

特殊鋼

2015
Vol.64 No.4

7

The Special Steel

特集／やさしく知る特殊鋼の熱処理



特殊鋼

7 目次 2015

【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)
〃	松村 康志 (大同特殊鋼)
〃	内藤 靖 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 昌男 (日本冶金工業)
〃	田村 庸 (日立金属)
〃	山岡 拓也 (三菱製鋼室蘭特殊鋼)
〃	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／やさしく知る特殊鋼の熱処理】

I. 概論

—特殊鋼の熱処理—	豊田工業大学	奥宮 正洋	2
-----------	--------	-------	---

II. 熱処理の種類

1. 一般熱処理	(株)IHI	石毛 健吾	5
2. 表面硬化熱処理	松山技研(株)	野村 博郎	10

III. 鋼種別熱処理の基礎知識

1. 構造用鋼 (炭素鋼・強靱鋼)	日新製鋼(株)	鈴木 雅人	14
2. 構造用鋼 (肌焼鋼、窒化鋼)	愛知製鋼(株)	安達 裕司	18
3. 工具鋼	日立金属(株)	鳴海 雅稔	22
4. ばね鋼	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	山岡 拓也	27
5. 軸受鋼	山陽特殊製鋼(株)	平塚 悠輔	31
6. ステンレス鋼	日本冶金工業(株)	及川 誠	34
7. 耐熱鋼・耐熱合金	大同特殊鋼(株)	鷲見 芳紀	38

IV. 会員会社の特徴のある熱処理技術

当社の歯車用鋼 冷間鍛造用鋼KSGシリーズ	(株)神戸製鋼所	岩崎 克浩	42
新設熱処理炉による低歪高性能熱処理	小山鋼材(株)	稲垣 秀治	43
厚鋼板オンライン熱処理設備「HOP®」	JFEスチール(株)	西村 公宏	44
超高温浸炭処理に適した異常粒成長抑制鋼 (製造性と異常粒成長抑制能に優れる省合金肌焼鋼)	大同特殊鋼(株)	宮崎 貴大	45
キリンコート®	東北特殊鋼(株)	荒木 亘	46

特殊熱処理棒鋼 DTM-100

..... 三菱製鋼室蘭特殊鋼(株) 渡辺 幹 47

“特集”編集後記..... 大同特殊鋼(株) 松村 康志 57

●一人一題：「特殊鋼倶楽部会員の皆様へ」

..... 産業技術短期大学 小島 彰 1

■業界の動き 48

▲特殊鋼統計資料 51

★倶楽部だより（平成27年4月1日～5月31日）..... 55

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 56

特集／「やさしく知る特殊鋼の熱処理」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	松村 康志	大同特殊鋼(株)	特殊鋼製品本部 自動車材料ソリューション部 主席部員
委員	杉本 淳	愛知製鋼(株)	品質保証部お客様品質・技術室 主査
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	軸受営業部 軸受CS室長
〃	青山 敦司	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室
〃	内藤 靖	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 主任部員
〃	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
〃	佐藤 昌男	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部長
〃	田村 庸	日立金属(株)	高級金属カンパニー 技術部長
〃	山岡 拓也	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	技術部部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長

一人一題

「特殊鋼倶楽部会員の皆様へ」

産業技術短期大学学長 **小島 彰**



本年5月の第34回通常社員総会で専務理事を退任し、産業技術短期大学の学長に就任しております。特殊鋼倶楽部では短い間でしたが会員の皆様には大変お世話になりました。

小職が昭和50年に当時の通商産業省で初めてもらった係長の辞令が「特殊鋼係長」であったこともあり、「特殊鋼」については思い入れがあります。当時、米国の通商法輸入規制の最初の事例が特殊鋼（ステンレス鋼及び工具鋼）でありましたが、日米の統計の違いから軸受鋼が規制されたりして、その解決に取り組んだことが印象に残っております。その後の数度にわたる製鉄課（現在の鉄鋼課）勤務で、特殊鋼の原料であるレアメタルの備蓄や特殊鋼の需要見通し、特に製鉄課長の時は特殊鋼流通協会の社団法人化が迫っていたこともあり、流通関係の多くの方々とも一緒にいろいろな取組に楽しく参加させていただきました。

特殊鋼倶楽部では、18年ぶりの特殊鋼との再会でありました。当時作成した特殊鋼記号集が改定されずに残っておりまして、平成26年度事業として取組み、改訂版を世に出すことができました。これも何かの縁と関係の皆様には感謝しております。

さて、産業技術短期大学は昭和37年に日本鉄鋼連盟が鉄鋼企業の社員の再教育のために創設した短期大学で、53年の歴史を有し、これまで13,000名の卒業生を世に送り出しております。1学年の定員は約250名で、この中で企業からの派遣生40名強が一般の高卒の学生と一緒に学ぶというユニークな教育を行っております。

こうした特徴を有する本学のような存在は他に例がなく、時代の最先端を行く大学と自負しております。と申しますのは、最近文部科学省では技術進歩に対応した新たな職業人教育の場として、産業界の学び直しの機会や産業界と一体となった新たな高等教育機関の創設を検討しておりますが、こうした構想を実に50年前に当時の鉄鋼業界の方々が発議して、具体化させているからであります。こうした鉄鋼業界の先見性に頭が下がる思いです。

人材の育成こそ、企業を支え、国を支える重要事項ですが、業界で大学を創設した事例は他にないと思います。本学は、機械工学、電気電子工学、情報処理工学及びものづくり創造工学という4学科体制で、鉄鋼業界からのこれまでの支援もあり、大阪と神戸の中間地という交通至便な地に大学設置基準の12倍もの広大な敷地の中に教員1名あたりの学生数が8名という少人数教育を実現し、成果をあげて来ました。

抜群の就職率や最近では本学卒業後に国公立の4年生大学へ編入学する学生も増加しております。換言すれば自分の適性や社会の有り様をより明確に認識できる20歳にして自らの進路を選択できるという機会を多くの若者に提供しております。その際、社会人との共学が大きな力になることは言うまでもありません。

一方社会人学生にとりましては人生の先輩として後進の指導に当たることで指導力を身に着ける機会ともなっております。

鉄鋼業界発のこのユニークな短期大学の存在、有効性を、特殊鋼業界の皆様を始め、より多くの方にご理解いただき、活用していただきたいと考えております。

今後さらに企業ニーズに即した人材育成に力を入れていきたいと考えておりますが、その前提として企業、業界との連携が重要です。ぜひ関係の皆様にも現地を見ていただきたいと思っております。また各種のイベントや講演会等の会場としても活用いただければと考えております。大阪支部のみならず、名古屋、東京の方々にもぜひ足をお運びください。尼崎の地で特殊鋼倶楽部の会員の皆様とお会いできますようお待ちしております。

今後ともよろしくお願ひ申し上げます。

(一般社団法人特殊鋼倶楽部前専務理事)

やさしく知る 特殊鋼の熱処理

I. 概 論

—特殊鋼の熱処理—

豊田工業大学 おくみやまさひろ
材料プロセス研究室 教授 奥宮正洋

まえがき

金属、プラスチック、セラミックス、複合材料などは、構造用部品に利用可能な材料である。これらの材料の中から、コスト、重量、強度（比強度）、手に入りやすさ、および加工のしやすさなどを考慮して使用する材料が選択される。金属、その中でも鋼はコスト、強度、手に入りやすさ、加工のしやすさに優れているため、構造用部品の材料として多用されている。特殊鋼は鋼の中でも優れた特性を有し、鉄に炭素以外のさまざまな元素を特殊の目的で加えた合金鋼のことで、添加する元素によって、硬さ、強度、靱性、耐磨耗性、耐熱性、耐食性などの特性が向上する。たとえば、ニッケルを加えると靱性と強度が向上するとともに耐熱性も向上し、モリブデンを加えると高温での強度、硬さが増加し、クロムや銅を加えると耐食性が増加する。つまり特殊鋼は、いろいろな要求や用途に対応可能な鋼と言える^{1)、2)}。

特殊鋼は一般熱処理（調質）または表面硬化熱処理を施して使用するものが多い。熱処理によって鋼が本来有している特性を最大限まで引出すことが可能であり、言い換えれば、熱処理を行わないと硬さや耐食性などの各種特性を向上させるために添加した元素の効果が発揮されず、特殊鋼も普通の鋼になってしまうということである。以下に、特殊鋼における合金元素が熱処理特性に及ぼ

す影響の身近な例、特殊鋼における熱処理の重要性について述べる。

◇ 特殊鋼における合金元素が熱処理特性に及ぼす影響：合金元素の添加による焼入性の向上

鋼は機械構造用材料として広範囲に利用されている金属材料の代表である。炭素鋼および低合金鋼の場合、高温のオーステナイト相からの急冷により、著しい硬化と変態膨張を伴ってマルテンサイト変態をする。これを焼入れと呼び、焼戻しと組み合わせて鉄鋼材料に強じん性を付与する基本的な熱処理法である。鋼部材を焼入れ硬化させる場合、同一材質でも冷却速度が速い方が硬化しやすく、また材質および冷却方法が同じでも大型部品より小型部品の方が硬化しやすい。さらに、焼きの入りやすさは鋼種が異なれば変化し、炭素鋼よりもクロムやモリブデンなどを含む鋼の方が硬化しやすく、内部まで焼が入る。鉄鋼材料の焼入れ硬化は、鋼材の大きさ（質量効果）、冷却剤の冷却能、鋼材自身の硬化のしやすさ、すなわち焼入性に支配される。この鉄鋼材料の焼入れによる硬化のしやすさを焼入性と呼び、クロム、マンガンやモリブデンなどの合金元素の添加によって焼入性は向上する。図1に約0.35mass%の炭素を含む機械構造用炭素鋼鋼材S35C、クロムを0.90～1.25mass%、モリブデンを0.15～0.30mass%含有

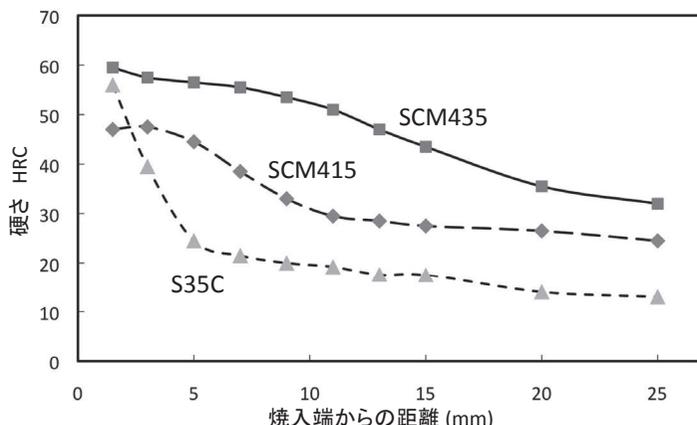


図 1 S35C、SCM435およびSCM415鋼の焼入性試験結果

したクロムモリブデン鋼鋼材のうち約0.35mass%の炭素を含むSCM435および約0.15mass%の炭素を含むSCM415の3鋼種を供試材に用い、JIS G 0561に規定された鋼の焼入性試験方法に従って行った焼入性試験の結果を示す。鋼の焼入性試験では、オーステナイト状態まで加熱した全長100mm、直径25mmのフランジ付き丸棒試験片を、一端面のみ水を噴射させることによって冷却し、互いに180度隔てた相対する位置を、試験片の全長にわたって各々0.4~0.5mm研磨して除去し、その両面の硬さを測定して焼入性を評価する。図1におけるS35CとSCM435のデータを比較すると、水がかかった位置に近い部分の硬さはほぼ同じであるが、焼入端からの距離が遠くなるとS35Cの硬さは直ちに低下し、一方SCM435の硬さの低下はゆるやかである。焼入れ端からの距離が遠くなるほど冷却速度は遅くなるが、SCM435は冷却速度が遅い位置でも硬さが維持されており、焼が入りやすい、つまり焼入性が良い鋼材と言える。また、SCM415は焼入端に近い部分の硬さはS35CおよびSCM435よりも低いが、冷却速度が遅くなる焼入端から遠い部分の硬さが焼入端近傍の硬さからほとんど低下していないことから、SCM415も焼入性が良い鋼種と言える。これらのことより、機械構造用部品で肉厚が厚いなど質量効果が大きい部品において比較的內部まで焼入硬さを向上させる必要がある場合には、焼入性の良い鋼種を使う必要がある。

最も焼入端に近い位置の硬さはS35CとSCM435

が約HRC55~60とほぼ同じとなり、SCM415が約HRC47と低い値を示している。鋼の硬さは焼入れによってマルテンサイト組織に変化して上昇するが、そのマルテンサイトの硬さ（焼入硬さ）はほとんど炭素量のみ依存して、合金元素にはあまり影響されないということである。

合金元素を添加するとなぜ焼入性が向上するのかについては様々な考え方があり、添加元素それぞれによっても効果が異なっている。合金元素添加によってオーステナイト領域が拡大される、パーライト変態を起こす際の炭化物形成が抑制されるなどが焼入性向上のメカニズムと考えられる。

◇ 特殊鋼における熱処理の重要性：ステンレス鋼の固溶化熱処理

我々の生活の中で大変大きな役割を果たしているのがステンレス鋼である。台所にある流しのシンクや水栓、またはスプーンやフォークにもステンレスが使用されている。これらにステンレスが使用されるのは錆びないからであり、耐食性は下記に示すメカニズムによる。例えば家庭内で最も使用されているSUS304（18-8ステンレスとも呼ばれる）は約18mass%のクロムと約8mass%のニッケルを含んでおり、それぞれが耐食性を向上させている。腐食は酸化反応であるが腐食が進行する際は鋼の表面で酸化反応のみが進行するのではなく、酸化反応で材料中に生じた電子が消費される還元反応がどこか別の場所で起こっている必要がある。還元反応も生じないと腐食は進行しない。

還元反応の例として、鋼が触れている水の中の水素イオンの還元反応が考えられる。このように酸化反応と還元反応がセットで起こることによって腐食が進行してゆく。これは電池の反応と同様で、陽極と陰極の二つの極が必要、つまり鋼の中に異なる2つの相が存在する必要があるということである。例えば鋼が一つの相だけから形成されていれば電池を形成することが出来ず腐食は進行しない。ニッケルは鋼のオーステナイト領域拡大型元素であり、8mass%のニッケルを含んでいるSUS304は室温でもオーステナイト相のみを示す。よって電池反応、つまり酸化（電子を放出して陽イオンとなる）反応および還元（陽イオンが電子を受ける）反応が形成されず腐食は進行しない。

一方、クロムは非常に酸化しやすい元素であり、SUS304において18mass%含まれているクロムは表面で薄くて緻密なクロムの酸化膜である不働態膜を形成して耐食性を発揮している。しかしながら、クロムは炭素とも化合物を形成しやすく、SUS304中に炭素が含まれると炭化物を生成して、オーステナイト中に固溶しているクロム量が低下し、耐食性が低下する。またクロム炭化物が粒界に析出すると、炭化物と素地の間で局部電池が構成され、腐食が結晶粒界に沿って内部に進行することとなる。炭化物の形成を防ぐためにステンレス鋼では炭素量を低くすることが行われているが、それでも炭化物が析出してしまった際には、固溶化熱処理を行う。固溶化熱処理はクロム炭化物または σ 相などのぜい化相の固溶および加工ひずみの除去を目的として行われる。例えばSUS304においては1010～1150℃に加熱保持し、炭化物を分解させてクロムを固溶させた後に急冷を行う。冷却途中で鋭敏化温度付近、SUS304ではおよそ600～800℃で再び炭化物が析出することを防ぐために冷却速度は速いほどよいが、あまり急冷をすると熱ひずみのため変形する可能性がある。よって材料

の形状や肉厚などに応じて自然空冷、送風冷却、水冷などを選択する。ただしSUS304では鋭敏化温度範囲を約2℃/sec以上の冷却速度で冷却する必要がある。オーステナイトステンレス鋼は溶接が容易であるが、溶接部位から少し離れた部分が鋭敏化温度に加熱される。よって炭素量が多いステンレス鋼の場合はこの部分に炭化物の析出が生じ、溶接後の使用中に粒界腐食または粒界割れが起こる。大きな構造物などでは固溶化熱処理を行うことは不可能であるので、炭素含有量の低いSUS304Lなどの鋼材を使用するか、チタンやニオブなどを添加して含有炭素を固定する方策がとられる。

むすび

上記で述べた鋼種他に、特殊鋼にはベアリングなどで使用される高炭素クロム鋼の軸受鋼や、工具鋼に分類される高炭素量でクロム、タングステンあるいはモリブデンを添加した切削工具鋼、室温付近での鍛造や成形ロールなどの加工に使用される冷間工具鋼、ダイカストや熱間押出しなどの金型に使用される熱間工具鋼、切削工具、ロールなどに用いられる高速度工具鋼などがあるが、いずれの特殊鋼にも熱処理が行われ、その役割は大変重要である。熱処理によって硬さ、耐摩耗性等の機械的性質が向上するのみではなく、切削性等も向上させることが可能である。丈夫で長持ちをする部品を作るためには、「良い設計」をして、「良い材料（適した鋼材）」を用いて、「良い熱処理（適切な熱処理）」を施す必要がある。その意味でも、適した特殊鋼を選択して、適した熱処理を施すことがとても重要である。

参考文献

- 1) 小林一博：熱処理、53巻（2013）、P58
- 2) 特殊鋼、64巻（2015）、「よくわかる特殊鋼の製造プロセス」
- 3) 小林一博：第79回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集（2015）、P 21

Ⅱ．熱処理の種類

1．一般熱処理

(株)IHI 技術開発本部 いしげけんご
生産技術センター 石毛健吾

普通鋼がおもに熱処理を施さずに圧延ままの状態で使用されるのに対して、特殊鋼では焼入焼戻しなどの熱処理により材料の機械的特性を十分引き出すことが大切になる。JISで規定されている熱処理方法とそれをあらわす記号のうち、主なものについてまとめたものを表1に示す。また熱処理の基本を理解するためには、鉄炭素2元系平衡状態図（以下状態図）の知識が必要になるので簡単な説明を以下に示す。

図1は状態図の一部に主な熱処理である完全焼なまし・焼入れ・焼ならしの保持温度の範囲を示したものである。状態図の横軸は化学成分を示すもので、図1では鋼中のC（炭素）量を示している。C量が0.0ということは100%Fe（純鉄）を示すことになり、この図では1.6%C（98.4%Fe）の成分範囲までを表している。図中の下部に、代表的な特殊鋼のC量範囲を亜共析鋼、共析鋼、過共析鋼とともに示した。特殊鋼ではCのほかにMn、

Cr、Ni、Moなどの合金成分がC以外に添加されているため、横軸をC量だけで説明することは無理があるが、基本的な熱処理の理解としては大きな差異があるわけではない。

一方縦軸は温度を示している。状態図というように、この図はあるC量の鋼がある温度でどのような状態（組織）が安定であるかを示している。例えば、0.6%Cの鋼を800℃に保持（図中★）するとγ（オーステナイト）と呼ばれる金属組織が安定であることを示している。この組成の鋼を800℃からゆっくり冷却（図中矢印）して650℃（図中☆）までくるとパーライトとα（フェライト）の2つの組織が混合したものが安定になる（このように組織が変化することを変態と呼ぶ）。ここで取り上げる熱処理では化学成分が変化することはないので、熱処理は状態図上では上下方向の動き（温度変化）で示されることになる。以下ではこの状態図を参考にしながら、各種熱処理方法について解説していく。

◇ 焼ならし（Normalizing）

1. 目的：組織の改善

鑄造、鍛造または圧延などの影響で、その組織には過熱異常組織や炭化物の局部的凝集、結晶粒の粗大化および不ぞろいなどが現れる。

このような組織を加熱してオーステナイト一相としたのち、これを静かな大気中に放冷（空冷）すれば、変態点を上（加熱）下（冷却）する間に、上記の不適切な鑄造、鍛造または圧延組織の改善が行われ、結晶粒は生まれ変わって全体が微細な組織となる。これにより強さ（引張強さや降伏点）とじん性（伸び、絞り、衝撃値）などの機械的性質が向上するほ

表 1 主な熱処理方法とその記号（JIS B 0122）

加工方法	記号	参考
焼ならし	HNR	Normalizing
焼なまし	HA	Annealing
完全焼なまし	HAF	Full Annealing
軟化焼なまし	HASF	Softening
応力除去焼なまし	HAR	Stress Relieving
拡散焼なまし	HAH	Homogenizing
球状化焼なまし	HAS	Spheroidizing
等温焼なまし	HAI	Isothermal Annealing
焼入れ	HQ	Quenching
マルテンパ（マルクエンチ）	HQM	Martempering
オーステンパ	HQA	Austemper
固溶化熱処理	HQST	Solution Treatment
水じん（韌）	HQW	Water Toughening
焼もどし	HT	Tempering
サブゼロ処理	HSZ	Subzero Treatment

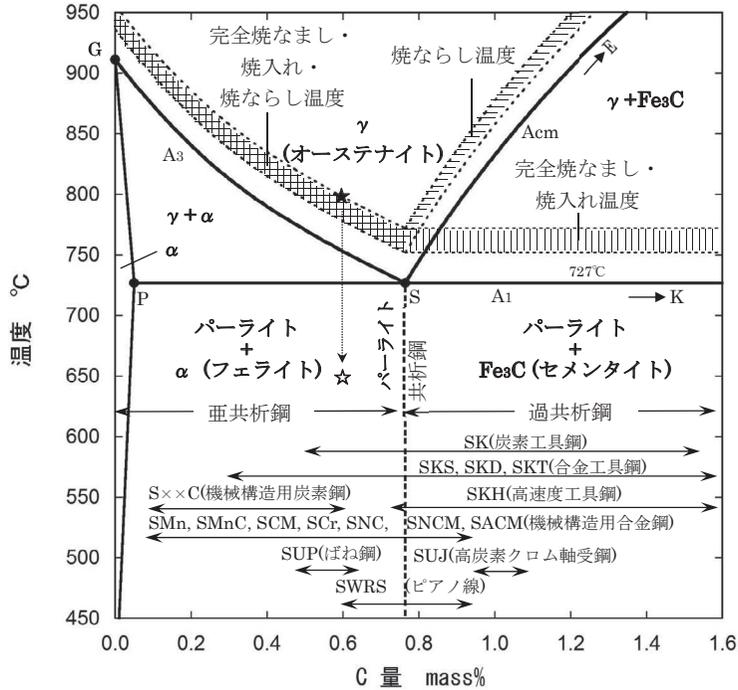


図 1 鉄炭素 2 元系平衡状態図と各種熱処理温度

かに、前加工の影響による残留応力も除去される。これを焼ならしという。

2. 方法：大気中で冷却（空冷）

(1) 加熱方法

焼ならしをするには、図 1 の横線でのハッチング範囲で示すように、亜共析鋼の場合は A_3 線 (G~S) 以上、また共析鋼、過共析鋼の場合は A_{cm} 線 (S~E) 以上 $40\sim 60^\circ\text{C}$ ほど高い温度に加熱して、パーライト+フェライトあるいはパーライト+セメンタイトの組織からオーステナイト一相にする。この温度を焼ならしのためのオーステナイト化温度といい、この温度が必要以上に高すぎたり、また加熱保持時間が長すぎたりすると、冷却後の結晶粒が粗大化し機械的性質が良くならない。

(2) 加熱保持時間

焼ならしの加熱処理時間の管理は、熱処理品の表面の色と熱電対保護管の先端の色が同一になってから、丸棒では直径 25mm あたり 0.5 から 1 時間として計算すればよい。

(3) 冷却方法

図 2 がその作業図である。設定温度に加熱した品物を静止した大気中で冷却する場合の冷え方は、

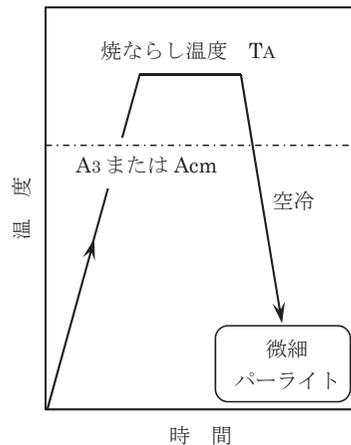


図 2 焼ならし作業

形状の違い、特に断面積の大小と、冷し方によって大きく変わる。すなわち、形状の小さい物は表面、内部ともはやく冷え、大物はゆっくりと冷え、特に中心部はさらに徐冷される。このため大物で微細な組織を得たい場合は、急速に冷やすためにファンなどで強制空冷するのが良い。また小物で早く冷え硬くなりすぎる場合には、品物を断熱材で覆うか、箱の中に入れて、ゆっくり冷えるよう

にする。約550℃までの冷却の速度を200℃/h程度とすることが目安となる。

◇ 焼なまし (Annealing)

1. 目的：軟化、残留応力の除去と組織改善

焼なましは目的に応じていくつかの種類・方法があるが、軟化により被削性や塑性加工性を改善し、残留応力の除去による変形の防止、結晶粒や組織を調整し、成分元素や不純物の偏析を拡散によって欠陥を除去しようとするのが目的である。

2. 方法

(1)：完全焼なましは炉冷

完全焼なましは、炭素鋼や低合金鋼の組織を改善し、またはできるだけ軟らかくして塑性加工性や被削性をよくするために、広く行われる焼なましで、単に焼なましといえば完全焼なましを指す。

鋳鋼や鋼塊、あるいは熱間圧延、熱間鍛造したものは、非常な高温に長時間加熱されているので、結晶粒が粗大化し機械的性質が劣化している。このような鋼を図1の縦線のハッチング範囲に示すように、亜共析鋼ではA₃線以上20~30℃以上高い温度に加熱してオーステナイト化し、過共析鋼ではA₁線以上30~50℃高い温度に加熱してオーステナイト+Fe₃Cの組織とし、十分な時間保持したのち、炉内に入れたまま(炉外なら断熱材で覆って)ゆっくり冷却する。これを炉冷または徐冷という(図3)。

焼なましの効果は焼ならしの場合と同じく、焼なましの温度から約550℃までの冷却速度のいかんによって左右される。焼ならしの場合には空冷に

よってやや硬めの微細パーライト組織とするのに対し、焼なましの場合は炉冷(100℃/h以下)によって軟らかい層状パーライト組織となる。変態が終わった550℃以下は、時間の節約のために炉から出して空冷するのが普通である。これを二段焼なましという。C量が0.20%以下の低炭素鋼や低合金鋼は、完全焼なましでは軟らかくなりすぎ、被削性が低下して被削面にむしれが生じる。この場合にはむしろ焼ならしのほうが向いている。

(2)：応力除去焼なましは低温焼なまし

鑄造や溶接などで高温から急冷されると、不均一な温度の影響で残留応力が発生する。この応力が原因となる変形により、精密機械部品などで思わぬトラブルを発生したりする場合がある。これらの応力を除去する熱処理が応力除去焼なましである。

残留応力は加熱温度約450℃から消失するといわれ、応力除去焼なましは一般的に約500~600℃(図1のA₁線以下)に所要時間加熱したのち徐冷する。鋼の場合、一般に残留応力を受けている結晶が加熱されて約450℃以上になると、原子の再配列が起こってひずみのない結晶にもどり(再結晶)残留応力の除去と共に軟化もおこる。

ステンレス鋼の応力除去焼なましは、その種類によって異なる。フェライト系(SUS430など)では、約700~900℃に板厚25mmあたり1~2h加熱保持後、空冷する。焼入焼戻しで使用するマルテンサイト系(SUS410など)は、約650~750℃に加熱後空冷する。オーステナイト系では、安定化鋼や極低C鋼の場合に、冷間加工や溶接後の応力腐食割れを防ぐため、850~900℃で2~4h加熱後空冷することがある。

◇ 焼入れ (Quenching)

1. 目的：急冷による硬いマルテンサイト組織への変態

焼入れとは急冷することでオーステナイト組織をマルテンサイト組織に変態させて、硬化する操作である。必要な急冷の程度は鋼種によってそれぞれ異なる(数百℃/s)。急冷の場合、オーステナイトはパーライトやフェライトに変態できず、マルテンサイトと呼ばれる非常に硬い組織に変態する。図1の状態図はゆっくり冷やした平衡状態を示すものなので、焼入れのような急冷の場合の組

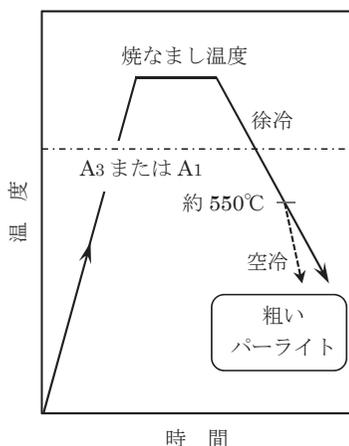


図 3 焼なまし作業

織変化を表すことができない。

2. 方法：焼割れの防止にはMs点以下をゆっくり冷やす

図1の縦線のハッチング範囲に示すように、亜共析鋼はA₃線以上30~50℃で均一なオーステナイトになるよう十分な時間を保持し、過共析鋼はA₁線以上30~50℃に加熱し、セメンタイト+オーステナイトになるよう十分な時間を保持したのち、鋼種に応じた方法でこれを急冷する。

焼入れのための加熱温度を焼入温度またはオーステナイト化温度(T_A)という。保持時間は合金元素の多少によって違い、機械構造用鋼や炭素工具鋼では肉厚25mmにつき20~30分、ダイス鋼で45分、ステンレス鋼で60分程度となる。

焼入時の冷却のこつは、図4に示すように、焼入温度(T_A)から550℃までの臨界区域をできるだけ早く冷やし、逆にマルテンサイト変態開始温度(M_s)以下の危険域はなるべくゆっくり冷やすことである。

M_s点以下の温度に冷却され変態が始まると、冷却による収縮とマルテンサイト変態による膨張とが同時に起こり、しかも品物の内外や肉厚の大小があって、冷却速度も部分的に違うため温度差が生じ、鋼の引張強さを越える内部応力が発生する部分ができると焼割れが発生する。

◇ 焼戻し (Tempering)

1. 目的：焼入れのままでは不安定

鋼を焼入れたまま長時間放置すると、置き割れといってクラックが発生することがある。これは焼入れ時にオーステナイト組織全部がマルテンサイト化できずに、残ったオーステナイト(残留オーステナイト)が厳寒期などに冷却されてマルテンサイト化して膨張するために起こる。研削割れも同類で、これは冷却とは逆に、研削時の熱により表面が焼戻され収縮するために起こる。このように焼入れのままの鋼は不安定であるから、40~60℃に冷えたら、30分以内に焼戻しをして安定化することが大事である。

2. 方法：焼戻しに高・低2種類あり

(1)：低温焼戻し(100~250℃で1時間保持)

炭素工具鋼や合金工具鋼(熱間金型鋼を除く)など、硬さと耐磨耗性を要求される鋼種に適用さ

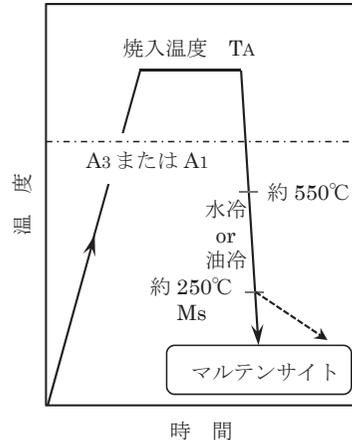


図 4 焼入れ作業

れ、冷却は空冷である。低温焼戻しでも内部応力は軽減され、このときの組織を焼戻しマルテンサイト(ビッカース硬さで約HV800)という。

(2)：高温焼戻し

機械構造用鋼など、強じん性を要求される鋼種に適用される。500~650℃に加熱し、約1時間保持したのち、急冷する。焼戻温度が高くなるにつれて、降伏強さ、引張強さ、硬さは連続的に低下するが、伸び、絞り、衝撃値は向上する。

500~600℃の焼戻し後の組織をソルバイト(約HV280)といい、いわゆる調質(焼入焼戻し)というのは、鋼をソルバイト組織にすることをいう。

炭素鋼では250~350℃、Cr鋼やNi-Cr鋼などでは450~550℃で焼戻しをすると、衝撃値だけが非常に低下する。これをそれぞれ低温焼戻しぜい性、高温焼戻しぜい性と呼び、この温度域での焼戻しは構造用の用途では特に避ける必要がある。また550~650℃での焼戻し後の冷却時に500℃付近をゆっくり冷やすと同様の効果が生じるので、焼戻し後の冷却は必ず急冷することである。

◇ サブゼロ処理 (Subzero Treatment)

1. 目的：残留オーステナイトの低減

一般に焼入れ後の高炭素鋼は、焼入れ直後に焼戻ししたものでマルテンサイト中に10~30%のオーステナイトが残留しており、これが時間の経過とともにマルテンサイト化するので、寸法精度の厳しいゲージ、軸受、精密機械部品などにおいては、経年変化によって変形を起こす恐れがある。

2. 方法：焼入後すぐに0℃以下に

サブゼロ処理はこの残留オーステナイトを減少させるために行うもので、焼入後ただちに0℃以下の温度に冷やすため深冷処理ともいわれる。一般的には-80~-100℃で十分である。

このサブゼロ処理は、焼入後長時間室温に放置したりせずに焼入後すみやかにこなうことが大切である。長時間の室温放置または焼戻しの処理後では、残留オーステナイトが安定化してマルテンサイト化しにくくなるため、サブゼロ処理の効果が少なくなる。

サブゼロ処理では急激に冷却すると割れの発生や変形が大きくなる恐れがあるので、ゆっくりと冷やす。たとえば処理部品を2~3段階の温度に分けて冷却するか、あるいは処理品を断熱して冷却する。サブゼロ処理時間としては30~90分程度で十分である。処理後は空中放冷よりむしろ水中か油中に投入した方が、均一な温度分布となりサブゼロクラックを防止できる。

◇ 固溶化熱処理 (Solution Treatment)

1. 目的：急冷によるオーステナイト系ステンレス鋼の耐食性向上
ステンレス鋼のうち耐食性が最もすぐれている

のがSUS304に代表されるオーステナイト系であるが、それには固溶化熱処理を必要とする。この処理により、冷間加工や溶接などによって生じた内部応力を除去し、また熱間加工や溶接によって析出したクロム炭化物（粒界腐食の原因）とシグマ相（Cr45%前後のFe-Cr合金でもろい）をなくし、延性の改善と耐食性の向上が得られる。

2. 方法：オーステナイト組織からの急冷

表2に示すような温度に加熱して一定時間保持し、全体がオーステナイト組織になった時点でこれを急冷すれば、原子が拡散する余裕がないため、常温でも耐食性にすぐれた（析出物のない）オーステナイト組織が得られる。

冷却速度は高温で固溶した炭素が再び炭化物として析出しないためには速いほどよいが、速すぎても熱ひずみで変形する恐れがあるので、処理部品の形状、肉厚、寸応などを十分考慮の上、冷却方法を選ぶ。一般には肉の薄い物または小物は空冷し、肉の厚い物は水冷する。

550~850℃の温度範囲では炭素とCrが結合してクロム炭化物を作りやすく、粒界腐食の原因となって耐食性が著しくわるくなる。これを防止するには500~900℃の温度区域を可能なかぎり早く冷却（通過）させる必要がある。

表 2 オーステナイト系ステンレス鋼の熱処理条件 (単位 ℃)

種類の記号	固溶化熱処理
SUS 201、202	1010~1120 急冷
SUS 301、302、303、303Se、303Cu SUS 304、304L、304N1、304N2 SUS 304LN、304J3、305 SUS XM7、XM15J1 SUS 316、316L、316N、316LN SUS 316J1、316J1L、316F SUS 317、317L、317LN	1010~1150 急冷
SUS 309S	1030~1150 急冷
SUS 310S、312L、317J1、836L、890L	1030~1180 急冷
SUS 316Ti、321	920~1150 急冷
SUS 347	980~1150 急冷

(JIS G 4303 附属書JA.1)

2. 表面硬化熱処理

松山技研(株)のむらひろろう
コーティング事業部 野村博郎

まえがき

特殊鋼の表面硬化熱処理について述べる前に市場の状況を確認してみる。経済産業省の統計調査を基にして特殊鋼倶楽部でまとめられている統計によれば、図1にあるH27年1月の生産高の比率¹⁾は、H25年暦年とH26年暦年の統計とほとんど変わらない。さらに最大の顧客である自動車1台当たりの特殊鋼使用量は、自動車を構成する原材料全体の11~17%を占めており²⁾、依然として主要な素材であることも分かる。本稿では、これら特殊鋼の表面硬化熱処理を解説する。

◇ 表面処理される特殊鋼

特殊鋼とは、一般的には合金鋼および高級炭素鋼のことを言い、JISの特殊用途鋼と機械構造用炭素鋼・合金鋼に相当する(図1)。よって機械構造用合金鋼を対象とする浸炭焼入れをはじめ、特殊鋼全般について高周波焼入れ、窒化処理の概論としてまとめてみた。

◇ 浸炭焼入れ

浸炭焼入れを行う対象材料は、JIS：機械構造用炭素鋼・合金鋼の炭素量の少ない(約0.20%以下)鋼種で、記号の下二桁の数字で炭素量を判断することが出来る。例えばS15CK→C：0.13~0.18%、SCM415→C：0.12~0.18%、の様にこれらの材料

は浸炭焼入れ=肌焼鋼に分類される。SCM415材の一般的な浸炭焼入れでは、表面近傍で0.8%炭素のマルテンサイト化を目標として、カーボンポテンシャル(CP)を0.8%に制御して処理されることが多く、実際の処理時間はバッチの投入量や製品形状によって変化させる。

本号の前稿に述べられるが、マルテンサイト変態による鋼の強化機構を利用するには、炭素量が0.6%以上あることが原則となる。図2は、SCM415材の浸炭焼入れの断面組織を示しているが、このグラフでは侵入炭素量(%)=上の曲線と、その部位における硬さ=下の曲線を合わせて示している³⁾。組織写真の横軸スケールはグラフとは異なっているので注意が必要だが、炭素と硬さの関係はよく表われており、炭素量の違いによって表面から内部にかけて腐食された組織の違いがよく分かる。

また図3は浸炭焼入れの現状をまとめたものだが、求める特性の拡大や対象材料の多様化に沿っ

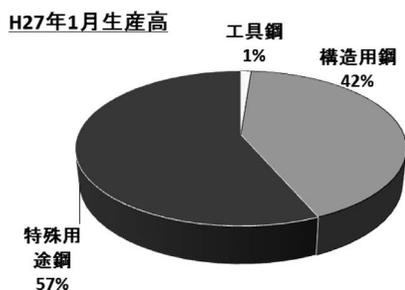


図1 特殊鋼生産高

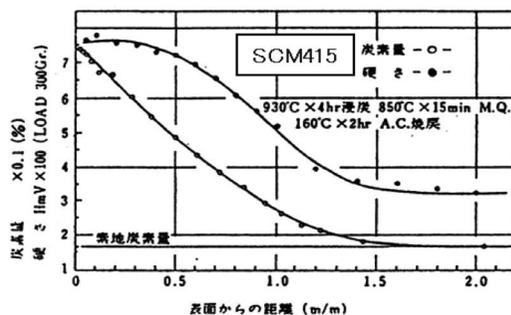
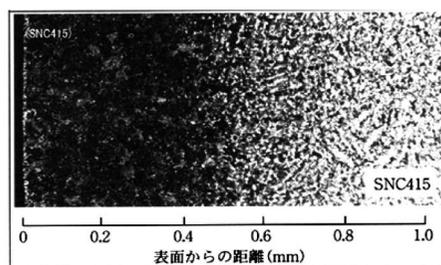


図2 浸炭焼入れ組織

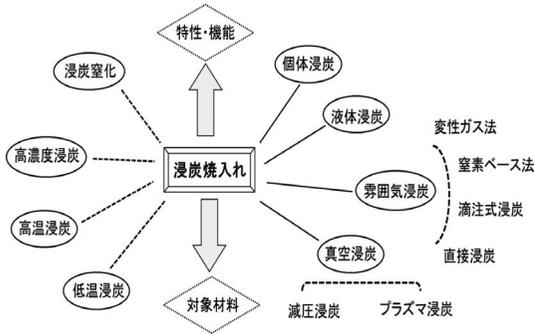


図 3 浸炭処理

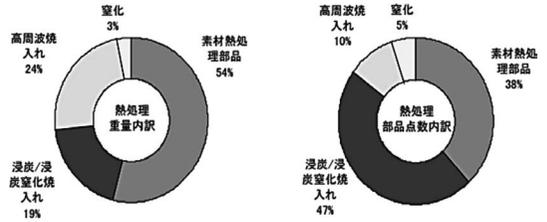
て、種々の浸炭処理が実用化されている。例えば SUS304材の真空浸炭⁴⁾や、敢えて高炭素材料の浸炭焼入れのトライ⁵⁾なども行われている。しかし先に述べた低炭素鋼の浸炭焼入れの需要は、自動車に代表される機械部品に圧倒的に使用されており、特殊鋼の使用が続く限り浸炭焼入れは自動車部品の主要な熱処理のひとつである。

浸炭焼入れの品質確認は、表面硬さと硬化層深さの測定が必要である。JISでは、焼入れ後200℃以下で焼戻しされたとき、表面から550HVまでの断面のピッカース硬さ、ヌーブ硬さの距離を有効硬化層と規定している (JIS G 00557)。表示は CD-H ()-Eと記し、これは硬さ試験による測定で、Hの後に試験荷重を記載し、E=有効硬化層深さの数値を記すEx. CD-H 0.3-E 0.7の場合、有効硬化層深さ0.7mmであることを示す。

◇ 高周波焼入れ

表面近傍の強化として高周波焼入れの需要も多い。図4に見られるように、重量分類では高周波熱処理は凡そ25%を占めている⁶⁾。

短時間の処理で、一般的には浸炭焼き入れよりも硬化層が深く(厚く)得られることが大きな特徴である。図5には、高周波焼入れの原理を示す⁷⁾。コイルに高周波電流を流すと処理物(製品)表面にうず電流が発生し、電気抵抗によって発熱するメカニズムである。ここでコイルと製品との距離が重要となるため(図5右)、基本的には丸棒のような円形状の処理物が得意な加熱方法である。しかし現在ではコイルの作成技術や、複数の周波数利用などによって、複雑な形状や平面物、また内面焼きなど多くのバリエーションが行われて



自動車における熱処理分類

図 4 自動車における熱処理

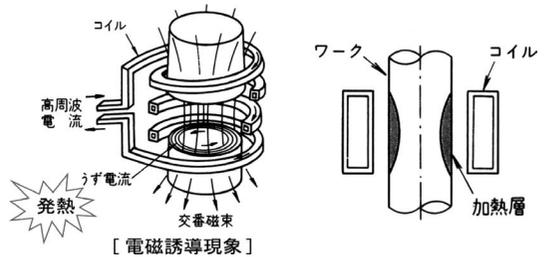


図 5 高周波焼入れの原理

いる。高周波焼入れのメリットとしては、①熱効率が良く、作業時間も短い、②短時間加熱、急冷処理のため酸化・脱炭や変形が少ない、③局所加熱ができ、硬化層深さの設定も比較的容易である、④急熱・急冷による大きな圧縮応力によって、疲れ強さの向上が得られる、⑤作業の標準化、自動化が容易である、などが挙げられる。

また浸炭焼入れと同様に硬化層深さの熱処理仕様を決める必要がある。高周波焼入れで注意しなければならないのは、有効硬化層深さの定義が対象鋼材の炭素含有率によって異なることである (JIS G 0559)。処理した鋼材によって判定する硬さの数値を記載して表示しなければならない。Ex. HD-0.1-E (450) 3.5では、ピッカース硬さ試験機によって、450HVまでの硬化層深さが、3.5mmであることを表している。

◇ 窒化処理

窒化処理は、比較的容易な表面硬化処理として、多くの機械部品や金型、治工具等々に施されている。そのメリットは、①添加合金元素によって、表面硬さは1,000~1,200HV程度にもなる、②400~580℃で処理されるため、対象材料は広範囲になる、③処理温度は一般的に600℃以下で、焼入れ

を伴わないため、他の表面硬化処理と比べて歪が少ない、④最近では耐食性を悪化させないで、ステンレス鋼の窒化も可能、⑤表面硬化に加えて、耐疲労強度も向上する、などが挙げられる。前述の浸炭焼入れや高周波焼入れと大きく異なることは、'焼入れ'が行われないため、焼戻し工程が不要なため効率に優れた表面硬化処理とされる。

図6には、最近の窒化処理を示すが、浸炭焼入れと同様に対象材料の多種多様化に対応できるプロセスが多くなっている。したがって各々の窒化処理の特徴を、材料とどのように組み合わせるかを発揮させるかが大きな課題である。プロセスばかりに目が行きがちであるが、窒化処理する目的を明確にして複数のプロセスから選択すべきと考える。特に最近では窒素化合物層生成のデメリットを強調する話題が多く見られるが、窒化処理された製品にとって有益な硬化層の設計が重要だ。部品や金型、治工具の使用目的によって、必要な機械的特性を把握しなければならない。

窒化処理の品質確認法は、他の表面硬化処理と同様に、表面硬さと硬化深さである。窒化層深さの定義は、①化合物層深さ、②拡散層深さ、③全窒化層深さ、④実用窒化層深さ、と定義されている (JIS G 0562)。「有効硬化層」の規定はなく、化合物の深さ(厚さ)と、拡散層の深さで管理されることが多いが、これらを混同してはならない。化合物層は、凡そ5~30μm程度であり、拡散層は処理時間によるが100~500μmほどになり、これらを区別して図面に記載すること、また使用する側と処理する側の双方で仕様取り決めをすることが大事である。また表面硬さは、ピッカース硬さ試験機、あるいはマイクロピッカース硬さ試験機を

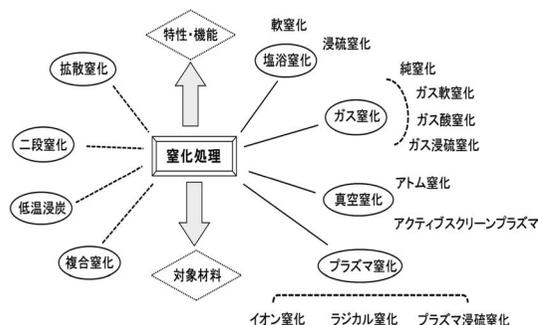


図 6 窒化処理

使用すべきであり、ロックウェル硬さ試験機では試験荷重が大きいために正確な硬さを得られない。さらに試験時には、表面を軽くラップすることも必要である。

◇ 表面硬化処理の使い分け

表面を'硬化'させる処理を取り上げていることから、最大の特性は高い硬さによる耐摩耗性の向上であろう。表1には今回取上げていない表面処理も含まれているが、得られる主要な特性を整理してみた。この表に示す以外にも多くあるが、処理することによって得られる特性と、使用する側が得たい機能のミスマッチが時々見られる。たとえば硬いことと低摺動性はトレードオフの関係になることが知られているが、最近の要求特性であるフリクション低減のための表面処理の採用するには、各プロセスの特性をよく理解しなければならない。耐摩耗性が高く、摺動抵抗も低い機能を付与できる表面処理は限られている⁸⁾。

一方、表2は、材料側から見た表面処理の選択の目安を示している⁹⁾。窒化処理、軟窒化処理は、多くの材料に適応が可能となっているが、焼入れを伴う処理に関しては対象材料に制約もある。設備の進歩=例えば高精度のセンサーによる緻密な流量制御が可能な高気密構造の処理炉、またシミュレーションを利用した処理技術の向上などに

表 1 各種表面処理の特性

		得られる主な特性				
		耐摩耗性	耐蝕付性	耐疲強さ	潤滑性	耐食性
表面焼入	高周波焼入	○		○		
	フレームハード	○				
	レーザー焼入	○				
侵入硬化	浸炭焼入	○		○		
	浸炭窒化焼入	○		○		
浸透拡散	純窒化	○				
	軟窒化	○		○		
	酸窒化	○	○			
	浸炭窒化	○	○	○	○	
	ホウ化処理	○	○			
	ホモ処理	○				
	TRD処理	○				
表面被覆	PVD	○	○			○
侵入拡散	イオン注入	○	○			○
被覆	溶射	○				○
塑性加工	ショットピーニング		○	○		

表 2 鉄鋼材料と表面処理 (9)

鉄鋼材料の種類			主な表面熱処理(*)						
名 称			主なJIS鋼種	ID	C	CN	N	NC	CC
機械構造用鋼	炭素鋼		S20C	○	○	○	○	○	×
			S45C	○	×	×	○	○	×
	合金鋼	クロムモリブデン鋼	SCM 420	×	○	○	○	○	×
			SCM 440	○	×	×	○	○	×
		ニッケルクロムモリブデン鋼	SNCM 420	×	○	○	○	○	×
			SNCM 439	○	×	×	○	○	×
	アルミニウムクロムモリブデン鋼	SACM 645	×	×	×	○	○	×	
ステンレス鋼	オーステナイト系	18クロム-8ニッケル鋼	SUS 304	×	×	×	○	○	×
			SUS 410	×	○	○	○	○	○
	マルテンサイト系	13クロム鋼	SUS 420 J 2	○	×	×	○	○	×
		17クロム鋼	SUS 440 C	×	×	×	○	○	○
工具鋼	炭素工具鋼		SK 85	○	×	×	○	○	○
		高速工具鋼	SKH 51	×	×	×	○	○	○
	SKH 57		×	×	×	○	○	○	
	SKD 11		×	×	×	○	○	○	
	合金工具鋼	冷間金型用鋼	SKD 11	×	×	×	○	○	○
		熱間金型用鋼	SKD 61	×	×	×	○	○	○

(*) ID: 高周波焼入れ, C: 浸炭処理, CN: 浸炭窒化処理, N: 窒化処理, NC: 軟窒化処理, CC: 炭化物被覆

よって様々な材料に適する処理が多くなりつつある。しかし焼入れによって硬化する原理は現在も違いはないため、材料の選択と対応する表面処理法は十分に検討しなければならない。

むすび

表面硬化処理のバリエーション拡大はまだまだ進むものと考えられる。それは求められる機能が材料の多様化と連動してマルチ化しなければ機能を発揮し辛くなって来ているからである。したがって‘複合処理’が、これからの大きなテーマ

になると思われる。窒化処理と高周波焼入れの複合プロセスは実用化されつつあり¹⁰⁾、今回は述べなかったがPVDコーティングでは窒化処理が一般的に行われている。同様に最近のショットピーニングは、プロセス/スペックやメディアとの組み合わせによって浸炭焼入れや高周波焼入れとの複合処理の研究開発も活発である¹¹⁾。これらの前提となるのは、設備の高気密性などの高度化や各種センサーの高精度化であり、さらに対象品の材料特性をよく理解して選択することである。特に焼入れが可能な特殊鋼では熱処理が大きな意味があり、本号掲載のすべての項をご理解頂いて表面硬化処理の採用に繋がれば幸いである。

参考文献

- 1) 特殊鋼倶楽部：統計・H27.1特殊鋼熱間圧延鋼材生産高
- 2) 杉本淳：特殊鋼、Vol.63、No.1 (2014)、26
- 3) 日本熱処理技術協会：入門・金属材料の組織 (初版)、大河出版
- 4) 奥村望：熱処理、Vol.49、No.5 (2009)、257
- 5) 野村博郎：第73回熱処理技術協会講演大会・特別講演 (2012)
- 6) 日本金属熱処理工業会：金属熱処理業ビジョン (2006)
- 7) 藤木栄：熱処理技術、日刊工業新聞社
- 8) 例えば榎本祐嗣：薄膜トライボロジー、東京大学出版会 (1994)
- 9) 仁平宣弘：はじめての表面処理技術、工業調査会
- 10) 深沢剣吾：第70回熱処理技術協会講演大会・予稿集 (2010)、11
- 11) 村井一恵：第77回日本熱処理技術協会講演大会・講演概要集 (2014)

Ⅲ. 鋼種別熱処理の基礎知識

1. 構造用鋼（炭素鋼・強靱鋼）

日新製鋼(株) グループ商品開発戦略本部 鈴木 雅人
 技術研究所 鋼材研究部

◇ 機械構造用鋼の分類

機械構造用鋼は、焼入焼戻しなどの熱処理により高い強度と靱性が得られる鋼である。機械構造用鋼は各種の自動車部品や機械部品などに使用されており、特殊鋼の中で、最も多く生産されている。機械構造用鋼の化学成分による分類を表1^{1), 2)}に示す。機械構造用炭素鋼（JIS G4051、23種）はCを0.1~0.6%含有しており、目的に応じて鋼種を細かく選択できるように熱処理後の特性を決める主成分であるCの範囲が細分化されている。機械構造用炭素鋼は高価な合金元素を含まないため、比較的安価であり、ボルトや歯車、軸類などの各種機械部品の素材として幅広く使用されている。しかし、焼入性が低いため大型の製品に適用した場合、焼入れにて不完全焼入組織が生成する機会が多い。

このため、焼入性を必要とする用途では、機械構造用合金鋼（JIS G4053、40種）が使用される。機械構造用合金鋼は0.15~0.5%のCを含む機械構造用炭素鋼をベースとして、主に焼入性の改善を目的にMn、Cr、Mo、Niなどの元素が添加された鋼である。機械構造用合金鋼において、焼入焼戻

しを行い、高い強度と靱性を付与して使用される鋼を強靱鋼と言う³⁾。マンガン鋼およびマンガンクロム鋼は比較的安価なMnやCrの添加により焼入性を向上した鋼である。1%のCrを添加したクロム鋼やさらに約0.2%のMoを添加したクロムモリブデン鋼では、焼入性改善に加え、焼戻し硬さが上昇する。ニッケルクロム鋼やニッケルクロムモリブデン鋼は、焼入性の改善に加え、Ni添加により低温靱性の改善を狙った鋼⁴⁾である。

◇ 機械構造用鋼の焼入れ

焼入れ硬さに及ぼすC量の影響を図1に示す。C

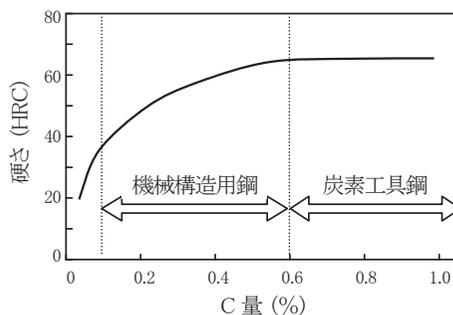


図 1 焼入れ硬さに及ぼすC量の影響

表 1 機械構造用鋼の化学成分による分類（JIS G4051, JIS G4053）

JIS 分類	記号	主な化学成分 (mass%)					
		C	Mn	Cr	Mo	Ni	
機械構造用炭素鋼 (23種)	SC	0.07~0.61	0.30~0.90	-	-	-	
機械構造用合金鋼	マンガン鋼 (4種)	SMn	0.17~0.46	1.20~1.65	-	-	-
	マンガンクロム鋼 (2種)	SMnC	0.17~0.46	1.20~1.65	0.35~0.70	-	-
	クロム鋼 (6種)	SCr	0.13~0.48	0.60~0.85	0.90~1.20	-	-
	クロムモリブデン鋼 (11種)	SCM	0.13~0.48	0.30~1.00	0.90~1.50	0.15~0.45	-
	ニッケルクロム鋼 (5種)	SNC	0.12~0.40	0.35~0.80	0.20~1.00	-	1.00~3.50
	ニッケルクロムモリブデン鋼 (11種)	SNCM	0.12~0.50	0.30~1.20	0.40~3.50	0.15~0.70	0.40~4.50

量が0.6%まで、すなわち機械構造用鋼のC量の範囲では、C量の増加に伴い焼入れ硬さは上昇する。したがって、部品として必要な硬さ（強度）に応じて、適切な量のCを含有する鋼種が選定される。

焼入れの目的は、鋼をマルテンサイト組織とすることにより、部品を硬質化させることである。マルテンサイト組織とするために、鋼を加熱してオーステナイト化した後に急冷される。機械構造用鋼では、オーステナイト化するための加熱温度（焼入温度）は、 A_3 点よりも50~100℃程度高温に設定される。焼入温度が高いほど短時間でオーステナイト化が完了するが、焼入温度が高いほど、また保持時間が長いほどオーステナイト結晶粒が粗大化する。結晶粒が粗大化した（粒度番号が小さくなった）場合、図2⁵⁾に示すように熱処理後の部品の靱性が低下する懸念がある。したがって、部品に必要な靱性が確保できるように焼入れの加熱温度と保持時間を設定する必要がある。

部品が大きいほど（例えば、丸棒の場合、直径が大きいほど）焼入れの際に中心部の冷却速度が遅くなり、マルテンサイト組織が得られなく（焼きが入らなく）なる。これを質量効果という。機械構造用鋼は鋼種により焼入れ性が異なるため、質量効果を勘案した場合に中心部でマルテンサイト組織が得られる最大の直径が異なる。主な機械構造用鋼の質量効果を表2⁴⁾に示す。合金元素が添加されていない機械構造用炭素鋼に比べ、焼入れ性を高める合金元素が添加された機械構造用合金鋼の方が、有効最大直径が大きいことがわかる。すなわち、機械構造用炭素鋼は焼入れ性が低いため大型の部品に適用した場合、焼きが入らない場合が

ある。したがって、大型の部品には、焼入れ性が高い機械構造用合金鋼が適用される例が多い。

◇ 機械構造用鋼の焼戻し

焼入れにて得られたマルテンサイトは高強度であるが、靱性に劣る。そこで、部品として必要な靱性を付与することを目的として、焼入れ後に A_1 点以下の適切な温度に加熱する焼戻しが施される。

焼入れ後に焼戻しを施した鋼の各種特性の変化に及ぼす焼戻温度の影響は、図3⁴⁾に示すようになる。焼戻温度の上昇に伴い、引張強さは低下し、伸びが向上する。衝撃値についても焼戻温度の上昇に伴い向上するが、300℃付近の温度での焼戻しでは、衝撃値が低下する低温焼戻脆性を示す。低温

表 2 主な機械構造用鋼の質量効果⁴⁾

鋼種	有効最大直径 (mm)	
	油冷	水冷
S30C	-	30
S40C	-	35
S50C	-	40
SMn433	30	45
SCr435	40	55
SCM435	60	80
SCM445	70	-
SNC836	80	-
SNCM439	70	-
SNCM630	150	-

※有効最大直径：中心部で50%のマルテンサイト組織が得られる最大の直径

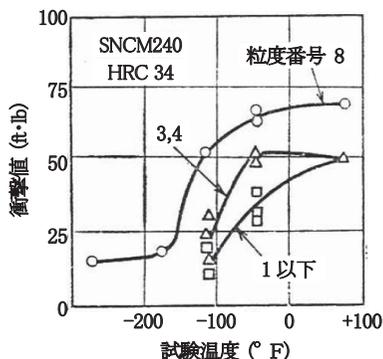


図 2 衝撃せん移曲線に及ぼす結晶粒度の影響⁵⁾

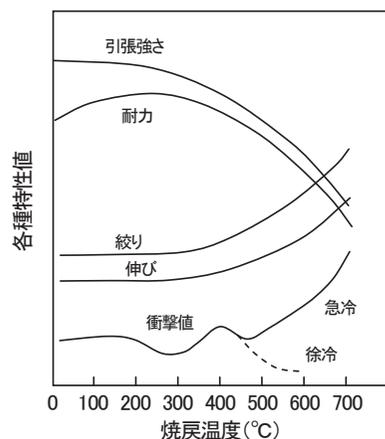


図 3 各種特性に及ぼす焼戻温度の影響⁴⁾

焼戻脆性を回避するため、一般に焼戻温度は150～200℃程度（低温焼戻し）もしくは400℃以上（高温焼戻し）に設定される。靱性よりも硬さや高強度が要求される用途では、低温焼戻しが適用される。また、硬さや強度は低下しても靱性が要求される用途では、高温焼戻しが適用される。

合金元素が添加された機械構造用合金鋼では500℃程度以上の焼戻しにより靱性が低下する高温焼戻脆性を示す場合がある（図3）。高温焼戻脆性はPなどの不純物元素が旧オーステナイト粒界に偏析することに起因しており、その偏析が起こりやすい500℃程度の温度域での保持や徐冷により靱性が低下する。Ni、Cr、Mnなどの合金元素が不純物元素の偏析を促進するため、合金鋼にて高温焼戻脆性が生じるとされている⁶⁾。550℃以上の温度での焼戻しの場合、炉冷（徐冷）した場合、靱性が低下するが、水冷（急冷）では靱性の低下は認められなくなる。機械構造用合金鋼においては、靱性確保の観点から500℃程度の温度での焼戻しを避けるとともに、550℃程度以上の高温にて焼戻した場合には急冷（水冷や油冷）される。

また、合金元素の添加により焼戻しに伴う炭化物の析出・成長速度が影響を受け、焼戻しによる硬さの低下が軽減される（焼戻軟化抵抗を示す）。S35CとSCr435の焼戻性能曲線の例を図4（文献データ⁷⁾）を基に著者が作成）に示す。いずれの鋼も焼戻温度の上昇に伴い硬さは低下するが、いず

れの温度においてもS35Cに比べ1%のCrが添加されているSCr435の方が硬質であり、高強度である。このような焼戻軟化抵抗はCr添加の他にMo、Si、Mnの添加によっても得られる。

◇ 機械構造用鋼の高周波焼入れ

高周波焼入れは、高周波誘導加熱を利用して部品を数秒程度の短時間で焼入温度に加熱した後、水などを噴射して焼入れする熱処理である。加熱コイルの形状により、硬さが必要な部分のみを硬質化させる部分焼入れが可能である。加熱条件の設定により、部品の表層部のみ加熱・焼入れすることが可能であり、他の部品と接触する歯車やねじり応力が付与される軸類などの表面硬化処理に適用されている。この方法では浸炭や窒化に比べ、極めて短時間の処理にて表層のみを硬質化することが可能である。短時間の加熱にてオーステナイト化させるため、一般に、加熱温度は全体焼入れよりも高温（+50℃程度）に設定される。表層部の硬さは鋼に含有されるC量で決まる（図1）ので、用途に応じて必要な表層硬さが得られるC量を含む鋼が使用される。

50φの丸棒を高周波焼入れした際の硬さと残留応力分布の例を図5⁸⁾に示す。表面から3mm程度の表層部のみ硬さが上昇している。また、表層部の軸方向と切線方向に圧縮の残留応力が生成している。これは、表層部のみがマルテンサイト変態

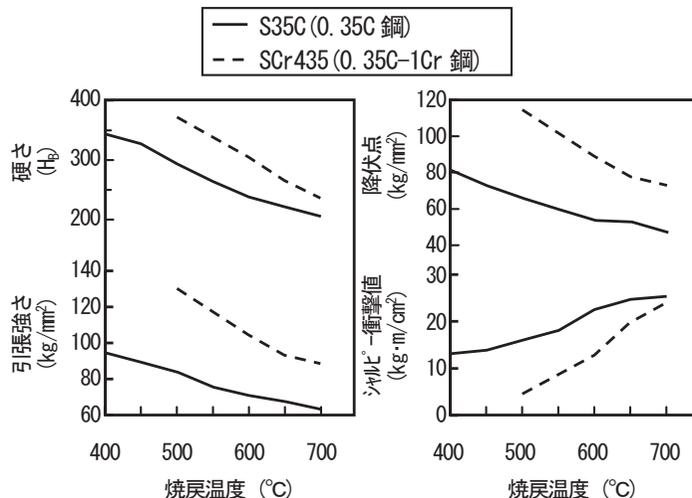
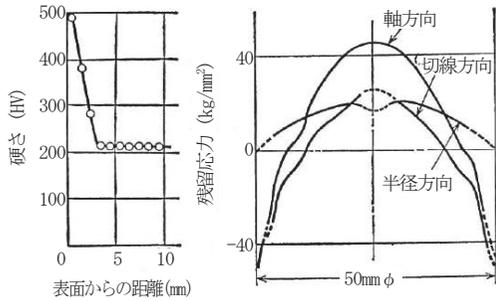


図4 S35CとSCr435の焼戻性能曲線



(0.44% C 鋼、180°C 焼戻し)

図 5 高周波焼入れした丸棒の硬さと残留応力分布⁸⁾

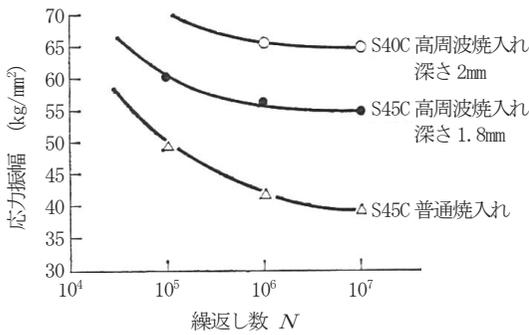


図 6 高周波焼入れ材の曲げ疲労特性⁵⁾

し、体積膨張したためである。高周波焼入れ材の曲げ疲労特性を図 6⁵⁾ 示す。高周波焼入れによる

表層の硬質化と圧縮残留応力の生成により、普通の焼入れに比べて疲労特性が向上する。

むすび

本稿では、各種機械部品の素材として最も多く使用されている機械構造用鋼の熱処理について紹介した。機械構造用鋼は JIS 規格の鋼材だけでも 63 種あり、使用目的に応じた特性が得られる鋼材を選定する必要がある。また、必要な特性を引出すためには熱処理は非常に重要な工程である。本稿では機械構造用鋼の基本的な熱処理について概説した。詳細な解説やデータについては、他の文献^{例えば 3) ~ 8)} を参照いただきたい。

参考文献

- 1) 日本規格協会：機械構造用炭素鋼鋼材 JIS G4051
- 2) 日本規格協会：機械構造用合金鋼鋼材 JIS G4053
- 3) 特殊鋼の知識、鉄鋼新聞社編、鉄鋼新聞社、(1994)、p 218
- 4) 熱処理ガイドブック、日本熱処理技術協会編、大河出版、(2002)、p 13、p 32
- 5) 熱処理技術シリーズ 7 「機械部品の熱処理 I」、日本熱処理技術協会編、日刊工業新聞社、(1970)、p 4、p 76
- 6) 門間改三：鉄鋼材料学、実教出版、(2004)、p 314
- 7) 鋼の熱処理 改訂 5 版、日本鉄鋼協会編、丸善、(1969)、p 355、p 371
- 8) 熱処理技術シリーズ 2 「特殊鋼の熱処理」、日本熱処理技術協会編、日刊工業新聞社、(1970)、p 60

2. 構造用鋼（肌焼鋼、窒化鋼）

愛知製鋼(株) 技術本部 あ だち ゆう じ
技術開発部 第1開発室 安 達 裕 司

まえがき

肌焼鋼や窒化鋼は、高い製造性と耐久性が要求される重要部品に施される重要な表面硬化用鋼材である。

本稿では、肌焼鋼と窒化鋼に関する表面処理と鋼材の概要、特徴および開発動向について紹介する。

◇ 肌焼鋼

1. 浸炭処理の概要

浸炭処理は、炭素を多量に含むガス・液体・固体の雰囲気中で鋼を所定の時間保持することにより、鋼の表面から炭素を浸透させる処理であり、この処理を「肌焼」と言い、浸炭用に使用される鋼を「肌焼鋼」と呼んでいる。工業的には、生産性や製造コストの観点からガス雰囲気中で処理を実施する「ガス浸炭」が主流であり、浸炭処理後は焼入れ焼戻しを行い、所望の部品機能を付与するのが通常である。

肌焼鋼には0.2%程度の炭素を含有する鋼が用いられ、浸炭処理により表層の炭素量を0.8%程度とするのが一般的である。焼入処理により、浸炭され高炭素となった表層は高炭素マルテンサイトと呼ばれる高硬度のマイクロ組織が得られ、高い耐摩耗性や疲労強度が付与される。一方、低炭素の内部は低炭素マルテンサイト組織となり、表層と比べると硬さが低く靱性が優れる。このように浸炭処理された部材は、表面の硬さが高く内部は硬さが低いといった、炭素濃度分布に従った硬さ分布を呈する。図1に硬さ分布の例を、後述する窒化処理との比較で示す。浸炭処理は窒化処理に比べ、処理温度が高いことから深い硬化層深さが得られ、強度・耐摩耗性と靱性を両立することが可能となるため、機械構造用部品の表面硬化処理の主流となっており、歯車を中心とした多くの機械構造用部品に適用されている。

2. 浸炭処理技術開発

従来のガス浸炭に対し、短時間処理化が可能な真空浸炭法が注目されている。真空浸炭では、平衡反応であるガス浸炭と比べ、減圧下で炭化水素ガスを直接鋼材と反応させるため、処理温度の高温化と鋼の表面炭素の高濃度化が可能となり、迅速な浸炭による大幅な省エネルギー・CO₂排出削減の実現が期待できる。鋼材表面の炭素濃度を制御し上下を繰り返す「パルス浸炭」(図2)が迅速浸炭化に有効であり、広く適用されている。

また、真空浸炭処理は、浸炭部材の機能向上にも効果がある。ガス浸炭処理では、浸炭ガス中に酸素が含まれ、炭素と同時に酸素も浸入する。このため、粒界にSi、Mn、Cr等の酸化物が生成(粒

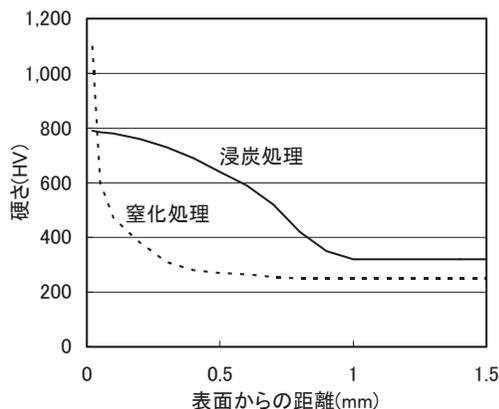


図 1 浸炭・窒化処理品の硬さ分布

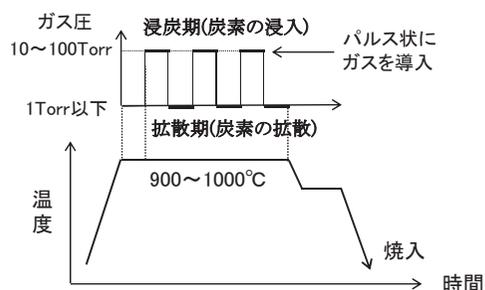


図 2 パルス真空浸炭のヒート、ガス圧パターン(例)

界酸化)し、同元素が減少したその近傍では焼入性が低下し、「浸炭異常層」と呼ばれる不完全焼入層が発生する(写真1)。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。これに対し、真空浸炭は、減圧下(無酸化)雰囲気処理されるため、浸炭異常層の生成が抑えられ、高強度な浸炭部材が得られる。

浸炭部材の高機能化の観点では、通常、浸炭表層の炭素濃度は0.8%程度とするのに対し、これよりも高い炭素濃度(1.1~1.3%程度)とすることを特徴とする高濃度浸炭処理も実用化されている。高濃度浸炭では、表面炭素濃度を高くすることにより硬質な炭化物が表層に生成され(写真2)、特に耐面圧強度に優れる浸炭部材が得られる。表層に炭化物を微細に析出させるため、2次焼き(2回焼入処理)を実施するのが通常であるが、浸炭歪み(部品精度)の悪化を伴うため、これを抑制する技術開発が望まれ検討されている。

上記に加え、近年では、浸炭+高周波焼入や浸炭+窒化といった複合表面熱処理による部品機能向上を目的とした技術開発が盛んであり、実用化

が進んでいる¹⁾。

3. 規格鋼

浸炭処理に用いられるJIS規格鋼の多くは、焼入性を保証した構造用鋼鋼材(H鋼)(G4052)および機械構造用合金鋼鋼材(G4053)に含まれるSMnC、SCr、SCM、SNC、SNCMの鋼種において、炭素濃度が0.15~0.25%のものである。H鋼を用いジョミニー焼入硬さを規定することで、浸炭部材の強度設計に重要な硬化深さや内部硬さが安定して得られるため、浸炭に用いられる合金鋼鋼材の多くがH鋼となっている。海外規格においても、JISとは化学成分範囲等の違いはあるものの、類似した体系となっている。

鋼種の選定においては、部品に必要な内部硬さが得られる焼入性のものを選定することが重要となる。また、一般的にMo、Ni添加量の増加により、既述の不完全焼入組織の低減や浸炭層の強靱化が得られ部品機能向上に有効となるが、反面加工性が低下する傾向となるため、部品機能と加工性のバランスから鋼種・焼入性の選定および浸炭条件の設計が行われる。

4. 高強度肌焼鋼

浸炭部材が使用されるユニットの小型・軽量化、高出力化への対応のため、肌焼鋼の高強度化は永遠の課題である。

浸炭部材の要求強度の高度化に伴い、軟質で疲労強度低下原因となる浸炭異常層の生成を抑制するため、酸化物形成元素であるSi、Mn、Cr等を低減し(写真1)、焼入性および靱性を向上させる元素であるNi、Mo添加量を増加させた高強度肌焼鋼が数多く開発された²⁾。また、浸炭表層部に高い圧縮残留応力を付与させて疲労強度の向上が得られるショットピーニングに適した鋼材・浸炭条件の開発も取り組まれてきた³⁾。

一方、ショットピーニング技術等の進歩により曲げ疲労強度が向上すると、歯車のピッチングに代表される面疲労により破損するケースが増加し、耐面圧強度の向上を主眼とした高強度鋼開発が盛んに行われるようになった。ピッチング対策としては、歯面の温度上昇による軟化を抑制することが有効であり、熱に対する軟化抵抗性を向上させるため、Si添加量を増加させた高Si型の高強度浸炭用鋼⁴⁾や、浸炭窒化用鋼⁵⁾が開発された。

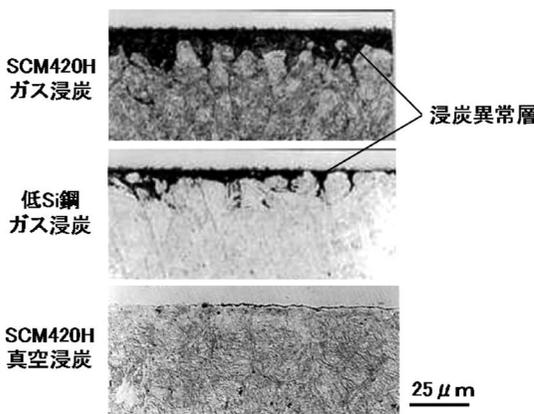


写真1 浸炭表層のマイクロ組織

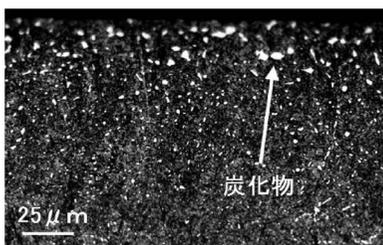


写真2 高濃度浸炭表層のマイクロ組織

5. 低コスト肌焼鋼

冷間鍛造によるニアネットシェイプ加工化で切削加工を簡略化・省略したり、冷間鍛造時の中間熱処理の省略することは、省エネルギー・低コスト化に対し有効である。このため、冷間鍛造性を劣化させるSi、Mn等を低減し、Bの添加により冷間鍛造時の硬さを低減しながら浸炭時に必要な焼入性を確保した、冷間鍛造性に優れる鋼材が開発されている⁶⁾。

冷間鍛造化や浸炭時間短縮のための浸炭温度の高温化が進むと、浸炭時の結晶粒粗大化・異常粒成長(写真3)が課題となる。そこで、浸炭時のオーステナイト結晶粒の成長抑制のため、ピンニング粒子と呼ばれるAlN、Nb(C,N)等の析出量や分布状態を制御した鋼材が開発されている⁷⁾。

合金価格の高騰や、資源枯渇に対するリスク管理への対応から、低合金化への取組みが近年盛んである。CrMo鋼のMoを低減し、浸炭部品の加工性や浸炭特性(強度)を確保した省合金鋼材が実用化されている⁸⁾。

◇ 窒化鋼

1. 窒化処理の概要

窒化処理は、窒化ガスまたは塩浴(ソルトバス)雰囲気にて鋼を所定の時間保持することにより、鋼の表面から窒素を浸透させる処理である。浸炭処理と異なり、その後焼入れ処理は通常実施しない。最表面に高硬度(1,000HV以上)の窒化化合物層を、化合物層の下には窒素の拡散層を有し(写真4)、主に添加元素の窒化物の析出により硬化層が得られる。

窒化処理は、軟窒化処理と区別される。窒化処

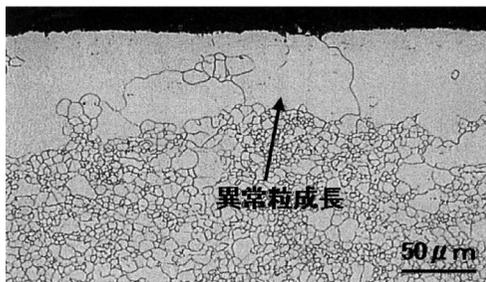


写真3 真空浸炭表層に発生した異常粒成長の事例

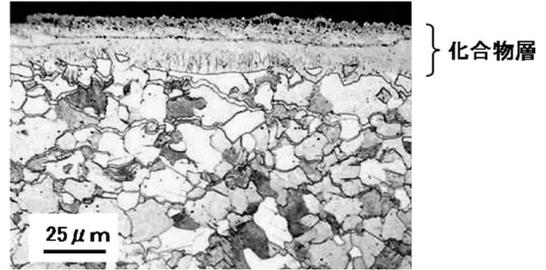


写真4 添加表層のマイクロ組織

理は、窒素を表面から浸入させる(純窒化とも呼ばれる)のに対し、軟窒化処理は窒素と炭素を同時に浸入させる処理である。また、窒素と炭素を同時に浸入させる処理として浸炭窒化があるが、軟窒化は処理温度が低温(500~600℃)で組織の相変態を伴わない(未変態)処理なのに対し、浸炭窒化は通常の浸炭処理に引き続き高温(850℃程度)で処理され、その後焼入れ処理されるため、組織の相変態を伴う(マルテンサイト変態)処理となる。前者は、処理による歪みが小さいという長所と深い硬化深さが得られにくいという短所があり、後者はこれと相反する特徴を有する。

図1に示したように、窒化処理品は浸炭処理品に比べ高い表面硬さを有し、耐摩耗性や耐焼付き性に優れる。一方で、深い硬化深さが得られにくく、深い硬化深さを得るためには長時間処理が必要となり経済的でなく、高強度が必要な部品への適用は限定的である。また、前述のように未変態処理であることから処理による歪みが小さいという利点があり、精密部品へ多く適用されている。

2. 窒化処理技術開発

窒化処理により生成する最表面の窒化化合物層は、高硬度で耐摩耗性に優れる反面、脆弱なため欠け・剥離が生じ強度低下要因となることもある。このため、窒化化合物を生成させない処理方法の技術開発が行われている⁹⁾。また、窒化ガスを高電圧によりイオン化することにより処理を加速するイオン窒化(プラズマ窒化)や、高温窒化処理技術の開発も推進されている¹⁰⁾。

3. 規格鋼

窒化処理に用いられるJIS規格鋼の多くは、機械構造用炭素鋼鋼材(G4051)、焼入性を保証した構造用鋼鋼材(H鋼)(G4052)および機械構造用合

金鋼鋼材（G4053）に含まれるSC、SCr、SCM、SACMの鋼種である。炭素濃度が0.40%前後のものが多く使用される。SACM645は、窒化鋼として規格化されており、窒化により高硬度が得られるCr、Alの添加量が高くなっている。

窒化処理は未変態処理であり、内部は窒化処理温度である500～600℃に長時間保持され軟化する傾向にあるため、必要な内部硬さと加工性のバランスから鋼種および熱処理条件を選定する必要がある。

4. 高強度鋼（低歪み鋼）

既述したように窒化処理は、未変態処理であるため熱処理歪みが小さいという利点がある一方で、硬化深さが浅く、浸炭処理品に比べ強度が劣るため、浸炭処理品の低歪み化に対応可能な高強度窒化鋼のニーズが高い。そこで、窒化硬さを向上させるCr、Al、V等を最適添加した高強度窒化用鋼が開発され、実用化されている¹¹⁾。

むすび

浸炭および窒化処理は、表面硬化による高強度化技術として重要な位置付けにある。高強度化のニーズは永遠であり、今後も材料および表面硬化処理技術の発展に対する期待は極めて大きい。

参考文献

- 1) 大林巧治：Automotive Technology、2007.11、160
- 2) 水野孝樹：電気製鋼、65-1（1994）、13
- 3) 鎌田芳彦：特殊鋼、44-3（1995）、43
- 4) 安達裕司他：愛知製鋼技報、22（2004）、19
- 5) 安部聡他：R&D 神戸製鋼技報、Vol. 54、No. 3（2004）、p. 21
- 6) 紅林豊他：電気製鋼、69（1998）、1、58
- 7) 小塚巧他：愛鋼技報、21（2003）、12
- 8) 安達裕司：特殊鋼、58（2009）、42
- 9) 山本出：日本熱処理技術協会平成26年度第3回熱処理技術セミナー資料、2014、3-2
- 10) 西本明生：J. Vac. Soc. Jpn.、Vol. 56、No. 8、2013、13
- 11) 三輪能久他：自動車技術会学術講演前刷集、892（1989）、395



3. 工具鋼

日立金属(株) なるみまさとし
 高級金属カンパニー技術部 鳴海雅稔

まえがき

工具鋼とは、金属又は非金属材料の切削、塑性加工用などの各種ジグ・工具に用いる鋼の総称であり、JISでは炭素工具鋼 (SK)、高速度工具鋼 (SKH)、合金工具鋼 (SKS、SKD、SKT) の3つに区分されている。図1に各種工具鋼の特性位置付けをまとめた。工具鋼の性能を最大限に発揮させるためには、目的に合わせた熱処理技術を使い分ける必要があり、実際の金型に適用されている事例を用いて解説する。

◇ 炭素工具鋼

炭素工具鋼は、優れた耐摩耗性を付与するため、0.55～1.5%と比較的多くの炭素を含有しており、組織中にも多量の炭化物が存在している。特に共析組成より高い炭素を含有している鋼 (過共析鋼) は、焼入れ加熱時に炭化物の固溶が増すと、冷却時に結晶粒界に網目状炭化物が析出し靱性が低下してしまうため、焼入温度を上げ過ぎない方がよい。表1に代表的な工具鋼の成分と熱処理条件を記載しているが、焼入れは780℃前後に加熱された

後に水冷される。加熱中は脱炭を起しやすいため注意が必要である。炭素工具鋼は、特別な合金元素が添加されていないため焼入性が悪く、寸法が大きくなると芯部まで硬さが入らなくなる。また内外で組織差が生じる結果、大きな変態応力が残留し不具合が生じる危険があるため、寸法の大きな工具には合金工具鋼を適用すべきである。焼入れ後は150～200℃の低温焼戻しを行う。

◇ 高速度工具鋼

高速度工具鋼は通称ハイスとも呼ばれ、元々は切削工具用として開発され、高速回転で加工する際に生じる熱や摩耗に耐えられるよう、多量のWやMo、V等を含有している。このような元素は、Fe₃C (セメントイト) に比べ固溶し難い炭化物を形成するため、焼入温度を高める必要があり、表1のように1200℃前後まで加熱する必要がある。高合金鋼のため通常の鋼より融点が低く、所定の焼入温度をオーバーすると粒界から溶融が起こり過熱組織を生じやすいため、加熱炉の温度精度や測定機器の保守管理に十分注意が必要である。図2にSKH55の熱処理温度と抗折吸収エネルギーの

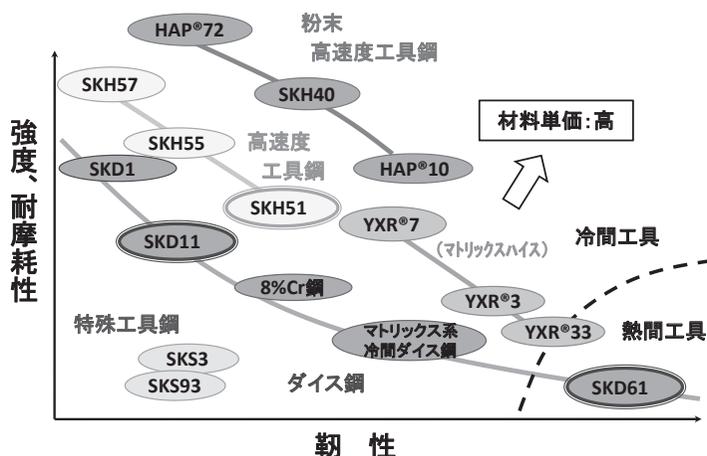


図 1 工具鋼の特性位置付け概念図

表 1 代表的な工具鋼の化学成分と熱処理条件

鋼類	JIS	化学成分 (代表値: Mass%)								熱処理 (代表温度)	
		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co	焼入れ	焼戻し
炭素工具鋼	SK105	1.05	0.2	0.3						780℃ 水冷	低温
合金工具鋼	冷間用	SKS93	1.05		0.95	0.4				820℃ 油冷	低温
		SKS3	0.95		1.05	0.75		0.75		830℃ 油冷	低温
		SKD11	1.5			12.0	1.0		0.35	1030℃ 空冷	低・高温
		8%Cr鋼	1.0	1.0	0.4	8.0	2.0		0.3	1030℃ 空冷	低・高温
	熱間用	SKD61	0.4	1.0	0.35	5.15	1.25		1.0	1020℃ 空冷	高温
高速度工具鋼	SKH51	0.85			4.15	5.0	6.3	1.9		1220℃ 油冷	高温
	SKH40	1.3			4.15	5.0	6.2	3.0	8.4	1180℃ 油冷	高温

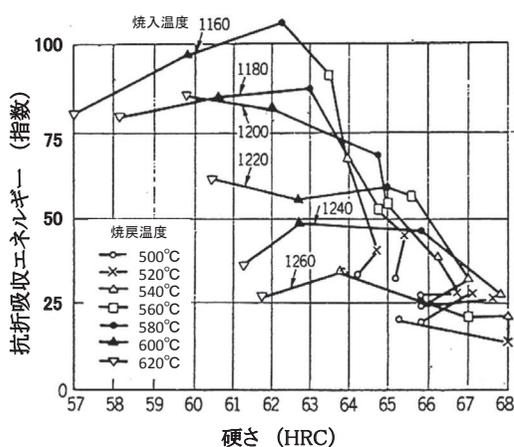


図 2 SKH55の熱処理温度と抗折吸収エネルギーの関係

関係を示すが、同じ材料でも焼入れや焼戻しの温度によってその特性が大きく変わることが判る。耐熱、耐摩耗性を重視する用途には焼入れ温度を高め、割れや折損などの問題が多い工具には低めに設定するのが良い。塑性加工用工具としてSKH51を使用する場合、通常焼入れでは1180～1200℃くらいであるが、韌性を高める目的で1100～1150℃まで焼入れ温度を下げるアンダーハードニング法を適用することもある。加熱時間は、結晶粒粗大化による韌性低下を防ぐため長時間は禁物で、材料の芯部が所定温度に達してから数分間保持するのが適当である。その後の冷却は、炭化物の粒界析出による硬さや特性の低下を防ぐため、油や塩浴（ソルトバス）に浸漬して急冷されるのが一般的である。塩浴焼入れは、歪み低減の観点からも有効な熱処理法ではあるが、近年、廃液処

理などの環境面で問題があることや、光輝肌が好まれるようになってきたことから、真空焼入れに移行しつつある。焼戻しは二次硬化のピークをやや過ぎた560℃前後で2回以上行う。(Co含有ハイスは3回)

◇ 合金工具鋼

1. 冷間工具鋼

冷間工具鋼には高い耐摩耗性と60HRC前後の硬さが必要とされるため、SKD11が古くから使用されてきた。SKD11は焼入れ性が良好で、真空炉内のガス冷却においても中心部までほぼ均一の硬さが得られる。焼入れは1020～1030℃に加熱されるのが一般的であり、マルテンサイト変態終了温度が常温以下であるため焼入れ後には約20%のオーステナイトが残留する。この残留オーステナイトは軟らかい組織であり450℃前後までは準安定状態で存在しているため、欠けや割れなどの対策として韌性を必要とされる場合は低温焼戻しを行うこともある。

1980年頃から金型のつくり方が大きく変わり、形彫りやワイヤー放電加工機が広がり始めた頃、変形や割れの問題が多発した。焼入れ時の残留応力が要因であることが判り、500～520℃の高温焼戻しにより対策が取られた。近年では、耐摩耗性や耐かじり性向上を目的とし、PVDなどの表面処理を行うこともあり、常温で使用されることの多い冷間工具鋼でも高温焼戻しをするものが増えてきた。このような背景の中、高温焼戻し後に62HRC以上の硬さを確保できる8%Cr鋼などの改良鋼が各特殊鋼メーカーより開発されてきた。

SKD11を高温焼戻しすると残留オーステナイト

が不安定化し、その冷却過程でマルテンサイトに
変態膨張する。図3のように焼戻温度が高くなり、
残留オーステナイトが減少するほど熱処理変寸が
大きくなるため、特に自動車板金のセグメント分
割型など、組付け工数の低減を強く求められるよ
うな金型では、変寸量を極小化させるような温度
で焼戻しされることが多い。薄いプレート形状の
ようなものは、ジグで挟んで変形を矯正しながら
焼戻しをする、プレステンパー法も併用され、高
精度化を達成している。

高温焼戻しの適用が増えてくるにつれ、経年変
形の問題がクローズアップされてきた。経年変形
は、焼入焼戻しで分解できなかった不安定なオ
ーステナイトが、時間の経過に伴い変態膨張する
ことで生じる寸法変化である。一般に、残留オ
ーステナイト1%の変態につき、0.010~0.015%の伸び
が生じると言われている¹⁾。精密プレスではミク
ロンオーダーの高い精度を要求される金型もあり、
その対策が必要不可欠である。経年変形を抑制す
るためには、残留オーステナイト量を減らすか、
または安定なオーステナイトに変化させる必要が
ある。前者はサブゼロ（深冷）処理が一般的であ
り、寒剤としてドライアイス（-78℃）や、液体
窒素（-196℃）を気化させたガスを入れた密閉装
置を使用し、焼入れ直後実施するのが効果的で
ある。サブゼロ処理は材料の芯部が所定温度に達
したら保冷は完了させ、その後は連続して焼戻し

を行う。後者は、焼入焼戻し後に、250~400℃前
後に再加熱することにより、不安定な残留オ
ーステナイトを安定化させ、経年変形を抑制させる手
法であり、安定化処理とも呼ばれている。いずれ
の方法も経年変形を完全に無くすことは出来な
いが、繰返し処理や両者を組合せることで、変形量
を大幅に抑制させることが可能である。

2. 熱間工具鋼

熱間工具鋼は、高温強さと韌性を兼備した特性
が必要となり、最も汎用的に使用されているのが
SKD61である。ダイカストのように、金型の大型
化やハイサイクル化が進んでいる分野では、ESR
（エレクトロスラグ再溶解法）やVAR（真空ア
ーク再溶解法）などの特殊溶解を適用した高品位
の材料も使用されている。

図4にSKD61の連続冷却変態図の概念図を示
す。焼入冷却速度が遅くなると、高温域では炭化
物の粒界析出が、低温域ではベイナイトの生成が
起こることにより韌性が低下するため、急冷焼入
れを行うことが多い。使用される設備としては、
塩浴焼入れや油焼入れが多かったが、近年、真空
焼入炉の性能向上が目覚しく、条件によっては油
冷以上の冷却速度が得られることより、大型製品
にまで真空焼入れが適用されるようになってきた。

急冷により韌性は向上するが、一方で変形が大
きくなり、熱処理後の仕上げ加工工数が増え、金
型製作コストや納期に影響を及ぼす。また焼割れ

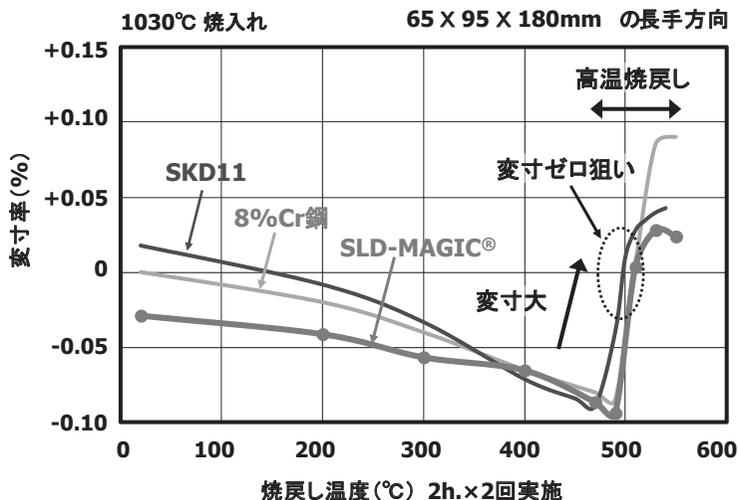


図 3 SKD11及び改良鋼の熱処理変寸率

事故につながるケースもある。金型の特性を向上させると共に、変形や割れリスクを最小限にすることは、熱処理メーカーの命題となっており、当社グループで開発した、2段冷却法（MAQ[®]-H法）を紹介する。

SKD61相当の材料は、粒界析出域とベイナイト変態域の冷却速度がポイントになるが、これらの組織が靱性に及ぼす影響について、高温域と低温域の冷却を変えて調査を行った。図5に低温域のみ急冷した場合と通常冷却した場合の靱性値の比較結果を示す²⁾。高温域の冷却が遅くとも低温域が急冷されていれば高い靱性値が得られてお

り、高温域の冷却速度が靱性に及ぼす影響が少ないことが判る。MAQ[®]-H法は、高温域を比較的ゆっくりと冷却し、低温域を急冷することで、変形低減と靱性向上の両立を達成した焼入れ方法である。図6に実際の金型で従来法とMAQ[®]-H法の変形量とシャルピー衝撃値を比較したデータを示す。MAQ[®]-H法は衝風冷却とほぼ同等の低歪みであるにもかかわらず、油冷却並みの高靱性が得られている。高温強さや靱性を改善した高性能材（SKD61改良材）に、この低歪高靱性熱処理技術を組合せることにより、ダイカスト型の寿命向上と、製作コスト低減の両立が可能となる。

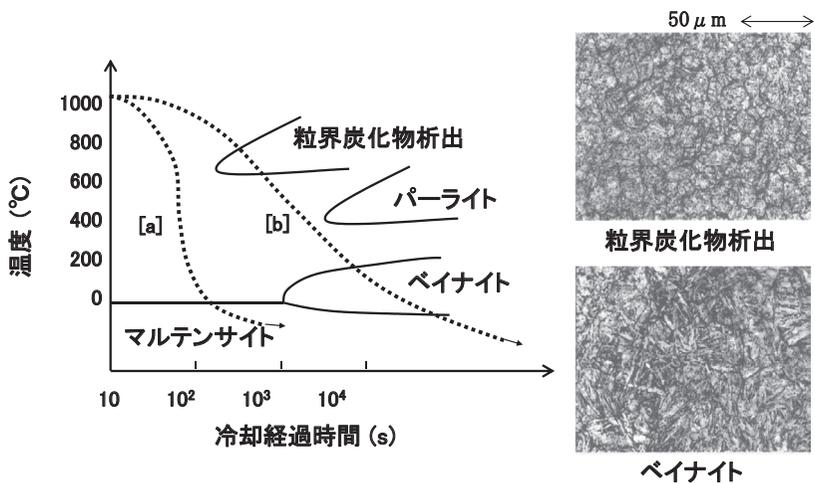


図 4 SKD61の連続冷却変態図の概念図とミクロ組織例

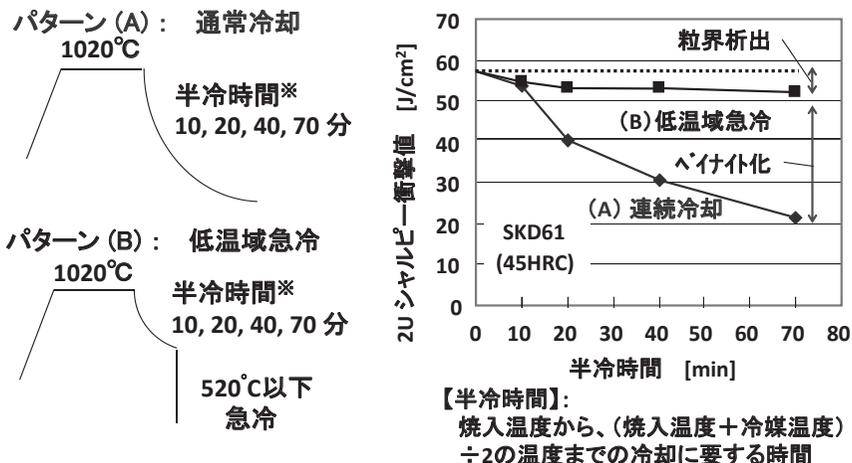


図 5 SKD61の靱性に及ぼす冷却速度の影響

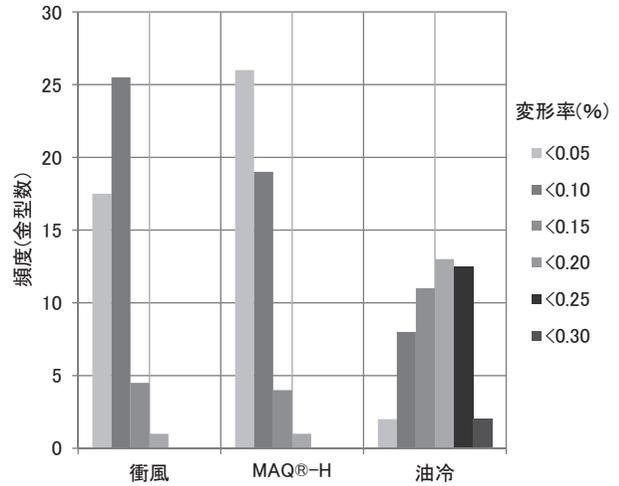
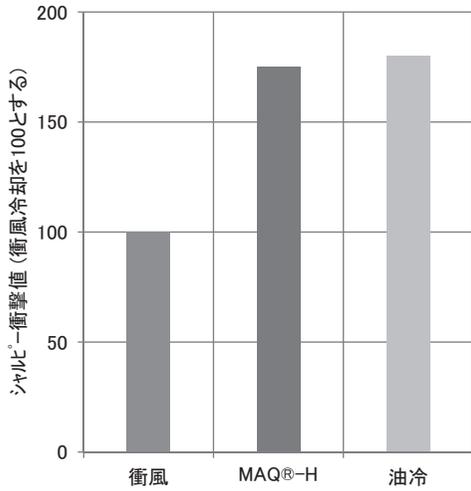


図 6 韌性、変形に及ぼす焼入れ方法の影響 (SKD61)

むすび

本項では、焼入温度や焼戻温度が工具鋼の特性に及ぼす影響、および熱処理変形や経年変形を抑制する技法について事例を用いて解説した。工具鋼の品質を最後に決定付けるのが熱処理であり、

今後も、更なる高品位化や歪み制御法を追求して、技術開発を続ける必要があると考える。

引用文献

- 1) 日原政彦：型技術、第27巻第2号 2012年2月号、p. 94-97
- 2) 型技術協会 型寿命向上研究委員会編：金型高品質化のための表面改質 (2009)、p. 63-69



4. ばね鋼

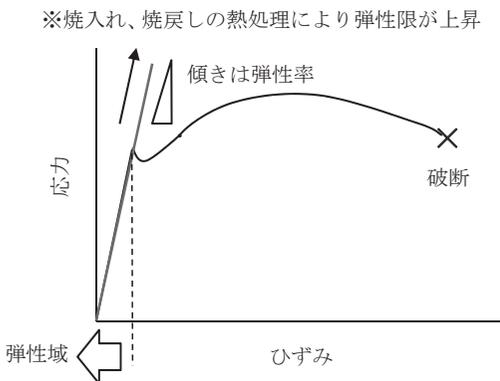
三菱製鋼室蘭特殊鋼(株) やま おか たく や
技 術 部 山 岡 拓 也

まえがき

材料は応力を加えると変形（ひずみ）を生じますが、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。樹脂ばねなど非金属のばねも存在しますが、これらの分野では鉄鋼材料である特殊鋼が主流となっています。熱処理を行いその機能を発揮する特殊鋼、ばね鋼においても例外ではありません。ここではばねに使用される特殊鋼の種類、適用される熱処理と熱処理に及ぼす各元素の影響、および特殊熱処理について、できるだけ分かりやすく紹介します。

◇ ばねに求められる特性～耐久性、耐へたり性、耐腐食性

鉄鋼材料の引張試験を行った際に得られる応力-ひずみ線図の例を図1に示します。一般的に応力とひずみが直線関係にある範囲内では、上述のように応力の除去により元の状態に戻ります。この領域を弾性域と言ひ、ばねはこの範囲内で使用されます。焼入れ・焼戻しの熱処理は弾性限を上昇



させ、材料の強さ、ひいては疲れ強さを向上させます。直線関係にある傾きは弾性率を表します。この傾きを大幅に上げることができれば画期的なものになりますが、材料（物質）によりほぼ一定の値を示します。引張などの単軸応力での変形ではヤング率（縦弾性係数）として表され、鋼の場合210Gpa程度となります。変形のしにくさの指標となります。弾性限が高く、高い疲れ強さが求められるばねに焼入れ・焼戻しの熱処理が必要であり、かつ重要な工程となるのは容易に理解されることでしょう。

また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。これをへたりと言ひます。車両の場合車高が下がる問題が発生します。耐へたり性もばねにとって重要な性能になります。

一方でこの耐久性、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。代表的なばねである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。耐久性、耐へたり性を向上し、耐腐食性も考慮したバランスの良いばねが求められるのです。

◇ ばね鋼の種類

JISではばね鋼は特殊用途鋼として分類され、G4801でばね鋼鋼材が規定されています。表1にばね鋼の種類、表2にその化学成分を示します。使用されるばねの種類、寸法によって鋼種が選択されます。焼入れ・焼戻しの熱処理の際には、中心まで十分に焼きを入れてから焼戻しを行い、熱処理の効果を発揮する必要があります。従ってばねの寸法が大きくなるにつれ焼入れ性の良い材料を選ぶことになります。

表 1 ばね鋼の種類¹⁾

規格記号	摘 要	
SUP6	シリコンマンガン鋼鋼材	主として、重ね板ばね、コイルばね及びトーションバーに使用する。
SUP7		
SUP9		
SUP9A	マンガンクロム鋼鋼材	
SUP10	クロムバナジウム鋼鋼材	主として、コイルばね及びトーションバーに使用する。
SUP11A	マンガンクロムボロン鋼鋼材	主として、大形の重ね板ばね、コイルばね及びトーションバーに使用する。
SUP12	シリコンクロム鋼鋼材	主として、コイルばねに使用する。
SUP13	クロムモリブデン鋼鋼材	主として、大形の重ね板ばね及びコイルばねに使用する。

表 2 ばね鋼の化学成分¹⁾

規格記号	化 学 成 分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	B
SUP6	0.56-0.64	1.50-1.80	0.70-1.00	max0.030	max0.030	-	-	-	-
SUP7	0.56-0.64	1.80-2.20	0.70-1.00	max0.030	max0.030	-	-	-	-
SUP9	0.52-0.60	0.15-0.35	0.65-0.95	max0.030	max0.030	0.65-0.95	-	-	-
SUP9A	0.56-0.64	0.15-0.35	0.70-1.00	max0.030	max0.030	0.70-1.00	-	-	-
SUP10	0.47-0.55	0.15-0.35	0.65-0.95	max0.030	max0.030	0.80-1.10	-	0.15-0.25	-
SUP11A	0.56-0.64	0.15-0.35	0.70-1.00	max0.030	max0.030	0.70-1.00	-	-	≥0.0005
SUP12	0.51-0.59	1.20-1.60	0.60-0.90	max0.030	max0.030	0.60-0.90	-	-	-
SUP13	0.56-0.64	0.15-0.35	0.70-1.00	max0.030	max0.030	0.70-0.90	0.25-0.35	-	-

Cuはすべてmax0.30%

また自動車ではCO₂排出量削減（燃費向上）のため、軽量化は重要な取組み事項です。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、耐食を向上させる合金元素を添加しています。次項では各合金元素の役割を紹介します。

◇ 合金元素の役割

各合金元素がばねの特性に及ぼす影響をみてみましょう。

C：硬さを高めます。ばね鋼では硬さを安定して確保するため基本となる元素です。

Si：耐へたり性を向上させます。

Mn：焼入れ性を向上させます。

P：粒界に偏析し、韌性を低下させます。許容される最大値として規定されます。

S：切削性を付与しますが、韌性を低下させます。微量範囲内に制御されることもあります。

すが、多くの場合、許容される最大値として規定されます。

Cr：焼入れ性を向上させます。

Mo：焼入れ性を向上させます。韌性を向上させる効果があります。

V：結晶粒を微細化させます。

B：微量添加で焼入れ性を大きく向上させます。

その他耐食性、耐水素脆性向上のため、Ni、Cu、Ti、Nbなどの元素が添加調整される場合があります。

これら合金元素の成分範囲はばねの特性、加工性、製造容易性などのトータルコストを勘案して決定されます。

◇ ばね鋼の機械的性質

JISでは熱処理を行った場合に得られるばね鋼の機械的性質を、機械構造用鋼、合金鋼、炭素工具

鋼とともに参考情報として記載されています。表 3 に定型試験片での機械的性質を示します。この表では多くの特性値が〇〇以上という表記のため、

図 2 にばね鋼 SUP12 での焼戻し性能曲線の一例を示します。この焼戻し性能曲線は、ばねの設計応力の目安となり、焼戻し温度選定に役立つ貴重な

表 3 ばね鋼 定型試験片での機械的性質 (参考)²⁾

規格記号	熱処理 (°C)		機械的性質				
	焼入れ	焼戻し	耐力0.2% N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	硬さ HBW
					4号試験片 又は 5号試験片	4号試験片	
SUP6	830-860 油冷	480-530	1,080以上	1,230以上	9以上	20以上	363-429
SUP7	830-860 油冷	490-540	1,080以上	1,230以上	9以上	20以上	363-429
SUP9	830-860 油冷	460-510	1,080以上	1,230以上	9以上	20以上	363-429
SUP9A	830-860 油冷	460-520	1,080以上	1,230以上	9以上	20以上	363-429
SUP10	840-870 油冷	470-540	1,080以上	1,230以上	10以上	30以上	363-429
SUP11A	830-860 油冷	460-520	1,080以上	1,230以上	9以上	20以上	363-429
SUP12	830-860 油冷	510-570	1,080以上	1,230以上	9以上	20以上	363-429
SUP13	830-860 油冷	510-570	1,080以上	1,230以上	10以上	30以上	363-429

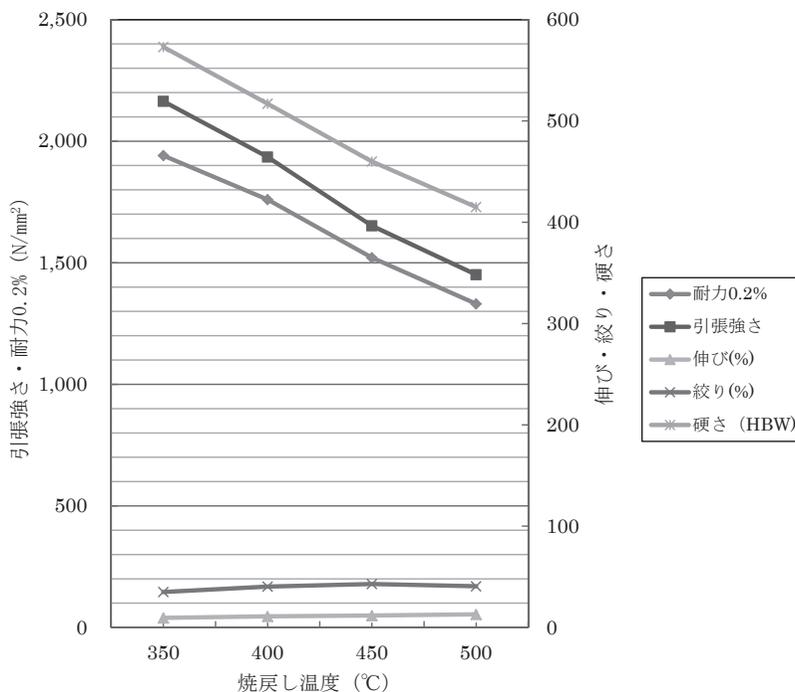


図 2 焼戻し性能曲線の例 (SUP12)

データとなります。自動車用懸架ばねでは高強度化の流れから、焼戻し温度は表3で示されている範囲より低くする方向にあります。

◇ ばねの製造工程

図3に熱間成形巻ばねの製造工程例を示します。多くの場合ラインは焼入れ・焼戻しの工程を含めて自動化され、自動車用懸架ばねの製造では非常に短いサイクルタイムで流れています。見学の機会がありましたら、ぜひご覧頂きたいと思ます。

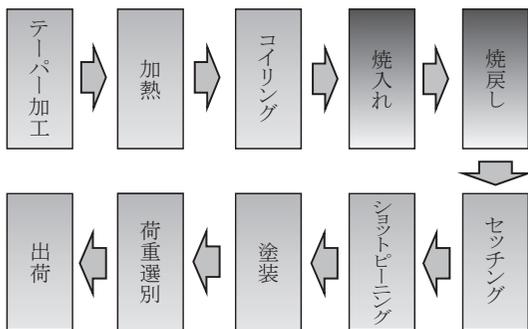


図 3 熱間成形巻ばねの製造工程例

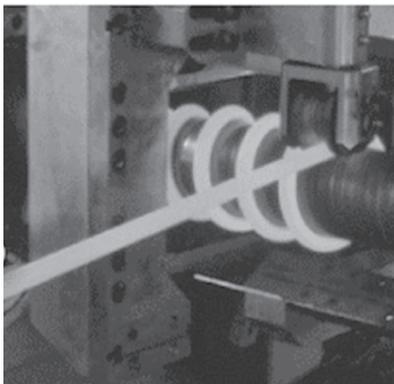


写真1 コイルング状況
三菱製鋼ホームページより

◇ 特殊熱処理

JISではばね用オイルテンパー線がG3560で、弁ばね用オイルテンパー線がG3561で規定されています。オイルテンパー線は冷間加工により伸線した線を連続的に焼入れ・焼戻し処理を行い製造します。弁ばねやサスペンションばねなど自動車用のみならず、一般コイルばねまで幅広く使用されています。

また高周波誘導加熱を利用して焼入れ焼戻しを行うばね用鋼線も製品として存在します。高周波誘導加熱による急速・短時間処理により微細な結晶粒が得られ、脱炭も生じないという優れた特性を有します。制御も自動化さればらつきが小さいという特徴があります。

いずれも詳しくは文献・資料等でご確認頂きたいと思ます。

むすび

ばね鋼の特性をいかに発揮するために行われる熱処理は非常に重要な工程となります。今回は詳しく触れませんでした。この熱処理工程での処理を誤ると大きな不具合が発生します。例えば不十分な焼入れは硬さ、強度不足の原因となり、加熱過多は脱炭による表層硬さの低下を引き起こします。いずれも耐久性低下につながるものです。さらに焼入れ性の大きい材料は変形を生じたり、焼き割れの危険も伴います。多くのばねは加熱成形から最終工程まで連続的に製造されるため、不具合発生の際には影響範囲も大きなものとなります。言葉は悪いですが、ばねを生かすも殺すも熱処理次第と言えるのです。

参考文献

- 1) 日本規格協会：JISハンドブック 鉄鋼 I 2015 P 1731
- 2) 日本規格協会：JISハンドブック 鉄鋼 I 2015 P 2298

5. 軸受鋼

山陽特殊製鋼(株) 平塚悠輔
研究・開発センター

まえがき

軸受用途として最も多く使用されている「高炭素クロム軸受鋼」はJIS G 4805で規定されており、中でもSUJ2は1% C、1.5% Crとする基本成分を特徴とした鋼種である(表1)。単純な焼入れ・焼戻し処理により60HRCを超える高硬度、また、軸受製品に必要とされる優れた耐摩耗性・転がり疲れ特性を付与することができる。一方で、製品に加工する際には冷間加工性・被削性が必要となるため硬さが低い方が望ましい。このジレンマを解決するためにも、熱処理による硬さ・組織の制御が必要となる。特に軸受鋼は過共析鋼であるが故に炭化物を多量に存在する組織となるため、熱処理による炭化物の形態のコントロールが非常に重要である。以下、本稿では軸受鋼における各熱処理の目

的、方法、注意点について解説する。

各熱処理について目的と方法の概略を表2にまとめる¹⁾。

◇ 均熱拡散処理 (ソーキング)

高炭素クロム軸受鋼では、巨大共晶炭化物(以下巨炭と略す)と呼ばれる凝固時に不可避に発生する粗大な炭化物を解消するため、連続铸造ブルームや造塊によるインゴットに対して均熱拡散処理(ソーキング)と言われる熱処理を施すのが一般的である。このソーキング処理を行わないと、後の熱処理・熱間加工では巨炭を除去することは困難であり、最終製品時に残存し、製品の特性を低下させる原因となる。球状化焼なまし後に残存した巨炭の光学顕微鏡写真¹⁾を図1に示す。

具体的な方法は固相線直下の高温域(1200~

表 1 高炭素クロム軸受鋼の化学成分 (JIS G4805より抜粋) (mass%)

種類の記号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SUJ2	0.95~1.10	0.15~0.35	0.50以下	0.025以下	0.025以下	1.30~1.60	-
SUJ3	0.95~1.10	0.40~0.70	0.90~1.15	0.025以下	0.025以下	0.90~1.20	-
SUJ4	0.95~1.10	0.15~0.35	0.50以下	0.025以下	0.025以下	1.30~1.60	0.10~0.25
SUJ5	0.95~1.10	0.40~0.70	0.90~1.15	0.025以下	0.025以下	0.90~1.20	0.10~0.25

※不純物としてのNi及びCuは、それぞれ0.25%を超えてはならない。ただし、線材のCuは0.20%以下とする。不純物としてSUJ2及びSUJ3のMoは、0.08%を超えてはならない。

表 2 高炭素クロム軸受鋼の熱処理概要¹⁾

熱処理	主な目的	方 法
均熱拡散 (ソーキング)	・共晶巨大炭化物の消失 ・樹枝状晶偏析の軽減	1200~1250℃程度、数~20時間程度保持
焼ならし (ノルマライズ)	・網目状炭化物の分断	850~900℃程度に加熱、空冷又は強制冷却
球状化焼なまし (SA)	・加工性の向上(硬さ低減) ・炭化物の形態コントロール	780~810℃程度に加熱(SUJ3,5は760~790℃) その後650℃程度まで徐冷
低温焼なまし (LA)	・残留応力除去	原則として変態点以下の温度に加熱、空冷
焼入れ・焼戻し (QT)	・転がり疲れ強さ、耐摩耗性の確保 (硬さ60HRC以上)	焼入れ: 800~840℃程度に加熱(SUJ3,5は790℃~830℃) 油中(又は水中、塩浴中)にて急冷 焼戻し: 120~200℃程度に加熱、空冷

1250℃程度)での長時間保持である。ただし、処理温度や時間は偏析の度合いやブルーム・インゴットサイズに左右され、一概に最適パターンを示すことができない。高温であるほど短時間で処理を終えることができるが、液相の発生により脆化(オーバーヒート)する恐れがあるので処理温度と時間の設定に慎重を要する。最近では連続鋳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きている²⁾。

◇ 焼ならし

軸受鋼では、熱間圧延後の冷却時に図2に示すような網目状炭化物(通称ネット)と称される旧オーステナイト粒界に沿った初析セメントタイトを

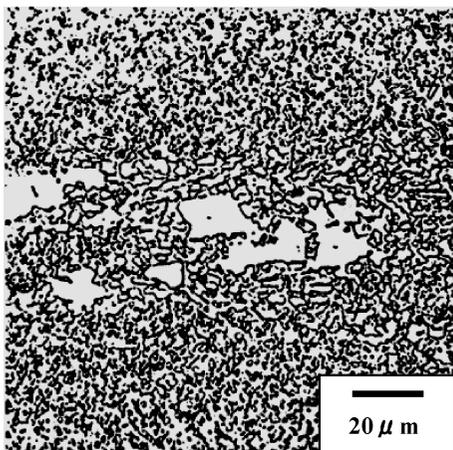


図 1 球状化焼なまし後に残存した巨炭¹⁾

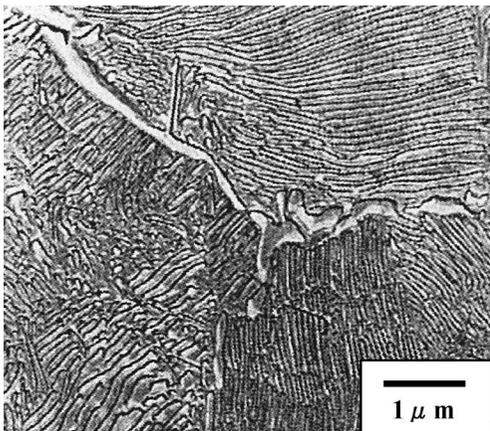


図 2 圧延まま組織における網目状炭化物³⁾

生じる³⁾。ネットの幅は冷却速度と関係があり、冷却が遅くなるほど成長し幅広となるため、後の球状化焼なまし、焼入れ・焼戻しでは解消できない場合がある。そのため、冷却速度の遅くなり易い太丸の材料では焼ならし熱処理を行う場合がある。圧延後の空冷速度が大きくなる細丸棒材や線材においては実施の必要はない。焼ならしは通常、亜共析鋼においては粒径の揃ったフェライト+パーライト組織を得ることが目的であるが、軸受鋼においてはネットの分断が主な目的である。

具体的な方法は炭化物が分断しその一部がオーステナイト中に固溶する850~900℃程度で短時間加熱し、その後空冷またはファンによる強制冷却を行う。加熱温度は高めすぎたり加熱時間を長くしすぎると炭化物の固溶が進み、その後の冷却において再度ネットが生成するため注意が必要である。図3にSUJ2の焼ならし後のマイクロ組織の光学顕微鏡写真¹⁾を示す。旧オーステナイト粒界のネットは分断されており、粒内はラメラ状のパーライトと球状化の炭化物組織を呈している。

◇ 球状化焼なまし

球状化焼なましは、軸受鋼にとって非常に重要な熱処理である。熱間圧延まもしくは熱間鍛造ままではパーライト組織であり、硬さは35~40HRC程度になる。この硬さは切削や冷間加工の大きな妨げとなるため、軸受鋼の場合球状化焼なましによる硬さ低減が必要となる。また、この処理を行うことで焼入れ・焼戻し後の組織において、

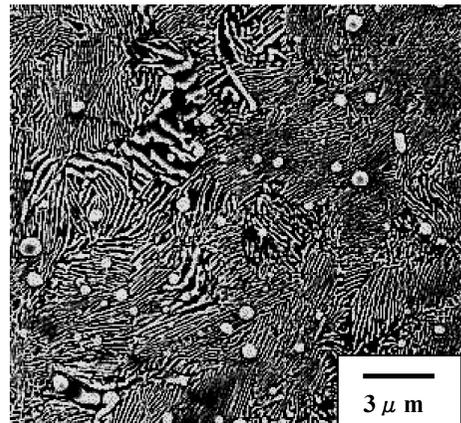


図 3 焼ならし組織¹⁾

炭化物が分散した均質な組織が安定的に得られる。

球状化焼なましには幾つか方法があるが、一般的な方法は徐冷法である。オーステナイトとセメントタイトの2相域（800℃程度）まで升温し、元はパーライトである組織においてセメントタイトを一部マトリックスに固溶させることにより炭化物を粒状化した状態で残存させる。そこから、フェライトが出始める変態点よりやや高い温度から650℃程度まで徐冷することにより、粒状セメントタイトを核として成長する過程となり、パーライト組織に戻ることなく球状化組織が得られる。最高点温度、徐冷開始温度、徐冷速度、出炉温度がそれぞれ重要であり、それらが適切でない炭化物粒径不揃いや微細炭化物の発生、ラメラ状の炭化物の残存あるいは再析出といった組織不良を引き起こす要因となる。

一般的な球状化焼なまし組織⁴⁾を図4に示す。マトリックスはフェライトであり0.5~1.0μm程度の大きさに球状化された炭化物が均質に分散している。分散状態が工業的な硬さの指標となりSUJ2の場合球状化焼なまし硬さはおよそ90HRB程度、SUJ3では93HRB程度であるが、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粒径とに左右され⁵⁾、炭化物間距離を広げることにより硬さ低減は可能である⁶⁾。

なお、他の焼なまし方法として低温焼なましを採用される場合がある。同処理は冷間塑性加工による応力除去が目的で施され、例えば鋼管のコー

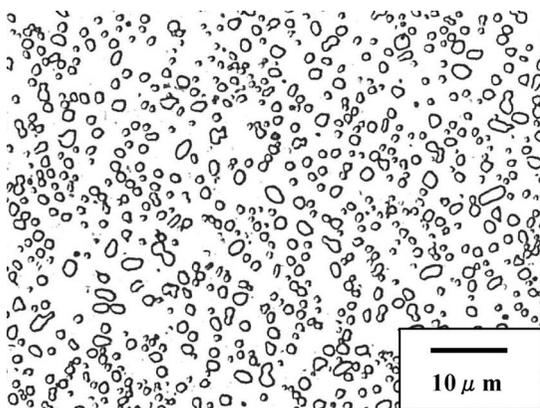


図4 球状化焼なまし組織⁴⁾

ルドピルガーによる冷間圧伸や引抜き加工の後に実施されている。

◇ 焼入れ・焼戻し

焼入れ・焼戻しは切削や冷間加工により軸受軌道輪や転動体などの形状に成形した後に行う熱処理であり、軸受製品に必要とされる十分な硬さと転がり疲れ特性や耐摩耗性を与えるために行う。耐摩耗性に関しては、焼入れ前の球状化組織の炭化物の形態・分散状態が適切であるかが重要となる。

焼入れ処理は800~840℃程度に加熱してオーステナイト中に炭化物を適度に溶かし込み、その後急冷することにより硬さ60HRC以上のマルテンサイト組織を得る。適切な焼入れが行われた場合、マトリックスに固溶する炭素量は0.6%程度であり、残り0.4%程度は球状化炭化物として残存する。

その後、120~200℃程度で1~2時間の焼戻しを行う。焼戻しによりマルテンサイト中から炭素が一部排出することで内部応力が緩和され組織が安定化する。焼戻し温度は要求される硬さにより選定されるが、ボール、コロといった転動体では軌道輪より高い硬さが要求されるため120~160℃程度と低めの温度で処理される。

むすび

軸受鋼は工具鋼やステンレス鋼などと比較すると添加元素が少なく、成分的にはシンプルかつ安価な鋼種と言える。しかし、軸受は高い外部荷重・高速回転運動・高繰返し数が負荷される非常に過酷な環境で使用される。そのため、硬さ・転がり疲れ特性・耐摩耗性を安定的に得るための、適切な熱処理プロセスによる組織の造り込みが非常に重要と言える。

参考文献

- 1) 平岡和彦：第188回・189回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会編、(2006)、117
- 2) 瀬戸浩蔵：軸受用鋼、日本鉄鋼協会(1999)、99
- 3) 瀬戸浩蔵：Sanyo Technical Report、3(1996)、64
- 4) 坪田一一：Sanyo Technical Report、5(1998)、105
- 5) 平岡和彦、木下斎：Sanyo Technical Report、6(1999)、47
- 6) 木下斎、平岡和彦：鍛造技報告、25(2000)、8

6. ステンレス鋼

日本冶金工業(株) おい かわ まこと
ソリューション営業部 及 川 誠

まえがき

ステンレス鋼とは、Cr含有率を10.5%以上、C含有率を1.2%以下とし、耐食性を向上させた合金鋼で、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種類に分類されます (JIS G 0203)。

本稿では、5種類に分類されたステンレス鋼についてJIS G 4303に記載されている熱処理を中心に解説を行います。なお、表に記載した数値はステンレス鋼棒に関するものであり、JIS G 4304やJIS G 4305に記載されている鋼板、鋼帯に関する数値とは異なる場合がありますことに注意願います。

◇ オーステナイト系ステンレス鋼の熱処理

1. 固溶化熱処理

固溶化熱処理は前処理で生成したマルテンサイ

トやひずみをなくし、また炭化物を固溶させてオーステナイト単相にして、優れた耐食性と加工性を確保する熱処理です。表1にJIS G 4303に記載されている熱処理条件を示します。熱処理温度は、おおむね1010~1150℃の範囲のもの、下限温度が900℃台のもの、1030~1180℃の範囲のものに分けられます。

主なオーステナイト系ステンレス鋼の炭化物は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。高温ほど鋼中の固溶C量が多くなり、炭化物が分解しやすくなるので、高Cの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ので、固溶C量はC含有量に比べて著しく低くなります。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を多く含有する鋼では固溶C量が低

表 1 オーステナイト系ステンレス鋼の熱処理

種類の記号	固溶化熱処理	種類の記号	固溶化熱処理
SUS201	1010~1120℃急冷	SUS316L	1010~1150℃急冷
SUS202	1010~1120℃急冷	SUS316N	1010~1150℃急冷
SUS301	1010~1150℃急冷	SUS316LN	1010~1150℃急冷
SUS302	1010~1150℃急冷	SUS316Ti	920~1150℃急冷
SUS303	1010~1150℃急冷	SUS316J1	1010~1150℃急冷
SUS303Se	1010~1150℃急冷	SUS316J1L	1010~1150℃急冷
SUS303Cu	1010~1150℃急冷	SUS316F	1010~1150℃急冷
SUS304	1010~1150℃急冷	SUS317	1010~1150℃急冷
SUS304L	1010~1150℃急冷	SUS317L	1010~1150℃急冷
SUS304N1	1010~1150℃急冷	SUS317LN	1010~1150℃急冷
SUS304N2	1010~1150℃急冷	SUS317J1	1030~1180℃急冷
SUS304LN	1010~1150℃急冷	SUS836L	1030~1180℃急冷
SUS304J3	1010~1150℃急冷	SUS890L	1030~1180℃急冷
SUS305	1010~1150℃急冷	SUS321	920~1150℃急冷
SUS309S	1030~1150℃急冷	SUS347	980~1150℃急冷
SUS310S	1030~1180℃急冷	SUSXM7	1010~1150℃急冷
SUS312L	1030~1180℃急冷	SUSXM15J1	1010~1150℃急冷
SUS316	1010~1150℃急冷		

くなっているため、より高温での熱処理が必要となります。そのため、SUS310S、SUS312LやSUS836Lなどでは高温の固溶化熱処理が必要となります。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ます。この際、Cr炭化物の周囲にCr濃度の著しく低いCr欠乏層が生成し、そこを起点に腐食が進行して、耐食性を著しく低下させます。よって、熱処理でCを固溶化した後は、Cr炭化物が析出しないように急冷することが必要です。

2. 安定化熱処理

安定化元素のTi、Nbを添加したSUS316Ti、SUS321、SUS347では安定化熱処理を施す場合があります。安定化熱処理はCrよりもCとの親和力の大きいTiやNbと固溶Cを反応させて析出物とし、固溶C量を低減し、Cr炭化物の粒界析出を防いで、耐粒界腐食性を向上させる熱処理です。

熱処理温度は、Cr炭化物が析出し難い温度域(850℃以上)で、かつTiCやNbCが十分に析出し固溶C量を低下させる温度(930℃以下)とし、冷却は、固溶C量が十分に低減しているため、急冷とする必要はありません。

◇ オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼の熱処理

1. 固溶化熱処理

オーステナイト・フェライト系ステンレスでは、オーステナイト相とフェライト相の比率(相比)が耐食性、機械的性質等に影響を及ぼすことが知られており、この相比は熱処理温度によって変化します。そのため、固溶化熱処理は前工程で生成したひずみや析出物をなくすだけでなく、適切な相比を得ることも考えた温度範囲で実施されます。表2にJIS G 4303に記載されている熱処理条件を示します。冷却は、耐食性や機械的性質を劣化さ

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

種類の記号	固溶化熱処理
SUS329J1	950～1100℃急冷
SUS329J3L	950～1100℃急冷
SUS329J4L	950～1100℃急冷

せる σ 相の析出などを防止するために急冷が必要となります。

◇ フェライト系ステンレス鋼の熱処理

1. 焼なまし

焼なましは前工程で発生したひずみや応力を除去して、優れた耐食性と加工性を確保する熱処理です。表3にJIS G 4303に記載されている熱処理条件を示します。

熱処理温度は2種類に分けられます。一つは、SUS430などの上限が850℃以下のものです。これらの鋼種では高温でオーステナイト相が生成するので、フェライト相領域での熱処理を行います。熱処理温度域ではCの固溶限が低いので、Cr炭化物を多く含んだフェライト相となります。そのため、熱処理後は徐冷が可能です。また徐冷を実施すると、冷却途中で炭化物が析出しCr欠乏層が生成しても、フェライト中のCrの拡散が早いために回復(Cr欠乏層がなくなる現象)が生じて耐食性は劣化しません。もう一つはSUS447J1、SUSXM27の900～1050℃の範囲のものです。これらの鋼種は高温でもオーステナイト相が生成しない鋼種です。高Cr量のため再結晶温度が高くなるので熱処理温度も高くなりますが、結晶粒の粗大化の弊害を受けないように上限温度があります。冷却は両鋼種ともに、 σ 相析出、475℃脆性による脆化や耐食性劣化を防止するために急冷とします。

表3には示されていませんが、JIS G4304やJIS G 4305では、SUS444やSUS430J1Lのように安定化元素のTiやNbを含む鋼種の鋼板、鋼帯の熱処理条件も記載されています。熱処理温度が高温になるとTiCやNbCが分解しはじめ、結晶粒の粗大化や固溶C量の増加が生じて脆化や耐食性劣化の原

表 3 フェライト系ステンレス鋼の熱処理

種類の記号	焼なまし
SUS405	780～830℃空冷又は徐冷
SUS410L	700～820℃空冷又は徐冷
SUS430	780～850℃空冷又は徐冷
SUS430F	680～820℃空冷又は徐冷
SUS434	780～850℃空冷又は徐冷
SUS447J1	900～1050℃急冷
SUSXM27	900～1050℃急冷

因となるので、上限温度が1050℃とされています。冷却はTiCやNbCの析出により固溶Cが十分低いことから急冷が可能です。

◇ マルテンサイト系ステンレス鋼の熱処理

1. 焼なまし

焼なましは前工程で生じたひずみや組織不均質性を除去して、軟質で冷間加工や機械加工に適する状態にする熱処理です。表4にJIS G 4303に記載されている熱処理条件を示します。

SUS403からSUS420F2までは2種類の熱処理条件が示されています。上段が完全焼なましで下段が低温焼きなましです。完全焼なましではオーステナイト変態開始温度 (A_1) より50℃から100℃高い温度に加熱し、オーステナイト化させて、拡散による凝固偏析の低減などで組織の均質化を行います。熱間加工後などに用いられます。低温焼なましは A_1 点直下のフェライト+炭化物領域で再結晶させ、加工性を回復させますので、冷間加工

の途中での軟化に適した方法です。Niを含有するSUS431では完全焼なましは有効でなく、いったん焼入れをして、さらに変態点直下に加熱する2段階焼なまし法が示されています。

2. 焼入れ

焼入れはオーステナイト化した後にマルテンサイト変態させ、必要とする高強度を得るための熱処理です。

変態開始温度以上に加熱してオーステナイト化し、成分の均質化を図り、その後、油冷でマルテンサイト化します。熱処理時には多くのCr炭化物が分解しますので、拡散の遅いCrが移動して均質化が図れるように保持時間は十分にとる必要があります。また、熱処理温度を高くすると炭化物が多く分解し、オーステナイト中の固溶C量が増して、焼入れ後の硬さが増加します。しかし、さらに高温にしますと固溶C量のさらなる増加によりマルテンサイト変態開始温度が低くなり、その結果残留オーステナイトが増加して硬さが低下する

表4 マルテンサイト系ステンレス鋼の熱処理

種類の記号	熱処理		
	焼なまし	焼入れ	焼戻し
SUS403	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	950~1000℃油冷	700~750℃急冷
SUS410	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	950~1000℃油冷	700~750℃急冷
SUS410J1	830~900℃徐冷 又は約750℃急冷	950~1020℃油冷	650~750℃急冷
SUS410F2	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	950~1000℃油冷	700~750℃急冷
SUS416	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	950~1000℃油冷	700~750℃急冷
SUS420J1	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	920~ 980℃油冷	600~750℃急冷
SUS420J2	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	920~ 980℃油冷	600~750℃急冷
SUS420F	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	920~ 980℃油冷	600~750℃急冷
SUS420F2	800~900℃徐冷 又は約750℃急冷	920~ 980℃油冷	630~700℃急冷
SUS431	一次約750℃急冷 二次約650℃急冷	1000~1050℃油冷	630~700℃急冷
SUS440A	800~920℃徐冷	1010~1070℃油冷	100~180℃急冷
SUS440B	800~920℃徐冷	1010~1070℃油冷	100~180℃急冷
SUS440C	800~920℃徐冷	1010~1070℃油冷	100~180℃急冷
SUS440F	800~920℃徐冷	1010~1070℃油冷	100~180℃急冷

ようになります。残留オーステナイトは不安定であり、室温でも徐々にマルテンサイトに変態し、置割れや靱性低下の原因になります。よって、残留オーステナイトを減らすためにサブゼロ処理（通常-73℃で実施）を施すことがあります。

3. 焼戻し

焼入れ状態では硬さが高いものの脆いので、焼戻しにより硬さを幾分犠牲にして用途上必要な靱性を得ます。低温焼戻しは主に100～250℃で行われ、内部応力を緩和し、もろさを軽減する熱処理で、硬さが重要視される刃物等に適用されます。高温焼戻しは主に600～750℃で行われ、衝撃値や絞りを向上するので、靱性を重要視する構造用部品などに適用されます。なお、中間の400～550℃では靱性の低下、耐食性の劣化が生じるので、原則この付近の温度での焼戻しは行いません。

◇ 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、固溶化熱処理後に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5にJIS G 4303に記載されている熱処理条件を示します。

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。析出硬化処理は熱処理温度が最も低いH900処理で最大の強度が得られ、熱処理温度が高くなると強度は低下し靱性が改善されます。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相の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5 析出硬化系ステンレス鋼の熱処理

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

7. 耐熱鋼・耐熱合金

大同特殊鋼(株) 研究開発本部 **お 鷲 見 芳 紀** のり

まえがき

耐熱鋼・耐熱合金は自動車、航空機エンジンなどに代表される内燃機関、あるいは化学プラントなど、高い温度と力学的負荷に曝される厳しい環境下で使用される。近年の世界的な環境規制の高まりを受けて、化石燃料を使用する内燃機関の更なる高燃費化が求められるようになり、周辺部品の高耐熱化、耐熱鋼使用部品の拡大が進んでいくと考えられている。

本稿では、各種耐熱鋼の特徴について述べるとともに、それぞれの熱処理について解説する。

◇ 耐熱鋼・耐熱合金の熱処理

代表的な耐熱鋼・耐熱合金を表1に示す。耐熱

鋼、耐熱合金は内部組織によりフェライト系、マルテンサイト系、オーステナイト系、および超合金に大別される。加えて、強化手法の違いによりそれぞれの材料系の中で固溶強化型、析出強化型に分類が分けられる。

これらの耐熱材料はそれぞれに物性、強度特性、耐酸化性などに特徴があり、用途、使用環境などにより使い分けられている。

1. フェライト系耐熱鋼

フェライト系耐熱鋼はFe-Crを主成分とし、常温から高温まで安定なフェライト (α) 単相からなる。代表的なものはSUS430 (17Cr) である。熱膨張係数が低く、熱伝導率の高いフェライト組織であるため、常温から高温までの寸法変化が少なく、熱疲労特性に優れるなどの特徴を持つが、

表 1 代表的な耐熱鋼・耐熱合金の化学組成と主な用途

	鋼種名	組成 (mass%)	主な用途
フェライト系	SUS430	17Cr	900℃以下の耐酸化用部品、炉部品
	FCH1	25Cr-5Al	ヒーター発熱体
マルテンサイト系	SUS403	12Cr-0.1C	600℃以下の耐高温強度用部品
	SUS410J1	12Cr-0.4Mo-0.1C	600℃以下の耐高温強度用部品
	SUH3	11Cr-1Mo-2Si-0.4C	エンジン吸気バルブ
	SUH11	9Cr-2Si-0.5C	エンジン吸気バルブ
オーステナイト系	SUS304	18Cr-8Ni	800℃以下の繰返し加熱・冷却が生じる耐酸化用部品、炉部品
	SUS310	25Cr-20Ni	1000℃以下の繰返し加熱・冷却が生じる耐酸化用部品、炉部品
	SUH35	21Cr-4Ni-9Mn-0.4N-0.5C	エンジン排気バルブ
	SUH660	15Cr-25Ni-1Mo-0.2V-2Ti-0.2Al	耐熱ボルト、耐熱ばね
耐熱合金 (Ni基超合金)	Alloy600	Ni-16Cr	熱交換器、工業設備、電子機器
	Alloy601	Ni-22Cr-1.4Al	工業加熱炉、ガスタービン部品
	Alloy690	Ni-30Cr	石炭化学装置、原子炉部品
	Alloy718	Fe-53Ni-18Cr-5Nb-Al,Ti	700℃以下のガスタービン部品、航空・宇宙部品、耐熱ばね、ボルト
	AlloyX750	Ni-15Cr-1Nb-Al,Ti	700℃以下のガスタービン部品、航空・宇宙部品、耐熱ばね、ボルト
	Waspaloy	20Cr-14Co-4Mo-1.4Al-3Ti	815℃までのガスタービン部品

引張強度はいずれの温度域でも低い。フェライト系耐熱鋼は焼入れ時に $\gamma \rightarrow \alpha$ の変態が実質起こらない為、高温から焼入れてもほとんど硬化しない。

この系の耐熱鋼の熱処理上の注意点としては、500℃付近で脆化相が析出するため、この温度近傍で長時間保持するか徐冷されると著しく脆化する¹⁾。また、高温(>1000℃)に加熱されると急激に結晶粒の粗大化を起し脆化することがあり、その後の熱処理によって結晶粒を細粒化することができない為、高温に加熱する場合は加熱温度や加熱時間には注意を要する。

2. マルテンサイト系耐熱鋼

マルテンサイト系耐熱鋼はFe-Cr-Cを主成分とし、高温安定相であるオーステナイト(γ)相からの急冷(焼入れ)によりマルテンサイト組織とした後、600℃付近で焼戻してマルテンサイト基地中に微細な炭化物が析出した組織で使用する。

フェライト系耐熱鋼同様、 α 相を基地とするため熱膨張が低く、熱伝導率に優れるとともに、600℃までの温度では高い引張強度とクリープ強度を有する。

耐熱鋼として必要な高温強度、クリープ強度を高めるために、Ni、Mo、Nbなどを添加して焼戻し軟化抵抗を高めているが、これらの合金元素と、特にCはオーステナイト化温度、マルテンサイト変態開始温度(Ms点)に大きく影響する。また、焼戻し硬さもこれらの元素の影響を強く受ける。図1に12Cr鋼にMoを添加した場合の焼戻し硬さを示す²⁾。

3. オーステナイト系耐熱鋼

Fe-Cr-Niを主成分とし、オーステナイト安定化元素であるNiの含有量を高めることで高温相であるオーステナイト相を常温まで安定して有する。

元来は耐食用途のステンレス鋼として開発されたものであるが、オーステナイト系は600℃以下ではマルテンサイト系には強度に劣るものの、600℃以上の温度域で高い強度を示すため、耐熱用途としても使われるようになった。

代表的なオーステナイト系耐熱鋼としてSUS304(18Cr-8Ni)や310(25Cr-20Ni)があり、600℃以上の温度においても高い強度を持ち、耐酸化性にも優れることから最も普及している。

通常固溶化処理をして使用するが、注意点とし

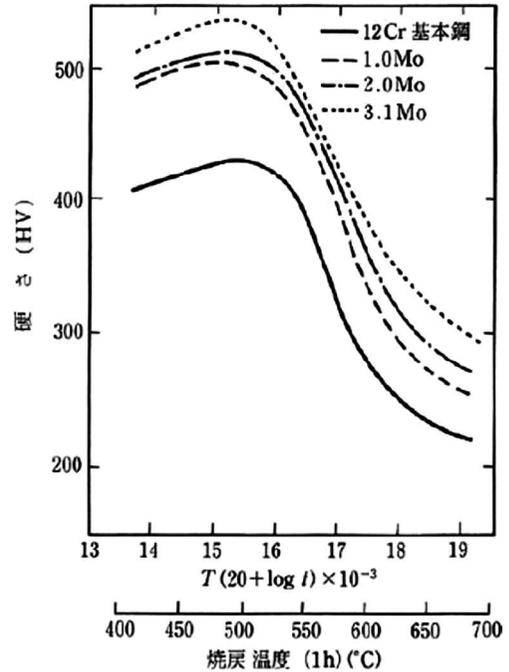


図 1 マルテンサイト鋼の焼戻し硬さに及ぼす合金の影響²⁾

ては、フェライト系と同様に高温で長時間晒されると結晶粒の粗大化を引き起こす上、その後の熱処理によって結晶粒を細粒化することができない為、加熱温度や加熱時間には注意を要する。

4. 析出強化型耐熱鋼

高温まで安定でクリープ特性に優れたオーステナイト相に、安定な化合物相を析出させ、析出物により転位のすべり運動を妨げることで生じる強化機構を利用して高い強度を持たせたものが析出強化型耐熱鋼である。

利用される析出物は、固溶化処理により母相に固溶が可能であり、その後の時効では母相中に微細に分散析出することが望ましい。このため主に $M_{23}C_6$ 型炭化物や、 γ' 相($Ni_3(Al, Ti)$)のような金属間化合物が使われている。前者の代表的な例として主に排気バルブとして用いられているSUH35がある。SUH35は炭化物による析出強化に加えて、N添加による固溶強化により、排気バルブ用途として800℃までの使用に耐えうる材料となっている。1150~1200℃での固溶化処理を実施した後、700~750℃で時効処理をして使用するのが一般的である。Cが多い為、固溶化処理で炭化物を完全

に固溶させるには1250℃以上の高温にしなければいけないが、このような高温では結晶粒の粗大化を招き延性を損なうことがあるので、固溶化処理の温度はあまり上げ過ぎないように注意が必要である。

後者の例としてSUH660があり、AlとTiを添加することで γ' 相による析出強化を利用し、凡そ700℃程度までの温度域で高い高温強度を有している。SUH660の γ' 相は凡そ950℃程度の温度で固溶させることができ、固溶化処理状態では軟らかく延性に富み、冷間加工が可能であるが、700℃程度の時効処理により約33HRC程度まで硬化することができる。そのため、冷間での転造により製造される耐熱ボルトや、冷間圧延により製造される耐熱ばねなどに用いられている。また、AlとTiの含有量を高め、さらに高温強度を高めたオーステナイト系耐熱鋼も開発されている³⁾。

5. 耐熱合金

耐熱合金の中でも特に重要なものはNi基超合金である。80Ni-20Crのニクロム合金を基にしており、高温まで安定なオーステナイト相を基本組織とし、固溶強化や析出強化により強化した多くの合金が開発されている。固溶強化型の代表的なNi基合金はAlloy600とその派生合金（600番台）であり、ほとんどが固溶化処理の状態で使用される。

一方、析出強化型の合金で利用される析出物として代表的なものは γ' 相 ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$) であるが、より高温まで強度を確保するためにはTiやAlの添加量を増やし γ' 相量を増加させる必要がある。(図2)に模式的に示す通り、これら γ' 相形成元素が増えるほど、より高温まで γ' 相が安定となるため、固溶化処理温度もそれに応じて高くなる⁴⁾。Ti+Alの総量の多い、特に高耐熱な材料においては固溶化熱処理温度と再結晶温度、部分溶融温度が近くなっていくため、熱間加工の加熱時に不用意に温度を上げ過ぎると内部の局部溶融を引き起こしたり、また固溶化処理時に結晶粒の粗大化を引き起こすことがあるので注意を要する。

◇ 耐熱用途として使用される製品群

いずれの耐熱鋼・耐熱合金も高温環境下で使用されるが、求められる強度や使用温度などにより使い分けられている。フェライト系耐熱鋼は強度は低いが耐酸化性に優れ、比較的安価であるため、強度をあまり必要としないハウジング（ケース）などの筐体などに使用されている。マルテンサイト系耐熱鋼は600℃までの温度では最も高い強度を示す為、蒸気タービンのタービンブレード（図3）などに用いられている。オーステナイト系耐熱鋼は前述の通り、自動車用排気バルブ（図4）や耐

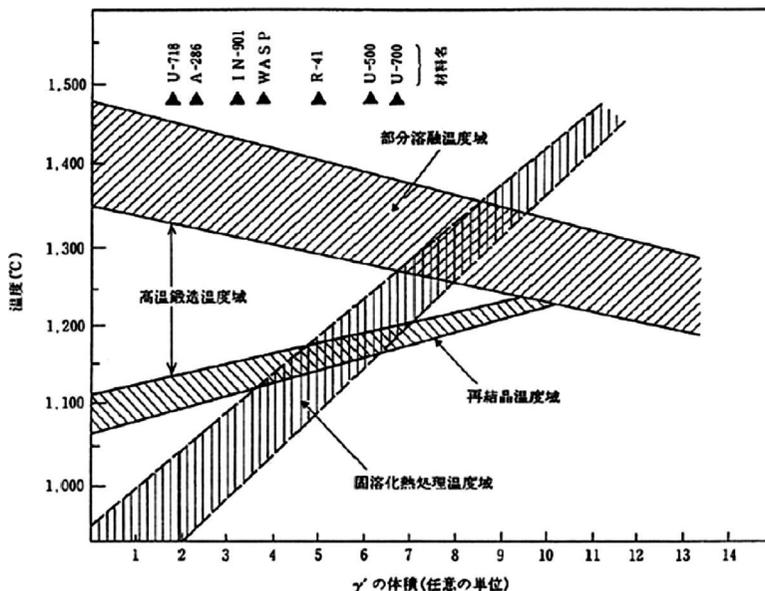


図 2 γ' 相量と固溶化熱処理温度の関係⁴⁾



図 3 タービンブレード

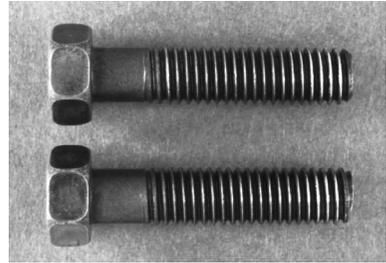


図 5 耐熱ボルト

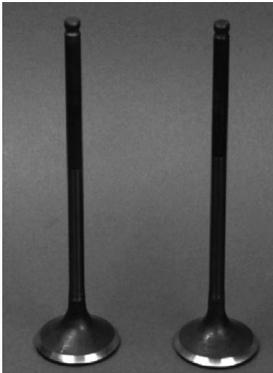


図 4 排気バルブ

熱ボルト（図5）などに用いられている他、火力発電プラントのボイラ、タービンディスクなどに使用されている。

むすび

本稿では一般的な耐熱鋼、耐熱合金の特徴について述べたが、要求特性の多様化、材料の高性能化に伴い、多種の材料が開発されている。材料開発においては、狙いの組織、特性を得る為に、鋼種それぞれに応じて最適な熱処理条件も併せて作り込んでいく必要がある。

参考文献

- 1) 耐熱材料ハンドブック、p 69
- 2) 日刊工業新聞社：ステンレス協会編「ステンレス鋼便覧 第3版」p 102
- 3) 電気製鋼、67、p 95
- 4) 日本鉄鋼協会：超耐熱合金を中心としたオーステナイト系耐熱合金、p 43

IV. 会員会社の特徴のある熱処理技術

（株）神戸製鋼所

当社の歯車用鋼 冷間鍛造用鋼KSGシリーズ

まえがき

自動車のドライブトレインには多くの歯車を使用されており、耐久性と製造性が必要とされている。当社では、歯車の高強度化や製造に貢献する歯車用鋼を開発してきたので、その一部を紹介する。

◇ 特徴

これまで当社は、歯車の歯元曲げ疲労強度や衝撃強度向上と言う観点で強度低下の主因となる浸炭異常層を抑制するKKGシリーズ[®]、ニッケルやモリブデンを含まない省合金鋼KMnC418Hを開発してきた。近年ではショットピーニング技術の進歩により歯車の破損モードが剥離などの歯面疲労に移行し、歯面の高温強度を高めるべく軟化抵抗性に優れた耐高面圧歯車用鋼KSCM418Hを開発、浸炭窒化や高濃度浸炭など特熱処理技術を組み合わせることで更なる歯面疲労強度の改善を可能とした。

いっぽう歯車の製造面では、冷間鍛造の強加工に伴う浸炭時の異常粒成長を抑制するためAlNやNb系ピンニング粒子を活用した結晶粒粗大化防止鋼、また浸炭後の熱処理歪みを抑える定歪み鋼を開発した。

冷間鍛造は切削レスによるコスト低減が得られる一方、歯車製造コストに占める冷間金型費の構成比率が高く、冷間金型寿命に優れた歯車用鋼の要望が強い。金型寿命に至る多くは、冷間鍛造時の金型への負荷（面圧）が増すことで発生する割れや摩耗であり、鍛造荷重の低減が肝要である。当社は鋼材の変形抵抗に影響を及ぼすSiやMnを低減して合金元素を調整、鋼のつくり込みや圧延を制御することで、JIS SCM420HやSCr415Hとそれぞれ同等の強度を有しながら冷間鍛造性に優れたニッケル・モリブテンフリー鋼KSGシリーズを開発した。

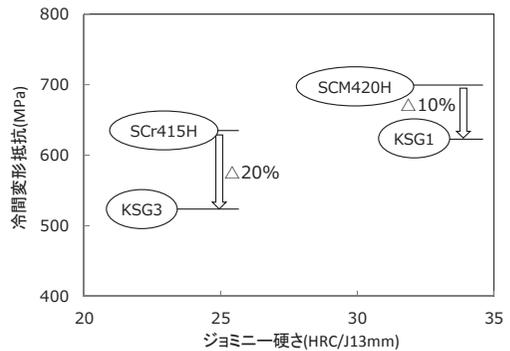
◇ 特性

- ・球状化焼鈍後の標準試験片を用いた冷間変形抵抗評価試験結果の一例を図1に示す。変形抵抗がKSG1ではJIS SCM420Hに比べて約10%低減、KSG3ではJIS SCr415Hに比べ約20%低減しており、冷間金型の寿命改善が可能である。変形能にも優れており、複雑形状の加工も期待ができる。
- ・浸炭後の表層硬さ分布、結晶粒粗大化防止能、強度（曲げ疲労、衝撃、面疲労）はそれぞれJIS鋼と同程度である。

むすび

HEVやEVなど新動力源の普及に伴い歯車の要求特性も変化し、製造性、高強度化ニーズも多様化するものと思われる。今回紹介したKSGシリーズのように冷間鍛造に特化した鋼材だけではなく、様々なニーズに対応した歯車用鋼のラインアップに努めていく。

（株）神戸製鋼所 いわさき かつひろ
線材条鋼開発部 岩崎 克浩



鋼種	C	Si	Mn	Cr	Mo	B
KSG1	0.18	≦0.10	0.45	1.40	-	添加
KSG2	0.13	≦0.10	0.45	1.40	-	添加
KSG3	0.09	≦0.10	0.33	1.70	-	添加
SCM420H	0.20	0.25	0.75	1.05	0.20	-
SCr415H	0.16	0.16	0.85	1.20	-	-

図 1 冷間鍛造用鋼KSGシリーズの特徴

新設熱処理炉による 低歪高性能熱処理

まえがき

当社は日立金属(株)の特約店であり、特殊鋼の販売とそれに付随する機械加工及び熱処理加工が主な業務です。

今回、名古屋熱処理センターへ平成26年6月、大阪熱処理センターへ平成27年4月に導入しました真空熱処理炉の概要と特徴についてご説明します。

◇ 新設炉の概要と特徴

主な仕様は有効寸法φ1,000mm×1,200mmH、処理重量 Gross2,000kgと国内最大のダイカスト金型の処理が可能です。加熱方式は真空加熱と雰囲気対流加熱、冷却は最大6bar加圧ガス冷却です。

全域急冷は熱処理歪や焼割れの危険性があり、また高温域の冷却はSKD61に代表されるダイカスト金型材の性能低下が小さいため緩冷が採用されていますが、当社では更なる高性能な要求に応えるため平成22年に油冷+中断+油冷の新しい熱処理方法を日立金属(株)と共同で開発し(平成24年8月特許取得)、尾道熱処理センターで実稼働しています。

今回の熱処理炉は同様の冷却を加圧ガス冷却に置き換えたもので、従来法の衝風冷却と比較して高温域の急冷が可能となりました。冷却温度制御は金型内に熱電対を挿入し、実温度にて管理するため再現性が高く、高温域急冷後中断保持し、その後加圧ガス冷却により低温域を急冷します。また従来法の様に油冷が必要な場合は中断保持後取出しての油冷も可能です。冷却はプログラム制御と実体温度管理により多種多様な条件選択が可能です。

熱処理に要求される性能として、硬さを満足することと機械的性質を向上することは当然ですが、ダイカスト金型にとって重要な要求特性に低歪が挙げられます。今回の新設炉は急冷=高性能=歪大ではなく適切な急冷=高性能=極低歪を目的としており、上記の中断保持による内外温度差低減による低歪効果の他に冷却オプションを備えています。

内外温度差低減は均一冷却が目的ですが、さらに形状に起因する冷却時の温度差低減のためガス流量調整や特殊ノズルによる冷却が可能となっています。

実型には数多くの凹凸があり冷却過程で凹凸の底部は冷却が遅く、温度差が大きくなるため表面と内部との温度差が更に広がります。図1にSKD61 300mm×300mm×300mmをL型にカットしたテストピースの特殊ノズルによる各種冷却比較を示します。特殊冷却の場合、衝風冷却と比較して高温域で3~4割、低温域で6割冷却速度が向上しています。

むすび

ダイカスト金型の熱処理は、単に高寿命を目的にするだけではなく、鑄造メーカー、金型メーカー両方の要求を満足する必要があります。特殊冷却機構により低歪と高性能を両立できると考え、全体急冷による高性能=歪大ではなく、管理された適切な冷却=極低歪を目指し、ダイカスト金型メーカーのリードタイム削減に寄与できるよう熱処理方法の改善に取り組んでいます。

〔小山鋼材(株) 取締役技術部長 稲垣 秀治〕

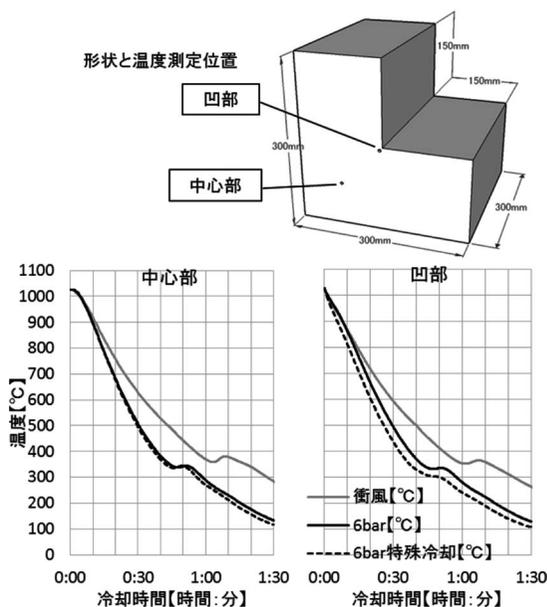


図 1 SKD61L型冷却曲線

厚鋼板オンライン熱処理設備「HOP[®]」

まえがき

調質熱処理、すなわち焼き入れ・焼きもどし処理は強度と靱性を兼ね備えた鋼の製造プロセスとして広く用いられている。厚鋼板においても、圧延ラインとは別の熱処理ラインにおいて、調質熱処理が行なわれ高強度鋼が製造されている。しかし、圧延後に厚鋼板を別ラインに搬送し、再加熱焼き入れ・焼きもどしを行なうことは効率的とはいえず、また高強度鋼の安定大量供給の面からも課題を抱えていた。JFEスチールは、圧延ラインの後に焼き入れ・焼きもどし処理が可能な設備を開発し、調質熱処理のオンライン化を実現した。HOP[®]は世界初の厚鋼板オンライン熱処理設備である。その特徴と開発プロセスを活用して製造される高機能厚鋼板について紹介する。

◇ HOP[®] (Heat treatment On-line Process) ^{1), 2)}

JFEスチール西日本製鉄所福山地区厚板工場のラインを図1に示す。圧延素材であるスラブは加熱炉によって加熱され、圧延機により所望の板厚、形状に圧延される。圧延後、空冷のまま製品となるものもあるが、高強度鋼はその後の加速冷却設備 (Super-OLAC[®]-A) と熱処理設備 (HOP[®]) により材質制御が施される。すなわち、従来のオフライン調質熱処理と同様の処理がオンラインで可能となっている。再加熱焼き入れは直接焼入れに置き換わり、焼きもどし処理はHOP[®]による熱処理に置き換わる。従来のオフライン熱処理とオンライン熱処理プロセスを模式的に図2に示す。

HOP[®]は電磁コイルによって、鋼板に誘導電流を流し、その抵抗発熱により加熱を行なう誘導加熱方式である。コイルは加熱効率と装置の簡便さからソレノイド式を採用している。熱は鋼板の内部で発生するが、その量は投入する電力で厳密に制御できる。誘導加熱の発熱量は通常の雰囲気炉加熱の場合の熱流速に換算すると、 $10^5 \sim 10^7 \text{ W/m}^2$ 程度の熱流速に相当する。したがって、HOP[®]は従来の雰囲気炉加熱に比較して、急速な加熱処理が可能であり、極めて短時間で焼きもど

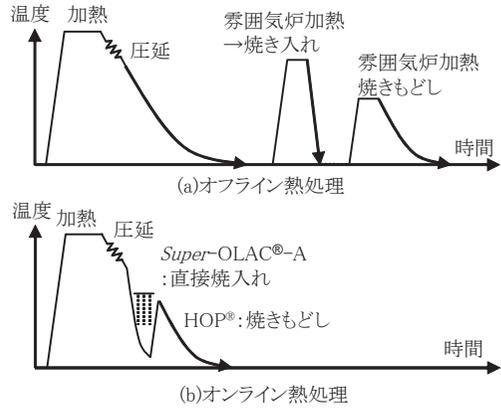


図 2 従来熱処理プロセスとオンライン熱処理プロセス

し処理が可能であり、圧延や冷却工程に対してネック工程となることなく、オンラインプロセスを実現している。また、HOP[®]はSuper-OLAC[®]-A (冷却設備)のすぐ後に配置されており、冷却後の顕熱を有効に活用することができる。この様に、HOP[®]はエネルギー効率に優れ、かつ高強度鋼の生産能力も飛躍的に向上させるオンリーワン熱処理設備である。

◇ HOP[®]を活用した特徴ある厚板製品 ^{2), 3)}

HOP[®]の特徴を活用した、様々な高機能厚鋼板が開発されている。急速加熱焼きもどし処理による炭化物の微細析出を活用した、高靱性かつ耐遅れ破壊特性に優れた超高強度鋼が製品化されている。また、冷却を中断し変態途中からHOP[®]により再加熱することにより、高度な組織制御が可能となり、新たな材質が創製された。高強度でありながら降伏比が低く耐震性能に優れた建築用TS780MPa級鋼や変形性能に優れた耐震ラインパイプなどが製品化されている。

参考文献

- 1) 藤林見生、小俣一夫：JFE技報、2004、no. 5、p 8-12
- 2) 鹿内伸夫、三田尾真司、遠藤茂：JFE技報、2007、no. 18、p 1-6
- 3) 長尾彰英、伊藤高幸、大日向忠：JFE技報、2007、no. 18、p 29-34

〔JFEスチール(株) にしむら きみひろ〕
〔厚板セクター部 西村 公宏〕

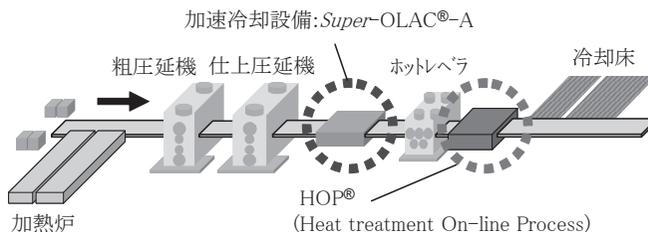


図 1 厚板製造ライン

大同特殊鋼(株)

超高温浸炭処理に適した 異常粒成長抑制鋼 (製造性と異常粒成長抑制 能に優れる省合金肌焼鋼)

まえがき

近年、地球環境保護の観点から自動車などの輸送機では走行中のCO₂排出量低減のための燃費向上のみならず、生産時のCO₂排出量の低減が求められている。歯車などの浸炭部品では、冷間鍛造や真空浸炭など環境負荷の小さい工程への変更が進んでいる。

とくに浸炭部品を製造する上で、品質と生産性を両立することが大きな課題である。一般のガス浸炭処理においては930℃前後を適温とし、要求浸炭深さを得るのに長時間の処理を必要とする。炭素の拡散は高温ほど早いので浸炭温度を高めることで短縮できるが、ガス浸炭炉で高温処理すると耐火物の劣化が進み不経済であることや、1000℃を超える温度では鋼材の結晶粒が粗大化してしまい強度特性や熱処理歪みに有害となることが知られている。

当社ではこれまでに高温浸炭に適した真空浸炭炉の開発とともに浸炭時の異常粒成長を抑制できるATOM鋼や軟化熱処理省略を目的としたALFA鋼を開発・実用化してきたが、今回さらなる高温浸炭時でも異常粒成長を抑制でき、冷間加工性を兼ね備えた肌焼鋼を開発したので以下に紹介する。

◇ 特徴

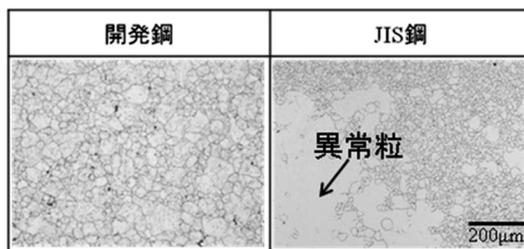
従来の高温浸炭用肌焼鋼では結晶粒の粗大化を防ぐピン止め粒子としてAIN、NbC、TiCなどの析出物を活用していたが、さらなる高温処理において微細析出物の一部固溶にともない局所的な異常粒成長が発生する。この異常粒が強度低下や熱処理歪みを発生させるため、本開発鋼では微量成

分調整で析出物を極力ピン止めさせないよう精密に制御することで浸炭時にオーステナイト粒を均一に成長させ、異常粒成長を抑制している(図1)。また、開発鋼は従来の肌焼鋼よりも浸炭焼入れ時の結晶粒径が大きくなることで焼入性が向上するため、合金元素を低減することが可能である。その結果、加工時の硬さを低減でき、軟化熱処理の省略や冷間での鍛造性を向上することができる。

むすび

本開発鋼は高温浸炭の際にピンニング粒子を固溶させないため、これまでの鋼材と比較してさらに高温での浸炭においても異常粒成長の抑制ができ、部品製造コスト低減のための冷間鍛造化や、処理時間短縮を目的とした高温浸炭化のニーズに貢献することが期待できる(図2)。

〔大同特殊鋼(株) 研究開発本部 みやぎ たかひろ
特殊鋼研究所 構造材料研究室 宮崎 貴大〕



(冷鍛後1000℃×50min浸炭焼入材)

図 1 浸炭処理後の結晶粒比較

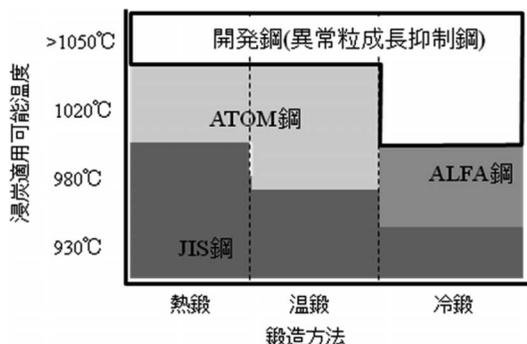


図 2 開発鋼の浸炭適用範囲

まえがき

製品の高性能化と低コスト化は、他社との市場競争や、ものづくりにおいて、尽きる事のない大きな課題である。高性能化における例として、部品精度の向上、高張力鋼板や炭素繊維強化樹脂を使用した輸送用機器の軽量化、及びスーパーエンジニアプラスチックによる金属製部品からの代替技術等が挙げられる。低コスト化については、難加工材料を加工する刃物、金型、治工具の長寿命化と生産設備を如何に効率良く稼働させるかが重要となってきている¹⁾。

当社では、素材-加工-熱処理の一貫生産体制を構築しており、熱処理工場では焼入焼戻し、磁気焼鈍、熱圧着/拡散接合、浸炭、窒化、TDプロセス、PVDの受託加工を実施している。本稿では、当社熱処理ラインナップの一つである“キリンコート”の特徴と適用事例について紹介する。

◇ キリンコートS

“キリンコートS”はラジカル基を利用し、熱処理条件を最適化した窒化処理である。一般的な窒化処理と同等の硬さでありながら、硬くて脆い鉄窒素化合物（白層）を形成しない。そのため、処理後の表面粗さの変化が殆ど無く（図1）、寸法変化が極めて小さい窒化処理を実現している。

実用例としては、輸送用機器、半導体装置、光学部品等の分野での射出成形金型、精密自動機械部品の耐摩耗性、耐久性向上を目的とした用途に

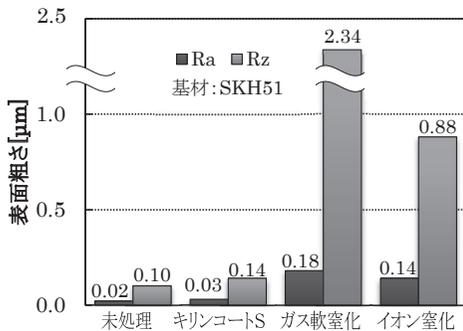


図 1 窒化処理表面粗さの比較

て数多く採用されている。更に寸法変化が少なく、表面粗さ変化が少ない利点を活かし、処理後の仕上げ工程を極小化できるので、精密部品への適用も広がっている。

◇ キリンコートC

“キリンコートC”は、後加工を必要としないキリンコートSの特徴を利用したPVDとの複合表面処理である。キリンコートSにより母材表面近傍の硬さが傾斜化されるため、PVD膜との硬度ギャップ、応力を緩和でき、その結果、PVD膜のみと比較して2倍以上の密着性向上が可能である（図2）。キリンコートCに適用可能なPVD膜は、TiN、TiCN、TiC、CrN、TiAlN、DLCや当社にて新規開発したMX、CZ等の膜種から用途に応じた選択が可能である。

現在は主に輸送用機器向けの板プレス金型、冷間鍛造金型のパンチ、ゴム成形金型、特殊刃物等の寿命向上に適用され、生産トータルコストを考慮し、ご活用頂いている。

むすび

キリンコートが適用できる分野は多岐に渡り、まえがきに記載した高性能化、低コスト化への課題に微力ながら寄与できている。キリンコートをはじめ、当社表面処理をご活用頂き、御社のコストダウン、生産性向上にお役立て頂けると幸いです。

参考文献

- 1) 武田裕正：塑性と加工、Vol. 55 (2014)、No. 640、402-405
- ※ “キリンコート”は東北特殊鋼株式会社登録商標です。

〔東北特殊鋼(株) 複合加工事業部 熱処理工場 荒木 寛〕

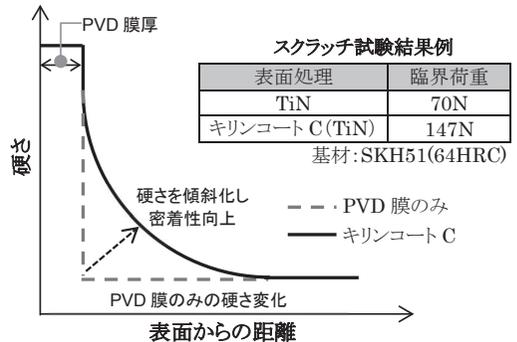


図 2 キリンコートの硬さ分布イメージ

特殊熱処理棒鋼 DTM-100

まえがき

太い径まで十分に焼きが入るように化学成分を調整したクロムモリブデン系強靱鋼をバレル炉で焼入れ・焼戻し処理を行ったもので、そのままの状態ですぐに加工できる材料であります。機械加工後の熱処理を省略することにより、加工工程の短縮、仕掛在庫の圧縮、工程管理の省略を図ることができます。

◇ 特徴

焼入れ・焼戻し処理は、棒鋼を回転させながら熱処理するバレル式連続熱処理炉によって行っており、多くの特徴を有しています。

1. 表面と心部の硬度差

水焼入れのため深くまで焼きが入り、表面と心部の硬さの差は小さくなっています (図1)。

2. 曲がり

焼入れ時の曲がりが小さく、矯正することが無

いので、機械加工後に曲がりが生じません。

3. 歪み

高周波焼入れを行っても歪みの発生は極めて小さくなっています。

4. 内部強度

内部の強度が高く、軽量化が図れます。

5. 被削性

快削元素の添加により高硬度でも被削性は良好であります。

◇ 用途

工作機械部品をはじめとして、射出成形機のタイバー、スクリーなど多種多様に幅広く使用されています。

むすび

「特殊熱処理棒鋼DTM-100」は、お客様のニーズに応じて付加価値の高い鋼材として商品化され、これまで多くのお客様からご好評を得ております。今後もより良い製品の提供に努めてまいります。

〔三菱製鋼室蘭特殊鋼(株) わたなべ もとき
技術部 材料開発グループ 渡辺 幹〕

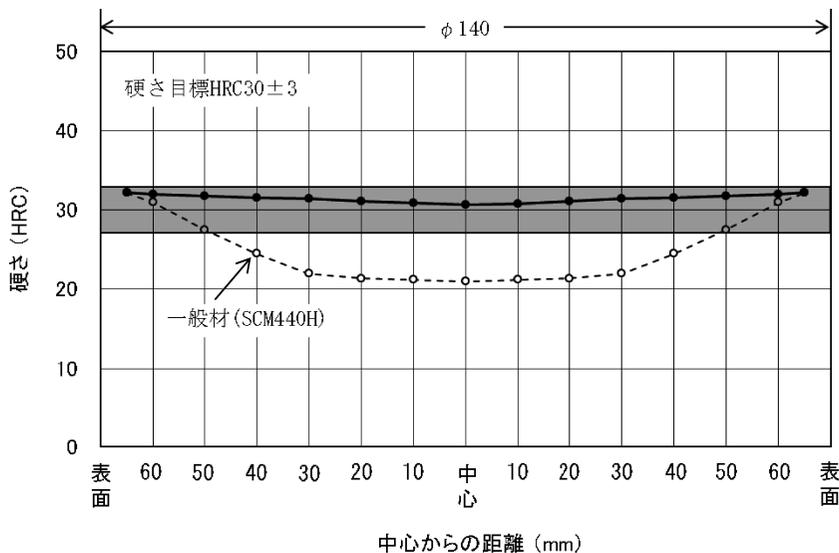


図 1 φ140mmの断面硬さ分布

業界のうごき

浅井産業子会社、 本社工場を増設

浅井産業のグループ会社で、鋳物製品の機械加工・販売を行う浅井ショーワ（本社・福島県白河市東工業団地）は、本社工場の増強投資を完了した。技術棟、データ棟や倉庫を新築し、生産性向上や品質管理強化を目的に大型マシニングセンター、三次元測定機など6台を増設。技術棟には品質管理部門や治工具製作部門を集約し、主要ユーザーから機械加工の業務移管を今後も引き受けていくためのスペースも確保した。投資額は約8億円で、このうち3分の2相当で「ふくしま産業復興企業立地補助金」も活用した。

浅井ショーワはトラック向けなどの鋳物製品販売がメインで、多様で最適な素材と加工を組み合わせる提案力を強みにする。内製加工も行い、自社工場ではマシニングセンター55台、NC旋盤13台、ブローチ盤1台、ボール盤他150台などを持つ。白河市の素形材企業が集う「白河素形材ヴァレー」の一員でもある。

(4月14日)

佐藤商事、 タイに小売り・修理の新会社

佐藤商事はタイに工作機械、鉄鋼製品、電子製品の販売や機械修理サービスを行う現地法人を設立した。サトー・テクノサービス・タイランド（資本金・200万タイバーツ、本社・バンコク市、社長・古賀恵資氏）で、佐藤商事タイが49%、現地企業が51%出資する。新会社は5月15日の設立で、本社は佐藤商事タイ本社内に置く。

佐藤商事は、2007年に佐藤商事タイを設立し、鉄鋼材料、電子材料を中心に事業を拡大してきた。近年はタイ国内の取引拡大に伴い、機械・

設備販売や修理サービス、製品小売りのニーズが高まっており、これらのニーズに応えるため、新しい現地法人を設立した。

佐藤商事は今年に入って米国でも新会社を設立した。米国会社は100%出資で、業務用厨房用品や家庭用品、包丁用材料などを販売する。米国の業務用厨房用品卸業者やネット通販会社、テレビ通販会社などに拡販を図る。

(5月20日)

大同興業、 売上高3千億円、経常利益30億円へ

大同興業は、15~17年度の新中期経営計画をスタートした。国内外の営業基盤、顧客基盤をさらに強固なものにする一方、新規事業投資や海外取引の拡大により、収益力強化を目指す。17年度単独業績で売上高3千億円、経常利益30億円を目指し、海外取引比率（売上高に対する輸出入と三国間取引の比率）は14年度25%台から30%超への引き上げを図る。

「新たな領域へのチャレンジ“Niche & Unique”」を経営方針に掲げる。海外取引では、既存14拠点に加え、メキシコを含めた北米南部への本格展開も図る。経営管理システムでは、全社基幹システム「Diana」を14年1月に本稼働し、より効率的でスピーディな営業展開を図っている。新中計期間中に海外拠点でも同システムを導入。海外グローバルシステムの構築により、グループ全体の管理機能向上やガバナンス強化を加速する。

(5月29日)

大同DMソリューション、 売上高国内25%増、海外5割増

大同DMソリューションは、18年3月期を最終年度とする3カ年の中期計画をまとめた。「グローバルコネクティング」（国内外での連携強化）、「ダントツテクノロジー」（技術開発

の強化）、「ウーマンサプライズ」（女性社員の活用）をテーマに据え、最終年度に国内売上高300億円（15年3月期見込比25%増）、海外売上高150億円（同50%増）を目指す。

国内の「グローバルコネクティング」では、プレートの3次元加工などを強化し、金型メーカーとの連携を強化。名古屋加工工場の設備増強も検討する。ダイキャスト金型ピンなど付属品も他社と協力関係を築き、供給していく。

「ダントツテクノロジー」では熱処理や表面処理の技術向上を図り、信頼性をより高めていく。静岡工場に導入しているプレートの6面加工の自動化技術を向上させ、高精度プレートの加工にも注力していく。

(6月1日)

ナス物産、 日本冶金の連結業績に貢献

日本冶金工業グループのナス物産は、15年3月期単独決算で増収増益（経常利益は6億9,100万円で前期比2.02倍）となり、日本冶金の連結業績に大きく貢献した。上期・下期の業績はほぼ同じで、下期は一般ステンレスの販売量が上期比1割減少したが、平均販価が上昇した。高機能材の販売数量は国内が前期並み、海外は2割増。

今期は4月にタイ現地法人が営業開始し、従来の月数千万円の商売をベースに高機能材中心に販売展開する。国内の一般ステンレスの需要・価格動向は不透明だが、「量より収益重視」の方針を堅持する。日本冶金の「ボルカプレート」では地下鉄駅の防水板、コンビニ配送用トラックの荷台部材など新規開拓も進展。トラック荷台用で静音性が評価されるなど、新たな商品価値も着目されている。

設備投資では16年度までに中部か関西の加工拠点でファイバーレーザを導入する計画。

(5月15日)

業界のうごき

日金スチール、 3期連続で増収増益

日金スチールは、15年3月期単独決算で3期連続の増収増益を果たし、D/Eレシオが初めて2を切るなど財務体質改善も一段と進めた。販売力強化、財務体質改善、社員教育充実の成果が挙がり、企業風土改革も進んでいる。近い将来に「売上高200億円、ROS2%」の達成を目指す。

有利子負債削減、棚卸資産圧縮、収益増でD/Eレシオは1.95倍に改善した。企業風土改革では「風通しが良くなり、議論が活発化し、営業拠点間の協力関係も深まっている」。13年度に本格開始した「有功表彰制度」では14年度は5チームを表彰。社外研修を受けた社員が自発的にフォローアップする通信教育は、32人が受講した。

組織再編では4月1日付で東西の営業本部を一元化した。海外強化も一段と進める。昨年設置した経営企画部では「営業情報を的確に分析し、営業本部を強力に支援する」体制を整える。

(5月20日)

藤田商事、 東北支店を増強

藤田商事は、東北支店（仙台市若林区）を全面リニューアルし、最新鋭設備や効率的レイアウトを備えた新「東北支店・東北鉄鋼センター」に一新した。建屋は1.5倍に拡大し、構造用鋼などの切断能力は倍増。在庫アイテムも拡充し、多品種変量・短納期ニーズに対し、よりフレキシブルに対応する体制を整えた。投資額は約6億円。

新建屋は1,858平方メートルで、重量物を容易にハンドリングできる頑丈で堅牢な構造とした。切断設備ではシステム全自動超硬丸鋸盤「KASTOvariospeed C15」、システム全自動高速帯鋸盤「KASTOtecF4」を新設。いずれも“材料自動供給+切断

品自動仕分け装置”を搭載し、多種類・多数の異なる材料を連続で精密切断し、夜間無人操業も可能。物流機器では、切断残材管理の効率化や工場内のデッドスペースの有効活用を狙いに、簡易式立体自動保管システムを新設した。

(6月5日)

愛知製鋼、 業界に先駆け燃料電池車

愛知製鋼は、トヨタ自動車の世界に先駆け発売した燃料電池車「MIRAI」の1号車を導入、本社正面スペースで納車式を行った。鉄鋼関連ではいち早い導入事例とみられ、今後業界内にも普及しそうだ。

納車式には、藤岡高広社長、安川彰吉会長のほか執行役員らが出席した。燃料電池車のPRと認知・拡販に活用する考えで、自社の関係イベントでの展示や来客の送迎、工場見学やお客様訪問時等の送迎用として活用していく予定。

同社は、高圧水素用ステンレス鋼「AUS316L-H2」を水素ステーション用の配管継手、バルブ用素材として開発、商品化。また同鋼の高強度仕様様がFCV本体の水素周辺部品数点に採用されている。藤岡社長は「水素社会の実現に向け継続して貢献していきたい。この一環として今回、MIRAIを導入した。モニターすることで、素材の開発・改善につなげる」としている。

(5月12日)

神戸製鋼所、 線材生産でタイ合弁を検討

神戸製鋼所は、タイで普通鋼、特殊鋼の線材圧延事業に乗り出す。現地の線材圧延メーカーを昨年買収したタイ鉄鋼メーカーのミルコン・スチールと合弁会社を設立する方向。ミルコンは、休止中の既存工場を手直しして8月に再稼働する計画。神鋼とミルコンはそれまでに合弁会社

の詳細を詰める。出資比率は未定だが、折半出資とする案が有力。

日本の鉄鋼メーカーの海外での線材圧延事業としては、神鋼が1980年代後半に米国でUSスチールと合弁事業を運営した例があるが、現在は撤退しており、今回の神鋼のタイでの合弁事業が唯一の案件となる。

ASEANにおける自動車向け需要の拡大を見込み、素材生産にも乗り出す。神鋼は、加古川製鉄所のビレットを母材に、線材から二次加工までの現地サプライチェーンを強化することで、高品質な製品のタイムリーな供給を行い、東南アジアで拡大する需要を捕捉する。

(6月4日)

JFEグループ、 新中期計画を策定

JFEホールディングスは、15~17年度を対象とするグループの新中期経営計画を策定した。「世界最高の技術とサービスを提供するグローバル企業」を目指す。国内収益基盤の強化、技術優位性による企業価値向上、海外事業の収益拡大、多様な人材の確保と育成、持続的な成長を支える企業体質強化に重点的に取り組む。グループでROE10%超を目指し、傘下のJFEスチールはROS10%を目指す。成長戦略を担う海外投資には、3年間で2,000億円を投じる。

鉄鋼事業ではJFEブランドの浸透を図り、新中期で4,000万トン、将来的に5,000万トンへの規模拡大を目指す。国内設備投資は前中期より1,700億円増やし、3年で6,500億円とする。

JFE商事はマーケットの拡大（鋼材販売量拡大）、付加価値の創造、JFE商事グループ力の強化に力を入れる。

(4月24日)

新日鉄住金、 最高強度の橋梁用線材開発

新日鉄住金は、世界最高強度の橋

業界のうごき

梁ケーブル用線材を開発した。これまでの橋梁用めっき鋼線の最高強度は1.8ギガパスカル級。1.9ギガパスカル級が香港珠海マカオ連絡道路で初採用されたのに続き、2.0ギガパスカル級でも近い将来の採用を目指す。

世界の長大橋建設計画は新興国中心に約50件に上る。同社は昨年10月に立ち上げた棒線事業ブランド「SteelLinC」の下で、高機能商品群「XSTEELIA」の開発強化に取り組んでいる。線材加工メーカーと連携してインフラ整備需要を積極的に捕捉し、長大橋の設計自由度の拡大、生産性向上・工期短縮、CO₂削減への貢献も図る。

同社はこの「環境負荷低減型超ハイテン橋梁ケーブル用鋼線材」の開発で、新技術開発財団の第47回（14年度）市村産業賞・本賞を受賞した。鉄鋼メーカーが最上位の本賞を受賞するのは、第44回の同社（新日鉄）以来2回目。（4月24日）

大同特殊鋼、 タイで車用型鍛造部品を生産

大同特殊鋼は、タイに自動車トランスミッション用型鍛造部品を主に生産する新会社「ガイドー・スチール（タイランド）」を全額出資で設立した。同国チョンブリ県の工業団地内に新工場を建設。新開発した熱間高速横型鍛造機1基を新設し、来年3月に稼働する。ASEAN地域で同部品の現地調達ニーズが高まっていることに対応する。特殊鋼鋼材の物流・営業、タイ進出グループ企業のサポートなども手掛ける計画。総投資額は30億円。

ASEAN地域で生産される日系の自動車トランスミッション型鍛造部品は、日本からの輸出対応が主流だが、ここへきて現地調達への切り替えが求められており、米国に次ぐ海外での型鍛造製品の製造拠点をタイ

に新設することにした。

1月に知多型鍛造工場に導入した、高生産性でニアネットシェイプ可能な横型の型鍛造機をタイ新工場にも設置する。（5月28日）

日本精線、 17年度経常益40億円目指す

日本精線は18年3月期を最終年度とする3カ年中期計画「SR17」を策定した。「精線リニューアル」のスローガンのもと、枚方工場のリニューアルや情報システムの再構築などを推進し、連結経常利益40億円やROS10%の達成を目指す。

ステンレス鋼線部門では、国内外でばね用材や極細線などの高機能製品、自動車向け耐熱ボルト用材や高合金線などの独自製品を拡販。需要家のグローバル展開に対応し海外工場の拡張や、枚方工場の物流改善も推進し、国内外で最適生産体制を構築する。グループの技術力・ノウハウに大同特殊鋼グループの技術力も結集させ、新製品開発の強化や新規事業の確立にも取り組む。

金属繊維部門では、中韓の現地法人活用による海外市場への拡販、高機能化・高精度化する国内需要に対応するための技術開発を継続する。新規分野では、ばね用銅系合金線など新製品・新用途製品を拡充する。（4月30日）

日本冶金工業、 高機能材を効率生産

日本冶金工業は、川崎製造所の冷延材用焼鈍酸洗（CAP）ラインを3基から2基に集約し、4月から新たな設備体制に移行した。これにより、上工程から進めてきた『高機能材の汎用ルート化』（高機能材を汎用ステンレス並みの負荷で生産する）が完了した。

高機能材は高ニッケル合金や高耐食ステンレスなどの戦略商品。従来

は汎用ステンレスと異なるプロセスで製造していたが、同じプロセスで製造できるように設備改造やソフト改善を順次行い、品質向上、コスト削減、製造リードタイム短縮を図ってきた。

近年の高機能材の生産体制強化では、08年1月に営業運転を開始したAVS（真空機能を持つAOD炉）の導入が皮切り。その後、汎用ルート化を明確に投資戦略化し、14年3月に連続鍛造設備を2基体制から新鋭化した1基に集約。汎用ルート化が主目的ではないが、今年3月末に熱延材用APラインも2基から1基に集約した。（5月7日）

日立金属、 海外売上高55%に拡大

日立金属の海外売上高比率が15年度に初めて50%を超える見通しだ。特殊鋼、磁石、自動車用鋳物、電線材料など各事業でグローバル競争力強化を推し進め、米ワウバカ社（14年11月に買収完了した鉄鋳物の世界最大手）が連結業績にフル寄与する効果もあり、海外売上高比率は前期の47%から55%に拡大する。海外生産高比率は34%から41%に拡大する見通しだ。

13年度（合併前の日立電線の4～6月期実績を含む）の海外売上高比率は41%、海外生産高比率は25%。2年間で海外比率は一気に高まる。日立ツール、日立機材を連結除外する影響もある。最も伸びるのは北米で、連結売上高に占める比率は13年度11%から14年度20%、15年度31%に拡大する。事業別では自動車用鋳物の売上高が13年度450億円から15年度2,650億円に拡大する。

同社は『変革と挑戦による世界トップクラスの金属材料会社の実現』を目指している。（5月13日）

（文責：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						合計	
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'13 暦年	246,149	4,579,676	3,871,149	8,443,825	430,297	936,673	2,857,369	692,010	5,705,091	648,243	11,269,683	19,959,657
'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
'13 年度	253,463	4,732,925	3,985,769	8,718,694	435,711	995,693	2,923,675	691,101	5,702,462	692,726	11,441,368	20,413,525
'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
'14. 4-6月	69,923	1,194,168	976,925	2,171,093	107,233	261,911	759,186	181,351	1,479,933	174,472	2,964,086	5,205,102
7-9月	63,908	1,240,034	1,021,050	2,261,084	115,322	250,954	775,716	171,523	1,596,461	171,903	3,081,879	5,406,871
10-12月	66,376	1,186,103	993,378	2,179,481	106,086	265,291	710,693	166,178	1,480,357	158,897	2,887,502	5,133,359
1-3月	67,381	1,175,974	946,737	2,122,711	107,972	250,767	728,221	161,938	1,249,834	164,311	2,663,043	4,853,135
'14年 3月	22,632	419,594	354,594	774,188	36,312	88,631	268,299	65,751	488,023	75,425	1,022,441	1,819,261
4月	23,678	399,403	329,085	728,488	37,896	87,167	262,735	58,079	470,308	58,803	974,988	1,727,154
5月	22,563	396,599	338,409	735,008	38,490	85,086	240,820	65,509	524,192	58,369	1,012,466	1,770,037
6月	23,682	398,166	309,431	707,597	30,847	89,658	255,631	57,763	485,433	57,300	976,632	1,707,911
7月	21,163	422,683	357,113	779,796	39,529	79,100	258,912	55,658	528,319	64,550	1,026,068	1,827,027
8月	21,297	398,992	318,937	717,929	38,294	82,873	255,952	56,752	540,741	49,800	1,024,412	1,763,638
9月	21,448	418,359	345,000	763,359	37,499	88,981	260,852	59,113	527,401	57,553	1,031,399	1,816,206
10月	24,495	412,311	339,268	751,579	36,929	89,825	264,624	54,151	519,979	60,503	1,026,011	1,802,085
11月	20,658	390,164	335,915	726,079	34,257	89,685	220,321	59,516	516,090	49,036	968,905	1,715,642
12月	21,223	383,628	318,195	701,823	34,900	85,781	225,748	52,511	444,288	49,358	892,586	1,615,632
'15年 1月	20,750	390,644	327,844	718,488	35,806	82,891	247,681	49,837	489,660	54,202	960,077	1,699,315
2月	22,767	372,226	297,464	669,690	35,395	83,471	231,856	52,053	356,241	53,109	812,125	1,504,582
3月	23,864	413,104	321,429	734,533	36,771	84,405	248,684	60,048	403,933	57,000	890,841	1,649,238
4月	20,346	387,610	305,813	693,423	34,040	82,033	204,655	48,023	408,292	57,378	834,421	1,548,190
前月比	85.3	93.8	95.1	94.4	92.6	97.2	82.3	80.0	101.1	100.7	93.7	93.9
前年同月比	85.9	97.0	92.9	95.2	89.8	94.1	77.9	82.7	86.8	97.6	85.6	89.6

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。

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
'13 暦年	420,716	5,782,384	1,413,921	4,143,965	2,122,894	6,075,777	19,959,657
'14 暦年	299,735	6,106,683	1,442,497	4,313,948	2,290,323	6,460,443	20,913,629
'13 年度	386,674	5,959,957	1,469,820	4,289,571	2,106,686	6,203,452	20,416,160
'14 年度	304,098	6,106,807	1,393,173	4,234,850	2,176,351	6,393,357	20,608,636
'14. 4-6月	73,505	1,537,546	348,788	1,073,277	593,439	1,580,993	5,207,548
7-9月	65,640	1,541,691	371,564	1,095,637	625,824	1,709,164	5,409,520
10-12月	81,923	1,527,665	347,574	1,051,980	571,063	1,555,314	5,135,519
1-3月	83,030	1,499,905	325,247	1,013,956	386,025	1,547,886	4,856,049
'14年 3月	26,313	530,258	122,169	404,650	164,989	571,692	1,820,071
4月	28,267	502,999	126,649	366,939	192,927	510,270	1,728,051
5月	21,394	513,163	121,668	362,459	214,184	537,986	1,770,854
6月	23,844	521,384	100,471	343,879	186,328	532,737	1,708,643
7月	22,636	521,729	136,662	372,895	203,055	571,044	1,828,021
8月	14,389	479,382	120,652	358,675	207,647	583,763	1,764,508
9月	28,615	540,580	114,250	364,067	215,122	554,357	1,816,991
10月	25,803	525,345	123,270	370,346	220,355	538,024	1,803,143
11月	31,696	510,853	113,544	347,670	187,076	524,933	1,715,772
12月	24,424	491,467	110,760	333,964	163,632	492,357	1,616,604
'15年 1月	31,833	496,980	126,601	332,434	137,593	574,846	1,700,287
2月	26,286	481,854	101,321	325,532	107,039	463,521	1,505,553
3月	24,911	521,071	97,325	355,990	141,393	509,519	1,650,209
4月	13,460	478,005	94,543	341,915	146,619	474,619	1,549,161
前月比	54.0	91.7	97.1	96.0	103.7	93.2	93.9
前年同月比	47.6	95.0	74.6	93.2	76.0	93.0	89.6

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 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			
'13 暦年	321,646	3,825,120	4,018,791	7,843,911	249,017	500,921	2,984,291	195,198	109,018	39,134	4,077,579	12,243,136	
'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	
'13 年度	324,404	3,879,315	4,061,105	7,940,420	267,951	513,723	3,002,125	199,622	111,431	51,971	4,146,823	12,411,647	
'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	
14年 8月	23,457	293,157	324,129	617,286	17,601	34,988	240,869	12,533	8,749	2,045	316,785	957,528	
9月	27,803	321,793	343,381	665,174	20,722	38,461	259,056	15,912	11,454	1,981	347,586	1,040,563	
10月	28,046	327,185	350,871	678,056	20,818	39,094	256,308	15,022	11,864	2,255	345,361	1,051,463	
11月	25,457	319,849	342,138	661,987	20,269	38,343	248,042	15,034	11,150	2,197	335,035	1,022,479	
12月	25,797	319,890	337,715	657,605	19,918	38,191	250,414	14,789	8,306	1,900	333,518	1,016,920	
15年 1月	24,637	312,804	339,772	652,576	20,190	38,368	252,568	13,762	10,468	2,576	337,932	1,015,145	
2月	25,501	306,969	332,833	639,802	21,394	37,921	254,297	15,053	12,146	3,022	343,833	1,009,136	
3月	27,374	319,860	340,139	659,999	6,741	40,657	265,056	16,972	11,588	3,190	344,204	1,031,577	
4月	25,908	323,521	339,996	663,517	21,073	37,759	248,140	12,780	11,352	3,207	334,311	1,023,736	
前 月 比	94.6	101.1	100.0	100.5	312.6	92.9	93.6	75.3	98.0	100.5	97.1	99.2	
前年同月比	99.2	101.4	99.6	100.5	85.4	98.7	100.5	80.0	112.6	141.4	98.8	99.9	

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 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			
'13 暦年	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
'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	
'13 年度	7,603	207,387	127,934	335,321	24,576	43,066	124,560	30,864	163,913	40,196	427,175	770,099	
'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	
14年 8月	11,003	231,842	137,774	369,616	25,218	39,123	130,898	32,041	243,573	36,923	507,776	888,395	
9月	9,667	222,174	133,615	355,789	20,069	37,018	119,477	28,395	186,744	29,456	421,159	786,615	
10月	10,148	226,423	133,740	360,163	21,715	35,207	132,445	31,123	210,639	38,649	469,778	840,089	
11月	11,336	227,145	133,532	360,677	21,210	38,516	117,461	32,890	203,545	32,969	446,591	818,604	
12月	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年 1月	8,931	230,093	140,262	370,355	24,568	33,296	122,386	28,248	247,230	37,055	492,783	872,069	
2月	9,794	223,152	131,238	354,390	22,466	34,255	123,022	29,639	173,342	36,053	418,777	782,961	
3月	8,552	212,735	120,601	333,336	24,229	35,151	116,398	25,803	181,594	33,355	416,530	758,418	
4月	7,934	220,519	128,620	349,139	22,776	32,266	109,678	26,130	168,893	35,306	395,049	752,122	
前 月 比	92.8	103.7	106.6	104.7	94.0	91.8	94.2	101.3	93.0	105.8	94.8	99.2	
前年同月比	77.0	103.7	104.1	103.8	96.1	75.0	80.7	90.5	104.5	100.5	92.3	96.8	

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 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			
'13 暦年	51,532	192,784	137,555	330,339	14,228	50,702	128,745	14,252	9,314	1,464	218,705	600,576	
'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	
'13 年度	49,581	204,598	144,165	348,763	10,367	52,471	132,506	15,762	9,305	1,588	221,999	620,343	
'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	
14年 8月	49,871	205,984	142,390	348,374	10,871	50,580	137,164	14,493	9,051	1,657	223,816	622,061	
9月	51,105	206,390	147,808	354,198	11,757	51,202	142,549	15,183	9,834	1,716	232,241	637,544	
10月	50,758	204,220	140,920	345,140	11,171	50,506	139,934	14,399	9,988	1,851	227,849	623,747	
11月	52,397	199,694	143,858	343,552	11,075	51,663	141,472	15,134	10,145	1,746	231,235	627,184	
12月	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年 1月	54,070	202,948	144,616	347,564	10,801	52,111	139,033	15,625	10,457	1,579	229,606	631,240	
2月	55,516	203,904	145,750	349,654	11,979	49,660	139,111	13,810	10,198	1,643	226,401	631,571	
3月	58,240	210,206	147,346	357,552	12,927	49,435	140,051	13,509	10,900	1,581	228,403	644,195	
4月	58,893	222,886	140,125	363,011	12,180	48,789	136,271	12,916	10,561	1,273	221,990	643,894	
前 月 比	101.1	106.0	95.1	101.5	94.2	98.7	97.3	95.6	96.9	80.5	97.2	100.0	
前年同月比	120.2	111.1	100.6	106.8	106.9	95.3	101.1	76.9	122.2	92.7	99.0	105.0	

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)

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	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'13 暦年	46,815	467,652	559,899	1,027,551	187,205	1,118,549	120,628	1,426,381	13,176	5,145,101	5,158,277	7,659,025
'14 暦年	52,548	499,166	590,092	1,089,258	191,603	1,152,264	151,020	1,494,887	13,742	6,189,851	6,203,593	8,840,287
'13 年度	49,233	474,018	580,043	1,054,061	191,652	1,130,330	135,718	1,457,700	13,215	5,402,234	5,415,449	7,976,443
'14 年度	69,904	508,345	583,116	1,091,461	184,341	1,157,027	142,126	1,483,494	13,457	6,086,053	6,099,510	8,744,369
14年 7月	5,012	37,684	42,204	79,888	11,940	104,697	11,076	127,713	1,024	488,666	489,690	702,302
8月	3,359	41,696	43,116	84,811	13,719	103,273	11,366	128,358	865	520,994	521,858	738,386
9月	4,685	43,338	52,343	95,681	18,812	101,502	10,729	131,043	1,141	587,082	588,223	819,632
10月	4,076	45,415	44,307	89,722	14,047	97,175	10,628	121,849	1,412	588,127	589,539	805,185
11月	3,513	38,276	47,893	86,169	14,503	91,645	8,969	115,117	1,248	426,877	428,125	632,925
12月	5,422	41,567	51,622	93,190	12,543	84,082	12,496	109,121	905	601,169	602,074	809,806
'15年 1月	14,971	41,958	46,866	88,643	12,308	86,504	9,721	108,532	1,027	463,000	464,027	676,174
2月	6,722	38,366	41,103	79,469	13,677	89,087	10,960	113,724	1,851	435,932	436,784	636,699
3月	5,489	44,186	56,876	101,061	18,044	111,096	9,082	138,222	1,130	514,323	515,453	760,226
4月	3,375	41,490	48,391	89,881	15,573	90,587	17,232	123,392	919	431,611	432,530	649,178
前月比	61.5	93.9	85.1	88.9	86.3	81.5	189.7	89.3	81.3	83.9	83.9	85.4
前年同月比	93.7	95.1	90.4	92.5	81.2	95.1	106.8	94.5	74.8	93.0	92.9	93.2

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸入

(単位：t)

年月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					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	
'13 暦年	5,376	1,497	493	12,079	12,970	170,751	13,387	209,681	310	19,977	396,068	416,044	632,909
'14 暦年	6,417	3,475	596	12,390	14,954	164,225	15,702	207,868	84	20,344	835,935	856,279	1,074,123
'13 年度	5,725	2,913	504	12,330	13,654	180,931	13,839	221,258	118	21,920	582,545	604,465	834,478
'14 年度	6,053	2,369	625	12,085	13,268	145,698	15,267	186,943	77	18,717	758,538	777,255	972,697
14年 7月	518	375	58	1,296	1,105	13,003	1,413	16,704	18	1,359	66,717	68,076	85,691
8月	405	166	29	964	1,341	8,972	1,298	12,434	-	1,417	64,890	66,307	79,312
9月	787	274	43	971	1,331	13,180	1,411	16,937	-	1,723	55,900	57,623	75,621
10月	623	206	32	899	1,072	14,210	1,525	17,737	-	207	76,458	76,665	95,231
11月	617	169	53	834	1,090	12,934	1,242	14,453	4	3,436	47,071	50,507	65,751
12月	434	231	49	1,035	955	7,321	1,262	10,623	23	1,163	98,132	99,295	110,605
15年 1月	363	267	58	1,174	1,151	10,422	1,183	13,988	5	1,120	80,112	81,232	95,855
2月	305	156	43	1,056	745	9,348	839	12,030	6	1,107	52,508	53,615	66,113
3月	416	121	47	818	904	12,285	1,049	15,103	1	2,485	44,913	47,398	63,039
p4月	433	282	31	993	991	11,233	1,261	14,509	-	160	57,601	57,761	72,985
前月比	104.1	233.1	66.0	121.4	109.6	91.4	120.2	96.1	-	6.4	128.3	121.9	115.8
前年同月比	61.2	410.1	36.0	87.9	99.9	62.6	81.0	66.8	-	10.0	110.4	107.4	95.7

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。(注) p：速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輦生産		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	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					
'13 暦年	9,630,181	1,308,177	4,674,633	472,179	5,375,513	801,975	6,236	148,161	107,777	13,538	93,232	47,742	11,170
'14 暦年	9,774,558	1,357,654	4,465,624	488,473	5,562,887	851,314	7,340	169,987	114,705	14,722	96,920	56,976	15,094
'13 年度	9,912,403	1,333,945	4,632,178	468,925	5,692,162	843,644	6,648	158,109	110,214	14,181	97,030	47,753	12,049
'14 年度	9,590,644	1,364,229	4,490,724	498,961	5,297,111	831,464	7,589	171,426	114,372	14,384	97,805	60,752	16,847
7月	894,846	123,258	414,273	43,315	460,263	67,861	609	15,666	10,768	1,308	7,829	8,174	1,278
8月	634,833	91,179	322,838	35,260	333,470	51,165	526	11,818	7,815	1,126	8,007	3,282	1,282
9月	851,177	123,787	410,181	47,257	518,772	85,609	675	15,834	10,610	1,503	8,202	6,339	1,355
10月	817,080	119,872	401,239	44,870	396,505	67,232	672	16,561	10,475	1,645	7,913	3,004	1,337
11月	743,401	114,728	368,109	43,039	416,153	75,521	727	13,919	9,267	1,230	7,920	3,011	1,391
12月	766,945	107,170	381,113	43,395	431,919	70,743	746	14,214	8,844	1,343	8,362	4,828	1,442
'15年 1月	777,756	110,120	341,872	35,327	401,366	56,590	654	13,869	8,576	968	8,570	5,220	1,211
2月	823,864	113,885	365,855	41,414	482,102	67,919	625	14,145	9,062	983	7,448	3,793	1,315
3月	878,577	125,991	396,796	46,490	695,412	106,065	628	15,174	10,373	1,093	8,694	10,282	1,474
4月	713,155	108,825	379,907	43,022	319,482	55,168	636	14,152	9,469	1,103	9,025	2,520	1,346
前月比	81.2	86.4	95.7	92.5	45.9	52.0	101.3	93.3	91.3	100.9	103.8	24.5	91.3
前年同月比	92.5	101.1	101.1	103.4	92.5	106.6	103.4	105.8	105.1	103.1	106.0	86.3	110.4

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、産業車輦生産は『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：訂正值

特殊鋼需給統計総括表

2 0 1 5 年 4 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	熟間圧延鋼材生産		20,346	85.3	85.9	91.5	
	鋼材輸入実績		433	104.1	61.2	294.6	
	販売業者	受入計		26,561	88.2	104.1	129.1
		販売計		25,908	94.6	99.2	127.2
		うち消費者向		18,542	97.4	95.7	197.5
		在庫計		58,893	101.1	120.2	163.4
	鋼材輸出船積実績		3,375	61.5	93.6	94.2	
	生産者工場在庫		7,934	92.8	77.0	70.8	
	総在庫		66,827	100.1	112.7	141.7	
	熟間圧延鋼材生産		693,423	94.4	95.2	127.7	
鋼材輸入実績		31,196	114.7	100.7	2047.1		
構 造 用 鋼	販売業者	受入計	668,976	100.2	102.7	202.5	
		販売計	663,517	100.5	100.5	202.3	
		うち消費者向	445,631	99.8	101.0	208.5	
		在庫計	363,011	101.5	106.8	151.1	
	鋼材輸出船積実績		89,880	88.9	92.5	531.0	
	生産者工場在庫		349,139	104.7	103.8	116.6	
	総在庫		712,150	103.1	105.3	132.0	
	熟間圧延鋼材生産		34,040	92.7	89.8	80.0	
	鋼材輸入実績		282	233.1	408.7	-	
	ば ね 鋼	販売業者	受入計	20,326	264.4	79.1	136.2
販売計			21,073	312.6	85.4	141.5	
うち消費者向			4,539	103.9	76.2	36.6	
在庫計			12,180	94.2	106.9	383.2	
鋼材輸出船積実績			15,573	86.3	81.2	123.1	
生産者工場在庫			22,776	94.0	96.1	70.9	
総在庫			34,956	94.1	99.6	99.0	
熟間圧延鋼材生産			204,655	82.3	77.9	75.7	
鋼材輸入実績			14,509	96.1	66.8	372.2	
ス テ ン レ ス 鋼		販売業者	受入計	244,360	91.9	98.0	162.7
	販売計		248,140	93.6	100.5	166.1	
	うち消費者向		55,552	89.0	105.7	97.5	
	在庫計		136,271	97.3	101.1	123.2	
	鋼材輸出船積実績		90,587	81.5	95.1	89.1	
	生産者工場在庫		109,678	94.2	79.2	74.5	
	総在庫		245,949	95.9	90.0	95.4	
	熟間圧延鋼材生産		48,023	80.0	82.7	54.2	
	快 削 鋼	販売業者	受入計	12,187	73.1	71.7	72.5
			販売計	12,780	75.3	80.0	77.2
うち消費者向			12,391	75.3	79.2	87.1	
在庫計			12,916	95.6	76.9	56.4	
生産者工場在庫			26,130	101.3	90.5	116.2	
総在庫			39,046	99.3	85.5	86.1	
熟間圧延鋼材生産			408,292	101.1	86.8	174.3	
高 抗 張 力 鋼		販売業者	受入計	11,013	89.6	117.0	88.9
			販売計	11,352	98.0	112.6	91.9
			うち消費者向	7,668	97.8	106.5	142.4
	在庫計		10,561	96.9	122.2	79.7	
	生産者工場在庫		168,893	93.0	104.5	100.8	
	総在庫		179,454	93.2	105.4	99.2	
	熟間圧延鋼材生産		139,411	98.5	95.5	59.5	
	そ の 他	販売業者	受入計	40,012	91.9	102.6	323.0
			販売計	40,966	93.4	101.1	331.8
			うち消費者向	36,986	93.7	100.0	687.1
在庫計			50,062	98.1	95.3	377.8	
生産者工場在庫			67,572	98.6	86.5	40.3	
総在庫			117,634	98.4	90.0	65.1	
熟間圧延鋼材生産合計			1,548,190	93.9	89.6	114.9	
特 殊 鋼 鋼 材 合 計		鋼材輸入実績		72,985	115.8	95.7	922.8
		販売業者	受入計	1,023,435	98.0	100.6	179.0
			販売計	1,023,736	99.2	99.9	180.0
	うち消費者向		581,309	97.5	100.4	172.7	
	在庫計		643,894	100.0	105.0	145.6	
	鋼材輸出船積実績		649,178	85.4	93.2	193.4	
	生産者工場在庫		752,122	99.2	96.8	98.7	
	総在庫		1,396,016	99.5	100.4	115.9	

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) 1. 熟間圧延鋼材生産、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、線材を加算したもの。
 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。生産者工場在庫は熟間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(平成27年4月1日～5月31日)

総会 (5月29日)

- ①平成26年度事業報告書について
- ②平成26年度決算報告書について
- ③役員選出の件について

講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課

課長補佐 成瀬 輝男 氏

参加者：43名

理事会

第1回 (5月14日)

- ①平成26年度事業報告について
- ②平成26年度決算報告について
- ③第1回総会招集について

第2回 (5月29日)

会長、副会長、専務理事の選定

運営委員会

- ・総務分科会・財務分科会 (5月11日)
 - ①平成26年度事業報告について
 - ②平成26年度決算報告について

海外委員会

- ・専門部会 (5月14日)
 - ①個別通商問題について
 - ②平成27年度調査テーマについて
 - ③海外統計の見直しについて

編集委員会

- ・小委員会 (4月24日)

9月号特集「分析技術」(仮題)の編集内容の検討
- ・本委員会 (5月8日)
 - ①9月号特集「分析技術」(仮題)の編集方針、内容の確認
 - ②1月号以降の特集テーマ選定

流通委員会

- ・工具鋼分科会 (5月18日)
- ・説明会 (4月2日)

「平成27年度第1・四半期の特殊鋼需要見直し」

[名古屋支部]

運営委員会 (4月27日)

- ①平成26年度事業報告(案)・決算報告(案)について
- ②平成27年度事業計画(案)・収支予算(案)について
- ③第46回名古屋支部総会について

部会

- ・工具鋼部会 (4月22日)
- ・構造用鋼部会 (4月23日)
- ・ステンレス鋼部会 (4月28日)

- ・二団体共催：新入社員研修 (4月16日)

- ①愛知製鋼(株)知多工場見学
- ②講義Ⅰ：特殊鋼の知識
講師：愛知製鋼(株) 永山 宏智 氏
- ③講義Ⅱ：社会人としての基礎マナー
講師：キャプラン(株) 近藤 ゆり子 氏

[大阪支部]

運営委員会 (5月22日)

- ①平成26年度事業・収支報告
- ②平成27年度事業計画(案)・収支予算(案)
- ③役員人事

平成26年度会計監査 (5月22日)

2団体共催説明会 (4月16日)

「平成27年度第1・四半期の特殊鋼需要見直し」

講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課

課長補佐 成瀬 輝男 氏

参加者：53名

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

【会 員 数】 (正 会 員) 製造業者 23社 販売業者 101社 合 計 124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 (株)神 戸 製 鋼 合 同 製 鐵 (株) 山 陽 特 殊 製 鋼 (株) J F E ス チ ー ル (株) J X 日 鋳 日 石 金 属 (株) 下 村 特 殊 精 工 (株) 新 日 鐵 住 金 (株) 大 同 特 殊 鋼 (株) 高 砂 鐵 工 (株) 東 北 特 殊 鋼 (株) 日 新 製 鋼 (株) 日 本 金 属 (株) 日 本 高 周 波 鋼 業 (株) 日 本 精 線 (株) 日 本 冶 金 工 業 (株) 日 立 金 属 (株) (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) 粟 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 確 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)	大 同 興 業 (株) 大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株) 大 洋 商 事 (株) 大 和 興 業 (株) 大 和 特 殊 鋼 (株) (株)竹 内 ハ ガ ネ 商 行 孟 鋼 鉄 (株) 田 島 ス チ ー ル (株) 辰 巳 屋 興 業 (株) 中 部 ス テ ン レ ス (株) 千 曲 鋼 材 (株) (株)テ ク ノ タ ジ マ (株) 鐵 鋼 社 デ ル タ ス テ ー ル (株) 東 京 貿 易 金 属 (株) (株) 東 信 鋼 鉄 特 殊 鋼 機 (株) 豊 田 通 商 (株) 中 川 特 殊 鋼 (株) 中 野 ハ ガ ネ (株) 永 田 鋼 材 (株) 名 古 屋 特 殊 鋼 (株) ナ ス 物 産 (株) 南 海 鋼 材 (株) 日 輪 鋼 業 (株) 日 金 ス チ ー ル (株) 日 鉄 住 金 物 産 (株) 日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株) 日 本 金 型 材 (株) ノ ボ ル 鋼 鉄 (株) 野 村 鋼 機 (株) 白 鷺 特 殊 鋼 (株) 橋 本 鋼 (株) (株)長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株)ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー 林 田 特 殊 鋼 材 (株) 阪 神 特 殊 鋼 (株) 阪 和 興 業 (株) 日 立 金 属 ア ド メ ッ ト (株)	日 立 金 属 工 具 鋼 (株) (株)日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ (株) 平 井 (株) フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株) プ ル ー タ ス (株) 堀 田 ハ ガ ネ (株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 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) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

“特集” 編集後記

特殊鋼は普通鋼と区別され、Fe、C以外に各種の合金元素が添加され、熱処理を施して用いられることが特徴です。熱処理によって、強度、靱性、耐摩耗性、耐熱性、耐食性などの諸特性を得ることができ、機械構造用部品に広く使用されていますが、これらの特性や、合金元素の効果を十分引き出せるかどうかは、熱処理にかかっていると云えます。

今回は「やさしく知る熱処理」として、本誌の読者である営業マンや若手技術者などの初心者を想定し特集を組みました。これまでの熱処理に関する特集では、ここ10年間において最新の熱処理技術動向の特集が主に組まれてきています。基礎知識の解説を行った2004年5月号の熱処理入門以降からは約10年経過しており、新しい読者も増えてきているため、今回は内容を更新する目的も含

めて、これまでよりできるだけ多くの図表を示し、理解し易い内容となるようにしました。

特殊鋼における材料開発は既に行き着いた感もありますが、まだまだ材料の特性を引き出すために、材料開発のみならず表面硬化処理や表面改質処理も含めた広い意味での熱処理技術とともに極めていくことにより、新しい特殊鋼の世界が拓け、今後もさらに進化し続けるものと確信しています。そういった意味で、特殊鋼にとっては欠かせない熱処理に対する理解を深めることに本誌が少しでも参考となれば幸いです。

最後に、本特集号にご寄稿頂きました方々、ご協力頂きました編集委員の方々および事務局各位に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

〔大同特殊鋼(株) まつむら やすし〕
〔特殊鋼製品本部 松村 康志〕

特 集 / 特殊鋼を支える分析・検査技術

- I. 総論
- II. 特殊鋼製造プロセスに使われる分析・検査技術
- III. 特殊鋼に使われる分析技術
- IV. 会員メーカー関連の試験、検査機関

11月号特集予定…接合

特 殊 鋼

第 64 卷 第 4 号
© 2 0 1 5 年 7 月
平成27年6月25日 印刷
平成27年7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。