HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	微小材料のクリープ特性評価のためのマイクロインデンテーション法に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	瀧田, 敦子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11883号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58597
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Atsuko_Takita_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　瀧田 敦子

学 位 論 文 題 名

微小材料のクリープ特性評価のためのマイクロインデンテーション法に関する研究
(Study on a Micro Indentation Method to Evaluate Creep Deformation of Small Materials)

電子実装基板上のはんだ接続部は線膨張係数の異なる材料から構成されており, このため作動に伴う発熱により熱応力が生じる. さらに、電源の on/off による熱サイクルにより発生する繰り返し応力は, 低サイクル疲労の原因となるラチェット変形などの非線形変形の起因となる. 近年, 電子実装基板は人命にかかわる多くの機器に使用されており, このような繰り返し熱応力が原因となるはんだ接続部の低サイクル疲労による接続不良は, 重大事故を招く恐れがある. このことから, 電子実装基板上のはんだ接続部の強度信頼性を精度よく, なおかつ, 比較的容易に評価可能な手法が望まれている.

はんだ接続部を含む電子実装基板の強度信頼性は, 現在, 有限要素解析 (FEM 解析) で評価される場合がほとんどである. 一般に,FEM 解析には, バルク材を用いて実施した強度試験の結果を用いる. しかし, 微小はんだ接続部に対して, バルク材から得られる強度試験結果をそのまま適用可能か否かが重要な問題となっている. より信頼性のある FEM 解析を行うためには, 実装状態におけるはんだ接続部の強度特性を FEM 解析に導入しなければならない. このためには, 微小であり, 実装状態にあるはんだ接続部の変形特性, 特にはんだ材の支配的な変形様式であるクリープ変形を, 微小はんだ接続部から直接取得可能な試験方法が必要である.

マイクロインデンテーションクリープ試験は, 微小領域における変形を評価するのに適した手法である. 球圧子や円錘圧子,Vickers 圧子などの圧子を一定荷重で試料に押込むだけの容易な試験であり, 試験片形状に制約がなく評価対象の部位に微小変形を与えることが可能である. マイクロインデンテーションクリープ試験で得られた結果を FEM 解析に用いるためには, 得られた結果がバルク材の引張クリープ試験から得られる結果と同一である必要がある. しかし, マイクロインデンテーションクリープ試験で得られるクリープ特性は引張クリープ試験のものとは異なり, その原因について理論的に検証した例はない. 原因が明らかでないにもかかわらず, マイクロインデンテーションクリープ試験の結果を引張クリープ試験の結果に一致させる物理的意味のない安易な手法が, 多く提案されて解析に用いられているのが現状である.

本研究では, 材料の微視的構造などのサイズ効果の影響のない,FEM 解析による計算機実験を行い, マイクロインデンテーションクリープ試験の結果が, バルク材から得られる引張クリープ試験の結果に一致しない原因を明確にする. さらに, マイクロインデンテーションクリープ試験の応力算出のための基準面積を新たに提唱し, マイクロインデンテーションクリープ試験の有用性を示すとともに, 微小材料のマイクロインデンテーションクリープ特性評価法を構築することを目指した.

本論文は全 7 章から成り, 各章の内容および得られた結果は以下のように要約される.

第 1 章では, はんだ接続部の強度信頼性確保に対するマイクロインデンテーションクリープ試験の有意性について述べた. また, 実用化に向けた問題点を提示し, 本論文の目的を示した.

第 2 章では,Sn-3.0Ag-0.5Cu を試料として, マイクロインデンテーション試験装置を用いたク

リープ実験と, バルク材を用いた引張クリープ実験を実施した. 双方の結果を比較し, マイクロインデンテーションクリープ実験結果と引張クリープ実験結果が一致しない原因について考察した. その結果, 実際の実験による原因究明には, バルク材と微小材料の微視的構造などのサイズ効果を考慮する必要があることから, サイズ効果を考慮する必要のない構造解析による計算機実験での検討が妥当であることを示した.

第 3 章では, 第 2 章の検証結果に基づき, 材料の微視的構造の影響のない FEM 解析によるマイクロインデンテーションクリープ計算機実験を実施した. これにより, 一般に使用されているマイクロインデンテーション試験における基準面積の導出方法が, バルク材のクリープデータと一致しない原因であることを明らかにした. そこで次に, 圧子押込み深さ保持試験なる新しいマイクロインデンテーションクリープ試験を提案し, 応力の導出に適した新たな基準面積の導出を計算機実験で試みた. その結果, 応力緩和を利用した定常クリープ特性評価法と定常クリープ構成則である Norton 則から, 新たな基準面積を決定できることを示した. さらに, 新たに得た基準面積を用いて評価したマイクロインデンテーションクリープ試験の結果が, バルク材の引張クリープ試験の結果と一致することを示した.

第 3 章で提案した手法は, バルク材の引張クリープ結果が必要である. このため, バルク材の引張クリープデータが不明な微小はんだ接続部のクリープ特性を, マイクロインデンテーションクリープ試験のみで得ることはできなかった. 第 4 章では, まず, 主応力に着目し, 新しい基準面積の物理的意味合いについて検討した. すなわち, マイクロインデンテーションクリープ中の最大主応力面が, 圧子先端を中心とする半球となり, その面積が第 3 章で提示した基準面積とほぼ等しいことを示した. 次いで, 半球の半径が, 塑性深さと圧子の幾何学形状から決定可能であることを示し, マイクロインデンテーションクリープ試験のみから, 基準面積の導出が可能であることを明らかにした.

第 5 章では,Sn-3.5Ag, Sn-37Pb, Sn-58Bi の 3 種類のはんだ材に対して, 圧子押込み深さ保持によるマイクロインデンテーションクリープ計算機実験を行った. これにより, 第 4 章において提案した基準面積の導出手法が Sn-3.0Ag-0.5Cu 以外のはんだ材に対しても適用可能であることを示した. さらに, 四角錘である圧子の先端角度を 60 °, 74 °, 80 °に変えたマイクロインデンテーション試験を行い, 圧子形状が異なる場合についても検証した. その結果, 異なる圧子先端角度に対しても, 提案した基準面積算出方法が適用可能であることを明らかにした.

第 6 章では, 計算機実験により検討した手法を実際の試験機を用いた, マイクロインデンテーションクリープ試験を行った. 対象材料は Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだ材とした. この結果, マイクロインデンテーションクリープ実験のみから, はんだ材のクリープ特性を実際に得ることが可能であることを示した. また, 測定結果とバルク材による引張クリープ実験結果との比較から, マイクロインデンテーションクリープ実験と引張クリープ実験結果とが一致することが分かり,Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだ材の場合には, 微小材料とバルク材との微視的組織の違いなどのサイズ効果が見られないことを示した.

第 7 章では, 全体の総括と本研究より得られた結論について述べた.