

氏名 李 金環
学位 博士(工学)
学位記番号 新大院博(工)第220号
学位授与の日付 平成18年3月23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 Study on measurement of sectional profiles of metal cylinders using a sinusoidally vibrating interference pattern
(正弦波振動干渉パターンを用いる金属円筒断面形状計測に関する研究)

論文審査委員 主査 教授 佐々木 修己
副査 教授 関根 征士
副査 教授 佐藤 孝
副査 教授 菊池 久和
副査 助教授 鈴木 孝昌

博士論文の要旨

金属円筒の直径や断面形状あるいはネジゲージのねじ山形状などの断面形状測定には、機械的な触針あるいは非接触型の光触針(光プローブ)が従来から広く用いられているが、1点ごとの測定となるため機械的な走査が必要となり、測定時間が長くなる欠点がある。一方、測定物体に平行な光を照射し物体の影の像すなわち断面形状の拡大像を CCD カメラで検出し、各画素の光強度を正確に解析することから断面形状の頂点位置を測定する方法がある。この場合は、頂点座標は CCD カメラの画素位置によって表現されるため、CCD カメラの画素サイズで測定精度が決まり、広い測定範囲が得られない欠点がある。

そこで、本論文では、正弦波振動する干渉縞パターン(SVIP)レーザ光を用いる計測方法を提案している。この方法では、SVIP 自体に位置座標を表現する目盛りが位相の値によって付けられているため、測定精度は SVIP の正弦波強度分布の周期 P だけで決まり、測定精度は $P/200$ 程度となる。SVIP によって生じる干渉信号の検出は 2 次元 CCD カメラで検出される。干渉信号の位相検出においては、CCD カメラの画素領域全体についての位相の平均値が得られることから、CCD カメラの画素サイズの大きさは物体面上において $P/8$ 位にすることができ、数 cm 程度の大きさの測定領域となる。これらの特性を有する本計測法を用い断面形状を高精度でかつ短時間で測定できる測定装置を開発することを目的としている。

第1章では、従来の断面形状測定法の問題点を明らかにし、本研究の背景と目的を示すとともに、本論文の構成について説明している。

第2章では、本研究で用いる正弦波位相変調干渉法の原理について述べており、検出された干渉信号の周波数解析によって必要とする干渉信号の振幅、位相を求めているため、雑音の影響を受けにくく、高精度で位相を測定することができることを説明している。また CCD カメラを用いて時間的に変化する正弦波位相変調干渉信号を検出する方法および機械的な振動による位相変動を取り除くためのフィードバック制御の方法についても説明している。

第3章では、円周に沿ってV字型溝がある金属円筒を測定対象として、SVIPを用いた断面形状測定装置の構成と測定方法について詳細に説明している。すなわち、半導体レーザからの平行レーザ光を用い、正確に正弦波強度分布を有する周期Pの干渉縞パターンを測定物体上に作り、また平行レーザ光を反射させるミラーを圧電素子PZTによって正弦波振動させることによって、干渉縞パターンをx軸方向に正弦波振動させている。測定物体の頂点位置の座標は断面形状に応じてy軸方向に沿って変化しており、アフォーカル結像系のスペクトル面上で、頂点位置から来る光だけをスリットで選択的に通過させることによって、頂点位置の像すなわち測定物体の断面形状の像を得ている。頂点位置の像の光強度分布は時間的に変化しており、CCDカメラによって検出される正弦波位相変調信号の振幅がx軸方向に沿って最大となる位置における検出信号の位相を求めれば、x軸方向に沿っての断面形状の頂点位置が得られ、この頂点位置をy軸方向に沿って連続化することで断面形状を求めている。金属円筒の円周上に作られた幅1mm、深さ1mmのV字型溝の断面形状を測定対象とし、本測定装置の基本特性を明らかにしている。SVIPの周期Pは $100\mu\text{m}$ 、測定間隔は $9\mu\text{m}$ で測定を行った結果、測定誤差は溝幅で $0.5\mu\text{m}$ 以下、溝深さで $1\mu\text{m}$ 以下の測定誤差であったことを述べている。その後、ねじゲージの片側の断面形状を同様な測定誤差で測定しており、これらの測定では、SVIPによる目盛りだけで断面形状の頂点位置を求めることができることを明らかにしている。

第4章では、SVIPを用いて円筒の断面形状すなわち直径の測定を行っており、この場合は、SVIPによる目盛の他にCCDカメラの画素配列位置を用い、断面形状の頂点座標を求める方法を明らかにしている。測定装置では、直径が既知の円筒によってアフォーカル結像系の像倍率の値を正確に求める必要があること、およびSVIP自体の位相分布が時間的に変化しないように、ある1点のSVIP自体の位相の値を常に一定値とするフィードバック制御系を付け加える必要があること示している。直径8mmから9mmの円筒の直径をy軸方向に沿って10mmの範囲で測定した結果、直径の測定値はy軸に沿って細かく変動しているが、y軸に沿っての直径の平均値については $1\mu\text{m}$ 以下の繰り返し測定誤差となることを明らかにしている。

第5章では、前章と同様な測定方法で、直径10mmのねじゲージの両側の断面形状を測定している。ねじ山が円周に沿って続く方向が、左右の断面形状で異なるため、ねじをアフォーカル結像系の光軸方向に傾ける必要があること、ねじ山の幅と深さなどの値は数 μm 以下の測定誤差で測定できることを明らかにしている。

第6章では、本論文の成果を総括しており、本論文で提案した新規なSVIPレーザ光を用いる計測方法によって、広い測定領域にわたって高精度に断面形状を測定できると結論づけている。

審査結果の要旨

本論文は、ねじゲージの断面形状測定に適した測定装置を開発することを目標とし、正弦波振動する干渉縞パターン(SVIP)レーザ光を用いる計測方法を提案し、その光学系構成と特性について論じたものである。測定物体に平行光を照射し物体の影の拡大像をCCDカメラで検出する従来の方法に比べ、本論文の計測方法では、SVIPレーザ光自体に位置座標を表現する目盛りが付けられているためCCDカメラの画素サイズの大きさには依存せず、測定精度はP/200程度の高精度となる。また同時に測定点間隔はP/8位になることから大きな測定領域を実現できる。これらの特性を有する本計測法が、金属円筒の直径やねじゲージのねじ山形状測定に有用であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は従来の測定装置では達成し得ない高精度、広い測定領域を実現するために、新規性に富んだ着想によりSVIPレーザ光による断面形状測定装置を構築したものであり、断面形状測定によるねじゲージの検査方法の進歩と発展に寄与するところが非常に大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認定した。