高強度ギヤ材開発

Development of High-performance Gear Materials

小長谷　大　樹*　　棚　橋　　努*　　田　仲　髙　志*
Daiki KONAGAYA　　Tsutomu TANAHASHI　　Takashi TANAKA

要　　旨

F1 ギヤボックス用のギヤ材として歯面疲労特性に優れる高ピッチングタフネス材と，歯曲がりタフネスに優れる高耐力材の２鋼種を開発した．合金成分組成の最適化によりピッチングタフネスの向上を図り，歯幅薄肉化により 740 gの軽量化に寄与した．またレース特有の過大入力による歯曲がりに起因する歯元疲労折損事象に対して，耐力値が 1900 MPa を超える高耐力ギヤ材を開発した．高耐力ギヤ材の適用により，2008 年からの４レース１ギヤボックスのレギュレーション変更において，長距離信頼性向上に貢献した．

ABSTRACT

Two types of steel, a high pitting-toughness material displaying excellent performance in relation to the gear tooth fatigue characteristic and a high yield strength material displaying excellent tooth bending toughness, were developed for use in Formula One gearboxes. Optimization of the alloy composition increased pitting toughness, contributing to the achievement of a 740 g weight saving by enabling the thickness of the gear teeth to be reduced. The high yield strength gear material displayed a yield strength in excess of 1900 MPa, and was developed to ameliorate the issue of tooth root fatigue damage originating in bending of the gear teeth under the excessive input forces characteristic of Formula One racing. From 2008, regulations were changed to stipulate the use of a single gearbox for four race events, and the new material contributed to the achievement of increased long-distance reliability.

１．はじめに

第３期 F1 の開発当初，BAR Honda F1 のギヤボックスには SNCM815VA 材相当の Xtrac 社製ギヤが適用された．しかし2001年，ファイナルドライブギヤに歯面ピッチングトラブルが頻発したことを契機に高ピッチングタフネスギヤ材のニーズが高まり，新ギヤ材の開発に着手した．

一方，レーススタート時に代表される，ギヤへの過大入力による歯曲がりも課題となった．2008 年からはレギュレーション変更により４レースイベント１ギヤボックスが義務付けられ，歯曲がりタフネス向上を目的とした高耐力ギヤ材の開発をおこなった．歯曲がりタフネス目標値は高ピッチングタフネス材比 20%向上，また 0.2%耐力目標値は 1900 MPa 以上（高ピッチングタフネス材比 40%向上）と設定した．

＊四輪R&Dセンター

Table 1　Chemical composition

(mass%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Conventional steel SNCM815VA	0.12-0.18	0.15-0.35	0.30-0.60	4.00-4.50	0.70-1.00	0.15-0.30
Developed steel LBHD-2E	0.30	1.50	0.35	2.00	1.50	0.75

２．高ピッチングタフネスギヤ材（LBHD-2E）の開発

2.1. 開発技術

歯面のピッチングタフネス向上のためには，高温時でもその表層硬度が低下（軟化）しないことが重要[(1)]となる．Si, Cr，Moの焼戻し軟化抵抗向上元素の含有量を最適化した成分組成を Table 1 に示す．また，歯面ピッチングの起

点となり得る介在物量を低減させるべく，製鋼工程としてはトリプルメルト工程を採用し，清浄度の高い材料仕様とした．

2.2. 性能効果

浸炭処理後に 300 ℃の熱履歴を加えた後の表面硬度プロファイルを Fig. 1 に示す．開発鋼である LBHD-2E は，従来鋼である SNCM815VA に対して硬度低下が抑制され，高温軟化抵抗が向上していることがわかる．

レースギヤを用いた歯面ピッチングテストの結果を Fig. 2 に示す．LBHD-2E は SNCM815VA に対し，寿命比で 2 倍以上のピッチングタフネスを有する．LBHD-2E は 2004 年よりレース投入され，ギヤ幅薄肉化による 740 g の軽量化を可能とした．

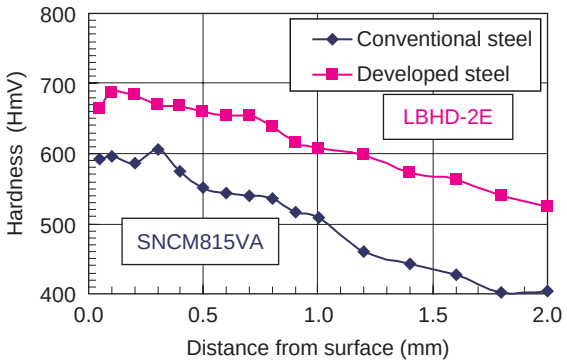

Fig. 1　Comparison of hardness profile of conventional and developed steel after 300 °C heating test

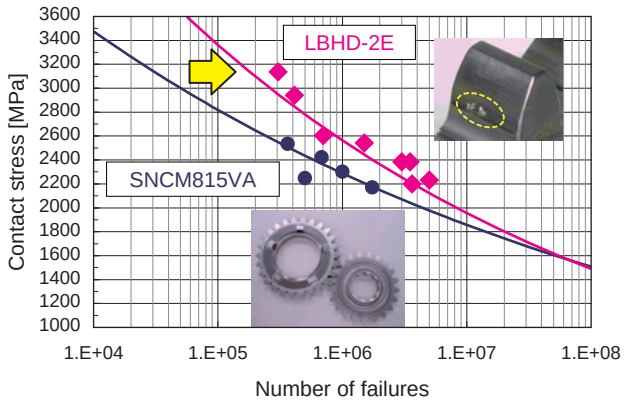

Fig. 2　SN diagram of gear tooth pitting

3．高耐力ギヤ材(250STF5)の開発

3.1. 開発技術

高耐力と高靭性のバランスおよび，浸炭による表層硬化が可能な材料として高 Si 鋼[2]をベース材とし開発した．C 量(基地の高硬度化)と Si 量(耐軟化抵抗向上)を高めたが，Si は粒界酸化を助長する特性もあることから浸炭方案としては真空浸炭を採用した．結晶粒径の粗大化を防止するために浸炭処理時にダイレクト焼入れし，温度条件の最適化を図った．開発鋼である 250STF5 の成分組成を Table 2 に，機械的特性を Table 3 に示す．0.2%耐力値は 2137 MPa で，目標の 1900 MPa 以上を達成した．

Table 2　Chemical composition

(mass%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Conventional steel LBHD-2E	0.30	1.50	0.35	2.00	1.50	0.75
Developed steel 250STF5	0.52	2.50	0.70	1.80	0.80	0.40

Table 3　Comparison of mechanical properties

			0.2% YS MPa	TS MPa	EL %	Core hardness
Conventional steel	1	SNCM815VA	1029	1308	18.6	42 HRC
	2	LBHD-2E	1332	1795	15.9	52 HRC
Developed steel		250STF5	2137	2493	6.5	59 HRC

3.2. 性能効果

一対のギヤでの歯曲がり試験による衝撃荷重と歯曲がり変形量を Fig. 3 に示す．従来鋼 LBHD-2E に比較して歯曲がり開始荷重が 19%向上した．

ギヤボックス実体による歯曲がりテストにおいても，歯曲がり開始荷重は入力トルク比で 24.8%向上していることを確認し，250STF5 は 2008 年よりレースに適用された．

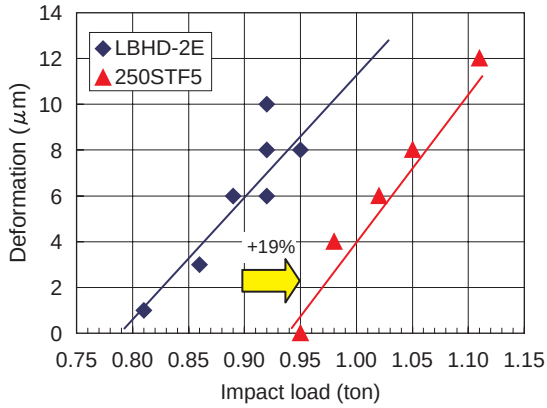

Fig. 3　Result of tooth bending test

4．結論

高ピッチングタフネス材を開発し，2004年にレシオギヤとしてレース適用した．ギヤ幅を 20%薄肉化し，ギヤボックス全体で 740 g 軽量化した．その後ファイナルギヤ，ドグリングへ適用を拡大し，ギヤの歯面ピッチングに対する信頼性向上に貢献した．

高耐力ギヤ材は，開発目標を上回る従来鋼比＋60%の耐力 2137 MPa を達成し，ギヤボックスとしての歯曲がり開始荷重を 24.8%向上させた．この材料は 2008 年開幕戦より１速ギヤおよびシャフトに適用され，４レースイベント１ギヤボックス使用のレギュレーション下において長距離信頼性向上に貢献した．

謝　辞

本テーマの推進にあたり，材料開発ならびに歯曲がりテストにおいて御協力頂きました大同特殊鋼株式会社に対し，感謝の意を表します．

参考文献

（1）羽生田智紀，中村貞行：耐高面圧歯車用DPG1の特性，電気製鋼，第 71 巻，第１号，p.59-64(2000)
（2）紅林豊，秦野敦臣：浸炭鋼の疲れ特性に及ぼす Si，V の影響，電気製鋼，第 67 巻，第１号，p.34-43(1996)

■著　者■

小長谷大樹

棚橋　努

田仲高志