

# S1101-1-5 浸炭歯車の加工と性能に関する基礎研究

(面圧強さに及ぼす鏡面仕上げの効果)

## Manufacture and Performance of Case-Carburized Gears (Effect of Mirror Polishing on Surface Durability)

○正 中西 勉 (宮崎大) 学 ティラフン ダニエル レッダ (宮崎大院)  
飯干 雄偉 (宮崎大) 正 鄧 鋼 (宮崎大)

Tsutomu NAKANISHI, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen Kibanadai-nishi, Miyazaki-shi, Miyazaki 889-2192  
Daniel Tilahun REDDA, Graduate School, University of Miyazaki  
Yuui IIBOSHI and Gang DENG, University of Miyazaki

In order to improve the load-carrying capacity of case-carburized gears, the effect of mirror polishing on surface fatigue of rolling-sliding contact was investigated. Case-carburized test rollers were finished by cylindrical grinding machine after the heat treatment. The ground surface of test rollers was finished by hand finishing with the abrasive paper and the buff. Next, the surface durability of test rollers was examined by using a 2-roller-type fatigue testing machine. For test rollers with the mirror polished surface, the following results are obtained: The rise of surface temperature during running is low. The number of pits decreases. The pitting fatigue life is longer under the heavy load conditions. The value of the endurance limit of the surface durability becomes higher. From these results, it is found that the tooth surface should be finished as smooth as possible to obtain the higher load-carrying capacity of case-carburized gears.

*Key Words* : Case-Carburized Gears, Roller, Polishing, Surface Texture, Surface Durability

### 1. まえがき

筆者らは、自動車などの駆動系伝達装置に用いられている浸炭焼入れ歯車の歯面強さを対象として、これまでに円筒試験片を用いて、浸炭焼入れ鋼の表面性状と転がり滑り接触面の運転に伴う表面温度の上昇並びに表面損傷の状況との関連<sup>(1)</sup>を検討してきた。本報では、浸炭焼入れ歯車の高強度化(小型・軽量化)を目的として、転がり滑り接触面を鏡面仕上げした場合の面圧強さを調べた。具体的には、研削仕上げと鏡面仕上げした二種類の浸炭焼入れ焼戻し円筒試験片について、高負荷条件下で二円筒面圧疲労実験を実施し、負荷と負荷の繰返しに伴う接触面の表面温度の変化と発生する運転騒音の変化並びに表面損傷の状況を詳細に調べ、転がり滑り接触面の面圧強さに及ぼす鏡面仕上げの効果を検討した。

### 2. 円筒試験片の形状と加工工程

**2.1 円筒試験片の形状および寸法** 円筒試験片は、中空円筒形状で、負荷時の有効接触幅の確保のため、外周断面形状の異なる低速側円筒試験片と高速側円筒試験片の二種類<sup>(2)</sup>がある。また、円筒試験片の寸法は、外径 70 mm、内径 45 mm、軸方向長さ 28 mm である。

**2.2 円筒試験片の加工工程および接触面の仕上げ** 円筒試験片の加工工程は、浸炭鋼(JIS G4105 SCM420 相当品)を焼なまし・試験片の形状切削加工・浸炭焼入れ焼戻し(表面硬さ: 765HV(63HRC)程度、有効浸炭深さ: 約 1.2 mm)・試験片の内研加工・外研加工とした。また、円筒試験片の接触面は、まず、円筒研削盤を用い、歯車歯面のシェービング加工面の粗さを想定して、最大高さ 4.0  $\mu\text{mR}_{\text{max}}$  (JIS B0601-1982)・3.5  $\mu\text{mR}_{\text{y}}$  (JIS B0601-1994) 程度になるように、仕上げ研削した(以下、研削円筒試験片と略称)。次に、

研削円筒試験片を旋盤と筆者らが設計製作した表面仕上げ専用専用ジグを用い、研磨紙(#3000 エミリー紙)とバフ並びに遊離砥粒(0.3 $\mu\text{m}$  アルミナ懸濁液)により手仕上げで鏡面仕上げした(以下、鏡面仕上げ円筒試験片と略称)。なお、鏡面仕上げ円筒試験片の表面粗さは、滑らかな 0.5~1.1  $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ ・0.4~0.8  $\mu\text{mR}_{\text{y}}$  であった。

### 3. 面圧疲労実験の実験装置と実験方法

**3.1 面圧疲労実験の実験装置** 二円筒面圧疲労実験には、高負荷用二円筒面圧基礎試験機<sup>(2)</sup>(最大負荷: 50 kN, 低速側円筒試験片と高速側円筒試験片の滑り率並びに回転数: -21.3%と17.6%並びに 2630 rpmと 3190 rpm, 滑り速度: 2.05 m/s)を用いた。また、円筒試験片の接触面への潤滑油は、極圧添加剤を含まない鉱油(ISO VG100, 密度: 0.8855 $\times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, 粘度: 99.40 $\times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s(313K), 11.12 $\times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s(373K))を用い、過酷な運転状況を想定して、給油温度を 338 $\pm 1$  K(算定粘度: 32 $\times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s)で、油量を一定の 33 $\times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/sとした。

**3.2 面圧疲労実験の実験方法** 二円筒面圧疲労実験は、無負荷で一定時間運転後、負荷を徐々に上昇し、設定の負荷一定(接触面法線荷重:  $F_n = 15.92 \cdot 18.94 \cdot 22.23$  kN, 最大接触応力:  $\sigma_H = 2.16 \cdot 2.35 \cdot 2.55$  GPa)で、負荷の繰返し条件が低速側円筒試験片の繰返し数  $N_2 = 1.0 \times 10^7$  時点まで、もしくはこれまでの経験から実験中の試験機の騒音レベルが 90dB を超えた時点までとした。なお、円筒試験片における負荷と負荷の繰返しに伴う接触面の表面温度と発生する騒音は、接触式熱電対と普通騒音計により連続的に記録・解析した。また、円筒試験片における接触面の表面損傷の状況は、適時に画像解析装置付実体顕微鏡により観察し記録・解析し、接触面の断面形状の変化は、触針型表面粗さ計により計測・解析した。

Table 1 Experimental conditions and results of roller tests (low-speed rollers)

Test No.	Type	Initial surface roughness $R_o$ $\mu\text{m Rmax}$ ( $\mu\text{m Ry}$ )	Normal load $F$ kN (Max. Hertzian stress $\sigma_H$ GPa)	Surface temperature during running $T$ K <sup>(*)1</sup>	No. cycles $N_2$	Surface fatigue after running	
						Number of small pits	Number of pits
						( $0.1 \leq d < 0.3$ ) <sup>(*)2</sup>	( $0.3 \leq d$ ) <sup>(*)3</sup>
RT-01	Ground rollers	4.0 (4.0)	15.92 (2.16)	460 ~ 535	$1.0 \times 10^7$	214	0
RT-02		3.5 (3.0)	18.94 (2.35)	495 ~ 545	$0.36 \times 10^7$ <sup>(*)4</sup>	20	1 (Severe pit) <sup>(*)5</sup>
RT-03	Mirror polished rollers	0.6 (0.5)			455 ~ 475	$1.0 \times 10^7$	0
RT-04	Ground rollers	0.8 (0.8)	22.23 (2.55)	480 ~ 500	$1.0 \times 10^7$	0	0

(\*)1 : Temperature of lubricating oil : 338 K, (\*)2 : Measured area  $S_s = 7.0 \text{ mm} \times 109.9 \text{ mm}$

(\*)3 : Measured area  $S_p = 7.0 \text{ mm} \times 219.8 \text{ mm}$ , (\*)4 : Severe pit occurred, (\*)5 : Area of severe pit  $S_s = 20.22 \text{ mm}^2$

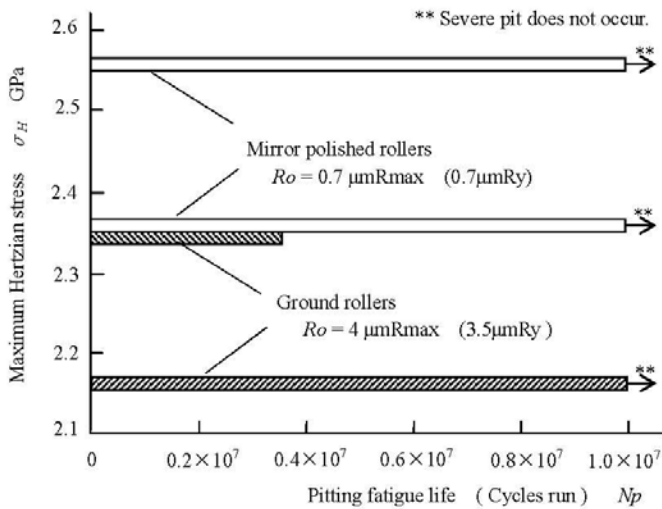


Fig. 1 Relationship between max. Hertzian stress and pitting fatigue life

#### 4. 実験結果の概要および面圧強さ

**4.1 実験結果の概要** 表1に、二円筒面圧疲労実験の条件と結果の概要(表面損傷の多い負のすべり率の低速側円筒試験片)を示す。なお、表1において、負荷と負荷の繰返しで生じた表面疲れは、ピットの表面積に等しい面積を持つ円の直径  $d$  mm を導入して、実体顕微鏡で計測可能な  $0.1 \leq d < 0.3$  の小ピットと  $0.3 \leq d$  のピットに区分し、観察領域で生じたそれぞれの個数で表示した。表1などから、本実験条件の範囲において、研削円筒試験片の場合に比べ、鏡面仕上げ円筒試験片の場合、運転中の接触面の表面温度が明らかに低いこと、接触面の損傷が少ないことなどがわかった。なお、ピットの発生状況は、転がり滑り接触面の突起部が受ける負荷と負荷の繰返しと温度上昇に起因する表面強さの低下<sup>(3)</sup>並びに潤滑油の粘度低下に伴う油膜形成状態の劣化に関連するものと思われる。

**4.2 ピッチング疲れ寿命** 図1に、二円筒面圧疲労実験で得られた負荷とピッチング疲れ寿命の関係を示す。なお、図1におけるピッチング疲れ寿命は、破壊性ピットが生じる繰返し数(二円筒面圧基礎試験機の振動が大きくなり、運転騒音が90 dBを超え、運転を中止した繰返し数)とした。図1などから、同一材料・同一熱処理・同一潤滑油の条件下において、ピッチング疲れ寿命は、明らかに円筒試験片の接触面の仕上げに影響され、鏡面仕上げによりピッチング疲れ寿命が長くなることがわかった。

**4.3 面圧強さ** 負荷の繰返し数  $N_2 = 1.0 \times 10^7$  において、破壊性ピットが生じない限界の許容接触応力を面圧強さ  $\sigma_{Hlimit}$  と定義すると、図1から、研削円筒試験片の場合  $\sigma_{Hlimit} = 2.16 \sim 2.35$  GPa となり、鏡面仕上げ円筒試験片の場合  $\sigma_{Hlimit} > 2.55$  GPa となることがわかった。したがって、約  $4 \mu\text{mRmax}$  の接触面を  $0.7 \mu\text{mRmax}$  に鏡面仕上げすることによって、面圧強さ  $\sigma_{Hlimit}$  が約1.2倍向上すること、法線荷重  $F_n$  と最大接触応力  $\sigma_H$  の関係から、接触幅  $b$  を一定と仮定すると許容伝達荷重は1.5倍向上すること、法線荷重  $F_n$  を一定と仮定すると接触幅  $b$  は約70%程度となり、高強度化(小型・軽量化)が可能であることを示している。

#### 5. まとめ

浸炭焼入れ歯車の高強度化(小型・軽量化)を目的に、面圧強さに及ぼす鏡面仕上げの効果を二円筒面圧疲労実験で調べた。その結果、仕上げ前の約  $4 \mu\text{mRmax}$  の接触面に比べ、 $0.7 \mu\text{mRmax}$  程度に接触面を鏡面に仕上げた場合、

- (1) 運転中の表面温度の上昇が少ないこと(同一負荷の場合、約10%減少)、
  - (2) 表面疲れ(ピット)の発生個数が減少すること(明確な減少)、
  - (3) ピッチング疲れ寿命(破壊性ピットが生じる繰返し数)が長いこと(同一負荷の場合、約3倍増加)、
  - (4) 面圧強さ(繰返し数  $1.0 \times 10^7$  において破壊性ピットが生じる許容接触応力)が高くなること(約1.2倍増加)、
- などが定量的にわかった。したがって、歯車歯面を鏡面仕上げすることで、同一材料・同一熱処理の浸炭焼入れ歯車の高強度化(小型・軽量化)が可能を見通しを得た。

終わりに、株式会社住友金属小倉・新日本石油株式会社並びに宮崎大学工学部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。

#### 文献

- (1) たとえば、Tsutomu NAKANISHI, Daniel Tilahun REDDA, Gang DENG, Proceedings of The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions (MPT2009), Sendai, JAPAN, (2009-5), No.09-203, 350-355.
- (2) たとえば、Tsutomu NAKANISHI, Takashi TAKEUCHI, Gang DENG, Proceedings of The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions (MPT2001), Fukuoka, JAPAN, Vol. I, (2001-11), 255-260.
- (3) たとえば、Daniel Tilahun REDDA, Tsutomu NAKANISHI, Gang DENG, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing, Vol.3, No.1(2009-3), 85-92.