

(解説)

21世紀の線材・棒鋼を考える

木田慶一

鉄鋼カンパニー・神戸製鉄所・条鋼技術部

21st Century Trends in Steel Wire Rod and Bar

Keiichi Kida

Technical themes based upon the market needs such as steel strengthening and shortened process routes are reviewed for spring wire rod, for cold heading wire rod, for high carbon wire rod, and for machine structural bar. Developments in the processing technology of steel wire rod and bar involving steelmaking and rolling are also reviewed. In the future, it will be necessary to develop wire rod and bar, including their process technology, that achieve higher strength without sacrificing toughness and workability, and human-friendly materials excellent in recyclability.

まえがき = 近年、長大橋、高層建築などの大型構造物から自動車、情報機器にいたるまで軽量化が要求されている。とくに最近の自動車技術の最重要課題は地球環境への貢献であり、燃費向上によるCO₂排出ガス量の低減、低公害化のためのNO_x、微粒化物質などの排ガス規制への一段の対応が求められている。

最近二十数年間の自動車原材料の重量構成比率をみると、鉄系材料が約80%から約70%に減少している¹⁾。これは、オイルショックを契機として、燃費向上のための軽量化技術として、樹脂化、アルミ化が進行したためである。しかし、鋼はアルミや樹脂にくらべて安価で強度の高い優れた材料であるため、自動車の主要なさまざまな部品に使用されている。とくに線材・棒鋼は第1表に示すようにエンジン・足回りなどの部品に使用されているが、部品軽量化に向けた高強度化が常に求められている。

線材・棒鋼は伸線、鍛造、切削などの加工や熱処理を施してもちいられるため、加工性に優れた鋼材の要望も強い。さらに、上記の加工や熱処理を省略してコスト低減をはかる要求も強く、多くの分野で試みられている。

本稿では、21世紀を迎えるにあたり、これらのニーズ実現に必要な材料開発と生産技術の現状と課題について述べる。

1. 線材・棒鋼の今後の動向と課題

線材・棒鋼のなかでもとくに高度な品質が要求されるばね用線材、冷間圧造用線材、高炭素鋼線材、機械構造用棒鋼の4品種における今後の動向と技術課題について概説する。

1.1 ばね用線材

コイルばねでは疲労・へたりに優れた高強度材の適用によって、線径と巻数を低減し軽量化を達成することができる。エンジンに使用される弁ばねでは高応力に耐える高い疲労寿命の達成によりばね重量が低減され、高出力化、低燃費化を達成することができる。

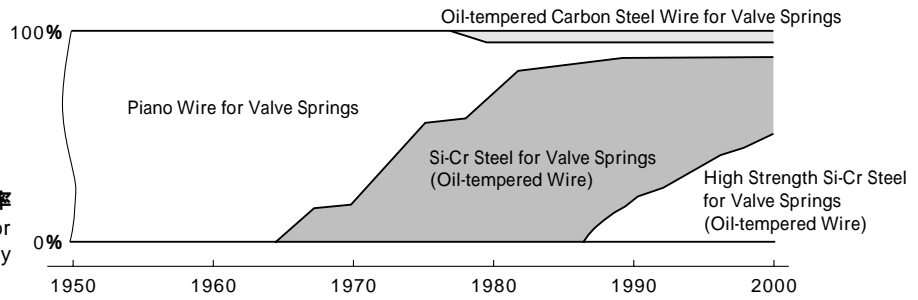
世界的には弁ばね用鋼としてSi-Cr鋼(SAE9254)が主にもちいられているが、高疲労寿命、軽量化を目指して日本では高強度鋼をもちいる傾向が強い(第1図)。また窒化、ショットピーニングなどはばねの加工技術面での技術開発も進み、疲労寿命の向上がはかられている。最近では超高強度鋼の採用と窒化处理の適用により、疲労強度が従来のSAE9254にくらべて1.4倍の水準まで向上し、疲労寿命の延長に貢献した²⁾。

21世紀になっても高疲労寿命化は継続的に要求されることになろう。このため鋼材の高強度化、高靱性化要求はさらに強まるであろう。この場合の大きな問題は高

第1表 自動車部品向け線材・棒鋼の主な用途

Table 1 Application of steel wire rod and bar for unit or parts of automobile

		Principal Uses and Demands
Engine	Main Movement System	Piston (Strengthening at High Temperature) Crank Shaft (Higher Rigidity, Elimination of Quenching and Tempering) Connecting Rod (Higher Rigidity, Strengthening, Elimination of Quenching and Tempering)
	Valve System	Connecting Rod Bolt (Strengthening) Cam Shaft (Higher Rigidity) Valve Spring (Strengthening)
	True Form System	Cylinder Head Bolt (Strengthening)
	Fuel System	Plunger Spring of Fuel Injection Pump (Strengthening)
Power Transmitting Installation	Transmission Gear (Strengthening) Differential Gear (Strengthening) Constant Velocity Universal Joint (Strengthening) Drive Shaft (Strengthening) Various Bearing (Higher Life)	
Chassis Vehicles Controlling Installation	Wheel Hub (Strengthening, Elimination of Quenching and Tempering) Knuckle Spindle (Strengthening, Elimination of Quenching and Tempering) Lower Control Arm (Elimination of Quenching and Tempering) Suspension Spring (Strengthening) Steering Rack (Elimination of Quenching and Tempering)	



第1図 国内向け弁ばね用鋼線の生産比率
Fig. 1 Production ratio of steel wire for valve spring for domestic use by type of wire

強度化にともなう欠陥感受性の増大である。これに対応するため、介在物のさらなる清浄化がますます重要となろう。また、オイルテンパー線で実施されている探傷技術の向上も必要となろう。いっぽう、弁ばね製造における表面改質技術の向上も必要となり、たとえばショットピーニング処理における超微細粒子の採用や、液体を利用した投射速度の向上などの試みもおこなわれている。

足回り部品である懸架ばねにおいても軽量化、乗り心地の改善などを目的に高強度化がはかられてきた。その結果、あらたに腐食をともなった疲労破壊が問題となってきた。そのため、耐食性や水素脆性を考慮した高強度鋼が開発され、実用化されている³⁾。

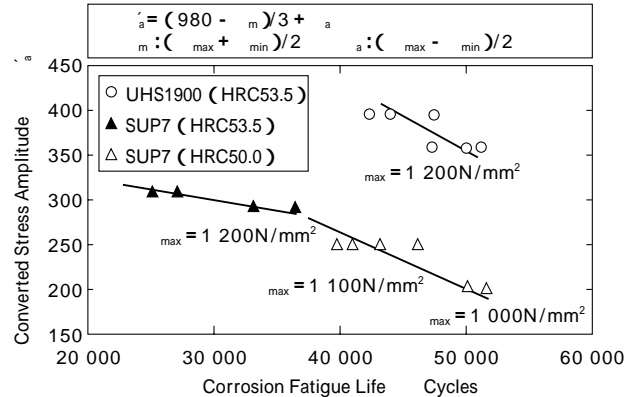
第2図に従来鋼(SUP7)と開発鋼(UHS1900)をもちいた実体ばねによる腐食疲労試験結果を示す。開発鋼では最大せん断応力 τ_{max} を100~200N/mm²高めても従来鋼と同じ腐食疲労寿命がえられるため、ばねの大幅な軽量化に寄与することができた。

今後も高強度化の傾向は続くと思われ、21世紀にむけて引張強さ2200N/mm²級の高強度ばねの開発が期待されている。この場合、ばねの加工技術や防錆・塗装技術の向上も必要となろう。

1.2 冷間圧造用線材

冷間圧造用線材の代表的用途であるボルトには、引張強さ400MPaから1200MPaを超える広範囲の強度クラスで様々な形状のものがある。

第2表にボルトの製造工程例と使用素材例を強度区分別に示す。JIS規格には最高12.9クラスの強度区別のボルトまで規定されている。また、ボルトを製造する



第2図 懸架ばねの腐食疲労試験結果
Fig. 2 Corrosion fatigue test results of suspension spring

際に球状化焼鈍処理や焼入れ焼戻し処理などの熱処理を施されるものが多い。そのためボルトには大きく分けて二つの技術課題がある。すなわち、高強度化にともなう遅れ破壊の抑制と、低コスト化を目的とした熱処理省略である。

遅れ破壊はボルトの引張強さが1200MPaを超えると発生しやすく、遅れ破壊を誘発するといわれている拡散性水素の制御技術が肝要となる⁴⁾。この遅れ破壊抑制技術によって強度区分13.9あるいは14.9クラスの高強度ボルトの実現も可能となってくるであろう。

また、強度区分10.9以下のボルトへは素材の低廉化とボルト製造工程の簡略化を目的に、ポロン鋼をもちいる動きが活発化している。しかし強度区分10.9のボルトでは遅れ破壊が懸念されていたが、Ti添加などの化学成分の改善と制御圧延の採用により、拡散性水素トラ

第2表 ボルトの製造工程例と使用素材例
Table 2 Examples of bolt manufacturing process and steel used

JIS Strength Class	Min. Tensile Strength N/mm ²	Examples of Production Processes	Examples of Steel Used
4.8	420	R Dr CH	SWRCH8A
5.8	520	R Dr CH	SWRCH18A
6.8	600	R Dr CH	SWRCH22A
8.8	800(d ≤ 16) 830(d > 16)	R As Dr CH H	SWRCH40K/48K
		R Dr CH H	SWRCHB323
		R Dr CH	Non-heat-treated Wire Rods
9.8	900	R As Dr CH H	SWRCH40K/48K
		R A Dr As Dr CH H	SCr440, SCM435
		R Dr CH H	SWRCHB323, 423
		R Dr CH	Non-heat-treated Wire Rods
10.9	1040	R A Dr As Dr CH H	SCr440, SCM435
		R Dr CH H	SWRCHB423, 526
		R (A) Dr CH H	New Boron Steel
12.9	1220	R A Dr As Dr CH H	SCM435
		R As Dr As Dr CH H	SCM440

R: Rolling, A: Annealing, As: Spheroidizing Annealing
H: Quenching and Tempering, Dr: Drawing, CH: Cold-Heading

ップのための析出物制御が可能となって耐遅れ破壊性が向上したため、実用化に至った⁵⁾。

さらに最近では調質処理が省略できる非調質線材の適用が拡大する傾向にある。非調質ボルトでも高強度化は進むと考えられ、強度区分 10.9 を超えるクラスへの適用も検討されるであろう。

ボルト以外の用途である各種パーツ類に使用される線材に対しては軟化熱処理の簡略、省略が進むと思われる。材料と制御圧延の組合せによる冷間圧造時の変形抵抗低減、変形能向上技術のさらなる発展が必要となろう。

1.3 高炭素鋼線材

高炭素鋼線材の代表用途はタイヤ用スチールコードである。自動車の燃費改善を目的にタイヤの軽量化が求められるようになってきており、高強度スチールコード用線材の使用が広がってきた(第3図)。スチールコード製造時の素線の断線回数は素線の高強度化にともない増加する。断線回数の低減のため、硬質介在物の低減や、表面きずの低減などがはかられてきた。さらに高強度化を達成するには、パテンティング線材のナノスケールでの組織制御技術と、高強度化による生産性低下を防止できる加工技術の開発が必要となろう。

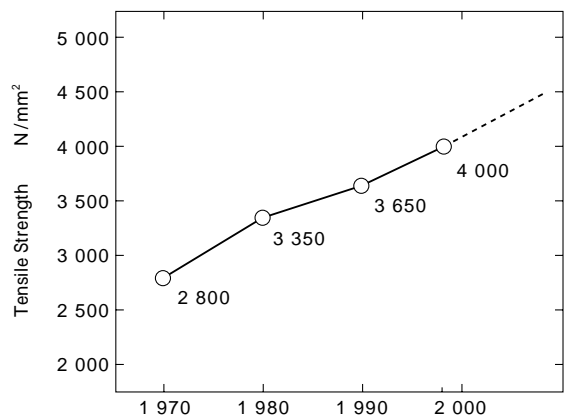
現在、スペアタイヤをなくす動きが欧米を中心に広まっており、パンクしても一定距離走行可能なタイヤが開発され、一部実用化されはじめている。今後、この種のタイヤの採用拡大により、タイヤの構造、とくにスチールコードの使い方が変化することも予想される。素線の細径化、異形線化、より構造の変更も予想され、これらの要望に対応できる鋼と加工技術の開発が必要となろう。

1.4 機械構造用棒鋼

自動車のエンジンやシャーシ部品の多くには、特殊鋼を素材として熱間鍛造、調質処理、切削加工などが施されている。そこで製造工程合理化と低コスト化を目的として熱間鍛造用非調質鋼の適用が広く進んできた。最近では、高強度型非調質鋼や高靱性型非調質鋼の開発、実用化が進んでおり⁶⁾、さらに自動車の軽量化を目的に高耐力、高疲労強度の非調質鋼も求められている。

自動車の変速機や差動装置に使用されている歯車には、浸炭処理やショットピーニング処理を施された肌焼鋼がもちいられている。この結果、歯元曲げ疲労折損による破壊は低減したが、新たにピッチング破壊による歯車の歯面の損傷が問題となっており、これまでとは違った観点の新しい鋼材と表面硬化処理法の開発が進められている⁷⁾。また、加工面からはニアネットシェイプによるホブ切削代低減のため、歯出鍛造法などの開発が進められており鍛造性にも優れた鋼材の開発が重要である。

変速機では従来の MT (Manual Transmission) や AT (Automatic Transmission) に変わる次世代の変速機として CVT (Continuously Variable Transmission 無段変速機) が注目されており、一部で実用化されている。CVT プーリには耐曲げ疲労性、耐磨耗性、転動疲労性が要求され、材質的には歯車とベアリングの両方の特性が必要と考えられる。したがって、CVT 用鋼では一般的に肌



第3図 スチールコード素線の強度推移
Fig. 3 Increasing strength of steel cord material wire

焼鋼に浸炭処理が施されているが、今後は生産性向上を目的として、短時間で深い浸炭深さがえられる高温浸炭用鋼や疲労特性向上のためのさらなる清浄化が必要となろう。

軸受鋼としては JIS G4805 に規定されている高炭素クロム軸受鋼 SUJ2 が主に使用されている。最近、エンジンの高出力化や部品の小型軽量化の動きに対応して、軸受のさらなる長寿命化が求められており、軸受鋼の超清浄鋼化と軸受表層部の組織制御技術が進んでいる。

いっぽう加工面では、コストダウンを目的に中間伸線を省略できるスキンパスヘッドの採用が拡大すると考える。またこれに対応するために、精密圧延技術のさらなる向上が必要となろう。

2. 新しい線材・棒鋼生産技術

地球環境問題への対応として、高強度化、加工工程の簡略・省略化が可能な線材・棒鋼の要求が高まっている。また、コスト低減のために、不良率ゼロなどの徹底した高品質や加工性に優れた線材・棒鋼の要求にも根強いものがある。これらの要求は、21世紀においてますます強くなると思われる。

こうした要求に対応する製鋼、圧延における技術動向と今後の課題を以下に概説する。

2.1 製鋼技術

高強度化にともない材料の欠陥感受性が高くなることは前述のとおりである。鋼材起因の欠陥としては、これまでも介在物が重要視され、いろいろな低減技術が開発されてきた。

軸受鋼では、転動疲労寿命に Al_2O_3 などの酸化物系介在物が影響するので、その低減が重要である。アルミ脱酸鋼中の介在物を低減するには、溶鋼を攪拌して介在物同士の凝集・合体およびスラグへの浮上吸収を促進させることが重要である。

当社では $CaO-Al_2O_3-CaF_2$ 系フラックスをもちいて、低級酸化物はもとよりスラグ中の Al_2O_3 濃度を低めに制御することにより、軸受鋼の酸素レベルの低位安定化を図っている。

また、弁ばね用鋼やスチールコード用鋼などのシリコン脱酸鋼においては、 Al_2O_3 や SiO_2 など硬質介在物が疲

劣寿命や加工中の断線に影響する。このため、CaO-Al₂O₃-SiO₂系フラックスなどをもちいて、硬質介在物が生成しないような組成域に介在物組成を制御する介在物形態制御技術を実用化している。今後、さらに介在物低減をはかるために、溶銑予備処理 - 転炉 - 溶鋼処理 - 連铸といった製鋼工程の効率的な組合わせがますます重要になると思われる。

表面品質の向上は不良率ゼロへの対応のために、きわめて重要である。当社では表面品質向上のために、割れ感受性が高い合金鋼においても、二次冷却ゾーンの細分化と冷却水量の制御精度の向上により、徹底した緩冷却化をはかっている。また、緩冷却化にともなうバルジングによる内部割れ防止のため、連铸ロール摩耗防止などによりロール面間管理を強化し、表面、内部とも健全な連铸鑄片を製造している。

従来は製鋼や圧延など各プロセスでの技術開発を中心に鋼材開発が進められてきた。今後は、製鋼と圧延を複合したプロセスメタラジの活用による鋼材開発に重きがおかれるであろう。この場合、精錬から連铸までの段階での介在物や析出物の微細制御技術が重要になってくると思われる。

2.2 圧延技術

2.2.1 制御圧延・制御冷却

圧延材の加熱、圧延、冷却各工程における温度・加工条件を制御して、線材や棒鋼の品質をより高めようとする試みは従来からおこなわれていた。しかし、それは当社で開発したKKP処理などの圧延パテンティングを主とする制御冷却が中心であった。

最近では、応答性や精度が格段に向上した自動制御技術の進歩や温度解析技術の進歩により、高度化した制御圧延・制御冷却技術の開発が進行しつつある。とくに化学成分と圧延温度や巻き取り後の冷却速度といった条件を最適に組合わせて、マイクロ組織や析出物を制御し、従来にない特性をもった線材を製造しようとする試みは今後とも盛んに続けられるであろう。また、これにともなって各圧延条件が材質に及ぼす影響度合いの解析が進み、材質予測技術が格段に進歩するなど、圧延技術におけるプロセスメタラジの重要性がますます増すであろう。

2.2.2 精密圧延

圧延材の寸法公差を向上させれば、引抜加工を省略して直接冷間鍛造を実施することが可能となる。近年、この要求特性に対応するため、2ロール、3ロール、4ロール法によるサイジング圧延技術が実用化されてきている。また、2ロール法では前記の制御圧延機能とサイジング圧延機能の両方をねらったレデュース・サイジングミルも登場している。これらの圧延技術の高度化により、寸法精度が高い線材の圧延が可能になるであろう。

さらに、中間寸法の拡大ができれば、引抜加工を簡略化することができるため、サイジング圧延技術を利用した中間寸法拡大技術が進んでいくであろう。

むすび=21世紀に向けての線材・棒鋼製品における最大の課題は、使用する業界での地球環境負荷低減である。自動車用をはじめ各業種向けの線材・棒鋼でさまざまな技術開発が必要となってくる。たとえば自動車部品用鋼については地球環境問題改善に貢献するため、自動車の燃費向上につながるさらなる高強度化が望まれるであろう。そのためにも高強度化と、靱性や延性、加工性などの高強度化にともなって劣化する特性を両立させる鋼材や加工技術の開発が必要となってくる。また、工程省略が可能な鋼材のさらなる普及も必要であろう。

また、最近では人に優しい素材の要望から鉛を使用しない快削鋼や重金属を含まないリサイクル性に優れた鉄鋼材料も要望されており、新しいコンセプトの線材や加工技術の開発も必要となるであろう。

参考文献

- 1) 自動車産業ハンドブック(1999年版), p.444, 日刊自動車新聞社.
- 2) 黒田武司ほか: ばね技術研究会, 1998年度秋期講演論文集, (1998) p.1.
- 3) 福田 淳ほか: ばね技術研究会, 1996年度秋期講演論文集, (1996) p.1.
- 4) 並村裕一ほか: 材料とプロセス, Vol.9, No.6 (1996) p.1494.
- 5) 並村裕一: 特殊鋼, Vol.48, No.2 (1999) p.19.
- 6) 松島義武ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.47, No.2 (1997) p.46.
- 7) Y. Watanabe et al.: ASM International 18th Conference Including the Liu Dai Memorial Symposium, (1998), p.401.