

歯車用鋼材の技術動向と電動化への貢献

Technology Trends in Gear Steel and Its Contribution to Automotive Electrification

大同特殊鋼株式会社（非）*山崎 歩見

Ayumi Yamazaki

Daido Steel Co., Ltd.

1. はじめに

近年、地球環境やライフスタイルに大きな変化が生じており、産業界では100年に一度の大変革期と言われて久しい。CASE（Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric）というキーワードで象徴されるように、コネクテッド技術、自動運転、シェアリングサービス、電動化に関する技術革新や、それらを取り巻く環境変化が同時に起こっている。また、日本政府は2020年に、『2050年カーボンニュートラル（CN）実現』を宣言しており、これを踏まえ、経済産業省が中心となり『2050年CNに伴うグリーン成長戦略』を策定した。自動車業界においても、HEV・PHEVや電気自動車への置き換えが急激に進んでいる。

自動車で使用される歯車を始めとする動力伝達部品は、一般的に熱間鍛造で製造され、機械加工で歯切りをおこなう、表面硬化処理としてガス浸炭処理が施される¹⁾。歯車には高い耐久性と生産性が求められるため、これまで多くに研究・開発がおこなわれてきた²⁾。最近では、前述した大きな環境変化にともない、歯車用鋼に対しても種々の新たな特性が求められ、研究・開発が積極的におこなわれている。本報では、歯車用鋼のこれまでの研究・開発を振り返るとともに最新の技術動向を概説する。

2. 歯車の損傷形態と必要特性

歯車は、その形状や使用環境によって負荷される応力状態が大きく異なるため、様々な損傷形態が存在し、大別すると、歯元の破壊損傷と歯面の破壊損傷に分けられる³⁾。歯元損傷は、衝撃的な荷重による衝撃破壊（脆性破壊）と繰返し荷重による疲労破壊に大別されるが、いずれも歯底部に作用する曲げ応力によって生じる破壊である。これに対して、歯面損傷は、歯面の接触による面疲労現象によって生じるものであり、ピッチング、スポーリング、ケースクラッシング、スコーリング、摩耗などの損傷に区分される。これらの損傷は、歯面が接触する際の相対すべり速度と負荷面圧によって変化し、いずれかの強度が改善されると損傷形態は他の形態に変化することになる。

3. 歯元強度に関する技術動向

幅広く普及しているガス浸炭処理をおこなった歯車の最表面硬さは、少し内部の浸炭層に比較し、低い傾向にある。これはガス浸炭処理雰囲気中に酸素が存在することに起因する。すなわち、鋼材中に含有しているSi, Cr, Mnなどの合金元素が雰囲気中酸素と結合し酸化物を形成し、酸化物周辺の焼入れ性が低下した結果、硬質なマルテンサイト組織が得られず、不完全焼入れ組織を生じる。これにより表層近傍硬さが低下し、歯元強度が低下する場合がある。これらの知見から、Fig1に示すように鋼材成分を最適に制御することにより、酸化物や不完全焼入れ組織形成を抑制し、強度向上を可能とした鋼材が開発されている⁴⁾。

4. 歯面強度に関する技術動向

歯面損傷の一つであるピッチングは、歯面の局所的な剥離損傷である。歯面同士が接触する際、面圧負荷、転動、摩耗により接触面で温度上昇が生じる。この事象から、発熱環境下における疲労強度が耐ピッチング性に影響すると報告されている⁴⁾。Fig2に発熱環境下における疲労強度の指標である300℃焼戻し硬さと試験片ベースのピッチング寿命の関係を示すが、正の相関関係を有していることがわかる。これらの知見を活用し、鋼材成分を最適化することで300℃焼戻し硬さを向上させた開発鋼についても報告されている⁵⁾。

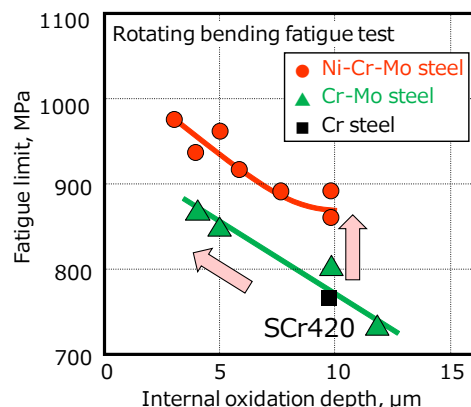


Figure1 Influence off intergranular oxidation depth on fatigue strength⁴⁾.

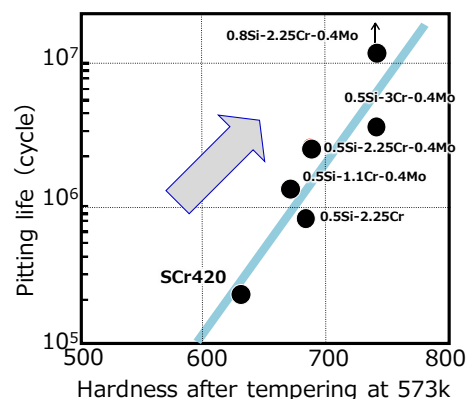


Figure2 Relationship between pitting life and hardness after tempering at 573K⁴⁾.

5. 電動化ニーズに対応する技術動向

前述したように、近年、環境問題を背景として、HEV,PHEV を含む電動車が急速な広がりを見せている。これまではエンジンを動力源とし、各種変速機を介してタイヤへと動力伝達をおこなう方式が主流であったが、モータ、インバータ、減速機を一体化させた e-Axle が新たな駆動方式として注目されている。e-Axle に使用されるモータは軽量化やレアアース使用量低減のため、小型化が要求されている。その場合、必要な出力を確保するにはモータを高回転化する必要がある、これは減速機歯車が高回転化することを意味する。また、高効率化も求められており、摺動損失低減を志向した低粘度潤滑油の研究・開発も活発である⁶⁾。歯車高回転化や低粘度潤滑油使用により、減速機に使用される歯車は従来よりも過酷な摺動環境に晒される可能性が指摘されており、対応可能な技術開発が必要とされている。一例を Fig3 に示すが、自動車用動力伝達技術研究組合 (TRAMI) では、50,000rpm 超のモータ超高回転化に関する研究をおこなっており、当該技術の課題バラシについて報告されている⁷⁾。チャレンジングなテーマ設定であるため、非常に多くの課題があるが、本報では減速機歯車の特に強度に関わる課題の一部を抜粋して以下に示す。また、鋼材に求められる推定特性も併記する。



目標を達成する為の抽出した課題に対し研究を実施していく

Figure3 Technical issues identified by TRAMI⁷⁾

- (1) 歯車径 UP (減速機重量増) → 歯車小型化 (歯車高強度化)
- (2) 歯面すべり増加による発熱 (局所発熱) → 軟化抵抗特性 (耐発熱性)
- (3) 歯面潤滑 (潤滑困難) → 耐焼付性

歯車高強度化に寄与する技術として、ショットピーニング (以下、SP) を活用した技術を報告されている。SP は、硬質微粒子を高速で歯車表面に衝突させ、対象物を塑性加工により強化する手法である。鋼材・表面硬化熱処理・SP を適切に組み合わせることにより、特に曲げ疲労強度の観点で従来鋼対比大幅な特性向上が可能と報告されている⁸⁾。また、軟化抵抗特性に対応する技術として、浸炭浸窒処理技術が報告されている。表面硬化処理として広く使用される歯車に炭素を導入する浸炭処理に対して、浸炭浸窒処理は炭素に加えて窒素を導入する処理である。窒素を活用することで、摺動面がより高温状態で軟化しにくい特性を付与することができ、面疲労強度を向上させることが可能である⁹⁾。小田ら¹⁰⁾は、貧潤滑環境下で耐焼付性を向上させるため、鋼材・軟窒化処理を活用した技術を報告している。30,000rpm 相当の摺動環境を再現した実歯車を用いた試験をおこなっており、従来鋼対比 2 倍以上の耐焼付性を有する技術が報告されている。

6. おわりに

本報では、環境に関する規制や動向の変化に伴い、進化を続ける歯車用鋼や表面熱処理や後加工に関する技術動向の概要を紹介した。現在進行形で各社、ユーザーニーズや社会的ニーズに対応できるよう技術開発を継続している。当日の講演では、紙面の関係上割愛した各技術の詳細について報告する。

文献

- 1) 井上：浸炭処理用鋼の最近の研究開発動向，電気製鋼，90，2(2019)79.
- 2) 大林：歯車のものでづくりの現状と将来，特殊鋼，68，(2019)19.
- 3) 社団法人日本機械学会：歯車損傷図鑑，(2006)25,74.
- 4) 羽生田：大同の歯車用肌焼鋼，電気製鋼，73，1(2002)73.
- 5) 山崎：真空浸炭用鋼「DEG®鋼」，素形材，65，3(2024)11.
- 6) 新吉：電動化に貢献するパワートレーン潤滑技術，TOYOTA Technical Review，69，2(2024)39.
- 7) TRAMI：2023 年公開フォーラム報告資料，(2023)16.
- 8) 大同特殊鋼：高疲労強度歯車のための「DASP®」，電気製鋼，81，2(2010)165.
- 9) 大同特殊鋼：面疲労/曲げ疲労強度に優れた浸炭浸窒用鋼，電気製鋼，96，1(2025)61.
- 10) 小田：貧潤滑環境下での耐力を向上させる歯車材料・工法の開発，JSAE 中部支部研究発表会，(2023).