



特集記事・6

地球環境に貢献する鉄鋼製品

条鋼・歯車用鋼材としての貢献とこれからの課題

Rod Steels・The Contribution and the Future of Gear Steels

鮎谷清司 IMST Inst. コンサルタント 代表
Kiyoshi Funatani

1 はじめに

自動車や機械部品の動力を伝える歯車は種類が多く、それぞれの用途上必要とされる特性によって、調質鋼、はだ焼鋼、高周波焼入鋼、窒化鋼あるいは、焼結合金、鋳鉄、または樹脂などが用いられている。その中でも特に強度耐久性を必要とする用途では、浸炭・浸炭浸窒焼入れ、軟窒化・窒化、あるいは高周波焼入れなどにより表面硬化した歯車が使用される。これらの表面硬化技術には、変態点以上の温度に加熱して浸炭・浸炭窒化のように歯車の外周に炭素や窒素を侵入させたのち焼入れして変態硬化させる、あるいは中炭素鋼を用いて高周波誘導加熱により短時間・変態点温度以上に加熱し焼入れ硬化する方法と、変態点以下の温度域に加熱して窒素や炭素を侵入させることにより、耐熱性の優れた炭窒化物層を形成、さらに窒素の侵入による硬化現象や残留圧縮応力により耐久性や耐磨耗性を向上する方法がある。

たとえば、自動車用の歯車には、エンジンではタイミングギアやオイルポンプギアが必要であるし、変速機にも手動減速機 (MTM) と自動変速機 (ATM) のように構造が大きく異なるギアボックスが使われている。駆動系ではさらに最終減速機用や差動機構用など、また、操舵機構 (ステアリング) にはラックアンド・ピニオン (LP) があるなど、極めて多様で、それぞれ設計構造が異なっている。

使用する鋼種の選定に加えて、熱処理プロセスも、その用途で必要とされる性能を作り込むための最適なプロセスを選ぶ必要がある。さらに、手動変速機の歯車では、変速段階に応じて耐久設計寿命が設定される。その基本的な設定に応じて使用する鋼種のみならず、焼入れ性、硬化深さ、あるいは、内部硬さの最適化が必要である。

その基準となる歯車のモジュールと表面硬化深さの関係については AGMA (American Gear Manufacturers Association), MIRA (Motor Industry Research Association),

GLEASON 社の推奨基準があるが、それぞれの推奨値は若干異なっていて、各国の機械学会などの推奨値、あるいは各社独特の基準値による場合が多い。

ここでは、自動車用の歯車を例として、主な使用部位毎の特徴と使用鋼種や表面硬化法などを取り上げて、自動車の性能、耐久性、軽量化などに関する動向をまとめてみる。

2 欧米と我が国の歯車用鋼材の傾向

表1は、自動車が普及してきた昭和50～60年頃に使用されていた自動車歯車用鋼種の例である¹⁾。国による鋼種の違いがあり、イギリスとアメリカではNi含有の合金が多用され、現在も同様な傾向が続いている。一方、ドイツはMn-Cr系が主流であり、日本ではCr鋼とCr-Mo鋼が主流になっている。その後、自動車技術と生産技術の進歩につれて、歯車機構も種々の変化が見られるが、鋼種選択の傾向には大きな変化は見られない。

自動車用の歯車の中でもっとも数が多く、技術変化が見られる変速機の現状を見ると、図1²⁾でわかるようにアメリカでは早くからATM化が進み、1980年代には90%のレベルに達していた。次いで日本もこの傾向を追っているが、欧州では、今まではMTMが好まれていて、ATMの比率は徐々

表1 変速機用歯車に用いられていた浸炭焼入用はだ焼鋼 (1950～70)¹⁾

鋼 国	Cr	CrMo	NiCrMo	NiCr	NiMo	CrMn	Mo
イギリス	EN18 5135		EN353,8617 8620,8621	EN352	4620,4621	---	---
アメリカ	5135	4137 4118	4718,4720 8617,8620 8622	----	4620,4621 4820	---	4023 4027
ドイツ	20CrMo4	-----	-----	----	-----	16MnCr5 20MnCr5	---
日本	SCr21,22	SCM21, SCM22	SNCM23	----	-----	-----	---

EN xxx: イギリス規格, 数字4桁: SAE, AISI 規格

に増加してくる傾向である。

これらに使用されている歯車の鋼種や熱処理仕様を見ると、表2¹⁾でわかるように、有効硬化深さの仕様も非常に薄い浸炭浸室焼入れから、厚目の浸炭焼入れまで幅広く、使用部位により異なる仕様が用いられている。また、このATM用歯車はかなり早くから遊星歯車構造になり、小さいモジュールで常時噛み合いの構造になっている。従って、浸炭焼入れの硬化深さも薄いので、新しい真空（低圧）浸炭を用いても浸炭処理温度の高温度化による浸炭時間の短縮には適合しにくい形になっている。

現在、アメリカATMに使用されている鋼種の例を表3に示した。同種の用途に対していろいろな鋼種があるのは、自動車の出力や車種に応じて多数のATMが造られているためである。

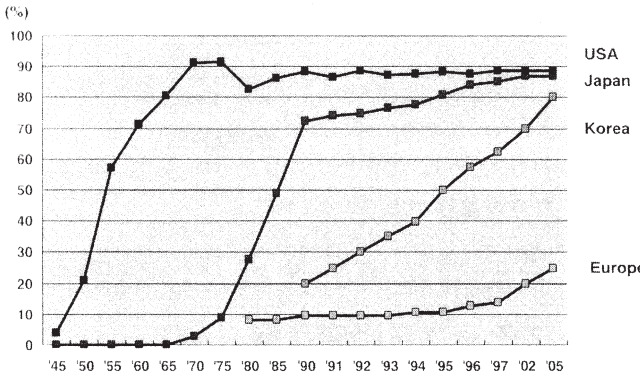


図1 地域別に見た自動変速機装着率の推移²⁾

表2 1970年代のアメリカの自動変速機用歯車¹⁾

種類	サンギアー		ブラネタリーギアー	
	鋼種	熱処理	鋼種	熱処理
A	SAE5140	浸炭浸室焼入れ Hv:620-755 -----	SAE5145	浸炭浸室焼入れ ECD:0.18-0.25 Hv: 620-755
B	SAE5140 SAE5132	浸炭浸室焼入れ -----	SAE4620	浸炭浸室焼入れ ECD:0.30-0.41
C	SAE8620 SAE4027	浸炭焼入れ ECD:0.64-0.89	SAE8620	浸炭浸室焼入れ ECD:0.46-0.64
D	SAE1330	浸炭浸室焼入れ ECD:0.64-0.89	SAE1330	浸炭浸室焼入れ ECD:0.30-0.38
E	SAE4023	浸炭焼入れ HrC > 58 ECD:0.38-0.64	SAE4024	浸炭焼入れ HrC > 58 ECD:0.38-0.64
F	SAE5140H	浸炭焼入れ ECD:0.18-0.25	SAE5140H	浸炭焼入れ ECD:0.18-0.25

ECD：有効硬化深さ，単位mm

3 自動車使用部位別 各種歯車の改良

自動車にはエンジン、変速機、減速機、操舵機構などの各部位毎に種々の歯車が用いられ、過酷化する性能向上とコスト低減の要求に対応しているが、その主な変化と傾向について述べる。

3.1 エンジン用歯車

エンジンにはクランクシャフトと同期して動弁系の動作を制御するカムシャフトに回転を伝える重要な機構があり、古いエンジンではそのタイミングは一定で、調質鋼や焼結合金を用いたスプロケットや歯車が使われてきた。現在では、馬力や燃費向上を目的として、最適の燃焼条件を作り出すために、位相をずらして吸入弁を作動させる複雑な吸気弁作動時期可変（VVT-i^{*1)}、あるいは電気式吸気弁作動時期可変（VVT-iE^{*2)} 機構が採用されている。

3.1.1 クランク、カム - タイミングギアー類

クランクシャフトとカムシャフトを同期させるための歯車はコグドベルトやチェーンにより回転を伝える機構が標準である。調質歯車あるいはスプロケットは軟室化処理などにより耐摩耗性を向上する熱処理が用いられていた。

最近では燃焼条件の最適化のために吸入・排気弁の作動タイミングをずらすため、スライド機構を組み込んだカムの回転制御が普及し始めていて、軽量で耐久性のあるスライド・スプライン構造の焼結合金や鋼製歯車が用いられている。耐摩耗性の向上と摩擦係数を低減するため表面改質や熱処理を施している。

表3 最近の日米の歯車用鋼の成分

規格	鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ms	DI	情報源	冷却剤
SAE	3310	.10	.25	.50	3.50	1.58	-	411	43	GM,ppsg	O,G
SAE	4027	.27	.25	.80	-	-	.25	401	28	DCX,sg	O,G
SAE	4118	.21	.25	.80	-	0.50	.12	424	35	GM,ppsg	O,G
SAE	4615	.15	.25	.55	1.83	-	.25	435	21	GM,AT	O
SAE	4620	.20	.25	.55	1.83	-	.25	412	27	GM,ppsg	O,G
SAE	4820	.21	.25	.60	3.50	-	.25	377	40	GM,ppsg	O,G
SAE	4822	.22	.25	.60	3.50	-	.25	372	42	GM,ppsg	O,G
SAE	4320	.20	.25	.55	1.83	0.50	.25	403	55	GM,ppsg	G
SAE	5120	.20	.25	.80	-	0.80	-	426	32	GM,ppsg Fd,ppsg	O,G
SAE	8620	.20	.25	.25	0.55	0.50	.20	418	47	GM,ppsg DCX,sg	O,G,S
DIN	20MnCR5	.20	.20	1.25	-	1.15	-	405	56	DCX,sg	G
JIS	SCM415	.15	.25	.73	-	1.05	-	448	27	小歯車	O
JIS	SCr420	.20	.25	.73	-	1.05	-	424	36	最少量	O
JIS	SCM420	.20	.25	.73	-	1.05	.22	420	60	量産歯車	O
JIS	SNM420	.20	.25	.55	1.80	0.53	.22	404	54	デブギアー	O

1) 合金成分は(mss %),
2) 情報源:GM(ジェネラルモーター)DCX(ディムテグイスター), Fd(フォード),
3) 歯車種: ppsg(ブラネタリーピニオン,サン、ギアー), sg(シャフト付きギアー・ピニオン), AT(トヨタインテグリス システム)

* 1 VVT-i (Variable Value Timing-intake)、可変吸気タイミング
* 2 VVT-iE (Variable Value Timing-intake Electrical)、電気式可変吸気タイミング

3.1.2 オイルポンプギア類

エンジン系でもっとも厳しい摩擦・摩耗条件で使用されるオイルポンプギアは、カムシャフト側、ディストリビューター側ともに、軟窒化により大幅な耐久性向上が図られた。これは点火装置とオイルポンプを同軸で作動させていた構造による滑り量の大きいギアに特有の問題で、高炭素窒素濃度の炭窒化物層が優れた耐摩耗耐焼付性を発揮する用途であった。しかし、現在では、点火系の電子化などによる、構造改良によりオイルポンプの作動環境は大幅に改良されている。

3.1.3 フライホイール・スタータ系ギア類

エンジンを始動させるためスタータギアはスイッチ作動とともにクラッチホイールギアと契合する構造で、浸炭焼入れされたスタータギアと高周波焼入れされたリングギアの組み合わせが普及している。使用回数は少ないが、嚙合条件が瞬間的でかなり厳しい。フライホイールリングギアは焼ばめ構造が多かったが、最近では一体化加工する方法が採用されている。

3.1.4 その他

振動を減らすために balanser をつけた構造ではクランクシャフトと同期してバランスウェイトを回転させる機構に歯車が用いられる。負荷としては大きくない。

3.2 駆動系変速機用歯車

自動車の中ではもっとも重要な歯車の集中する変速機には数多くの歯車が用いられる。変速段数に比例して歯車対が増加するのが手動変速機である。最近の自動変速機では変速段数と歯車の数は、かならずしも比例しない各種の優れた設計が用いられている。

3.2.1 手動変速機 (MTM : Manual Transmission)

手動変速機は入力系と出力系一対の歯車がかみ合う構造が基本である。基本的に、低炭素のはだ焼鋼が用いられるが、その歯車の数は加速段数により増減し、これに加えて後退用の歯車が組み合わせられる設計であった。通常この手動変速機の場合は、トップギアは耐久限寿命を必要とするが、それ

以外の歯車の寿命は、ほぼ時間寿命であり、最低速歯車と後退用歯車の寿命設定は $10^4 \sim 10^5$ (低サイクル) 設計が必要で、これに適した有効硬化層深さ (ECD) や芯部硬さをあたえる。ちなみに前進3段の手動歯車の設定寿命の標準は昭和40年当時では表4³⁾に示したレベルであった。もちろん道路事情が異なり、走行速度や変速段数も大幅に異なる現在では、それぞれの車両の性能と走行状態の予測に基づいた寿命設定が必要になっている。

エンジン出力の向上に対応する変速機への負荷増大に伴う耐久性向上策として、はだ焼鋼の成分面では粒界酸化の低減努力がなされ、硬化プロセス面では真空・低圧浸炭、あるいは、プラズマ浸炭への期待が大きい、もっとも大きな効果を発揮したのは、歯車へのショットピーニングであり、その技術の向上による寄与が極めて顕著である。

3.2.2 自動変速機 (ATM : Automatic Transmission)

現在、乗用車では変速機の8割が自動変速機になっているが、その構造はMTMと大きな違いがあり、油圧コンバータにより伝えられた回転を多盤クラッチとブレーキの組み合わせで変速している。主として遊星歯車機構による変速比の選択をする構造でこれらの構造変化と歯車の小モジュール化が進み、鋼種や焼入性の設定にも影響を与えている。

国内では鋼種に大きな変化はないが、鋼材成分の改良が進められてきた。曲げ疲労強度向上に関連して、粒界酸化の低減を目的とした、Si, Mn, Cr量を減量する研究では若干の成果が見られる。

もっとも成果の上がっている技術は、ショットピーニングならびにダブルハードピーニングによる歯元の曲げ疲労強度の向上である⁴⁻⁶⁾。

遊星歯車のリングギアは歯の成形後窒化あるいは軟窒化を採用している例がある。しかし、プラネタリーピニオンやサンギアの使用条件は極めて厳しく、歯面疲労の問題がクローズアップし、浸炭窒化法や、高濃度浸炭による炭化物分散による転動疲労寿命の向上策がとられている⁷⁾。

このような小モジュールで厳しい歯面耐久性を要求される歯車に適した鋼種の研究が必要であり、粒界酸化対策とは全く逆にSi量を増加させることにより、表面硬化層の軟化抵

表4 変速機用歯車の基準寿命—出力軸の総回転数 (Stottの基準値³⁾)

N.I.(1958-59),p.19)

歯車比	乗用車		小型トラック
	3速変速機	4速変速機	
第1速	50	50	75
第2速	400	200	350
第3速	> 1000	300	700
		> 1000	

数値はアウトプット軸の回転数(万回)

抗を向上した鋼種が有効である⁶⁾。

さらに、モジュールの小さい歯車に適した鋼種と表面硬化熱処理法の研究開発が必要と考えられる。すなわち、表面焼入性は浸炭や浸炭窒化、あるいは、熱処理歪みの大幅な低減につながる低温度軟窒化等による、表面耐久性の確保を可能にする新しい鋼種の開発が必要になっている。

3.2.3 無段変速機 (CVT : Continuously Variable Transmission)

ベルトやローラーを用いる無段変速機類では非常に高い面圧で動力を伝達する構造であり、極めて高い転動疲労寿命が必要になり、深い浸炭硬化深さや、高濃度浸炭が必要になるので真空低圧浸炭に適した適用部品 (NSK) も出てきている。これらの要求に適合させるために合金成分を調整した鋼種も実用されている。

CVTのディスクは耐摩耗性、転動疲労強度、耐軟化抵抗など極めて厳しい使用条件に耐える必要がある。このため使用する鋼材は疲労剥離の原因になりやすい非金属介在物を低減するとともに、転動疲労寿命を改良するためにCrやMo量を増やし、これに浸炭窒化处理している⁸⁾。

3.2.4 最終減速機

最終減速機の設計は前輪駆動車と後輪駆動車では形が異なり、熱処理歪みの対策も大きな違いがある。また、ハイブリッド車や無段変速機を用いた歯車機構では、減速系に遊星歯車を用いている例もあるので、今後の歯車用鋼材の研究開発に当たっては、これらの構造技術の変化も考慮した取り組みが必要である。

この最終減速機の歯車にも高硬度ショットを用いたハードピーニング法が適用され、許容負荷トルクを12%向上することに成功している。その結果、エンジン出力の向上に伴う負荷増大にもかかわらず、3kgの軽量化に成功している例がある⁹⁾。

最終減速機に組み込まれる差動機構には左右の車軸の駆動力をバランスさせるために、2ないし4個のピニオンギアを十字クロスシャフトにセットされる。このピニオンギアには通常、SCM415あるいはSCM420が用いられているが、歯車の寿命設定が低サイクル疲労域であることから、歯車の歯の内部硬さを高くし、さらに、ハードショットピーニングによる残留圧縮応力を与えて疲労強度を向上することに成功している例がある。歯車の歯の成形性を良くするため冷間鍛造性をそこわず、内部硬さをあげるため鋼材の芯部焼入性を向上できるボロン (B) を添加している。これらの複合効果により、使用するピニオンの数を4から2個に減らすことにより8%の軽量化が図られた⁹⁾。

3.2.5 操舵機構・ステアリング系

ハンドル操作に必要な部位には、ウォーム・セクターシャフト方式、ボール循環式 (RBS) 等が使われてきたが、操作性や信頼性の向上を図る目的で、最近では構造が簡単で、軽いラック・アンド・ピニオン式 (RP) が主流になり、構造部材の軽量化に役立てられている。

ハンドル軸の回転を直接、あるいは、油圧または電気機構を用い、軽い操作力で操舵出来る様になっている。この場合、ピニオンは浸炭焼入れを、そしてラックギアは高周波焼入れされている例が多い。

4 最近の歯車用鋼の研究動向

最近の歯車用鋼種の研究開発の実績を見ると、欧州では真空 (低圧) 浸炭、加圧ガス焼入れへの転換が進みはじめているが、高温度浸炭ではなく、加圧ガス焼入れの冷却能力を補うため、鋼材の焼入性向上と熱処理歪みの低減が主たる狙いになっている。加圧ガス焼入れは一般的に冷却能力が低いので、一見熱処理歪みが減るがごとき解釈がなされているが、有効硬化深さや内部あるいは芯部硬さを満足させるために、鋼材の焼入性を上げると当然熱処理歪みを劣化させるので、冷却問題と熱処理歪みの関係は簡単に解決できる問題ではない。

ドイツのブレーメン地区では熱処理歪み対策の大きなプロジェクト (SFB570) で歯車やシャフトの熱処理歪み対策が取り上げられており、鋼材の凝固偏析の対策から加圧ガス冷却まで含めた広い範囲の研究が進められている¹⁰⁾。

また、ストュットガルト地区でもベンツとボッシュが共同して噴射ポンプボディーと歯車を取り上げ計算機シミュレーションを活用して歪み対策を進めるプロジェクト (CASH) が進められている¹¹⁾。

国内では前述の各部位別の歯車について述べたように、自動車会社と鋼材メーカーが個別に組んで種々の改良開発が行われてきた。

4.1 我が国の自動変速機用歯車

これらの歯車用の鋼材は、従来から用いられているSCr420HとSCM420H「はだ焼鋼」が主流であるが、歯車のサイズと肉厚にあわせて焼入性のレベルを調整している。しかし、「遊星歯車」設計では、手動変速とは異なり、使用条件は常時噛み合いで、正回転、逆回転ともにあり、車両寿命を通じた長寿命が要求される。しかも、変速機内の温度が上昇するので、軟化抵抗を向上するために浸炭窒化处理したり^{5, 12)}、歯の耐ピッチング、耐摩耗性を高めるために、高濃度浸炭して炭化物を球状化・分散した歯車⁶⁾などが必要にな

っている。

4.1.1 浸炭歯車用鋼

(1) 粒界酸化対策鋼

浸炭焼入れ歯車の強度に悪影響を与えていると考えられている浸炭中の粒界酸化に対する鋼材合金成分の改良として、酸化傾向の強いSi, Mn, Cr等の量を減らした鋼種の研究が進められ、可能な範囲で実用されはじめている。しかし、粒界酸化現象と非マルテンサイト相の出現との関係を見逃している例もあり、粒界酸化による表面層の硬化能の低下は避けられないが、これを補う表面炭素量の重要性について、さらに考察する必要がある。減圧浸炭法が広がるにつれ、欧州の大学や研究所の研究で、粒界酸化と表面異常層をなくしても強度が向上しないことが明らかにされている。また、浸炭焼入れ歯車の強度を向上するために行われているショットピーニングによって表面異常層の影響をなくすることができることがわかっている。もっとも大切なことは、粒界酸化は避けられなくても表面の非マルテンサイト層を最低限に抑えるために他の合金元素や表面炭素量による表面硬化能の維持である。

(2) 高温度浸炭用鋼

熱処理技術の進歩の一つとして、粒界酸化がなく、高温度浸炭による処理時間の短縮に適した減圧浸炭法の導入を進める上で肌焼鋼の改良が進められている。結晶粒の粗大化を抑制するために微量のAl, Ti, Nb等を添加し、これらの添加元素の炭窒化物M (C, N) の微細に分布させる技術が確立されてきた。これらの添加元素の炭窒化物による粗大化抑制効果についての研究は40年代から進められており、高温度減圧浸炭はある程度の時間までは結晶粒の粗大化を防ぐことができる。

(3) 高濃度浸炭用鋼

無段変速機が開発されているが、高面圧に耐える転動疲労寿命が必要である。表面硬化層の転動疲労寿命を向上するためにSi, Mn, Cr等の合金元素量や表面炭素量を高濃度にする研究が進められてきた。特に、CVTやCVTのプーリーは極めて高い面圧と高耐摩耗性が要求されるので、表面炭素量をAcm線濃度を越えるレベルまで高くして炭化物を分散することにより高転動疲労寿命を得る方法がとられている。

(4) 高軟化抵抗・転動疲労用鋼

自動変速機のプラネタリーギア類は、常時噛み合いで、高密度な設計構造で、使用され温度上昇が避けられない環境で運転される。従って、使用中の温度上昇に耐える表面硬化層を得るためにSi, Cr, Mo等の元素を増量して耐軟化抵抗を向上できる鋼種が開発され、高濃度浸炭技術と組み合わせ、変速機歯車の性能向上に寄与している。

(5) 高靱性歯車用鋼

終減速機用の歯車では、耐衝撃性が要求される傾向にあり、Si量を下げた鋼種や、Bを添加して硬化能を向上した鋼種も研究され、一部の歯車に使用され、自動車の耐久性向上に寄与している。

(6) 軟窒化歯車用鋼

自動車の性能向上とともに、振動、騒音および、歯車の加工コストの低減を図るため、高温度からの変態硬化を必要とする浸炭焼入れに代わる表面硬化法の一つとして、軟窒化法の採用が期待されている。変態点以下の温度での表面硬化法であり、熱処理歪みも大幅な低減が可能となる。問題として、硬化深さが浸炭焼入れに比べて浅いため、小モジュールの歯車類に適している。すでに、自動変速機のプラネタリーリングギアには、軟窒化歯車が採用されているが、軟窒化に適した歯車用鋼の開発が要望されていて、鉄鋼メーカーのほとんど各社で研究が進められている。

Cr-Mo系ではCr (2.5-3.0), Mo (0.4) 程度の鋼種

Cr-V系ではC (0.3) Mn Cr (1.0) V (0.2~1.0) の鋼種

Cr-Mo-V系はもっとも多くの鋼種が研究されC (0.17~0.53), Mn (0.55~1.50), Cr (0.5~3.25), Mo (0.20~1.05), V (0.10~0.4) の範囲が研究され、一部実用されている。

窒化用鋼には一般的にアルミを添加する場合が多く、

Al-Cr系ではC (0.15~0.23), Mn (0.65~1.20), Cr (1.0~1.3), Al (0.20)

Al-Cr-Mo系ではC (0.30~0.45), Mn (0.6~1.1), Cr (1.0~1.65), Mo (0.1~0.3), Al (0.1~1.0)

Al-Cr-Mo系や、Cu-Ni系Al (1.45), Ni (0.8)、あるいは、Cu-Ni-Al系Cu (0.14>), Al (1.0), Ni (1.5-.0), V (~0.10), 等の鋼種が研究されている。

(7) 高周波焼入れ用鋼

高周波焼入れは非常に高い圧縮残留応力が得られるので、歯の疲労強度面では十分な性能が得られるが、波面の耐摩耗性の向上策が必要である。

二輪車には中炭素鋼に高周波焼入れされた歯車がよく使われていたが、自動車の分野でもフライホイールリングギアにも用いられている。高周波焼入れ技術の進歩により、複数の周波数を使うことにより、歯車の波面に沿ったプロファイル焼入れが可能になり、レース車では実用されている。加工面の制限から、炭素量に上限があるので、耐摩耗性では今一步の工夫が必要である。

一部では、軟窒化あるいは浸炭と高周波を組み合わせで深い硬化層を得る方法も研究されているし、短時間高周波浸炭などの研究も進んでいる。

5 まとめ

歯車の使用条件が過酷化してきたが、高強度化、転動疲労強度の向上、粒界酸化対策、軟化対策などのあらゆる面で鋼材の改良が加えられてきた。規格鋼種で見ると大きな変化は認められないが、各鉄鋼メーカーは自動車サイドの要求を満たす方向で多大の努力が傾注された。熱処理技術の進歩は遅々としているが、貢献度の高いショットピーニング技術の向上により、大幅な強度耐久性の向上が図られてきた。

今後の課題を考えてみると、熱処理技術面では、粒界酸化の少ない減圧浸炭技術が実用化され始めているが、技術的に未完成であり、さらなる技術改良が必要な段階といえよう。これに加えて、冷却能の低い加圧ガス冷却への組み合わせは極めて課題が多い。基本的な粒界酸化と異常層の関係に関連して、浸炭技術の間本問題を良く認識することが必要であり、加えてさらなる高強度化を進めるには浸炭後の歯形成形との複合技術^{13, 14)}や、表面炭素量の持つ役割と意義についても原点に戻って見直す必要がある。特に、鋼材の合金成分や熱処理に比べて、遙かに超える貢献を果たしてきた、ハードおよびダブルハードピーニングの圧縮残留応力の寄与率を考えると、改めて原点に戻った、強度理論の再構築が必要ではないだろうか。鋼材の合金成分による靱性や強度への影響は疑う余地のないことであるが、桁違いに大きな影響を与えている残留応力の影響を考慮した研究開発が必要と思われる。

この問題は、鉄鋼に限らず、高強度材料全般に関与する大切な部分である。「ふえらむ」を読まれる諸兄にもご一考頂きたく、原稿をお引き受けした次第です。

参考文献

- 1) 鮎谷清司：自動車用歯車 機械設計, 22 (1978) 4, 33-40.
- 2) 上野完治：電気製鋼, 77 (2006) 1, 45.
- 3) T.C. Stott : Proc. IME (AD), (1958-59) 1, 19.
- 4) 荻野恵司, 藤原康之：熱処理技術協会中部支部, H15年講演会資料
- 5) 渡辺陽一：最近のパワートレイン系材料・熱処理技術の取り組みと今後の課題16/3, 出光興産第27回熱処理研究会資料, (2004)
- 6) 大林弘治：ATMの熱処理技術動向, 出光興産第28回熱処理研究会資料, (2006)
- 7) 江藤洋仁, 松井, 安藤：SP条件および残留オーステナイト量 残留応力 SP技術, 114 (2002) 2, 68-69.
- 8) 三田村宣晶：熱処理技術協会中部支部, H16年講演会資料
- 9) 藤原康之：熱処理技術協会中部支部, H15年講演会資料
- 10) F. Hoffmann, O. Kessler, T. Luebben and P. Mayer : Proc. #4 QCD, 上海, IFHTSE, (2003)
- 11) H.V. Zoch : Proc. IDE 2005
- 12) 渡辺陽一：熱処理, 自動車部品の窒化系処理の現状, 45 (2005) 5, 274-281.
- 13) 伏見慎二, 島村三郎：鉄と鋼, 78 (1992), 1383.
- 14) 田中利秋, 松井宗久, 団野敦：塑性と加工, 41 (2000-7) 474, 29-38.

(2006年9月21日受付)