

(解説)

線材・棒鋼の課題と今後の取組み

Tasks and Future Activities Related to Steel Wire Rod and Bar Products



尾上善則*
Yoshinori Onoe

New steel wire rod and bar products have been developed to decrease weight, and improve safety performance and cost performance in the automotive industry. This report describes the current status and goals related to steel wire rod and bar products, as well as describing the future activities of steel producers trying to rapidly respond to changes in consumer-related technical trends.

まえがき = 特殊鋼は、高強度で安価な特長を活かして、自動車や産業機械、電気・電子機器、土木・建築など幅広い産業分野で使われている。21世紀に入り、いずれの産業分野からも特殊鋼に対し多くの要望が出されている。とくに、1997年の気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)を境にCO₂削減に対する関心が高まり、2005年の京都議定書の発行にともない、部品の小型・軽量化を目的とした高強度鋼の開発が強く望まれるようになった。さらに環境負荷物質を排除した鋼や、加工工程を省略できる鋼に対する要望も強い。

本稿では、特殊鋼の大部分を占める線材・棒鋼について、需要家の要望に対応するため開発してきた新材料や生産技術に関する現状と課題、今後の取組みについて述べる。

1. 線材・棒鋼に求められる機能

自動車生産台数の大幅な増加にともない、特殊鋼として区別されている線材・棒鋼製品の50%以上は同分野で使用されるようになった¹⁾。社会情勢や自動車産業界を取巻く状況、自動車購買層の要望などを全般的に見たとき、自動車には図1に示すように、多くの技術課題が顕在化している。とくに燃費改善によるCO₂排出量削減と環境負荷物質排除など、地球環境保全への対応が重要である。また、歩行者保護のための衝突安全性の確保や乗員の快適性向上、エンジンの高出力化に代表される高性能化への対応も必要である。さらに、低コスト化も求められている。

燃費改善を目的に、線材・棒鋼においても部品を軽量化するための高強度鋼の開発が進められてきた。ただし、車種によっては線材・棒鋼の重量構成比率はむしろ増加傾向にある²⁾。この理由は、電子・電磁部品や、無断変速機などの新規ユニット採用により、線材・棒鋼を

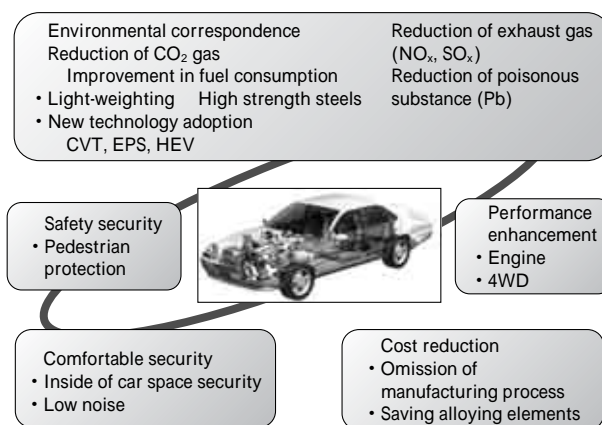


図1 自動車の技術課題

Fig. 1 Technical tasks of automobile

使用する新しい部品が増加してきたためである。今後とも、より高強度な鋼材や新しい機能を持つ鋼材の必要性が強まるものと考えられる。

線材・棒鋼は伸線や鍛造、切削、熱処理など多くの工程を経て部品に加工されるため、冷間鍛造性や被削性などの加工性の改善と、熱処理などの加工工程を省略できる新しい鋼材の開発が求められている。さらに、我国工業製品の特長である信頼性の高さを支えていくため、欠陥の少ない高品質な鋼材の製造に引続き取り組んでいかなければならない。

2. 線材・棒鋼の現状と課題

線材・棒鋼のうち、とくに高機能と高品質が要求されるばね用線材や、冷間圧造用線材、高炭素鋼線材と自動車用棒鋼について、現状と課題を述べる。

2.1 ばね用線材

エンジンに用いられる弁ばねは、長期間にわたり1分間に数千回という繰返し荷重を受けるため、優れた疲労

* 鉄鋼部門 線材条鋼商品技術部

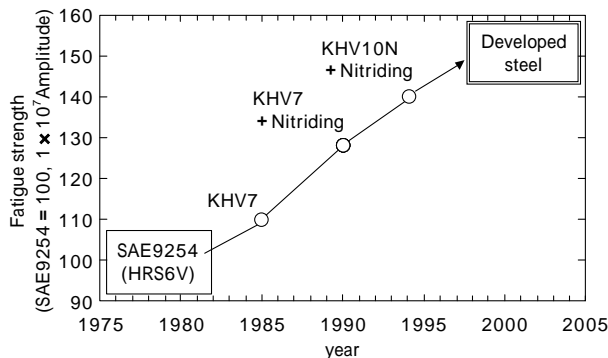


図2 高強度弁ばね用鋼の開発経緯

Fig. 2 Trend of high strength steels for valve spring in Kobe Steel

とへたり特性が求められる。弁ばね1個の重さは20～50gであるが、軽量化することにより動弁系のフリクションロスが低減し、燃費が大幅に改善できる。衝突時の歩行者保護を目的に、弁ばねを小型化し、エンジンルーム内に衝撃吸収スペースを確保したいとの要望もある。

図2に示すように、従来弁ばね用鋼としてSi-Cr鋼(SAE9254)が用いられてきたが、日本では小型・軽量化を図るため、いち早く高強度鋼を採用した。窒化やショットピーニングを適用することにより、疲労強度はさらに向上する。超高強度鋼と窒化处理との組み合わせにより、SAE9254にくらべ疲労強度が1.5倍も向上するとの報告がある³⁾。最近、欧米でも弁ばねの小型・軽量化の指向が強く、高強度鋼の採用は急速に進んでいくと予想される。

弁ばねのさらなる高強度化に対する要望は強く、鋼材と加工技術の両面から検討が進められている。鋼材面では合金元素量の最適化と、欠陥感受性の増大に対応するための非金属介在物の無害化が重要な技術である。弁ばね用鋼のようなシリコンキルド鋼では、ばね使用時の折損原因となる Al_2O_3 や $MgO-Al_2O_3$ 、 SiO_2 系の介在物を減らすため、精錬条件を最適化して、介在物を高延性領域に組成制御している³⁾。今後、この介在物組成制御技術の一段の高度化が必要である。加工面では、微細粒ショットピーニングの採用や、新しい表面改質技術の適用が有望である。

足回り部品である懸架ばねでも、燃費改善のための軽

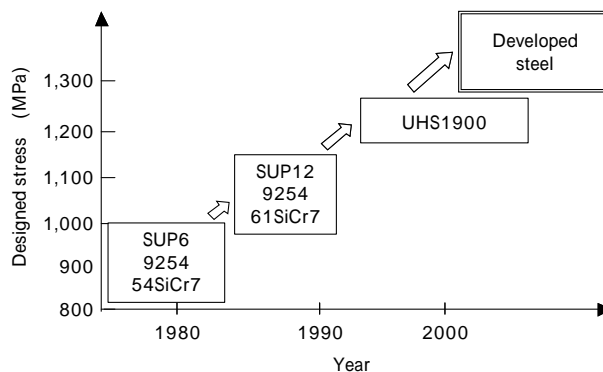


図3 高強度懸架ばね用鋼の開発経緯

Fig. 3 Trend of high strength steels for suspension spring in Kobe Steel

量化と、車内居住性確保を目的としたばねの小型化を達成するため、高強度鋼が求められている。懸架ばねは腐食環境下で使用されるため、腐食疲労特性を確保しなければならない。懸架ばね用鋼の開発経緯を図3に示す。1980年代にはSAE9254などが使われていたが、腐食ピット低減と耐水素脆化改善により腐食疲労特性を向上した最大せん断応力が1,200MPa以上の高強度鋼が開発された⁴⁾⁵⁾。

今後、1,300MPa級以上の高強度鋼の開発が期待される。鋼材面からは、腐食疲労特性を考慮した合金設計と、疲労強度低下の原因となるフェライト脱炭を抑えるための圧延技術の確立が重要である。加工面では、温間ショットピーニングの適用や、防錆・塗装技術の改善が必要である。

2.2 冷間圧造用線材

冷間圧造法は、優れた寸法精度や高い材料歩留まりなどの特長によって、締結部品であるボルトに加え、自動車のエンジン・足回り部品など多くの部品に適用が拡大されている。冷間圧造用線材に対しては、軽量化のための高強度化と、加工工程の省略や冷間圧造時の工具寿命の延長などによる部品製造コストの低減、さらには磁気特性などの新機能の付与が求められている(表1)。

代表的な用途であるボルトでは、引張強さが400MPa級から1,200MPa級までの広範囲な強度クラスの部品が製造されている。ボルトの引張強さが1,000MPa以上に

表1 冷間圧造用線材の開発製品例

Table 1 Examples of developed steels for cold heading wire

Classification	Purpose	Product	Improved property
Steel with high strength	Light-weighting	Steel for high strength bolt	Delayed fracture resistance
Steel for rationalizing process	Elimination of annealing	Boron steel for 10.9 class strength bolt	Cold forgeability
	Elimination of quenching & tempering	Non heat-treatment wire rod	Cold forgeability
	Improvement of tool life	Cold heading quality steel with excellent tool life	Cold forgeability
	Improvement of cold formability	Cold heading quality steel with excellent formability	Cold forgeability
	Shortening carburizing time	Anti-grain coarsening steel	Prevention of grain coarsening
	Improvement of machinability	Cold heading quality steel with excellent machinability	Machinability
Steel with new property	Improvement of electro-magnetic property	Extra low carbon steel for electro-magnetic use	Magnetic flux density

なると、拡散性水素に起因する遅れ破壊が発生しやすくなるため、高強度化するには遅れ破壊の発生を防止しなければならない。最近、焼入・焼戻処理を前提に合金元素量の適正化により限界水素量を高めた 1,300MPa 級の高強度ボルト用鋼が開発された^{6)~8)}。さらに、冷間伸線加工されたパーライト鋼を用いて、1,600MPa 級の高強度域でも優れた遅れ破壊特性を有する鋼が開発され、量産化された⁹⁾。

冷間圧造時の加工工程を省略するため、主に化学成分を調整した鋼と、制御圧延・制御冷却技術を適用した鋼が開発された。前者の例として、化学成分を最適化して冷間圧造時の変形抵抗を低減し、軟化熱処理の省略を可能にした鋼材がある¹⁰⁾。さらに、焼入・焼戻処理を省略できる非調質線材も開発され、適用が拡大している。今後、10.9 級以上の高強度品を対象に、工具寿命の低下を抑えた高強度非調質線材の開発が望まれる。

いっぽう、超高負荷型仕様の圧延機の導入や、水冷能力の強化、徐冷から急冷までの広範囲な制御冷却設備の導入によって、従来不可能であった低温での制御圧延や精密な制御冷却が可能となった¹¹⁾。このような圧延設備の能力を活かして、冷間圧造前の焼なましの省略が可能な直接軟質化線材や、球状化焼なまし時間を短縮できる微細組織線材が製品化された¹²⁾。今後とも制御圧延や制御冷却技術を活用して、工程省略または簡略化が可能な新しい鋼材の創出が求められている。

いっぽう、自動車の安全性や走行性を向上させるため、電子・電磁部品の採用拡大が進んでいる(図4)。これらの部品には、作動装置としてソレノイドが多く使われており、消費電力の低減と応答性の向上を狙って磁気特性の優れた鋼材が要望されている。従来の Fe Si Al 合金などの磁性材料は冷間圧造性に問題があり、磁気特性と冷間圧造性の優れた軟磁性材が開発され、多くの部品に適用されている¹³⁾。より広範囲な電子・電磁部品に適用できるようにするため、磁気特性の向上が課題である。

2.3 高炭素鋼線材

タイヤ用のスチールコードには高炭素鋼線材が使われている。タイヤの耐久性向上と軽量化を図るため、高強度なスチールコード用線材を開発し、伸線加工後に素線の引張強さが 4,000MPa を超える線材が製造できるようになった。素線を高強度化すると伸線や燃線加工時の断線回数が増加するため、断線の原因となる非金属介在物の

低減が進められている¹⁴⁾。タイヤを軽量化するため、今後とも素線の高強度化が進むと予想され、非金属介在物の低減と、母材延性向上のためのミクロ組織の制御技術確立、さらには伸線加工技術の検討が必要である。

2.4 自動車用棒鋼

自動車のエンジンや足回り部品の多くは、棒鋼を素材として熱間鍛造や冷間鍛造によって成形加工され、焼入・焼戻処理や切削加工を施して製造されている。焼入・焼戻処理の省略を目的に各種非調質鋼が開発され、多くの部品に適用されている¹⁵⁾。最近、エンジン部品のコネクティングロッド用として、加工工程をさらに簡略化するため、ロッド部とキャップ部を一体で熱間鍛造し、大端部合わせ面内側に切欠きを付け、治具を挿入して破断分割させるための非調質鋼が開発された¹⁶⁾。今後、被削性を低下させることなく、高耐力や優れた疲労特性を有する高強度非調質鋼の開発が望まれている。

自動車の変速機や差動機に使われている歯車は、肌焼鋼を素材とし、浸炭処理して製造されている。いずれのユニットでも、小型・軽量化のため歯幅や軸間距離の縮小が可能な高強度鋼が求められている。変速機を小型化することにより、衝突時のクラッシュゾーンの確保でき、安全性の向上にもつながる。歯車には、歯元の曲げ疲労強度と衝撃強度、ピッチングと称される歯面疲労強度が要求される。曲げ疲労強度は、浸炭異常層を低減した鋼材とショットピーニングの適用により、衝撃強度は粒界強度を上げた鋼材の適用によって高強度化している¹⁷⁾。歯面疲労強度は、歯面の焼戻硬さと相関が高いことが判明し¹⁸⁾、焼戻軟化抵抗性に優れた鋼材や新しい表面硬化熱処理法が開発された^{17),19),20)}。歯車の高強度化の要望は依然強く、軟化抵抗性をさらに向上できる新しい熱処理技術や、摩擦係数を低減するための表面改質技術を検討するとともに、被削性確保のための最適な鋼材材質と切削条件の検討が必要である。

3. 今後の取組み

高強度化や環境負荷物質排除、新機能の付与、工程省略化、高品質化など、線材・棒鋼に関わる技術課題はますます高度化、多様化している。これらの課題に的確に対応するため、重要と考えている取組内容について以下に述べる。

(1) 基礎研究の充実

線材・棒鋼の新材料開発は、これまで、鋼材メーカーが長年にわたって蓄積してきた材料や加工性に関するデータをもとに化学成分や製造方法を概略決定し、試作実験を行って特性を確認するという手順で行ってきた。技術課題が高度化・多様化している状況を考えると、目標特性を満足する新材料を得るには、技術課題を深く掘り下げて基礎的に検討する必要がある。すなわち、改善すべき特性や機能についての物理現象を科学的に解明し、その結果をもとに最適な解決手段を見出さなければならない。例えば、ボルトの遅れ破壊強度を上げるには、微量水素の存在形態を観察する技術を確立し、遅れ破壊現象を基礎的に解明して、破壊現象を支配する要因を系統的

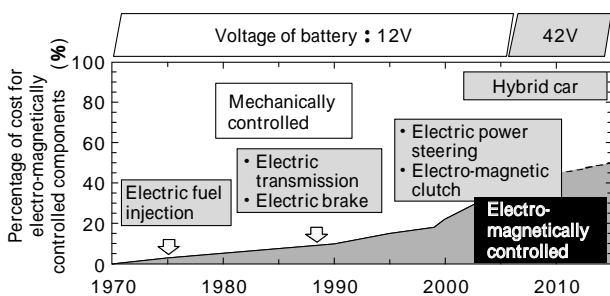


図4 電子・電磁部品の製造コスト推移

Fig. 4 Cost for electro-magnetically controlled components

に把握しなければならない。軸受鋼の転動疲労寿命を向上させるには、破壊損傷過程をミクロに観察するための技術を確立し、介在物や金属組織の影響を定量的に把握する必要がある。

今後、鋼材メーカーの基礎研究への取組強化が重要と考えられる。技術的に難度が高く、膨大な基礎データの収集が必要な案件については、共同研究の推進や、大学などの公的研究機関との連携強化を図るなど進め方を工夫し、研究・開発を効率化していくことが大切である。

(2)「ものづくり力」の強化

新しい機能や高度な特性を量産レベルで実現し、高品質を安定して維持する「ものづくり力」が、我国鉄鋼業界の競争力の源泉である。この「ものづくり力」は、蓄積してきた固有技術と、その技術を繰返し再現しうる生産設備、さらには人の力により構成されている。とりわけ、設備群全体の状態を見極め、それを使って「もの」をつくる人の技能と管理能力が極めて重要であり、最終的な鋼材の出来ばえを大きく左右する。したがって、「ものづくり力」の根本は人にあり、「ものづくり」への情熱を育む職場モラルの維持・向上こそ、「ものづくり力強化」のための最重要課題である。

(3) 評価技術の充実

鋼材の特性が高度化してくると、これまでの標準的な試験や指標では評価できない場合がある。例えば、軸受の長寿命化を図るため、従来、鋼中のトータル酸素量を指標として製造技術の改善に取り組んできたが、鋼の清浄化が進んできた今日、長寿命域ではトータル酸素量は製造の指標にはならない²¹⁾。このように高度な特性を有する鋼材を正確に評価するためには、新たな評価技術を確立することが必須である。

(4) 利用技術の提案

新材料の特性を最大限に引出し、量産工程で安定して需要家に使用頂けるようにするには、新材料にマッチした加工条件を事前に提案することが重要である。すなわ

ち、伸線性や冷間鍛造性、切削性、熱処理歪などの特性を予測するためのシミュレーション技術を活用し、最適な加工条件や工具形状など、新材料を利用するための技術提案が望まれている。シミュレーション技術を確立するには、加工現象の解明と数値モデル化に取組み、解析に必要な材料定数の蓄積に努めていくことが大切である。

むすび=線材・棒鋼に対する要望は高度化・多様化しており、さらに従来以上のスピードが求められている。前述の取組みを着実に進めていくとともに、鋼材を使用される需要家との情報交換をこれまで以上に緊密にしていくことによって、産業界の要望に迅速に responding していきたい。

参考文献

- 1) 経済産業省ホームページ：特殊鋼鋼材生産実績。
- 2) 森 元秀：特殊鋼，Vol.54, No.1 (2005) p.18.
- 3) 須田澄恵ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.55, No.2 (2005) p.22.
- 4) 中山武典ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47, No.2 (1997) p.50.
- 5) 紅林 豊：熱処理，Vol.42, No.2 (2002) p.97.
- 6) 並村裕一ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50, No.1 (2000) p.41.
- 7) 山崎真吾ほか：新日鐵技報，No.370 (1999) p.51.
- 8) 大村朋彦ほか：鉄と鋼，Vol.91, No.5 (2005) p.478.
- 9) 並村裕一ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.54, No.3 (2004) p.16.
- 10) 百崎 寛ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50, No.1 (2000) p.45.
- 11) 市田 豊ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50, No.1 (2000) p.6.
- 12) 畠 英雄ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50, No.1 (2000) p.29.
- 13) 千葉政道ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.55, No.2 (2005) p.18.
- 14) 木村世意ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.54, No.3 (2004) p.25.
- 15) 松島義武ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47, No.2 (1997) p.46.
- 16) 山田雄一ほか：自動車技術学術講演会前刷集，No.81-04 (2004) p.21.
- 17) 岡田義夫：西山記念技術講座 (2006) p.33.
- 18) Y. Watanabe et al. : 20th ASM Heat Treating Society Conference Proceedings, (October 2000) p.52.
- 19) 安部 聡ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.54, No.3 (2004) p.21.
- 20) 安達裕司ほか：愛知製鋼技報，Vol.22, No.1 (2004) p.19.
- 21) 木澤克彦ほか：Koyo Engineering Journal, No.163 (2003) p.36.