

シェービング浸炭焼入れ歯車の歯面損傷に関する研究

宮崎大学(院)○山本順平, 宮崎大学 中西 勉, 宮崎大学 鄧 鋼

要 旨

シェービング浸炭焼入れ歯車の長期運転に伴う歯面損傷状況について, 動力循環式歯車試験機を用い考察・検討した. その結果, 高負荷条件下において, ピッチングの起点や歯形の変化の原因となる歯面くもりが生じること, 歯面くもりは, 歯形方向の拡大に比べ歯すじ方向の拡大が大きいこと, 歯面くもりは, 繰返し数 10^8 以降の長期運転でもさらに拡大する傾向にあること, などがわかった. したがって, 浸炭焼入れ歯車の長期使用において, 歯面くもりの防止策を検討する必要がある.

1. まえがき

歯車の設計技術において, 歯面強さ計算式の寿命係数には材料・熱処理などが影響し, 条件によっては, 総かみ合い回数(以下, 繰返し数) 10^9 まで考慮⁽¹⁾ するようになっている. また, 歯車の運転技術において, 長期運転, すなわち, 繰返し数の増加は, 資源有効利用の観点から促進されるところである. そこで本研究では, 動力循環式歯車試験機を用いて, 動力伝達用歯車として用いられるシェービング浸炭焼入れ歯車を繰返し数 10^8 まで負荷運転し, その歯面状況の変化を考察・検討した.

2. 試験歯車および実験装置

2.1 試験歯車 試験小歯車と試験大歯車は, 平歯車(モジュール: 2.5, 圧力角: 20°)で, 歯数が 23 枚と 45 枚, 歯幅が 16 mm と 10 mm (有効接触歯幅 10 mm) である. なお, 試験歯車の加工工程は, いずれも肌焼き鋼(JIS SCM420)の角材を丸材に鍛造し, 機械加工でギヤブランクに製作後, ホブ切り・シェービング仕上げ・浸炭焼入れ焼戻し・歯部を除く研削仕上げとし, 加工後における全歯形誤差⁽²⁾ は, 4 級程度, 全歯すじ誤差⁽²⁾ は, 4~6 級程度であった. また, 歯面硬さと有効浸炭深さは, 550 HV と 0.8 mm 程度で, 歯形方向の歯面粗さは, 2~4 μmRy ⁽³⁾ であった.

2.2 実験装置 実験装置には, 試験小歯車と試験大歯車の回転軸の中心間距離が 85 mm で, 最大循環動力が 3.7 kW の動力循環式歯車試験機を用いた. また, 潤滑油には, 極圧添加剤を含まない ISO VG100 鉱油(密度: $0.8855 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 粘度: $99.40 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (313K), $11.12 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (373K))を用い, 強制循環給油法を適用し, 歯車対のかみ合い部直上から噴射供給することとした.

3. 実験条件および実験方法

3.1 実験条件 実験条件は, 小歯車の回転数 n_p を $n_p = 1780 \text{ m}^{-1}$, 供給潤滑油の油温 t_{oi} と油量 W_{oi} を $t_{oi} = 313 \pm 1 \text{ K}$ と $W_{oi} = 33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ とし, 基準準上での接線力 F_t を設計の歯面強さ計算式で用いられている材料の許容最大接触応力 σ_{Hlim} を参考にしてピッチ点における最大接触応力 σ_H ⁽¹⁾ が $\sigma_H = 1.4 \text{ GPa}$ になるように $F_t = 2.66 \text{ kN}$ (設定接線力) とした.

3.2 実験方法 実験は, 歯面の熱的損傷(スカッフイン)を防止するためなどから, 負荷を段階的に数分間毎に増した後, 設定負荷で, 小歯車の繰返し数 $N_p = 1.0 \times 10^8$ まで実施した. なお, 運転状況については, 運転中における実験装置の排出油・かみ合い部飛散油・軸受部・歯車の歯先面に付着する油膜の温度などを連続的に測定・記録した. また,

負荷の繰返しに伴う騒音の変化並びに歯車の状況については, 適時の繰返し毎に普通騒音計並びに単眼レンズと画像処理装置・デジタルマイクロスコープを用い測定・記録した.

4. 実験結果

4.1 実験結果の概要 表 1 に, 実験条件と結果の概要を示す. 表 1 などから, 一定の設定負荷・供給油温・油量・回転数の運転中において, 運転状況を示す実験装置の騒音並びに排出油・かみ合い部飛散油・軸受部・かみ合い部飛散油・歯車の歯先面に付着する油膜などの測定温度は, 繰返し数 $N_p = 1.0 \times 10^8$ まで特に大きな変動は認められないことがわかった. 一方, 歯車の状況は, 運転を中止する重大な損傷の折損やスカッフインは生じず, 歯面において微小き裂や微小ピットの集まりの歯面くもり⁽⁴⁾ が試験小歯車と試験大歯車の両者に生じることがわかった.

4.2 歯面状況の推移 図 1 に, 試験小歯車における運転後の代表的な歯面状況を示す. また, 図 2 に, 試験小歯車における負荷の繰返しと歯面くもり領域の長さの割合との関係を示す. ここで, 歯面くもり領域の長さの割合は, 連続的に観察している複数の歯面から求めた. 具体的には, 観察歯面において, 歯面くもり領域の歯形方向の長さの割合と歯すじ方向の長さの割合 G_p と G_T は, それぞれ $G_p = \ell_p / L_p$ と $G_T = \ell_T / L_T$ ($\ell_p \cdot \ell_T$: 歯面くもり領域の歯形方向長さ・歯すじ方

Table 1 Experimental conditions and results of gear test

Test gear	Pinion	Gear
Tooth surface-finishing method	Shaving	
Heat treatment	Carburizing, quenching & tempering	
Tooth profile error F_α	μm	3 ~ 7 (15)
Lead error F_β	μm	3 ~ 9
Tooth surface hardness HV	550 (800 at 0.02mm)	
Initial tooth surface roughness along tooth profile R_{yI}	μm	
Lubricant	ISO VG100	
Inlet oil temperature T_{oi}	K	
Tangential Force F_n	kN	
(Max. Hertzian stress on pitch point σ_H)	GPa	
Speed of rotation n	m^{-1}	1780
Cycles run N		1.0 × 10 ⁸
Outlet oil temperature during running T_{oo}	K	
Tooth surface failure	Grey-staining	Grey-staining

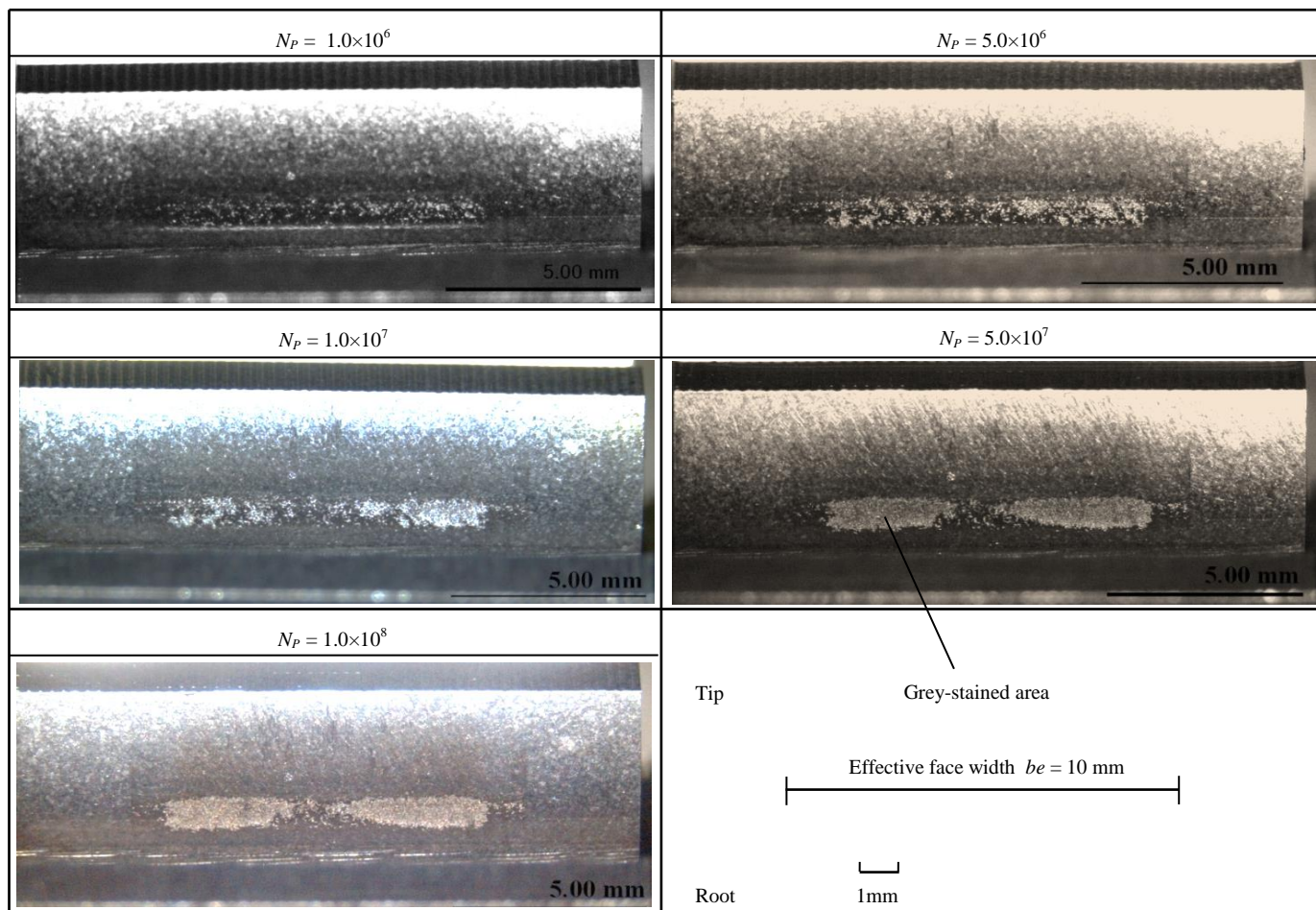


Fig.1 Microscope photographs of tooth face (pinion, $\sigma_H = 1.4$ GPa, $N_p = 1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^8$)

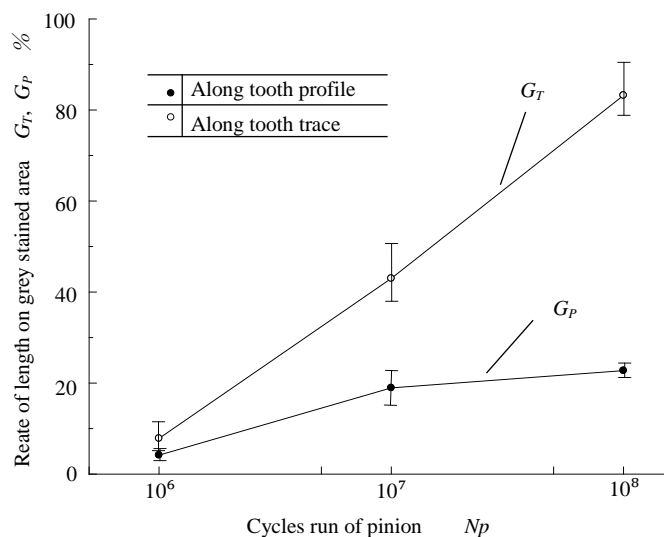


Fig.2 Relation between cycles run and rate of length on grey-stained area (pinion, $\sigma_H = 1.4$ GPa, $N_p = 1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^8$)

向長さ、 $L_p \cdot L_T$ ：かみ合い始めから歯先までの歯形に沿う長さ・有効接触歯幅から求めた。図1・図2などから、試験小歯車において、繰返し数 $N_p = 1.0 \times 10^6$ の早い時期から歯元面に歯面くもりが生じ、負荷の繰返しでその領域が拡大していること、歯形方向の拡大に比べ歯すじ方向の拡大が大きき繰返し数 $N_p = 1.0 \times 10^7$ 以降も拡大の傾向にあることがわ

かった。また、試験大歯車において、試験小歯車の歯面くもり領域に対応するかみ合い部付近に歯面くもりが生じていることがわかった。なお、これらの現象は、歯車対の歯当たり並びにかみ合い状況と関連が深いものと考えられる。

5. まとめ

シェービング浸炭焼入れ歯車の長期運転に伴う歯面損傷状況について、動力循環式歯車試験機を用い考察・検討した。その結果、高負荷条件下において (1) ピッチングの起点や歯形の変化の原因となる歯面くもりが生じること、(2) 歯面くもりは、歯形方向の拡大に比べ歯すじ方向の拡大が大きいこと、(3) 歯面くもりは、繰返し数 10^8 以降の長期運転でもさらに拡大する傾向にあること、などがわかった。したがって、浸炭焼入れ歯車の長期使用において、歯面くもりの防止策を検討する必要がある。

終わりに、九州武蔵精密株式会社並びに宮崎大学産学連携センターと工学部ものづくり教育実践センター・機械システム工学科の各位のご援助・ご協力に対し感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本歯車工業会規格、平歯車及びはすば歯車の歯面強さ計算式 JGMA6102-02, (2009), pp.1-29, 日本歯車工業会。
- 2) 日本工業規格、円筒歯車-精度等級 第1部：歯車の歯面に関する誤差の定義及び許容値 JIS B 1702-1-1998, (1998), pp.1-29, 日本規格協会。
- 3) 日本工業規格、表面粗さ-定義及び表示 JIS B0601-1994, (1994), pp.1-20, 日本規格協会。
- 4) たとえば、中西 勉・有浦泰常・上野 拓, 日本機械学会論文集 (C編), 52巻, 第477号 (1986-5), 1649-1655。