904 幅広歯車の歯面温度分布及び歯元応力分布

Tooth Surface Temperature and Tooth Root Stress of Gear with Large Tooth Width

正 永村 和照 (広島大) 正 池条 清隆 (広島大)
 正 田中英一郎 (広島大) ○学 山口 浩平 (広島大院)
 横山 文彦 (IHI) 尾形 秀樹 (IHI)
 中島 隆 (IHI)

Kazuteru NAGAMURA, Hiroshima University, 1-4-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8527

Kiyotaka IKEJO, Hiroshima University

Eiichirou TANAKA, Hiroshima University

Kouhei YAMAGUCHI, Graduate School of Hiroshima University

Fumihiko YOKOYAMA, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

Hideki OGATA, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

Takashi NAKAJIMA, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

Key words: Gear, Large Tooth Width, Tooth Surface Temperature, Tooth Root Stress

1. 緒 言

歯車伝達装置は効率よく動力を伝達できるため、多くの機械で重要な装置として使用されている。歯車の主な損傷の中にスコアリング、ピッチングなどの歯面損傷があり、これらの歯面損傷は歯車の温度や歯にかかる荷重によって影響を受ける。特に歯幅の広い歯車では、荷重分布が歯幅方向で均一でないため、高負荷がかかる部分において温度が上昇しやすく、歯面損傷が起こりやすいと考えられる。これらの歯面損傷を防ぎ、歯車を正常に運転させるためには、熱変形を考慮した歯当たりの予測が必要となる。そのため歯車の歯の温度分布の状況を解明することは重要であり、様々な歯の温度分布に関する研究がされている⁽¹⁾⁽²⁾。そこで本研究では、歯幅の広い平歯車を使用し、歯面滑り速度に影響する歯車回転速度と、摩擦力に影響を及ぼす歯面法線荷重(負荷トルク)を変化させて歯車の歯すじ方向の温度分布および歯元応力分布について測定を行い検討した。

2. 実験方法

実験装置には動力循環式歯車試験機を用いた。試験歯車は標準並歯インボリュート歯形で、モジュール $m=4$ mm, 圧力角 $\alpha=20^\circ$, 歯幅 54 mm の幅広平歯車を使用した。歯車は大歯車が歯数 40 枚、小歯車が歯数 18 枚で一对をなす。歯の歯すじ方向温度分布の測定では、T 型の熱電対を使用した。熱電対の取り付け位置は、歯厚方向位置が歯厚の真中、歯たけ方向位置がピッチ点付近とし、歯すじ方向位置は、図 1 に示すように、歯車の連続する 3 枚の歯に、側面から 44 mm (No. 1), 27 mm (No. 2), 10 mm (No. 3) の穴を開け、熱電対を差し込むことにより行った。また歯車の歯元に、歯すじ方向に 3ヶ所、かみ合い歯面の裏側(圧縮側)に貼り付けたひずみゲージ(図 1)によって歯元応力の測定を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 歯車回転速度と歯の温度の関係

図 2 に、負荷トルク 160 N・m のときの歯車回転速度と大小歯車の歯の温度の関係を示す。小歯車、大歯車とも歯車回転速度の増加にともない、歯の温度が上昇していることがわかる。負荷トルクと歯の温度の関係は図には示していないが、負荷トルクに比べ歯車回転速度の影響が大きく、これは歯車の歯面が滑り接触する際の滑り速度が大きくなり、歯面間の摩擦熱が増加したためと考えられる。

Fig. 1 Arrangement of thermo couples and strain gauges

(a) Pinion

(b) Wheel

Fig. 2 Effect of gear speed on tooth temperature

3・2 大小歯車の歯の温度差の関係

図3に、負荷トルク $160 \text{ N} \cdot \text{m}$ のときの歯車回転速度と大小歯車の歯の温度差の関係、および歯車回転速度 1800 rpm のときの負荷トルクと温度差の関係を示す。ここで温度差の値は、大歯車を基準としている。歯車回転速度と温度差の関係の図3(a)より、低回転速度の領域では、大歯車の方が小歯車よりも温度が高く、高回転速度の領域では、小歯車の方が大歯車よりも温度が高くなっていることがわかる。かみ合い回数から考えると、一般に、全ての速度領域において小歯車の方が、大歯車よりも温度が高くなると予想できる。しかし、低速度領域で小歯車の歯の温度が大歯車よりも低いのは、小歯車の方が大歯車に比べて歯部と軸が近く、軸を通して熱を放出する割合が歯に熱を蓄える割合よりも多かったためと考えられる。次に、負荷トルクと温度差の関係を示した図3(b)より、負荷トルクが増加すると温度差が大きくなっていることがわかる。これは、負荷トルクが大きくなれば一度のかみ合いで発生する熱が大きくなり、単位時間がかみ合う回数が小歯車の方が多くなるため、温度差が大きくなったものと考えられる。

3・3 歯の温度の計算値と実験値の比較

図4に、大小歯車の歯すじ位置中央 (No. 2) での歯の温度の計算値と実験値を示す。計算値は熱源として、歯面かみ合い摩擦と潤滑油の加速仕事を考慮し、有限要素法を用いて計算している。図より、大歯車では計算値と実験値がほぼ同じ値となっていることがわかる。一方、小歯車については、傾きはほぼ同じであるが、全ての回転速度領域において実験値の方が計算値よりも小さな値となっている。これは、小歯車の方が軸などを通して放熱の影響が大きいためと考えられる。

4. 結 言

歯すじ方向の歯面温度分布、および歯元応力分布の測定を行い、以下の結果を得た。なお、本論文では、紙面の都合上歯元応力分布の結果および考察は記載していないが、それらの結果についてもまとめて以下に示す。

1. 歯車の歯の歯すじ方向温度分布は、歯にかかる歯面法線荷重と関係があり、歯面法線荷重が増加すれば温度が高くなる。したがって、歯すじ方向の歯元応力分布と歯の温度分布には関連性があり、歯すじ温度分布を調査するのに歯元応力分布を知ることは、大変重要である。
2. 歯車の歯の温度変化は、歯車回転速度と歯面法線荷重に大きく影響され、回転速度、歯面法線荷重の増加に伴い、温度も上昇する。
3. 本実験条件において、低回転速度領域では小歯車よりも大歯車の方が歯の温度が高くなり、高回転速度領域では小歯車の方が大歯車よりも歯の温度が高くなった。また、負荷が増加するにしたがい、大歯車と小歯車の温度差が増加していくことを確認した。

文 献

- (1) Deng Gang・丸山昇・森川邦彦・人見宣輝・加藤正名, 熱電対による平歯車の歯面温度測定, 日本機械学会論文集, **60**-570, C(1994), 675-679.
- (2) Yi Jia, Pablo D. Quinones, "Gear Surface Temperature Monitoring", ASME Paper No. DETC2003/PTG-48128.

Fig. 3 Difference of tooth temperature of pinion from wheel

Fig. 4 Comparison between calculation and experimental tooth temperatures