

氏 名	うへだ あきお 上田 昭夫
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 5 5 9 号
学位授与の日付	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	発熱を考慮したプラスチック歯車の負荷容量に関する研究
審 査 委 員	(主査)教授 森脇一郎 教授 秋山雅義 教授 太田 稔

論文内容の要旨

本研究は、プラスチック歯車に対する発熱の影響を明らかにし、プラスチック歯車の歯の負荷容量決定に重要な温度上昇に対する歯幅、モジュール、回転速度の影響について論じたものである。プラスチック歯車の負荷運転時における歯面間の摩擦発熱とプラスチックが粘弾性体である故のヒステリシス発熱により温度が上昇して弾性率が低下し、材料の許容応力値が低下する。このため、歯車の温度はプラスチック歯車の曲げ強さの負荷容量の決定には極めて重要である。本論文では、プラスチック歯車専用開発した 3 次元発熱・熱伝導解析ソフトウェアによる解析結果を実験により検証することでソフトウェアの有効性を確認し、ソフトウェアによる解析温度から歯形の危険断面位置における温度を基にして温度上昇係数を提案している。本論文は、緒論、本論 7 章、結論から構成されている。

緒論では、工業界におけるプラスチック歯車の位置付けを概説し、プラスチック材料、プラスチック歯車の曲げ強度式の現状について述べている。さらに研究目的および論文の構成について説明している。

第 2 章では、本研究で開発したプラスチック歯車専用 3 次元熱伝導解析ソフトウェアについて述べている。また、プラスチック歯車の強度計算に用いる温度上昇係数を決定するためには、歯形の危険断面位置での温度を把握しておく必要がある。そのため、開発した歯車専用 3 次元熱伝導解析ソフトウェアの有効性を、POM-C の円筒試験片の実験結果と解析結果を比較することで調べている。

第 3 章では、プラスチック歯車に発生する摩擦発熱とヒステリシス発熱について述べ、POM-C 試験片の実験結果を基準にして、プラスチック歯車の歯面間に生じる摩擦係数決定法について述べている。さらに、プラスチック歯車に発生するヒステリシス発熱の計算法についても述べている。

第 4 章では、負荷運転時における摩擦発熱とヒステリシス発熱を熱源とし、開発した発熱・熱伝導解析ソフトウェアで非定常熱伝導解析を行い、歯面の温度が安定する時間までを解析し、さらにその温度変化を実験により調べている。

第 5 章では、負荷運転時における歯の安定温度に対する歯幅の影響を、発熱・熱伝導解析ソフトウェアを用いた解析結果と実験結果を比較している。その結果、歯幅中央部の歯形の危険断面

位置における温度が高く保たれ、材料の許容曲げ応力が低下することからプラスチック歯車の歯の曲げに対する負荷容量は歯幅に比例しないことを明らかにしている。

第 6 章では、負荷運転時における歯の安定温度に対するモジュールの影響を発熱・熱伝導解析ソフトウェアを用いた解析結果と実験結果を比較している。そしてプラスチック歯車の歯の曲げに対する負荷容量はモジュールに比例しないことを明らかにしている。

第 7 章では、負荷運転時における歯の安定温度に対する回転速度の影響を発熱・熱伝導解析ソフトウェアを用いた解析結果と実験結果を比較している。その結果、3.8 (m/s) 以上の高周速になると摩擦発熱およびヒステリシス発熱が減少する上、空冷効果が大きくなることから、安定温度が低下することを明らかにしている。

第 8 章では、モジュール、歯幅、トルク、そして回転速度の違いによる歯の上昇温度から温度上昇係数算出法を提案している。

最後に、第 9 章では、本研究の成果をまとめ、今後の展開について言及している。

論文審査の結果の要旨

負荷運転時におけるプラスチック歯車の諸元、動力、回転速度の影響によるプラスチック歯車の温度上昇を、プラスチック歯車専用開発した 3 次元発熱・熱伝導解析ソフトウェアでシミュレートし、歯形の危険断面位置の上昇温度を求め、歯車の強度設計で極めて重要な温度上昇係数を導出する研究である。開発した 3 次元発熱・熱伝導解析ソフトウェアは、自然冷却における温度変化を基礎実験で検証しており、その結果から判断して信頼できるものと考えられる。そして、このソフトウェアの解析結果を様々な歯車諸元の実験で検証することで種々の歯車諸元や動力にも対応した温度予測ができています。そして、非定常熱伝導解析により今まで明らかにされていなかった微小時間内における歯のかみ合いの温度変化を明らかにしている。また、歯幅の大きさが歯の曲げ負荷容量に比例しないことを示し、モジュールの影響による歯の安定温度や温度分布から歯の曲げに対する負荷容量はモジュールに比例しないことを明らかにしている。

歯車の回転速度の影響による温度上昇では、回転速度とともに歯面に発生する熱量が増加するため歯の安定温度は上昇するが、さらに速くなると摩擦発熱およびヒステリシス発熱が減少する上、空冷効果も大きくなることから安定温度が低下することを発熱・熱伝導解析と実験により明らかにしている。そして、歯車諸元、動力、回転速度の影響を考慮した温度上昇式と温度上昇係数を提案している。

以上のように、プラスチック歯車の熱に関する設計指針を確立するとともに、その知見は、円筒歯車だけでなくウォームギヤの発熱問題にも適用できるものである。また、プラスチック歯車の用途拡大に伴い、今後、高速領域で使われる可能性が高い。その際、本研究成果の回転速度の影響を考慮した温度の推定は非常に有効であり、学術的にも工業的にも高く評価できる。成果の一例として、現在、JIS 規格「プラスチック平歯車及びはすば歯車の曲げ強さ評価法」制定に向け、JIS 規格制定委員会では本研究の成果を導入して規格原案を作成中である。

本論文の内容は、以下に示す 6 編の学術論文として公表されておりそのうち 5 編は申請者が筆頭著者である。

- 1) 森脇一郎, 福島隆雄, 上田昭夫, 中村守正: プラスチック歯車の疲労折損に及ぼすリム厚さの影響, 精密工学会誌, 掲載決定 (2009.10)
- 2) 上田昭夫, 吉原正義, 高橋秀雄, 森脇一郎: プラスチック歯車のかみ合い発熱のコンピュータシミュレーション (プラスチック平歯車対の場合), 日本機械学会論文集 C 編, 73 巻 732 号, pp.2357-2366, (2007.08)
- 3) Akio UEDA, Katsuyoshi SATO, and Ichiro MORIWAKI: The frictional coefficient and the simulation of plastic gears using basic experimental data, Proceedings of VDI International Conference on Gears, VDI-Berichte 1904.2, pp. 1367-1383, (2005.09)
- 4) 上田昭夫, 高橋秀雄, 中村守正, 森脇一郎: プラスチック歯車のかみ合い発熱のコンピュータシミュレーション (歯の温度上昇に及ぼす歯幅の影響), 日本機械学会論文集 C 編, 74 巻 748 号, pp.3050 – 3055, (2008.12)
- 5) 上田昭夫, 高橋秀雄, 中村守正, 森脇一郎: プラスチック歯車のかみ合い発熱のコンピュータシミュレーション (歯の温度上昇に及ぼすモジュールと回転速度の影響), 日本機械学会論文集 C 編, 75 巻 752 号, pp.1072 – 1080, (2009.04)
- 6) Akio UEDA, Hideo TAKAHASHI, Morimasa NAKAMURA, and Ichiro MORIWAKI : COMPUTER SIMULATION ON THE HEAT GENERATION IN MESHING OF PLASTICSPUR GEARS, – EFFECT OF MODULE AND GEAR SPEED ON HEAT RADIATION–, Proceedings of JSME International Conference on Motion and Power Transmission 2009 Sendai, p.450-455, (2009.05)