

氏名	長洲慶典
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲 第704号
学位授与の日付	平成31年3月20日
学位授与の要件	信州大学学位規程第5条第1項該当
学位論文題目	音波利用による微細穴検査技術に関する研究
論文審査委員	主査 准教授 中山 昇 教授 吉野 正人 教授 榊 和彦 准教授 高山 潤也 教授 神 雅彦 (日本工業大学)

論文内容の要旨

金属板に微細穴や小穴が加工された部品は多様な工業製品に使われており、電気化学式ガスセンサ、燃料噴射用ノズルプレート、マイクロホン用フィルタ部品、流量制御用オリフィスプレート、水素ステーション用の水電解部品などが製品実例として挙げられる。これらの製品は、主に気体や液体の流量制御部品として生産されており、穴の直径は100 μm 以下のものから1 mm 以上まで、穴数は1個から60万個まで機能や用途に応じて様々な仕様の部品が存在する。

直径100 μm 以下の微細穴を有し、流量制御を目的として使用されている製品のの一つに、電気化学式のCOガス検知センサ用部品が挙げられる。COガス検知センサは家庭用・業務用問わず人命にかかわる重要な保安部品であり、ガスセンサには小型・長寿命・安定動作・高感度・量産性・低コストなどの性能が求められ、センサ内の各部品は厳しい加工精度が要求される。また、近年では導入外気からCOガスを検知し、内気循環への自動切替えする機能や、一酸化炭素事故防止などの重要な保安部品として、ガス検知センサの自動車への搭載が進んでいる。COガスセンサ内に組み込まれる拡散制御板は、厚さ100 μm のステンレス鋼板に、直径100 μm の単一穴がプレス加工されており、センサの感度を保証するため穴径に対して $\pm 5\%$ 以内の公差に保つ必要がある。

穴径については従来の装置でも直径 $100 \pm 5 \mu\text{m}$ の検査が可能であるが、拡散制御板はCOガスを通させることでセンサとして機能を果たす製品であるため、流量保証が求められていることや、プレス加工によって量産される部品であるため迅速な検査が求められている。そこで、本研究では微細穴部品の穴径を $100 \pm 5 \mu\text{m}$ の公差で検査し、流量保証と高速検査が可能な検査技術の確立を目的とし、従来には無い音波利用による微細穴検査技術を提案した。

微細穴部品の加工法はプレス加工、放電加工、ドリル加工、レーザ加工、ウェットエッチング法など多岐に亘るが、生産数量が多い部品は加工コストが低いプレス打ち抜き加工が選択される。プレス加工製品は短時間で大量に部品を生産できるが、微細穴部品が組み込まれる製品の機能保証のためには、穴径の全数保証が求められる。そのため、加工現場において微細穴部品の穴径を簡便且つ迅速に検査する手法が必要と考えた。

本論文では微細穴に照射した音波の反射音を利用した検査技術、微細穴からの透過音を利用した検査技術、ヘルムホルツ共鳴現象を利用した新しい検査技術を提案している。いずれの検査技術も、スピーカとマイクロホンが検査装置に組み込まれている点では同じであるが、要求検査精度や装置構造、検査対象のサイズなどに合わせて検査方法を任意に選択することで多様な微細穴検査を実現できる。

第1章では、研究背景と現状の微細穴部品の穴径検査に関連する計測・評価技術を説明

し、本研究の目的を示した。

第2章では、反射音を利用した微細穴検査技術を提案した。微細穴境界面での断面積変化による音波の反射率を推定し、穴径によって反射率が異なることから反射音を利用することで微細穴径を検査できると仮定した。実験により微細穴部品からの反射音を計測することで、直径 $100\ \mu\text{m}$ の微細穴部品に対し $\pm 1\ \mu\text{m}$ の穴径差を検査できることを示した。反射音は検査装置に内蔵したダイナミック型マイクロホンで検出するため、穴部品を検査装置上部に設置するだけで検査可能である。そのため、装置を小型化できることや、加工現場での簡便な検査に対応した装置設計が可能である。

第3章では、さらなる穴径の検査分解能の向上を目的とし、透過音を利用した微細穴検査技術を提案した。音圧校正された標準マイクロホンを用いて微細穴の透過音を検出することで、微細穴の高精度な穴径検査が可能であると仮定した。実験により直径 $100\ \mu\text{m}$ の微細穴部品に対し、 $\pm 0.1\ \mu\text{m}$ の穴径差の検査性能を有することを示した。

第4章では、ヘルムホルツ共鳴現象を利用した小穴検査技術を提案した。ヘルムホルツ共鳴器は、開口部を有する容器の内部にある空気がばねとしての役割を果たし、共鳴することで音を発する装置であり、共鳴周波数は容器の容積と開口端の形状によって変化することが示されている。本研究では検査容器の開口部に小穴部品を配置し、開口率の変化によってヘルムホルツ共鳴周波数が変わる現象を利用し、穴径を検査する手法を提案した。検査実験では検査容器内に配置したスピーカへ周波数掃引した電気信号を入力し、容器内に発生した音圧を標準マイクロホンにより計測することで共鳴周波数を求めた。ドリル加工した穴部品の穴径差によって、共鳴周波数が異なることを確認し、穴径の検査が可能であることを示した。

第2章から第4章において提案した3つの検査手法は、いずれも音波を用いて微細穴を検査することから穴径と流量保証が可能であり、流量制御を目的とした微細穴部品の検査に適している。高速かつ簡便に検査できることや、非破壊検査であることも特徴として挙げることができる。