

氏 名	こもりまさ はる 森 雅 晴
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3646 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	動力伝達用インボリュート円筒歯車の振動強度双方最適化設計法

論文調査委員 (主 査) 教 授 久 保 愛 三 教 授 松 久 寛 教 授 垣 野 義 昭

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、乗用車や鉄道車両などの移動体に必要とされる、静粛性と負荷容量の双方に優れた動力伝達用歯車の設計法、歯車装置構造や歯車材料の最適化法、ならびに、製造誤差のばらつきに対する設計上の対策に関する研究成果をまとめたもので、次の9章からなっている。

第1章は序論であり、動力伝達用歯車に求められる運転性能とその稼動条件の特徴について述べ、歯車設計の観点から現在の課題を明らかにして、本研究の目的、概要を述べている。

第2章では、歯車の一般的な損傷形態である歯元の折損、歯面のピッチング、スカuffingに対する安全性の同時最適化を目的として、幾何学的制約条件と材料強度条件が与えられた場合に、これら各種損傷モードに対する運転時の安全性を同時に最適化する歯車諸元および歯面形状を求める実用設計アルゴリズムを提案し、強度性能最適化歯車設計法を構築した。

第3章では、提案した強度性能最適化歯車設計法によって得られた歯車の耐久試験を行い、従来の歯車と比べて7倍の寿命を得ることに成功した。これにより、提案した設計法が、同じ体積でありながら負荷容量の大きな歯車を設計する場合に有効であることを示した。

第4章では、伝達トルクに応じて軸平行度のアライメント誤差が大きく変化する条件下で用いられるはずば歯車について、3次元歯面形状と、軽負荷時の振動起振力、最大負荷時の歯元応力、ヘルツ応力、フラッシュ温度との関係をシミュレーションを用いて調査した。この結果をもとに、要求される強度性能を満足しつつ、振動起振力を最小にする歯面形状、すなわち、歯形修整量、歯筋クラウニング量、歯筋勾配量の組み合わせを求めるための基礎設計法を提案した。ついで、振動的に最適の歯面形状は、実かみあい率が最大となる起振力の谷における解に基本的には対応するが、要求される強度条件によっては、実かみあい率のより小さい起振力の谷での解に対応する歯面形状を採用する必要があることを、この基礎設計法を用いて示し、実際の設計時に必要とされる最適な起振力の谷の選択をも含めた振動強度双方最適化歯面設計法を構築した。従来、一般的に採用されている設計法を用いる場合に比べ、この設計法によって振動性能面で優れた歯車の得られることを、乗用車用大量生産歯車の実績により明らかにし、提案した振動強度双方最適化歯面設計法が有効な実用設計法であることを示した。また、この設計法を、ねじれ角の小さな鉄道車両駆動用歯車の開発に適用し、得られた歯車を用いて実験を行った結果、現在使用されているねじれ角の大きな歯車と同程度の静粛性を発揮しながら、装置全体的大幅な小形化、高信頼性化が可能であることを実証した。

第5章では、提案した振動強度双方最適化歯面設計法を用いて、歯車諸元より決まる幾何学的なかみあい率が双方最適歯面を持つ歯車の振動性能に与える影響について調査を行い、最大負荷時に十分な強度性能を保証しつつ、軽負荷時の振動性能を最適化する歯車諸元および歯面形状を求める設計法を提案した。また、この設計法より得られる最適歯車の振動起振力は全かみあい率の変化に対して極小値をもつことを明らかにし、全かみあい率の最適化も含めた振動強度双方最適化歯車設計法を提案した。

第6章では、振動と強度の双方最適化のため、第4章で提案した歯面設計法、および、第5章で提案した歯車設計法を用

いて、材料強度や歯車の支持剛性が振動強度の双方を最適化した歯車の諸元と振動性能とに与える影響を調査した。この結果、強度性能条件を満たしつつ歯車の振動を抑えるために、歯車の材料強度を高めることは有効ではあるが、材料強度がある程度以上に高くなると、振動性能の改善に寄与しなくなることを明らかにした。また、歯車箱に対する加振力を最小にするためには、歯車の支持剛性を作用線方向の剛性と軸平行度のアライメント剛性の両面から検討し、振動強度の双方最適解に対応する歯面形状が実かみあい率最大の起振力の谷に存在するように、軸平行度のアライメント剛性を適切な値に保ちつつ、できる限り作用線方向の剛性を低くするよう、歯車装置構造を決定する必要があることを明らかにした。

第7章では、歯車の各歯の間に圧力角誤差やねじれ角誤差のばらつきが存在する歯車を取り上げ、ばらつきの程度が大きいほど、各歯のかみあい箇所における局所的実かみあい率は、設計上の歯面形状偏差をもつ歯の実かみあい率よりも低下することを明らかにした。この事実を利用して、歯面形状精度にこれらのばらつきが存在する場合に、十分な強度性能を保証しつつ、振動性能を最適化する歯車諸元および歯面形状の設計法を提案した。また、この設計法を適用して得られた歯車を通常の量産工程で製造し、乗用車に搭載して、これまでに採用されていた歯車よりもかなりギヤノイズを低減することに成功した。これにより提案した設計法の有効性を確認した。

第8章では、第2章で述べた強度性能最適化歯車設計法より得られた歯車の耐久試験において観察された、極限的高負荷容量化を狙った歯車に特徴的な損傷について詳細な調査を行った。このような歯車では、平歯車だけでなくはすば歯車でも歯のたわみによるトロコイド干渉が発生し、また、歯の側端と接触する相手歯車の歯面上にこすられたような帯状の面が現れ、これらの領域に発生するピットを起点として、歯面上の歯元側方のかみあい境界近傍は大きく損傷してゆく機構を明らかにした。一方、歯幅の狭い歯車の歯の側端は、相手歯車歯面との接触により表面下応力に著しい集中が起こることを明らかにし、また、歯厚が鋭角的に変化する歯の側端は浸炭焼入処理によって特に硬度が高くなりやすく、この箇所に微小なチッピングが発生して、そこから亀裂が進展、歯の折損につながることを明らかにした。

第9章は結論であり、本論文で得られた結果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、乗用車や鉄道車両などの移動体に必要とされる、静粛性と負荷容量の双方に優れた動力伝達用歯車の設計法、歯車装置構造や歯車材料の最適化法、ならびに、製造誤差に対する設計上の対策に関する研究成果をまとめたもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 歯車の振動起振力と実かみあい率の間にある特徴的な周期的極小関係を明らかにし、それを利用することで、歯車の一般的な損傷形態である歯の折損、歯面のピッチング、スカuffingに対して十分な安全性を保証しつつ、軽負荷時には不快な騒音の原因となる振動を抑える歯車の最適な諸元、歯面の3次元形状の設計法を提案した。また、歯車の耐久試験、および、振動騒音性能試験を行い、提案した設計法の有効性を実験的に検証した。
2. 歯車材料強度が最適設計された歯車の運転性能に与える影響について調査し、強度性能条件を満たしつつ振動を抑えるための材料強度の最適設定法を提案した。また、歯車箱に対する加振力を最小にするためには、歯車の支持剛性を作用線方向の剛性と軸平行度のアライメント剛性の両面から検討する必要があることを示し、歯車支持剛性の最適決定法を明らかにした。
3. 歯車の実かみあい率の変化に着目することにより、量産歯車の歯面形状に見られる製造誤差のばらつきが歯車の振動性能に与える影響を明らかにした。この結果をもとに、製造誤差を許容しつつ、優れた低振動性能を発揮する歯車の設計法を提案した。また、この設計法を乗用車用歯車に適用して静粛性能評価実験を行い、設計法の有効性を確認した。
4. 極限的高負荷容量化を狙った歯車に観察された損傷について調査し、歯の側端や歯先といった自由端が相手歯車の歯面上に接触する境界部から発生するピットがスポーリング状の大損傷に進展することを明らかにした。また、歯の側端に発生する微小なチッピングが亀裂を誘発し、歯の折損につながることを示した。

以上要するに本論文は、従来は困難であった、振動性能と強度性能が同時に求められる低い支持剛性の装置内の歯車の、諸元および3次元歯面形状の最適設計を可能にし、さらに製造誤差を考慮した歯車設計法や歯車支持剛性の決定法を提案した。この成果は、幅広い産業分野において適用できるものであり、今後の駆動システムの小形化、軽量化、高負荷容量化、

静粛化の要求に応えるための有力な手段を提供するものである。

本論文は、学術上、實際上寄与するところが少なくなく、よって博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。
また、平成14年1月7日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。