

氏名	瓜生 耕一郎
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第891号
学位授与の日付	平成30年9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	内歯車のスカイピング加工用カッタに関する研究
審査委員	(主査)教授 森脇一郎 教授 太田 稔 准教授 射場大輔

論文内容の要旨

本論文は、歯車の量産加工現場において実用化されたスカイピング加工を対象とし、カッタの再生プロセス(すくい面の再研削と再コーティング)によって生じる被加工歯車の歯形の変化(使用に伴う切れ刃の磨耗による変化はわずかであり、含まない)と、カッタ歯先の磨耗(被加工歯車の歯形には影響しない)が支配的である工具寿命の向上という2つの重要な課題に取り組んでいる。

被加工歯車の歯形の変化に関して、まず、カッタの製作に用いられる研削法を忠実にシミュレーションできるプログラムを開発し、その幾何学的要因を明らかにしている。次に、再コーティングによるカッタ自身の歯形の変化も調査している。また、試加工の結果として目標と異なる歯形や歯厚が得られた場合に、その結果と目標値の差から工具配置を逆算できる汎用的な計算手法を開発している。再生プロセスを経ても被加工歯車の歯形の変化を生じないカッタの設計についても考察し、カッタ歯面の研削法の改良が必要であることを明らかにしている。工具寿命については、軸角による切削パラメータと切削仕事への影響を比較することで、現状を把握して改善への手掛かりを得ている。これらから、従来とは異なる軸配置を採用することによって、被加工歯車の歯形の変化の抑制と工具寿命の延長を同時に可能にするカッタの設計指針を見出し、課題を解決している。

第1章は緒論である。研究の背景、内歯車用の各加工法の概要と特徴、過去の研究などについて論じ、解決すべき課題を明らかにしている。また、本研究の目的について述べている。

第2章では、軸角のあるスカイピング加工において、カッタ設計の基本となる、切れ刃形状の求め方について述べている。幾何学的必須条件であるかみ合い方程式を解くことで、内歯車と共役なピニオン形状を求め、そのピニオンとすくい面を形成する面との交線としてカッタの切れ刃形状を求める方法について明らかにしている。また、歯形誤差や、歯形誤差がある場合の歯車歯厚の計算方法についても述べている。

第3章から第5章は、被加工歯車の歯形の変化とその解決方法に関して述べている。

第3章では、被加工歯車の歯形変化の発生原因について述べている。まず、スカイピング加工で一般的に使用されている、外径が円すい状であるテーパ型カッタの現状の設計法とその製作法について幾何学的に解析している。また、現状の製作法の適用可能性について考察している。次

に、再コーティングによるカッタ自身の歯形変化に関して述べている。そして、被加工歯車の歯形の変化は、カッタの再研削に伴う幾何学的な要因によるものと再コーティングによるカッタ自身の歯形の変化によるものの合成であることを明らかにしている。

第4章では、第3章で述べている被加工歯車の歯形変化への対処方法について提案している。その解決には、カッタ配置を変更して歯形を調整する方法と、再生プロセスを経ても被加工歯車の歯形が変化しないようなカッタを開発し使用する方法が考えられる。スカイビング加工では、カッタ配置によって被加工歯車の歯形の調整が可能なことは知られており、カッタ配置から被加工歯車の歯形を求める方法は提案されている。しかし、逆に、目的の歯形と歯厚からカッタ配置を逆計算する汎用的な方法は開発されていない。ここでは、目的の歯形と歯厚を得るためのカッタ配置を計算する汎用的な方法を提案している。また、カッタ配置での歯形の調整には限界が存在する可能性があることに言及している。

第5章では、再研削しても被加工歯車の歯形が変化しないようなカッタの形状とその実現方法について論じている。カッタを試作して、製作の可能性を確認している。

第6章では、工具寿命改善のための現状把握として、切削パラメータと切削仕事への軸角の影響を調べ、現状の軸角が採用されている理由を明らかにしている。また、円筒型カッタについても検討し、円筒型カッタによる工具寿命改善の可能性について述べている。

第7章では、第3章から第6章で得た結論を総合し、再生プロセスを経ても被加工歯車の歯形の変化が少なく、工具寿命の延長も可能にするカッタの設計指針を提案している。それに基づいてカッタを製作し、加工実験を行い、提案した設計指針が歯形の変化の抑制と工具寿命改善に対し効果的であるかを確認している。

第8章では、スカイビング加工の利点の一つである歯すじクラウニング加工について考察している。歯すじクラウニング加工時に生じる歯形バイアスについて、その量や再研削の影響や調整法などについて述べている。

第9章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。従来は採用されていなかった設計指針をあえて採用し、再生プロセスを経ても被加工歯車の歯形の変化が少なく、工具寿命も延びるスカイビング用テーパ型カッタの設計を可能にしている。また、開発したカッタ配置パラメータの汎用的計算アルゴリズムを併用することにより、カッタの再生プロセスによって生じる被加工歯車の歯形の変化が解決できることを示している。

論文審査の結果の要旨

自動車用変速機やロボットなどに用いられている遊星歯車装置の構成要素のうち、外歯車には高能率で高精度な加工法が多く開発され利用されている。内歯車に対しても、ギヤシェーパーやブローチなどの従来工法に代わる高能率で高精度な加工法を求める声が高まり、発明後約100年を要したが、スカイビング加工が実用化された。しかし、工具寿命が短く、カッタの再生プロセス（再研削と再コーティング）を経ると被加工歯車の歯形が変化するなどの課題がある。

本論文は、スカイビング加工の更なる適用範囲の拡大を目的とし、被加工歯車の歯形の変化の発生要因の解明とその解決もしくは対処方法の開発、工具寿命の延長を可能にするカッタ設計法の確立を目標としている。まず、現状のカッタの設計・製法をシミュレートして幾何学的に考

察し、次に再コーティングによるカッタ自身の歯形の変化を調べている。これにより、被加工歯車の歯形変化は、幾何学的要因と再コーティングによるカッタ自身の歯形の変化の合成によるものであることを見出している。

次に、従来は個別諸元に対し専用的であった、被加工歯車の歯形を修整するためのカッタ配置の計算方法に対し、汎用的な計算を可能にするアルゴリズムを開発している。また、被加工歯車の歯形の変化を生じないカッタの設計法も見出し、製作が可能であることを実験で確認している。工具寿命に関して、現状の軸角設定の妥当性を、傾斜切削理論を用いて幾何学的に検討し確認している。被加工歯車の歯形変化と工具寿命に関して得られた知見から、従来とは異なるカッタ配置を採用することで、これらの 2 つの課題を同時に解決するカッタ設計法を見出している。最後に、歯すじ修整加工で生じる歯形バイアスに関しても調査している。

本研究で得られた知見は、今後、内歯車の生産現場において普及し、スカイビング加工法の適用範囲の拡大に寄与することが見込まれる内容であり、博士の学位を授与するに値する内容となっている。以下に学位論文の内容に関連している 3 編の公表論文を示す。

公表論文

- (1) 内歯車のスカイビング加工用テーパカッタ設計に関する研究
(ピニオンカッタに用いる台形砥石での創成通し研削によるテーパカッタ)
瓜生耕一郎, 長船司, 村上隆則, 中村守正, 射場大輔, 船本雅巳, 森脇一郎
日本機械学会論文集, 83 巻 853 号 (2017), No.17-00156
- (2) 内歯車のスカイビングにおける歯形と歯厚の調整に関する研究
(目標の歯形と歯厚を得るためのカッタ配置の計算方法)
瓜生耕一郎, 村上隆則, 中村守正, 射場大輔, 船本雅巳, 森脇一郎
日本機械学会論文集, 84 巻 861 号 (2018), No.17-00536
- (3) Effects of shaft angle on cutting tool parameters in internal gear skiving
Koichiro Uriu, Tsukasa Osafune, Takanori Murakami, Morimasa Nakamura, Daisuke Iba,
Masami Funamoto and Ichiro Moriwaki
Journal of Mechanical Science and Technology, 31(12)(2017), pp.5665-5673