

特集記事・2 鉄鋼材料への機能性付与

各論 用途別機能性付与(1)輸送機2

自動車用特殊鋼の機能

Specialty Steel Quality Requirement for Automobile Application

加藤智也
Tomoya Kato

愛知製鋼(株) 技術本部 技術開発部
部品開発室 担当員

1 はじめに

鉄鋼材料は、鋼の持つ強い、安い、環境にやさしいの基本特性から、基礎材料として多量に使用されてきた。自動車においても例外ではなく、多くの鉄鋼材料が用いられている。中でも強度が要求される部品には主に機械構造用炭素鋼、非調質鋼、肌焼鋼、ばね鋼等の特殊鋼が用いられており^{1,2)}、各部品に応じた要求機能を満足すべく開発が進められてきた。最近では地球環境問題を背景とした自動車の燃費向上のために軽量化が大きな課題となっており、自動車用特殊鋼部品の高強度化を可能にする改良、開発がなされている^{3,4)}。また、大量生産する自動車においては生産コストの低減も重要な課題であり、特殊鋼に求められる機能は多様である。

ここでは自動車用特殊鋼に求められる機能に着目し、その適用現状について述べる。

2 自動車用特殊鋼の適用部品と製造工程

自動車における特殊鋼使用部品は、図1に示されるようにエンジン、駆動、シャシー等の各ユニットの主要構成部品として多岐に渡っている。図2は排気量2000 ccクラスのFF乗用車での各ユニットにおける特殊鋼使用重量を示す(弊社調査結果)⁵⁾。この場合、自動車1台あたりの特殊鋼使用重量は合計136kgであり、その内の84%に相当する114kgが鍛造品であった。すなわち、自動車用特殊鋼部品のほとんどは主に棒鋼を熱間鍛造して粗材材とした後、切削して用いられている。その他、例えばステアリング・ラック・シャフトでは棒鋼を直接切削する工程、懸架ばねでは線材をコイル状に成形する工程、ボルトでは冷間鍛造や転造にて直接部品に成形する工程を経て製造されている。また、製造工程の中では素材の冷間成形性を高める軟化処理、部品強度を高める焼入

れ焼もどし処理(以下、調質処理)等の熱処理、または、部品の一部を強化する浸炭、窒化、高周波焼入れ、ショット・ピーニング等の表面硬化処理が行われる。

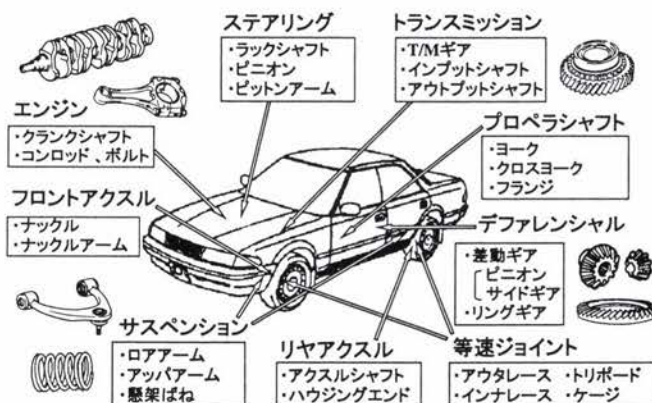


図1 自動車における特殊鋼の使用例

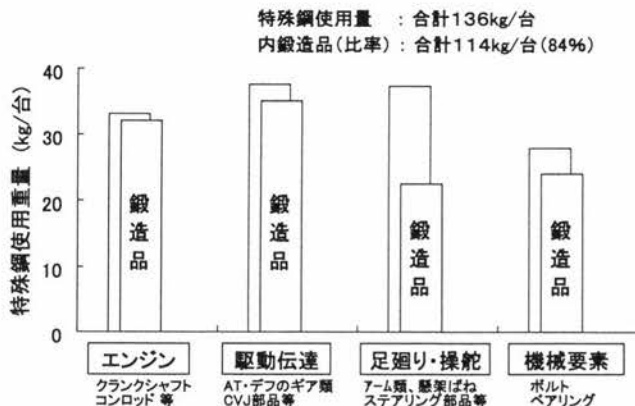


図2 自動車の各ユニットにおける特殊鋼使用重量⁵⁾

3 自動車用特殊鋼に求められる機能

自動車用特殊鋼に求められる機能は部品に応じてさまざまである。表1は自動車用特殊鋼に求められる代表的な機能を示す。設計要件としては強度と靱性に大きく分けられるが、特に強度に関する機能は軽量化、低燃費化が図れるため最もニーズが大きい。ここでの強度とは、ほとんどの自動車用特殊鋼部品が繰り返し荷重を受けることから静的強度だけではなく疲労強度を指す場合が多い。疲労強度の向上はほとんど全ての自動車用特殊鋼に共通する要求機能といえる。

一般に、疲労強度を向上させるには硬さの増加が効果的である。しかし、単に素材の硬さを増加させてしまうと削りにくい、成形しにくい等の問題が生じ、コストアップとなってしまう。したがって、高強度化においては被削性、成形性の生産要件も同時に考えなければならない。すなわち、強くて加工しやすい特殊鋼が求められていると言える。

以下に特殊鋼の具体的な機能について、いくつか事例を紹介する。

3.1 非調質鋼の強度

古くから機械構造部品の強化方法のひとつに調質処理があるが、近年のクランクシャフト、コンロッドではコスト低減のため、炭素鋼にバナジウムを添加した非調質鋼を用いて調質処理の省略が行われている⁶⁾。調質処理の省略は、調質後のショット・ブラスト、矯正等の2次工程の省略、簡略化、工程間在庫の省略、リードタイムの短縮等が可能となるためコスト低減効果が大きい。

上記の非調質鋼のミクロ組織はフェライト・パーライト組織であり、熱間鍛造後の冷却過程で生じるバナジウム炭窒化物の析出強化により強度が得られる。ただし、熱間鍛造ままではミクロ組織が粗いため調質鋼に比べて靱性に劣る。そのため当初は非調質鋼の適用部品は限られていた。図3は熱間鍛造用非調質鋼における組織制御技術の推移と強靱性の位置付け⁶⁾を示すが、これまでにフェライト・パーライト組織の

微細化、ベイナイト、マルテンサイト組織を用いた非調質鋼の強靱化により、シャシー部品への適用も進められるようになった。図4はフェライト・パーライト組織の高強度非調質鋼によりコンロッドを軽量化した事例を示す⁷⁾。

3.2 浸炭歯車の強度

歯車は主にクロム鋼やクロム・モリブデン鋼などの合金肌焼鋼を浸炭焼入して歯元あるいは歯面の疲労強度を確保している⁸⁾。ここでの高強度化は浸炭層を強化することになるが、通常の浸炭焼入では最表層に粒界酸化物と不完全焼入組織からなる浸炭異常層が生じる^{9,10)}。そこで、この問題を改善する高強度浸炭用鋼が開発されている^{11,13)}。これは、粒界酸化の抑制のために酸素との親和力が強いシリコン、マンガン、クロムを低減し、焼入性の確保のためにモリブデンの増量やニッケルの添加を行った特殊鋼であり、浸炭異常層の低減による浸炭層の強化が行われている。

また、歯車は用いられるユニットや歯車の種類によって破壊形態が異なるため、トランスミッションで用いられる高速歯車では高サイクルでの疲労強度が重視されるが、ディファレンシャルの差動歯車では静的強度に近い応力での使用が想定されるため、100回前後の低サイクルで破壊する疲労強度が重要となる。そこで、上記の浸炭層の強化に加えて粒界強化のため燐を低減して差動歯車の一部のピニオンに適用した

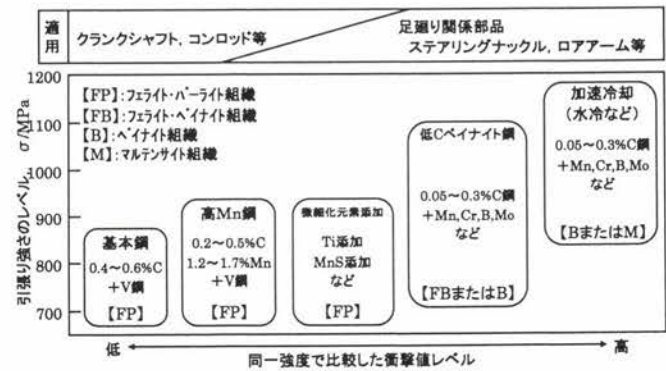


図3 熱間鍛造用非調質鋼における組織制御技術の推移と強靱性の位置付け⁶⁾

表1 自動車用特殊鋼に求められる代表的な機能

自動車用特殊鋼に求められる代表的な機能		自動車用特殊鋼部品例			
		エンジン部品	駆動部品	シャシー部品	機械要素部品
		クランクシャフト・コンロッド 非調質鋼 (熱間鍛造まま)	歯車 合金肌焼鋼 (浸炭)	懸架ばね ばね鋼 (調質)	ボルト 合金鋼 (調質)
設計要件	強度	静的強度	○	○	○
		疲労強度	○	○	○
		耐へたり性		○	
		耐腐食疲労性		○	
		耐遅れ破壊性		○	○
生産要件	被削性	衝撃特性		○	○
		切屑処理性	○	○	
成形性	変形抵抗の低減	工具寿命の延長	○		
		仕上面積度の向上	○		
		変形抵抗の低減	○	○	○
加工性	限界加工率の向上		○		○

○：該当



図4 高疲労強度非調質鋼によるコンロッドの軽量化事例⁷⁾

事例や⁹⁾、ボロン添加による差動歯車の強化を実用化した事例がある¹⁴⁾。図5に低サイクル強度へのボロン添加の効果を示す¹⁴⁾。

一方、浸炭処理は炭素の拡散を用いて部品の表層を硬化させるため、浸炭温度を高めることにより処理時間の短縮や浸炭深さの増加が可能である。しかし、浸炭温度の高温化を行うと結晶粒の異常粒成長が生じる場合があり、これによる強度、焼ひずみのばらつきが懸念される。これを回避するためにニオブを添加して結晶粒の粗大化を抑制した浸炭用鋼の開発事例がある¹⁵⁾。

3.3 耐腐食疲労性

懸架ばねの高強度化の取り組みにおいては、従来は耐へたり性の向上が主な課題であったが、ばねの高強度化の進展に伴い最近では腐食疲労強度の向上が特に重要な課題となっている^{16, 17)}。腐食疲労は跳ね石や塩害により懸架ばねの塗装部に損傷を受ける環境で生じる現象であり、通常、疲労破壊は懸架ばね表面に生じた腐食ピットを起点としている。したがって、耐腐食疲労性の向上には、腐食ピットの生成、成長の抑制が必要となる。この課題に対してニッケル添加の効果が報告されている。ばね鋼にニッケルを添加すると腐食ピットの深さが浅く、その形状が滑らかになる。図6⁵⁾は、ばね鋼の腐食部表面の錆層断面における酸素、ニッケル、および、実環境にて腐食の主原因と考えられる塩素を分析した結果であるが、ニッケルを添加した開発鋼では錆層中にニッケルが濃縮し、錆層中の塩素の浸入が少なくなっている。これよりニッケル添加は金属内部への塩素の侵入を妨げる効果があり、耐腐食疲労破壊性を向上させると考えられている¹⁶⁾。

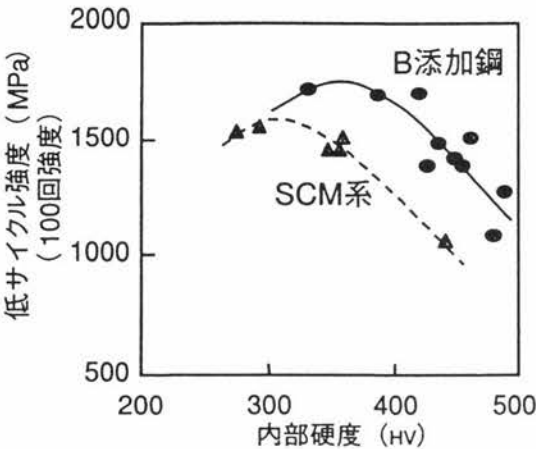


図5 低サイクル強度へのボロン添加の効果¹⁴⁾

3.4 耐遅れ破壊性

ボルトの高強度化においては従来から遅れ破壊が課題であり、高強度ボルトの実用化の妨げとなっているが、最近では耐遅れ破壊性を向上させる方策、評価方法が検討され高強度化が進みつつある。遅れ破壊は鋼中に進入した水素が応力集中部に集積し、脆性破壊させる現象と考えられており、部品の使用応力状態のみならず、水素浸入の環境と鋼中の水素の存在状態とが関係する。これまでにモリブデン、バナジウム等の2次炭化物により有害な水素を鋼中にトラップする方策、また、同時に燐、硫黄等の不純物を低減しつつ結晶粒を微細化して粒界強度を高める方策で耐遅れ破壊性を向上させた事例^{18, 19)}、従来よりも遅れ破壊しにくいとされてきた高張力鋼線の技術をボルトに適用して1600N/mm²級の高強度を達成した事例が報告されている²⁰⁾。

3.5 被削性

被削性の向上には硫黄、鉛等の快削元素を添加する快削鋼化の技術があり、自動車部品の多くに適用されている。一部のクランクシャフト、コンロッド等では硫黄、鉛、カルシウムを複合添加した複合快削鋼も開発、実用化されている²¹⁾。複合快削鋼の被削性はきわめて良好であり、铸铁製のクランクシャフトの機械加工ラインでの特殊鋼の切削が可能となり、既存加工ラインにて铸铁から高強度な特殊鋼への置換を達成した事例もある。最近では地球環境問題を背景に有害物質の使用削減が進められており、鉛を用いない快削鋼としてビスマス快削鋼²²⁾、硫化物系快削鋼²³⁻²⁷⁾、窒化物系快削鋼²⁸⁾などの従来と同等以上の快削性が得られる鉛フリー快削鋼が提案、実用化されている。図7は鉛快削鋼とビスマス快削鋼のハイスドリル工具摩耗推移にて被削性を比較した結果を示す²²⁾。

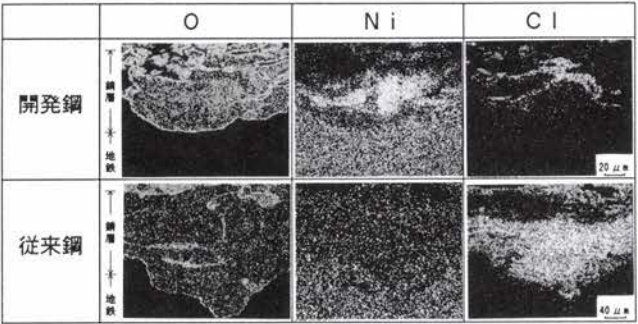
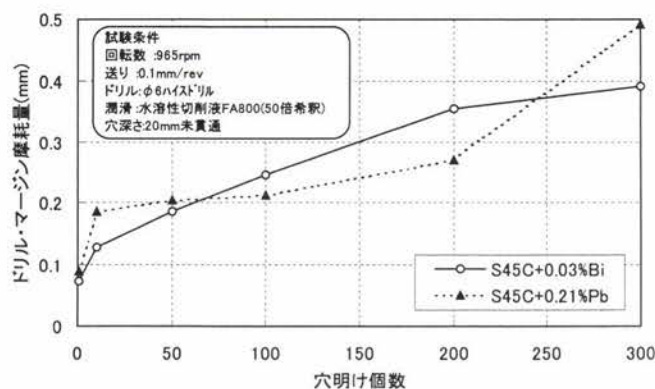


図6 ばね鋼の腐食部錆層断面のEPMA成分分析結果⁵⁾

図7 鉛快削鋼とビスマス快削鋼のハイスドリル工具摩耗推移比較²²⁾図8 熱冷複合鍛造品によるネットシェイプ化事例⁵⁾

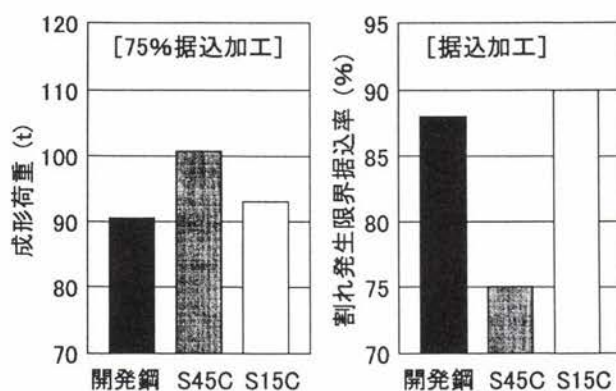
3.6 成形性

特殊鋼部品の生産コストの低減方策には快削鋼化のほかに鍛造でのネットシェイプ化がある²⁹⁾。これは鍛造品での寸法精度を向上させることで切削加工の省略を狙った技術であり、熱間鍛造技術と冷間鍛造技術を結合して駆動部品を中心に進められている。ここで特殊鋼に求められる機能としては素材の成形性の向上であり、これによりネットシェイプ化が容易となり、また、冷間加工前の軟化処理の省略や簡略化が可能となる。これまでにボロン添加にて焼入性を確保する一方、他の合金元素を減らすことで素材硬さを極力低減した冷間加工性に優れた特殊鋼が開発されている^{30, 31)}。一例として、鍛造品のネットシェイプ化事例を図8⁵⁾に、この目的のために開発された冷間鍛造用鋼の成形性を図9³¹⁾に示す。

4 おわりに

以上、自動車用特殊鋼に求められる機能に着目して事例を紹介したが、特殊鋼のほとんどが自動車の外側からは見えない部品に使用されているため、一般にその機能についてはあまり知られていなかったと思う。しかし、一見、目立たない特殊鋼ではあるが、これまで自動車技術の発展と共に特殊鋼は改良、開発が繰り返され、より高品位な鉄鋼材料へとスパイラルアップし続けている。

最近では自動車の海外生産に対応すべく、グローバルに調達できる特殊鋼が求められており、今後は、強くて加工しやすく世界中で手に入る特殊鋼の開発、あるいは、非常に高機能な特殊鋼の開発に移行しなければならなかった。そのために鉄鋼メーカーとしては、これまでとは発想を転換した研究開発も必要と考えられる。

図9 ボロン添加冷間鍛造用鋼の冷間成形性(球状化焼鈍)³¹⁾

参考文献

- 1) 山本俊郎：鉄鋼界，41 (1991) 6，21.
- 2) (編集部)：特殊鋼，45 (1996) 2，6.
- 3) 蟹澤秀雄，越智達朗：新日鉄技報，371 (1999)，23.
- 4) 森 元秀：特殊鋼，54 (2005) 1，18.
- 5) 岩間直樹：自動車技術，55 (2001) 10，64.
- 6) 野村一衛：まてりあ，34 (1995) 6，705.
- 7) 岩間直樹，野村一衛，森 元秀，矢野正明，真部豊久：まてりあ，36 (1997) 6，622.
- 8) 住田 庸：ふえらむ，5 (2000) 8，28.
- 9) 並木邦夫，杉浦三郎，梅垣俊造，岡田義夫，谷意公夫：電気製鋼，61 (1990) 1，5.
- 10) 蟹澤秀雄，越智達朗，子安善郎：新日鉄技報，354 (1994)，43.
- 11) 割田俊明：特殊鋼，44 (1995) 3，42.
- 12) 鎌田芳彦：特殊鋼，44 (1995) 3，43.
- 13) 村田譲児：特殊鋼，44 (1995) 3，44.
- 14) 森下弘一：JFA，(2004) 10，52.
- 15) 嬉野欣成，中野 修，福田耕一，藤原輝元，福田康弘：TOYOTA Technical Review，52 (2002) 1，84.

- 16) 中野智弘, 榊原隆之, 脇田将見, 杉本 淳:自動車技術会学術講演会前刷集, (2000) 57-00, 1.
- 17) 紅林 豊, 米口明雄:電気製鋼, 71 (2000) 1, 95.
- 18) 松本 斉, 中里福和, 倉富直行, 櫛田隆弘, 津村輝隆: CAMP-ISIJ, 7 (1994), 1602.
- 19) 並村裕一, 茨木伸彦, 長谷川豊文, 隠岐保博:神戸製鋼技報, 50 (2000) 1, 41.
- 20) 高島光男, 飯田善次, 高田健太郎, 森 誠治: Honda R & D Technical Review, 15 (2003) 2, 183.
- 21) 森 元秀:特殊鋼, 42 (1993) 6, 49.
- 22) 岩間直樹:機械技術, 48 (2000) 6, 37.
- 23) 常陰典正:機械技術, 48 (2000) 6, 41.
- 24) 狩野 隆:機械技術, 48 (2000) 6, 46.
- 25) 岩間直樹, 常陰典正, 大庫和孝, 河本 剛:自動車技術, 57 (2003) 11, 59.
- 26) 渡里宏二, 垣見治則, 松本 斉:まてりあ, 41 (2002) 1, 57.
- 27) 橋村雅之, 平田 浩, 蟹沢秀雄, 内藤賢一郎:新日鉄技報, 378 (2003), 68.
- 28) 白神哲夫:機械技術, 48 (2000) 6, 44.
- 29) 竹内雅彦, 石原貞男:塑性と加工, 39 (1998) 455, 1217.
- 30) 紅林 豊, 中村貞行:電気製鋼, 71 (2000) 1, 65.
- 31) 村中 寛, 酒井宏明:特殊鋼, 48 (1999) 1, 32.

(2005年9月5日受付)