

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏 名 本合 邦彦
 学 位 博 士 (工 学)
 学 位 記 番 号 新大院博 (工) 第 404 号
 学位授与の日付 平成 26 年 3 月 24 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博 士 論 文 名 精密金型計測のための走査型レーザ干渉計の実用化に関する基礎研究

論文審査委員 主査 教授・新田 勇
 副査 教授・田邊 裕治
 副査 教授・鳴海 敬倫
 副査 教授・岩部 洋育
 副査 准教授・坂本 秀一

博士論文の要旨

本論文は「精密金型計測のための走査型レーザ干渉計の実用化に関する基礎研究」と題して7章から構成されている。

第1章「緒論」では、本論文の目的である非球面レンズ金型の機上計測の必要性を述べている。小型プラスチックレンズ金型の製造において、現在その形状精度の評価は間接的に行われている。すなわち、当該の金型でレンズを製造し、成形レンズの光学的性能を測定することで金型の形状精度が判断されている。本研究では、既存の観察装置では実現できない広い視野と高い分解能をもつ広視野レーザ走査型顕微鏡を用いて、レンズ金型の直接的な形状計測法を開発することを目指した。具体的には、金型表面に参照板を設置して2光束干渉の原理を利用して、干渉縞像を取得する。その後、干渉縞を等高線として扱うことで金型の3次元形状を算出する方法を開発した。さらに、本研究が実際の製造現場で利用されるための諸問題を抽出し、その解決策などを示している。

以上第1章では、本研究の背景と目的および構成について述べている。

第2章「干渉縞の計測」では、これまでに開発した広視野レーザ顕微鏡で、2光束干渉が可能かを調べている。広視野レーザ顕微鏡は、広い視野を一度に観察でき、かつ横方向の空間分解が高い特徴がある。しかし、そのために高さ方向の分解能を犠牲にしている。既存の干渉計にレーザを走査する方式のものはない。広視野レーザ顕微鏡にレーザ干渉技術を加えることができれば、新しい観察装置として、小型金型の分野で使えることになる。そこで、凸レンズや模擬金型に対して、本手法を試したところ、十分微細な干渉縞が生じることが判明した。広視野レーザ顕微鏡が有する高い横方向空間分解は、10mm幅に亘り10 μ m間隔の干渉縞まで識別できることが明らかになった。

第3章「小型レンズ金型による観察と計測」では、直径4mmで深さが0.1mm~0.25mmまでの4種類の金型試験片に対して計測を行っている。参照板には円盤形のガラス板を用いており、試験片に確実に密着できるように特別な治具を製作した。実験の結果、0.1mm深さの試験片に対しては、4mmの領域すべてにわたり干渉縞を計測することができた。

しかし、それ以外の試験片については中央部の領域の干渉縞しか識別できなかった。凹面周辺部にも干渉縞は形成されているが、広視野レーザ顕微鏡の分解能が追いつかないために干渉縞が観察できないことが分かった。この章の課題としては、密に生成する干渉縞の間隔を広げることと、金型試験片表面での反射光が強いものに対して参照板でのそれが弱いことであった。

第4章「平凸レンズ参照板による課題解決」では、3章で判明した課題解決のために平面参照板に替えて、平凸参照板を使用する方法について検討している。さらに、参照板での反射光を強めるためにCr膜を成膜する方法を試している。その結果、平凸参照板を使用することで、干渉縞の生成密度が低下し、観察可能領域を広げること成功している。また、Cr膜を成膜したことにより、コントラストの高い干渉縞を得ることができた。金型試験片周辺部では、傾斜角がきついことから、反射光がレーザ顕微鏡に戻らない問題が生じた。これに対しては試験片を傾斜して観察する方法を着想して解決している。

第5章「干渉縞生成データからの計測法」では、3章と4章で得られた干渉縞から、金型試験片の3次元形状を求める手法について説明している。すなわち、干渉縞を等高線と見立てて、等高線を抽出し、多項式近似式を求めるものである。具体的には、画像の2値化、細線化、番号付け、近似式の作成の順でプログラムを作成している。触針式粗さ計の計測値と比較することで、誤差を論じている。

第6章「実用化に向けての課題分析」では、本手法のような新しい計測機器を機上計測器として用いた場合に、現状の金型作製工程がどのように簡略化されるかについて、シミュレーションを行っている。結論として大幅なコストダウンが図れることを示している。

第7章「結論」では、本論文で得られた主な結論を纏めている。

審査結果の要旨

本論文は、小型レンズ金型業界の根本的な課題で、かねてから要望が強かったにも拘わらずその実現に至らなかった問題、つまり金型加工現場での効率の良い迅速な機上計測方法について研究を進めている。2章では、既開発の広視野レーザ顕微鏡をレンズ金型の計測に用いることを着想している。この顕微鏡は視野が広い反面高さ方向の分解能が劣るので、この点を改善するために、2光束干渉を使うこととしている。しかしながら、レーザ走査タイプの干渉計は報告例がないので、広視野レーザ顕微鏡でレーザ干渉像が得られるかを調べた。その結果、レーザ干渉像を取得することが可能であることを2～3の実例を挙げて実証した。3章では、非球面レンズ金型を模した金型試験片と平面参照板の組み合わせで干渉縞を取得できることを確認している。この手法の良いところは、参照板を金型試験片に密着させることである。このようにすることで振動の影響を最小限に抑え込むことに成功している。4章では、参照板を平板から平凸型にすることで、深い形状の金型試験片の観察可能範囲が広がることを述べている。また、金型を傾斜させることで、より多くの金型形状に本手法が適用できることを実証している。参照板にCr薄膜をコーティングすることで、コントラストの高い干渉縞を得ることに成功している。このように、種々の改良を加えることで干渉縞が観察できる金型上の領域を着実に増加させている。5章では干渉縞から金型試験片の3次元形状を得る手法について論じている。6章では、機上計測が可能となった場合の金型製造プロセスについてシミュレーションを行い、大幅なコストダウンが図れることを示している。

このように、本論文はこれまでは不可能であった高精度小型レンズ金型の機上計測を可能とするための要素技術を開発しており、工学的に大変価値が高いと認められる。

したがって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。