解 説

自動車部品用特殊鋼の課題

石島正規*

The Matters for Demand of Structural Steels for Automotive Parts

Masaki Ishijima

Synopsis

The ratio of steels to automotive materials counts larger than 70%, and a fifth of them is specialty steels. The high quality of Japanese automobiles are considered due to excellent steel quality in Japan. Furthermore, new machine structural steels, shown here under, are required as automotive parts.

1. High strength gear materials
 - (1) High clean steels, especially with ultra low oxygen
 - (2) High pitting resistance steels
2. Low cost materials
 - (1) Microalloyed steels available for induction hardening for steering parts
 - (2) Free cutting steels containing very small amount of free machining elements which is alternative of leaded steel
 - (3) Steels resisting to grain size coarsening

To meet the diversity in automobile technology, further innovation in specialty steel technology is strongly expected. Automotive engineers hope steel makers to develop not only new automotive materials but also the new manufacturing process and to proceed the evaluation using actual parts taking the advantages of specialty steels such as reasonable cost, quality reliability and its easiness in recycling.

1. は じ め に

日本の自動車（四輪車）の生産台数は、1988年度も、1269万台と1200万台をこの4年間保ち品質面、性能面とともに、世界のトップレベルを維持している。

特に、自動車の品質、性能向上に対しては、鉄

鋼メーカーの鉄鋼材料への品質向上努力が大きく寄与しているといえる。特殊鋼鋼材は自動車部品のなかでも、エンジンの主要部品、ステアリング系部品、トランスミッションをはじめとする駆動系部品など、重要保安部品、高機能部品に用いられており、炉外精錬、真空脱ガス、連続铸造などの製鋼技術の進歩および超音波探傷、渦流探傷、磁気探傷などの品質検査のオンライン化による鋼材の品質保証の向上が、これら自動車部品の高寿命化、信頼性向上の一翼を担っている。

1989年11月8日 受付

*いすゞ自動車鉄材料開発部

本稿では、自動車部品に対する特殊鋼材特に構造用鋼の現状と今後、構造用鋼に対して何を望むかについて述べたい。

2. 自動車用材料の動向

2.1 鉄鋼材料比率

図1は、日本自動車工業会資料から普通・小型乗用車の原単位の推移を示したものであり、1989年度は鉄鋼材料の比率は72%となっており、非鉄金属7.4%（うちアルミニウム 4.9%）、プラスチック7.5%に比べ圧倒的な数量である。しかし、1973年度からの推移をみると鉄鋼材料の比率は、

78%から72%に減少しており車両の軽量化要求にともないアルミニウム、プラスチック部品の増大は徐々に進行しているといえる。特にスポーツカー的な車におけるアルミニウムパネル、足廻り部品のアルミ化が顕著である。また、1980年度から1989年度までの推移をみると一時減少した原単位は自動車の車格の大型化、高級化により再び上昇している。これにともない鉄鋼材料の使用量も量的には増大している。鉄鋼材料のうち普通鋼鋼材（鋼板類）の特徴は、保証期間延長にともなう高寿命化、特に、防錆への要求が強まり表面処理鋼板使用量が大幅に増大していることで、1986

図1 普通・小型乗用車における原材料構成比の変化

図2 普通・小型乗用車における特殊鋼材種別原単位の変化

年度と比べても、1989年度は8.4%から12.9%と50%以上の急増を示している。

2.2 特殊鋼鋼材の変化

図2は、1973年度から1989年度の普通・小型乗用車の原単位比率の推移のうち特殊鋼鋼材を鋼種別に示したものである。1973年度から減少傾向にあった特殊鋼鋼材の原単位は前回調査の1986年度から増大し、1989年度では数量的にも1973年度と同等まで回復している。これは自動車の車格の大型化、エンジンの高性能、高出力化にともないエンジン部品、トランスミッションなど機能部品への特殊鋼鋼材の適用増大があげられる。特に、エンジンのクランクシャフトは高出力化にともない従来の鋳鉄化の動きに歯止めがかかり、剛性を重視することから、逆に鋳鉄から鍛造クランクシャフトへの変更が増大している。鋼種別では被削性改善鋼の使用比率が年々増大していることが大きな特徴である。これはマシニングセンターに代表される自動化切削機械の導入増大による切粉破碎性向上への要求、生産量増大による加工能率向上への要求が要因となっていると考えられ、この傾向は、当面続くものと思われる。

3. 自動車動向と特殊鋼鋼材への影響

国内の自動車保有台数は年々増大し、昨今では1所帯2台以上の所有も珍しくはなく所有者形態が大きく変化している。このような背景から、自動車に対するニーズも多様化しており、乗用車では、女性ドライバーや高齢者層ドライバーに対するイーゼードライブ車、走りの良さを追求する高出力、4WD、4WSなどの高性能、高機能を具備したスポーティ車、さらには欧州車に負けない高級感を求める3ナンバー車など、著しいものがある。トラックにおいても、高速道路網の整備拡大にともない物流スピードアップが顕著でありエンジン出力はますます増大する傾向がある(図3)。また、物流に適した輸送媒体としてのトラックが求められている。

このような自動車動向が特殊鋼鋼材に与える影響として次のことが考えられる。

(1) FF車、AT車の増大による構造用鋼の投入量の減少。図4に、駆動方式及びAT車比率の推移を示すが、FF車、AT車とも増加傾向にあり、特にAT車比率は、1988年度には、60%を越えて

図3 4t系トラックのエンジン出力推移

図4 駆動方式及びAT比率の推移

いる。駆動方向がFF化することで、ファミリーカークラスで、構造用鋼の投入比率が17%から13%に減少した例もある。欧米のAT車の例では、歯車類にも鋳鉄が多く用いられ構造用鋼の使用量が、半減する場合もある。

(2) 4WD車の比率増大による構造用鋼の使用量の増加。図4に示すように、4WDの比率は年々増大している。4WD化により、トランスファー系及びファイナル系の主として歯車部品用の構造用鋼の需要が増える。スパイクタイヤ禁止の動きにともない、寒冷地での4WD車の需要は、今後とも増えていくものと考えられる。

(3) 車格の大型化，エンジンの出力アップに対応してトランスミッションなど駆動系部品の容量アップにともなう構造用鋼使用量増大。特に，エンジン出力アップに対処するため，歯車の高強度化は強く求められており，高強度歯車用鋼，歯車の高強度化工法の開発が積極的に進められている。

4. 歯車の高強度化

歯車，軸類などの駆動系部品の高強度化は，エンジンの高出力化により強く望まれている。歯車には浸炭焼入れが一般に使用されており，より一層の強度向上を狙って，種々の検討が行われている。

歯車に求められる高強度化は，歯元曲げ強度と歯面強度の向上であり，歯元曲げ強度には，いわゆる疲労強度と大荷重入力に耐える静的強度，低サイクル強度がある。ここでは，浸炭歯車の歯元曲げ強度に向上について述べてみたいと考える。

歯元曲げ疲労強度向上には，鋼中成分のSi量低減，浸炭時のアンモニアガス添加，真空浸炭などによる表面異常層改善の手法があるが，近年，ショットピーニング処理を施すことが盛んになってきている。ショットピーニングした浸炭歯車は，表面硬さの増加，圧縮残留応力の付加により表層が強化され疲労強度が向上する。このショットピーニング処理を従来のインペラーを用いた遠心式から，ノズルを用いて噴射する方法に変え，より大きな圧縮残留応力を付加し，疲労強度をより高める応用例も試みられている。この場合，表層が強化されるため破壊起点が内部に移り，疲労強度が鋼材の内部強度に律速されることもある。図5に，鋼中の酸素量レベルを変化させ，浸炭後ショットピーニングの強さを変えた場合の回転曲げ疲労試験の結果を示す。鋼中の酸素量を低減することで，強ショットピーニングの効果を発揮し従来のショットピーニング処理に比べ12%の強度向上が認められる。通常の酸素レベルの鋼では，ショットピーニング強度を高めても，内部破壊となるため，疲労強度は従来のショットピーニング処理と同じであり，強度向上は認められない。このように，浸炭歯車の疲労強度向上の追求によって，浸炭用鋼材にも，より一層の高品質が求められつつある。

浸炭歯車には，ショック入力に対する強度向上

図5 回転曲げ疲労試験結果

も必要であり，静的曲げ強度，低サイクル疲労強度向上の検討が進められている。静的曲げ強度について，試験結果の回帰分析を行い，化学成分の影響を求めた結果，Niのみが有意となり，1.5% Ni含有の浸炭歯車用鋼は，24%の強度向上を示した。表面硬さ，内部硬さ，硬化層深さ，表面異常層深さの表面性状の各要因について，重回帰分析を行った結果では，表面硬さと内部硬さの差の少ない方が静的曲げ強度が高くなることが確認できた。また，表面炭素濃度を変化させた浸炭試験片の静的曲げ試験結果では，静的曲げ強度は表面炭素量の減少とともに向上している。Ni含有鋼は，同一浸炭条件でも表面炭素濃度は低く，Ni含有鋼の静的曲げ強度向上の要因は，表面硬さの低減，炭素量低減による破壊靱性値の向上にあると考えられる。

一方，従来はその影響が小さいといわれた，残留応力，表面粗さを改善することで静的曲げ強度，低サイクル曲げ疲労強度が向上することが確認されている。表1，図6にショットピーニングと電解加工を組み合わせた場合の静的曲げ強度，低サイクル曲げ疲労強度の結果を示す。静的曲げ強度は，浸炭後ショットピーニングを施すだけでは向上しないが，電解加工を行うことで大幅な強度向上が得られる。浸炭歯車の結果では，ショットピーニング後電解加工を行うことで30%の静的曲

表1 歯車静的曲げ試験結果

		(MPa)			
		最終仕上げ	ベーパー仕上げ	電解加工	ベーパー仕上げ後電解加工
浸炭	$\bar{X}_3$	2 511	2 677	3 126	2 911
	σ	112	255	108	142
浸炭後 ショットピーニング	$\bar{X}_3$	2 533	3 162	3 342	3 342
	σ	22	62	143	162

歯車に用いた材種：SCM 420H

図6 低サイクル曲げ疲労試験結果 (SCM 420H：浸炭焼入れ，表面C量 0.65%)

げ強度向上が得られた。低サイクル疲労強度は、浸炭のまま浸炭＋ショットピーニング＜浸炭＋電解加工＜浸炭＋ショットピーニング＋電解加工、の順で強度が向上している。

以上、浸炭歯車の歯元曲げ強度については対応策があるが、歯面強度については歯面研磨による歯当り向上が、現状での解決策であり材質面から歯面強度（ピッチング強度）に強い材料の開発が望まれる。

5. 低コスト

自動車メーカーにとって、材料に望む一つの大きな課題が低コストである。円高基調の定着、海外現地生産の増大、NIES 諸国の追い上げにより輸出市場は厳しい環境にあり、国内販売で好調の中にも熾烈な競争を繰り広げており、低コスト化の要求は非常に高いものがある。現地調達率の問題もあり、海外調達も進めているが、材料面では、品質に優れ、信頼度の高い日本国内の材料を用いて低コスト化を図りたいのが実情である。

特殊鋼材の低コスト化には大きく分けて、

- (1) 材料自体の低コスト化
- (2) 工法を含めた総合的な低コスト化がある。

(1)に属するアイテムは、ボロン鋼、ハーフモリブデン鋼の採用など、省合金化による低コスト化に代表される。これらの鋼種は、自動車技術会規格 JASO M 106に規格化されているが、焼入性バンド（H バンド）が規格化されていない鋼種もあり、H バンドの充実と現状 H バンドの適正幅の検討により使い易い鋼種として行きたい。

(2)のアイテムとしては、非調質鋼化による熱処理省略、被削性改善鋼採用による生産性合理化、結晶粒度調整鋼採用による冷・温間鍛造化などがある。非調質鋼の応用は、エンジン部品のコンロッド、クランクシャフトに始まり、乗用車のフロントハブ、スピンドルの足廻り部品、最近では小型トラックのフロントアクスル、I ビームにまで拡大しており、使用量も、10 000t/月を越えている。非調質鋼は、表2に示す通り一般型非調質鋼と足廻り部品用の低炭素型の非調質鋼がある。非調質鋼の課題としては強度バラツキを減少できる非調質鋼および高周波焼入れ可能な足廻り部品用非調質鋼の材料面での開発及び切削性の改善がある。非調質鋼の切削性は、基礎試験では硬度が一定であれば調質品と同等の結果を得ている。非調質鋼は、内部硬度が調質品のようにUカーブとならず切削部の硬さが高いことから不利になることは否めないが、実部品加工ラインでの切削では、刃具のチップング、構成刃先による精度不良などで予想以上の劣化を経験することがある。当面は、被削性改善鋼との複合化による切削性確保が必要

であるが、刃具の材料面でも、切削性良好で被削材の材料変更にも鈍感な材質の開発が望まれる。足廻り部品には、強度確保と耐摩耗性確保のため部分的に高周波焼入れを施す部品が多い。高周波焼入れの特性を確保するには、ある程度の炭素量が必要となり、足廻り部品用非調質鋼の低炭素化と相反する要求となる。非調質鋼の応用拡大を進めるためにも高周波焼入れ性と両立させた非調質鋼の開発を今後の課題として望まれる。

被削性改善鋼は、JASO M 106で硫黄系、鉛系が規格化され、鉛系では低鉛被削性改善鋼よりさらに鉛量を下げた極低鉛系が開発されつつあるが、鉛系は歯車の高強度化とは相反するため、微量元素添加による切削性の向上できる鋼の開発を期待したい。

歯車の高強度化要求及び製造コスト低減から、歯車の歯出し鍛造、スプライン鍛造が行われる事例が多くなりつつある。この場合、精度・表面品質の点から冷間または温間鍛造が用いられるが、浸炭時に結晶粒度の異常粗大化を生ずることがある。結晶粒度の粗大化は、強度低下、変形の面から問題となるため、粗大化を有効的に抑制でき、冷間鍛造性も損わない浸炭用歯車用鋼の開発が望まれる。

6. 構造用鋼の競合材料

構造用鋼は、重要部品、機能部品に用いられておりその競合材料としては、ダクタイル鋳鉄（FCD 鋳鉄）、ペーナイト鋳鉄（ADI 鋳鉄）がある。クランクシャフトは、ガソリン系エンジンについては FCD 化が進んだが、最近では、エンジンの出力アップにより鍛造クランクシャフトにもどりつつある。ADI 鋳鉄は高強度を確保できることに加えて伸び値が FCD 鋳鉄に比べ大きく 10% 程度を確保できることから、足廻り部品への応用検討も進められたが、部品全体を ADI 鋳鉄化するのではなく、鋼製スピンドルを圧入する型で小型系トラックに採用されている例がある。また、ADI 鋳鉄の耐摩耗性を利用してトラックのスプリングシートを調質品から変更している例もある（図 7）。しかし、多くは従来の鋳鉄部品に代替して軽量化と信頼性の向上を図る事例が多いものと考えられるが、製造面での合理化（オーステンパー処理コストの低減）、切削性に対する材料面での改善が進むと応用例も拡大してくるものと考えられる。

表 2 非調質鋼の種類と応用部品例

		主 要 成 分 (%)				組 織	応 用 部 品	特 徴
		C	Mn	Cr	V			
一 般 型 非 調 質 鋼	一般強度 (70~80kg/mm ²)	0.35 }	0.60 }	—	0.08 }	フェライト + パーライト	コンロッド、クランクシャフト、フロントアクスル、ハブ、ナックルスピンドル、トーションレバー、ピン(切削用)	○高周波焼入れ部品に適する ○快削鋼と複合化する例も多い。
	高強度 (90kg/mm ² 以上)	0.50 }	1.20 }		0.15 }		アクスルシャフト、トラニオンシャフト(切削用)	
足廻り部品用 非 調 質 鋼	一般強度 (70~80kg/mm ²)	0.20 }	1.20 }	0.30 }	0.10 }	ベイナイト	足廻り部品(他社)	○高周波焼入れ不可 ○足廻り部品に必要な材料特性を確保
	高強度 (90kg/mm ² 以上)	0.30 }	1.80 }	0.50 }	0.30 }		足廻りアーム部品、フック

図7 スプリングシートの室内摩耗試験結果

7. お わ り に

自動車用材料の中で、構造用鋼は重要保安部品、高機能部品には不可欠な材料である。日本での自動車用構造用鋼の品質改良は目ざましいものがあり、日本の自動車の品質の高さも構造用鋼の品質に支えられているといっても過言ではない。

他材料の進出はあるものの、自動車の一層進む多様化要求へ対応するため、コスト、信頼性、リサイクル性などの鋼材の持つ優位性を生かして、単なる材料の開発にとどまらず、工法を含めた開発、より自動車部品に近い形まで開発を進め評価することでの付加価値の向上が望まれる。