

スリット開口のフラウンホーファー回析による施削面粗さ測定に関する研究

| | |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 深谷, 次助 メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/10297/1590 |

| | |
|---------|------------------------------------|
| 氏名・(本籍) | 深 谷 次 助 (静岡県) |
| 学位の種類 | 博 士 (工 学) |
| 学位記番号 | 工博乙第 68 号 |
| 学位授与の日付 | 平成 8 年 9 月 30 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規程第 5 条第 2 項該当 |
| 学位論文題目 | スリット開口のフラウンホーファー回折による旋削面粗さ測定に関する研究 |

| | | | |
|--------|-------|---------|------------|
| 論文審査委員 | (委員長) | | |
| | 教授 | 大 坪 順 次 | 教授 佐々木 彰 |
| | 教授 | 畑 中 義 式 | 教授 山 口 十六夫 |
| | 教授 | 鈴 木 康 夫 | |

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、スリット開口によるフラウンホーファー回折像の0次中心強度を用いた新しい形状測定法を提案し、旋削面粗さ測定へ対応することを目的として論じている。

スリットによるフラウンホーファー回折像の光強度分布はsinc関数として表わされ、0次中心強度はスリット幅の二乗に比例する。スリットの片方を旋削円柱と置き換えることによって、断面形状を測定できることを示している。スリット照射光源としてHe-Neレーザーを用いた場合、ビーム径が小さいスリット幅と0次中心強度との比例関係が得られず形状誤差を生じる。表面粗さ測定を実用化するためには、光源の強度分布考慮して、測定値の直線性を満たす条件を検討する必要がある。そのため、フレネル・キルヒホッフの回折積分式において、開口関数をガウス型ビームとして、ビーム径を w 、ビームの中心位置ずれ l 、スリット半幅 a 、凸凹によるスリット幅の変化量 δa および光検出器受光幅 h_a をパラメータとして回折光強度を数値計算している。0次中心強度の開平値 E_0 とスリット幅との比例関係を最小二乗法によって直線近似し、 E_0 の相対誤差1%、標準偏差 2σ を満たすパラメータの条件を求めている。その結果、 $w > 6a$ 、 $h_a < 0.2h_y$ 、 $l < \pm a$ とすればよいことを示した。

旋削面粗さ測定では、スリットの片方が円柱であるため、回折像強度分布は円周頂点近傍の反射光が作用してsinc関数のそれとは異なることが予想される。円柱表面の反射は正反射とみなし、1)スリット前後の反射(光源側を前)がある場合、2)後反射のみ、3)前反射のみの三種類に分類している。反射光の光路長と反射の発生条件は幾何学的に解析している。回折像は回折光と回折反射光との和とした回折理論式によって表わしている。光強度分布は上述の反射条件に従って数値計算し、回折の実験は

同一反射条件を満たす形状の円柱を用いて行っている。回折像は、数値計算シミュレーションと良く一致し理論解析の正当性が実証された。その結果、回折像の0次中心強度、最大強度およびその位置はスリット幅の変化に対して周期的な変化を示し、スリット幅が狭い領域で大きく変化する。反射条件1)と2)の回折像は良い共通性を示すことから、回折像は主としてスリット後側における回折反射光と円柱自身の遮光の影響を受けることが明らかとなった。

次に0次中心強度を用いた三種類の旋削面粗さ測定法を提案し、実験を行なっている。

1)0次中心強度による断面曲線測定では、凸凹の横分解能を上げるため、照射光は円柱軸方向に細いラインビームとしている。回折像の中心強度はスリット幅の2乗に比例するため、I-V変換電圧は2乗開平器を用いて信号の線形化を図っている。断面曲線はアナログ電圧によりリアルタイムで測定できる。実験結果は、その近傍を触針式表面粗さ測定器(Talysurf-4)を用いて測定した形状と最大高さ R_y ともによく一致し、実測時の測定パラメータは2章の条件を満たしていることを示した。

2)振動法による断面曲線測定では、ナイフエッジを正弦振動させることにより、0次中心強度はスリット幅の2乗に比例する。凸凹によって振幅変調された基本波電圧の振幅はスリット幅に比例するため、理論的に線形な断面曲線を測定できることを示している。積層型およびバイモルフ型圧電素子は波形ひずみの小さい正弦振動が得られ、ナイフエッジの振動源として使用できることを示した。これら二種類の圧電素子を用いた断面曲線の測定例は、Talysurf-4を用いた形状と R_y 共に良く一致した。粗さ測定次のI-V変換電圧のパワースペクトルの周波数成分と振幅値は測定理論を満たしていることを示した。バイモルフ型は共振周波数において極めて波形ひずみの小さい大振幅の粗さの測定ができるので、反射光の影響を小さくできる。また、振動法は外乱振動に強い特徴を有していることを示した。

3)自乗平均平方根粗さ(RMS)測定では、評価長さに対応した平行ビームを照射し、ナイフエッジを等量(Δa)2回変位させ、 Δa と0次中心強度のI-V変換電圧とからRMSの絶対値を直接計算できることを示している。従来の測定原理とは異なり断面曲線を測定することなくRMSの絶対値が得られる特徴を有している。またRMSの測定条件(Δa に関して)は $\Delta a > 0.3R_y$ とすればよいことを示した。RMSの実験値は本装置ならびにTalysurf-4による断面曲線を用いた計算値と一致した。

結論では、スリットによる回折を基本原理として、照射ビームの形状を変化させることにより、断面曲線とRMS粗さ測定を実現することができたことを述べている。

また展望では、振動法による測定手法は、外乱振動に強く、反射光の影響を小さくできる特長があり、表面粗さ、真円度測定などのインプロセス測定への応用が期待されることを記している。

論文審査結果の要旨

スリット開口のフラウンホーファー回折像の0次中心強度を基本原理とした新しい表面粗さ測定法を提案し、旋削面の断面曲線並びに自乗平均平方根(RMS)粗さ測定に応用した。また、He-Neレーザーを照明光として測定値の線形性が得られる条件と試料表面からの反射光の回折像光強度分布への影響を解析した。その内容は以下のとおりである。

第2章では、ナイフエッジと旋削円柱からなるスリットを形成し、照射光を線状ビームとして0次中心強度による断面曲線とRMS粗さの測定原理を示している。レーザービームはガウス型強度分布をしているため、スリット幅と0次中心強度との比例関係はビーム径の大きさによって測定値の線形性が支配されるので、ビーム径、ビーム中心位置ずれおよび光検出器受光幅をパラメータとして数値計算し、相対誤差を1%、最小二乗法によって直線近似した標準偏差 2σ を満たす条件を解析している。

第3章では、粗さ測定においてスリットの片方が円柱であるため、円周頂点近傍で発生する反射光の光路長と反射の発生条件を三種類に分類して数値計算シミュレーションし、同じ反射条件を満たす形状の円柱を用いた実験結果と対比して反射の原因とその効果を究明している。回折像は主として開口後側の円柱表面における回折光の反射と遮光の影響を受けることを明らかにしている。

第4章では、第2章の測定原理に基づいて、旋削面の断面曲線を測定している。0次中心強度はスリット幅の2乗に比例するため、光変換電圧を2乗開平器によって信号の線形化を図っている。旋削試料の測定結果は触針式表面粗さ測定器(Talysurf-4)による断面曲線と比較して良く一致しており、測定パラメータは第2章の条件を満たしていることを示している。

第5章では、振動法による断面曲線測定において、ナイフエッジの振動源として圧電素子を用いる方法を提案している。振幅変調された0次中心強度による断面曲線は理論的に線形であり、断面曲線の測定結果はTalysurf-4と比較して良く一致している。振動周波数および振動振幅をパラメータとした断面曲線と0次中心強度の光電変換電圧のパワースペクトルは、測定理論を満たしていることを示している。この測定法は外乱振動に強く、反射光の影響を小さくできる特徴を有している。

第6章では、スリット状の光ビームを照射することにより、0次回折光からRMS粗さを求める方法を提案している。この方法によって、理論的にRMS粗さの絶対値が得られることを示している。実験値はTalysurf-4による断面曲線からの計算値と一致している。

本研究によって、光学的非接触による表面粗さ測定法が確立されており、工学的価値は高く、博士(工学)の学位を授与するのに十分な内容であると認定する。