

氏 名(本籍)	くま さわ たけ ひこ 熊 沢 猛 彦 (北海道)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 第 1 6 7 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 9 月 1 3 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭和 2 8 年 3 月 東北大学工学部工業力学科卒業
学位論文題目	ケースギヤの研究

(主査)

論文審査委員	教授 酒井 高男 教授 藤井 康治
	教授 玉手 統 教授 戸部 俊美

論 文 内 容 要 旨

歯車は、運動または動力の伝達を目的とする機械要素である。したがって、歯車の具備すべき性能としては、効率がよく強度の高いことがあげられる。しかし、使用目的によっては乗用車用歯車の場合のように、かみ合騒音が小さいということも重要な性能のひとつと考えねばならぬこともある。

歯車のかみ合騒音を小さくするために大別して2つの方法がとられている。そのひとつは、鋼・鋳鉄のような金属製歯車に適用されるもので歯車精度の向上、歯面仕上げ精度の向上、歯形修正・クラウニングの採用、適切な同時かみ合率の選定等を行なうことによりかみ合騒音の発生を抑制する方法である。他のひとつは、かみ合騒音が発生してもその騒音が小さいような材料、たとえば合成樹脂などを使用する方法である。前者は、自動車用歯車などに対して現在採用されている

主な方法であるが製作コストならびに生産性からの制約がある。後者は、かみ合騒音を小さくできる材料だけで歯車を製作すると現時点では強度が不十分であるため軽負荷の歯車に採用されているにすぎない。

著者は、かみ合騒音を小さくできる材料を組み合わせることにより、歯車精度・歯面精度を特別に向上させることなくかみ合騒音が小さく比較的強度の高い歯車がえられるであろうという着想にもとずいて、新しい歯車構造を考案し、その工作法についての研究を行った。本論文は、その研究結果をまとめたものである。

著者の考案は、3つの要素から構成される合成歯車構造である。3つの要素とは、歯車の歯先・歯面・歯底の表面層を形成する歯面部、軸にとりつけるボスの部分を主体として心金的働きをする心金部、ならびに歯面部と心金部の中間に存在する中間層部である。上記3つの各要素の寸法・材料を歯車の使用条件に合うように選定し、それらの材料に適した方法で加工し、最後に3つの要素を接合一体化してひとつの歯車とする方法で製作しようとするものである。この歯車の歯面部品が歯車状をしたケースであることから、著者はこの歯車を「ケースギヤ」と名づけた。なお、以下においては歯面部品を歯形ケースと呼び、心金部品を単に心金と呼ぶこととする。

ケースギヤに類する歯車構造ならびにその工作法についての系統的な研究論文は、国内・国外ともに著者の知る限りでは見当らなかった。たゞ諸外国の特許公報にケースギヤに似た歯車構造あるいは工作法が発明として散見されるだけである。そしてこれら発明には系統づけられた研究の裏付けが乏しいように思われる。またその中には特許公報に示されている記述のみではその実現性や実用性が疑問に思われるものもある。

著者は、直列2気筒の軽自動車用エンジンに使用するピストンの不平衡慣性力を打消すためのバランスドライブギヤ等を当面の対象とし、かみ合騒音が小さく比較的強度の高い歯車をケースギヤ構造によってえることを目的として研究した。

著者は、まずケースギヤの原形とも称すべきケースギヤモデルを製作し、このモデルのかみ合騒音を測定してかみ合騒音の小さいケースギヤが製作可能であることの見通しをつけた。そしてモデルの製作過程における経験、かみ合騒音試験結果を参考にして実際のケースギヤを工業的に製作する方法を考え、これを実現するために必要と思われた基礎研究、すなわち中間層材料の選定、中間層の形成方法、歯形ケースの材料選定、歯形ケースの熱処理方法、歯形ケース・中間層・心金各部品の肉厚決定法、歯形ケース製作に採用した液中放電成形法についての研究を行なった。ついでケースギヤの実際研究、すなわち製作法、精度、かみ合騒音、強度についての研究を行ない、その実用性を検討した。

以下に研究の概要を述べる。

(1) 製作法について

ケースギヤを製作する場合に2つの困難な問題がある。第1は、歯形ケースをいかなる方法で製作するかであり、第2は、歯形ケース・中間層・心金の各部品をどのような方法で接合一体化するかである。

第1の問題に対しては、完成した金属製歯車の歯面部のみを残すようにくりぬく方法、金属板を素材として使用し塑性加工で製作する方法が考えられる。前者は製作コスト・生産性に問題があり、後者には金属板の許容伸び率限度内で正規形状の歯形ケースを製作することの難しさがある。著者は各種の製作法についての基礎的予備実験を行なった結果、ステンレス鋼板SUS 27CPを素材としローリング加工で1次成形し、加工精度をあげるために液中放電成形法により2次成形する加工プロセスによって問題を解決した。

第2の問題に対し著者は、歯形ケースと心金とを正しい関係寸法に位置決めし、それらによって作られる中間空隙にエポキシ系樹脂を充てんし凝固させ中間層を形成させるとともにその接着力で歯形ケースと心金とを樹脂層を介して接合一体化する方法を考えて問題を解決した。

(2) 精度について

ケースギヤのかみ合騒音減少方法は、歯車精度を向上させてかみ合騒音の発生要因を除去するものではない。しかし歯車精度が良いことは、ケースギヤといえども望ましいことである。

ケースギヤの精度は、歯形ケースの工作精度、歯形ケースと心金の関係位置決め精度に大きく影響される。

著者は、液中放電成形法を採用し高圧力で素材を成形ダイスに圧着成形加工することにより歯形ケースの加工精度を向上させた。かつ熱処理法としてSUS 27CPに対して、容易に必要な表面硬度がえられ、しかも処理温度が低いタフトライド窒化法を採用して歪の発生を極力少なくするようにした。

また歯形ケースと心金の関係寸度を容易にまた正しくだすことができるような位置決め用治具を考案し製作した。この治具に歯形ケースを挿入セットしたとき生ずる歯形ケースの変形ならびにセット誤差を取除くために歯形ケースの内部よりポリウレタンゴムで歯形ケースを治具の歯先面・歯面、歯底面に押しつける方法をとった。

精度に特別な注意をはらわずに製作した治具を使用し、歯形ケースを治具にセットするときポリウレタンゴムによる押しつけをせずに製作したケースギヤの精度は、JIS. 9～11級程度であったが、精度の高い治具とポリウレタンゴムを使用することによりJIS. 7～8級程度まで向上することができた。JIS. 7～8級程度の精度があればケースギヤのかみ合騒音はきわめて低い。

(3) かみ合騒音について

ケースギヤ同志、ケースギヤと鋼製平歯車、鋼製平歯車同志、鋼製はすば歯車同志の各組み合わせの歯車対単独でのかみ合騒音測定ならびにかみ合騒音の周波数分析を行ない各歯車の騒音特性を比較した。この研究で使用したケースギヤは、中間層が薄いB 2系列と称するものと中間層が厚いB 1系列と称するものである。B 2系列のケースギヤは、鋼製歯車の強度に比較して、その強度の低下を最小限にとどめることを主目的とし、かみ合騒音を小さくすることを従目的として製作されたものである。B 1系列のケースギヤは、かみ合騒音を小さくすることを主目的とし強度の低下を防ぐことを従目的として製作されたものである。

B 1, B 2系列の各ケースギヤとも歯車精度・歯面精度が鋼製はすば歯車・鋼製平歯車のそれらより格段に劣っていたにもかかわらず、B 1系列のケースギヤ同志の組み合わせのかみ合騒音は、鋼製はすば歯車同志の組み合わせのそれと同等あるいはそれよりも小さかった。B 2系列のケースギヤ同志の組み合わせのかみ合騒音は、鋼製はすば歯車同志のそれより多少大きかったが鋼製平歯車同志のそれと比較すると格段に小さかった。また、かみ合騒音周波数分析結果から、ケースギヤ同志の組み合わせでは、人間に不快感を与える1.0～4.0キロヘルツの高周波域で音圧が低いことが確認できた。

B 1, B 2系列のケースギヤをミッションに組み込み、台上で騒音試験を行なった結果も上述の歯車対単独でのかみ合騒音試験結果と同様の結果であった。

以上の諸結果からケースギヤがかみ合騒音にすぐれた特性を有していることを確認することができた。

(4) 強度について

現在市販されている樹脂で中間層を形成させる限り同一歯車諸元であればケースギヤの強度は鋼製歯車の強度におよばぬことが明白である。著者は、鋼製歯車の強度に比較してケースギヤの強度の低下を最小限にとどめようとして行なった基礎研究、すなわち歯形ケース材料の選定ならびにその熱処理方法、中間層材料の選定、歯形ケース・中間層・心金の各肉厚決定法の各研究でえた結果ならびにケースギヤそのものを試料として行なった光弾性実験でえた結果を適用して大別して2系列のケースギヤを製作した。2系列のケースギヤとは前述したB 1, B 2系列のケースギヤのことである。心金材料は両系列とも鋼である。

これらB 1, B 2系列の各ケースギヤを使用して静的破壊試験、曲げ疲れ試験を行なってそれらの静的許容強度、曲げ疲れ許容強度を求めた。また負荷を受けたときケースギヤの中間層すなわち樹脂層に生ずる応力ならびにその分布状態を光弾性実験で観察するとともに静的破壊試験、曲げ疲れ試験によるケースギヤの破壊状態を観察してケースギヤの破壊過程を究明した。

(5) 研究結果の実用性ならびにケースギヤの実用化について

かみ合騒音の研究で確認された騒音特性の有利性ならびに強度研究でえた静的許容強度・曲げ疲れ許容強度は、不規則な負荷変動・回転数変化があってもそのまま成立するものかどうかを確認するため、ケースギヤを組み込んだミッションを実車に搭載して走行試験を行なった。この結果は、かみ合騒音の研究結果、強度の研究結果とほぼ一致したものであった。すなわちかみ合騒音の研究結果、強度の研究結果は実用性があるものと思われた。

設計段階でケースギヤ構造に適する歯車諸元を決め、製作し、静的許容強度・曲げ疲れ許容強度とも計算必要強度に対して十分であったバランスドライブ用ケースギヤは、この歯車を組み込んだエンジンを実車に搭載して行なった走行試験において十分な寿命があり騒音も低く実用性のあることが確認され実用化の見通しをつけることができた。

以上、かみ合騒音が小さく比較的強度の高い歯車をえるという目的は、歯形ケースにステンレス鋼板を、心金に鋼を、中間層に樹脂を使用するケースギヤによってある程度達成できる見通しをつけることができた。

審査結果の要旨

よい効率や高い強度は、歯車の性能上不可欠である。これらに加えかみ合い騒音の低いことも要求せられる場合がある。その対策として、設計面では歯形修正、クラウニングなどの配慮、加工面では精度の向上が考えられている。しかし金属製歯車ではこれらの対策には限界がある。一方、プラスチック歯車は騒音の小さいことが知られている。しかし、この歯車は強度的には不十分である。

本論文は、強度的に重要な歯面部と心金部を金属でつくり、それらの中間部を樹脂で充てんするという新しい構造の歯車をケースギヤと名づけ、この歯車につき、強度上の犠牲を少なくし、しかも騒音を小さくすることを目的にして論じたもので、全編10章よりなる。

第1章では、ケースギヤ実現の可能性を調べるために行なった予備実験につき述べている。

第2章では、中間層材料選定のために行なった接着強度試験などにつき、市販材料の中からエポキシ系樹脂を選定するに至った経緯を述べている。

第3章では、歯形ケース製作用薄板材の塑性加工性、熱処理性などにつき検討のために行なった実験結果より、市販のSUS 27 CPを選定するに至った経緯を述べている。

第4章では、歯面部、中間層、心金部の3者からなる歯の部分の曲げ強度を計算と実験の両面から調べ、3者の寸法決定法について論じている。

第5章では、歯形ケースを精度よくつくるために採用した液中放電成形法の基礎資料をえるために行なった実験について述べている。

以上の5章は本論文の基礎編であり、以下の5章は応用編である。

第6章では、歯形ケースの精密塑性加工法をはじめ、歯面部、中間層、心金部の精密な一体化など、ケースギヤ製作に関連する諸問題を幅広く論じている。

第7章では、上記歯車製作の過程における精度を各段階ごとに取り上げて検討している。

第8章では、製作されたケースギヤ同志、ケースギヤと鋼製歯車、鋼製歯車同志など、各組合せにつき、歯車対単独でのかみ合い騒音、およびこれらをミッションに組みこんだ場合の騒音について比較検討している。概括的には、同じ程度の騒音音圧に対してケースギヤの精度は鋼製歯車のそれより、JISで3級程度低くてよいといえる。

第9章では、ケースギヤの歯の強さを、光弾性実験および静的曲げ強度実験、ならびに曲げ疲労実験の各面から論じている。

第10章では、ケースギヤを軽乗用車のミッションに試験的に組みこんで行なった走行実験の結果について述べ、ケースギヤの実用性を論じている。

以上要するに本論文は、新しい歯車構造をもつケースギヤにつき、製法、精度、騒音、強度など、これに関連した諸問題を、ケースギヤの実用化に向けて総合的に論じたもので、歯車工業ならびに精密工学に寄与するところ少なくない。

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。