21516 交差二円筒の面圧強度に関する研究

Bearing Strength of Skew Cylinders

○ 学 金丸真也 (木更津高専・専攻科) 正 高橋秀雄 (木更津高専)
正 高橋美喜男 (木更津高専)

Shinya KANAMARU, Kisarazu National College of Technology
2-11-1.Kiyomidai-Higashi, Kisarazu 292-0041
Hideo TAKAHASHI, Kisarazu National College of Technology,
Mikio TAKAHASHI, Kisarazu National College of Technology

The meshing of the crossed helical gears is theoretically considered to be a kind of point contact. The contact brings big power loss and frequent wearing. So, it is used as a motion transmission because of the small load capacity and the low efficiency. However, it may be perform the power transmission, if the contact area of the crossed helical gears increases according to the time passing. However, the contact of crossed cylinders has not tested yet so much. The purpose of the paper is to evaluate the effect of each factor of the scoring strength with the crossed cylinders testing machine. In this study, the operating time was investigated under various conditions of axial angle and hertzian pressure. The new tendency for the scoring strength was observed by the result of this investigation.

Key Words: Crossed helical gear, Scoring, Axial angle, Hertzian pressure, Scratch of the scoring

1. 緒言

ねじ歯車のかみ合いは、理論的に点接触をするため、接触圧力が高く負荷容量は小さいとされる。しかし、実際には歯面が摩耗することにより面接触になるため、比較的に大きな荷重を伝達することができる。この他にもねじ歯車は、製作が容易であり、運動伝達に優れていること、および組立誤差による影響が少ないなど多くの利点がある^[1]。

ねじ歯車のように軸角を有してかみ合う歯車においては、瞬間的なかみ合いは軸角を有した二円筒の接触に近似できる。

そこで本研究では、立体交差型二円筒試験機を用いて軸角および初期ヘルツ圧を変化させて実験を行い、スコアリング発生までの運転時間を測定した。その結果、いくつかの新たな傾向を見出したのでここに報告する。

2. 実験条件

2.1 実験装置 本研究で使用している装置の構造を図1に示す。この装置の特長は、インバータによりモータ回転数を変更し相対滑り速度を容易に変化できること、モータ台座レールにより軸角を任意に変更できること、荷重によって任意のヘルツ圧を与えられることである。これらを設定することにより、平歯車での線接触だけでなく、ねじ歯車の点接触状態を実現できる。

2.2 試験円筒 本研究でを使用した試験片を表1に示す。材料には SCM420H を使用し、ガス浸炭処理を施した後に試験面には研削加工を施した。

2.3 潤滑方法 潤滑方法は、油浴潤滑とした。潤滑油面高さは、静止時の油面を基準とし、下部円筒の軸中心から約10mm 低い位置まで潤滑油に浸かっている状態とした。本研究で用いた潤滑油は、動粘度 $27.2 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$ (313K) の無添加鉱物油である。

2.4 軸角 上部シャフトと下部シャフトの交差軸角を軸角 ϕ とする。この ϕ は接触面積の増減および試験円筒の周速度ベクトルの変化に大きな影響を及ぼし、接触面積の増減ではヘルツ圧、周速度ベクトルの変化では相対すべり速度の設定時に考慮しなければならない因子である。

2.5 初期ヘルツ圧 交差させた二円筒の接触では軸角 ϕ によって接触面積が変化するため、荷重を等しくしても接触圧力が変化してしまう。そこで、ヘルツ圧の式を用いて

Fig1. Test rig

Table1. Test piece

Material	Diameter d	Heat treatment and Surface finishing	Vickers hardness H_v	Surface roughness R_z
SCM420H	45[mm]	Carburizing and Grinding	740	0.6[μm]

接触面に働く接触圧力を算出し、最大接触圧力が各実験条件下で一定となるように荷重を決定した。また、接触面積は摩耗などにより変化し接触圧力もそれに伴い変化する。そこで、本研究では初期状態における最大接触圧力を初期ヘルツ圧とし、代表値とした。点接触におけるヘルツ圧 P_H の式を以下に示す。

$$P_H = \frac{3}{2} \frac{P_N}{\pi ab} \quad \dots (1)$$

ここで、

P_N : 歯面法線荷重

a : 楕円接触面の長径の 1/2

b : 楕円接触面の短径の 1/2

である。

2.6 相対すべり速度 ねじ歯車の相対すべり速度 V_g は、歯すじ方向の相対すべり速度 V_F と歯たけ方向の相対すべり速度 V_P に分けられ、次のような関係がある^[2]。

$$V_g = \sqrt{V_F^2 + V_P^2} \quad \dots (2)$$

しかし、本研究では第一段階としてピッチ点上での噛み合いと仮定しているため、歯たけ方向の相対すべり速度 V_P は考慮していない。したがって、歯すじ方向の相対すべり速度 V_F がピッチ点上の相対すべり速度 V_g となる。この相対すべり速度 V_g は、図2に示すようにピッチ円周速度 V_1 および V_2 のベクトル差である。したがって、相対すべり速度 V_g は次式で求められる。

$$V_g = \sqrt{(V_2 - V_1 \cos \phi)^2 + (V_1 \sin \phi)^2} \quad \dots (3)$$

ここで、

V_1 : 上部試験円筒周速度 [m/s]

V_2 : 下部試験円筒周速度 [m/s]

である。

2. 7 実験方法 実験条件を表2に示す。本研究では、軸角および初期ヘルツ圧による運転時間への影響を調べるために、軸角 ϕ は 40° 、 50° および 60° の3水準とし、初期ヘルツ圧は 1570MPa を基準とした定数倍に設定した。相対滑り速度は 3.0m/s の一定である。また、上下試験円筒の回転数比は $1:1$ とし、相対滑り速度方向は変化させないこととした。これらの条件下で運転を行い、スクーリング発生までの運転時間を測定した。測定時間の上限は5時間とした。

3. 実験結果および考察

実験により得た結果を以下に示す。図3に軸角 ϕ および初期ヘルツ圧 P_H におけるスクーリング発生までの運転時間の関係を示す。

3. 1 軸角の影響 図3において各軸角と初期ヘルツ圧との関係に注目する。軸角が小さくなるとそれとともに運転時間が短くなっている。しかし、その減少の割合は一定ではないことがわかる。軸角 50° と 60° では結果にあまり差がないが、 50° と 40° では結果にかなりの差があり、 40° においてはあまり大きな負荷には耐えられないことがわかる。各軸角において、初期ヘルツ圧の増加にともなう運転時間の減少の傾向は同じである。

このことから、軸角がスクーリング発生に大きく影響を及ぼしていることがわかる。実際には軸角が変化することによる接触楕円の形状や大きさが変化することによる影響と考えられる。軸角 90° では接触面は真円となるが、そこから軸角が小さくなるにつれ細長い楕円形になっていき、 0° (平行軸) においては線接触となる。このように接触面積が変化することによって、潤滑油の入り込みやすさや熱の発生などに変化が生じ、それらの要因が相互に関連していると考えられる。したがって、この接触面積の変化による影響をさらに細かく調べる必要がある。

3. 2 初期ヘルツ圧の影響 図3において初期ヘルツ圧と運転時間との関係に注目する。どの軸角においても、初期ヘルツ圧の減少にともなう運転時間の急激な増加が見られ、測定時間の上限である 300min を超す結果も得られた。この結果から、各軸角における運転時間と初期ヘルツ圧の関係は高次のべき関数により近似できた。

このことから、低負荷状態においては初期ヘルツ圧の微小な変化によって運転時間に大きな違いが現れる。したがって、高負荷状態では初期ヘルツ圧の影響は小さいものの、低負荷状態における初期ヘルツ圧の影響は大きいと考えられる。

Fig2. Relative sliding velocity

Table2. Experimental condition

Relative sliding velocity [m/s]	3.0
Hertzian pressure [MPa]	$1570 \times (1 \pm 0.025n)$ ($n=0, 1, 2, \dots$)
Axial angle [$^\circ$]	40, 50, 60
Lubrication	Oil bath
Operating time limit [min]	300

Fig3 Relationship between operating time and initial hertzian pressure (Effect of axial angle)

4. 結言

立体交差型二円筒試験機を用いてスクーリングが発生するまでの運転時間を、軸角および初期ヘルツ圧の条件を変化させて測定した。その結果、本研究の条件内では以下のような結果を得た。

- (1) 初期ヘルツ圧が大きくなるとスクーリング発生までの運転時間は減少し、その影響も一定ではなく、低負荷状態ではヘルツ圧の影響が大きい。
- (2) 軸角が大きくなるほど発生までの運転時間は長くなり、その影響も一定ではないが、各軸角における運転時間の変化の傾向は同じである。

参考文献

- [1] G・ニーマン, 成瀬長太郎訳: 機械要素 動力伝達編, 養賢堂, (1974), p.210
- [2] 成瀬長太郎, 歯車の基礎と設計, 養賢堂, (1988), pp.69-70.