解 説

自動車用浸炭鋼の現状と今後の課題

久松定興*

Technical Trend of Carburizing Steel for Automotive Applications

Sadaoki Hisamatsu

Synopsis

This paper discusses the present status of quality of steels and application engineering and technical trend of carburizing steel.

Motorvehicles use many different materials such as steel, aluminum, copper, plastic, glass, rubber etc. Today, one of the major topics of automotive material is an application of new material, ceramic for example, in diesel engine parts and many sensor parts.

However, the steels used for many important automotive components, engines and transmissions, are still carbon and alloy steels. As a result of recent improvement of steel quality, many automotive steel parts have attained high level of reliability while becoming lighter in weight.

There is however increasing need to improve quality of carburizing steel as it is mainly used in transmission and differential gears, the noise level of which need to be lowered, strength of which must be increased and its machinability must be improved.

Accordingly, steel makers and automotive manufactures are working together to further improving quality of carburizing steel.

1. ま え が き

自動車は鉄鋼をはじめとして、アルミニウム、銅、プラスチック、ガラス、ゴム等種々の材料により構成されている。最近では、ディーゼル・エンジンの燃焼室廻りの部品やセンサー類にセラミックが使われるなど、新素材の応用も話題になっている。(写真1に従来ニッケル基耐熱合金に替ってセラミックスで製造された渦流燃焼室を示したものである。)

写真1 セラミック製渦流燃焼室

昭和60年11月14日 受付

*いすゞ自動車研究センター

しかし、エンジン、トランスミッション等主要装置はほとんど鉄鋼材料により構成されており、その主要部品は炭素鋼・合金鋼により作られている。これらに用いられる鋼材の近年における品質向上は、自動車部品の信頼性向上・軽量化等に大きく貢献している。これらの部品の中で、浸炭用鋼が用いられているトランスミッション、デフレンシャル装置の歯車は、騒音低減・強度向上、更には切削性向上が望まれており、鉄鋼メーカー、自動車メーカー協同で改良研究がなされている。本稿では自動車用浸炭鋼の品質及び技術の現状と今後の課題について述べる。

2. 鋼材の品質レベル

自動車メーカーに納入された構造用棒材の材料欠陥に起因する不良発生件数について、過去10年間の推移を第1図に示した。更に、第2図には10年前の材料欠陥に起因した不良における欠陥の種類と発生の割合を示した。これによると表面きずが最も多く、全体の半分以上を占めていたことが判る。表面きずは、鍛造割れ等の原因になるとともに、近年著しく増加している冷間鍛造・冷間押しなどの冷間加工部品、および、高周波加熱を採用し表面スケール落ちが少なくなった部品などでは、表面きずがそのまま残存し、応力集中の起点となって部品強度を著しく劣化させる等の問題があった。しかし、これら表面きず等に起因する欠陥は、製鋼メーカーの工法面の改善および渦流探傷・磁気探傷・超音波探傷などのオンライン化による品質検査の改善により、近年では、その品質レベルは格段に向上し、10年前に比

第1図 10年間の材料欠陥による不良発生の推移の一例（50年度発生件数を100とする）

べて不良は約1/30に急減している。

このような品質改善努力により鋼材納入後の材料に起因する不良は激減し、鋼材の信頼性が大幅に向上、自動車部品の信頼性向上・軽量化等に貢献している。しかしながら、現在でも材料欠陥に起因する不良発生は皆無ではなく、ひとたび鋼材不良が発生すると、下流工程での混乱が大きいいため、更に今一段の努力によりパーフェクト品質となることが望まれる。

3. 浸炭歯車の性能向上

自動車の騒音低減・高出力化・軽量化に伴い、浸炭用鋼が用いられている動力伝達歯車での歯車騒音低減・高強度化等の性能向上のニーズが増大している。これら要求性能に対する材料面・工法面での対応について現状を述べる。

第2図 昭和50～51年度の材料欠陥による不良発生内容

3.1 歯車騒音低減

自動車用歯車の中で最も大きなトルクを伝達し、歯車騒音低減のニーズが強いファイナルギヤについて、歯車騒音と材料の関係について述べる。

1) ファイナルギヤの熱処理変形

ファイナルギヤは、第3図に示すようなハイボイド・スパイラルベベルギヤであり、その熱処理変形は、V&H Checkにより定量的に把握される。V&H Checkとは、第3図に示す、H $\oplus$ 、H $\ominus$ 、V $\oplus$ 、V $\ominus$ 方向へビニオンギヤを移動し、歯当り位置を変化させることで、歯型形状を定量的に把握する方法である。このようにして得られる数値の中で、V値 Total量は歯当り長さを、V値は歯当り位置を示しており、共に歯車騒音との相関が大きい。第4図に代表的な歯当り形状の例を示す。

第3図 ファイナルギヤの歯当り Check 法概略

2) 歯当り形状と歯車騒音

歯当り形状の歯車騒音に及ぼす影響について、第5図に示す。歯当りAに対し、歯当り形状を改善したBでは、最大で約10dB(A)の低減効果が見られ、歯当り形状の歯車騒音に及ぼす影響が著しく大きいことが判る。

3) 鋼の焼入性と熱処理変形

第6図に鋼の焼入性(ジョミニー焼入端から9mm位置での硬度)とファイナルギヤの浸炭焼入後の熱処理変形(V値 Total量、V値)の関係を示す。図より、材料の焼入性の違いにより熱処理変形量が異なり、歯当りが変化することが判る。このため、チャージ管理を行なって製造している歯車で、同一熱処理ロット内における焼入性のばらつきが大きいと、熱処理変形のばらつきが増大し、歯車騒音のばらつきが大きくなることが判る(第7図)。この結果、歯車騒音低減策として、鋼の焼

第5図 歯当り形状と車内騒音レベル

ロングベアリング	セントラルトーベアリング	ショートベアリング
バイアスインベアリング	バイアスアウトベアリング	ハイベアリング

第4図 ファイナルギヤ歯当りの種類

第6図 歯当り変化量とJ値の関係

第7図 浸炭歯車の熱処理変形によぼす焼入性のばらつきの影響

入性を適正な位置・数値で、焼入性バンドの幅を小さくすることが、有効な手段となってくる。

4) 鋼の焼入性ばらつき低減策

焼入性のばらつきには、溶解チャージ内のばらつきとチャージ間のばらつきに分けられる。歯車用浸炭鋼は、チャージ間で一定の焼入性でかつチャージ内でのばらつきを少なくする必要がある。

a) チャージ間の焼入性ばらつきの減少

鋼の焼入性は、結晶粒度・化学成分のコントロールにより決まり、最近では真空脱ガス、LF法などの導入により化学成分の微調整が行われ、そのばらつきは従来のものの半分以下と大幅に改良されている。

b) チャージ内の焼入性ばらつきの減少

連続鋳造は鉄鋼メーカーの造塊における合理化・省エネルギー対策として導入が盛んであるが、チャージ内の焼入性のばらつきを少なくする方法として有効であり、浸炭用鋼のほとんどに適用されている。強制冷却で凝固速度が早いこと、鋳型サイズが比較的小さいことから、内部偏析が少な

く、このため同一断面での焼入性のばらつきはほとんどない。

この成分微調整に連続鋳造を組み合わせた浸炭用鋼は熱処理変形に対して有効との評価も高まり、さらに一層の焼入性ばらつきの低減に期待がかけられている。

3.2 浸炭歯車の強度向上

エンジンの高出力化に伴い、浸炭歯車への歯元・歯面への負荷が増大しており、高強度化のため、材料・工法面で種々の改善がなされている。ここでは、歯車の曲げ強度向上の一例として、近年自動車用歯車に多用されているショットピーニング処理について、その強化機構とショットピーニングを行う際の材料面の留意点について述べる。

1) ショットピーニングによる浸炭材表面異常層の改善

浸炭歯車の表面層には浸炭焼入時、Cr, Mn, Siなどの元素が内部酸化し、10~20 μ mの深さにトルースタイトのような不完全焼入層が発生する。このため、浸炭歯車の曲げ疲労強度は著しく低下している。この表面異常層の改善については、NH₃添加・真空浸炭等いくつかの手法があるが、生産面・強度面で最も優れているのがショットピーニング処理である。

ショットピーニングは主にばねの疲れ強度向上に用いられている処理であり、鋼球を投射してワークの表面を加工硬化させる。このことから、浸炭焼入材の表面異常層発生による表面層の硬度低下、および圧縮残留応力の低下の改善に極めて有効な手法となっている。表面異常層の改善状況を第8図、第9図に示す。

第8図の硬度勾配測定結果は、浸炭材表面下25 μ m程度において見られる著しい硬度低下部がショットピーニングにより加工硬化し、硬度が高くなったことを示している。第9図は、X線回折により求めた残留応力測定結果であるが、これより、ショットピーニングを行うことで表層部に30~50kg/mm²の圧縮残留応力が付与されており、強度面で大変有利であることが判る。

2) ショットピーニング歯車の強度

SCM 822H および SNCM 420H 浸炭材の ϕ 6試験片による回転曲げ疲労試験結果を第10図に示す。これよりショットピーニングを行うことで

第8図 硬度分布におよぼすショットピーニングの影響

第9図 残留応力分布におよぼすショットピーニングの影響

32～56%と大幅な強度向上が得られること、および、浸炭のままではCr-Mo鋼とNi-Cr-Mo鋼で強度に差が見られるが、ショットピーニングを行うことで強度に差が見られず、ショットピーニング歯車では材料の影響がほとんど認められないこと等が判る。

また、実物の浸炭歯車（SCM420H、モジュール＝4）により求めたP-S-N線図を第11図に示す。破損確率10%の強度で、48%の疲労限向上を示しており、歯車の強度向上に有効であることが確認されている。

3) ショットピーニングによる浸炭歯車材の低合金鋼化

浸炭歯車に用いられる主な材料は、Cr鋼、Cr

第10図 ショットピーニング処理による強度向上

第11図 浸炭歯車の疲れ強さにおよぼすショットピーニングの影響

-Mo鋼、Ni-Cr-Mo鋼であるが、一般に低合金鋼化すると強度が低下する。その原因のひとつに焼入性が低下すること、特にCr鋼では表面異常層の発生が増大すること等があげられる。しかし、ショットピーニングを行うことで表面異常層が改善され、大幅な強度向上が得られることから、ショットピーニング歯車では、従来用いていたNi-Cr-Mo鋼からCr-Mo鋼へ、Cr-Mo鋼から $\frac{1}{2}$ Mo-Cr鋼へと材料の低合金鋼化が進んでおり、更にCr-Mo鋼からCr鋼へと低合金鋼化が進むも

のと考えられる。ただし、単に材料変換すると焼入性が異なる為歯元硬度が変化することから、歯元硬度を変化させずに低合金鋼化するなど歯車製造面、鋼材製造面の両方を加味したアロイデザインが必要と考える。

4. 歯車の製造技術

歯車を製造する工程において、機械加工コストの占める割合は大きく、消耗工具費などを入れると通常の歯車でも完成品の半分以上を占めている。このため、材料面では、被削性の優れた材料、また、工法面では生産性の向上、歩留り向上、機械加工の省力化を図った製造工法の応用検討が行われている。

4.1 低鉛快削鋼

歯車切削はハイス工具による切削が主であり、鉛快削鋼が最適である。しかし、従来の鉛快削鋼は、鉛含有量0.1~0.3%と多く、面疲労特性の低下が大きく、また、コスト的にも高いため、応用範囲が狭められていた。低鉛快削鋼は、鉛含有量を少なく(0.04~0.08%)すること、脱ガスを行うことで酸素含有量を少なくしており、面疲労特性の低下、コストアップを極力抑え、被削性を改善しようとする鋼であり、乗用車系歯車を中心にその応用が広がりつつある。しかし、大型車系歯車では負荷が厳しいこともあって、その応用に際しては、更に一段と面疲労特性の優れた快削鋼の開発が望まれる。

4.2 冷間鍛造・精密鍛造

冷間鍛造・精密鍛造は、現在、あまり歯車精度の要求されないデフピニオン、サイドギヤ等に應用され、歯型加工は行わず使用している。更に、工法面の改善により歯車精度を向上することで、トランスミッション等精度の要求される歯車への使用が期待される。

4.3 焼結鍛造

一般の焼結は多孔質のため強度・靱性が低く、鋼材に比べ使用部品が限定されている。焼結鍛造は、粉末成形後の加熱・鍛造工程で密度を鋼材と同等(99%以上)まであげ、鋼材並の強度を確保するとともに、焼結の利点である材料歩留り向上、切削加工の省略等を兼ね備えた省エネ工法である。近年、焼結鍛造技術の向上、および、低コストで焼入性の優れた原料粉末の開発などが進み、自動車歯車の歩留り向上・切削加工の省力化として期待される工法である。

4.4 ベイナイト鑄鉄歯車

GM社では、表面にショットピーニング処理を行ったオーステンパー処理ダクタイル鑄鉄を、歯車騒音低減等の目的でファイナルギヤに使用している。国内でクランクシャフト、ナックル等強度部品のダクタイル化により、鑄鉄部品の品質評価が高まっていることから、今後、歯車への鑄鉄部品の応用拡大が期待されている。

5. あとがき

以上、自動車用浸炭鋼について、使用者側から見た最近の話題について述べたが、紹介したいいくつかの競合技術の中で浸炭用鋼が更に一層その地位を確立するためには、使用者側、製造者側とも奇をてらうような技術でなく、あたりまえの技術の積み重ねにより品質を向上させるべく努力する必要があると考える。

また、新しい鋼種の開発プロセスにおいて、従来からのやり方にこだわらず、製鋼メーカーにおいても更に一層部品性能を加味した研究開発を進めることを希望する。このような研究の進め方の中から、新しい価値感のある商品、あるいは開発技術が生まれるものと確信する。