660	2,028,274	5,571,934	119,549	546,004	1,681,386		179,074	95,026	47,294	2,668,333	8,563,032
'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 6月	13,412	124,631	69,708	194,339	4,112	19,464	67,881		6,542	4,159	5,056	107,214	314,965
7月	15,554	145,054	84,354	229,408	6,187	21,850	95,918		8,079	3,986	6,048	142,068	387,030
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	206,563	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
前 月 比	102.9	103.9	101.9	103.2	74.5	108.6	105.2		98.5	115.8	100.9	104.5	103.6
前年同月比	100.8	101.5	102.4	101.8	90.0	112.3	96.9		89.7	62.7	91.2	96.8	100.1

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	計		
'19 暦 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 暦 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	
'18 年 度	8,276	237,787	154,530	392,317	29,638	33,728	122,372	25,391	162,107	28,897	402,133	802,726	
'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 6月	10,577	215,267	132,338	347,605	20,266	25,703	128,651	22,304	129,105	20,956	346,985	705,167	
7月	8,607	212,608	130,884	343,492	18,211	23,817	129,457	24,278	117,564	23,635	336,962	689,061	
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	
前 月 比	91.6	93.9	101.0	96.6	101.1	114.4	93.2	106.1	99.3	100.5	99.1	97.7	
前年同月比	69.3	95.0	95.1	95.0	129.6	126.0	96.7	100.1	81.3	92.9	94.3	94.4	

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 ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力	鋼 板	そ の 他		
'19 暦 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 暦 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	
'18 年 度	71,065	243,896	179,491	423,387	12,518	51,977	183,062	13,627	10,935	3,646	275,765	770,217	
'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 6月	79,070	259,246	189,532	448,778	12,674	57,333	194,662	17,213	10,455	10,478	302,815	830,663	
7月	76,962	246,749	176,454	423,203	12,180	53,006	193,692	14,255	10,683	9,467	293,283	793,448	
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	
前 月 比	99.7	101.4	102.4	101.8	104.9	104.1	100.4	101.7	104.0	94.7	101.4	101.5	
前年同月比	82.5	109.0	92.2	101.6	93.4	101.0	113.5	95.8	151.8	60.5	108.9	102.3	

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

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

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸 出

(単位: t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼					そ の 他 の 鋼			特 殊 鋼 鋼材合計
		機械構造 用炭素鋼	構造用 合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ 線 材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
’19 暦 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 暦 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
’18 年 度	40,883	457,288	586,191	1,043,479	189,839	943,017	119,463	92,202	1,344,521	3,295	5,260,314	5,263,608	7,692,492
’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 5月	2,478	18,282	25,783	44,065	11,189	60,025	6,754	2,550	80,518	258	295,258	295,516	422,576
6月	2,783	18,042	28,687	46,729	5,625	67,647	6,897	2,253	82,423	167	242,750	242,917	374,851
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	40,707	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
前 月 比	80.6	149.2	125.5	135.0	137.4	117.1	227.5	104.2	124.8	89.1	121.1	121.1	123.1
前年同月比	98.5	137.2	102.8	115.6	153.1	91.6	176.3	162.1	107.2	61.6	93.2	93.2	97.9

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					計	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			高炭素鋼	合金鋼	計	
'19 暦 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 暦 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
'18 年 度	3,789	4,813	901	12,809	9,392	214,008	17,217	254,327	379	6,282	524,362	530,643	793,952
'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 5月	464	380	38	781	567	16,967	1,242	19,596	8	294	54,074	54,368	74,816
6月	415	1,169	35	1,232	406	12,729	1,332	15,734	15	236	16,845	17,081	34,414
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
p 2月	238	605	32	1,003	512	18,060	1,223	20,829	57	618	28,153	28,771	50,501
前 月 比	130.3	160.5	171.7	115.2	57.1	87.1	89.8	87.2	-	92.4	139.3	137.8	111.4
前年同月比	27.5	78.5	103.1	145.5	139.6	104.2	99.5	106.0	111.0	58.6	91.3	90.2	94.8

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 暦 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 暦 年	8,067,943	1,037,731	3,740,832	259,879	4,598,615	779,300	-	180,833	108,419	8,273	95,570	46,022	9,018
'18 年 度	9,750,021	1,265,838	4,837,553	347,731	5,259,589	882,342	-	197,549	122,145	12,318	104,364	52,276	16,891
'19 年 度	9,489,302	1,196,578	4,714,027	318,555	5,038,727	852,328	-	190,374	111,919	9,935	104,036	47,879	10,995
'20年 5月	308,061	54,356	119,920	12,834	218,285	43,470	-	9,582	7,774	599	r 7,700	2,448	512
6月	513,626	72,291	200,080	14,274	347,372	62,928	-	14,067	8,868	671	r 7,309	3,258	672
7月	697,867	87,359	291,171	14,746	396,346	64,869	-	14,058	8,496	694	r 7,582	2,665	698
8月	556,276	69,435	269,953	14,684	326,439	55,537	-	11,140	6,331	570	r 7,619	4,850	680
9月	821,092	98,372	378,337	23,761	469,706	78,192	-	16,646	9,050	960	r 7,345	4,182	841
10月	838,205	101,870	413,862	26,153	406,851	66,472	-	18,524	8,901	960	r 8,274	3,067	822
11月	782,237	101,074	394,890	26,910	411,601	74,200	-	16,896	9,002	827	r 8,368	3,160	887
12月	751,629	93,248	370,651	30,178	379,896	64,081	-	17,037	8,723	734	r 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	r 8,417	2,623	886
2月	-	-	337,573	32,373	432,299	69,702	-	17,766	8,956	730	7,698	9,873	1,056
前 月 比	-	-	110.7	129.1	112.4	117.2	-	112.9	109.6	109.1	91.5	376.4	119.1
前年同月比	-	-	85.8	115.4	100.5	104.1	-	114.3	89.2	137.7	91.0	319.4	136.7

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 1 年 2 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		16,845	107.4	100.3	81.7	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		238	130.3	27.5	77.3	
	販 売 業 者	受 入 計	19,645	107.3	106.2	72.8	
		販 売 計	19,867	102.9	100.8	75.6	
		うち消費者向	16,456	102.7	98.3	87.0	
		在 庫 計	64,164	99.7	82.5	108.6	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		2,564	80.6	98.5	53.8	
	生 産 者 工 場 在 庫		6,555	91.6	69.3	79.0	
	総 在 庫		70,719	98.8	81.1	105.0	
	構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		683,380	102.1	109.5	99.9
販 売 業 者		受 入 計	338,466	104.7	104.6	51.8	
		販 売 計	330,854	103.2	101.8	50.6	
		うち消費者向	269,076	102.5	98.8	61.3	
		在 庫 計	430,973	101.8	101.6	122.5	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		86,305	135.0	115.6	105.0		
生 産 者 工 場 在 庫		396,398	96.6	95.0	113.3		
総 在 庫		827,371	99.2	98.4	117.9		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		32,617	108.7	116.5	90.7		
ば ね 鋼		鋼 材 輸 入 実 績 計		605	160.5	78.5	148.4
	販 売 業 者	受 入 計	4,518	92.0	93.8	21.3	
		販 売 計	3,973	74.5	90.0	18.9	
		うち消費者向	2,671	63.7	93.0	57.4	
		在 庫 計	11,629	104.9	93.4	95.3	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		16,091	137.4	153.1	102.3	
	生 産 者 工 場 在 庫		25,822	101.1	129.6	100.0	
	総 在 庫		37,451	102.2	115.6	98.5	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		199,435	97.5	87.6	86.8	
	ス テ ン レ ス 鋼	鋼 材 輸 入 実 績 計		20,829	87.2	106.0	144.0
販 売 業 者		受 入 計	109,217	105.4	96.1	43.6	
		販 売 計	108,305	105.2	96.9	43.1	
		うち消費者向	60,159	105.4	91.0	107.6	
		在 庫 計	205,009	100.4	113.5	150.0	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		67,838	117.1	91.6	77.4		
生 産 者 工 場 在 庫		129,251	93.2	96.7	112.2		
総 在 庫		334,260	97.5	106.4	132.7		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		46,797	113.5	103.1	91.2		
快 削 鋼		販 売 業 者	受 入 計	10,090	99.4	79.4	71.3
	販 売 計		9,873	98.5	89.7	68.6	
	うち消費者向		9,772	98.5	90.5	70.2	
	在 庫 計		12,627	101.7	95.8	93.3	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		10,163	227.5	176.3	106.2	
	生 産 者 工 場 在 庫		30,959	106.1	100.1	111.5	
	総 在 庫		43,586	104.8	98.8	105.6	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		381,683	91.6	93.1	92.5	
	高 抗 張 力 鋼	販 売 業 者	受 入 計	6,141	111.5	69.5	59.7
			販 売 計	5,559	115.8	62.7	54.6
うち消費者向			4,512	115.6	69.7	67.3	
在 庫 計			15,196	104.0	151.8	138.6	
生 産 者 工 場 在 庫		130,458	99.3	81.3	68.8		
総 在 庫		145,654	99.8	85.4	72.6		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		121,931	114.0	127.8	88.1		
そ の 他		販 売 業 者	受 入 計	40,810	119.3	119.5	100.7
			販 売 計	38,968	107.1	107.8	96.1
			うち消費者向	37,669	107.6	109.4	102.5
	在 庫 計		60,250	103.2	94.9	113.4	
	生 産 者 工 場 在 庫		58,887	108.7	111.0	85.1	
	総 在 庫		119,137	105.8	102.2	97.4	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,482,688	99.9	102.5	94.3	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		50,501	111.4	94.8	62.2	
	販 売 業 者	受 入 計	528,887	105.8	102.5	52.0	
		販 売 計	517,399	103.6	100.1	50.9	
うち消費者向		400,315	103.0	97.7	69.5		
在 庫 計		799,848	101.5	102.3	125.5		
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		632,547	123.1	97.9	98.4		
生 産 者 工 場 在 庫		778,330	97.7	94.4	99.1		
総 在 庫		1,578,178	99.6	98.3	110.9		
特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,482,688	99.9	102.5	94.3	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		50,501	111.4	94.8	62.2	
	販 売 業 者	受 入 計	528,887	105.8	102.5	52.0	
		販 売 計	517,399	103.6	100.1	50.9	
		うち消費者向	400,315	103.0	97.7	69.5	
		在 庫 計	799,848	101.5	102.3	125.5	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		632,547	123.1	97.9	98.4	
	生 産 者 工 場 在 庫		778,330	97.7	94.4	99.1	
	総 在 庫		1,578,178	99.6	98.3	110.9	

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

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

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

倶楽部だより

(2021年2月1日～3月31日)

理事会（3月18日・Web会議＋対面会議）

- ①2020年度事業報告について
- ②2020年度決算見込について
- ③2021年度事業計画案について
- ④2021年度予算案について
- ⑤2021年度入会金及び会費・賦課金徴収方法について
- ⑥2021年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ⑦役員改選案について
- ⑧各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑨在宅勤務規定の制定について
- ⑩中国ステンレス鋼アンチダンピング調査に関する世界貿易機関（WTO）提訴要請とその費用負担について
- ⑪会長・専務理事の業務執行状況報告について
- ⑫日本鉄鋼協会第241回西山記念技術講座協賛報告について

運営委員会

総務分科会・財務分科会（3月16日・Web会議）

- ①2020年度事業報告について
- ②2020年度決算見込について
- ③2021年度事業計画案について
- ④2021年度予算案について
- ⑤2021年度入会金及び会費・賦課金徴収方法について
- ⑥役員改選案について
- ⑦各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑧在宅勤務規定の制定について
- ⑨中国ステンレス鋼アンチダンピング調査に関する世界貿易機関（WTO）提訴要請とその費用負担について
- ⑩会長・専務理事の業務執行状況報告について
- ⑪日本鉄鋼協会第241回西山記念技術講座協賛報告について

本委員会（3月18日・Web会議＋対面会議）

- ①2020年度事業報告について
- ②2020年度決算見込について
- ③2021年度事業計画案について
- ④2021年度予算案について
- ⑤2021年度入会金及び会費・賦課金徴収方法について

- ⑥2021年度貿易一般保険包括保険特約の締結について
- ⑦役員改選案について
- ⑧各種委員会委員長及び委員変更について
- ⑨在宅勤務規定の制定について
- ⑩中国ステンレス鋼アンチダンピング調査に関する世界貿易機関（WTO）提訴要請とその費用負担について
- ⑪会長・専務理事の業務執行状況報告について
- ⑫日本鉄鋼協会第241回西山記念技術講座協賛報告について

海外委員会

専門部会（3月9日・Web会議＋対面会議）

- ①2020年度事業報告（案）及び決算報告（案）
- ②2021年度事業計画（案）及び予算計画（案）
- ③2021年度賦課金徴収方法（案）
- ④2021年度貿易一般保険包括保険特約の締結について

商社分科会（3月3日・Web会議）

2021年度貿易一般保険包括保険特約の締結について

本委員会（3月15日・Web会議＋対面会議）

- ①2020年度事業報告及び決算（見込）報告
- ②2021年度事業計画（案）及び予算（案）
- ③2021年度賦課金徴収方法（案）
- ④2021年度貿易一般保険包括保険特約の締結について

市場開拓調査委員会

調査WG（2月2日・Web会議）

2020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に関する調査」中間報告

関西高機能金属展出展キックオフミーティング（3月31日・Web会議）

- ①スケジュール確認
- ②各社出展内容の紹介
- ③ブース内レイアウト決定
- ④情報交換

編集委員会

本委員会（2月4日・Web会議）

2021年7月号特集「設備（仮題）」の編集方針、
内容の確認

小委員会（3月25日・Web会議）

- ①2021年9月号特集「在庫・物流（仮題）」
の編集内容の検討
- ②委員交代の報告

人材確保育成委員会

2020年度ビジネスパーソン研修講座（2月19日、
3月16日、名古屋支部開催の相乗り）

テーマ：営業パーソンのための儲かる視点の
会計講座

講師：日鉄総研(株) 森 達哉 氏

方式：Web研修方式

受講者：22名、内東京本部5名

講演会（3月10日）

演 題：JFEスチール鉄鋼プロセスにおける
DXの推進と課題

講師：JFEスチール(株) 常務執行役員
（データサイエンス分野）

風間 彰 氏

方式：オンライン配信

申込者：143名

流通海外展開委員会

講演会（2月19日）

演 題：①メタルワンの海外展開概観

②コロナと経済、米新政権の影響

講師：①(株)メタルワン 特殊鋼事業部長
奥山 浩二 氏

②双日(株) 海外業務部担当部長
市川 善和 氏

方式：オンライン配信

聴講者：130名

[大阪支部]

運営委員会（2月25日）

- ①2020年度事業実績
- ②2020年度収支見込
- ③2021年度事業計画
- ④2021年度収支予算

二団体共催「ビジネスパーソン研修講座」（2月
3日、3月5日）

テーマ：営業パーソンのための儲かる視点の
会計講座

講師：日鉄総研(株) 森 達哉 氏

方式：Web研修方式

参加者：22名

[名古屋支部]

部会（Web会議）

工具鋼部会（2月16日）

構造用鋼部会（2月18日）

ステンレス鋼部会（3月8日）

三団体共催「中堅社員研修フォローアップ研修」
（2月19日）

テーマ：問題解決力向上講座

講師：(株)名南経営コンサルティング
三軒 佳 氏

方式：Web研修方式

参加者：39名

二団体共催「ビジネスパーソン研修講座」（2月
19日、3月16日、東京本部からの相乗り参加）

テーマ：営業パーソンのための儲かる視点の
会計講座

講師：日鉄総研(株) 森 達哉 氏

方式：Web研修方式

受講者：22名、内東京本部5名

二団体共催「1年目振り返り研修」（3月11日）

テーマ：仕事の基本、コンプライアンス研修

方式：Web研修方式

参加者：17名

二団体共催「ステップアップ研修」（3月23日）

テーマ：将来差が付く、お金と仲良くする方法

講師：トータルライフプランナー
榊原 一哉 氏

方式：Web研修方式

参加者：20名

三団体共催「技術講演会」（3月4日）

演 題：最近のステンレス鋼の開発状況につ
いて

講師：日鉄ステンレス(株) 執行役員
藤池 氏

方式：オンライン配信

申込者：130名

特殊鋼倶楽部の動き

「メタルワンの海外展開概観」「コロナと経済、米新政権の影響」講演会

去る2021年2月19日において、(株)メタルワンの奥山浩二氏、双日(株)の市川善和氏をお招きして、海外展開概観、コロナと経済、米新政権の影響について、講演会をオンライン配信により開催しました。

本企画は、流通海外展開委員会の事業の一環として、2019年度から特殊鋼流通の海外展開に関する課題に資するべく、特殊鋼倶楽部ならではの特殊鋼・鉄鋼に関する情報提供を目的に、会員商社の方々に商社鉄鋼部門の海外展開状況の紹介を内容とする講演をしていただくことにしており、今回はその2回目といたしました。

2つのテーマについてわかりやすく、詳細なるご講演をいただき、聴講者一同、有意義な時間となりました。

当日、聴講された方々にはアンケートを実施し、お聞かせいただいた貴重なご意見は、今後の講演会開催に是非とも反映させたいと思います。多数のご参加下さり、誠にありがとうございました。

日時：2021年2月19日（金）14：00～16：00

方式：オンライン配信

演題：「メタルワンの海外展開概観」

➤ メタルワンの海外展開と海外事業投資に於ける要点。

「コロナと経済、米新政権の影響」

➤ コロナと経済、米新政権の今後の影響、米中摩擦の行方と経済安全保障、自動車の進化と今後の見通し。

講師：(株)メタルワン 特殊鋼事業部長 奥山浩二氏

双日(株) 海外業務部担当部長 市川善和氏

聴講者：130名



【ご講演されるメタルワンの奥山氏】



【ご講演される双日の市川氏】

「JFEスチール鉄鋼プロセスにおけるDXの推進と課題」講演会

去る2021年3月10日において、JFEスチール(株)の風間 彰氏をお招きして、自社の鉄鋼プロセスにおけるDXの推進と課題について、講演会をオンライン配信により開催しました。

新型コロナウイルスを切っ掛けとして、昨今、DX（デジタルトランスフォーメーション）の重要性が増しており、経済産業省からも推進のためのガイドラインが公表されるなど各企業でも取り組む方向にある中で、具体的にどのように進めればよいのか、戸惑うことの多い状況にあると思われます。

人材確保育成委員会では事業の一環として、こうした状況を背景に、鉄鋼業界において実際に取り組まれている企業でのデジタルデータ活用の黎明期から現在までの進展、その上で現在進めつつあるDXの考え方、実装例やDXを進める上での課題等について、ご講演いただきました。

当日、聴講された方々にはアンケートを実施し、実戦形式で役立ったなどご感想を頂戴し、また、今後のDX関連の講演会、セミナーなど貴重なご意見は、以降の活動に是非とも反映させたいと思います。多数のご参加をいただき、誠にありがとうございました。

日 時：2021年3月10日（水）14：00～15：00

方 式：オンライン配信

演 題：「JFEスチール鉄鋼プロセスにおけるDXの推進と課題」

- プロセスを見える化するIoT：Data driven architecture。
- 多様なセンシングと高度モデリングによる仮想プロセス：CPS（Cyber Physical System）。
- ICTを活用した業務の効率化、人材育成、データサイエンティストの養成。
- DXを進める上での課題。

講 師：JFEスチール(株) 常務執行役員（データサイエンス分野） 風間 彰氏

聴講者：143名

■ お知らせ ■ ■ ■ ■ ■

～2年連続、関西高機能金属展に特殊鋼倶楽部として出展～

第8回 関西高機能 金属展

会期：2021年6月23日(水)～25日(金)

時間：10:00～18:00 9日(金)のみ17:00終了 会場：インテックス大阪

主催：リードエグジビションジャパン(株) 協賛：(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部では、ユーザー業界での「特殊鋼の本当の価値」の理解を深めていく事業の一環として、例年、東京で開催される「高機能金属展」に出展しております。

関西圏での出展は、今回の「第8回関西高機能金属展」で2回目となります。

会場では、東京と同様に、特殊鋼倶楽部ブースにて、特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部及び会員会社の紹介、会員会社の出展ブース会場案内図、当倶楽部出版物配布、共同出展される会員会社の製品・サービスを展示します。

是非ともご来場下さい。お待ちしております。

【倶楽部ブース内会員会社展示】

- ・秋山精鋼株式会社 殿
- ・クマガイ特殊鋼株式会社 殿

(上記、五十音順)

弊社が出展します！

第8回 **関西** **メタル ジャパン**
高機能 金属展

会期: **2021年6月23日**[水]～**25日**[金]
会場: **インテックス大阪**

第241回西山記念技術講座

先端鉄鋼製精錬プロセス技術における基礎と実践研究

主催 (一社) 日本鉄鋼協会

講座の視点

鉄鋼に関する学問は、いまだ絶え間ない進歩を続けている。その進歩はより細分化され、複雑化しており、専門性がより重要となっている。しかしながら、鉄鋼学の基礎を十分に会得せずに専門性を高めることはできない。また、鉄鋼の技術者にとって基礎学問から実践研究を一貫して学び直すことは、技術革新のきっかけにも繋がり、本技術講座の趣旨にも沿うものと考ええる。

そこで、中堅以上の技術者を対象に、凝固を含む製鉄・製鋼プロセス分野における基礎学問から実践研究への展開を理解するための講座を企画する。各80分間の講座のうち、基礎の最先端を大学講師に60分間ご講演頂き、実践研究例を企業講師に20分間ご紹介頂く。なお、今回と同様の学び直しを趣旨として、2022年春に「鉄鋼材料」に関する技術講座を企画中である。

1. 日時：2021年6月30日（水）9：00～17：55

2. 形式：オンライン開催（Webex Meetingsを使用）

3. 内容および講演者、司会者

司会者：村上太一（東北大学）

1）9：00～10：20 脱りんを中心とした高度精錬技術における熱力学

東京工業大学 科学技術創成研究院 教授 小林 能直
日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 製鋼研究部 主幹研究員 柿本 昌平

2）10：20～11：40 状態図から読み取る製鉄プロセス中酸化物の状態

東北大学 多元物質科学研究所 教授 植田 滋
山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 基盤研究室
プロセス研究グループ グループ長 吉岡 孝宜

3）12：25～13：45 製鉄反応の速度解析における未反応核モデルの実際

九州大学 大学院工学研究院 材料工学部門 准教授 大野光一郎
日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 製鉄研究部
上席主幹研究員 中野 薫

司会者：大野光一郎（九州大学）

4）13：45～15：05 凝固過程におけるマクロ偏析の発達

京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻 教授 安田 秀幸
日本製鉄(株) 技術開発本部 東日本技術研究部 主幹研究員 村尾 武政

5）15：15～16：35 マルチフェーズスラグの流動を司る高温融体物性

九州大学 大学院工学研究院 材料工学部門 准教授 齊藤 敬高
日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 製鋼研究部
上席主幹研究員 内藤憲一郎

6）16：35～17：55 熱流体・粒子シミュレーションで何が見える？

東北大学 多元物質科学研究所 教授 埜上 洋
JFEスチール(株) スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員 野内 泰平

4. 講演内容

1) 脱りんを中心とした高度精錬技術における熱力学

小林 能直、柿本 昌平

我が国の鉄鋼業の国際競争力の根幹を担ってきた高度精錬技術は、各元素ごとに発展し、また各濃度領域ごとに特徴的な指導原理を有しており、製品の高付加価値化および鉄資源の多様化などにも対応してきた。本講演では、不純物の極低減化、反応の高速化・高効率化、不純物含有鋼への対応の流れを振り返り、最大の課題である脱りん技術に戦略的指針を与える熱力学的な考え方について紹介する。スラグの脱りん能の評価指標である不純物キャパシティに着目し、キャパシティを増大させるためのファクター、種々のキャパシティ間の関係などを概説する。また、実際の脱りんプロセスにおける精錬技術展開について、CaO粉上吹き溶銑脱りんのスラグ組成やりん分配比の経時変化や、生石灰の溶融スラグへの溶解挙動に及ぼす P_2O_5 の影響などについて紹介する。

2) 状態図から読み取る製鉄プロセス中酸化物の状態

植田 滋、吉岡 孝宜

状態図は物質が安定に存在する領域を示すものであるが、高炉や転炉などの高温プロセスにおける酸化物は反応を伴い非平衡状態である。従って、これらプロセス中の酸化物の状態を知るには、系の最終到達状態の情報（の一部）をもとに、変化する酸化物を読み取ることが求められる。本講演では製鉄・製鋼プロセスで扱う酸化物の状態とその変化を状態図から読み取ることを目指し、基礎的な2元系、3元系状態図の見方や、平衡状態図の測定方法、相の変化と状態図の関係について取り上げ、状態図等の使い方について説明する。

3) 製銑反応の速度解析における未反応核モデルの実際

大野光一郎、中野 薫

冶金プロセスの設計や操作条件の決定では、プロセス内で起こる現象を的確に把握する必要がある。ところがプロセス内では複数の現象が共存しており、オフライン試験や実機計測などから得られる情報には限りがあるため、数値計算による解析が一般的に行われる。本講演では、製銑プロセスの数値解析に、最も一般的に用いられている「一界面未反応核モデル」を例として紹介し、その基礎学理を説明したのちに、応用例を紹介することで、製銑反応の速度解析の基礎から応用までを復習する。

4) 凝固過程におけるマクロ偏析の発達

安田 秀幸、村尾 武政

凝固過程で生じるマクロ偏析は、 casting後の加工過程や製品の品質に影響するため、限られたプロセス上のパラメータの中で抑制することが求められる。マクロ偏析の形成機構として固液共存域における溶質が濃化した溶鋼の流動を基礎に多くの研究がなされてきたが、固相の移動や変形も含めた固液共存域の変形に注目した研究も行われるようになった。本講演では、2D/3D観察結果も利用してマクロ偏析の形成機構を整理する。また、凝固・流動を考慮したシミュレーションによるマクロ偏析の解析についても紹介する。

5) マルチフェーズスラグの流動を司る高温融体物性

齊藤 敬高、内藤憲一郎

鉄鋼精錬プロセスにおいて副生されるスラグは基本的に均一な融体ではなく、未滓化のCaOやその反応生成物であるCaSや $2CaO \cdot SiO_2 - 3CaO \cdot P_2O_5$ および炭材などの固体、溶銑とスラグの反応により生成したCOガス等の気体、またフォーミングスラグによって巻き込まれた溶銑などの液体が、複雑に混在した高温複層流体を形成しており、これらが密接に関わる問題が散見される。ここでは、これらのマルチフェーズスラグの流動を司るレオロジー特性について、室温のモデルおよび高温におけるスラグでの測定例を概説するとともに、機械学習を用いた見かけ粘度の予測システムについて紹介する。また、スラグ中に分散した固相や気相などの第二相を、交流電場を用いてセンシングする技術についても言及する予定である。

6) 熱流体・粒子シミュレーションで何が見える？

埜上 洋、野内 泰平

近年の計算機能力の向上に伴って、粉粒体を取り扱う鉄鋼プロセスに対して、粒子法による流動・運動解析の応用が広がっている。従来の連続体を仮定したシミュレーションに対して、粒子追跡法は出力される情報は非常に膨大で、かつランダムな離散点の情報となるため、その中から必要な情報を読み解

く作業が繁雑で、結果の評価は見た目の評価にかたよりがちである。本講演では熱流体・粒子シミュレーションの基礎と、その結果からいかに定量的な情報を読み解くのかについて概説すると共に、企業における実用例について説明する。

5. 参加申込み

[申込方法] オンライン講座のため、本会ホームページからの事前申込のみとします。当日参加受付は行いません。

[支払い方法] ①クレジットカードのオンライン決済 または、②郵便振替のいずれかの方法で、事前の入金をお願いします。

[締め切り] 申込、入金ともに6月16日（水）までに完了するようお願いします。

※入金の確認後、開催約1週間前にテキストと領収証を送付します。

※ご入金後の返金および当日不参加の場合の返金はいたしませんので、ご了承下さい。

※申込・支払い方法・オンライン受講についての詳細は、本会ホームページに掲載します。

6. 参加費（税込み、テキスト付）

会員8,000円、一般15,000円、学生会員1,000円、学生一般2,000円

注) 会員割引は個人の会員のみ有効です。協賛団体の個人会員、学生会員も含みます。申込時に協賛団体の会員証をご提示下さい。

★ テキストは、講座終了後残部がある場合、鉄鋼協会会員価格、一般価格で販売いたします。
テキスト購入のお申込みは、本会HPをご覧ください。

問合せ先：（一社）日本鉄鋼協会 育成グループ

TEL：03-3669-5933 FAX：03-3669-5934 E-mail：educact@isij.or.jp

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】 (正 会 員) 製造業者 25社 販売業者 103社 合 計 128社	【販売業者会員】		
【製造業者会員】			
愛 知 製 鋼 (株) 秋 山 精 鋼 (株) (株)川 口 金 属 加 工 高 周 波 熱 錬 (株) (株)神 戸 製 鋼 所 合 同 製 鐵 (株) 山 陽 特 殊 製 鋼 (株) J F E ス チ ール (株) J X 金 属 (株) 下 村 特 殊 精 工 (株) 大 同 特 殊 鋼 (株) 高 砂 鐵 工 (株) 東 北 特 殊 鋼 (株) 日 鉄 ス テ ン レ ス (株) 日 本 金 属 (株) 日 本 高 周 波 鋼 業 (株) 日 本 精 線 (株) 日 本 製 鉄 (株) 日 本 冶 金 工 業 (株) 日 立 金 属 (株) (株)広島メタル&マシナリー (株)不 二 越 三 菱 製 鋼 (株) ヤ マ シ ン ス チ ール (株) 理 研 製 鋼 (株)	愛 鋼 (株) 青 山 特 殊 鋼 (株) 浅 井 産 業 (株) 東 金 属 (株) 新 井 ハ ガ ネ (株) 栗 井 鋼 商 事 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株) 井 上 特 殊 鋼 (株) (株) U E X 碓 井 鋼 材 (株) ウ メ ト ク (株) 扇 鋼 材 (株) 岡 谷 鋼 機 (株) カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株) 兼 松 (株) 兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株) (株) カ ム ス (株)カ ワ イ ス チ ール 川 本 鋼 材 (株) 北 島 鋼 材 (株) ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株) ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株) 小 山 鋼 材 (株) 佐 久 間 特 殊 鋼 (株) 櫻 井 鋼 鐵 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株) 三 悦 三 協 鋼 鐵 (株) 三 京 物 産 (株) 三 興 鋼 材 (株) 三 和 特 殊 鋼 (株) J F E 商 事 (株) 芝 本 産 業 (株) 清 水 金 属 (株) 清 水 鋼 鐵 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 友 商 事 (株)		(株)日 立 ハ イ テ ク (株)平 井 (株)フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株)ブ ル ー タ ス 平 和 鋼 材 (株) (株)堀 田 ハ ガ ネ (株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 松 井 鋼 材 (株) 三 沢 興 産 (株) 三 井 物 産 (株) 三 井 物 産 ス チ ール (株) (株)メ タ ル ワ ン (株)メ タ ル ワ ン チ ュ ー ブ ラ ー (株)メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼 森 寅 鋼 業 (株) (株)山 一 ハ ガ ネ 山 進 産 業 (株) ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株) 山 野 鋼 材 (株) 陽 鋼 物 産 (株) 菱 光 特 殊 鋼 (株) リ ン タ ツ (株) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

“特集” 編集後記

特殊鋼は熱処理を施すことで様々な特性が得られます。最終製品に必要な機能を付加するための熱処理は当然のこと、加工性向上などを目的した特殊鋼素材への熱処理もあります。一方、トータルコストダウン、環境負荷軽減のために、熱処理工程の省略、簡略化や熱処理方法の変更なども各社で検討されており、特殊な熱処理に適した鋼材開発も進んでおります。

「熱処理」の特集は、2001年、2009年に続き、最近では2015年に紹介されております。これまでは、部品の熱処理・熱処理関連技術あるいは鋼種別の熱処理という切り口での解説が中心となっています。今回は、特に『特殊鋼業界の生産、流通に携わる若手』を対象とした構成を意識し、特集名も「よくわかる特殊鋼の熱処理」としました。

素材から部品を製造するにあたり、どのような

目的でどのような熱処理が施されているかをあらためて理解頂くことで、特殊鋼素材、特殊鋼部品をより身近に感じて頂けることと存じます。また、昨今話題に上がっている「カーボンニュートラル」に関して、特殊鋼素材・部品の製造過程だけでなく、より適した熱処理が施された特殊鋼部品を使うことで、軽量化・長寿命化を介して貢献していくものと確信しております。

過去の熱処理特集と見比べ、特殊鋼の熱処理の進化とともに時代の変遷を感じて頂ければ、更に編集委員として喜ばしく思います。

最後になりましたが、本特集号にご寄稿頂きました執筆者の皆様、また編集委員の皆様および事務局各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

〔山陽特殊製鋼(株) 東京支社 西森 博〕

特 集／特殊鋼製造のやさしい解説

- I. 特殊鋼製造の概論
- II. 特殊鋼の製造方法
- III. 会員メーカーの最新設備

9月号特集予定…特殊鋼取引における在庫と物流

特 殊 鋼

第 70 巻 第 3 号
© 2 0 2 1 年 5 月
2021年 4 月 25 日 印 刷
2021年 5 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 小 澤 純 夫
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。