

氏 名	庄 司 彰
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 3 月 10 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 東 北 学 院 大 学 工 学 部 機 械 工 学 科 卒 業
学 位 論 文 題 目	稼 動 中 の プ ラ ス チ ッ ク 歯 車 の 歯 の 平 衡 温 度 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 高 梨 三 郎 東 北 大 学 教 授 酒 井 高 男 東 北 大 学 教 授 戸 部 俊 美 東 北 大 学 教 授 槌 川 武 男 東 北 大 学 教 授 武 山 斌 郎

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 言

プラスチック歯車は最近までは計測器類の比較的小形の歯車に数多く使われており、回転運動の伝達が主な目的であったが、この歯車は騒音が少なく、また無潤滑でも使用できるなどの利点があるため、最近では動力を伝達するモジュール6～8程度の歯車にも使用されるようになってきた。

このような動力を伝達するプラスチック歯車を設計する場合には、もちろん普通の鋼製歯車と同様に、歯元強度、歯面強度を考えるが、そのほかにプラスチック歯車に特有なものとして、歯の温度上昇についても考慮する必要がある。それはプラスチック材料の機械的強度が温度によって著しく変化するためであり、また熱膨張が大きく適正なバックラッシュ量を決める上からも是非必要なことである。

プラスチック歯車が使用されるようになってから今日まで、プラスチック歯車についての報告は数多くあるが、上記したプラスチック歯車の温度上昇についての報告は少ない。

プラスチック歯車の温度上昇については二つの問題がある。その一つは稼動中のプラスチック歯車の歯の平均的な平衡温度であり、他は歯面の瞬間的な温度上昇である。前者はプラスチック歯車を設計する際に必要な機械的強度を決める上で重要であり、またバックラッシュ量を決める上

でも極めて重要である。後者は歯面のスコーリング（焼付き）などプラスチック歯車の使用限界を決める上で重要な問題である。

本論文はこれらの中で、前者の稼動中のプラスチック歯車の歯の平均的な平衡温度について考究したもので、プラスチック歯車を設計、使用する上で必要な資料を得ることを目的としたものである。

## 第2章 プラスチック歯車の歯の温度上昇についての従来の研究

この章ではプラスチック歯車の温度上昇について、これまでに発表された報告、たとえば Housz の研究<sup>1)</sup>、Hachmann の研究<sup>2)</sup>、その他の研究について概説している。これらの報告ではいずれもプラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量としては歯面の摩擦による熱量のみが考えられている。

## 第3章 プラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量についての考察

この章では、まずプラスチック歯車と鋼製歯車をかみ合わせた場合のプラスチック歯車の歯の温度上昇と温度分布を測定した結果について述べている。プラスチック歯車の歯に示温塗料（サーモポイント）を塗り、所定の荷重、回転数のもとで運転し、運転時間の経過にともなう歯の温度上昇と温度分布とを観察した。その結果、プラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量には、歯面の摩擦による熱量のほかに、プラスチック材料が粘弾性材料であるために、ヒステリシス損失にもとづく発熱があることを明らかにした。この発生熱量は従来の研究では見落とされていたもので、これが本研究の問題提示である。

そしてまず摩擦熱量を求める計算式を導き、さらにこの摩擦熱量の中で、プラスチック歯車に伝えられる熱量の割合（配分係数）を決める計算式を導いた。次にヒステリシス損失にもとづく発生熱量については、まずプラスチック歯車の歯にステップ状の荷重をかけたときの歯のたわみの応答挙動を調べた。その結果、これを Voigt の粘弾性模型として取り扱うことができるとして、この歯面に放物分布の荷重が働いたときに発生する熱量を求める計算式を導いた。なおこのヒステリシス損失にもとづく発生熱量は、プラスチック歯車歯面に荷重が働く時間（荷重時間）がその材料の遅延時間と同程度になると非常に大きな量となる。そしてプラスチック歯車が普通に使用されている 500～1000 rpm 程度の回転数の場合には、歯面に働く荷重時間はプラスチック材料の遅延時間にかかなり近いことがわかった。

## 第4章 ヒステリシス損失にもとづく発生熱量の実験

この章ではプラスチック歯車の歯に繰り返し圧縮荷重をかけたときにヒステリシス損失にもとづく発生熱量があるかを実験によって確かめた結果について述べている。この実験では歯面上の一定位置に繰り返し圧縮荷重をかけたが、明らかにヒステリシス損失にもとづく発生熱量があることを確認した。さらにプラスチック歯車の歯について光弾性実験を行なって応力分布を観測し、この応力分布と歯の温度分布との関係についても調べた。

## 第 5 章 プラスチック材料の機械的性質

この章では、この研究で使用した各種のプラスチック材料について、摩擦熱量やヒステリシス損失にもとづく発生熱量を計算するために必要な機械的性質を測定した結果について述べている。とくにこの実験では雰囲気温度によってプラスチック材料の機械的性質がどのように影響を受けるかを調べた。測定した機械的性質は、プラスチック材料の縦弾性係数、粘性係数および動摩擦係数である。動摩擦係数の測定では、二円筒を使ったモデル実験によって、近似的に歯車歯面のかみ合いと考えられる状態で動摩擦係数を測定した。そしてその結果を簡単な実験式であらわした。

## 第 6 章 プラスチック歯車の歯のたわみ量について

この章ではプラスチック歯車の歯のたわみ量について述べている。プラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量には、前記したように摩擦熱量とヒステリシス損失にもとづく熱量があるが、これらの熱量を計算するためにはプラスチック歯車の歯のばね定数、荷重分担率、ダッシュポット粘性などの値を知る必要がある。これらはいずれも歯のたわみ量に関連した値であるが、鋼製歯車についてはこの歯のたわみ量の計算式と測定結果については数多くの報告が見られる。しかしプラスチック歯車についてはその報告は少ない。そこでまず歯のたわみ量を測定するための装置を試作して、種々の雰囲気温度、歯面荷重のもとでプラスチック歯車の歯のたわみ量を測定した。測定結果は Timoshenko と Baud の式<sup>3)</sup>および Caldwell の式<sup>4)</sup>を使った計算結果と比較的よく合っていることがわかり、プラスチック歯車の歯のたわみ量の計算にはこれらの式を使うこととした。

## 第 7 章 歯車歯面からの熱伝達率の測定

この章では回転している歯車歯面からの熱伝達率の測定について述べている。稼動中のプラスチック歯車の歯の平衡温度を知るためには、発生熱量と共に、プラスチック歯車の歯から大気に発散して行く熱量についても知る必要がある。大気中で回転している歯車歯面からの発散熱量を求めるためには、歯面からの熱伝達率を知る必要があるが、この問題についてわずかに前掲の Hachmann の報告の中で取り扱われている程度である。そこで筆者は風洞の中に所定の温度に保ったラックを固定し、種々の風速のもとでラック表面から持ち去られる熱量を測定するモデル実験によって、近似的に歯車歯面上の局所熱伝達率を求め、さらにこれから一つの歯についての平均熱伝達率を求めて、これを実験式によってあらわした。

## 第 8 章 プラスチック歯車の歯の平衡温度の計算

この章ではプラスチック歯車の歯の平衡温度の計算について述べている。発生熱量の計算にあたっては、歯車の一つの歯の全かみ合い領域を四つの領域に分けて、それぞれの領域での発生熱量を計算して合計する方法をとった。

各種のプラスチック歯車について、種々の運転条件のもとで発生熱量を計算したが、摩擦熱量

に比べてヒステリシス損失にもとづく熱量の割合が比較的大きくなる場合があり、とくに低速回転の場合、また一歯かみ合い領域で大きな量となっていた。このことは第3章の実験結果とも定性的にはよく合っている。

つぎに前章で求めた熱伝達率を使って、プラスチック歯車の歯から大気への発散熱量を求め、これから平衡温度を求める式を導いた。そしてこれらの式を使って各種のプラスチック歯車について、種々の運転条件のもとでの平衡温度を計算した。

一方、上記の計算例と全く同じ条件のもとでプラスチック歯車を運転し、平衡温度の測定を行った。その結果、これらの測定値は比較的良好に計算結果と一致していた。

## 第9章 結 論

以上に述べたように、本研究は稼動中のプラスチック歯車の歯の平均的な平衡温度を求めたものである。すなわちプラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量には摩擦熱量のほかにヒステリシス損失にもとづく発生熱量があることを見だし、これらの熱量を求める計算式を導いた。また回転中の歯車歯面から発散する熱量についても実験にもとづいて計算式を導いた。そしてこれらの式を使って稼動中のプラスチック歯車の歯の平衡温度を求め、また一方では実験によってこれを確かめた。その結果、両者は比較的良好に一致していることが認められた。したがってこれらの計算式によって稼動中のプラスチック歯車の歯の平衡温度を予測することが可能となり、本研究はプラスチック歯車の設計、使用に対して十分に役立つ資料を与えることができるものと確信する。

### 付録1 プラスチック歯車の平均歯面温度について

ここでは熱的に平衡状態に達したときのプラスチック歯車の平均的な歯面温度の計算および測定結果について付記した。これはプラスチック歯車と鋼製歯車とがかみ合った際に、発生する摩擦熱量の中プラスチック歯車歯面に配分される熱量の割合（配分係数）を決めるための参考として行なったものである。まずプラスチック歯車の一つの歯を四角な柱状体とし、また熱流を一次元流れとして、プラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量と、一つの歯の平均熱伝達率とから平均的な歯面温度の計算式を導き、種々の運転条件のもとで平均的な歯面温度の計算式を導き、種々の運転条件のもとで平均的な歯面温度を計算し、一方これと全く同じ条件で運転して歯面温度を測定し、両者を比較した結果について述べている。

### 参 考 文 献

- 1) A. J. Ingen Housz : Scaffing as a factor in the desin of nylon gear, Wear, 10 (1967) 118.
- 2) H. Hachmann and E. Strickle : Polyamide als Zahnradwerkstoffe, Konstruktion, 18 (1966) 1.

- 3) S. Timoshenko and R. V. Baud : The strength of gear teeth, Mech. Engineering, 48 (1926) 1105.
- 4) S. M. Caldwell : Analysis of spur gear teeth for static deflections, Ms. Thesis. Virginia Polytechnic Institute (1966).

## 審 査 結 果 の 要 旨

プラスチック歯車は騒音が少なく、歯面の摩耗も少ないために、近年、動力を伝達する歯車にも使われるようになってきた。ただこの材料は温度上昇によって機械的性質が著しく変化し、また熱膨張が大きいので、プラスチック歯車の設計、使用に当っては稼動中の歯の温度を知ることが必要であるが、この問題については信頼すべき資料が得られていないのが実情である。本論文は、ポリアミド樹脂、ポリアセタール樹脂などの高分子材料を素材とする数種のプラスチック歯車の、稼動中における歯の平衡温度について考究したもので、全文9章と付録よりなる。

第1章は緒論である。第2章ではこの分野に関する従来の研究について概説し、それらの研究ではプラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量として摩擦熱量のみが考えられていると述べている。

第3章では稼動中の歯車の歯の温度上昇と温度分布を測定した結果から、発生熱量として摩擦熱量のほかに、プラスチック材料が粘弾性材料であるために、運転条件によってはヒステリシス損失にもとづく発熱も無視しえないことを指摘し、その熱量を求める計算式を導いている。これは著者によってはじめて明らかにされた重要な知見である。

第4章では、繰返し荷重試験によってプラスチック歯車の歯にヒステリシス損失にもとづく発熱があることを確認した結果について述べている。

第5章および第6章は、発生熱量の計算に必要な諸数値の測定に関する記述である。第5章ではプラスチック材料の機械的性質の測定結果について、第6章では歯のばね定数、荷重分担率などを定めるうえで必要な、歯のたわみ量の測定結果について述べている。

第7章では、回転している歯車の歯面から大気への放散熱量を求めるために必要な熱伝達率の測定について述べ、その結果を実験式で表示している。従来このような測定はほとんど行われておらず、この結果は有用な成果である。

第8章では前章までの結果を用いて歯の平衡温度を求める計算式を導き、またこれを実験によって確めた結果、この計算式は十分に実用し得るものであると述べている。

第9章は結論である。また付録では、平均歯面温度について考察している。

以上要するに、本論文はプラスチック歯車のかみ合いによって発生する熱量として摩擦熱量のほかに、ヒステリシス損失にもとづく発熱があることを明らかにし、稼動中のプラスチック歯車の歯の平衡温度を求める計算式を導き、その実用性を確め、プラスチック歯車の設計、使用に対して貴重な知見を与えたもので、歯車工学ならびに精密工業の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。