

特殊鋼

2016
Vol.65 No.5

9

The Special Steel

特集／特殊鋼に要求される特性とその評価方法



特殊鋼

| 9 |

目次

2016

【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	甘利 圭右 (平井)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	永濱 睦久 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	田代 龍次 (新日鐵住金)
〃	宮崎 貴大 (大同特殊鋼)
〃	赤見 大樹 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	戸塚 覚 (日本冶金工業)
〃	井上 謙一 (日立金属)
〃	山岡 拓也 (三菱製鋼)
〃	中村 哲二 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)

【特集／特殊鋼に要求される特性とその評価方法】

I. 総論

1. 特殊鋼評価試験の概要…………… 日新製鋼(株) 赤見 大樹 2
2. 鋼材における試験、分析方法
…………… (株)島津製作所 岡村 嘉之 8
3. 最近の非破壊検査技術と検査機器の動向
…………… ULTRASONIC(株) 城所 保彦 12
4. 表面検査システムの基本原理と最新技術
…………… アメテック(株) 鈴木 聡 15

II. 各特殊鋼製品の評価試験とその適用

1. 構造用鋼…………… 愛知製鋼(株) 上西 健之 18
2. ばね鋼…………… 三菱製鋼(株) 山岡 拓也 22
3. 軸受鋼…………… 山陽特殊製鋼(株) 平塚 悠輔 26
4. 工具鋼…………… 日立金属(株) 古谷 匡 30
5. 耐熱鋼…………… 大同特殊鋼(株) 倉田 征児 34
6. ステンレス鋼…………… 日本冶金工業(株) 吉田 裕志 37
7. 高張力厚板鋼の特殊評価試験
…………… 新日鐵住金(株) 高橋 康哲 42

III. 会員メーカーの新しい評価試験技術

- 切削現象の評価技術…………… 日立金属(株) 小関 秀峰 46
- “特集”編集後記…………… 日新製鋼(株) 赤見 大樹 61

●一人一題：「ドルフィンズ&エンドルフィン」

…………… 南海鋼材(株) 福原 實晴 1

■業界の動き …………… 47

▲特殊鋼統計資料 …………… 50

★倶楽部だより（平成28年6月1日～7月31日）…………… 54

☆特殊鋼倶楽部の動き

「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用実態調査 第5回電気自動車編」
調査報告書の説明会開催…………… 56

「安全保障貿易管理」説明会開催…………… 57

定例講演会「最近の自動車産業の動向」の開催…………… 58

「海外特殊鋼メーカーの現状」調査報告書の説明会開催…………… 59

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧…………… 60

特集／「特殊鋼に要求される特性とその評価方法」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	赤見 大樹	日新製鋼(株)	品質保証・技術サービス部 普通鋼・特殊鋼品質保証チーム チームリーダー
委員	宮川 利宏	日本高周波鋼業(株)	営業本部 条鋼営業部 担当次長
〃	戸塚 覚	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部長
〃	北川 貴一	日立金属(株)	高級金属カンパニー 技術部兼工具鋼統括部 技師
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	甘利 圭右	(株) 平井	常務取締役

「ドルフィンズ&エンドルフィン」

南海鋼材(株)
代表取締役ふく はら み はる
福原 實 晴

カラーコーディネートの講習会に参加した時のことです。私は紫系が一番好きな色なのですが、「紫系を好む人は感性や直感に優れている」と講師に言われ驚きました。私は生涯を通じて新聞や雑誌購読、講演会や勉強会参加に無縁な人生を送ってきました。脳に五感を通じて情報を送り判断するよりも、決断は常に直感ですることが多かったのです。しかし、そんな人生に「脳」を必要とする転機が訪れました。2009年10月、リーマンショックから癒えず業績悪化に苦しんでいた時に、取引先の方から誘われてライブバーへ。親父バンドとの出会いでした。ワクワクしました。定年適齢期の親父たちが仲間と演奏を楽しんでいる姿に、私の沈んだ心に光が差し込んだのです。盛り上がった流れで、お店に誘ってくれた方々と半年後にジョイントライブをやろうと、無謀な約束を交わして店を後にしました。善は急げ、早速会社でバンドメンバーを募り「南海ドルフィンズ」を結成したのです。40年間ホコリを被っていたエレキギターをピカピカに磨き、弦を張り替えて練習スタート。しかし、たった3曲の進行が頭に残らず覚えられない、私の脳が鍛錬されていないことは自分が一番知っています。身体で覚えるしかないのだと覚悟を決めました。幸いなことに仕事は暇で時間だけはたっぷりありましたし。そして練習を始めて半年後、約束通りライブバーでジョイントライブを開催、レパートリーはベンチャーズを中心に9曲でしたが、楽しむ余裕もなく演奏に集中することで精一杯でした。それから7年が経ちレパートリーは50曲になりましたが、年々曲を覚えるスピードが速くなり、音楽脳になったのか記憶力が増したのか不思議に感じていました。そんな折に、脳の下部にあり記憶を司っている海馬という器官の記事をネットで読みました。海馬は、楽しさや喜びを感じると「βエンドルフィン」を分泌しそれにより記憶力も増すとのこと。βエンドルフィンとは神経伝達物質で、脳の神経回路を作り変え活動をポジティブにします。その結果、集中力、忍耐力、思考力、記憶力、創造力など脳の機能が全体的に向上するのです。初めてのジョイントライブ以降、南海ドルフィンズの単独ライブを毎年開催していますが、「昨年よりうまくなったね!」「凄く楽しかった!来年も来るよ!」なんてお世辞でも言われるとテンションアップ。メンバーと練習する時はライブの楽しさや喜びが頭に浮かび、ギターを持つと条件反射的にβエンドルフィンが分泌されるのでしょうか。自然に次のポジションが浮かんでくるようになったのです。βエンドルフィンが上達を支えてくれていると実感しました。

リーマンショックという苦境の最中にたまたま出会ったバンド活動は、今や私の五感を刺激し脳を活性化させ、ポジティブな思考回路を作る源になっています。これからも大いに趣味を楽しみながら、今まで通り直感も大切にしたいと思っています。



I. 総論

1. 特殊鋼評価試験の概要

日新製鋼(株) 品質保証・技術サービス部 あか み たい じゅ
普通鋼・特殊鋼品質保証チーム **赤 見 大 樹**

まえがき

特殊鋼製品は自動車、造船、航空宇宙や生活に身近な産業分野まで幅広く使用されている。近年需要家からの品質要求は厳しさを増し、ppmオーダーでの保障を要求される場合もある。各鋼材メーカーはその半製品や素材が実際に使用される環境や条件に適合する為、決められた規格や仕様を満足するように製造工程での造込みを行っている。製造工程の中では各工程で求められる品質特性を付与できる様に、適正な品質設計を反映した製造条件への落とし込みを行い、目標とする品質を造り出している。製造された半製品や製品が所定の品質特性を満足しているかを調査する評価試験は品質保証の根幹を成す部分であり、規格や要求仕様を満足している事を確認するだけではなく、品質を維持管理し、製造工程に適宜フィードバックして品質水準の確保と安定生産を確実にするためにも重要である。近年、鋼の精錬法が革新的進歩を遂げ製造工程での品質保証が確立されてきている。一方鋼の評価試験においても自動化され、試験時間も迅速に対応できる試験機器が日々開発されてきており、非破壊検査もその進歩には著しいものがある。これら評価試験の手法や試験データを正しく理解する事は鋼材の選定や購入仕様等

の取決めにおいて非常に重要である。

一般にJISの分類¹⁾では鋼材の評価試験として①機械試験：鋼材の強度特性を評価する、②鋼質試験：鋼材内部の組織や焼入れ性等を評価する、③腐食試験：主にステンレス鋼の耐食性を評価する、④非破壊試験：鋼材の電磁気的特性等を利用し、鋼材の内部欠陥を非破壊で評価する、がある。また表面疵の検査では鋼材の表面欠陥を人間の目視に代わり高精度に検出する表面検査機も近年その進歩が著しい。本稿ではこれらの評価試験や検査について概論を述べるが紙面の都合もあり①と②の主な評価試験に限定した。尚、化学成分は鋼材の諸性質に大きな影響を及ぼすため、特殊鋼鋼材においても様々な方法で分析されている。また非破壊検査についても鋼材内部欠陥の高精度な検出技術が開発されている。いずれも2015年9月発刊の「特殊鋼を支える分析・検査技術」(一般社団法人 特殊鋼倶楽部)²⁾に詳しく記述されているので参照されたい。

◇ 機械試験

1. 引張試験

引張試験は鋼材の種類を問わずその機械的性質(降伏点、耐力、引張強さ、伸び、絞り)を測定する最も重要な試験である。その試験方法、試験片

の大きさ、形状および試験結果の評価方法はJIS Z2241「金属材料引張試験方法」に規定されている。試験片は製品形態（板、棒、管、線）によって推奨される所定の形状に作成される。試験片の作成に於いては切断、切削、曲がり矯正等で熱影響やひずみ影響を極力与えない配慮が必要である。この試験片の両端を掴んで一軸方向にのみ徐々に力を加えて、最終破断するまで引張を行う。この応力を増加させる方法としてISOでは応力増加速度制御法に加えてひずみ速度制御法が制定されている。降伏現象を精度よく測定するために使われる。図1に引張試験によって得られたグラフを示す。このグラフを応力-ひずみ線図と言ひ、これから鋼材の様々な特性がわかる。引張試験の主な用語の意味は以下である。

引張強さ：その引張試験で得られた最高荷重(N)を試験片の平行部の原断面積(mm²)で割った値(N/mm²)。材料の強さを表す代表的な値として用いられる。

破断伸び：試験片が破断した時の原標点間距離に対して伸びた距離(mm)を原標点間距離(mm)で割り、百分率(%)で表した値。材料の延性の評価に用いられ、塑性加工を加える場合参考になる値である。

降伏点：材料が塑性変形を始める直前の最大荷重(N)を試験片平行部の原断面積(mm²)で割った値(N/mm²)。製品によってはこの降伏点が現れない場合があるので、その場合は規定された永久伸びを与えた時の荷重(N)を試験片の平行部の原断面積(mm²)で割った値が採用される。

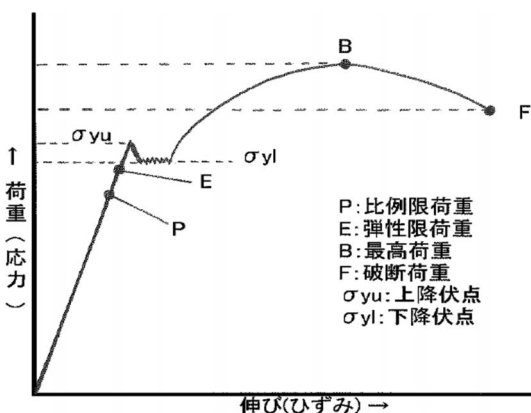


図 1 応力-ひずみ線図

一般に永久伸びとして0.2%が多く採用されている。機械構造物等設計の際の強度計算や塑性加工計算に用いられる。

絞り：試験片が破断した時の破断面の断面積(mm²)を原断面積(mm²)で割った値を百分率(%)で表した値。材料の粘さの指標になる。

2. シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験は溶接構造用鋼などの靱性を評価する方法として古くから広く用いられ、試験片が小さく少量で済む事から実際の破壊鋼材から試験片を採取して原因調査に使用される場合もある。この試験はある温度での衝撃吸収エネルギーや延性-脆性遷移温度が材料特性の評価指標とされている。試験片形状、試験方法および試験結果の評価方法はJIS Z2242「金属材料のシャルピー衝撃試験方法」に規定されている。図2にシャルピー衝撃試験機を示す³⁾。試験片としては鋼材から切り出された10×10×55mmの直方体形状に切欠きとしてUノッチやVノッチ加工を施したものを使用し、ハンマーによる打撃で示された角度からその吸収エネルギー(J)を計算するものである。吸収エネルギー(J)を切欠き部分の断面積で割って単位断面積当りの吸収エネルギー(J/mm²)で表示する場合もある。破壊された破面の観察から延性破壊と脆性破壊の破面の割合を測定し、脆性

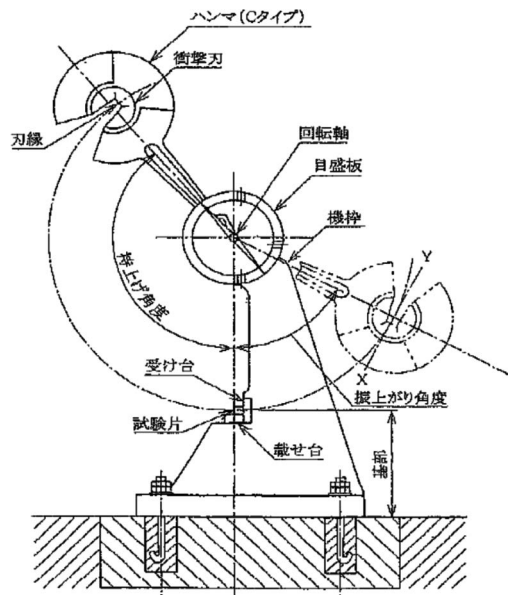


図 2 シャルピー衝撃試験機

破面率 (%) を求める事ができる。この脆性破面率の変化を極低温領域から常温まで測定してグラフにしたものが図3である⁴⁾。鋼材の使用環境によっては極低温の場合もあるため、あらかじめ鋼材の遷移温度を把握しておく事は重要である。

3. 硬さ試験

硬さ試験は引張試験同様鋼材の強度を測定する一つの指標として広く用いられている。また引張強度と良い相関が認められる事から鋼材強度を簡便に評価する事ができる。代表的な硬さ試験は4種類あり、ブリネル硬さ (HBSまたはHBW)、ビッカース硬さ (HV)、ロックウェル硬さ (HRBまたはHRC等) は被測定物表面に超鋼硬球やダイヤモンドの垂体を一定の荷重で押付けたときのくぼみの深さ、表面積を求めて計算するのに対してショアー硬さ (HS) は被測定物の上にダイヤモンド重垂を所定の高さから落下させてその反発高さに比例する値として求める。いずれの試験方法もJIS Z2243~2246に規定されている。これらのうちの硬さ試験を採用するかは材料の硬さ、寸法、形状等を考慮して決定する。ビッカース硬さは浸炭、窒化や高周波焼入れされた極表層の硬化層の硬さ測定にもよく用いられている。得られた硬さデータはその材料のある一部分を測定しているものであり、材料全体の硬さを代表しているものではない。信頼ある評価データとするために測定点数や部位の考慮は必要である。それぞれの硬さを他の硬さへ換算する比較表はSAEJ417がJISハンド

ブックに参考として示されている。

これら引張試験、シャルピー衝撃試験、硬さ試験は鋼材メーカーの主要な試験方法としてその自動化が最も進んだ試験方法である⁴⁾。

4. 疲れ試験

鋼材の疲れ破壊は通常の静的な破断荷重よりも低い荷重の繰返し負荷によって生じるもので、多くの機械構造物は複雑な応力環境下で使用されている。そのためその鋼材特有の疲れ限度 (疲れ強さ) を求めることは機械設計上非常に重要な事である。疲労試験は応力の種類 (両振り応力、片振り応力) と応力のかけ方 (引張圧縮、曲げ、回転曲げ、捻り) の組合せで実施されるが、使用環境に適した試験方法を選ばなければならない。図4

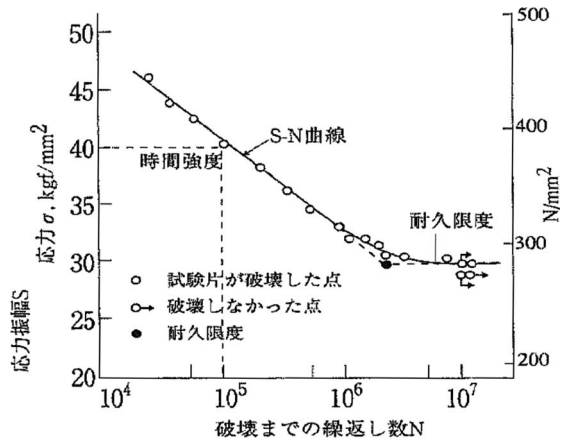


図 4 S-N曲線

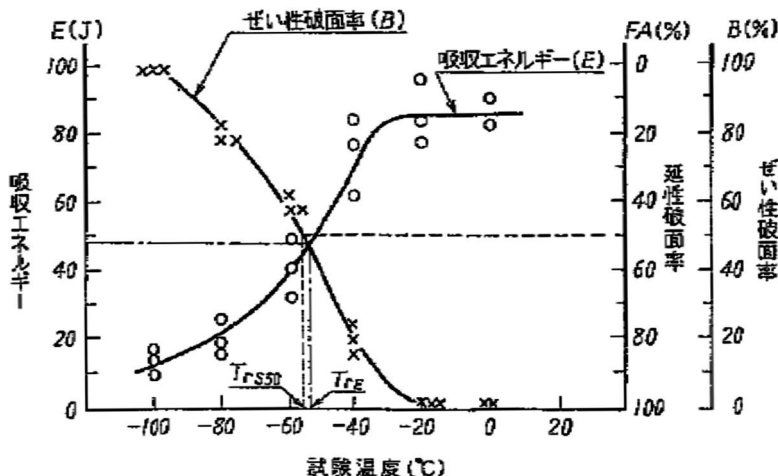


図 3 遷移温度曲線 (JIS Z2242)

は一定の応力振幅を繰返し与えて破断するまでの繰返し回数をプロットしたもので一般にS-N曲線と呼ばれている⁵⁾。この繰返し応力のレベルを変える事で破断までの繰返し数が増えているのがわかる。繰返し数が 10^7 に達する応力を疲れ限度(プロットが横軸と平行になる応力)と呼び、プロットに→をつける。疲れ限度以下の繰返し応力では材料は破壊しない。JIS Z2273「金属材料の疲れ試験方法通則」～Z2275に疲れ試験の詳細が規定されているので参照願いたい。

5. クリープ試験

高温で鋼材が使用される場合、室温とは異なる挙動を示し、室温では耐力以下の応力で塑性変形しない材料でも高温環境では時間とともに塑性変

形が生じる。この現象をクリープ特性と呼び、耐熱鋼に求められる重要な要素である。クリープ特性は図5に示すようにある高温環境下で縦軸にひずみ、横軸に時間を取ると概ね3段階のクリープ特性を示す。時間に対してひずみ増加の大きい初期クリープ、ひずみが時間経過に対して一定の増加を示す定常クリープ、最後に再びひずみ増加が激しく最終破断に至る3次クリープが認められる。一般的に破断に至る時間が長く、定常クリープの傾きが緩やかな材料がクリープ特性に優れた材料とされる。クリープ特性は温度や荷重で破断に至る時間は変化するので各温度毎に応力とクリープ破断時間の関係曲線が得られる(図6)⁶⁾。これから各温度において任意の時間に相当する破断応力

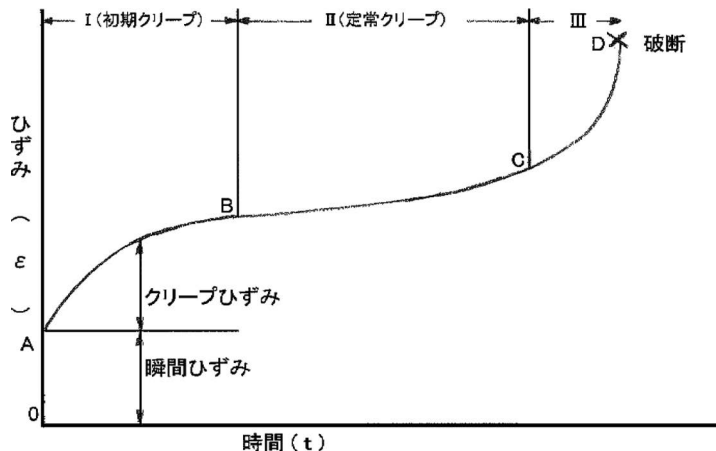


図 5 クリープ曲線 (一定温度、一定荷重)

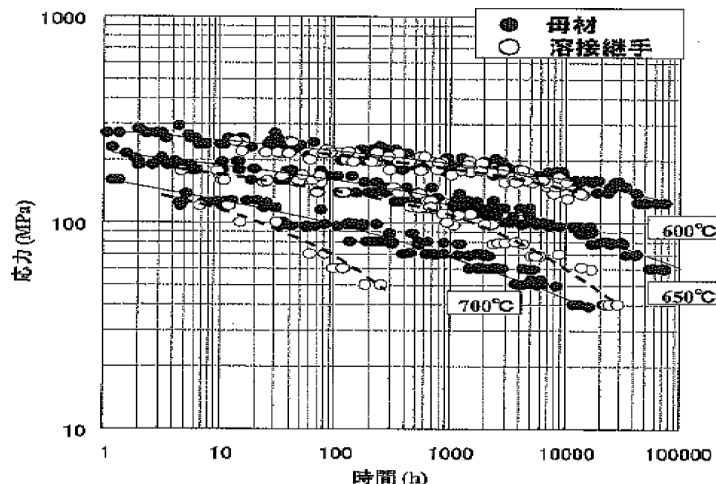


図 6 フェライト系耐熱鋼の温度-応力-クリープ破断時間の関係

を推定する事ができる。一般的にある応力下で100Hr、1,000Hrさらには10,000Hrにて破断にいたる温度を耐用温度としてクリープ特性比較を行う場合もある。これらの評価試験方法はJIS Z2271「金属材料のクリープ及びクリープ破断試験方法」に規定されている。またクリープ特性以外に高温特性評価試験としてJIS G0567「鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験方法」、JIS Z2281「金属材料の高温連続酸化試験法」、JIS Z2282「金属材料の高温繰返し酸化試験」が規定されており、耐熱鋼や耐熱合金鋼の特性評価に使用されている。

◇ 鋼質試験

1. 組織試験

特殊鋼鋼材の内部性状を評価する組織試験には大きく分けてマクロ組織試験と顕微鏡組織試験があり、前者は鍛造や熱間圧延鋼材断面を各種の腐食液（1：1塩酸水溶液、王水や塩化銅アンモニア水溶液等）で欠陥や組織を現出、主に肉眼で判定するものである。判定対象は樹脂状結晶、インゴットパターン、中心部偏析、気孔、介在物、毛割れ等があるが需要家との取決めで決められている。この方法は鋼材全体の品位を判定できる特徴があり、JIS G0553「鋼のマクロ組織試験方法」に規定されている。一方顕微鏡を使用したミクロ組織の観察によって鋼材の結晶粒度、非金属介在物や脱炭を測定評価する方法は鋼材の品位判定において重要な試験である。結晶粒度は一般に鋼のフェライトまたはオーステナイト結晶粒度を測定するものである。フェライト結晶粒度は主に純鉄を含むC \leq 0.2%の低炭素鋼において加工性や強度に影響を及ぼす。オーステナイト結晶粒度は高温状態での結晶粒の大きさを判定するもので、焼入れ焼き戻し処理後の強度や韌性に影響を及ぼすものである。その測定方法には比較法や切断法がJIS G0551「鋼-結晶粒度の顕微鏡試験方法」に詳述されている。またオーステナイト結晶粒度は肌焼鋼など浸炭されて使用される材料には浸炭粒度試験方法が、構造用鋼等焼入れ焼き戻して使用される材料には焼入れ焼き戻し法が適用されている。これらもJIS G0551附属書JAに規定されているので参照願いたい。脱炭は熱間圧延鋼材や熱処理を施した材料に見られる欠陥で、表層の炭素濃度が

減少している事象をいう。またこの炭素濃度が減少している部分を脱炭層と呼び、顕微鏡組織で判定する。ばね鋼、軸受鋼や及び工具鋼などで熱処理した時にこの脱炭層があると所定の硬さが得られず、耐摩耗性の低下や疲労強度の低下を引起し、重大な品質特性の悪化を招く原因になる。写真1に炭素工具鋼の脱炭組織例を示す。JIS G0558「鋼の脱炭層深さ測定方法」では全脱炭層深さ(DM-T)、フェライト脱炭層深さ(DM-F)、特定炭素率脱炭層深さ(DM-S)などの表示記号を用いる。例えばフェライト脱炭層深さ0.04mm、残炭率50%の脱炭層深さ0.08mm、全脱炭層深さ0.10mmの場合 DM-F 0.04-S (50)-0.08-T0.10と表す⁷⁾。非金属介在物は製鋼操業の過程で硫化物、ケイ酸塩、酸化物や耐火物が鋼の中に混入したもので精錬、製鋼技術が発達した現代においても不可避免的に存在する。JIS G0555「鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法」では100倍に拡大された顕微鏡観察視野内の介在物の合計長さや厚さを標準図との比較で判定する方法と400倍の顕微鏡視野内に存在する縦×横各20の格子線による格子点の内、介在物が占める格子点中心の数をカウント評価する方法(点算法 JIS G0555附属書1)がある。一般には後者の点算法が広く用いられており、被検面をランダムに変えて検鏡し、この測定を繰り返す方法で、60視野を標準としている。この場合介在物の種類はA系介在物(硫化物、ケイ酸等)、B系介在物(アルミナ等)およびC系介在物(粒状酸化物)の3種類に分類され、それぞれの介在物種類毎に下記の式で清浄度(%)として計算し判定する。

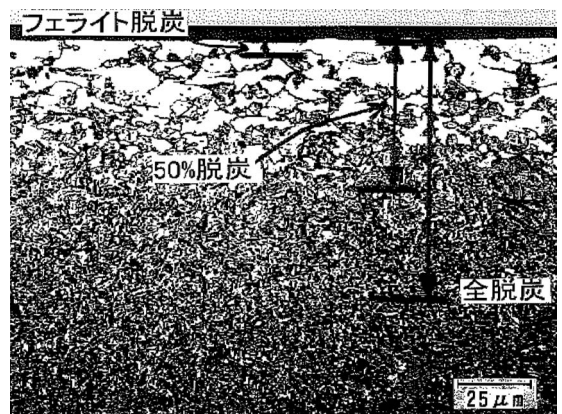


写真1 炭素工具鋼の脱炭組織例

$$d = n / (p \times f) \times 100$$

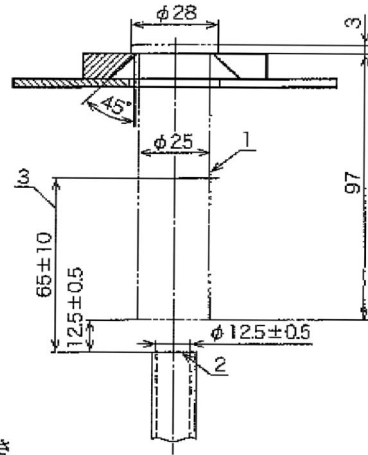
d = 清浄度 (%)

p = 視野内のガラス板上の総格子点数

f = 視野数

n = f個の視野における全介在物によって占められる格子点中心の数

単位 mm



- 1 試験片
- 2 噴水口
- 3 噴水自由高さ

図 7 ジョミニー式一端焼入れ試験装置

軸受鋼や自動車部品に使用される一部炭素工具鋼では顧客要求に従いASTM規格 (ASTM E-45A) やDIN規格 (DIN 50602) による測定方法もよく用いられている。ASTMやISO規格では非金属介在物の画像処理測定法が制定されており、画像処理装置の導入とともに自動化が進められている。

2. 焼入れ性試験

特殊鋼が主に熱処理を施して使用される事から鋼材の焼入れ性は非常に重要な品質指標である。機械構造用炭素鋼や構造用合金鋼のように強度、靱性及び耐磨耗性が要求される場合、焼入れによっていかに内部まで硬さが入るかで材料としての性能が決定される。鋼材はその質量や厚さによって焼入れ性能が大きく影響を受けるが、これを質量効果と呼んでいる。そのような大型部材でも焼きが入るようにMn、Mo、Cr、SiおよびNi等の焼入れ性を向上させる合金元素を添加している。またBのように数十ppmの極微量添加でも著しく焼入れ性を向上させる添加元素もある。このような焼入れ性を評価する試験方法として最も一般的なものにジョミニー式一端焼入れ試験がある。図7にジョミニー式一端焼入れ試験装置の概要を示す⁸⁾。鋼材より直径25mm、長さ100mmの棒状試験片を切出し、所定のオーステナイト温度に加熱した後その下端部にのみ水冷して冷却する。焼入れした水冷端から上部の空冷端までを直線状に深さ0.4mm切削して平行面を作成し、数mm単位のピッチで硬さ (HRC) を測定するものである。

横軸に水冷端からの距離 (mm)、縦軸に硬さ (HRC) をとってグラフにしたのがジョミニー硬さ曲線と呼ばれるもので、焼入れ性を判定するのに便利である。水冷される事で硬いマルテンサイト組織が得られるが、水冷端から離れるに従い、この組織の割合が減少する。一般に50%マルテン

サイト組織が得られている部分の水冷端からの距離をジョミニー距離と呼ぶ。この焼入れ性試験はJIS G0561「鋼の焼入れ性試験方法 (一端焼入れ方法)」として規定されている。

むすび

特殊鋼製品の評価に関係する機械試験や硬質試験の主なものについて概説した。需要家からの品質要求が厳しくなる中、より高品質で安定した機能を持つ特殊鋼製品の供給が求められている。グローバル化が進む現代において需要家は世界のどこでも安価でかつ安定した品質の製品を求めている。国内ばかりでなく海外ミルとの競争においてもますます厳しい状況が予想されるが、日常繰り返される評価試験を通じて製品の品質特性や水準変化を見逃さず、より安定した製品の造込みを目指して日々邁進して行かねばならないと考える。

参考文献

- 1) JIS ハンドブック 鉄鋼 I JIS G0202、2013
- 2) 特殊鋼倶楽部 特殊鋼 「特殊鋼を支える分析・検査技術」 2015年9月号
- 3) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧 第4巻 2. 硬質試験・機械試験 P237
- 4) JIS ハンドブック 鉄鋼 I JIS Z2242、2005
- 5) 特殊鋼倶楽部「特殊鋼技術データのやさしい読み方」P27
- 6) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧 第3巻 24 実用材料のクリープと材料高性能化 P422
- 7) JIS ハンドブック 鉄鋼 I JIS G0558、2007
- 8) JIS ハンドブック 鉄鋼 I JIS G0561、2011

2. 鋼材における試験、分析方法

(株)島津製作所 おかむらよしゆき
分析計測事業部 岡村嘉之

まえがき

鉄鋼などの金属材料は構成される元素の組成により引張や疲労に対する強度や耐腐食性といった機械的・力学的特性が変化します。また、鉄鋼に限らず樹脂やゴムなどの化成品や医薬品などにおいても、原料中の不純物は、生産された材料の特性に影響を及ぼす可能性があります。不純物は材料により異なるが、金属材料では必要以外の元素や、酸化物などに形態が変化した化合物が対象になる。元素組成の分析装置は、試料を装置に導入するための処理方法の簡便さや、必要な感度により選択される。また、酸化物などは介在物と呼ばれ、その種類や形態、大きさなどにより機械的特性に影響を及ぼす。介在物の分析には元素分布を画像化する分析装置が用いられる。

本稿では、機械的特性を評価する引張試験、疲労試験、元素組成分析、介在物の元素分布分析に関して解説する。

◇ 引張試験と疲労試験

機械的特性を評価する強度試験には、厳密な分類ではないが、負荷を与える速度が低速か高速か、または負荷が一定方向か繰り返しかどうかで静的試験、動的試験に分類される。静的試験には、引張り、圧縮、曲げ、せん断、ねじり、クリープ、リラクゼーション試験があげられ、動的試験には、疲労試験、高速衝撃試験があげられる。

ここでは、鉄鋼で頻度が高いと考えられる引張り、曲げ、疲労の各試験における特性値の説明と試験方法を紹介します。

1. 特性値

機械的特性は、応力とひずみの関係を測定することで、いろいろな特性値を求めることができる。応力 σ は単位断面積あたりの試験力、ひずみ ϵ は単位長さあたりの伸びを表す。図1に鉄鋼の応力-ひずみ線図を示した。試験片の両端をつかみ、一

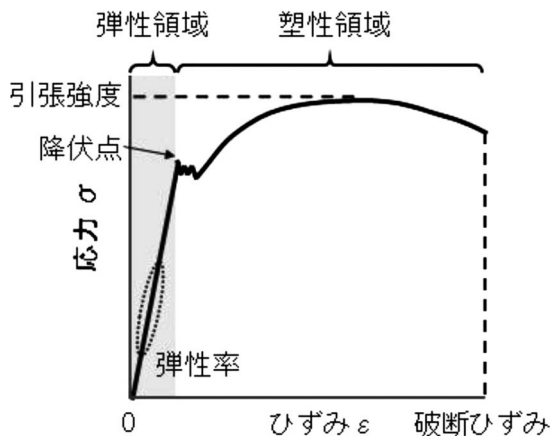


図 1 鉄鋼の応力-ひずみ線図

定の速度で引張り応力を加えると図1のようなグラフが得られる。

このグラフの立ち上がり部は応力を除くともとの状態に戻る領域であり、この領域を弾性領域と呼び、図1のグラフの直線部の傾きが弾性率またはヤング率である。さらに力を加えると、応力を除いてもひずみが残る塑性領域が現れる。この現象が始まる応力を降伏点と呼び、さらに力を加えると最大の応力となり、この応力を引張強度と呼ぶ。その後応力は減少し破断に至るが、破断までに伸びた長さを破断ひずみと呼ぶ。

2. 引張試験

試験片の両端をつかみ、一定の速度で引張り力が負荷されたときの応力とひずみの関係を調べるのが引張り試験である。得られた応力とひずみの関係から、縦弾性係数、降伏点、耐力、引っ張り強さ、破断伸び、絞り、ポアソン比、ひずみ硬化係数(n値)、塑性ひずみ比(r値)などの特性値を求めることができる。

3. 曲げ試験

2つの支点間に設置された試験片にポンチを介して曲げ応力を負荷し、曲げ応力とたわみの関係を調べるのが曲げ試験である。図2に概念図を示

す。負荷のかけ方で3点曲げ、4点曲げがある。3点曲げは曲げモーメントがポンチの下で最大となり、4点曲げでは、曲げモーメントがポンチ間で一定となる。

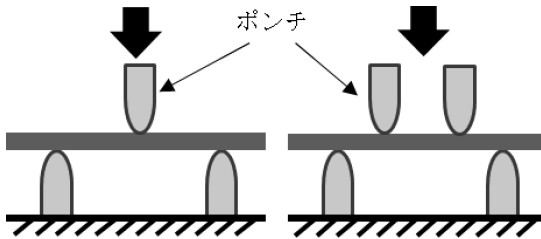


図 2 曲げ試験
左：3点曲げ試験、右：4点曲げ試験

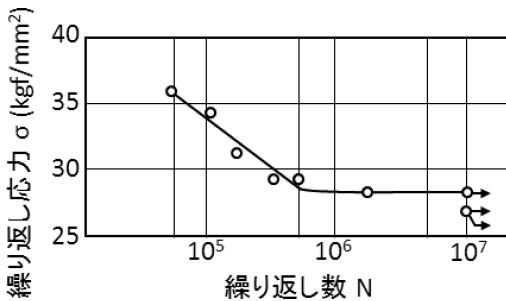


図 3 S-N線図の例¹⁾

4. 疲労試験

力が繰り返し加わることで、本来の強度より低い値であっても破壊することがある。これは応力の高い部分に微小なき裂が発生し、このき裂が徐々に進行し、ついには全体での破壊につながるためである。疲労試験は、繰り返しの力に対する寿命や疲労限度を調べることができる。図3にS-N線図の一例を示す。S-N線図は、縦軸に応力、横軸に繰返し数を取る。グラフの見方としては、線図の水平になる応力以下の繰返し応力では無限に繰り返しても破壊しないいわゆる疲労限を求めることができる。

◇ 元素の組成分析

元素の組成分析では、試料に外部からエネルギーを与えて、放出される元素特有の光（スペクトル）を測定する発光分光分析法が広く利用されている。使用されている装置の多くはスパーク放電発光分光分析法による装置と、ICP発光分光分析法による装置である。

1. スパーク放電発光分光分析装置

スパーク放電発光分光分析装置では、試料にスパーク放電を起こし、発生する高温のプラズマに

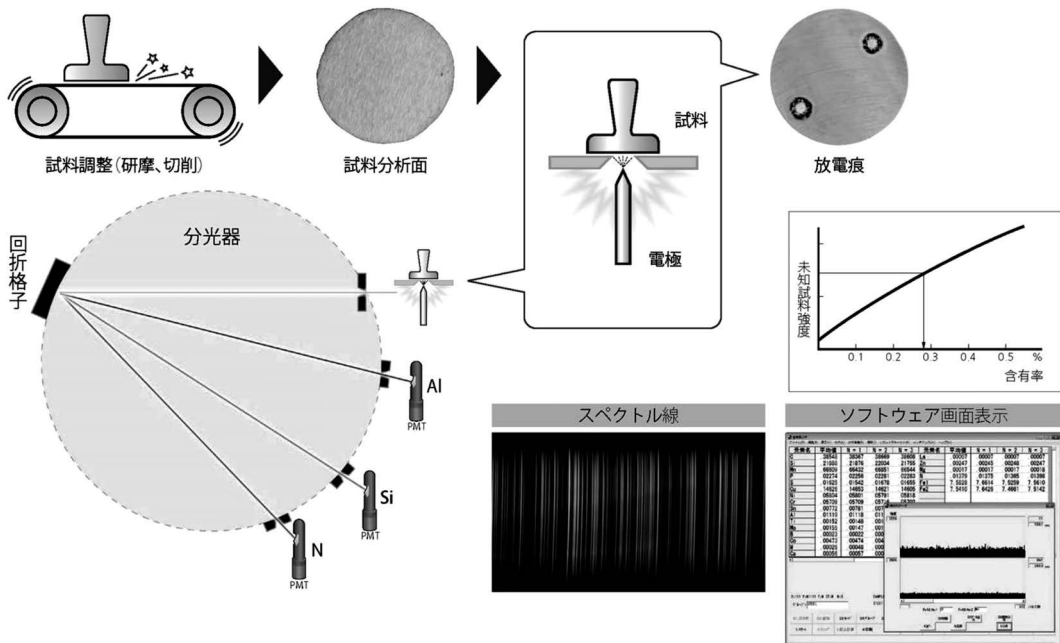


図 4 発光分析装置の原理図

より、試料を蒸発・気化・励起する。放出される元素特有のスペクトルを分光器により分光し、その強度を検出器（光電子増倍管）にて測定することにより試料に含まれる元素の定性・定量を行う分析方法である。複雑な前処理は必要なく、測定開始から、1分足らずで数十元素の定量値を求めることができる。

図4にスパーク放電発光分析装置の原理図を示す。

2. ICP発光分析装置

ICP発光分光分析法では試料を高温（約10000℃）のアルゴンガスのプラズマ（ICP：誘導結合プラズマ）に導入し、プラズマのエネルギーにより含まれている元素（原子）が励起され、励起された原子が低いエネルギー準位に戻るときに放出されるスペクトルを測定する。図5に試料導入部の概略図を示す。試料溶液はネブライザーで霧化され、チャンバーにより液滴の大きさを選別し、キャリアガスの気流に乗る細かな液滴がプラズマに導入される。ICP発光分光分析装置に使用される分光器は大きく2種類あり、多元素同時分析型では、スパーク放電発光分析装置とほぼ同様の分光器が使用される。ICPから放射された光を分光器に導入し、元素の定量分析を行う。鉄鋼分析では主成分である鉄や副成分の元素などによる分光干渉が多くみられることがある。このため、スペクトル分解能の高いモノクロメータを使用するシーケンシャル型の装置も多用されている。近年ではICPをイオン源として用い、質量分析計と組

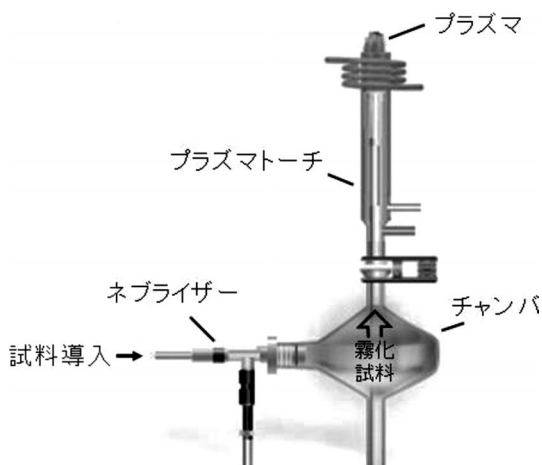


図5 ICP試料導入部

み合わせたICP質量分析装置が実用化され、より微量な元素の分析に使用される²⁾。

◇ 介在物の元素分布分析

鉄鋼や金属材料中の微小析出物・介在物の存在が機械的性質（靱性、耐疲労性、非時候性）に著しい影響を及ぼすことがあり、この形態・大きさ・分布などを分析することが非常に重要となる。

1. EPMA

鉄鋼中の介在物の分析を行う分析装置としてはEPMAが適している。EPMAは電子線マイクロアナライザ（Electron Probe Micro Analyzer）の略称で、加速させた電子線を試料に照射し発生する特性X線のスペクトルを解析することで含有する元素の定性を行い、スペクトルの強度から定量することができる。電子線径はナノメートルオーダーに絞ることができ、電子線の走査によるマイクロメートルオーダーの微小領域の分布から、ステージ移動によるセンチメートルオーダーの広域な元素分布を測定することができる。また、電子線照射の際に発生する二次電子や反射電子から二次電子像（SE像）や反射電子像（COMPO、TOPO像）を得ることができ、観察画像と元素分布分析結果を同じ領域で得ることができる分析手法である。

2. EPMAによる介在物分析結果

EPMAによる鉄鋼中の介在物分析結果を図6に示した。COMPO像のコントラストの違いから組成の異なる介在物が混合している可能性が予想できる。元素分布分析結果からC（炭素）、N（窒素）、Ti（チタン）、V（バナジウム）が同様の分布であることが確認できる。また、S（硫黄）とMn（マンガン）が同じ範囲で分布していることから硫化マンガンがチタン化合物を囲むように分布している様子を確認することができた。また硫化マンガンと同じ分布領域に微量のSe（セレン）を確認することができた。

EPMAでは、この様に元素組成分析と元素分布から介在物の生成状態を知ることができる。

むすび

本稿では鉄鋼の機械特性を評価する試験と鉄鋼組成を分析する元素分析装置、および介在物の元素分析と元素分布を評価することができる分析装

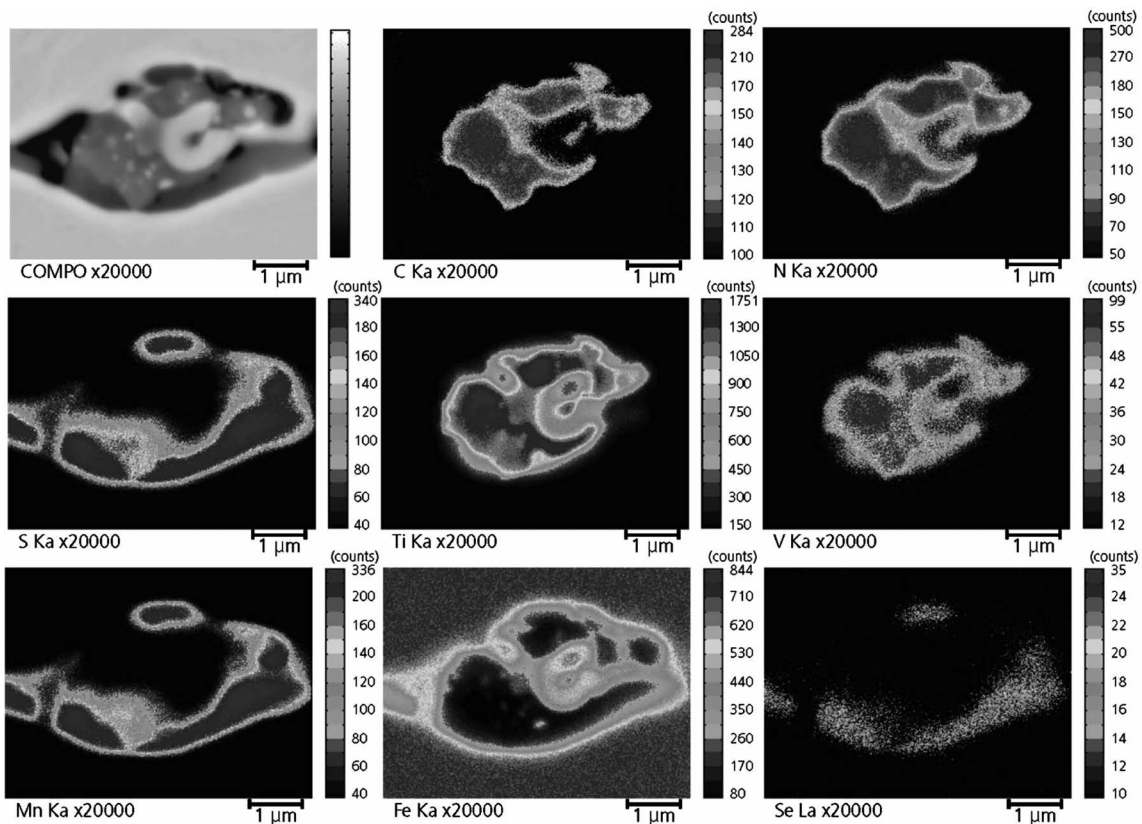


図 6 EPMAによる鉄鋼中の介在物分析結果

置を紹介した。今回紹介した内容は鉄鋼の分析、評価の一部である。今後も分析、評価の面から、産業の根幹である金属材料メーカーの品質管理、研究開発に貢献できるよう取り組んでいく。

参考文献

- 1) 日本工業規格 JIS Z2273 : 1978 図7
- 2) 日本分析化学会 編：試料分析講座 鉄鋼分析、丸善出版、(2011)

3. 最近の非破壊検査技術と検査機器の動向

ULTRASONIC (株) きどころ やす ひこ
代表取締役 **城 所 保 彦**

◇ 最近の非破壊検査技術

非破壊検査は従来から金属製品の探傷技術として採用されており、下記の手法が開発され実用化されている。

超音波探傷方式：超音波を金属の表面並びに内部に伝搬させて、探傷を行う方式。

渦電流探傷方式：コイルを使用して金属表面に渦電流を発生させ、渦電流の変化で探傷を行う方式。

漏洩磁束探傷方式：鉄鋼材料を磁化し、欠陥からの漏洩磁束を磁気センサーで検知する探傷方式。

浸透探傷方式：表面に開口した欠陥を毛細管現象で、浸透液をしみこませて検知する探傷方式。

磁粉探傷方式：磁性粉末を含む媒体で、漏洩磁界により表面及び表面近傍欠陥を検知する探傷方式。

放射線探傷方式：放射線を被検査材に照射し、投下した放射線の強さの変化を写真フィルムに感光させ検知する探傷方式。

このような非破壊検査方式は各々異なった使用目的で開発、実用化されてきた。非破壊検査で得られた情報は、限られたプロセスでの品質管理情報として利用されてきたが、今後さらなる品質向上を実現するため、製造プロセスの上流から下流まで材料情報を一元的に管理し、製造プロセス全体を制御する手法が強く求められている。製造ラインの上流で採取された情報をラインの下流に供給し、ラインの下流で採取された情報をラインの上流に供給することで、より効率的な品質管理を実現することが可能となる。このような目的のために求められる非破壊検査は、下記の機能が要求されている。

- ・検査の高速化
- ・熱間ラインでの検査

上記機能を有する非破壊検査技術の中で、最近注目されている技術に電磁超音

波（EMAT）という技術があり、従来の検査技術では実用化に問題があった分野の非破壊検査を可能にしている。この原理を図1で簡単に紹介する。

ピエゾ式超音波は電歪素子で発生した超音波をカップリング材で被検査材に伝搬するのに対し、EMAT式超音波は磁界と渦電流によるローレンツ力で被検査材の表面に超音波を発生するため、下記のような利点が得られる。

- ・カップリング材を必要としない。
- ・超音波が被検査材の表面で発生するため、材料表面状態（温度、酸化スケール等）の影響を受けにくい。

このような利点を生かした応用例が、今までのピエゾ式超音波では実用が困難だった分野に導入され始めた。EMAT式超音波の具体的応用例を3件下記紹介する。

1. 連続鋳造ラインのスラブ凝固点検出

縦波と横波を発生するセンサーで、スラブ内部の未凝固部分を検出する。横波は未凝固部分で吸収され、通過した縦波の信号のみが確認される。未凝固部分がなくなると、縦波と横波の信号が確認される。未凝固部分の凝固部分と未凝固部分の比率は、縦波と横波の音速の違いにより、未凝固部分の厚さ推定が可能となる（図2参照）。この使用例で問題となるのは、設備の据付け場所とセンサーの冷却方式である。連鋳設備は構造が複雑で

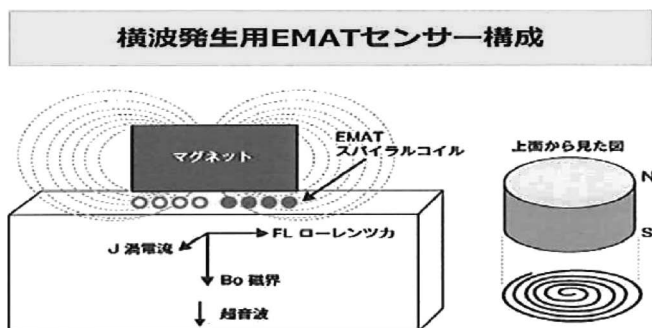


図 1 電磁超音波の発生原理

製鉄所毎に仕様が異なるため、連铸設備毎での検討、設計が必要となる。センサーの冷却に関しては具体策が開発されているが、センサーとスラブ表面のリフトオフ値（隙間の距離）を考慮した対策が提案されている。採取された凝固点のデータは冷却装置並びに連続低減装置に送られ、スラブの品質改善に使用される。

2. スラブ表面並びにコーナー部探傷

凝固したスラブは一定長さに切断され表面並びに内部検査を行い、表面部はスカーフィング設備で表面処理を行い、次の圧延工程に搬送される。この工程では浸透探傷、磁粉探傷、レーザー、渦電流、超音波等が検査手法として開発されているが、表面温度並びに状態により確立された検査方式は見当たらない。最近ではこの分野でもEMAT方式による表面並びにコーナー部検査が目立っており、開発が進んでいる

図3にスラブの主な欠陥の種類とその発生位置を示す。海外の鉄鋼メーカーの調査では、スラブ

の表面並びにコーナー部の欠陥を除去すると、最終製品の厚板の欠陥を大幅に減らすことが出来る旨報告されている。

スラブ材の表面並びにコーナー部の欠陥検出を行い、取り除くことができれば、スカーフィング装置の大幅な削減が可能となり、またスカーフィング装置によるスラブ材の量的削減を最小限にすることが可能となる。このような観点から、EMAT方式によるスラブ表面並びにコーナー部探傷を採用する鉄鋼メーカーが出現し、スラブ製造プロセスにおける新たな品質向上並びにコスト削減手法として、関心を集めている。当社ではEMAT方式のスラブ探傷用センサーは表面、端部並びに内面を含めて図4のような配置を行っている。

3. 厚板熱間探傷

今まで厚板の探傷は精製ラインで常温材を対象に行ってきたが、製造プロセスの高速化並びに材料情報一元管理のために、より早い段階でのオンライン検査が検討されている。従来のピエゾ式

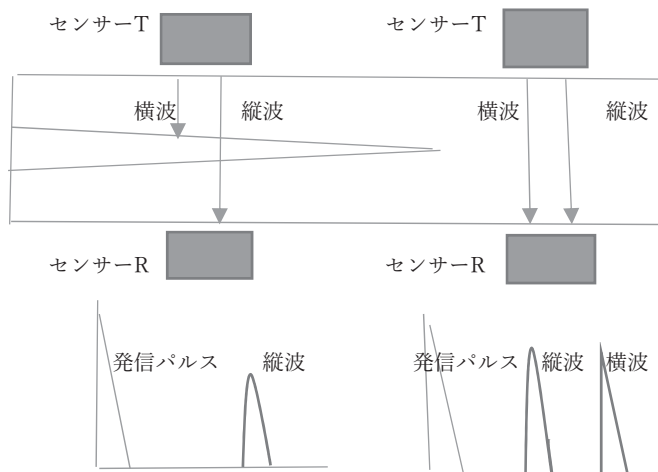
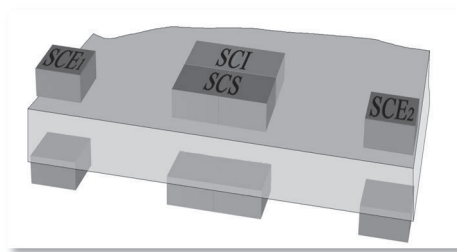


図 2 スラブ凝固点検出システム



図 3 スラブ材の主要欠陥



センサーの構成

SCE1,SCE2: 端部探傷用

SC1:内部探傷用

SCS:表面探傷用

図 4 スラブ探傷用センサーの構成

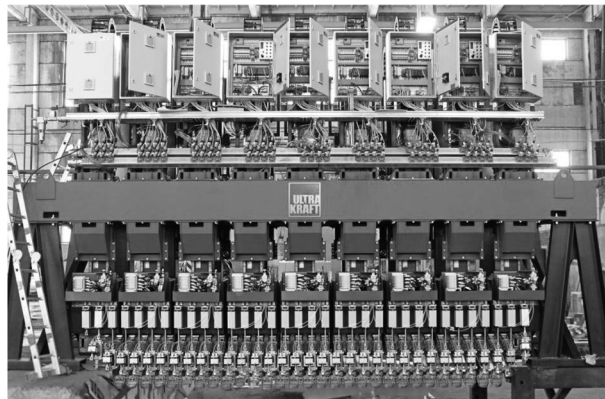


図 5 厚板用熱間探傷装置

USTではカップリング材として水を使用するため、材料表面温度並びに検査速度に制限があり、オンラインでの探傷は実用化されなかったが、EMAT方式が実用化されたため、熱間で高速の探傷が可能となり、情報を採取し鋼片製造ラインへ供給することが可能となった。これにより、鋼片材料の品質向上を実現でき、製造ライン全体の製造コストを大幅に削減できるものと思われる。図5に示すULTRAKRAFT社製設備は、表面温度700度、速度2m毎秒で検査可能である。本機は厚板ラインの最大幅を基準に設計されており、検査する厚板の幅により必要なセンサー数を自動的に選定し検査材の表面に下降させ、エア浮上方式で厚板内部の探傷を行う。センサーは端部を探傷するセンサーが両側端部に、それ以外の中心部を探傷するセンサーが二列に配置された構成となっている。この二つのセンサーグループは検査材の搬送位置並びに傾きをセンサーで検知し、追従する機能を有している。EMAT方式に加えて、漏洩磁束方式並びに特殊なEMAT方式による表面並びに表層部

の探傷システムを、内部探傷システムの前後に追加することが出来る。この追加により検査材の表面並びに内面探傷を行い、より高い品質の製品を供給可能となる。

非破壊検査は今まで最終製品を検査し、品質保証のための手法として開発、実用化されてきた。しかしながら、最終製品の品質はスラブを起点とする素材の品質並びに製造プロセス全体の制御に大きく依存しており、最終製品の情報を製造プロセスにフィードバックし、製造プロセス全体の品質管理を実現する必要がある。現在の非破壊検査は、単独の探傷設備としてその機能を向上することも重要であるが、さらに必要とされているのは、製造ラインの各ポイントにおけるデータ収集システムで、その製造プロセスのすべての設備と接続されリアルタイムベースの情報授受機能を持つ重要なシステムである。このため、当社はロシアULTRAKRAFT社と共同で非破壊検査の技術開発並びに一層安定したシステムを供給できるよう尽力している。

4. 表面検査システムの基本原理と最新技術

ア メ テ ッ ク (株) オダ き さとし
サーフェスビジョン事業部 鈴木 聡

まえがき

特殊鋼を含む鉄鋼・非鉄金属の鋼板の表面検査技術について、その基本原理と最新技術をアメテック社の表面検査システム「SmartView」をもとに紹介させていただく。アメテック社の表面検査事業は、1990年に当時レーザー方式が主流であった表面検査に対し、新しいCCDカメラによる表面検査の手法を開発したことに始まる。1996年からコグネックス社の表面検査システムとして世界の鉄鋼・非鉄金属業界において幅広く事業展開し、2016年7月にコグネックス社が事業譲渡し、アメテック社の表面検査システムとして実績を積み重ねている。

近年の表面検査システムは、デジタル・カメラや画像処理の技術進歩を背景に進化してきたとも言えるが、表面検査技術において最も重要なのは光学的な側面であり、また、それを活かすための検査システムの設計思想やソフトウェア・アルゴリズムである。

◇ 表面検査システムの基本構成

表面検査システムは大きく、①カメラ、②照明、③画像処理部、④データ処理部（サーバー）により構成される（図1）。

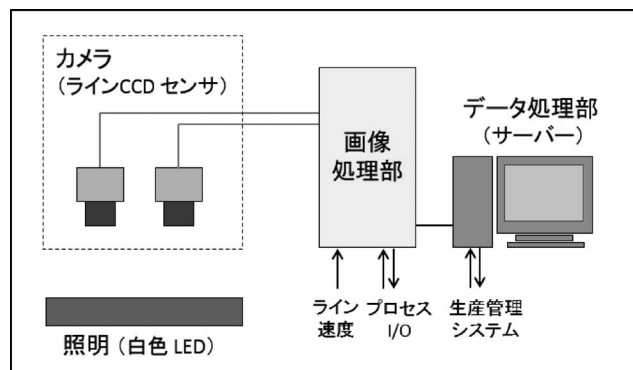


図 1 表面検査システムの基本構成

①カメラ

対象物が連続プロセスであるためライン・カメラ（CCDまたはCMOS）を採用し、高速スキャンにより鋼板の画像を取り込む。ライン・カメラのメリットは（エリア・カメラに対して）、高分解能の画像を取り込めることのほか、板の全長に渡って一定の光学系（カメラと照明の位置関係）で撮像できるため、コイル全体を同じ基準で検査できることにある。

②照明

現在は、ライン型の白色LEDが主流となっている。かつては、光ファイバー照明や蛍光灯が多く用いられた。これらは現在でも特定の検査アプリケーションにおいては導入されることもあるが、ここ数年のLEDの高照度化や低廉化により、ほとんどのケースでLED照明が導入されている。

③画像処理部

ライン・カメラで捉えた連続画像をメモリーし、検査アルゴリズム（詳細は後述）により、疵の画像およびデータを取得する。連続で生成されるコイル画像は、ライン速度のパルス信号と同期をとっているため、ライン速度が変化しても画像に歪みができることもなく、また検査基準も変わることがない。

④データ処理部（サーバー）

画像処理部より送られてきた画像データや情報はサーバーによって統合され、検査結果をファイルにしたりデータベース化したりする。生産管理システムやプロコンなどとのインターフェースを行い、端末に対してユーザー・インターフェースを提供する。

◇ 光学系

表面検査において最も重要なポイントの1つが光学設計である。光学設計とは、「カメラの種類や台数」、「照明の種類」や「カメラと照明の位置関係」を決めることであ

る。これらは、板の材質（表面性）と検出すべき疵（種類と大きさ）との関係から導き出されるものであり、通常はラボでのサンプルテスト結果に基づいて設計を行う（図2）。

一般的には、光学系の第一の選択肢として「正反射（BF: Bright Field）」を用いることが多い。正反射だけで検査要求が満たされればよいが、そうでない場合はもう1つの光学系として、「乱反射（DF: Dark Field）」を追加する。「正反射」だけでは検出できない疵を「乱反射」を使って検出するこ

とに加えて、疵の判定精度が必要な場合に、「正反射」「乱反射」両方の豊富な疵画像情報を用いて疵分類することで、疵の判定精度が格段に向上する。

◇ 疵検出アルゴリズム

表面検査の疵検出アルゴリズムは、①信号補正、②二値化（しきい値）、③疵種判定（画像による疵分類）の大きく3つのステップがある（図3）。

①信号補正

カメラからの画像信号には、電気的なノイズ、

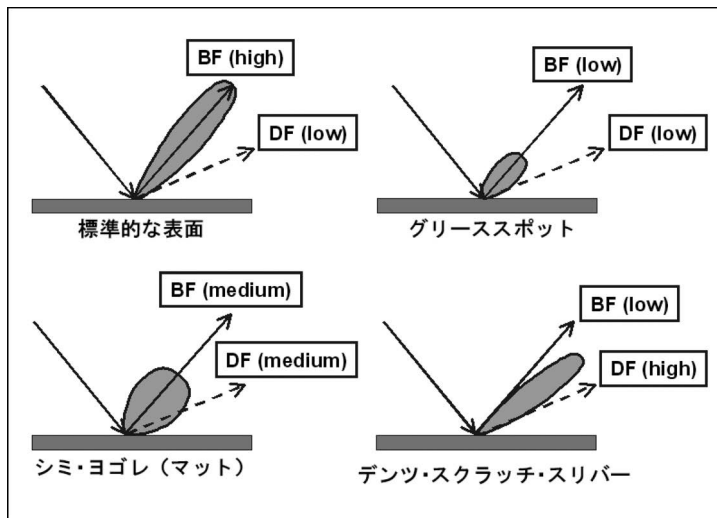


図 2 光学系設計のポイント（疵による反射の違い）

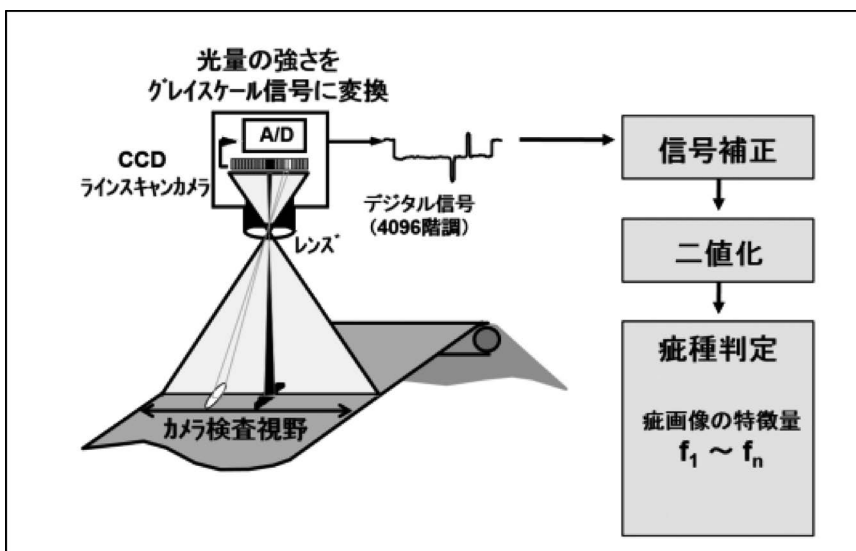


図 3 基本的な検出アルゴリズム

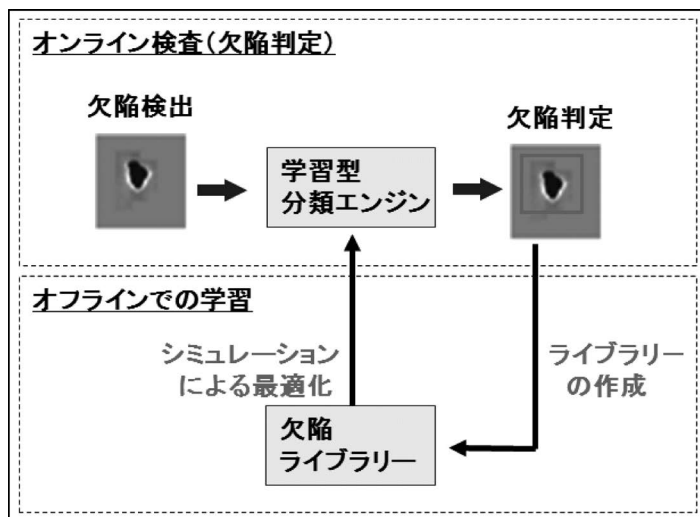


図 4 学習型の疵種判定ロジック

レンズによる歪み、照明の照度のバラツキ、板の地合など、さまざまな外乱要因があり、検出処理を行う前にこれらの要素をできるだけ排除した信号を生成することが、検査精度を向上させる上で非常に重要である。当社の表面検査システムでは、幅方向・流れ方向ともに正規化を行い、これらは検査中にも動的に機能している。

②二値化（しきい値）

正規化された256階調の画像情報から「疵の候補」を検出するために、グレイスケール（濃淡）に基づき二値化（しきい値）処理を行う。さまざまな種類の疵を検出するため、二値化の手法は複数用意されており、これらは並列処理することができる。

③疵種判定（画像による疵分類）

「疵の候補」の中から無害欠陥をフィルターし、疵の重要度や疵種名で分類を行う。分類に使用できる疵画像の特徴量は、当社の検査システムの場合、「長さ」「幅」「面積」などのサイズにかかわるものや、「明」「暗」のピーク値・平均値・%など濃淡にかかわるものなど、100種類以上に及ぶ。この中からいくつかの最適な特徴量（パラメータ）の範囲を設定し、精度の高い疵分類を行う。

◇ 学習型の疵種判定ロジック

これまで表面検査における基本原理を説明してきたが、表面検査の最大のテーマの1つは常に

「いかに精度よく疵種判定できるか」にあり、最新技術においては「学習型の疵種判定ロジック」により、精度を向上させる試みが行われている。

当社の最新の疵種判定ロジックは、ユーザーが表面検査システムの検査結果を確認して欠陥ライブラリーを作成し、そのライブラリー・データを使ってシミュレーションを行い、最適な疵種判定ロジックを作成するというものである。検査結果をフィードバックし、欠陥ライブラリーが充実すれば判定精度も向上していくことから、「学習型」と呼んでいる（図4）。

また、シミュレーションに使われる「分類エンジン（判定手法）」には、①決定木（Decision Tree）、②サポート・ベクター・マシーン（Support Vector Machine）、③統計的手法（Statistical）などが用いられ、これまでマニュアルで特徴量（パラメータ）の範囲設定を行っていたときと比較すると、簡単な手順で設定を行うことができ、判定精度も飛躍的に向上している。

むすび

表面検査技術は近年、デジタル・カメラやLEDの技術進歩とともに発達してきたが、今後も光学・画像処理技術のさらなる発展とともに、精度が高くユーザーフレンドリーな検査システムの開発が期待される。メーカーとして、その一端を担えるよう貢献したいと考えている。

II. 各特殊鋼製品の評価試験とその適用

1. 構造用鋼

愛知製鋼(株) 技術本部 うえにし たけ ゆき
技術開発部 第1開発室 上西 健之

まえがき

自動車のエンジン・駆動伝達部品に多く適用される機械構造用鋼は、焼入焼もどしや表面硬化処理といった熱処理品質・加工品質が高度に要求され、部品に要求される様々な機能評価が実施される。

本稿では、自動車用の歯車・クランクシャフト・コンロッド用鋼を取り上げ、その要求特性と評価方法について紹介する。

◇ 歯車用鋼

1. 要求特性

歯車に要求される強度特性は、図1に示すように大きく歯面強度と歯元強度に大別される。歯面の損傷は、摩耗や歯面の微小ピット（剥離）から損傷が広がるピッチング、歯面から一定の深さで亀裂が進展し剥離に至るケースクラッシュが代表的な損傷である。歯元折損に対しては、 $10^2 \sim 10^3$ 回強度である低サイクル疲労強度、 10^7 回以上強度

の高サイクル疲労強度、および高い応力が高い歪み速度で加わることで損傷にいたる衝撃強度が要求される。

2. 内質評価

それぞれの強度に対し、要求される内質特性および強度評価方法を表1に示す。歯車の内質特性を確保するためには、鋼材化学成分・焼入性と熱処理条件を適切に選択・管理することが重要となる。

機械構造用鋼が適用される歯車は、表層に高い耐摩耗性や疲労強度を付与するため高硬度とし、内部を表層に比べ硬さを低くし靱性を確保するため、表面硬化処理が多く施される。歯車の表面硬化熱処理として多く実施される浸炭、窒化および高周波焼入処理の硬さ分布の例を図2に示す。歯車の損傷に応じ必要な表面硬さ、硬化深さおよび内部硬さを得るため表面硬化熱処理が適宜選択され、評価が行われる。

上記表面硬化熱処理後の硬さ分布に加え、焼入れ後の不完全焼入組織や結晶粒の粗大化といったマイクロ組織不良の有無が歯車の機能上重要となる。

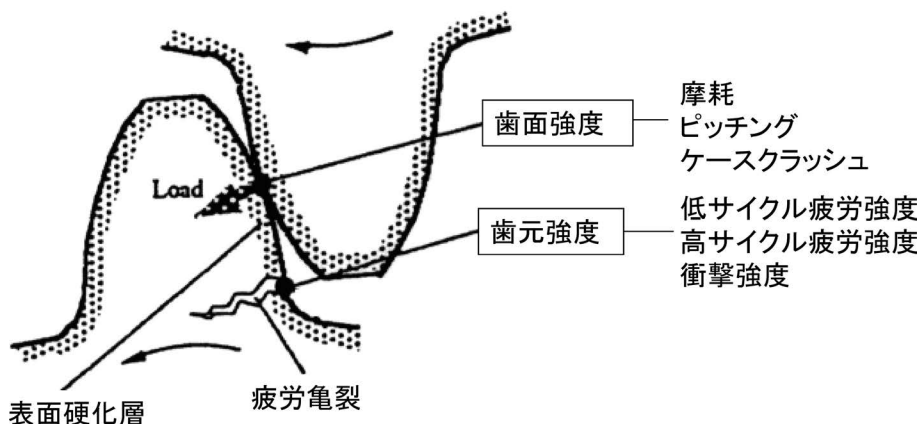


図 1 歯車に求められる強度

表 1 歯車の内質特性と強度評価

			歯面			歯元		
			摩耗	ピッチング	ケースクラッシュ	高サイクル	低サイクル	衝撃
内質	硬さ	表面	○	○	○	○	○	○
		深さ			○		○	○
		内部			○		○	○
	マイクロ組織	表層	○	○	○		○	○
		内部			○		○	○
	表面残留圧縮応力			○		○		
	表面粗さ		○	○		△		
強度評価	代用	摩擦摩耗試験	ローラピッチング試験		回転曲げ疲労試験	3点・4点曲げ疲労試験	シャルピー衝撃試験	
	実部品	共振型歯車試験、回転型歯車試験						

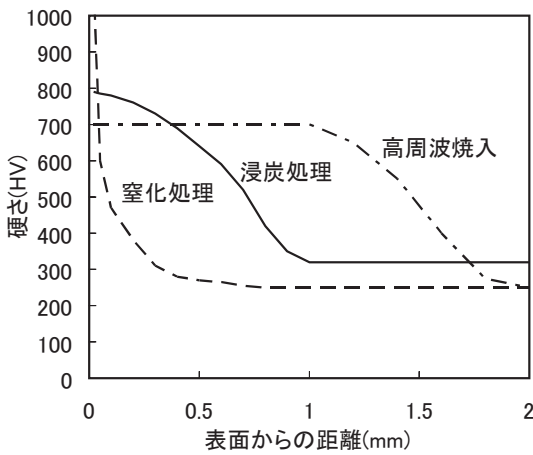


図 2 浸炭・窒化処理品の硬さ分布

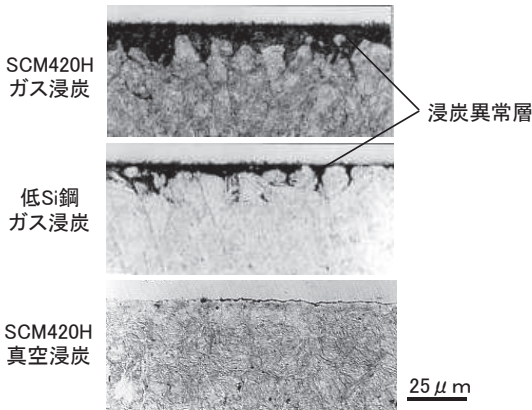


写真 1 浸炭表層のマイクロ組織

ガス浸炭処理後のマイクロ組織の一例として、浸炭異常層の例を写真 1 に示す。この浸炭異常層は、破壊の起点となりやすく、また硬さが低いため強度低下要因となる。この低減方策として、鋼材の

低Si化や減圧下（無酸化）雰囲気処理が施される真空浸炭処理の適用が行われている。

歯面・歯元の表面に圧縮応力を付与することは、表面起点の損傷である歯面のピッチングや歯元の高サイクル疲労強度の向上に有効である。表面硬化熱処理によりある程度の表面残留圧縮応力も付与されるが、より高い圧縮応力を付与するためにショットピーニングの適用等が行われている。

歯面粗さの悪化は耐摩耗性やピッチング強度へ影響するため、一般的には低めに管理される。歯面加工後の加工目やショットピーニング後のショット面が製品品質となるため、製造条件管理される。

3. 強度評価

歯車用鋼の強度試験には、鋼材・熱処理による基本特性をテストピースにより評価する代用試験と、実際の歯車を用いて特性を評価する実部品評価がある。

代用試験は、歯車に要求される強度に対応し、

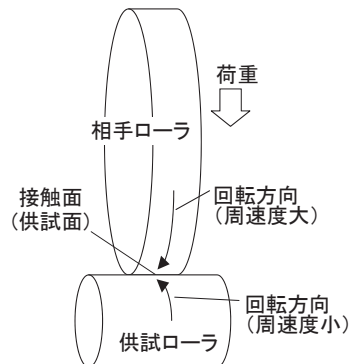


図 3 ローラピッチング試験の概要

摩擦摩耗試験、ローラピッチング試験、回転曲げ疲労試験（両振り）、3点曲げ疲労試験（片振り）、シャルピー衝撃試験などが行われる（表1）。歯面のピッチング強度評価として多く用いられるローラピッチング試験の概要を図3に示す。2円筒の試験片を周速度を変化させることで接触面に「すべり」を与えながら負荷荷重をかけ、接触面に剥離が生じるまでの耐久時間や剥離が生じない耐久面圧を評価する試験である。

歯車の実部品（単体）評価としては、歯車を噛み合せ負荷をかけた状態で共振させる共振型試験と、実際に歯車を回転させ供試する回転型試験がある。共振型試験は回転型に比べ簡易的な試験機で評価が可能であるが、歯面強度の評価には不適である。回転型歯車試験機は、動力循環式と動力吸収式とに大別される¹⁾。

◇ クランクシャフト・コンロッド用鋼

1. 要求特性

クランクシャフト・コネクティングロッド（以下コンロッド）は、エンジン内の爆発によるピストンの往復運動を、コンロッドを介しクランクシャフトが回転運動へ変換する役割を担う。クランクシャフト、コンロッドに要求される機能について、それぞれ図4、図5に示す。

クランクシャフトは、シリンダ内のガス燃焼による荷重とピストン・コンロッドの慣性荷重が繰り返し加わるため、疲労強度が要求される。また、クランクが回転する際、ブロックやコンロッドと接する摺動部にて金属接触が起こると焼付きが発生する

ため、摺動部にはすべり軸受が取り付けられ、エンジンオイルを潤滑し油膜を形成させることで焼付きを防止している。

コンロッドは、クランクシャフトと同様に、シリンダ内のガス燃焼による荷重とピストンの慣性荷重が繰り返し負荷されるため、コラム部にはそれに耐え得る座屈強度と疲労強度が要求される。

2. 内質評価

それぞれの部品の必要機能に対し、要求される内質特性および強度評価方法を表2に示す。

クランクシャフトの応力が集中するR部にはロール加工、もしくは、高周波焼入れが施され（図6）、強化されている。高周波焼入れでは、狙いの疲労強度を確保するため、高周波焼入れ部の硬さや焼入れ範囲が規定されている。耐焼付き性が要求される摺動部は油膜の形成のため、摺動部には表面粗さ、真円度、真直度、表面硬さ等が規定されている。

コラム部は、R部分への応力集中により疲労破

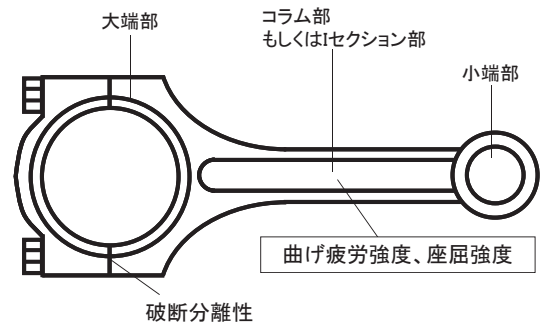


図 5 コンロッドに求められる特性

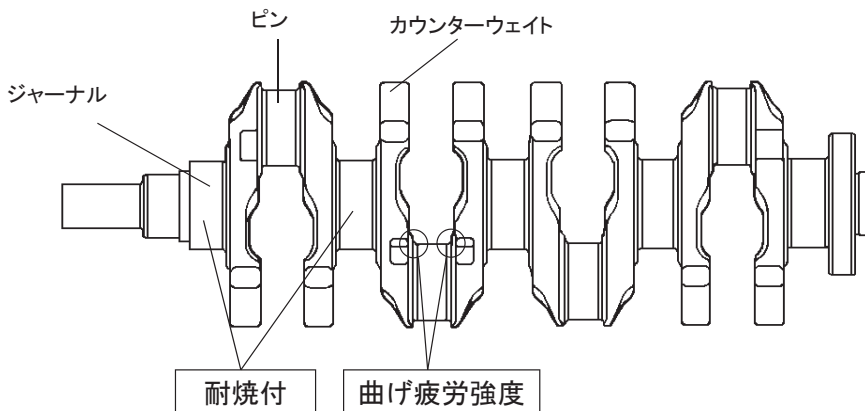


図 4 クランクシャフトに求められる特性

表 2 クランク・コンロッドの内質特性と強度評価

			クランクシャフト		コンロッド	
			疲労強度	耐焼付	疲労強度	座屈強度
内質	硬さ	表面	○	○	○	
		深さ	○			
		内部	○		○	○
	マイクロ組織	表層	○	○	○	
		内部	○		○	○
	表面残留圧縮応力		○		○	
	表面粗さ		○	○	○	
強度評価	代用	回転曲げ疲労試験		回転曲げ疲労試験	引張・圧縮試験	
	実部品	単体疲労試験				

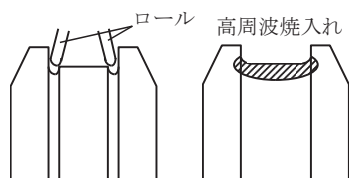


図 6 クランクシャフトのR部への加工・熱処理

壊しやすい部位であるが、鍛造肌で使用されるため、疲労強度への影響が大きい因子（硬さ、脱炭、ショットピーニングによる圧縮残留応力など）がバラツキやすく、疲労強度のバラツキが大きい。よって、これらの因子を管理する必要がある。

コンロッドの座屈強度は、コラム部の圧縮応力に対する弾性変形限界であるため、材料の0.2%耐力と相関があり、0.2%耐力を保証するため、硬さ規格が設けられている。

近年では、コスト低減のため大端部を破断分離（Fracture Splitting）する工法が増えている。この工法では、破断後の破面の密着性や真円度の確保が重要であり、言い換えれば脆性破壊させる必要があるため、鋼材の特性としては低靱性が求められる。

3. 強度評価

クランクシャフト、コンロッドにおいても、基本特性をテストピースにより評価する代用試験と、実際の部品を用いて評価する単体試験がある。

代用試験では、部品に要求される強度に対応し、回転曲げ疲労試験、引張試験、圧縮試験などが行われる。前述のように、コンロッドの座屈強度は0.2%耐力と相関があるが、引張試験であっても圧縮試験であっても、理論的に0.2%耐力には差がないため、いずれかで評価が行われる。

クランクシャフトの単体疲労試験には、ジャーナル部を固定しピン部に荷重を負荷する方法²⁾や、C/Wに重りを付け共振させる方法がある。

コンロッドの単体疲労試験では、大端部と小端部を固定し、引張圧縮の荷重を負荷する方法が一般的である²⁾。また、実際のコンロッドを用いて座屈試験を行うこともある³⁾。

むすび

機械構造用鋼が適用される自動車の歯車、クランクシャフトおよびコンロッドは、自動車の基本性能の中心的役割を担う重要部品である。これらの部品の機能向上へのニーズは非常に高く、これに伴う評価技術の開発も永続的に進められていくと考える。

参考文献

- 1) 実用新案第2593071号
- 2) 天孝篤志 他, Honda R&D technical review, 14-1 (2002)、141
- 3) 衛藤洋仁 他, 圧力技術, 41 (2003)、11

2. ばね鋼

三菱製鋼(株) やま おか たく や
技術開発センター 山岡拓也

まえがき

以前にもご紹介しましたが、材料は応力を加えると変形(ひずみ)を生じます。この応力を取り除くと元の状態に戻る性質があります。これを弾性と言います。ばねはこの弾性という特性を利用したもので、衝撃吸収・緩和のため自動車や建設機械、各種産業機械などに幅広く使用されています。ここでは鉄鋼材料としてのばねを取り上げ、ばね鋼に求められる要求特性とその評価試験法について、できるだけ分かりやすく紹介します。ばね製品には極めて多くの種類が存在しますが、代表例として自動車や建設機械で使用される熱間コイルばねを念頭において記載します。

◇ 求められる特性と評価試験法

ばね鋼に求められる特性として、焼入性、脱炭、機械的性質、疲労特性、耐へたり性などがあげられます。また近年の高応力化に伴い、耐食性、耐遅れ破壊性がよりクローズアップされてきています。もちろん寸法精度や表面きずなどの表面品位、偏析や非金属 inclusion などの内部品位といった非常に重要なものも存在しますが、ばね鋼の評価試験という観点から、今回これらの項目は説明から除外いたします。

1. 焼入性

(1) 特性

熱間成形ばねは焼入れ・焼戻しの熱処理を施して使用されます。焼入れ・焼戻しの熱処理はばねの弾性限を上昇させ、材料の強さ、ひいては疲れ強さを向上させます。ただし製品の機能を発揮させるためには十分な焼入れを行う必要があります。焼入れ処理では中心まで十分に焼入れ、非常に硬いマルテンサイト組織を得て、このままではもろいこの組織を焼戻し処理することで、強度、延性の調整を行います。ここで焼入性が重要になってくるのです。ばね製品の径に応じた焼入れ性を有

する材料(鋼種)を選択する必要があります。太い径の製品に低い焼入性の材料を使用すると、焼入れの際にマルテンサイト組織以外の組織を含む混合組織となり、焼戻し後に同一硬さとした場合でも、延性、靱性が劣る結果となります。一方過度に高い焼入性の材料を使用すれば焼割れの危険性が増します。ばね製品の径を考慮した鋼種選択が重要となります。通常ばね鋼では焼入れ時、中心部の組織が50%以上のマルテンサイト組織となるよう鋼種選択されますが、高応力化指向からさらに高いマルテンサイト量が求められてきています。

(2) 評価試験法

焼入性は、一端焼入法によって測定し、評価されます。広くジョミニ試験と呼ばれる試験法で、「JIS G 0561鋼の焼入性試験方法(一端焼入方法)」で規定されています。特殊鋼誌2016年3月号に内容を解説してありますので参考として下さい。

図1~3に、ばね鋼の成分系別の焼入性規格(Hバンド)を示します¹⁾。鋼種により焼入性が大きく異なり、鋼種選定の重要性が理解できるかと思えます。

2. 機械的性質

(1) 特性

一般的に「強さ」と「ねばさ」はトレードオフの関係にあり、強いものは脆く、ねばいものは弱い状

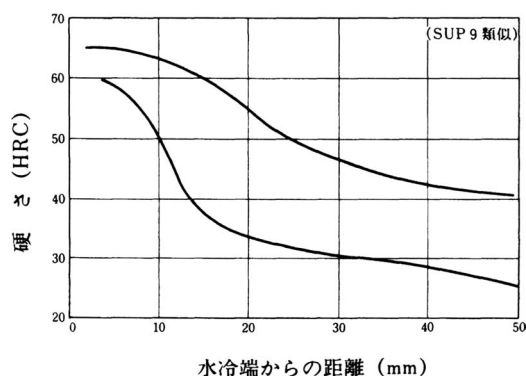


図 1 Mn-Crばね鋼のHバンド

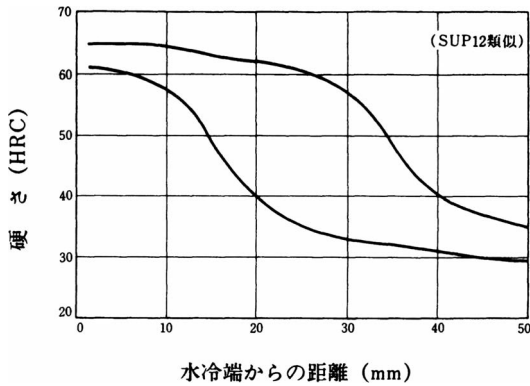


図 2 Si-Crばね鋼のHバンド

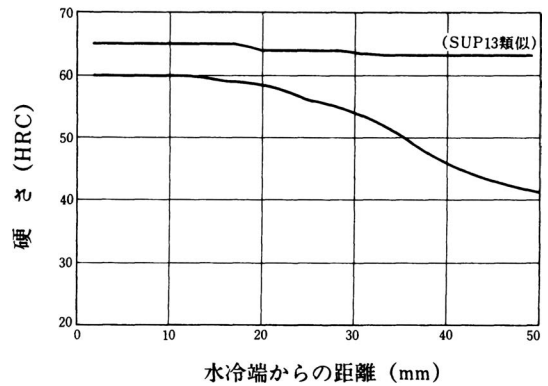


図 3 Cr-Moばね鋼のHバンド

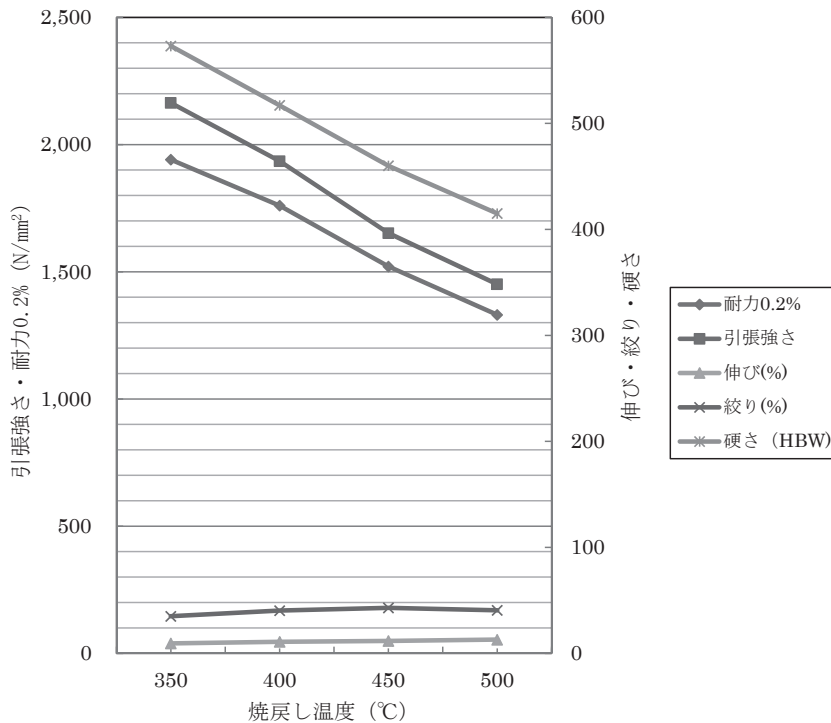


図 4 焼戻し性能曲線 (SUP12)

態にあります。ばね製品に限らず、鋼材は変形や破壊が発生しない範囲で使用されるため、材料の強度、延性、靱性等の機械的性質を把握して使用することは必要不可欠と言えます。「強さ」と「ねばさ」の双方を考慮した材料設計が大切となります。

(2) 評価試験法

機械的性質の評価試験として、一般的に引張試験、衝撃試験があげられます。引張試験では、万能試験機で降伏点、引張強さ、伸び、絞り、硬さ

を測定し、衝撃試験では、シャルピー試験機等でその破断に要するエネルギーを測定します。

鋼の機械的性質は熱処理の際、焼戻し温度により大きく変化します。焼戻し温度による強度、延性の変化を現したグラフを焼戻し性能曲線と呼び、ばね設計応力の目安となり、焼戻し温度選定に役立つ貴重なデータとなります。図4に自動車用懸架ばねとして一般的な鋼種SUP12での焼戻し性能曲線の例を示します。軽量・高応力化が進み、高

硬さ側での使用が指向されつつあります。

焼戻し軟化抵抗に効果のある元素を添加することにより、焼戻し温度が高く取れ、後述する疲労限度向上効果にも寄与します。

3. 脱炭

(1) 特性

熱間で成形されるばね製品では、鋼中の炭素が雰囲気中の酸素などと反応して表面層の炭素濃度が低下する脱炭に注意が必要です。脱炭が生じた部分は、焼入れ時に所定の硬さが得られず、材料硬さの低下により強度、疲労特性を低下させます。局所的な脱炭であっても、材料は最も脆弱な部分が破壊の起点となるため、疲労特性が重要とされるばねでは、脱炭を厳しく管理する必要があります。フェライト単独組織となるフェライト脱炭には特に注意が必要で、“フェライト脱炭なきこと”と厳しく規定されます。

(2) 評価試験法

脱炭層深さの測定方法は、「JIS G 0558鋼の脱炭層深さ測定方法」で規定されています。こちらも特殊鋼誌2016年3月号に内容解説がありますので、参考として下さい。

4. 疲労特性

(1) 特性

材料に繰り返し応力を作用させると、降伏点よりも低い強度で破壊するという現象が生じ、これを疲労と言います。疲労による破壊には以下の特

徴があります。

- ・作用する応力が静的強度以下でも生じる。
- ・外見上、ほとんど変形を伴わずに進行し、ある日突然破壊する。
- ・作用応力が高いほど、破壊までの繰り返し数（時間）が短い。
- ・ある作用応力以下になると破壊を起こさなくなる。

実際に金属疲労による重大な事故も発生しています。動的な繰り返し荷重を受けるばねには、高い疲労特性、信頼性が求められ、重要な特性と言えます。

硬さと疲労限度には相関関係があり、ある範囲内までは硬さの増加に伴って疲労限度も直線的に増加していきますが、ある程度の硬さに達すると疲労限度は飽和し、さらに硬さが増すと逆に急激に低下します。ショットピーニングによる圧縮の残留応力付与は、亀裂伝播を抑制し疲労強度を大幅に高める効果があります。

(2) 評価試験法

疲労特性の評価法として、試験片、試験方法を決め、一定の振幅応力を繰り返し与え、その応力の大小と破壊までの繰り返し数を測定する試験が行われます。材料の疲労特性は、作用する応力（Stress）と破壊までの繰り返し数（Number）の関係であるS-N曲線で現わされます。図5にS-N曲線の例を示します。ある応力以下では破壊を起らない限界の応力を疲労限度と呼び、通常その繰

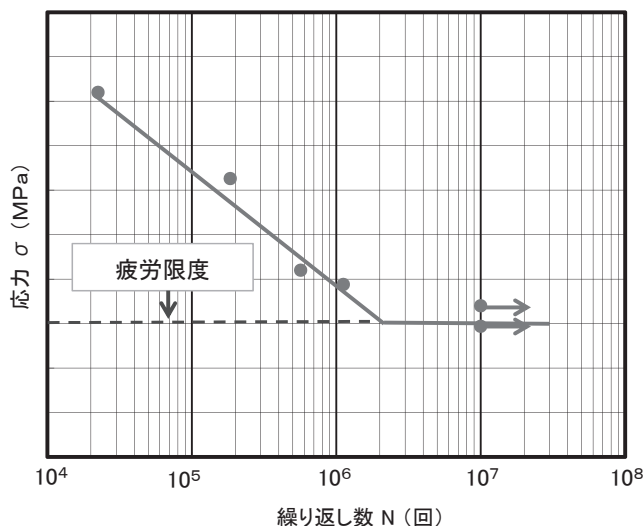


図 5 S-N曲線

り返し数は、 10^7 サイクルとなります。

5. 耐へたり性

(1) 特性

弾性限以下の応力でもひずみを繰り返し与えられたり、長時間ひずみが作用したりすると元の状態に戻らない塑性変形が生じることがあります。これをへたりといいます。ばねの反発力が時間の経過に伴って低下する現象で、自動車の懸架ばねの場合、車高が下がり安全上の問題が発生します。耐へたり性は、ばねにとって重要な性能になります。耐へたり性を向上させるためには、降伏点を上げる高硬度化や結晶粒微細化、あるいは固溶強化の手段が取られます。Siはフェライトの強度を向上させ、耐へたり性を向上する元素として知られています。その他Cr、Mo、Vなどの元素も耐へたり性改善に効果があります。

(2) 評価試験法

懸架ばねでは、指定荷重や指定ばね高さとなるように締め付けを行い、恒温槽の中で指定の温度で一定時間保持後、ばねの高さの変化量を測定する方法が取られます。変化量の少ないものが耐へたり性が良いとされます。

6. 耐食性、耐遅れ破壊性

(1) 特性

前述の疲労特性、耐へたり性を向上させるため高強度化を指向すると、腐食環境での特性劣化につながります。自動車用懸架ばねにおいては、寒冷地における融雪剤散布の影響などで環境負荷がますます高まっています。強度の高い材料は腐食環境により敏感で、遅れ破壊など水素脆性の危険性が増します。疲労特性、耐へたり性を向上し、耐腐食性も考慮したばねが求められています。

自動車にとってCO₂排出量削減、燃費向上等のため、軽量化は絶え間なく取り組まれている重要事項です。JISに規定されたばね鋼以外に、より高強度のばね鋼が各社で開発されています。基本となる化学成分を調整し、耐食性を向上させる合金元素を添加しています。

(2) 評価試験法

耐食性評価のため、腐食試験が行われます。実

際の状況を模したものが望ましいですが、複雑で困難なため単純化した条件が設定され、実際よりも腐食速度を早くした加速試験で評価します。塩水噴霧試験、海水浸漬試験、応力腐食割れ（SCC: Stress Corrosion Cracking）試験、腐食疲労試験などが行われます。代表的な塩水噴霧試験は、「JIS Z 2371塩水噴霧試験方法」として規定されています。

耐遅れ破壊性評価では、試験片に水素チャージをさせながら、あるいは水素チャージをした後に引張破断応力を測定する試験法が行われています。試験片の拡散性水素、非拡散性水素の測定・評価も行われます。

ばねの高応力化に伴い、これら腐食試験、遅れ破壊試験の重要性が増しています。しかしながら、その評価法は自動車メーカーによって異なり、統一した方法は確立されていない状態です。

むすび

ばね鋼に求められる特性には、構造用鋼に求められるものと同じ一般的な材料特性はもちろんのこと、ばね製品独自に求められる特性があり、今回代表的なものを紹介しました。

その多くを目にする機会の多い自動車用懸架ばねを主体に記載しています。しかしながらばねは、我々がその存在に気付くよりはるかに広い範囲で使用されています。鉄鋼材料のみならず、非鉄金属ばね（銅合金、ニッケル合金、チタン合金等）や非金属ばね（ゴム、セラミック、樹脂、流体等）も存在します。一例をあげれば、地震国日本にあっては、制振、免震装置は極めて重要で、これはばねの特性を利用したものになります。

心地良い状態では気付かず、あってはなりません。不具合（折損、変形）や災害発生で重要性が認識されるような皮肉な存在でもあります。それだけ日常生活に浸透している製品と言え、今後ますます活躍が期待されましよう。

参考文献

- 1) (一社) 特殊鋼倶楽部：特殊鋼ガイド初級（2013）、P96、97

3. 軸受鋼

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター ひらつか ゆうすけ
軸受・構造用鋼グループ 平塚 悠輔

まえがき

軸受には高荷重・摺動に耐えるための十分な硬さおよび耐摩耗性が要求されるため、その特性を満足する鋼種として高炭素クロム軸受鋼をズブ焼入れして使用するのが一般的であり、その他に肌焼鋼 (SCr、SCM等) を浸炭焼入れ・焼戻しを行って使用されることもある。軸受鋼の特性として特に重要となるのは、軸受製品にした時の寿命である。そして、寿命に影響する特に重要な品質として鋼材中の非金属介在物 (例を図1に示す) の存在頻度と分布の度合い (鋼材の清浄度) が挙げられる。

軸受の主な破損形態は、軌道面の一部が欠けて剥がれ落ちる「はく離」と呼ばれる現象である。

表1に軸受の転動疲労によるはく離機構とその対策のまとめを示す。これらのはく離の原因は、ボール等の転動体と軌道輪との間にかかる局所的な高い繰り返し応力による転動疲労に起因したものであるが、その機構は使用環境・条件に応じて種々変化する。

ここでは、軸受の基本的な破損モードである非金属介在物起点型によるはく離について説明を行い、軸受鋼における清浄度の重要性について示す。その後、鋼材の清浄度評価の方法、さらに寿命評価試験について概説する。

◇ 非金属介在物起点型はく離について

図2に内部非金属介在物起点型はく離の推定モデルを示す¹⁾。軸受のはく離は、繰り返し応力に

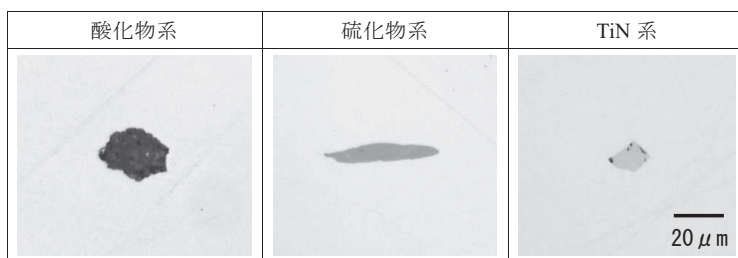


図 1 鋼材中の非金属介在物の一例 (光学顕微鏡・研磨ままで撮影)

表 1 転動疲労によるはく離機構とその対策

起点位置	疲労機構		代表的な使用環境	材料面からの対策
内部起点 (表面直下)	非金属介在物起点型		あらゆる環境で起こり得る 特に、潤滑油が清浄で油膜が十分に形成される環境での主要な剥離機構	鋼材の高清浄度化
	組織変化型	DEC、WEC (WB) 型	高接触応力、高温環境で発生し易い	焼戻し軟化抵抗の上昇 (高合金化、浸炭窒化の適用等)
		WEA型	水素侵入環境、もしくは振動・衝撃・曲げ応力環境で発生し易い	高合金鋼化による水素拡散係数の減少、炭化物等によるトラップサイトの増加
表面起点	非金属介在物起点型		あらゆる環境で起こり得る	鋼材の高清浄度化
	不良潤滑型	異物混入型	異物が潤滑油中に混入して摩耗や圧痕が生成した場合に発生する	表面硬さの上昇と残留オーステナイト量の増加
		金属接触型	軸受の仕上げ精度が上げられない、もしくは低粘度潤滑油を使用する場合等、滑りを伴う環境で発生する	金属接触時の軟化抵抗の上昇 (高合金化、浸炭窒化の適用等)

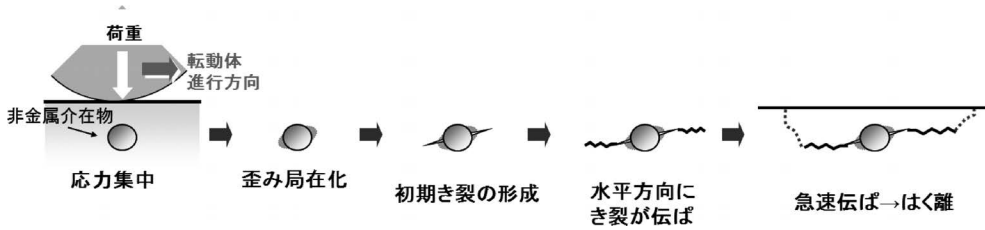


図 2 内部非金属介在物起点型はく離の推定モデル¹⁾

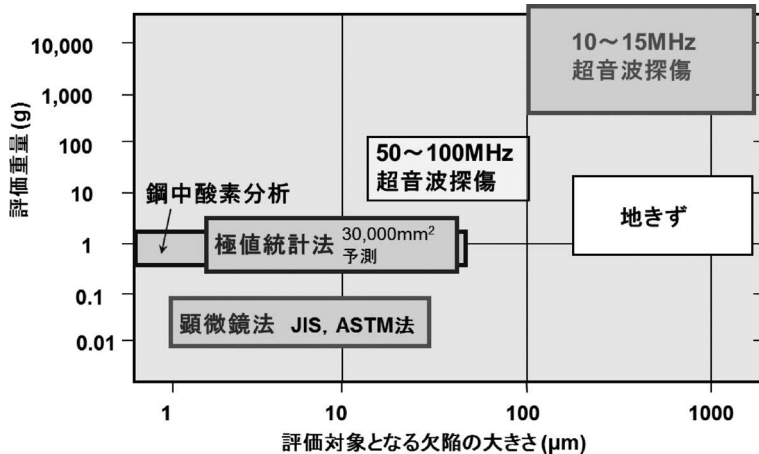


図 3 各種評価方法における評価対象の欠陥の大きさおよび評価重量

よるものと考えられるのが一般的であり、その最大せん断応力は、最表面ではなく表面直下の内部にピークが存在する。その近傍に非金属介在物が存在すると応力集中源となり、き裂の生成・伝ばが起り最終的にはく離に至るのがこのタイプである。シールされたベアリングのように異物が混入せず、良好な潤滑環境が維持されている場合での主要なはく離要因である。対策は言うまでもなく、応力集中源となる非金属介在物の低減、すなわち鋼材の高清浄度化である。

◇ 鋼の清浄度評価について

上記機構の通り軸受の主要なはく離機構には、鋼中の非金属介在物が関係しており、軸受鋼の機能向上には高清浄度化が不可欠であるが、同時に鋼の清浄度を正確に評価する方法が必要となる。本項では鋼の一般的な清浄度評価方法を概説する。清浄度の評価方法の例として、図3に各手法における評価対象となる欠陥の大きさと評価重量との関係を示す。

1. 鋼中酸素分析

従来より、鋼の非金属介在物の低減には、酸化物系介在物の総量を低減することが重要との考え方から、鋼中酸素の低減に取り組まれてきた。図4に、過去数十年間の鋼中酸素低減による軸受鋼(SUJ2)の転動疲労寿命の変遷を示す²⁾。種々の設備導入や精錬技術の向上により鋼中酸素量は低減し、それに伴い軸受の転動疲労寿命が向上していることが分かる。このように、鋼材の清浄度レベルを知る上で、酸素値の分析は簡便かつ重要な指標と言える。

2. 顕微鏡法

顕微鏡法とは鋼材を光学顕微鏡等によって観察し、非金属介在物の大きさ・分布を測定する方法である。代表的なものとして、ASTM E45法やJIS G0555などに規定される非金属介在物評価方法が挙げられる。顕微鏡法の利点として、比較的狭い検査面積の中にも認められるような数～数十 μm オーダーの小さな非金属介在物を簡便に評価できる、介在物の種類(氧化物、硫化物、窒化物)・形

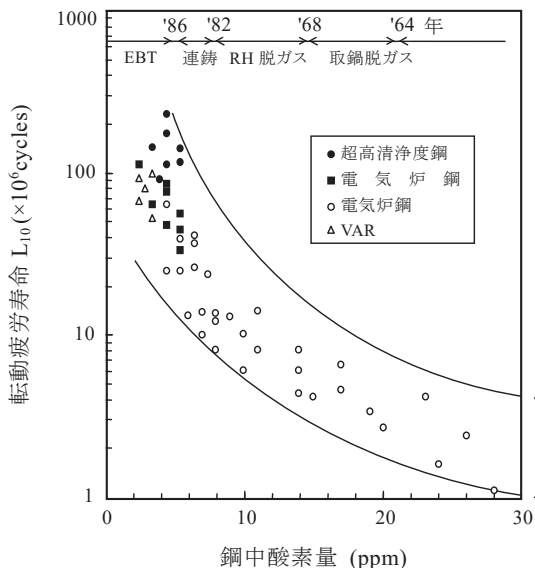


図 4 鋼中酸素量と転動疲労寿命の関係²⁾
(寿命はスラスト型転動疲労試験による)

状の情報が得られる、などがある。一方、不利な点として、評価面積が小さいために、存在頻度の低い大型非金属介在物の評価が困難であることが挙げられる。また、近年の精錬技術の進歩によって鋼の清浄度は著しく向上してきた中で、上記方法では清浄度の差別化が困難になってきていると同時に得られた非金属介在物の指標と疲労寿命との相関が得られない課題があった。

上記課題を克服するために、非金属介在物の数、大きさ、分布に着目した評価方法が用いられている。その1つとして極値統計法を用いた評価が提案されている³⁾。極値統計法は、非金属介在物の粒径分布に着目して、ある基準面積中で最大の非金属介在物径を繰り返し採取して極値統計処理することにより、より大きな面積中に存在する非金属介在物の最大径を推定する方法であり、顕微鏡法との組み合わせで用いられることが多い。極値統計法で求められる予測最大非金属介在物径は、疲労寿命との相関が得られていることから⁴⁾、有力な検査指標と言える。

3. 超音波探傷法

超音波探傷法は、超音波を用いて非破壊的に鋼材内部の非金属介在物評価を行うものである。超音波探傷試験による非金属介在物評価はASTM E588やSEP1927に代表されるような規格化された

方法や、各社で開発された方法などで実施されている。一般的には数~100MHzの周波数の超音波が検査する探傷領域、対象とする欠陥(介在物)の大きさによって使い分けられている。例えば10~15MHzの超音波を用いると、100 μ m程度以上の非金属介在物を数kg単位で評価できる。一方、50MHz以上の超音波を使用すると、検査重量は数十gと小さくなるが、数十 μ mの欠陥を検出することが可能となる。

◇ 転動疲労寿命試験について

軸受鋼特有の試験に転動疲労寿命試験がある。この試験に用いる試験機には、スラスト型、リング型、ニードル型、ピボット型などがあるが、主に用いられているのはスラスト型である。ここでは転動疲労寿命の評価方法として比較的簡便なスラスト型転動疲労試験を用いた寿命評価について解説する。

スラスト型転動疲労試験機の模式図を図5に示す⁴⁾。円盤状の試験片を用い、3球もしくは6球のボールを介して、荷重を掛けながら回転させることにより、転走面に転動疲労を与える機構である。はく離が生じると振動が大きくなり、振動計がそれを読み取り、はく離までの回転数が分かる。試験片の仕上げが十分行われており、潤滑が正常であるならば、基本的に試験片は非金属介在物起点型のはく離に至る。ただし、同一ヒートの鋼材でも起点となる非金属介在物の存在確率によっては試験片の寿命がばらつくため、一般的には繰り

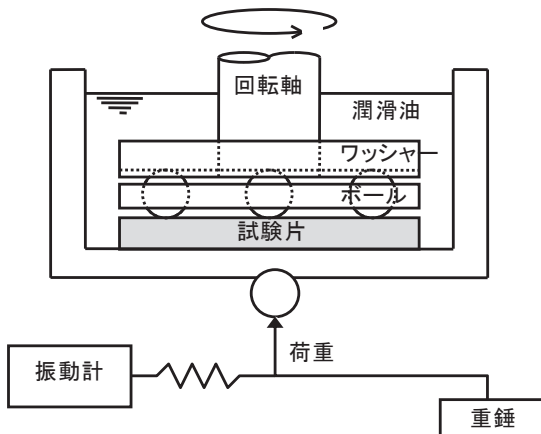


図 5 スラスト型転動疲労試験機の模式図⁴⁾

返し試験を行い、その結果を対数確率紙の横軸にはく離発生までの回転数、縦軸に累積破損確率をプロットし（ワイブルプロット）、その図より試験材料の転動疲労寿命を求める。例えば、破損確率10%の寿命（ L_{10} ）もしくは、破損確率50%の寿命（ L_{50} ）で材料間の比較を行う。

むすび

近年の軸受は、高面圧下、高回転下、高温下といったより過酷な環境で使用されることが多くなってきている。そのため、非金属介在物起点のはく離のみならず、組織変化型や表面起点型のは

く離の問題がより顕在化し、それを抑制するようなニーズが増えてきている。今後は材料の高清浄度化を基本とし、さらにこれらのニーズに対応できる新たな鋼種開発や評価方法の高度化が望まれる。

参考文献

- 1) 常陰典正、橋本和弥、藤松威史、平岡和彦：Sanyo Technical Report、18 (2011)、23
- 2) 瀬戸浩蔵：軸受用鋼、日本鉄鋼協会、(1999)、38
- 3) 村上敬宜、鳥山寿之：鉄と鋼、79 (1993)、1380
- 4) 長尾実佐樹、平岡和彦、雲丹亀泰和：Sanyo Technical Report、12 (2005)、38



4. 工具鋼

◇ 冷間工具鋼SKD11の寸法変化

冷間工具鋼SKD11を使用した金型や治工具で注意すべき寸法変化には、製作時の熱処理における寸法変化と使用時の経年寸法変化があります。

図1にSKD11の熱処理寸法変化を焼戻し温度との関係で示します。SKD11の熱処理は、通常1030℃で焼入れを行い、その後所定の温度で2回の焼戻しを行います。熱処理前に試験片の寸法を測定し、焼入れ・焼戻し後に再度寸法を測定して、式(1)のように変寸率を計算しました。

$$\text{変寸率(\%)} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 L_0 : 熱処理前寸法、 L_1 : 熱処理後寸法。
焼入れ時には、内部組織がオーステナイトからマルテンサイトに変態することにより、膨張の寸法変化となります。次に、焼戻しの段階では、まず含有されている炭素が炭化物として析出してくることにより収縮しますが、より高温での焼戻しの際は焼入れの時に残留していたオーステナイトが分解してマルテンサイトに変態するため膨張が生じます。通

常、焼戻しは使用目的によって180℃程度の低温焼戻しと、500℃程度の高温焼戻しのどちらかが選択されます。高温焼戻しを施す場合は焼戻し温度により硬さも変化するため、必要な硬さと変寸率から適切な焼戻し温度を選択する必要があります。

なお、元素材の長さ方向(圧延方向)と幅方向では熱処理による変寸率が異なり、長さ方向に伸びる傾向があるので、元素材からの材料採取時には方向性に注意が必要です。

図2にSKD11の熱処理後の経年寸法変化の推移を示します。経年寸法変化は、熱処理後の内部組織中に残留しているオーステナイトが時間を経て少しずつマルテンサイトに变化し膨張することにより生じます。焼入れ後の残留オーステナイトを少なくするには、ドライアイス(-79℃)、または液体窒素(-196℃)でサブゼロ処理を施すことが有効です。高温焼戻しを施すと残留オーステナイト量は減少しますが、更に減少させるにはより高い温度で焼戻しを行ったり、焼戻し処理を繰り返すことが有効ですが、そのような処理をすることにより硬さは低くなります。

このような処置を施してもまだ残留している

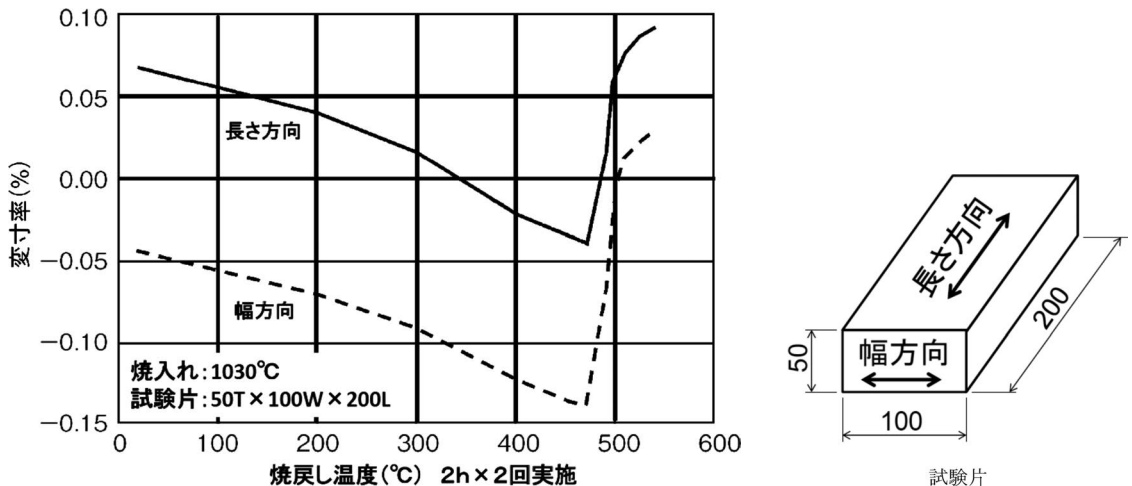


図 1 SKD11の熱処理変寸

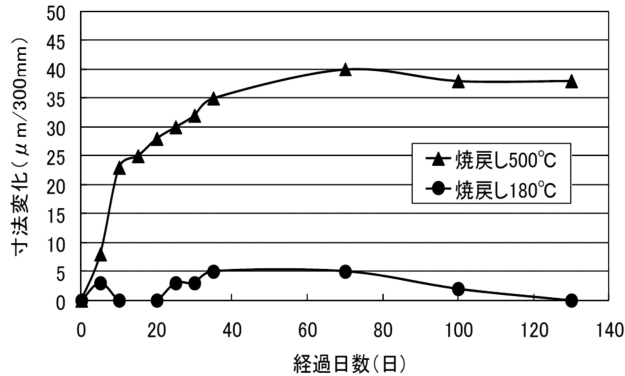


図 2 SKD11の経年寸法変化

オーステナイトを変態し難くし、経年寸法変化を少なくするためには、高温焼戻しの後に安定化処理と呼ばれる追加の焼戻し処理（300～400℃）を施すことも行われています。

なお、その後の製作工程や使用中に高温にさらされない場合には、180℃程度の低温焼戻しを採用すれば、ある程度のオーステナイトが残留していても室温付近では安定な状態であるため、経年寸法変化は一般の高温焼戻しの場合より少なくなります。

◇ 抗折力

抗折力は、冷間工具鋼や高速度鋼など高硬度の工具鋼の靱性を比較するために使われる指標です。図3に示すように、抗折試験は3点曲げ試験を行い、試験片の破断荷重を測定します。試験片が丸棒である場合、式（2）で計算した応力 σ を抗折力としています。

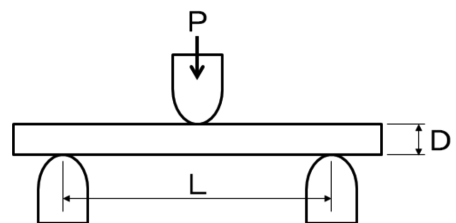


図 3 抗折試験方法

$$\text{抗折力 } \sigma = \frac{8PL}{\pi D^3} \quad (2)$$

ここでP：破断荷重、L：支点間距離、D：試験片の直径。

図4に色々な鋼種の抗折力と硬さとの関係を示します。抗折力は硬さとの関係において凸状の曲線となります。ある適切な硬さのとき最大の抗折力が得られ、これより硬さを下げても抗折力は向

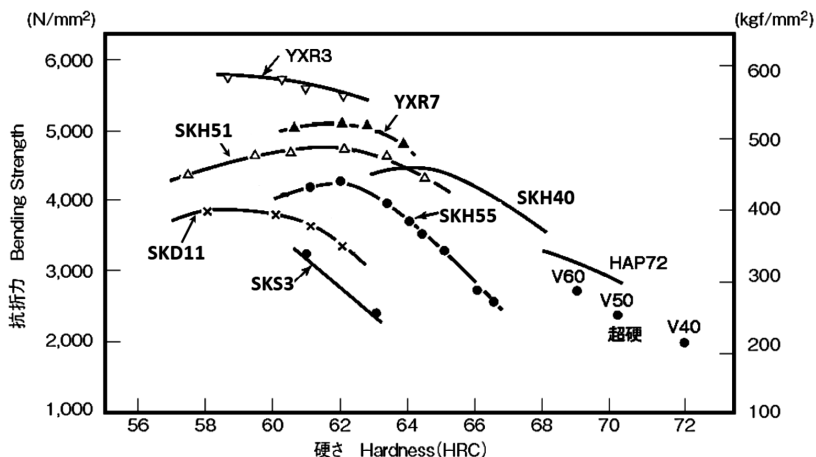


図 4 工具鋼の抗折力

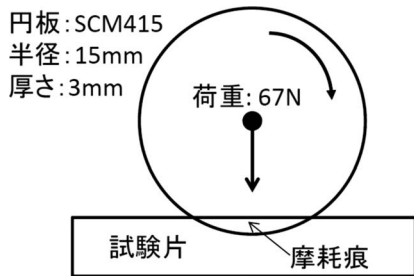
上しません。一般的な高速度鋼SKH51に比べ、マトリックス・ハイスYXR3やYXR7は高い抗折力を示します。また、より高い硬さ領域で使用される粉末高速度鋼SKH40やHAP72は、溶製高速度鋼SKH55や超硬より高い抗折力を示します。

◇ 耐摩耗性

工具材料にとって耐摩耗性は非常に重要な特性であり、工具が適切に使用されていれば摩耗によって寿命に至りますが、摩耗は相手材、潤滑方法、荷重、摩擦速度などにより大きく変化します。工具鋼の耐摩耗性の相対的な評価方法として大越式摩耗試験があります。図5に大越式摩耗試験の構成と試験条件の一例を示します。相手材となる円板を試験片に押し付けて回転させ摩耗痕の大きさを測定し、式(3)で比摩耗量Wsを計算します。

$$\text{比摩耗量 } W_s = \frac{Bb^3}{8rPL} \quad (3)$$

ここで、B：円板の厚さ、b：摩耗痕の長さ、r：



摩擦距離：400m，摩擦速度：0.76m/s

図 5 大越式摩耗試験

鋼種	硬さ (HRC)	比摩耗量(mm ³ /N・mm) (×10 ⁻⁷)		
		0.05	0.10	0.15
SKS93	60	[Bar chart showing low wear]		
SKS3	60	[Bar chart showing low wear]		
SKD11	60	[Bar chart showing low wear]		
SKH51	65.5	[Bar chart showing low wear]		
SKH55	66	[Bar chart showing low wear]		
YXR3	59	[Bar chart showing low wear]		
YXR7	65	[Bar chart showing low wear]		
SKH40	67	[Bar chart showing low wear]		

図 6 工具鋼の大越式摩耗試験結果

円板の半径、P：荷重、L：摩擦距離。

図6に各種工具鋼を大越式摩耗試験で比摩耗量を測定した結果を示します。摩耗量の少ないほど耐摩耗性が良いことになります。耐摩耗性については硬さの影響もありますが、内部組織中に含まれる炭化物の種類、量、粒度、分布の影響が大きく、炭化物量が多く、特に各種の合金元素が添加され高硬度の合金炭化物が含まれている工具鋼ほど耐摩耗性が高くなります。結果として、低合金の工具鋼SKS93、SKS3などに比べて合金工具鋼SKD11の比摩耗量は少なくなり、高速度鋼SKH51では更に比摩耗量が減少します。耐割れ性を重視して炭化物量を少なくしたマトリックス・ハイスYXR7、YXR3などでは、比較的硬さは高いものの比摩耗量がやや多くなります。粉末高速度鋼SKH40では、炭化物量も多く、また特殊合金炭化物の効果により比摩耗量が減少します。

◇ 熱間工具鋼の高温強度と軟化抵抗

図7に熱間工具鋼SKD61、SKD7、およびマトリックス・ハイスYXR33を各種の試験温度で引張試験を行うことにより測定した高温強度（引張強さ）を示します。試験温度が高くなるほど高温強度は低下しますが、500℃以上の高温では特に大きく低下します。SKD61を硬さを変えて試験した場合、初期硬さ（熱処理硬さ）が高いほど高温でも高強度を維持しますが、600℃を超える試験温度では初期硬さによる高温強度の差は小さくなり、SKD61の硬さを上げるよりSKD7などの鋼種を選択の方が高い高温強度が得られます。

なお、高温での引張試験では、保持時間や引張速度によって焼鈍しを受ける時間が長くなると、測定される高温強度は低下します。そのため、試験によって強度にばらつきが生じないようにJIS G0567「鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験方法」に従って試験を行い、高温強度を比較する必要があります。

また、熱間工具鋼を一定時間500℃以上の温度に保持した後、室温に戻してから硬さを測定しても、初期硬さにはならず硬さが低下しています。これは熱によって内部組織が変化したためであり、熱処理における焼戻しと同じ現象です。これには、焼戻し軟化抵抗の理論が適用できます。

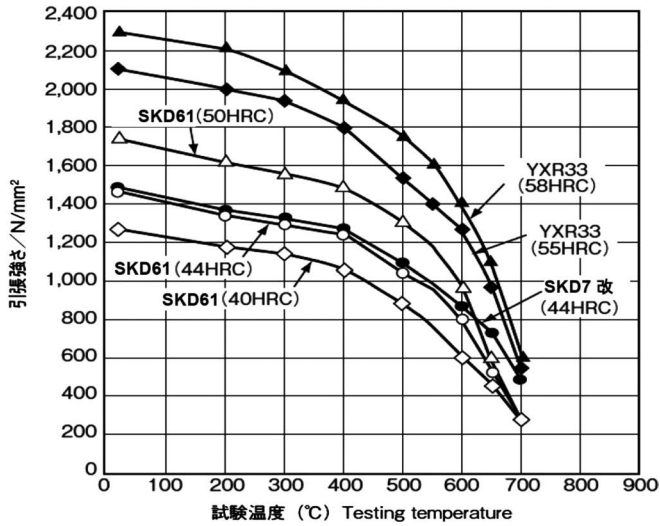


図 7 引張試験で測定した高温強度

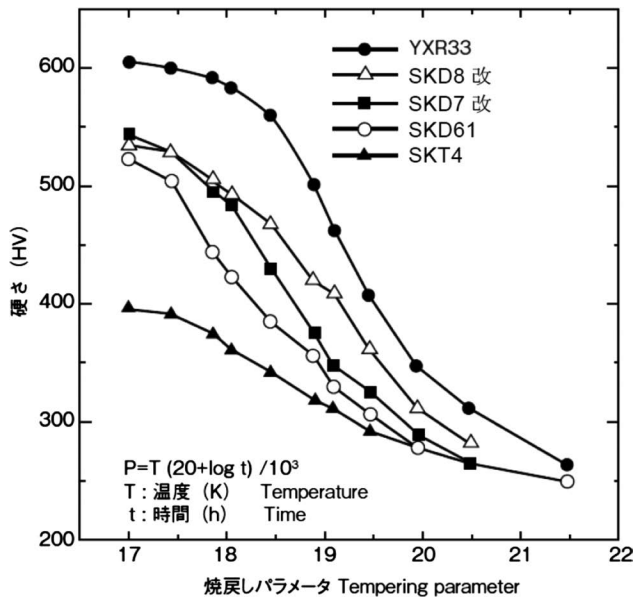


図 8 焼戻しパラメータで整理した硬さの変化

図8に示すように、熱軟化に及ぼす温度と時間の影響は、式(4)の焼戻しパラメータPで整理することができます。

$$\text{焼戻しパラメータ } P = T(C + \log t) / 10^3 \quad (4)$$

ここで、T：温度 (K)、t：焼戻し保持時間 (h)、C：定数。

Cは炭素量に関する定数で、熱間工具鋼では通常20とします。

焼戻しパラメータPは熱間用金型などにおける

鋼種選択の指標となります。使用する温度と時間により焼戻しパラメータPが大きくなっても硬さが低下しにくい鋼種が軟化抵抗の高い鋼種といえます。熱間鍛造金型などにおいて、表面が高温にさらされて硬さが低下するような現象が生じますが、このような硬さ変化も焼戻しパラメータPを用いて説明することができます。

注) 「YXR」、「HAP」は日立金属(株)の登録商標です。

5. 耐熱鋼

大同特殊鋼(株) 倉田 征 児
 特殊鋼ソリューション部

まえがき

耐熱鋼は自動車の内燃機関や発電プラントなどを始めとした各種の高温環境下で使用されている。自動車においては燃費改善、熱効率向上の観点から排ガス温度の高温化が進んでおり、排気バルブやターボ関連部品に使用される材料にも、より高い耐熱性が求められるようになってきている。耐熱部品の寿命や性能を管理、設計するために、高温環境下での材料特性を正確に把握することは重要である。

本稿では耐熱鋼の各種の高温特性の試験、評価方法について概説する。

◇ 高温回転曲げ疲労試験

ガソリンエンジンのバルブは吸気、圧縮、爆発、排気の燃焼工程中に、自由回転しながらバルブシートへの着座が繰り返される。その際、燃焼時の付着生成物（デポジット）がバルブフェースもしくはシート側に付着すると、着座時にバルブ首下部で曲げの応力が発生する。自由回転しながら曲げ応力が働くため、高温の排ガス環境下で回転曲げ疲労強度が高いことが排気バルブの要求特性の一つとなっている。

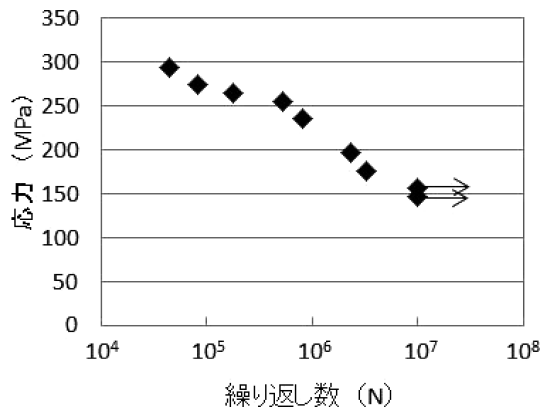


図 1 SUH35 (ST, AG) の800℃でのS-N線図

耐熱鋼の高温での回転曲げ疲労強度を測定する場合、小野式回転曲げ疲労試験機の試験片とチャッキング部を覆うように加熱炉を設置し、大気雰囲気中の高温加熱下で疲労試験が行われる。試験温度は室温～900℃程度が一般的である。図1にSUH35の800℃での疲労試験結果例を示す。高温での疲労試験の場合でも、室温での試験の場合と同じく10⁷回の疲労限強度で評価されることが一般的である。

◇ 熱疲労試験 (円盤型)

エンジンの排気系周りを始めとして、高温に晒される部品では、エンジンの始動、停止の度に加熱/冷却が繰り返される。それに伴う膨張と収縮によって繰り返し応力が発生するため、熱疲労に対する強度も重要な要求特性となる。特にエキマニ、ターボ、触媒といった、締結部で拘束された状態で加熱/冷却が繰り返される部品では繰り返し応力が大きくなりやすく、熱疲労特性が重要と

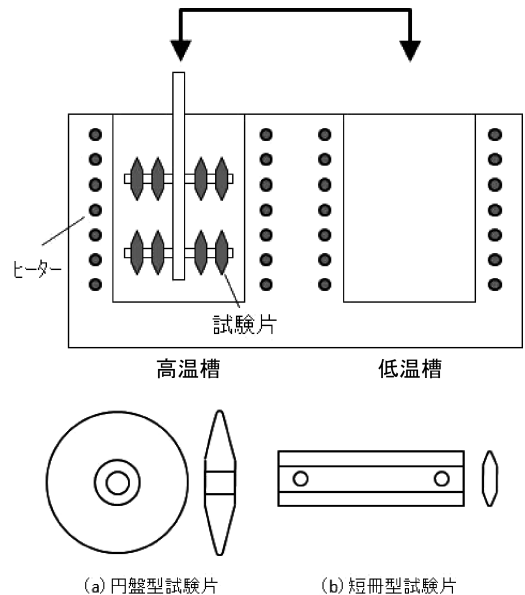


図 2 熱疲労試験機の概要と試験片形状

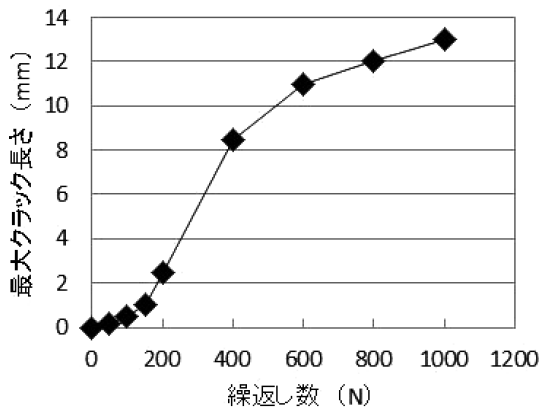


図 3 熱疲労試験結果の一例

なる場合がある。熱疲労強度を測定する方法はいくつかあるが、そのうちのひとつとして、JISではJIS Z2278-1992「金属材料の熱疲労試験方法」に評価方法が規定されている。図2に試験装置の概要と試験片形状を示す。

高温槽、低温槽の交互に浸漬して保持を繰り返す際に、試験片の内部と外部で温度差が生じる。その温度差から生じる膨張量、収縮量の違いによって試験片表層に引張応力が発生し、加熱、冷却を繰り返すことで疲労破壊が進行する。規定の繰返し数毎に試験片外周部に生じた最大クラック長さを測定することで評価を行う。図3に試験結果の一例を示す。最大クラック長さの他に、合計クラック長さやクラック発生本数での評価も行う場合もある。

◇酸化試験（連続、繰り返し）

高温に晒される部品では耐酸化性は重要な要求特性となる。自動車部品ではエンジンの始動、停止に伴って加熱、冷却のサイクルが繰り返されるため、通常連続酸化試験に加えて繰り返し酸化試験によっても耐酸化性が評価される。繰返し酸化ではスケールと合金との間で応力が発生し、連続酸化に比べて酸化スケールの剥離が多くなるため酸化増量が増加しやすい。

酸化試験についてはJIS Z 2281-1993に「金属材料の高温連続酸化試験方法」が、JIS Z 2282-1996に「金属材料の高温繰返し酸化試験方法」が規定されている。

連続酸化、繰返し酸化いずれも試験片は幅

20mm×長さ30mm×厚さ2mmのものをN=3以上用いる。加熱炉は加湿調整装置により一定の湿度に保たれた空気を連続的に供給して露点管理を行う。加熱炉に所定の時間装入し、試験前後の質量変化から酸化増量もしくは酸化減量を算出する。原則的な試験時間は連続酸化の場合は100時間、繰返し酸化の場合は加熱、冷却の1サイクル60分（加熱保持30分）を200サイクルである。

酸化増量の場合の算出方法は下記の通りである。

$$a = \frac{W_s + W_1 - W_0}{A_0}$$

ここに、

- a : 酸化増量 (g/m²)
- W_s : はく離スケール質量 (g)
- W₁ : 密着スケールを含む試験片質量 (g)
- W₀ : 試験前に測定した試験片質量 (g)
- A₀ : 試験片表面積 (m²)

酸化減量の場合の算出方法は下記の通りである。

$$b = \frac{W_1 - W_0}{A_0}$$

ここに、

- b : 酸化増量 (g/m²)
- W₁ : 密着スケールを含む試験片質量 (g)
- W₀ : 試験前に測定した試験片質量 (g)
- A₀ : 試験片表面積 (m²)

◇熱膨張係数測定

加熱、冷却での熱膨張による変位量を把握しておくことも必要である。熱疲労による寿命への影響や、部品間のクリアランスによる自動車の出力特性への影響など、熱膨張が影響する項目は多い。

JIS Z 2285-2003に「金属材料の線膨張係数の測定方法」が規定されており、全膨張式、示差膨張式、光捜査式の測定原理が記されている。例として図4に示差膨張式熱機械分析の測定原理を示す。基準試料 (Al₂O₃もしくは石英) と測定試料との熱膨張量の差を差動トランスで感知し、電気信号として取り出す仕組みである。

図5にSUH35の室温からの平均熱膨張係数の測定例を示す。

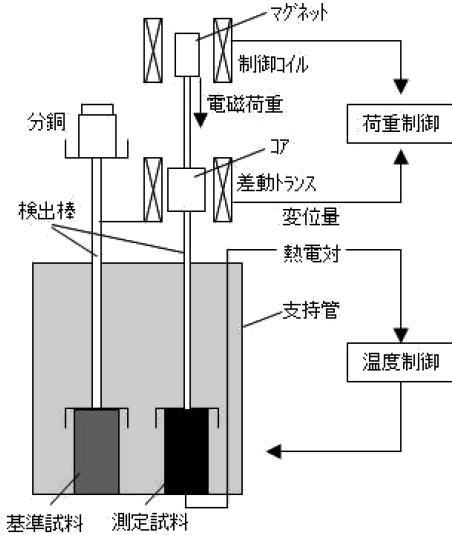


図 4 示唆熱膨張式熱機械分析の測定原理

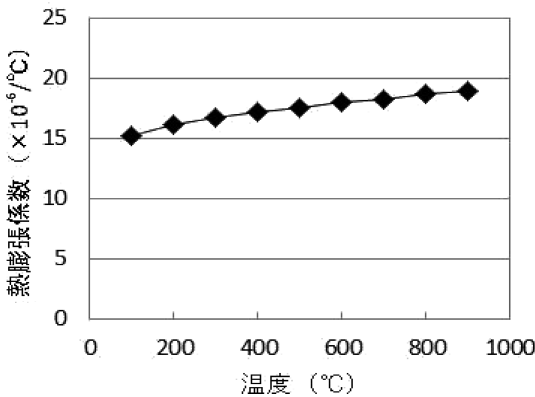


図 5 SUH35の熱膨張係数測定結果の一例

◇ リラクゼーション試験

ターボやエキマニ等の排気系部品は耐熱ボルトによって締結されている場合が多い。耐熱ボルトでは高温保持による締付トルクの減少を防ぐため

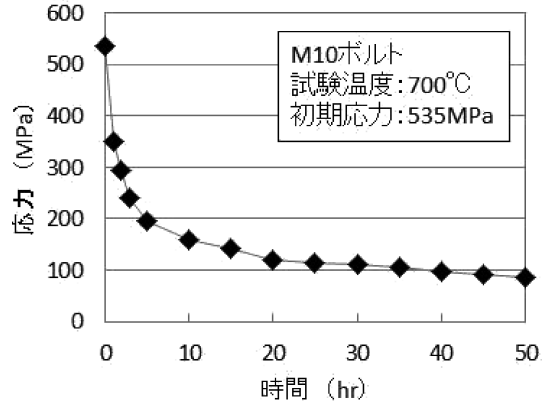


図 6 SUH660のM10ボルトでのリラクゼーション試験結果の一例

に、耐リラクゼーション特性が重要となる。

JIS Z 2276-2012に「金属材料の引張りリラクゼーション試験方法」が規定されている。試験片を加熱炉で規定された温度に保持しつつ、全ひずみを一定に保ちながら時間毎の初期の試験応力の変化を測定する。標準試験片が定められているが、標点距離の規定をクリアすればボルト実体品などの標準試験片以外の形状でも試験が可能である。図 6にSUH660のM10ボルトを試験片に使用してリラクゼーション試験を行った結果の一例を示す。

むすび

以上、高温特性を評価する試験方法について簡単に紹介した。自動車以外の様々な用途でも耐熱性を要求される機械部品は多く使われている。自動車以外の様々な用途では、前述に示した特性以外にもクリープ特性のような耐熱性を要求される機械部品も多く使われている。

ユーザーからの特殊鋼に対する耐熱性向上の要望は今後も強まっており、各種高温特性の評価方法も重要度を増していくものと思われる。

6. ステンレス鋼

日本冶金工業(株) よしだひろし
川崎製造所 品質保証部 吉田裕志

◇ ステンレス鋼に要求される特性

一般的にステンレス鋼に要求される特性は以下の三点になります。

- a. 耐食性
- b. 加工性（プレス成形などの加工が良好に行えること）
- c. 外観（綺麗な金属光沢で欠陥のない表面）

ステンレス鋼という名称からもわかるようにステンレス鋼の耐食性は常に求められるものですが、品質保証上明確に耐食性を保証するということは意外なことに例外的です。

ステンレスメーカーが発行するミルシートには、識別番号、鋼種名、形状、化学成分、機械的性質（引張試験値と硬さ）が記載されているだけで、耐食性についての具体的な値が記載されることはほとんどありません。

先の、「c. 外観」については数値で表現することがむずかしいためミルシートに記載が無いのは仕方ありませんが、「a. 耐食性」については様々な指標があるにも関わらずミルシートには表記されていないのです。

私がステンレスの品質保証に関わり始めて、この事実を知ったときには何故ステンレス鋼で耐食性を保証しないのだろうかと思いましたが、今では下記の理由によるものと理解しています。

- ・化学成分が適切で、適正な製造条件で製造されていれば、耐食性は自動的に確保される。
- ・メーカーから出荷される板、帯などの状態で耐食性を保証しても、加工を行ったり溶接をした後の最終的な耐食性を保証することにはならない（一般的に、加工や溶接によって耐食性は劣化するため）。

ミルシートでは、適正な製造条件で製造されているのかどうかを保証するために機械的性質が規格とされており、化学成分と機械的性質の合わせ

技によって耐食性が間接的に保証されているとみることができます。

ただし、耐食性を評価する試験方法としては種々の試験が考案され、規格になっていてますので主な評価方法を表1に示し、以下にその特長を説明します。

◇ 孔食電位 表1の①

塩水中に浸漬した試験片に電圧を印可して流れる電流を測定する試験です。このときに印可する電圧が腐食環境の「厳しさ」に相当しますので、低い電圧では電流が流れません（腐食しない）が、徐々に電圧を高くしていくと特定の電圧を境に急激に電流が流れ（腐食が進行し）始めます。このような腐食は孔（ピット）状をしているため、腐食が急激に進行し始める電圧を孔食電位と呼び、耐食性の指標にすることができます。SUS304の孔食電位は、JIS G 0577に準拠した測定でおおよそ300mV程度になります。孔食電位は最も基本的な耐食性の指標ですが、ステンレス鋼の仕様や保証値として使われることはほとんどありません。

◇ 臨界孔食発生温度（CPT: Critical Pitting Temperature）表1-③

上記のように電圧を印可することで孔食を発生させてその電圧を測定するのが孔食電位ですが、腐食性の溶液に種々の温度で浸漬して孔食が発生する限界の溶液温度を指標とするのが臨界孔食発生温度（CPT）です。図1に示すように、PRE（Pitting Resistance Equivalent：耐孔食当量）^{注1)}とCPTの間にはほぼ直線的な関係がありPREが高い材料であれば、CPTも高いということが判ります。

◇ 臨界隙間腐食発生温度（CCT: Critical Crevice corrosion Temperature）表1-⑨

金属板を重ね合わせ、隙間を作った状態で腐食溶液中に浸漬すると、通常のどぶ漬けでの試験に

表 1 ステンレス鋼の腐食試験

腐食形態	試験名称と規格	評価方法	特長・対象
孔食	① JIS G 0577 ステンレス鋼の孔食電位測定方法 ASTM Designation:G5-94	食塩水中で走査電圧を印可して電流変化を測定	孔食電位
	② JIS G 0578 ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法 ASTM G 48 method A	塩化第二鉄溶液中に浸漬して腐食減量を測定	孔食による腐食減量
	③ JIS G 0590 ステンレス鋼の臨界孔食温度測定方法 ASTM G 48 method C	種々の温度で腐食溶液に浸漬し、孔食が発生する臨界温度を測定	臨界孔食発生温度
粒界腐食	④ JIS G 0571 ステンレス鋼のしゅう酸エッチング試験方法 ASTM A262 practice A	修酸エッチングを行い金属組織を観察	Cr欠乏層の有無
	⑤ JIS G 0572 ステンレス鋼の硫酸・硫酸第二鉄腐食試験方法 ASTM A262 practice B	硫酸・硫酸第二鉄溶液中で120時間煮沸して腐食減量を測定	Cr欠乏層の有無
	⑥ JIS G 0573 ステンレス鋼の65%硝酸腐食試験方法 ASTM A262 practice C	硝酸溶液中で48時間煮沸して腐食減量測定の上5回繰り返す	Cr欠乏層の有無
	⑦ JIS G 0575 ステンレス鋼の硫酸・硫酸銅腐食試験方法 ASTM A262 practice E	硫酸・硫酸銅溶液で16時間煮沸後、曲げ試験で粒界起因の割れを測定	Cr欠乏層の有無
	⑧ ASTM G 48 method B	人工隙間を付与した試験片を塩化第二鉄に浸漬し、腐食減量を測定	隙間腐食による腐食減量
隙間腐食	⑨ ASTM G 48 method D	人工隙間を付与した試験片の塩化第二鉄溶液中腐食臨界温度を測定	隙間腐食発生温度
応力腐食割れ	⑩ JIS G 0576 ステンレス鋼の応力腐食割れ試験方法 ASTM G 36-94 (2013)	応力をかけた状態で塩化物溶液で煮沸、臨界腐食割れ温度を測定	応力腐食割れ発生温度
発錆	⑪ JIS Z 2371:2015 塩水噴霧試験方法 ASTM G 85-98	塩水を一定時間噴霧しつづけて発錆を測定	耐発錆性

ASTM A 262 Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels
 ASTM G 28 Standard Test Methods of Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion
 ASTM G 48 Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution
 ASTM G 5-94 (Reapproved 1999) Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements
 ASTM G 36-94 (2013) Standard Practice for Evaluating Stress-Corrosion-Cracking Resistance of Metals and Alloys in a Boiling Magnesium Chloride Solution
 ASTM G 85-98 Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing

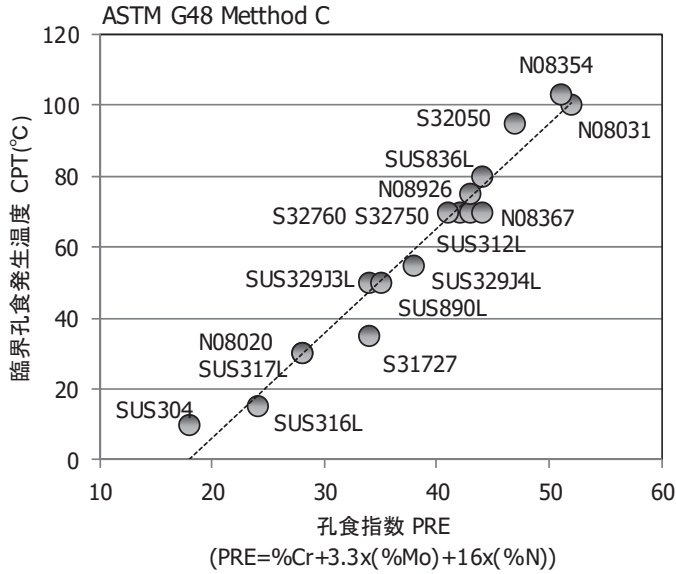


図 1 各種ステンレス鋼の臨界孔食発生温度CPTと孔食指数PREの関係¹⁾

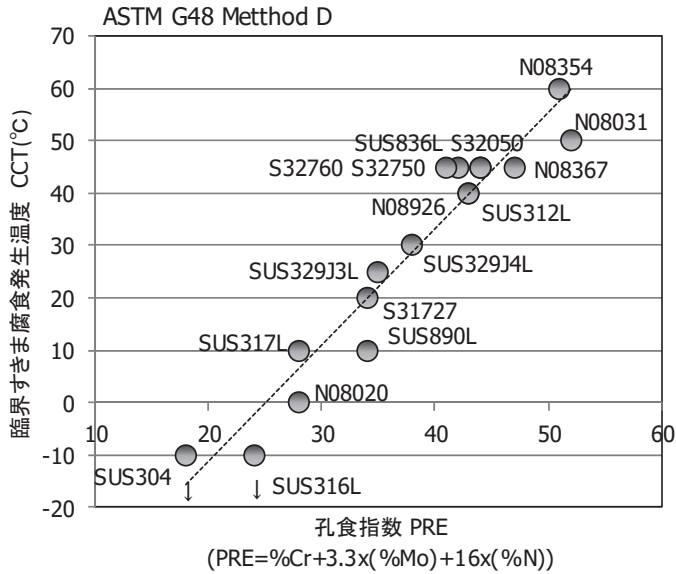


図 2 各種ステンレス鋼の臨界すきま腐食発生温度CCTと孔食指数PREの関係¹⁾

比較してより厳しい腐食環境になります。これは、金属板表面に形成された隙間部分の溶液は自由に拡散することができず、腐食効果のあるイオン原子が濃化するためです。図2にPREとCCTの関係を示します。図1と比較すると、CPTと同様に直線関係があることが判りますが、全体に温度が低

い方にシフトしていますので、腐食環境としてより厳しい条件であることが判ります。

これらCPT、CCTは材料の耐食性グレードの目安として使われていますが、具体的に「CPTが○℃以上であること」などという規格・仕様として使われることは希です。むしろ、仕様としては、

「PREが〇〇以上であること」という指標の方がよく使われます。この場合PREは化学成分から算出されるものなので、結局化学成分値による耐食性の保証となります。

◇ 塩水噴霧試験 表1-⑪

塩水噴霧試験は、文字通り塩水を一定時間噴霧し続けることで発錆させ、その発錆度合いで耐食性を評価する方法です。発錆度合の判定は、例えば「JIS Z 2371 (2015) 塩水噴霧試験方法」では試験片の発錆している面積率を標準写真と比較することでレーティングします。レーティングナンバ (RN) 10 (全く発錆が認められない) から、レーティングナンバ (RN) 0 (発錆面積率が50%を超える) までの11段階で評価をしますが、この方法もステンレス鋼の材料仕様・規格などとして用いられることはほとんどありません。素材に異常が無いことの確認として、例外的ですが「塩水噴霧にて発錆の無いこと」と要求されることはあります。通常の耐食性は先の説明のように成分と機械的性質で確保されていると判断されたため、このように直接耐食性の確認を求められることが少ないのだと思われます。

ヒーター部品などのように、ユーザー側で材料を加工・溶接・熱処理する場合は、材料ユーザー

における製造プロセス異常の有無を確認するための簡便な耐食性試験として塩水噴霧試験が用いられることもあるようです。

◇ 応力腐食割れ試験 表1-⑩

腐食が進行しない腐食環境下であっても、材料に引張り応力をかけると、同じ腐食環境下であるにも関わらず腐食・割れが進行するという現象があり、応力腐食割れ (SCC: Stress Corrosion Cracking) と呼ばれています。压力容器のように、強度と同時に耐食性が要求されるような用途では、通常の耐食性ではなく、この耐応力腐食割れ性が重要になります。試験方法はU-曲げをして固定して、引張り応力が印可された状態の試験片、または引張試験機で直接応力を印可した状態の試験片で腐食試験 (特定の濃度の塩化マグネシウムや塩化カルシウム溶液で煮沸する) を行ないます。

図3に応力腐食割れ性の比較例を示します。応力腐食割れという現象が解明されていなかった当時はSUS304の応力腐食割れによって様々なトラブルが発生していましたが、現在では発生メカニズムが明らかになり設計段階で応力腐食割れを回避するように設計するため、SUS304などの一般的なステンレスの仕様として耐SCCを特別に要求されることはほとんどありません。ただし、6Mo鋼

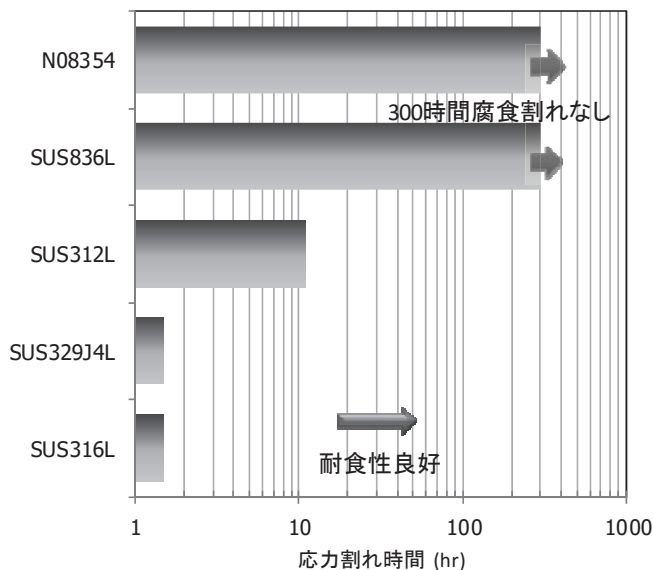


図 3 各種ステンレス鋼の38% MgCl₂の沸騰水溶液中の応力腐食割れ性比較²⁾

(6%のMoを含有するスーパーステンレス鋼、ex: SUS836Lなど)では、耐応力腐食割れの具体的な数値が仕様として要求される場合があります。

◇ 粒界腐食試験 表1-④、⑤、⑥、⑦

粒界腐食試験方法を表1に示します。ステンレス鋼では、溶接や熱処理によって鋼中のCがCrと結合してCr炭化物を生成することがあります。このような生成物は一般的に最もエネルギー的に安定な粒界を中心に析出します。そのため、炭化物を生成するのに必要なCrは粒界近傍の組織から奪われることになり、粒界近傍にはCr欠乏層と呼ばれるCr濃度が平均よりも希薄な部分が発生します。そのためCr炭化物が発生した材料は、腐食環境下では粒界部分が優先して腐食するので、粒界部分の耐食性を確認することで材料の健全性(熱処理や溶接によってCr炭化物が発生していないかどうか)を確認することができます。σ相(CrやMoが濃化した金属間化合物)^{注2)}もCr炭化物と同様のメカニズムで粒界の耐食性を著しく劣化させます。

特に尿酸プラント用の材料では、ヒューイ試験(表1-⑥)による耐食性の保証を求められます。

このようにステンレス鋼の耐食性を評価する方

法は数多くあり、また仕様として取り決める場合には、当事者間での協議によることが多いため、材料の注文に際してはステンレスメーカーとの事前打ち合わせが必要となります。

また、これらの規格となっている腐食試験では、評価できない(例えば、規格とは異なる溶液下で使用する場合)場合には、試験片を評価環境に直接暴露して使用可能かどうかを評価する場合もあります。ただしこの評価は少なくとも半年以上の期間を要するため、長期的な計画に基づいた材料選定方法となります。

注1) $Cr\% + 3.3 \times Mo\% + 16 \times N\%$ の式で表され、耐食性付与に高い効果を持つ元素の含有量から耐食性の指標を計算する式。

注2) 各種の金属元素が特定の割合で規則配列したもので、通常の金属材料(ベース金属に合金元素が固溶した状態)に比較して著しく脆く、耐食性と同時に機械的特性も劣化させる。固溶化熱処理温度よりも低い温度に保持すると析出する。

参考文献

- 1) 矢部室恒 他：腐食センターニュースNo.059、2012年2月
- 2) 日本冶金工業：スーパーオーステナイト系ステンレス鋼の溶接、2011年8月

7. 高張力厚板鋼の特殊評価試験

新日鐵住金(株) たか はし やす のり
厚板技術部厚板技術室 高橋康哲

まえがき

厚板は、船舶、橋梁、建築、エネルギー関連、建設分野等、広く社会構造の基盤を支える重要な素材である。近年、構造物の大型化、更に地球環境保護やライフサイクルコスト（LCC）の観点から省エネルギーはもとより、安全性や長寿命化のニーズが高まってきており、それらを構成する素材として、強度、靱性、耐食性、耐摩耗性等の特性向上が図られている。これらに対応して試験評価方法の重要性も高まっており、本稿では引張試験、シャルピー衝撃試験等の一般的に知られている試験方法ではなく、高張力鋼を中心とした高機能厚板における特殊試験方法を、最近の技術事例とともに述べる。

◇ 脆性き裂アレスト靱性評価試験

鋼は高強度化していくと靱性が低下する傾向にあり、極端に靱性が低下すると引張強度に達する前に、欠陥から一気にき裂が走る脆性破壊を起こす可能性が高くなる。このような脆性破壊に対する構造物の安全性の考え方としては、

①脆性き裂の発生防止

②万一き裂が発生した場合のき裂伝播防止が挙げられ、これらの特性に優れた鋼材が求められる。この②の脆性き裂伝播停止特性をアレスト特性と呼ぶ。アレスト特性を評価する試験方法の一つとして温度勾配型ESSO試験があり、アレスト靱性値の評価指数となるKca（応力拡大係数）を求め、構造物の安全性を評価する。温度勾配ESSO試験では、脆性破壊を発生させやすくするためにノッチ部を低温側とする。

ここでは最近の技術事例としてアレスト特性に優れた新鋼材を紹介するとともに、その評価方法として造船の実構造物を模擬した大型破壊試験を紹介する。また温度勾配ESSO試験では評価できない-165℃の極低温で使用されるLNG（液化天

然ガス）タンク用鋼材向けに用いられる混成ESSOアレスト評価試験も紹介する。

1. 造船用鋼材の実構造を模擬した大型破壊試験

コンテナ船は上甲板に大きな開口部を有しており、その上縁部（ハッチサイドコーミング）には、船体形状を維持するため、高強度の厚手鋼板が使用される。近年のコンテナ船の大型化の傾向は顕著であり、最近では14,000~20,000TEU（twenty-foot equivalent unit：20フィートコンテナ換算個数）級の超大型船が建造されるようになってきている。コンテナ船の大型化に伴い、アレスト特性を兼ね備えた極厚高張力YP460鋼（引張強度600MPa級）が開発され、実船に適用されている^{1), 2)}。この開発鋼のアレスト特性は、前述した温度勾配ESSO試験で優れたアレスト靱性を確認した事に加え、実構造物を模擬するため8,000トンの引張試験機を用い大型破壊試験を行った。大型破壊試験の試験片形状及び破面写真を図1に示す。実構造物を模擬するため、溶接線上にノッチを設け、脆性き裂を発生させ試験体でアレスト性を評価する。これはアッパーデッキに使用されるYP390鋼（引張強度が500MPa級）の溶接部で発生した脆性き裂を、ハッチコーミングで使用される上記開発鋼で停止させるケースを想定した試験で、図1の結果から試験体に突入したき裂は30mm程度で停止し、狙い通りのアレスト靱性が得られている事が確認された。

2. LNGタンク用鋼材の混成ESSO試験

液化天然ガス（LNG）を貯蔵するLNGタンク用鋼材も、脆性き裂の発生防止特性、また万一き裂が発生した場合のアレスト特性が求められる鋼材である。LNGタンクの模式図と要求性能を図2に示す。

LNGタンク用鋼材としてはこれまで極低温での優れた強度と低温靱性を有する9%Ni鋼が使用されてきたが、Niを低減した新鋼材（Ni量：6~7.5%）も開発されている^{5), 6)}。LNGタンク用鋼材

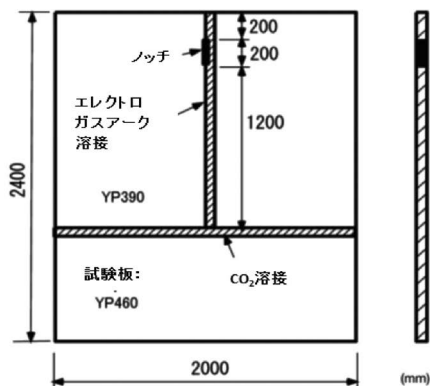


図 1 大型破壊試験の例 (試験温度 -10°C)³⁾

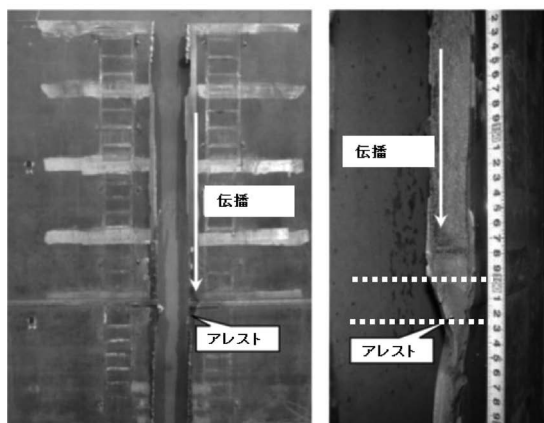


図 2 LNGタンク用鋼への要求特性⁴⁾

のアレスト特性評価には、試験温度が -165°C と極低温であるが、更に低温の液体窒素を用いた -196°C においても脆性き裂が発生しなく温度勾配 ESSO試験が適用できない。そこで以下に示す混成 ESSO試験によりアレスト靱性値 (Kca) を求める。図 3 に混成 ESSO試験の試験片形状を示す。脆性き裂を強制的に突入させるため試験体上部に脆化板を付ける事が本試験片の特徴である。

図 4 に、新鋼材を用い付加応力 393MPa、 -165°C

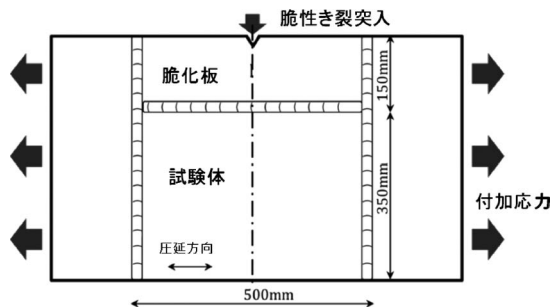


図 3 混成 ESSO試験体⁷⁾

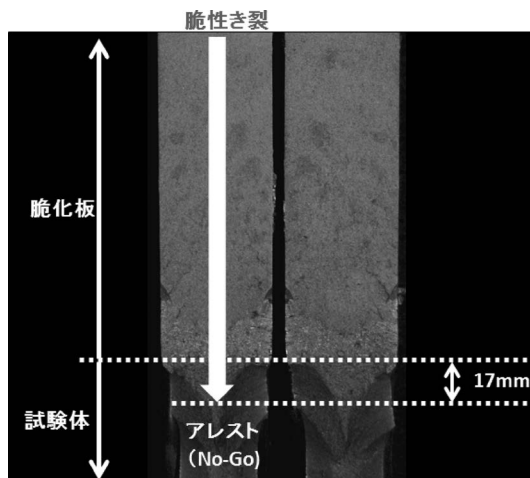


図 4 混成 ESSO試験の破面⁷⁾

で試験した後の試験片の破面写真を示す。脆化板から突入した脆性き裂が、試験体に突入した直後の 17mm で停止しており、優れたアレスト性を有している事が確認される。

◇ 腐食試験

原油タンカーでは、原油の流出を防止するため、国際ルールが厳格化され、原油タンクの腐食対策も基準化された。原油タンク内部の腐食形態は底部と天井部で異なり、底部は穴状の腐食、天井部は全面腐食となる。防食の方法として、一般的には塗装が用いられているが、天井部は塗装のメンテナンスコストが膨大となるため、無塗装で使用可能な鋼材の開発がされた⁸⁾。

タンクの天井部は、 O_2 と H_2S が共存する自然界ではありえない環境となっており、加えて昼夜の温度差により夜間の結露と昼間の乾燥が繰り返され、腐食としては大変厳しい環境である。

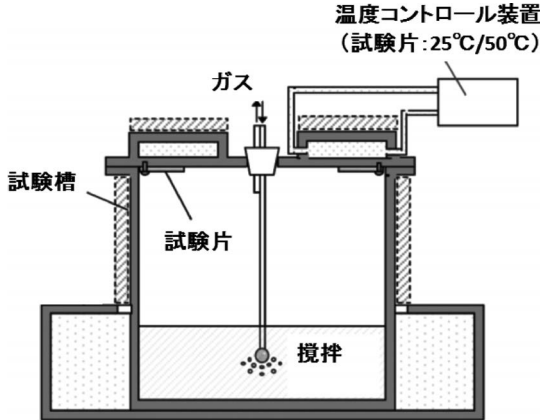


図 5 再現腐食試験装置⁹⁾

このような腐食環境を考慮し、再現腐食試験法が確立されている。図5に試験装置の概要を示す。密閉容器中に蒸留水を入れ、イナートガス（CO₂、O₂、SO₂）を凝縮したガスとH₂Sを吹き込み原油タンク内の環境を模擬した。試験槽天井裏に取り付けた試験片は25℃～50℃の温度サイクルを付与することにより結露と乾燥の繰り返しを模擬している。本再現試験法を用い、腐食による減肉量を測定し、耐食性に及ぼす各種合金元素の影響を調査し、上述した耐食鋼が開発されている。なお、本耐食鋼は実船での実環境においても良好な耐食性が得られている事が確認されている。

◇ 摩耗評価試験

ブルドーザーの廃土板、ダンプの荷台部分（ベッセル）、油圧ショベルやホイールローダーのバケット等、使用中に土砂や岩石、岩盤などからの衝撃を受け摩耗する建設機械、産業機械の部材にも、一般鋼に比べ摩耗量が少ない高硬度の耐摩耗鋼が広く使用されている。これにより、機械の軽量化や高性能化とともに、部材の補修、交換などランニングコストが図られている。

耐摩耗性の評価試験として、ガウジング摩耗試験およびスクラッチング摩耗試験が知られている。ガウジング摩耗試験は、試験片を砥石に押し付け、砥石を回転させ試験片の摩耗量を測定するもので、ショベルバケットなどが岩石を採掘、破碎する際に大きな荷重と衝撃とが加わる状況を想定している。ガウジング摩耗試験方法を図6に示す。

またスクラッチング摩耗試験は、水を含んだ砂

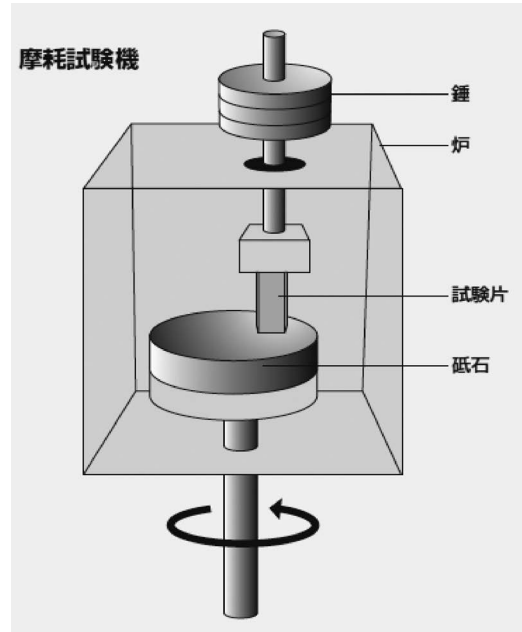


図 6 ガウジング摩耗試験方法¹⁰⁾

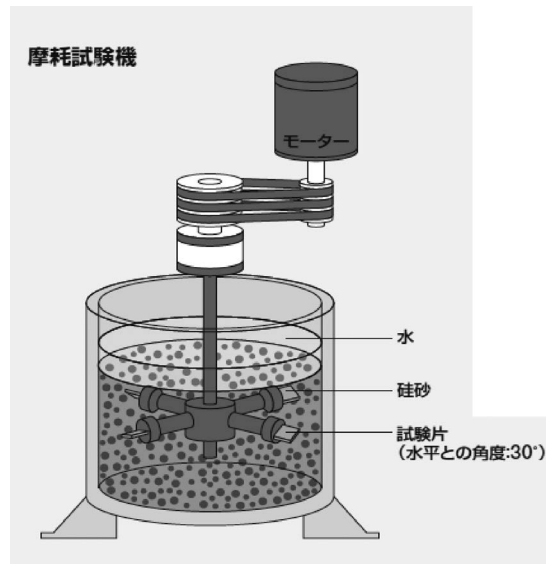


図 7 スクラッチング摩耗試験¹⁰⁾

の中で試験片を回転させ、その摩耗量を測定するもので、ダンプベッセルなどの比較的小さな土石によって鋼板表面がこすられる状況を想定している。試験方法を図7に示す。

これらの摩耗評価試験を用い、鋼材が使用される環境での摩耗評価を行い鋼材開発が進められている。

むすび

本稿では高張力鋼を中心とした高機能厚板における特殊試験方法を紹介した。厚板への要求性能は、今後ますます多様化、厳格化していくものと考えられる。それに対応して、試験評価方法も要求ニーズに応え、さらに鋼材開発の下支えとなる試験評価方法を確立する事が重要である。

参考文献

- 1) Funatsu, Y. et al: Proc. of the 20th Int. Offshore and Polar Engineering (ISOPE) Conf. 2010, p.102
- 2) 白幡浩幸、ほか：まてりあ. 51、76 (2012)
- 3) 新日鐵住金技報. 400、28 (2014)
- 4) 新日鐵住金技報. 400、38 (2014)
- 5) 川端友弥、ほか：日本高圧力技術協会秋季講演会概要集. 12. 2005
- 6) Furuya, H. et al: OMAE2011-49594, Rotterdam, 2011
- 7) 新日鐵住金技報. 400、42 (2014)
- 8) Kashima, K et al: Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. OMAE2011-49503, 2011
- 9) 新日鐵住金技報. 400、89 (2014)
- 10) 新日鐵住金耐摩耗鋼ABREX®カタログ. 4 (2016)



Ⅲ. 会員メーカーの新しい評価試験技術

● 日立金属(株)

切削現象の評価技術

切削加工は、比較的エネルギー効率がが高く、高精度加工ができる除去加工のひとつである。材料の優れた機械的特性と被削性は、大抵の場合に背反的な関係にあり、高性能材料を精度よく加工するには、難削性を知ることが重要である。難削性の理解は、工具摩耗の制御を可能にし、高精度加工につながる。なお、切削加工時の摩耗現象は複雑であり、これを把握するには、切削負荷のモニタリングと工具の詳細観察が必要となる。

本稿では、切削加工時の切削温度、切削抵抗の測定と工具摩耗の評価内容について説明する。切削温度の測定法には、工具-被削材熱電対法¹⁾がよく知られている。これにより、工具と被削材の接触部における平均的な温度を得ることができる。また切削抵抗は切削動力計により、背分力 $F(x)$ 、主分力 $F(y)$ 、送り分力 $F(z)$ を測定し、次式によって合力 F を求めることができる。

$$F = \sqrt{F(x)^2 + F(y)^2 + F(z)^2} \dots\dots (式)$$

図1に切削温度と切削抵抗の関係を示す²⁾。切削抵抗は切削温度の増大に伴い低下しており、これは被削材の強度が温度上昇とともに低下すること、すなわち、高温強度と関係したと考えられる。手塚ら³⁾は、(式)の背分力 $F(x)$ と送り分力 $F(z)$ の合力、

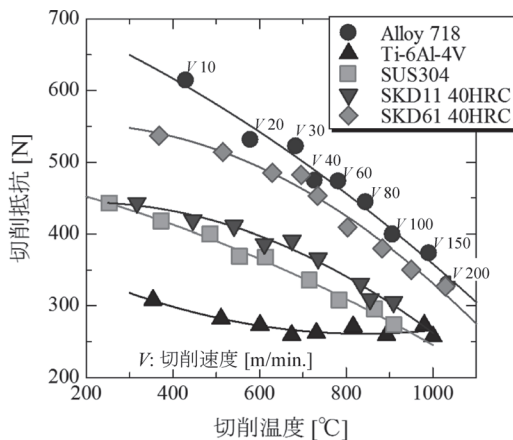


図 1 切削温度と切削抵抗の関係²⁾
(切削条件: 切削速度 10~200m/min、切込み 0.5mm、送り 0.2mm/rev、乾式)

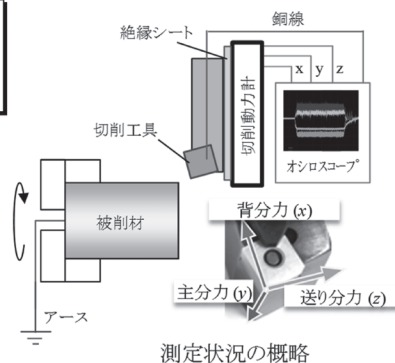
すなわち、工具表面における摩擦力の変動を解析し、凝着性の評価方法として提案している。弊社では、切削中に低摩擦力を示すコーティング組成の適用により、工具摩耗が低減することを報告している⁴⁾。また、切削温度が高くなっても切削抵抗が下がらない超耐熱合金Alloy718切削後のコーティングに塑性変形が生じたことを観察しており、切削温度域におけるコーティングの高温強度、組織安定性の重要性を指摘している^{2)、5)}。さらに、被削材に溝を入れることで断続切削とすれば、工具表面に適度な酸素が供給され、凝着物の酸化が生じる。この酸化物となった凝着物は、工具保護膜 (Belag) として機能することがある。この点に注目し、切削条件を変えた時の凝着物 (Belag) 組成を調べ、被削性の優れた60HRC冷間金型用予備調質鋼の可能性についても検討している⁶⁾。

以上のように、切削温度と切削抵抗 (摩擦力) および工具表面の凝着物 (Belag) を評価し、工具摩耗や被削性を理解することで、被削材と工具材料との最適な組合せや切削条件を選ぶことが可能になる。

参考文献

- 1) たとえば、小野ら: 理論切削工学、現代工学社、東京 (1979) 88
- 2) S. Koseki et al: Surf. Coat. Tech. 283 (2015) 353
- 3) 手塚ら: 精密工学会誌、76、8 (2008) 926
- 4) S. Koseki et al: Key. Eng. Mater. 656-657 (2015) 191
- 5) S. Koseki et al: Prec. Eng. 44 (2016) 41
- 6) 森下ら: 精密工学会誌、82、4 (2016) 372

〔日立金属(株) 安来工場 小関 秀峰 (こせき しゅうほう) ソリューション&エンジニアリングセンター〕



業界のうごき

愛鋼、壁面緑化フェンス拡販へ 素材に細径ステンレス鉄筋

愛鋼は、愛知製鋼の細径ステンレス鉄筋を使用した壁面緑化フェンスの拡販を図る。今月からダイレクトメールによる周知、販売活動をスタートし、ビルや大型商業施設向けの採用拡大を目指す。ステンレス鉄筋はコンクリート二次製品の補強材など土木分野を主な用途とするが、同社は格子状に加工したフェンスを壁面緑化向けに販売実績を伸ばしている。

商品名は「グリフェンス」（登録商標申請中）で、従来の銀色に赤、緑などを加えた全6色とした。専用パンフレットを作成し、造園業者など数百社へDMを発送する。ビル、ショッピングモールへの拡販を進めながら継続的な周知活動を行い、将来はホームセンターでの店頭販売など販路拡大を図る。

グリフェンスの製造は上野工場（東海市）で手掛けているが、受注状況を見ながら同工場、建設を計画する衣浦新工場での設備増強も検討する。（7月27日）

浅井産業、中部で物流・加工を強化 インドネシアも営業拡大へ

浅井産業は、中期的に国内外のグループ会社で物流・加工事業を強化する。国内では中部地区で特殊鋼線材の物流機能と特殊鋼棒鋼の加工機能の拡充を検討する一方、海外ではインドネシアの鋼材物流・加工拠点を活用し物流・加工受託を含めた営業拡大を図っていく。

国内では2015年春に浅井ショーワで铸件製品の機械加工・検査設備を増強し、4月に棒材精密切断加工の碧南プロセッシングセンター（以下HPC）で切断機と切断材保管用特殊ラックを増設した。更に自社の衣浦サービスセンターが手狭となりHPC

の精密切断加工が伸びるなか、中部の物流・加工機能の拡充を検討する。

海外ではアサイ・タイが特殊鋼の在庫販売やアルミ切断品の販売も伸ばしている。インドネシアでは三菱製鋼の合弁会社、ジャティム・タマン・スチールの特殊鋼棒鋼をめぐり、営業倉庫機能の提供を含めて扱い数量拡大を中期的に目指す。（7月5日）

UEX、ステンレスの在庫販売 今期1割増を目指す

UEXは2017年3月期のステンレス在庫販売で日当たり122トンと、前期比1割増を目指す。決算説明会で岸本則之社長は「近年は在庫販売の比率が下がっていた。新たに取りに行くのではなく、失ったものを取り戻したい」と既存顧客に対する営業強化の姿勢を強調した。在庫販売を含む今期のステンレス販売量は前期比4.8%増の57,872トンを見込む。

同社は厚板、棒鋼、継目無鋼管、溶接鋼管を中心とする国内屈指のステンレス問屋。チタン店売りも全国屈指で、前期のチタン売上高は前期より1.9%減の20億7,000万円、販売量は同6.7%減の420トンだった。今期のチタン販売は「市場動向としては前期並みの見込みだが、歩留り向上、高付加価値化で利益率向上を図る」。

前期は連結子会社の大崎製作所と日進ステンレスが業績好調だった反面、上野エンジニアリングが赤字で、連結営業利益の6割を本体で稼いだ。（6月8日）

芝本産業、来年100周年で記念ロゴ 新キャッチフレーズも作成

「この一歩、次の百年へ」—2017年7月に創業100周年を迎える芝本産業は「100周年記念ロゴマークとキャッチフレーズ」を作成した。社内の一体化や社員の士気高揚を目的に、これまでも種々の100周年記念

事業を展開している。社内公募した作品に社員がアレンジを加えた手づくりの作品となっている。

社名の頭文字であるSを社員の身体に見立て、新たな100年に向かう躍動感をロゴで表現。大きな節目を単なる通過点とせず次の100年へと継続させようとの想いをキャッチフレーズに込めた。青はコーポレートカラーであり、それをベースに社員の熱い想いを赤で表現する。

100周年記念事業は、約1年後に控えた記念日の前後5年間（足掛け10年ほど）にわたり計画・実施中。BCP（事業継続計画）や社員の安全・安心を考慮して2014年に竣工した新本社ビルや浦安鉄鋼団地への倉庫移転も一例だ。（6月16日）

清水鋼鉄、苫小牧に加工工場 高強度せん断補強筋を一貫生産

清水鋼鉄は苫小牧製鋼所に高強度せん断補強筋「パワーリング785」を製造する専用工場を建設する。4月に生産を開始した高強度異形棒鋼「SPR785」を加工して製造開始するもので、11月に完成する予定。同所で高強度異形棒鋼からの一貫生産体制を確立する。

完成後はネジ節鉄筋「ネジテックコン」や従来から製造している機械式定着「FRIP（フリップ）」の製造も新工場に集約する。新工場に併設し、最新式の2,000KN万能試験機を備えるQS（クオリティーサービス）センターは昨年12月に完成させている。

清水鋼鉄は東京鉄鋼と提携し、苫小牧で昨年6月までに大臣評定取得と設備導入を完了し、パワーリング（295、390）の生産を開始。ネジテックコンと、今年4月にはSPR785でも大臣評定を取得し製造を開始した。これによってパワーリングに関しては295、390に続き、785も同所で鉄筋からの一貫生産体制を確立する。（6月29日）

業界のうごき

中野ハガネ、治工具製品の加工強化 自動旋盤導入、切削内製化

中野ハガネは自社製品の加工機能を拡充する。開発・生産を行う都田研究所（浜松市北区）に自動旋盤を導入して切削工程を内製化。複雑化する形状ニーズや納期短縮への対応力強化を図り、更なる受注拡大、用途開拓を目指す。

都田研究所は1993年設立。放電加工用テーパ付電極「リブメイク」、開先加工用「NSチップ」といった同社が主力とする治工具分野における独自商品の開発を進め、受注生産を中心に小ロット・多品種の製品を供給している。

近年は絶縁性金属製品の引き合いがスポット溶接用の位置決めピンとして増加。耐摩耗性の高さや複雑形状への対応力などが評価され、セラミックやプラスチックの代替製品として伸びている。同製品の切削工程は外部へ依頼していたが、生産数量を伸ばす中で、従来と比べて細径や長物など要求形状が徐々に高度化し、業者が対応できないケースが出ていた。

(6月29日)

野村鋼機、関東の構造用鋼在庫 鋼種別に集約・効率化

野村鋼機は関東における構造用鋼の在庫体制を効率化する。最も数量の多いSC材、クロムモリブデン鋼の在庫を茨城支店・関東スチールセンター（茨城県稲敷市）に集約し、浦安特殊鋼センター（千葉県浦安市）にSS材や含ニッケル鋼を集中在庫する。8月中旬までに在庫移管を完了する予定で、それぞれの即納体制は維持する。

関東スチールセンターは構造用鋼・特殊用途鋼・ステンレス条鋼の主力物流・切断拠点だが、浦安特殊鋼センターも地の利があり一定の在庫体制を整えている。二重在庫の無

駄を省く狙いで、それぞれの拠点で鋼種別の集中在庫体制を敷く。両拠点間を毎日2台のトレーラーが2往復ずつ走り、1日4往復体制とすることで即納体制を維持する。

前橋支店（群馬県前橋市）は群馬、栃木、新潟、長野などへの物流基地の役割があり、従来の在庫体制を維持する。

(6月14日)

ハヤカワカンパニー 精密鍛造品製造事業に進出

ハヤカワカンパニーは精密鍛造品製造事業に進出する。ハヤカワカンパニーの持ち株会社であるハヤカワが三菱マテリアル子会社で熱間鍛造品製造・販売を手掛ける菱栄金属（本社・埼玉県桶川市）の全株式を取得することで合意した。譲渡期日は10月1日の予定。

ハヤカワカンパニーは三菱マテリアルと菱栄金属に対して原材料を中心に販売している。また上海や台湾、タイなど国内外に幅広い拠点を構えて、鍛造品・鍛造品を中心に部品事業の領域拡大を狙っている。一方、三菱マテは精密鍛造事業の構造改革を検討してきた。

菱栄金属は自動車、トラック、トラクター向けの高精度ベベルギア生産が強み。ハヤカワカンパニーは今回の買収を通じて菱栄金属の国内における販売ルートも活用できる。高い製造技術、両社が持つ広範な販売ネットワークのシナジー効果を発揮し、鍛造品事業の拡大を図る考えだ。

(7月25日)

メタルワン、グループで連携強化 大阪・広島・福岡でオフィス集約

メタルワンは、地域に密着したトータルサービス機能を強化するため、大阪、広島、福岡の各支社とグループ会社のオフィスを集約する。国内の顧客に対してグループの機能を発

揮しやすい体制を構築する一環で、同じビルに集結してワンストップサービスを高めるとともに、グループ同士が横連携することで的確な顧客対応力を目指していく。

大阪ではメタルワン、メタルワン・スチールサービス、メタルワン特殊鋼、メタルワン鉄鋼製品販売、メタルワン鋼管、玉造、西鋼の計7拠点が移転する。広島ではメタルワン、メタルワン西日本、メタルワン・スチールサービス、メタルワン特殊鋼が入居するビルに西鋼、メタルワン鋼管が合流する。福岡ではメタルワン、メタルワン九州が入居するビルにメタルワン鉄鋼製品販売、メタルワン特殊鋼が合流する。

一部のオフィスは従来の場所に残す。

(6月20日)

神戸製鋼所の上工程集約 7月から6号連鑄試運転

神戸製鋼所が加古川製鉄所で進めている上工程の集約工事が順調に進捗している。現在、線材ブルーム用の6号連鑄設備の取り付けを行っており、その下工程の第2分塊工場の能力増強も年内に完了させる予定。2017年11月には神戸製鉄所の高炉操業を停止し、上工程を加古川に全面的に集約する。

6号連鑄設備は、電磁攪拌やミスト冷却など神戸製鉄所のノウハウを生かすとともに、パスラインを長くし高品質のブルームを生産できる体制を整える。取り付け工事は6月中に終え、7月から試運転に入る予定。更に第3高炉の改修や2基目の脱リン炉の設置など上工程の増強投資を行っていく。

製鉄に対し能力不足となっている製鋼は、クレーンの改造や操業上の工夫で、690万トンまで引き上げている。今後はさらに700万トンまで引き上げ、製鉄と製鋼の能力均衡を図る。

(6月6日)

業界のうごき

IoTで現場の“安全”見守り 新日鉄住金が実証試験

新日鉄住金は製鉄所で働く現場作業員の安全を見守る新システムの構築に乗り出した。あらゆるものがインターネットにつながるIoTを活用し、現場作業員の三次元位置情報や心拍数などをリアルタイムで一元的に把握。作業中の異常などをいち早く検知することで事故やトラブルを未然に防ぎやすくする。新日鉄住金ソリューションズと共同で約半年前から君津製鉄所など複数の製鉄所で実証試験に着手した。

構築を目指すのは「製造現場の見守りシステム」。製鉄所によって異なるが、現場作業員はセンサー内蔵型ヘルメットやスマートウォッチ、スマートフォンなどを装着する。眼鏡型端末の導入も検討する。

実証試験では機能検証や課題の洗い出しを進めており、2016年度内の完了を目指す。携帯端末の電力消費抑制やデータ送信を妨げるノイズ対策などが課題に挙がっており、実用化に向けて改善を目指す。(7月7日)

大同特殊鋼、グローバル戦略強化 大同興業を完全子会社化

大同特殊鋼は連結子会社である大同興業を10月1日付で完全子会社とする。大同興業の海外拠点、人材を活用することにより、グループ全体のマーケティング力を強化するとともに、ターボ部材、磁石、高合金の各事業のノウハウと経営資源を融合し、商品開発から量産までの一貫した事業モデル構築を進めるのが狙い。

グループ中核商社としての位置づけは一段と明確になる。例えば大同特殊鋼は欧州に本格的な工具鋼の販売拠点を持っていないが、大同興業は独フランクフルトに拠点を持っており、両社がより一体となり営業強

化を図れるようになる。

簡易株式交換により、株主総会の承認を必要とせず交換を実施する。5月31日に両社の取締役会で決議し、同日株式交換契約を締結した。株式交換比率は「696円÷大同特殊鋼の普通株式の平均価格」により算出する。(6月1日)

重希土類完全フリーの磁石 大同特殊鋼とホンダが開発

大同特殊鋼は本田技研工業と共同で重希土類(ジスプロシウム、テルビウムなど)を一切使わずに高耐熱性と高磁力を保持できる新磁石を開発した。ホンダは今秋発売予定の新型ハイブリッド車(HV)の駆動モーターに適用する。重希土類フリー磁石がHVの駆動モーターに採用されるのは初めて。

ネオジム磁石は高温条件下で使われることが多いため耐熱性が必要で、重希土類を添加する。しかし、重希土類は世界的に鉱床が偏在し、安定調達やコスト面でのリスクがある。

大同グループのダイドー電子は熱間加工法でネオジム磁石を生産し、微細な結晶粒組織を得ることができる。この熱間加工法技術を進展させ、ホンダが磁石形状の見直しなどを進め、HV駆動用モーターへの適用が可能になった。ホンダは同磁石に対応した新たなモーターを開発し、磁石にかかる磁束の流れも最適化した。(7月13日)

日新製鋼の中国特殊鋼冷延合弁 営業生産を開始

日新製鋼、伊藤忠丸紅鉄鋼、米ワージントン・インダストリーズの3社による中国の特殊鋼帯鋼圧延合弁「浙江日新華新頓精密特殊鋼」(浙江省平湖市)は、このほど設備起動式と感謝状授与式を開催し、正式に営業生産を開始した。中国合弁は、自動車部品産業が集積する中国華東地区で日

系、米欧系自動車部品メーカーなどの現地調達ニーズに応え、精密特殊鋼を供給する。年産能力は12万トン。

浙江日新華新頓精密特殊鋼(資本金・1億2,400万米ドル)の出資構成は日新製鋼55%、伊藤忠丸紅鉄鋼35%、ワージントン10%。主要設備は板厚精度と広幅厚物対応に優れる冷延設備1基、バッチ式焼鈍設備8基、精整設備(リコイルングライン)1基。投資額は資本金相当。

日新製鋼の成吉副社長は「成長する自動車産業をメインターゲットとして、高品質の特殊鋼鋼板を現地生産し、タイムリーにお客様に提供する」と挨拶した。(7月15日)

日本金属 タイ拠点で10周年式典

日本金属のタイにおける加工・販売拠点である「ニッポン・キンゾク(タイランド)」はこのほど創業10周年の記念式典・パーティーを開いた。

「ニッポン・キンゾク(タイランド)」は2006年に、パトゥタニ県にあったステンレスコイルセンターをアユタヤ県のロジャナ工業団地内に移転したのがスタート。11年にはバンコク近郊のビッグランドに加工品の新工場を開設した。その年の10月には大洪水でコイルセンターが生産停止に追い込まれたが、日本での代替生産や日本の遊休設備の移設などで乗り切った。

加工品の受注増に伴いビッグランド工場が手狭となったため、ロジャナのコイルセンター敷地内に加工品の新工場を建設したのが13年で、これによりロジャナ工場はコイルセンターと加工品の“両輪体制”が整った。

現在の販売額はコイルセンター事業が月1億8千万円。加工品事業(平鋼、建材)が月2千万円。(7月19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	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'14 暦年	264,684	4,822,532	3,996,687	8,819,219	438,207	1,027,943	3,000,538	695,384	5,969,185	688,579	11,819,836	20,903,739
'15 暦年	247,346	4,645,724	3,564,630	8,210,354	431,529	986,169	2,755,748	615,811	4,953,652	674,565	10,417,474	18,875,174
'14 年度	267,588	4,796,279	3,938,090	8,734,369	436,613	1,028,923	2,973,816	680,990	5,806,585	669,583	11,596,510	20,598,467
'15 年度	241,082	4,638,379	3,487,357	8,125,736	421,420	962,553	2,725,384	593,245	5,048,694	694,055	10,445,351	18,812,169
'15. 7-9月	59,635	1,133,855	831,969	1,965,824	107,590	240,666	708,543	150,821	1,239,829	180,294	2,627,743	4,653,202
10-12月	59,805	1,162,076	889,670	2,051,746	104,260	233,655	669,291	143,237	1,263,233	168,804	2,582,480	4,694,031
'16. 1-3月	61,117	1,168,629	869,464	2,038,093	97,863	227,151	697,857	139,372	1,344,876	183,801	2,690,920	4,790,130
4-6月	60,482	1,141,891	901,829	2,043,720	105,905	236,311	670,371	152,548	1,274,279	176,142	2,615,556	4,719,758
'15年 5月	20,087	397,436	298,168	695,604	40,148	85,194	220,406	55,855	422,368	52,270	876,241	1,591,932
6月	20,092	388,773	292,273	681,046	37,519	93,854	224,632	55,937	370,096	51,508	833,546	1,534,684
7月	19,899	377,911	287,163	665,074	39,689	81,302	231,194	46,716	418,894	58,592	876,387	1,561,360
8月	19,958	371,851	275,582	647,433	32,407	74,792	231,656	51,008	380,222	57,956	828,041	1,495,432
9月	19,778	384,093	269,224	653,317	35,494	84,572	245,693	53,097	440,713	63,746	923,315	1,596,410
10月	20,394	402,461	299,964	702,425	37,564	83,798	218,605	49,508	437,902	59,017	886,394	1,609,213
11月	19,260	390,478	300,827	691,305	31,554	77,314	208,399	49,438	427,479	57,804	851,988	1,562,553
12月	20,151	369,137	288,879	658,016	35,142	72,543	242,287	44,291	397,852	51,983	844,098	1,522,265
'16年 1月	19,652	384,132	272,319	656,451	31,459	68,014	236,824	40,581	476,198	60,238	913,314	1,589,417
2月	20,714	381,932	292,531	674,463	31,851	77,302	234,331	50,867	419,546	54,824	868,721	1,563,898
3月	20,751	402,565	304,614	707,179	34,553	81,835	226,702	47,924	449,132	68,739	908,885	1,636,815
4月	20,509	371,936	284,602	656,538	33,144	72,342	208,460	41,618	389,380	60,765	805,709	1,482,756
5月	20,690	392,171	315,565	707,736	38,470	82,279	231,127	55,849	476,560	55,996	940,281	1,668,707
6月	19,283	377,784	301,662	679,446	34,291	81,690	230,784	55,081	408,339	59,381	869,566	1,568,295
前月比	93.2	96.3	95.6	96.0	89.1	99.3	99.9	98.6	85.7	106.0	92.5	94.0
前年同月比	96.0	97.2	103.2	99.8	91.4	87.0	102.7	98.5	110.3	115.3	104.3	102.2

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

また、鋼種別合計と形状別合計は、出所が異なることから一致しない。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'14 暦年	299,735	6,106,683	1,442,497	4,313,948	2,290,323	6,460,443	20,913,629
'15 暦年	270,761	5,828,923	1,081,718	4,123,192	1,508,876	6,073,343	18,886,813
'14 年度	304,098	6,106,807	1,393,173	4,234,850	2,176,351	6,393,357	20,608,636
'15 年度	269,744	5,701,404	1,009,207	4,171,024	1,580,711	6,091,727	18,823,817
'15. 7-9月	56,400	1,411,432	249,211	1,023,200	354,025	1,561,847	4,656,115
10-12月	69,256	1,433,814	265,065	1,027,324	363,037	1,538,448	4,696,944
'16. 1-3月	82,013	1,372,386	252,736	1,061,788	457,860	1,566,270	4,793,053
4-6月	64,455	1,452,764	243,740	1,020,021	426,323	1,515,372	4,722,675
'15年 5月	28,741	504,118	70,930	358,140	118,648	512,326	1,592,903
6月	19,874	501,649	76,722	358,657	140,522	438,217	1,535,641
7月	13,941	469,357	87,732	348,822	151,881	490,598	1,562,331
8月	14,788	457,999	88,253	328,539	103,581	503,243	1,496,403
9月	27,671	484,076	73,226	345,839	98,563	568,006	1,597,381
10月	31,802	490,424	90,332	352,020	118,758	526,848	1,610,184
11月	16,188	495,654	80,439	345,923	101,009	524,311	1,563,524
12月	21,266	447,736	94,294	329,381	143,270	487,289	1,523,236
'16年 1月	17,173	408,955	94,828	347,752	177,400	544,280	1,590,388
2月	34,629	463,368	83,439	341,773	142,082	499,578	1,564,869
3月	30,211	500,063	74,469	372,263	138,378	522,412	1,637,796
4月	28,306	461,199	77,545	331,767	108,276	476,634	1,483,727
5月	17,578	499,109	85,861	347,689	159,389	560,052	1,669,678
6月	18,571	492,456	80,334	340,565	158,658	478,686	1,569,270
前月比	105.6	98.7	93.6	98.0	99.5	85.5	94.0
前年同月比	93.4	98.2	104.7	95.0	112.9	109.2	102.2

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

(注) 2014年1月以降の形状別合計と鋼種別合計は、出所が異なることから一致しない。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'14 暦年	317,333	3,825,877	4,085,067	7,910,944	266,107	471,325	3,031,187	190,197	120,507	39,810	4,119,133	12,347,410	
'15 暦年	315,222	3,799,665	4,044,736	7,844,401	251,940	451,168	3,015,291	172,597	122,078	35,288	4,048,362	12,207,985	
'14 年度	315,143	3,796,580	4,075,391	7,871,971	241,867	459,359	3,036,399	185,102	126,093	28,652	4,077,472	12,264,586	
'15 年度	319,413	3,811,785	4,049,269	7,861,054	265,198	443,260	3,005,738	169,510	114,666	35,504	4,033,876	12,214,343	
'15年 10月	28,059	323,886	343,500	667,386	21,719	36,836	257,220	14,408	10,502	3,419	344,104	1,039,549	
11月	27,356	320,940	336,537	657,477	20,522	36,278	251,142	14,763	8,811	3,241	334,757	1,019,590	
12月	25,926	316,011	330,174	646,185	19,968	35,926	249,879	15,009	8,608	2,921	332,311	1,004,422	
'16年 1月	26,085	305,692	331,670	637,362	17,528	34,783	245,768	11,422	8,718	2,930	321,149	984,596	
2月	26,623	316,755	339,371	656,126	22,885	36,233	254,888	14,153	9,173	2,368	339,700	1,022,449	
3月	28,995	329,306	346,236	675,542	21,170	38,022	261,712	17,125	8,899	3,706	350,634	1,055,171	
4月	r 26,373	r 314,236	r 349,979	r 664,215	r 20,226	r 43,038	r 247,267	r 13,185	r 9,273	r 2,983	r 335,972	r 1,026,560	
5月	24,731	305,369	347,226	652,595	17,145	39,488	246,236	14,174	7,856	3,143	328,042	1,005,368	
6月	27,378	312,318	351,611	663,929	22,393	43,987	250,117	14,144	10,431	3,517	344,589	1,035,896	
前月比	110.7	102.3	101.3	101.7	130.6	111.4	101.6	99.8	132.8	111.9	105.0	103.0	
前年同月比	98.9	95.5	103.3	99.4	105.5	111.2	99.7	103.8	96.1	115.6	101.6	100.1	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

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			
'14 暦年	10,503	226,316	135,782	362,098	22,297	37,890	122,870	31,045	186,664	33,489	434,255	806,856	
'15 暦年	8,514	219,348	126,553	345,901	26,641	37,142	126,895	26,973	173,408	26,569	417,628	772,043	
'14 年度	8,552	212,735	120,601	333,336	24,229	35,151	116,398	25,803	181,594	33,355	416,530	758,418	
'15 年度	6,741	212,593	129,143	341,736	25,337	35,403	107,219	24,867	151,569	34,374	378,769	727,246	
'15年 10月	8,191	209,341	122,260	331,601	27,619	40,153	112,254	26,221	179,107	34,112	419,466	759,258	
11月	8,801	229,466	128,195	357,661	24,247	39,018	121,157	29,776	174,174	36,335	424,707	791,169	
12月	8,514	219,348	126,553	345,901	26,641	37,142	126,895	26,973	173,408	26,569	417,628	772,043	
'16年 1月	8,899	237,378	137,557	374,935	26,768	36,930	123,303	28,254	193,991	31,746	440,992	824,826	
2月	8,035	238,580	147,509	r 386,089	24,796	38,452	123,844	31,722	188,488	38,181	445,483	r 839,607	
3月	6,741	212,593	129,143	341,736	25,337	35,403	107,219	24,867	151,569	34,374	378,769	727,246	
4月	7,860	223,881	129,602	353,483	28,186	33,342	109,401	25,890	156,042	41,889	394,750	756,093	
5月	8,298	224,516	135,890	360,406	30,236	32,464	119,892	29,300	180,315	36,242	428,449	797,153	
6月	8,081	228,413	141,867	370,280	29,233	33,565	118,640	29,992	160,576	35,517	407,523	785,884	
前月比	97.4	101.7	104.4	102.7	96.7	103.4	99.0	102.4	89.1	98.0	95.1	98.6	
前年同月比	95.3	101.7	112.1	105.5	104.0	86.7	118.5	114.4	80.0	129.4	96.7	100.6	

出所: 2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'14 暦年	53,199	201,643	148,119	349,762	11,009	52,983	140,388	14,860	10,308	1,767	231,315	634,276	
'15 暦年	61,896	202,211	146,758	348,969	13,423	52,972	134,135	11,968	11,624	1,683	225,805	636,670	
'14 年度	58,240	210,206	147,346	357,552	12,927	49,435	140,051	13,509	10,900	1,581	228,403	644,195	
'15 年度	61,699	200,931	139,603	340,534	13,258	53,426	135,679	14,121	11,473	1,763	229,720	631,953	
'15年 10月	58,944	206,238	141,402	347,280	12,450	52,892	136,494	14,323	11,396	1,677	229,232	635,456	
11月	59,920	206,589	140,426	347,015	12,510	52,179	132,827	12,431	11,388	1,686	223,021	629,956	
12月	61,896	202,211	146,758	348,969	13,423	52,972	134,135	11,968	11,624	1,683	225,805	636,670	
'16年 1月	64,189	204,161	142,374	346,535	12,863	51,280	135,861	14,213	11,475	1,723	227,415	638,139	
2月	64,109	200,964	139,898	340,862	13,069	51,051	135,133	13,986	11,545	1,666	226,450	631,421	
3月	61,699	200,931	139,603	340,534	13,258	53,426	135,679	14,121	11,473	1,763	229,720	631,953	
4月	r 60,083	r 201,595	r 144,132	r 345,727	12,230	r 62,853	r 132,259	r 13,812	r 11,048	1,643	r 233,845	r 639,655	
5月	60,399	210,309	150,414	360,723	13,197	66,022	134,666	15,016	10,686	1,616	241,203	662,325	
6月	60,246	203,056	148,962	352,018	11,937	65,758	133,755	14,243	10,337	1,283	237,313	649,577	
前月比	99.7	96.6	99.0	97.6	90.5	99.6	99.3	94.9	96.7	79.4	98.4	98.1	
前年同月比	98.2	95.1	101.0	97.5	93.9	127.2	98.4	108.8	93.6	78.7	105.0	100.2	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸出

(単位：t)

Table of special steel exports. Columns include month/year, tool steel, structural steel (mechanical construction, construction alloy), special use steel (low alloy, stainless, piano wire), other steel (high alloy, other alloy), and total special steel. Rows cover '14 fiscal year to June 2016.

出所：財務省関税局「貿易統計」から作成。

輸入

(単位：t)

Table of special steel imports. Columns include month/year, tool steel, low alloy steel, stainless steel (ferrous, manganese, wire, plate, pipe), fasteners, other steel (high alloy, other alloy), and total special steel. Rows cover '14 fiscal year to June 2016.

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)

Table of related industry indicators. Columns include month/year, 4-wheel passenger vehicles, 4-wheel commercial vehicles, light vehicle sales, construction machinery production, vehicle production, machinery orders, and working machinery orders. Rows cover '14 fiscal year to June 2016.

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 1 6 年 6 月 分

鋼種別	月別		実数 (t)	前月比 (%)	前年 同月比(%)	1995年基準 指数(%)		
	項目							
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産		19,283	93.2	96.0	86.7		
	鋼材輸入実績		179	52.2	53.0	121.6		
	販売業者	受入計		27,225	108.7	94.5	132.4	
		販売計		27,378	110.7	98.9	134.4	
		うち消費者向		20,506	112.6	103.5	218.5	
		在庫計		60,246	99.7	98.2	167.1	
	鋼材輸出船積実績		3,491	129.3	89.5	97.5		
	生産者工場在庫		8,081	97.4	95.3	72.1		
	総在庫		68,327	99.5	97.9	144.9		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産		679,446	96.0	99.8	125.2	
鋼材輸入実績			34,567	138.5	108.3	2268.3		
販売業者		受入計		655,224	98.1	98.6	198.4	
		販売計		663,929	101.7	99.4	202.5	
		うち消費者向		440,819	98.7	98.1	206.3	
		在庫計		352,018	97.6	97.5	146.5	
鋼材輸出船積実績			77,853	102.2	84.1	459.9		
生産者工場在庫			370,280	102.7	105.5	123.7		
総在庫			722,298	100.2	101.4	133.8		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産		34,291	89.1	91.4	80.6	
	鋼材輸入実績		348	142.7	41.0	-		
	販売業者	受入計		21,133	116.7	99.7	141.6	
		販売計		22,393	130.6	105.5	150.3	
		うち消費者向		4,492	120.9	104.2	36.2	
		在庫計		11,937	90.5	93.9	375.6	
	鋼材輸出船積実績		15,858	109.0	100.3	125.3		
	生産者工場在庫		29,233	96.7	104.0	91.0		
	総在庫		41,170	94.8	100.8	116.6		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産		230,784	99.9	102.7	85.4	
鋼材輸入実績			16,871	96.4	128.4	432.8		
販売業者		受入計		249,206	100.2	101.2	165.9	
		販売計		250,117	101.6	99.7	167.4	
		うち消費者向		57,118	104.7	99.2	100.2	
		在庫計		133,755	99.3	98.4	121.0	
鋼材輸出船積実績			84,363	111.1	99.8	83.0		
生産者工場在庫			118,640	99.0	118.5	80.6		
総在庫			252,395	99.2	106.9	97.9		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産		55,081	98.6	98.5	62.2	
	販売業者	受入計		13,371	86.9	110.3	79.5	
		販売計		14,144	99.8	103.8	85.4	
		うち消費者向		13,799	100.5	105.6	97.0	
		在庫計		14,243	94.9	108.8	62.2	
	生産者工場在庫		29,992	102.4	114.4	133.4		
	総在庫		44,235	99.8	112.5	97.5		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産		408,339	85.7	110.3	174.4	
		販売業者	受入計		10,082	134.5	95.3	81.4
			販売計		10,431	132.8	96.1	84.5
うち消費者向				8,130	135.1	111.4	151.0	
在庫計				10,337	96.7	93.6	78.0	
生産者工場在庫			160,576	89.1	80.0	95.8		
総在庫			170,913	89.5	80.7	94.5		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産		141,071	102.0	97.0	60.2	
		販売業者	受入計		46,907	102.5	106.0	378.7
			販売計		47,504	111.4	111.5	384.7
	うち消費者向			32,934	84.4	85.0	611.8	
	在庫計			67,041	99.1	125.8	506.0	
	生産者工場在庫		69,082	100.5	104.4	41.2		
	総在庫		136,123	99.8	113.9	75.3		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計		1,568,295	94.0	102.2	116.4	
		鋼材輸入実績計		81,000	125.7	111.7	1024.2	
		販売業者	受入計		1,023,148	99.5	99.5	179.0
販売計				1,035,896	103.0	100.1	182.1	
うち消費者向				577,798	99.3	97.9	171.6	
在庫計				649,577	98.1	100.2	146.9	
鋼材輸出船積実績計			679,122	102.6	110.0	202.4		
生産者工場在庫			785,884	98.6	100.6	103.1		
総在庫			1,435,461	98.4	100.4	119.2		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

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

- (注) 1.熱間圧延鋼材生産、生産者工場在庫及び総在庫は、2014年1月より『経済産業省生産動態統計』から『鉄鋼生産内訳月報』に変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。
 2.鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算し
 3.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

(平成28年6月1日～7月31日)

海外委員会

専門部会（6月3日）

- ①「欧米の特殊鋼需給動向（仮称）」調査内容の検討
- ②個別通商問題の対応
- ③その他

説明会（日本鉄鋼連盟、ステンレス協会と共催、7月4日）

演 題：「安全保障貿易管理」

講 師：経済産業省 安全保障貿易審査課 上席安全保障貿易審査官
寺内 純子氏
経済産業省 安全保障貿易検査官室 上席安全保障貿易検査官
山岸 良雄氏

参加者：91名

説明会（7月13日）

演 題：「海外特殊鋼メーカーの現状」

講 師：日鉄住金総研(株) 調査研究事業部 研究主幹 小島 政道氏
神鋼リサーチ(株) 産業戦略情報本部 調査一部 上席主任研究員
野尻 英一氏

参加者：85名

市場開拓調査委員会

委員会（6月2日）

- ①平成27年度活動報告
- ②平成28年度活動計画の検討
- ③その他

説明会（6月7日）

演 題：「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用実態調査報告書・第5回電気自動車編」の解説

講 師：日鉄住金総研(株) 経済産業調査部
菊池 勝義氏

参加者：86名

説明会（7月5日）

演 題：「最近の自動車産業の動向」

講 師：一般社団法人 日本自動車工業会
総務統括部 企画・調査担当
副統括部長 持田 弘喜氏

参加者：48名

編集委員会

小委員会（6月24日）

11月号特集「世の中で活躍する特殊鋼」（仮題）の編集内容の検討

本委員会（7月12日）

- ①11月号特集「世の中で活躍する特殊鋼」（仮題）の編集方針、内容の確認
- ②平成29年7月号以降の特集テーマについて

流通委員会

説明会（7月8日）

演 題：「平成28年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し」

講 師：経済産業省製造産業局金属課課長補佐
岡田 治氏

参加者：36名

[大阪支部]

定時総会（6月8日）

- ①平成27年度事業・収支報告
- ②平成28年度事業計画（案）・収支予算（案）・役員人事他承認

二団体共催説明会（6月23日）

演 題：「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用実態調査報告書・第5回電気自動車編」の解説

講 師：日鉄住金総研(株) 経済産業調査部
菊池 勝義氏

参加者：71名

二団体共催講演会（7月8日）

演 題：「最近の自動車産業の動向」

講 師：一般社団法人 日本自動車工業会
総務統括部 企画・調査担当
副統括部長 持田 弘喜氏

参加者：59名

[名古屋支部]

定時総会（6月9日）

- ①平成27年度事業並びに決算報告
- ②監査報告
- ③平成28年度事業計画並びに収支予算案
- ④平成28年度役員及び運営委員の報告

部会

- 工具鋼部会（7月22日）
- 構造用鋼部会（7月27日）
- ステンレス鋼部会（7月28日）

三団体共催講演会（7月7日）

演 題：「最近の自動車産業の動向」

講 師：一般社団法人 日本自動車工業会
総務統括部 企画・調査担当
副統括部長 持田 弘喜氏

参加者：88名

説明会（6月24日）

演 題：「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用
実態調査報告書・第5回電気自動車
編」の解説

講 師：日鉄住金総研(株) 経済産業調査部
菊池 勝義氏

参加者：82名



特殊鋼倶楽部の動き

「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用実態調査 第5回 電気自動車編」調査報告書の説明会開催

去る6月7日（火）に午後1時30分より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館701号室において「自動車の技術変化に伴う特殊鋼使用実態調査 第5回電気自動車編」調査報告書の説明会を開催しました。

本説明会は、当倶楽部・市場開拓調査委員会の平成27年度調査事業として実施した調査報告書を解説したものです。この調査は、平成3年度、平成8年度、平成13年度、平成24年度と継続的に実施してきましたが、今回第5回として初の電気自動車を解体し、その部品の材質、使用重量等を分析しました。当日は、講師として調査を担当された日鉄住金総研（株）経済産業調査部 菊池勝義氏にご説明頂き、参加者は86名でした。

説明の内容は、調査結果の概要編（過去からの調査を踏まえた全体の流れ、比較〔ガソリン→ハイブリッド→EV〕、報告書本編の抜粋編（今回の電気自動車解体調査の詳細説明）でした。

約1時間30分の説明会でしたが、菊池講師の詳細かつ分かり易い説明で盛会の内に終了いたしました。

本説明会は東京会場の他、大阪会場は6月23日（木）鉄鋼會館5・6号室（参加者67名）において、名古屋会場は6月24日（金）ウイングあいち1201会議室（参加者82名）においても開催しました。

また、説明会に参加された方々にはアンケートを実施させていただき、貴重なご意見をありがとうございました。次回説明会に是非とも生かしたいと思っております。

多数のご参加をいただき、ありがとうございました。

なお、当日資料は、倶楽部HP→会員専用ページの会員専用→イベントに掲載しています。

以下に、会場写真を掲載いたします。



【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】

「安全保障貿易管理」説明会開催

一般社団法人特殊鋼倶楽部、一般社団法人日本鉄鋼連盟及びブステンレス協会との三団体共催で昨年引き続き去る7月4日（月）午後1時30分より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館701号室において「安全保障貿易管理」説明会を開催しました。

近年、大量破壊兵器の拡散やテロの頻発が世界情勢を不安定化させ、各国の経済発展にも大きな影響を及ぼしかねない状況にあることから各団体会員企業各社より91名の参加がありました。

当日は、「安全保障貿易管理」の講師として経済産業省・貿易経済協力局 貿易管理部 安全保障貿易審査課 上席安全保障貿易審査官 寺内純子氏、「法令遵守のポイント」の講師として同省 貿易経済協力局 貿易管理部 安全保障貿易検査官室 上席安全保障貿易検査官 山岸良雄氏をお招きしました。

「安全保障貿易管理」については、1. 安全保障貿易管理の必要性、2. 国際的な脅威と国際輸出管理レジームの概要、3. 我が国の安全保障貿易管理制度、4. 違反に対する罰則等。「法令遵守のポイント」については、1. 輸出管理の審査手続き。2. 法令遵守のための内部規程の整備、3. 包括許可制度と立入検査、4. 関連情報の入手、について配布資料に沿いそれぞれ詳細にご説明頂きました。

鉄鋼業界の各企業においてもコンプライアンス等の観点から外国為替及び外国貿易法（外為法）を遵守し、的確かつ効率的な輸出管理の実施が一段と重要になっている旨、強調していました。

なお、日常の業務で気になる点があれば、ホームページで関連情報を入手したり、電話にて問合せしたりしてほしいとのアドバイスをいただきました。以下を参照して下さい。

経済産業省 安全保障貿易管理ホームページ

<http://www.meti.go.jp/policy/anpo/index.html>

電話：03-3501-3679（安全保障貿易 案内窓口）

また、説明会に参加された方々にはアンケートを実施させていただき、貴重なご意見をありがとうございました。次回説明会には是非とも生かしたいと思っております。

多数のご参加をいただき、ありがとうございました。

以下に、会場写真を掲載いたします。



【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】

定例講演会「最近の自動車産業の動向」の開催

去る7月5日（火）15時より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館701号室において定例講演会「最近の自動車産業の動向」を開催しました。

本説明会は当倶楽部・市場開拓調査委員会の2016年度事業として実施し、講師として一般社団法人日本自動車工業会 総務統括部 企画・調査担当 副統括部長 持田 弘喜 氏をお招きしお話を伺いました。

説明の内容は、資料に基づき「Ⅰ. 販売・生産・輸出の状況」、「Ⅱ. (1) 電動車両、燃料電池車、(2) 自動運転」、「Ⅲ. 主要国の販売動向、業績関連（参考情報）」でした。

持田氏の詳細かつ分かり易いご説明で約1時間30分程の説明会でしたが、参加された約50名の皆さんは、最後まで熱心に講師の話しに耳を傾け、盛会の内に終わることが出来ました。

また、同講演会は、名古屋7月7日 WINC愛知、大阪7月8日 大阪鉄鋼会館にても開催しました。以下に会場の写真を掲載します。



【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】



【会場の様子（名古屋・WINCあいち）】

「海外特殊鋼メーカーの現状」調査報告書の説明会開催

去る7月13日（水）、午後1時30分より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館701号室において「海外特殊鋼メーカーの現状」調査報告書の説明会を開催しました。

本説明会は、当倶楽部・海外委員会の2015年度調査事業として実施した調査報告書を解説したものです。当日は、講師としてグローバルな文献調査を担当された日鉄住金総研（株）調査研究事業部 研究主幹 小島政道氏、中国現地調査を担当された神鋼リサーチ（株）産業戦略情報本部 調査一部 首席主任研究員 野尻英一氏にご説明頂き、参加者は85名でした。

説明の内容は、以下の通りです。

- ①グローバルな文献調査
 - 1. 韓国（生産動向、業界動向、メーカー）
 - 2. 中国（生産状況、中国特鋼企業協会会員概況）
 - 3. 台湾（生産、特殊鋼業界の動向、メーカー）
 - 4. 欧州、5. 北米および南米、6. インドおよびアセアン
- ②中国現地調査
 - 1. 中国の自動車産業の状況、中国経済の状況
 - 2. 現地でのヒヤリング内容
 - 3. ヒアリングからわかった中国特殊鋼市場の状況（まとめ）

約2時間の説明会でしたが、小島講師、野尻講師の詳細かつ分かり易い説明で盛会の内に終了いたしました。

また、説明会に参加された方々にはアンケートを実施し、貴重なご意見をありがとうございました。次回説明会に是非とも生かしたいと思います。

多数のご参加をいただき、ありがとうございました。

なお、当日資料は、倶楽部HP→会員専用ページの会員専用→イベントに掲載しています。

以下に、会場写真を掲載いたします。



【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 24社</p> <p>販売業者 100社</p> <p>合 計 124社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>(株)神 戸 製 鋼</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>新 日 鐵 住 金 (株)</p> <p>新 日 鐵 住 金 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 新 製 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹 内 ハ ガ ネ 商 行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デ ル タ ス テ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 金 属 (株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長 谷 川 ハ ガ ネ 店</p> <p>(株)ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 商 事 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ブ</p>	<p>(株)平 井</p> <p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)ブ ル ー タ ス</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 ス チ ー ル (株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン チ ュ ー プ ラ ー</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

今回9月号の特集は「特殊鋼に要求される特性とその評価方法」ですが、これまでも特殊鋼の評価試験に関して2002年2月号で「特殊鋼製品ができるまでの試験と検査」や2011年5月号にて「特殊鋼を支える非破壊検査」等で詳述されています。そこで今回の編集のポイントを特殊鋼に要求される品質特性をどのように評価・試験しているのかに置き、記述においても若手技術者、ユーザーおよび流通の若手の方を読者ターゲットとして平易に解説する事にしました。

I章の総論では機械試験や鋼質試験の概要を解説、主にJISに規定されている試験方法の基本事項をイントロダクションにしました。その後実際に試験検査機器を製造されているメーカーの方による最新の検査機器と技術を紹介頂きました。検査機器を作る側からの視点で原理や目標性能が論述されており、技術の進歩や開発動向を知っていただけのものと思います。II章の各特殊鋼製品の評

価試験とその適用では各鋼種毎に求められる品質特性を具体的に提示し、その特性をどのような検査手法で評価し、品質管理に活かされているかが各特殊鋼メーカーより解りやすく解説されています。実際に特殊鋼を使用されるユーザーにとっても特殊鋼の品質特性評価の現状を深くご理解いただける内容であります。

今後も続くであろう要求品質の高まりに対し、それに対応した製造技術改善と検査・評価する技術の開発はまさに車の両輪であり互いに連携しながら特殊鋼製品の品質向上に努めて行かねばならないと考えます。

最後になりましたが、今回の特集を組むにあたりご多忙中にも関わらずご寄稿いただいた執筆者の皆様、編集にご協力いただいた事務局の皆様に深く感謝申し上げます。

〔日新製鋼株式会社 品質保証・技術サービス部 赤見 大樹〕
〔普通鋼・特殊鋼品質保証チーム 赤見 大樹〕

特 集 / 世の中で活躍する特殊鋼

- I. はじめに
- II. 身近な特殊鋼
- III. 社会を支える特殊鋼

1月号特集予定…地球環境に貢献する特殊鋼

特 殊 鋼

第 65 卷 第 5 号
© 2 0 1 6 年 9 月
平成28年8月25日 印 刷
平成28年9月1日 発 行

定 価 1,230円 送 料 100円
1年 国内7,300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。