

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 伊藤 海太

本論文は、材料の製造プロセスを非接触かつ高感度にモニタリングする非破壊評価手法として、レーザ AE (Acoustic Emission) 法による新たな計測および解析装置を開発したものである。さらに、この装置を用いてプラズマ溶射法によるセラミック皮膜の成膜プロセスをモニタリングすることにより、従来の装置では不可能であった溶射中に発生する皮膜での微視破壊を評価している。論文は全4章で構成されている。

第1章は序論であり、非破壊評価法、AE法、AE波形の時間-周波数変換法、プラズマ溶射法などについて述べている。まず、非破壊評価法について、供用中の材料に対する定期検査に広く利用されている現状を紹介するとともに、先進材料の開発に際して重要となる製造プロセス制御のためのモニタリングへの応用の可能性について述べている。次に、このプロセスモニタリングの手法として、材料中での損傷の発生をリアルタイムに検出可能なAE法について述べ、なかでも非接触計測が可能なレーザAE法が、材料へのセンサの取り付けが不要でかつ高温環境でも使用できるために有効であると結論している。ただし、従来のAE計測装置がプロセスモニタリングを目的として設計されていない点や、レーザAE法の感度が従来の圧電素子を用いる手法より低い点などを問題点として指摘している。そして、これらの問題に対してはAE波形の信号処理による対処が有効であると述べたうえで、短時間フーリエ変換やウェーブレット変換などの手法を紹介している。さらに、プラズマ溶射とそれにもなうセラミック皮膜の破壊についての過去の研究を紹介している。

第2章は、レーザAE法によるプロセスモニタリングのための新たなAE計測および解析システム (Continuous Wave Memory, CWM) の開発について述べている。従来の装置はAE事象の発生時のみ波形を記録するのに対して、CWMは全計測時間の波形を記録するものである。このため従来の装置は、AE波形記録の開始トリガ(しきい値電圧)の事前設定が必要であり、AE信号とノイズの特性がプロセスの進展にともない変化するプロセスモニタリングでの使用は困難である。これに対して、CWMではこの事前設定が不要であり、計測中だけでなく計測後にも連続波形を再生することで様々な信号処理を用いた解析を行うことができる。この膨大な連続波形データを効率的に処理するため、CWMのハードウェアではCPUやハードディスクを並列化し、またソフトウェアは高速処理と安定した計測を両立するため、既製の波形処理ソフトウェアを利用せず独自に開発している。また、従来のAE装置と同様のAE事象ごとのパラメータ算出機能に加えて、連続波形の記録・再生および高いカットオフ性能有する周波数領域でのノイズフィルタ機能を実装している。次に、CWMの性能の検証を行っており、セラミック繊維マットの圧縮にともなう発生する高頻度のAE事象の漏れのない検出や、パルスレーザによって励起された微弱な擬似AE信号の検出が可能であることを示し、従来型装置に対するCWMの優位性を明らかにしている。

第3章では、このCWMを用いた大気圧プラズマ溶射 (Atmospheric Plasma Spraying, APS)プロセスのモニタリングについて述べている。APSにおいてはき裂の発生が材料の特性に影響を与えるため、プロセスモニタリングが必要と考えられるが、信号レベルと比して高いノイズのために従来の計測装置では損傷モニタリングは不可能であった。そこで、レーザ AE 法と CWM を利用することにより、計測された連続波形から複数のノイズ成分を除去することで、溶射中の AE の検出に成功している。さらに、予熱温度やトップコートの膜厚を変えた試験において、AE の発生時刻および位置標定の結果と試料断面の観察結果を比較することにより、検出された AE は溶射中に試験片中央付近のトップコート内部で発生するはく離、溶射終了後に試料側面からトップコートとボンドコートの界面付近を成長するはく離、およびトップコートの縦割れに対応していると推定している。また、得られた AE 波形と有限要素法によるシミュレーション結果の比較によって、本実験で検出可能なき裂半径は約 0.5mm であると結論している。

第4章は結論であり、プロセスモニタリングに応用可能な非接触高感度の AE 計測を行うために、レーザ AE 波形の連続計測と解析が可能な CWM を開発することにより、従来は不可能であった APS プロセス中の損傷発生のモニタリングに成功したと結論している。

以上、本論文は材料の製造プロセスのモニタリング手法として新たに AE 法の開発とその応用を行い、プロセス中に発生する材料内での動的な損傷挙動を明らかにしたものであり、マテリアル工学の発展への寄与が大きいと判断できる。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。