

## 技術解説

## Technical Review

## 特殊鋼鋼材(Ⅰ):機械構造用鋼

秦野敦臣\*

## A Review on Recent Special Steels (Ⅰ): – Structural Steels –

Atsumi Hatano

## Synopsis

When looking back on these ten years, the main key word related to the material development includes "Simultaneous the world", "Drastic transformation", and "Negative environmental impact decrease", etc.

It can be said that "Negative environmental impact decrease" that assumes the amount of the CO<sub>2</sub> exhaust to be one quantitative index joins as an axis of coordinate of new development in addition to making to high strength so far and lowering the cost, and the priority level rose rapidly in the steel material development according to such a background.

About the miniaturization, the adoption of the high strength material and the technique of making to high strength is requested to down it by the part reduction and one size, and lowering the cost in which the process of manufactures of lightening and parts for parts or the entire units are changed is achieved by the alloy design and optimizing the part manufacturing process.

Development and the practical use of the negative environmental impact decrease steel advance to limit the use of the negative environmental impact material, the rare metal also soars as a negative environmental impact decrease, and the material development that pays attention to the saving resource, the conserve element, and energy conservation is executed aggressively.

## 1. はじめに

この10年は20世紀が終わり21世紀が始まった、まさに変動の激しい激動の10年であった。この10年を振り返るとき、材料開発にも関わる主要なキーワードとして、「世界同時」「急激な変化」「環境負荷低減」などが挙げられる。

1990年代後半はバブル崩壊の後遺症とアジア通貨危機により景気は低迷していたが、2000年代に入り、BRICs諸国が台頭し、それらの経済発展に牽引される形で外需が伸びたこと、規制緩和による経済活性化、IT化の普及による企業経営の効率化やIT関連産業に代表される新興産業の誕生、および、公的資金を注入したことによる金融機関の不良債権処理が進み、民間企業の過剰な設備・雇用・負債が解消されたこともあいまって、デフレ脱却、景気の回復を果たした。

2002年から景気は外需主導の回復局面に入り、「急激な変化」を伴い2008年までいざなぎ景気を実現した。超低金利と円安を背景に好調な輸出大企業が生産を急拡大したものの、2008年8月頃よりサブプライム危機により米国の大手投資銀行破綻が相次ぐ中、いざなぎ景気は終了し、最近では極端な「世界同時」の景気悪化へと邁進している。

特殊鋼の一大顧客である自動車産業に目を向けると、国内メーカーは1980年代にアメリカを生産量で追い抜き、国内の自動車販売は頭打ち状態であるものの、世界市場では各社とも販売台数・シェアとも拡大し、新車の立上げについても「世界同時」立上げを目指し、多くのメーカーが海外生産能力を増加させていたが、現在では、円高の「急激な変化」もあり再び極端な生産調整を余儀なくされている。

また鉄鋼メーカーにおいても、「世界同時」立上げに

2008年12月25日受付

\*大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research &amp; Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

対応すべく、開発鋼も含めた鋼材の現地調達を見据えて、海外メーカーへの技術供与や提携を従来以上に具体的に推し進めた時期でもあった。

さらに特筆すべき事象として、1997年京都にて「気候変動枠組条約第3回締約国会議」が開催され、その後紆余曲折はあったものの、京都議定書の発効に至り、本格的な「環境負荷低減」対策が進行することとなり、自動車における環境改善対策として、ディーゼルエンジン、ハイブリッド自動車、電気自動車など新たな自動車への機構変化が加速することとなった。

このような背景から、鋼材開発においても、従来からの高強度化、低コスト化に加え、新たな開発の座標軸として、CO<sub>2</sub>排出量をひとつの定量的な指標とする「環境負荷低減」が加わり、この10年でその優先順位が急速に高まったといえよう。

小型軽量化については、部品削減や1サイズダウンを目的とし、高強度材と高強度化手法の採用が求められ、合金設計と部品製造プロセスの最適化により、部品もしくはユニット全体での軽量化が達成されている。また部品の製造方法自体を変更する材料開発により、部品全体での低コスト化も達成している。

「環境負荷低減」としては、環境負荷物質の使用を制限すべく、環境負荷低減鋼の開発・実用化が進み、またレアメタルの高騰もあり、省資源、省元素、省エネルギーに着目した材料開発が精力的に実施されている。

## 2. 肌焼鋼

### 2.1 概要

自動車などの動力伝達歯車には高い耐久性と生産性が求められ、その素材である鋼材も限界性能を追求しつづけてきた。トランスミッションなどに使用される動力伝達歯車の大半は浸炭焼入れが施されるため、肌焼鋼の開発が歯車の高強度軽量化に大きく寄与してきた。

1980年代から1990年代にかけて、浸炭肌焼鋼における各種合金元素の影響が研究され、高強度歯車用鋼<sup>1),2)</sup>、高面圧歯車用鋼<sup>3)</sup>などの高強度肌焼鋼が開発されるとともに、歯車製造工程での工程省略や簡略化のため、冷鍛歯車用鋼<sup>4)</sup>や結晶粒粗大化防止鋼<sup>5)</sup>なども開発され、鋼材製造技術の進歩とともに実用化に至っている。

この10年では、自動車のトランスミッションも進化を遂げ、8速の自動変速機が登場するなど多段化が進み、さらには無段変速機であるCVTも増加傾向にある。

このトランスミッションの高性能化に呼応するように、肌焼鋼も従来のガス浸炭処理前提の合金設計の範疇から、軟窒化、浸炭窒化、真空浸炭、高濃度浸炭など表面硬化処理の多様化に貢献する材料開発へと進化するとともに、歯車部品そのものに要求される強度特性に着目し、最適な硬化特性を得る手法の開発も積極的に行われている。

### 2.2 真空浸炭用鋼

近年、自動車などの輸送機部品では生産工程中のCO<sub>2</sub>排出量の低減、部品強度の向上を狙い、ガス浸炭から真空浸炭への置換えの動きがある。真空浸炭にはガス浸炭と比較して、粒界酸化に起因した強度低下を抑制できる、浸炭時間が短くランニングコストが安い、細穴内面に均一に浸炭できるなどの利点がある<sup>6),7)</sup>。しかし、真空浸炭には表面炭素濃度が部品形状の影響を受けるといった特徴があり、エッジ部の先端の炭素濃度が平面部と比較して高くなることが知られている。例えば歯車の歯面部を最適な炭素濃度とすると歯端のエッジ部は最適な炭素濃度より高い、いわゆる過剰浸炭された状態となる。このため、残留オーステナイトの過剰生成、粒界への網目状炭化物の析出による不完全焼入組織の生成などから十分な硬さが得られず、エッジ部の強度が低下することが指摘されており<sup>8)</sup>、普及への課題とされていた。

この課題を解決するため、真空浸炭の炭素浸入機構<sup>9)</sup>をもとに主成分を変化させ、真空浸炭中の炭化物生成量を減少させることでエッジ過剰浸炭を抑制する真空浸炭用鋼を開発している。

Fig.1に真空浸炭焼入・焼戻しを施したSCM420と開発鋼(DEG鋼)の組織を示す<sup>10)</sup>。SCM420の平面部は炭化物が存在しない健全な組織であるが、エッジ部は過剰浸炭されており粒界に粗大な炭化物が生成している。一方、開発鋼では平面部・エッジ部とも炭化物が存在しない、健全な組織となっている。

歯端にエッジ形状を持つ歯車などを想定して、エッジ形状を有する4点曲げ試験を行った結果をFig.2に示す<sup>10)</sup>。SCM420では150°試験片で、粒界酸化を有するガス浸炭材よりも高い強度を示すものの、エッジ部の鋭角化に伴い急速に強度が低下し、60°試験片では40%程度の強度となる。このため例えば歯車をSCM420で作成し真空浸炭した場合には、平面部である歯中央付近の強度は向上するが、エッジ形状となっている歯端の強度が低下し破壊する懸念がある。

開発鋼ではエッジ過剰浸炭が抑制され平面での強度を

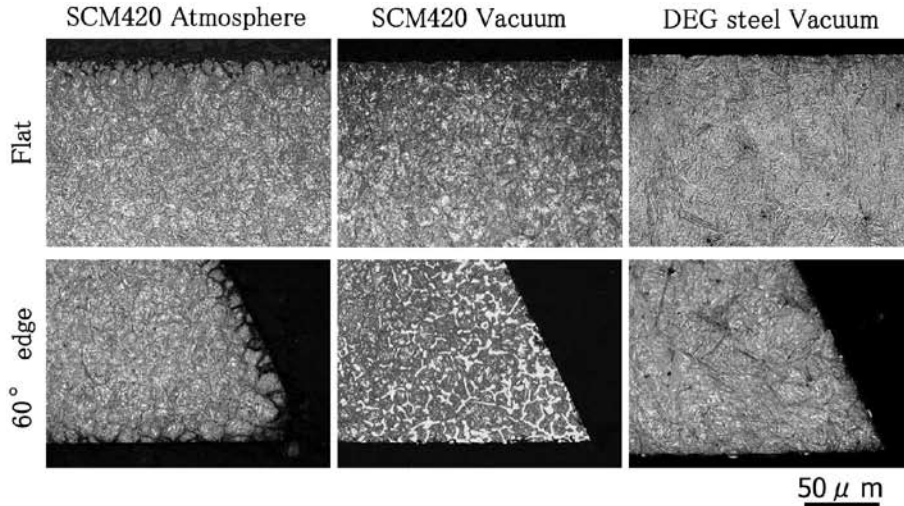


Fig.1. Microstructures of atmosphere-carburized and vacuum-carburized specimens.

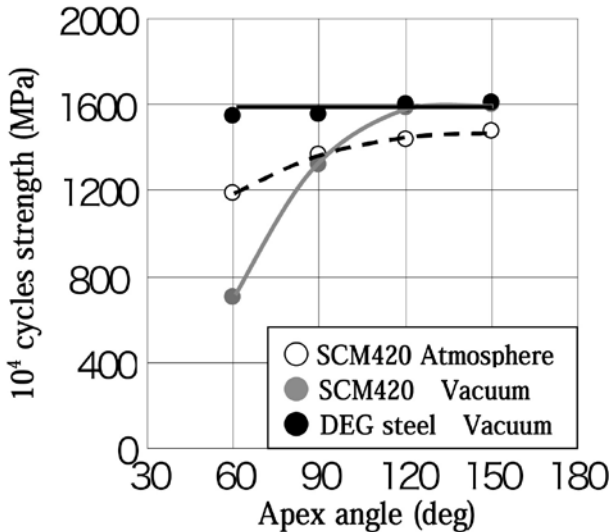


Fig.2. 10<sup>4</sup> cycles strength for each apex angle.

鋭角でも維持できるため、歯端の強度低下が起こらず部品全体の強度が向上する。このことから、開発鋼を用いることでエッジ部を持つ部品であっても真空浸炭の欠点をカバーし利点を生かすことが可能である。

### 2. 3 高濃度浸炭用鋼

高濃度浸炭は共析浸炭よりも高濃度の炭素を導入することにより、浸炭層に微細な炭化物を分散させて強化する方法である。この微細炭化物の効果により、歯車の場合、耐摩耗性や耐ピitting特性などの面疲労強度が向上することから、古くから着目され、研究開発が進められてきた<sup>11)</sup>。

近年では、先に述べた真空浸炭の発展を見据えて、真

空浸炭処理を前提とした成分設計により、材料と熱処理との組合せによる最適解が導き出されている<sup>12)</sup>。

Table 1 に高濃度浸炭用鋼の成分例を示す。ガス浸炭では粒界酸化を助長するとして添加量を制限していたSi, Crを積極的に添加しているのが特徴である。Crは炭化物析出量を増大し、Siは炭化物を微細球状化するとともに母相の強度を向上させている。

この成分系に真空高濃度浸炭処理を施すと、Fig.3に示すような微細炭化物を有する浸炭層が得られる。この炭化物を有する浸炭層は歯車のピitting強度に影響を及ぼす軟化抵抗性に優れるため、Cr量の増加により炭化物面積率を増加させることにより、Fig.4に示すように面疲労強度が向上でき、耐高面圧特性を必要とする歯車への適用が可能となる<sup>13)</sup>。

また、共析浸炭と同様にショットピーニングを適用することも可能であり、歯元曲げ疲労強度にも歯面疲労強度にも優れた特性を得ることができる<sup>13)</sup>。

Table 1. Chemical compositions of super carburizing steels. [mass%]

	C	Si	Mn	Cr	Mo
DCDG1	0.14/0.22	0.30/0.50	0.30/0.50	2.0/3.0	-
DCDG2	0.14/0.22	0.30/0.50	0.30/0.50	3.0/4.0	-
DCDG3	0.14/0.22	0.30/0.50	0.30/0.50	4.0/5.0	-
DCDG4	0.14/0.22	0.30/0.50	0.30/0.50	2.0/2.5	0.40
DCDG5	0.14/0.22	0.50/0.80	0.30/0.50	2.0/2.5	0.60
JIS SCr420H	0.17/0.23	0.15/0.35	0.55/0.95	0.85/1.25	-

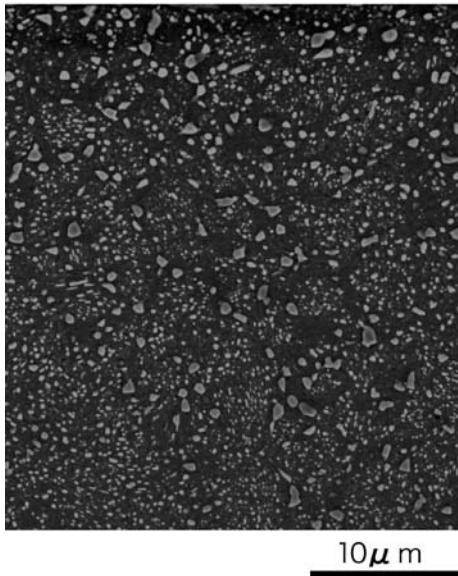


Fig.3. Carbide morphology of the super carburized specimen near surface.

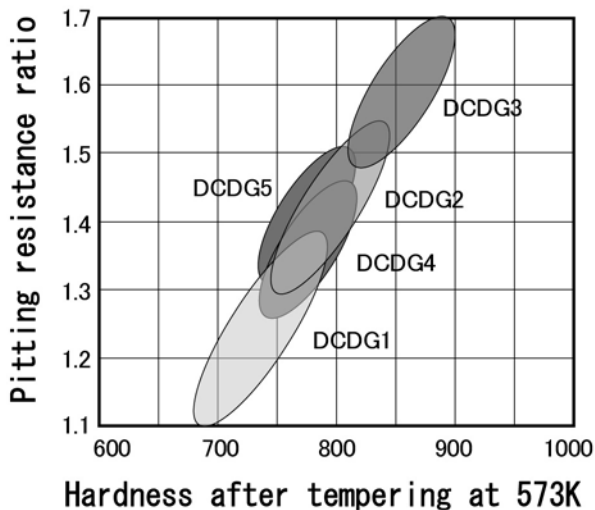


Fig.4. Relationship between pitting resistance ratio and hardness after tempering at 573 K.

## 2. 4 高靱性歯車用鋼

歯車に求められる強度特性として、先に述べた歯元疲労、歯面疲労に加え、歯元の衝撃特性も重要であり、強度改善の一手段としてボロン（以下B）を活用した高靱性歯車用鋼が開発され、実用化されている<sup>14)</sup>。近年ではこのB添加鋼の特性をさらに進化させるべく、低サイクル衝撃疲労における亀裂進展挙動に着目し、部品の硬さ分布、表層炭素濃度、いおう含有量の影響を調査している<sup>15),16)</sup>。

その結果、Fig.5に示すように低サイクル衝撃疲労強度は浸炭層の有効硬化層深さ（ECD；Effective Case Depth）が浅くなるほど向上するが、心部硬さの影響は小さいことが判明している<sup>15)</sup>。また同様の試験結果から、表層炭素濃度といおう含有量の低減によって衝撃疲労特性が向上することも確認できており<sup>16)</sup>、合金元素の効果だけではなく、最適な硬さ分布との組合せにより、さらに破断寿命を向上させることが可能である。

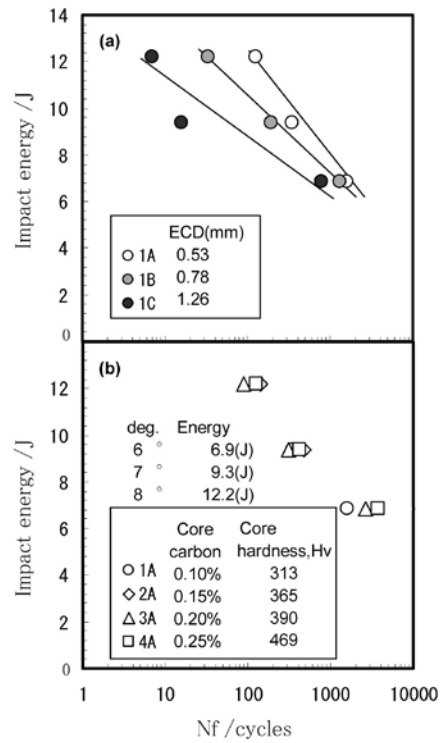


Fig.5. Relationship between impact energy and number of cycles to failure.

## 2. 5 ショットピーニングの活用

ショットピーニング（以下SP）は被処理品に硬質の微粒子を高速で衝突させ、その表面に高い残留圧縮応力を発生させる処理である。この高い残留圧縮応力の付与が疲労強度向上に有効であるため、古くから歯車、ばねなどに適用されてきた<sup>17)</sup>。

近年、浸炭歯車の更なる疲労強度向上の要求に対して、高硬度投射材の採用、表面性状の悪化抑制、SP前の表層組織やSP条件の最適化などにより、2000 MPa以上の高圧縮残留応力を得、その結果、Fig.6に示すように従来のSP処理品対比15～35%高い疲労強度が得られるようになってきている<sup>18)</sup>。

これら高疲労強度を達成する最適なプロセス例として、真空浸炭用鋼、真空浸炭、高硬度ショット投射と

の組合せが提案されており<sup>19)</sup>、高強度部品への適用が期待される。

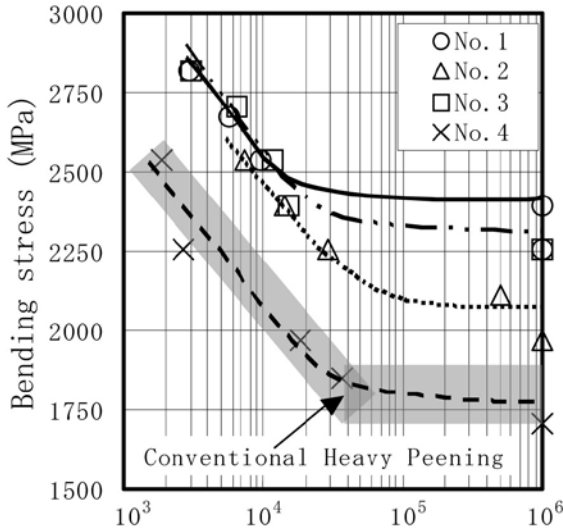


Fig.6. Bending fatigue properties.

### 3. 非調質鋼

#### 3. 1 概要

焼入・焼戻し(調質処理)工程を省略できる非調質鋼が自動車部品に採用されてから、すでに30年以上が経過しており、工程省略はもちろんのこと、環境改善という視点からも先駆的な材料といえる。熱間加工を中心にした非調質鋼は中炭素鋼に微量のバナジウム(以下V)を添加したフェライト・パーライト型を皮切りに、組織上の分類としてベイナイト型、マルテンサイト型などと多様化し、各合金元素の影響についても種々の研究が成されてきた<sup>20)</sup>。

また熱間加工以外にも、鋼材製造時の組織制御により冷間加工用、直接切削用などがあり、これまでにさまざまな部品に適用され、さらには高周波焼入れや軟窒化処理などの表面硬化熱処理との組合せにより、部品に加わる負荷に対して必要な硬さ分布の最適化が図られるようになってきている。その結果、従来は強靱鋼の調質材の使用が一般的であった部品においても非調質鋼化が成されている<sup>21)</sup>。

また近年では、省資源化の観点からVをさらに微量とした鋼材やVを含有しない非調質鋼も開発され実用化されている<sup>21)</sup>。

しかしながら、一般的に非調質鋼の弱点として、フェライト・パーライト型非調質鋼の場合は特に靱性が、またベイナイト型非調質鋼の場合は耐力が調質鋼に比べ低いことが挙げられる。

また耐力を向上させるために単純に硬さを高めれば、被削性を劣化させ、切削加工工程時の負荷を増大させることになる。

これらの課題解決の一手段として、時効硬化型のベイナイト型非調質鋼が研究されている。種々の合金元素の影響調査や母相組織の制御により、切削加工時には軟らかく、時効熱処理後にはFig.7にみられるように900MPa以上の高強度が得られている<sup>22)</sup>。

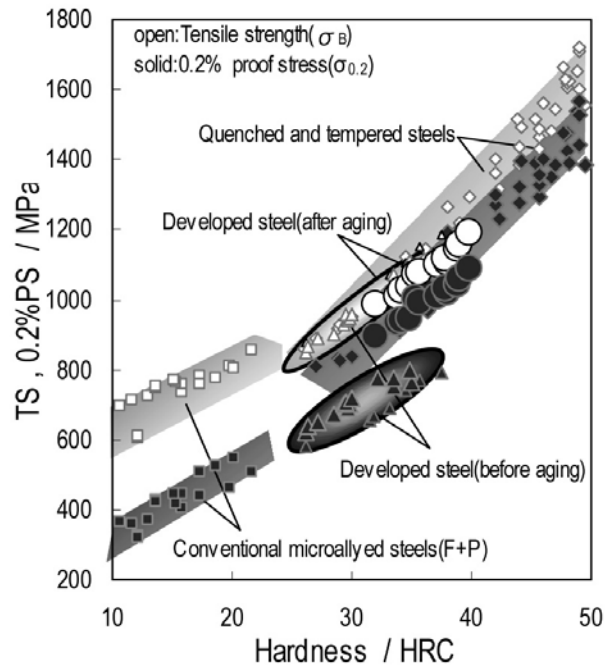


Fig.7. Tensile strength and 0.2% proof stress of developed steel.

#### 3. 2 破断分離型コンロッド用鋼

自動車エンジン部品であるコネクティングロッド(以下、コンロッドという)は、クランクシャフトに組み付けるため、大端部がロッド側とキャップ側に分かれており、個別に熱間鍛造、機械加工して製造するのが一般的であった。

欧米では1990年代はじめに、Fig.8に示すような破断分離(Fracture Splitting)工法の採用により、破面自体の噛み合いで位置決めを行い、合わせ面の加工省略や高精度な加工を不要とすることにより、大幅に製造コストを低減する工法開発がなされた<sup>23)</sup>。

国内ではこのような破断分離工法を「かち割り」と呼び、破断分離工法で製造されるコンロッドを「かち割りコンロッド」と呼ぶことが多い。

欧米でのかち割りコンロッドはかち割り時の塑性変形を抑制するために、延性の低い粉末を原料とした焼結鍛

造材や、溶製材でも熱間鍛造後の延性が低い SAE1070 相当材を使用しているが、被削性が悪く、かつ耐力や疲労強度も低いという難点があった。

これらの課題解決のため、粒界強度の低下とフェライト強度の向上を目的に、合金元素として、P の活用と Si 含有量の最適化により、Fig.9 に示すように従来鋼と同等以上の疲労強度を確保したまま、かち割りが可能な非調質鋼の開発がなされ、現在では実用化に至っている<sup>24)</sup>。

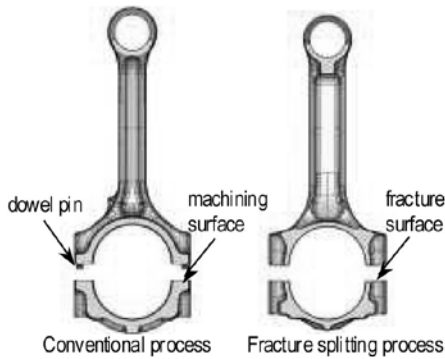


Fig.8. Manufacturing method of connecting rod.

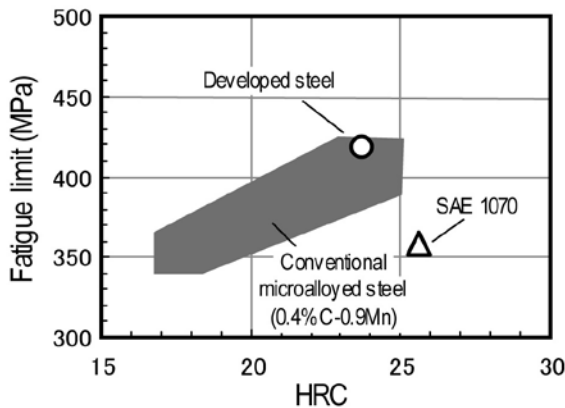


Fig.9. Relationship between hardness and fatigue limit for smooth specimen.

#### 4. 高周波焼入用鋼

高周波焼入れは浸炭焼入れとともに、機械部品の表面硬化熱処理として広く用いられている。焼入時に大きな圧縮残留応力が付与されることから、優れた疲労強度が得られるため、各種部品の高強度化手法として実用化されている。

また短時間で深い硬化層が得られるため、インライン化が可能で、作業環境もクリーンであることから、今後さらに適用範囲の拡大が期待できる熱処理である。

高周波焼入れは一般的に 0.3 ~ 0.55 % 程度の炭素量を含有する炭素鋼や強靱鋼が用いられており、焼入性や硬化層の靱性改善を目的としてボロン添加鋼も使用されている<sup>25)</sup>。

高周波焼入れ装置の進歩に伴い、輪郭高周波焼入れ用の鋼材も開発され<sup>26)</sup>、浸炭材と同等以上の強度が得られているが、肌焼鋼に比べ機械加工工程での被削性にまだ課題もあり、大幅な採用には至っていない。

しかしながら、高周波焼入れ処理は表面部の領域を焼入れするため、浸炭焼入れなどの全体焼入れに比べ、熱処理ひずみに対して有利といわれている。肌焼鋼+真空浸炭徐冷との組合せにより、高生産性とクリーンな環境を維持した新たな製造プロセスが提案されており<sup>27)</sup>、適用部品への要求特性から高強度鋼開発の可能性が期待できる。

#### 5. 軟窒化用鋼

軟窒化処理は浸炭焼入れや高周波焼入れと同様、機械部品の疲労強度や耐摩耗性を向上させる表面硬化処理として、古くから適用されている。

軟窒化処理の特徴は他の焼入れ処理と異なり、 $A_{C1}$  変態点以下の温度で処理され、マルテンサイト変態を伴わないため、熱処理歪みが小さいことが挙げられる一方、処理温度が低いため硬化深さが浅いという短所もある。

したがって、軟窒化処理部品の強度特性については、他の熱処理に比べ、硬さ分布全体の推定が重要との観点から、硬化特性に及ぼす各種合金元素の影響が系統的に研究され、現在では硬さ分布が推定できるようになっている<sup>28)</sup>。

また、従来炭素鋼などでは不純物元素として積極的に利用されなかった Cu や Ni の軟窒化特性に及ぼす影響も研究されている。Fig.10 に軟窒化処理前後の耐力に及ぼす合金元素の種類と濃度の影響を示す。Cu は微量添加で耐力の向上が認められるとともに、Ni との複合

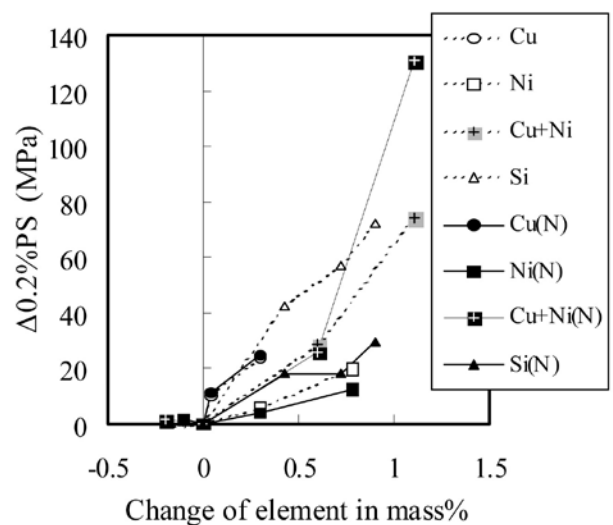


Fig.10. Influence of alloying elements on 0.2%PS ((N): nitrocarburizing treated).

添加により飛躍的に向上することが確認されており<sup>29)</sup>、高強度化の一手段として今後活用が期待される。

## 6. 非 Pb 快削鋼

自動車部品をはじめとして、機械構造部品の大半は何らかの切削加工を施して使用される。切削加工費は部品製造コストに占める割合が高く、製造コスト低減のため、切削加工の生産性を向上させることが重要視されている。

切削加工の生産性向上のため、工具、切削条件などの最適化追求はもちろんのこと、これらに加えて、材料面では快削鋼の採用が従来より積極的に行われてきた。種々ある快削鋼のうち Pb 快削鋼は、近年の切削自動化に伴う切り屑処理性の重視から広範囲に採用が進んでいた。

しかしながら、1990 年代後半になり、廃車シュレッダダストに関する法規制やその後の自動車リサイクル法の改正などを視野に、各自動車メーカーは環境自主規制として、環境負荷物質の低減を目指す。そのひとつとして、Pb フリー化が課題となり、Pb 快削鋼においても全廃を目指す対象となった。

このような背景から、鋼材の被削性改善を Pb 無添加で達成すべく、従来にも増して切削現象とそのメカニズムの解明に関する研究が盛んに行われ、種々の非 Pb 快削鋼が提案された<sup>30)</sup>。

クランクシャフトなどに使用されている一例としては、Ca+S 系介在物形態制御型快削鋼（以下 E 鋼とする）がある。E 鋼は特殊な Ca 処理により鋼中の酸化物と硫化物の形態を同時に制御することを特徴とした S 添加快削鋼であり、Fig.11 に示すような紡錘型の 2 重構造介在物を有している<sup>30),31)</sup>。

この介在物形態制御により、S 添加による材料強度の低下と異方性の増大を抑制しつつ、特に高速切削時の被削性を確保するとともに（Fig.12）、他の Ca 系快削鋼とは異なりハイスドリルによる穿孔性や切屑破砕性に関しても良好な被削性を有する、強度と被削性を兼備した快

削鋼となっている。

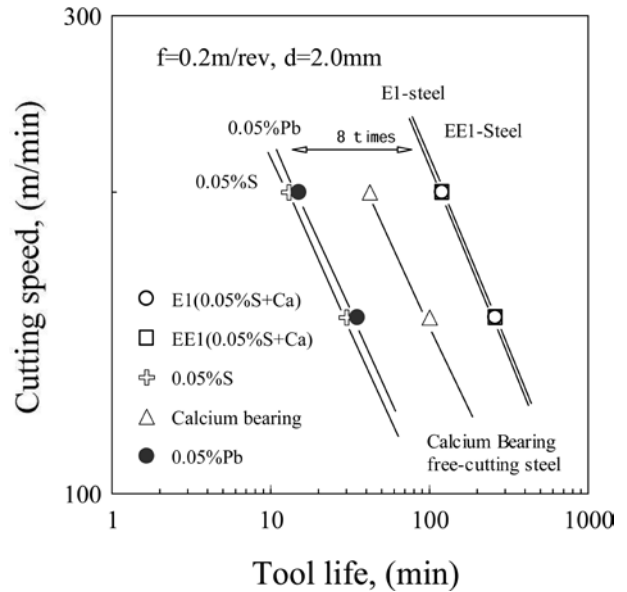


Fig.12. Tool life vs cutting speed in turning operation.

## 7. 軸受鋼

### 7. 1 概要

軸受は自動車や産業機械をはじめとして、あらゆる機械構造部品に使用されている重要な部品である。動力伝達時のパワーロスを抑える働きが基本的な役割のため、環境、省エネの観点からも、従来以上に小型・軽量化が望まれている。

軸受鋼の大半を占める代表的な鋼種はJIS SUJ2に代表される高炭素クロム軸受鋼であり、長寿命化の施策として、古くから各種合金元素の影響調査や最適製造プロセスの提案が成され、特に転動疲労寿命に多大な影響を及ぼす非金属介在物の低減については、鋼材製造プロセスの進化とともに小径化が図られるようになっている<sup>32)</sup>。

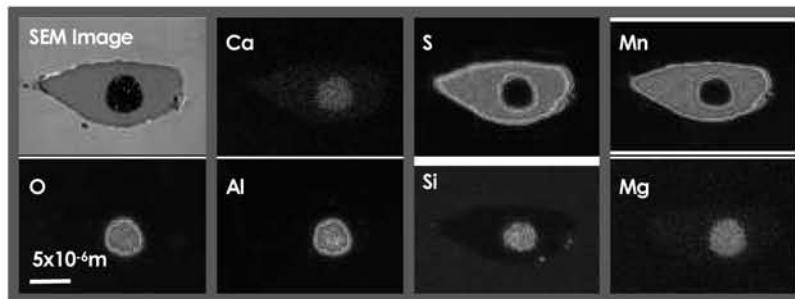


Fig.11. Typical inclusion morphologies in developed free-machining steel.

鋼材の清浄度が確保されるようになると、非金属介在物を起点とした一般的な軸受の損傷の他に、軸受の使用環境の過酷さから損傷の形態が変化する。高温環境下での白色組織（ホワイトバンド）や水素浸入環境下での白層（WEA；White Etching Area）の出現、さらには異物混入環境下での早期剥離が報告され、種々の材料対策が提案されているが、使用環境の変化に対応できる更なる機能向上が求められ、軸受材料としても転動疲労寿命のより一層の向上が望まれている<sup>33)</sup>。

## 7. 2 特殊環境用軸受鋼

準高温域での転動寿命向上策として、軟化抵抗性の改善を目的としたSi添加やホワイトバンドの生成を抑制するNiの添加により、改善鋼が開発され実用化されている<sup>34), 35)</sup>。

Fig.13にNi含有量を変化させた1.2C-1Si添加軸受鋼の423 Kにおける転動寿命試験のワイブル分布を示す。Ni無添加鋼に比べ、Ni添加鋼は寿命が2～5倍程度向上しており、また同様の事象は浸炭肌焼鋼においても実証されている。

また、水素環境下での転動寿命向上策としては、Fig.14に示すようにバナジウム（以下V）添加が有効であることが確認されている。水素脆化防止の観点から、例えば高強度ボルトなどでは高温焼戻しで析出するV、チタン、ニオブ、モリブデンの整合析出炭化物が水素トラップサイトとなることが知られているが、高温焼戻し析出するV、チタン、ニオブ、モリブデンの整合析出炭化物が水素トラップサイトとなることが知られているが、高温焼戻しを実施しない軸受においては、微細な未固溶V炭化物による水素トラップ効果が有効に働き、寿命向上に寄与していると推定されている<sup>36)</sup>。

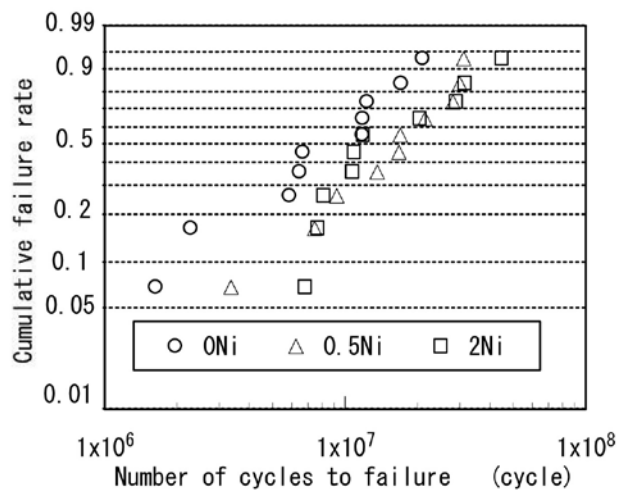


Fig.13. Rolling contact fatigue life of through hardened steels.

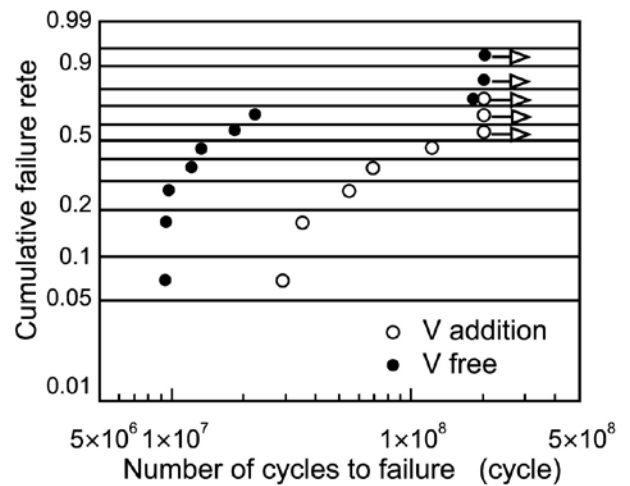


Fig.14. Effect of vanadium addition on rolling contact fatigue life of hydrogen-charged specimen.

## 8. 高強度ばね鋼

自動車に使用されている懸架用巻きばねも、軽量化のニーズに呼応し、ばねの細径化や巻き数の減少による軽量化が図られてきた。これらの達成策として、高強度鋼の開発、強加工ショットピーニングや温間セッチングの採用などが挙げられる<sup>37)</sup>。

従来巻きばねに多用されていた引張強さが1700 MPa級の高炭素鋼系JIS SUP7は、引張強さ1900 MPa以上を確保した中炭素低合金鋼に適宜置き換わっている。これら開発鋼は強度向上を目的に種々の合金元素をSUP7対比増量・添加するとともに、炭素量を0.4%程度に低減することで靱性を確保しているのが特徴である<sup>38)</sup>。

また、ばねの製造方法も従来の熱間成形に加え、冷間成形が拡大しつつあり、成形方法に合わせた高強度鋼も開発されている。

近年、更なる低燃費化のニーズや省資源化の要求が高まり、低合金鋼で腐食疲労寿命の優れた高強度ばね鋼の開発が望まれている。

これらの解決策として腐食減量や腐食ピットの生成過程に着目した結果、腐食ピットの生成状況が腐食寿命に多大な影響を及ぼすことが明らかになり、各種合金元素の効果が定量的に把握可能となっている。Fig.15は引張強さを1900 MPaとした中炭素Siばね鋼の腐食疲労寿命に及ぼす合金元素の影響を調査したものである。この結果から、Cu、Niが寿命向上に効果的であり、逆にCr、Vの増量で寿命が劣化することがわかる<sup>39)</sup>。



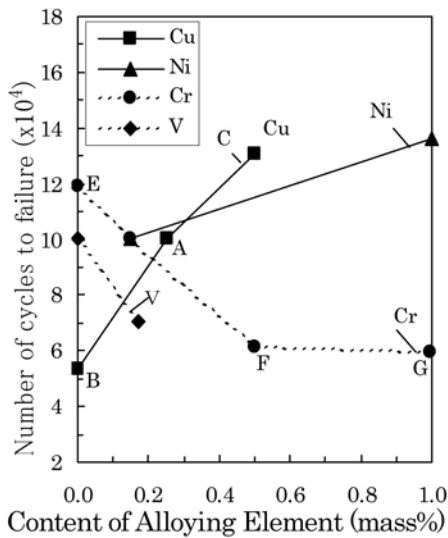


Fig.15. Relation between content of alloying element and corrosion fatigue life.

## 9. おわりに

あらゆる分野での市場の「急激な変化」は今後も続き、何が起きても不思議ではない状況となっている。特殊鋼の市場においても同様に、今後は「環境負荷低減」を軸として、材料、製造プロセスが多様に変化するものと思われる。

「まだ研究開発することがあるのか」とささやかれ続けてきた機械構造用鋼に視点を絞ると、この10年においても着実に技術の進化を遂げ、むしろ使用されている部品全体で見れば、従来以上に大幅な強度向上やコスト低減がなされている。

また製造プロセスにおける「環境負荷低減」の観点からも、他の機械構造部品に使用される素材に比べ、機械構造用鋼は低炭素社会に貢献する素材であり、熱処理や機械加工など需要家の製造プロセスで排出されるCO<sub>2</sub>の削減にも貢献できる可能性を十分に秘めている。

鋼材の製造開始から需要家の最終部品に至るまでの製造工程全体を見渡し、全CO<sub>2</sub>の削減に貢献できる特殊鋼の提案が今後ますます重要になっていくであろう。

昨今、排出権取引や炭素税・環境税などが取りざたされているが、CO<sub>2</sub>の削減に貢献できる特殊鋼や製造プロセスの提案が環境エクストラとしてリターンされる新たな仕組みづくりも今後必要と思われる。

(文献)

- 1) 磯川憲二, 並木邦夫: 電気製鋼, 57 (1986), 4.
- 2) 並木邦夫, 飯久保知人: 電気製鋼, 59 (1988), 5.
- 3) 例えば羽生田智紀, 中村貞行: 電気製鋼, 73 (2000),

59.

- 4) 例えば紅林豊, 中村貞行: 電気製鋼, 69 (1998), 57.
- 5) 例えば紅林豊, 中村貞行: 電気製鋼, 65 (1994), 67.
- 6) 下里吉計: 工業加熱, 39 (2002), 21.
- 7) 門野徹: 工業加熱, 39 (2002), 29.
- 8) K.D.Jones and G.Krauss: Heat Treat, 79 (1980), 188.
- 9) 森田敏之, 羽生田智紀: 鉄と鋼, 92 (2006), 268.
- 10) 森田敏之, 松村康志, 梅本実: 電気製鋼, 79 (2008), 15.
- 11) 例えば木村利光, 並木邦夫: 電気製鋼, 63 (1992), 4.
- 12) 下村哲也, 森田敏之, 井上幸一郎, 羽生田智紀: 電気製鋼, 77 (2006), 11.
- 13) 加藤万規男, 狩野隆: 電気製鋼, 77 (2006), 67.
- 14) 本田正寿, 羽生田智紀: 電気製鋼, 75 (2004), 61.
- 15) 宮崎貴大, 服部篤, 松村康志, 狩野隆: 電気製鋼, 77 (2006), 19.
- 16) 宮崎貴大, 松村康志: 電気製鋼, 79 (2008), 5.
- 17) 飯田喜介: ショットピーニング技術, 1 (1989), 25.
- 18) 加藤万規男, 松村康志, 石倉亮平, 小林祐次, 宇治橋諭: 電気製鋼, 79 (2008), 69.
- 19) R.Ishikura, T.Kano, Y.Kobayashi, S.Ujihashi and K. Okumura: Conference Proceedings ICSP10<sup>th</sup>, (2008), 244.
- 20) 白神哲夫: 第188,189回 西山記念講座, (2006), 176.
- 21) 岡田義夫: 第188,189回 西山記念講座, (2006), 37.
- 22) 木村和良, 高田勝典, 保母誠: 電気製鋼, 79 (2008), 61.
- 23) 例えば M.Weber: SAE Technical Paper Series, No910157.
- 24) 井上幸一郎, 中村貞行: 電気製鋼, 71 (2000), 81.
- 25) 瓜田龍実, 並木邦夫: 電気製鋼, 63 (1992), 59.
- 26) 井上幸一郎, 紅林豊: 電気製鋼, 73 (2002), 67.
- 27) 例えば大林巧治: 電気製鋼, 79 (2008), 53.
- 28) 井上幸一郎, 松村康志: 電気製鋼, 75 (2004), 11.
- 29) 保母誠, 高田勝典: 電気製鋼, 77 (2006), 29.
- 30) 例えば狩野隆, 次井慶介, 中村貞行: 電気製鋼, 71 (2000), 89.
- 31) 狩野隆, 羽生田智紀: 電気製鋼, 75 (2004), 27.
- 32) 山口友則, 新貝元, 狩野隆, 岸幹根: 電気製鋼, 75 (2004), 61.
- 33) 平岡和彦: 第188,189回 西山記念講座, (2006), 119.
- 34) 木南俊哉, 紅林豊: 電気製鋼, 73 (2002), 23.
- 35) 木南俊哉, 木村利光: 電気製鋼, 75 (2004), 65.
- 36) 木南俊哉: 電気製鋼, 79 (2008), 77.
- 37) 茨木信彦: 第188,189回 西山記念講座, (2006), 63.
- 38) 紅林豊, 米口明雄: 電気製鋼, 71 (2000), 95.
- 39) 木村和良, 木村利光, 羽生田智紀: 電気製鋼, 75 (2004), 19.