

学位論文審査結果の要旨

専攻主任



博士（工学）申請者 見山 克己

審査委員

主査 教授 高島 敏行
副査 教授 黒川 一哉（北海道大学大学院）
副査 教授 竹澤 聡
副査 教授 登坂 茂

異種材料接合機構における界面反応と残留応力並びに歪みに関する研究

本論文は、異種材料の接合に関して、異種材料間に生成される反応生成物の挙動や、加熱・冷却に伴う熱残留応力や歪みの影響を総括的・俯瞰的に考察し、これらを明らかにすることを目的とするものであり、全6章から構成されている。

第1章は緒論であり、接合技術が発展してきた経緯と共に技術を分類し、接合に際して熱を必要とする接合方法において、反応生成物や異種材料間の物性差が接合信頼性に及ぼす影響について述べると共に、本研究でセラミックスと金属の接合およびエレクトロニクス分野の三次元実装やはんだ反応層に着目した理由、また研究課題及び研究目的について記述している。

第2章では、異種材料界面における化学的反応について、Ni-Cu-Ti ろうを用いた窒化珪素セラミックスと金属の接合において、ろう付け昇温速度を変化させた際の、反応生成物の違いと接合強度の関連について明らかにすると共に、Sn系無鉛はんだとCu板との反応層について、高温放置による反応層成長を観察し、その活性化エネルギーを求めている。

昇温速度を速くすることでセラミックス/金属接合体の曲げ強度が向上することを示し、これは接合界面に形成される反応層が昇温速度に依存して変化するためであると結論づけている。反応層はTiNとSi-Al-Y複酸化物アモルファス相の2相から成ることが推定され、酸化物アモルファス相の量と接合強度に良い相関が認められることを見出している。

またSn-Ag系およびSn-Ag-Cu系無鉛はんだとCu板の接合界面に形成される反応生成物を観察・調査することにより、 Cu_3Sn と Cu_5Sn_6 の2層から成る反応生成物を同定している。これらの反応層は高温放置することにより厚さ成長が認められ、この成長速度は反応時間に対して放物線則に従うことから、拡散律速であることを明らかにしている。

第3章では、異種材料接合体の界面反応生成物と機械的特性について、窒化珪素セラミックスと金属の接合体を用いた回転曲げ疲労試験と破面観察により、動疲労挙動

と疲労破壊に及ぼす反応層の影響を考察している。

疲労破壊のメカニズムは、まず回転曲げの引張・圧縮の繰り返し応力によるろう材層の疲労によりセラミック界面に存在する Ti 濃化層(TiN)/ろう材層界面での界面強度が低下して初期クラックが発生(第 1 段階)、さらにクラックは疲労したろう材層に進展しストライエーションを形成(第 2 段階)し、最終的にはセラミック/ろう材層界面の Ti 濃化層(TiN)で破断したものであることを示している。これらのメカニズムから、初期クラック発生段階の Ti 濃化層界面強度を向上させることにより疲労限を向上させ得ることを明らかにしている。

第 4 章では、異種材料間の熱膨張挙動の差を利用した接合信頼性の確保について、材料の熱膨張挙動が接合信頼性に及ぼす影響に関し、プリント配線板とセラミックス/金属接合体の 2 つの観点から考察を行っている。まず部品内蔵プリント配線板における部品接着樹脂(NCP)の物性値を変動要因として、応力解析により適性物性値を予測すると共に、実験にて検証を行い、物性値適正化により接合信頼性を確保できることを明らかにしている。

次に、セラミックスと金属の中間に Ni と W 合金からなる複合応力緩衝層を介在させることでセラミックスに発生する残留応力を低減できることを示している。また、ろう付け後の空冷でマルテンサイト変態が生じる鋼種を接合相手金属として選択することにより、マルテンサイト変態に伴う体積膨張を利用して、セラミックスに発生する残留応力を低減可能であることを明らかにしている。

第 5 章では、3 種類以上の異種材料を組み合わせた場合に発生する、材料物性の差に起因する熱変形が完成部材としての信頼性に与える影響について、電子デバイス分野で注目されている部品内蔵プリント配線板を通して考察している。

内蔵する電子部品はベアチップとし、アンダーフィル樹脂を介して内層配線層に実装した部品内蔵プリント配線板を用いて、リフローはんだ付け時の加熱による熱変形について、熱変形解析により予測すると共にモアレシャドウ法による変形実測を行っている。

0.1mm 厚の材料を用いて作製した配線板に 10mm 角、0.1mm 厚のベアチップを内蔵した構造ではリフロー後に層間剥離による基板膨れが発生したが、配線板の内層パターン調整、および材料板厚を増す構造で同様にリフローを実施したところ、剥離の発生を抑制できることを示している。熱変形解析の結果、膨れが発生した構造では最も大きい変形量が算出され、内層パターンの調整もしくは基板の板厚の調整により熱膨張収縮挙動を制御し、変形量を低減できることを明らかにしている。また解析により得られた熱変形量と上記実験による剥離発生状況および熱変形量実測値の傾向が一致することから、熱変形解析を用いて膨れの発生を予測できる可能性を示している。

第 6 章は本論文の結論であり、異種材料接合における界面反応とそれに伴う反応生成物が接合体の強度に与える影響、および材料の物性差に伴う残留応力や歪みが接合体の強度や変形に及ぼす影響について総括している。

以上要するに本論文は、異種材料の接合における界面反応現象や物性差に伴う熱残留歪みおよび応力の影響を明らかとすることにより、接合体設計や接合条件の選定の指針となる知見を示したものであり、材料工学や加工工学に資するところ大である。

よって、著者は博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。