

軟窒化鋼

Soft-Nitriding Steel

黒川八寿男 / Yasuo Kurokawa ・ 小倉製鉄所 開発室

鎌田芳彦 / Yoshihiko Kamada ・ 小倉製鉄所 開発室 担当課長 工博

西田和彦 / Kazuhiko Nishida ・ 小倉製鉄所 専門部長 工博

要 約

自動車のエンジンや駆動系に用いられる歯車には、歯車の小型化・軽量化のための高い疲労強度と、騒音低減の観点から厳しい寸法精度が要求される。これらの要求性能を満足する手段として、鋼材表面に軟窒化処理を施す方法があるが、通常の材料に軟窒化処理を施しても疲労強度向上効果が不十分である。そこで、軟窒化硬化深さと芯部硬さに及ぼす合金元素の影響を明らかにすることにより、高い疲労強度を持ち寸法精度の高い軟窒化鋼を開発し、実用化に至った。

Synopsis

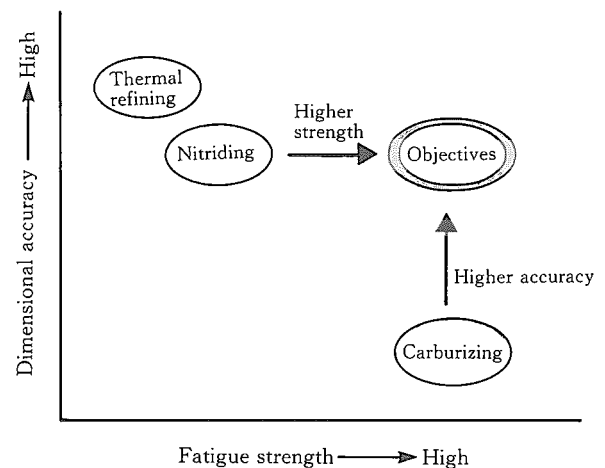
High-strength gears for automotive engines and transmissions increasingly require high fatigue strength performance to enable smaller sizes, and dimensional accuracy to lower noise levels. The soft-nitriding method focused on low heat treatment distortion, but soft-nitriding of common steel gears isn't enough to improve fatigue strength. So we examined the effect of alloying elements on case depth and core hardness. As a result, new soft-nitriding steels having high fatigue strength performance and dimensional accuracy have been developed, and are already in use for some gears.

1. はじめに

自動車のエンジンの高出力化、燃費効率向上を目的とした部品の小型化・軽量化、さらには静粛性向上のため、エンジンや駆動系に用いられる歯車には高い疲労強度と寸法精度が要求される。従来より、これらの歯車は、表面硬化処理（浸炭焼入）または素材調質処理を施し使用されるが、浸炭焼入歯車では浸炭焼入時の寸法精度改善が、素材調質歯車では疲労強度向上が、各々重要な課題となっている。このうち、表面硬化処理時の寸法精度改善する方法として、浸炭焼入に比べて処理温度が低く熱処理歪みが小さい利点をもつ軟窒化処理があるが、通常の材料に軟窒化処理を施しても疲労強度向上効果が不十分である。そこで、高疲労強度と高寸法精度を両立させた軟窒化鋼を開発した^{1),2)}ので、その内容を以下に報告する。

2. 検討項目

疲労強度と寸法精度の関係における開発目標の位置づけを第1図に示す。軟窒化鋼の高強度化と高精度化を実現すべく、軟窒化特性に及ぼす合金元素とミクロ組織の影響を明らかにするための検討を行った。



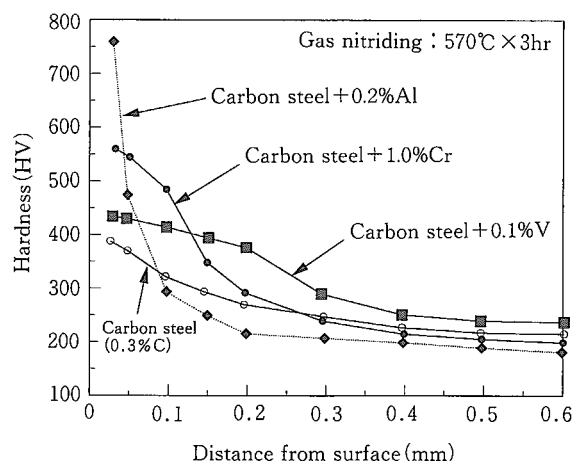
第1図 歯車の疲労強度と寸法精度の関係における開発目標の位置付け

Fig.1 Development objectives in relation with fatigue strength and dimensional accuracy of gears

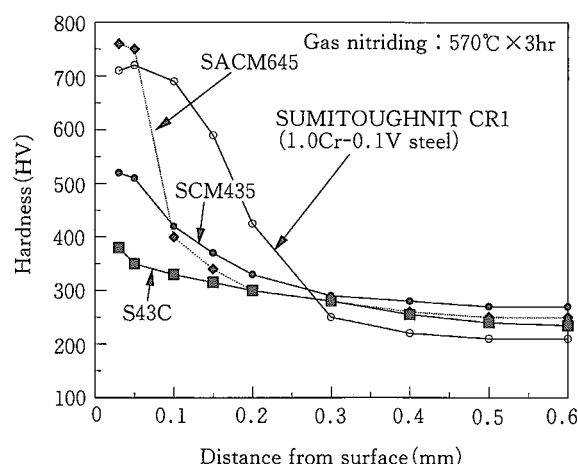
(1)合金元素の影響

軟窒化による表面硬化の機構は、主に鋼材表面から強制的に侵入するC、Nによる固溶強化と炭窒化物の析出強化によるものと考えられる。そこで、軟窒化硬化深さを増大させるため、代表的な炭化物もしくは窒化物生成元素であるAl、Cr、Vの軟窒化特性に及ぼす影響を調査した。第2

図にその結果を示すが、硬化深さ増大にはCr、Vが、表面硬さの増大にはAlが有効であることがわかる。また、第3図に示すように、1.0%Cr-0.1%V鋼は一般的な炭素鋼や合金鋼に比べ、より深い硬化層が形成されることがわかる。



第2図 軟窒化特性に及ぼす合金元素の影響
Fig.2 Effects of alloying elements on hardness distribution of soft-nitrided steels



第3図 軟窒化層の硬さ分布
Fig.3 Hardness distribution of developed soft-nitrided steel (CR1) comparing with common steels for machine structural use

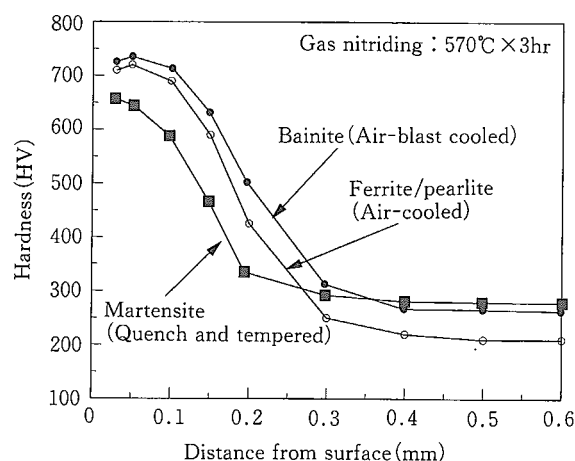
(2)ミクロ組織の影響

従来より、軟窒化鋼の金属組織は、軟窒化前の素材を焼準によりフェライト・パーライトにするか、あるいは調質により焼戻マルテンサイトとすることが一般的であった。

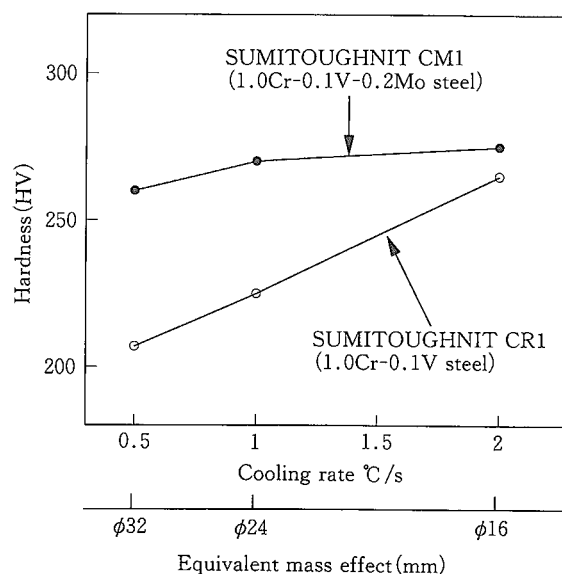
第4図に軟窒化特性に対する前組織の影響を調査した結果を示すが、フェライト・パーライト組織やマルテンサイト組織に比し、ベイナイト組織が良好な軟窒化特性を有していることが判明した。

軟窒化前にベイナイト組織とする方法として、(1)焼準処理時の冷却速度を大きくしベイナイト変態させる方法と、

(2)パーライト変態を遅延させる元素を添加し通常の焼準処理だけでベイナイト変態させる方法とがある。今回は、安定生産のため(2)の方法の検討を行った。まず、パーライト変態を遅延させる元素としてMoに着目し検討した。その結果を第5図に示すが、Mo:0.2%を添加すると、幅広い範囲の冷却速度でも安定してベイナイト変態を起こさせることができ、組織とともに焼準硬さも安定化が可能となる。



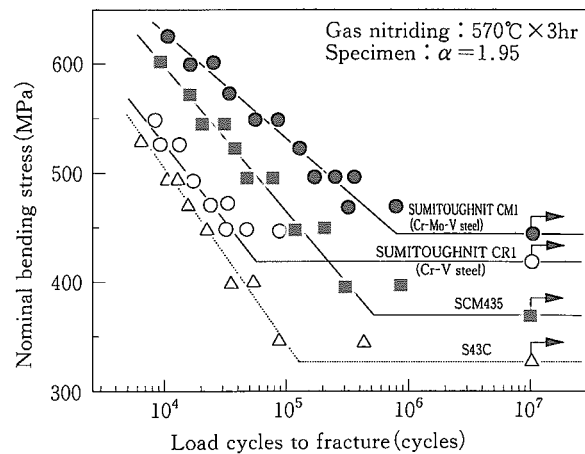
第4図 軟窒化層の硬さ分布（組織の影響）
Fig.4 Effects of microstructure on nitriding property



第5図 焼準硬さに及ぼすMoおよび冷却速度の影響
Fig.5 Effects of Mo and cooling rate on stabilization of normalized hardness

(3)疲労強度特性

第6図に小野式回転曲げ疲労試験結果を示すが、開発鋼(Cr-Mo-V鋼、Cr-V鋼)は、他の軟窒化処理した鋼に比べて高い疲労強度が得られた。この開発鋼の疲労強度向上効果は、優れた硬化特性とそれに伴って形成される高い残留圧縮応力によるものと考えられる。



第6図 軟窒化鋼の疲労強度

Fig.6 Fatigue strength of soft-nitrided steels

3. 製造実績および将来性

今回開発を行った高強度高精度軟窒化鋼の特性を第1表に示す。この高強度高精度軟窒化鋼は、浸炭焼入歯車に代替してその振動・騒音低減に貢献し、あるいは調質歯車に代替してその小型軽量化に貢献するものである。今後、さらに自動車用としてトランスミッションギア等への適用展開のほか、産業機械用の各種精密歯車、部品等への適用展開が期待される。また、熱間鍛造用途としてだけでなく、さらなる高精度化を目指し冷間鍛造用軟窒化鋼を現在開発検討中である。

第1表 開発鋼の特徴

Table 1 Characteristics of developed steels

Steels	Heat treatment distortion	Mass effect	Fatigue strength of tooth root	Impact strength of tooth root	Pitting strength	Economical advantage	Chemical composition
SUMITOUGHNIT CM1	◎	小	◎	△	△	◎	Cr-Mo steel + Micro alloying
SUMITOUGHNIT CR1	◎	大	◎	△	△	◎	Cr steel + Micro alloying

(Compare to SCM420 ◎: Excellent ○: Good △: Poor)

問合せ先
小倉製鉄所
開発室
☎093-583-6545 黒川

参考文献

1) 三輪, 柴田, 岡崎, 相原, 神原: 日本金属学会会報, 第31巻 第4号 (1992) p.339

2) 黒川, 和泉, 鎌田, 大垣, 櫻田: CAMP ISIJ Vol.5(1996)