

平成 22 年 3 月 18 日現在

研究種目： 基盤研究(C)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19560085
 研究課題名（和文） 微視構造を考慮した傾斜機能材料の強度に関する基礎的研究
 研究課題名（英文） Basic study on the strength of functionally graded material taking into consideration of micro-structure
 研究代表者
 野田 直剛 (NODA NAOTAKE)
 静岡大学・工学部・教授
 研究者番号： 22002238

研究成果の概要（和文）：

傾斜機能材料の信頼性と安全性の確保を目的に、微視構造を考慮した傾斜機能材料の強度に関する基礎的研究を実施した。研究成果は、局所的傾斜組成を有する傾斜機能材料の強度に関する解析的手法を提案したこと。微視構造を考慮した傾斜機能材料強度に関する解析的研究では、傾斜機能組成変化方向が境界線と傾いている平板の解析に成功したこと。数値解析手法に関する研究では、均質化法により物性値の評価を行い、良い結果を得たこと。

研究成果の概要（英文）：

Basic study on the strength of functionally graded material (FGM) taking into consideration of micro-structure is carried out to secure the reliability and the safety of the FGMs. An analytical method concerning with strength of the FGM with the local inclination composition was proposed. Thermal stresses in the FGMs with an oblique boundary to the functionally graded direction were solved analytically. Material properties in the FGM were evaluated by use of homogenization method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学

キーワード：連続体力学

1. 研究開始当初の背景

航空、宇宙、核融合、原子力分野等において、熱的極限環境下で使用される材料

の開発が進められている。例えば、東京—ニューヨーク間を3時間で飛行するスペースプレーンの開発計画においては、

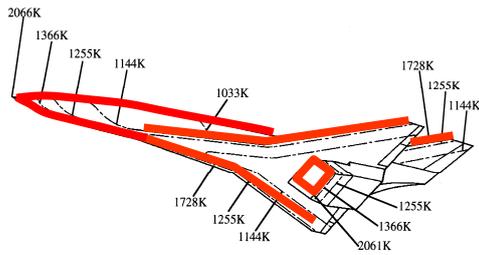


図1 速度:M 8、高度:26.8 kmのときのスペースプレーンの機体温度

図1に示すようにマッハ5~10の飛行を目指すため、機体温度は2100K、エンジン部分の温度は3000Kにも達すると言われている。この超高温に耐え、かつ遮熱性に優れ、さらに軽量な材料の開発がこの計画の成否の鍵を握っている。そのため1984年に日本人により、耐熱性軽量材料として熱応力緩和型傾斜機能材料の概念が発表された。この発想に基づく熱応力緩和型傾斜機能材料は、スペースプレーンの機体の構成要素材として最有力視され、科学研究費重点領域研究や科学技術振興調整費の課題としても開発研究が進められてきた。現在、実用段階に進んできた傾斜機能材料研究において、傾斜機能材料の信頼性と安全性の確保は緊急の課題となっている。

2. 研究の目的

超高温耐熱性を有する熱応力緩和型傾斜機能材料の研究は各種機器や構成要素の高性能化、省資源化等のため、その実用化に関する研究超高温耐熱性を有し、遮熱性に優れかつ軽量である傾斜機能材料の信頼性および安全性の確保を目指し、「微視構造を考慮した傾斜機能材料の強度に関する基礎的研究」を実施する。

- (1) 局所的傾斜組成を有する傾斜機能材料の強度に関する解析的研究
- (2) 微視構造を考慮した傾斜機能材料の強度に関する解析的研究
- (3) (1), (2)の解析結果を組み込んだ数値解析手法に関する研究

3. 研究の方法

- (1) 局所的傾斜組成を有する傾斜機能材料の強度に関し、理論解析研究を行う。
- (2) 微視構造を考慮した傾斜機能材料の強度に関し、理論解析研究を行う。
- (3) (1), (2)の解析結果を組み込んだ数値解析手法に関し、研究する。

4. 研究成果

(1) 局所的傾斜組成を有する傾斜機能材料の強度に関する解析的研究の成果は以下の通りである。

介在物や空孔等の存在、製造時不完全性等により、組成傾斜分布が局所的に急変することを想定し、内部き裂を有する傾斜機能平板の応力解析を行った。組成傾斜分布が局所的に急変することから、積層近似を行い、き裂が複数の積層にまたがるとした。今までなされた解析では各積層の中の物性値は一定と仮定されてきたが、組成傾斜分布が局所的に急変することに対応するため、各積層の中の物性値は指数関数的に変化するとした。

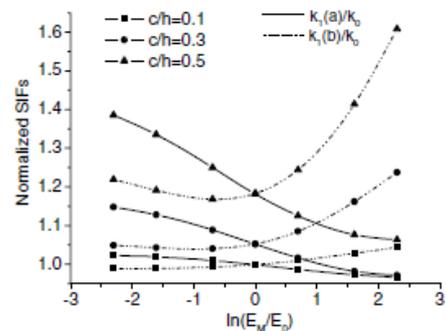


図1 傾斜組成とき裂長さが応力拡大係数に及ぼす影響

図1に傾斜組成とき裂長さが応力拡大係数に及ぼす影響を示す。板厚に対するき裂長さ(c/h)が長くなっても、き裂先端の応力拡大係数を正確に表すことが可能であり、物性値が急激に変化しても十分対応できる手法であることが分かった。

(2) 微視構造を考慮した傾斜機能材料の強度に関する解析的研究の成果は以下の通りである。

微視構造を考慮する場合、傾斜組成の変化方向と介在物等の境界曲線が傾くことになる。そのため、傾斜組成方向が境界曲線と任意の傾きを有する傾斜機能材料の解析的研究を行なった。この問題は傾斜組成方向を表す座標と傾斜機能平板の境界形状を表す座標系が異なるため、二組の異なる座標系を用いて解析する必要がある。申請者は二組の座標系を用いて傾斜機能半無限体、傾斜機能無限帯板、傾斜機能平板についての熱応力問題の理論的解析に成功した。具体例

として、境界でステップ的に熱量が与えられたとき、傾斜角が温度および熱応力に及ぼす影響を調査した。

固有方程式は複素係数を有する8次方程式となるが、8次方程式の固有値を求め数値計算を行うことができた。

境界でステップ的に熱量が与えられたとき、傾斜角が温度および熱応力に及ぼす影響を図2、図3に示す。

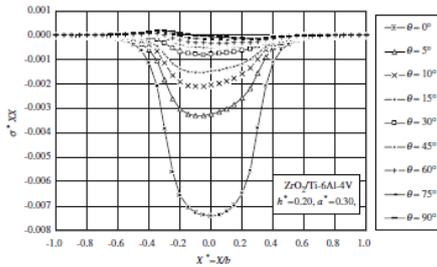


図2 傾斜角が温度分布に及ぼす影響

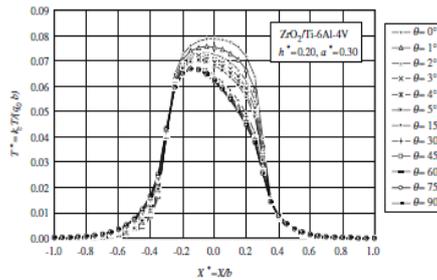


図3 傾斜角が熱応力分布に及ぼす影響

温度分布は傾斜角の増加と共に減少し、非対称性は強くなる。しかし、ある大きさまでしか減少しない。一方、熱応力分布は傾斜角の増加と共に減少し、非対称性は強くなり、傾斜角が90度では劇的に減少する。

この研究の成果の要点は

- ① 解析手法が確立できたこと
- ② 傾斜角が増加するにつれ、温度分布の非対称性が大きくなり、かつ大きな温度となる。
- ③ 傾斜角が増加するにつれ、熱応力分布の非対称性が大きくなり、かつ熱応力は劇的に減少する。

介在物は球座標や円柱座標により表わされることが多いので、現在さらに、円柱座標系について研究中である。

(3) (1), (2)の解析結果を組み込んだ数値解析手法に関する研究

組み込む前に、均質化法により熱物性値の

評価に関する研究を実施した。繊維介在物が整然と四角形の頂点と六角形の頂点にある二つのモデルについて、縦弾性係数、線膨張係数、熱伝導率について評価を行った。

- ① 両モデルの差は無い。
- ② 剛性率はChamis model と一致する。
- ③ 熱伝導率はHasselmann & Johnson モデル、Hatta & Taya モデル、Gurtman et al. モデルと一致する。
- ④ 線膨張係数はSchapery モデルと一致する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- (1) M. Ohmichi and N. Noda, Plane thermoelastic problem in a functionally graded plate with an oblique boundary to the functional graded direction, Journal of Thermal Stresses, Vol. 30, No.8, pp.779-799, (2007).
- (2) L.C. Guo and N. Noda, Modeling Method for a Crack problem of Functionally Graded Materials with Arbitrary Properties---- Piecewise-exponential Model, Int J. Solid and Structures, Vol. 44, No. 21, pp. 6768-6790, (2007).
- (3) L.C. Guo and N. Noda, Fracture Mechanics Analysis of Functionally Graded Layered Structures with a Crack Crossing the Interface, Mechanics of Materials, Vol.40, No.3, pp.81-99, (2008-3).
- (4) L.C. Guo, N. Noda and L. Wu, Thermal Fracture Model for a Functionally Graded Plate with a Crack Normal to the surface and arbitrary Thermomechanical properties, Composites Science and Technology, Vol. 68, No. 3-4, pp.1034-1041, (2008-3).
- (5) M. Ohmichi and N. Noda, The Effect of Oblique Functional Gradation to Thermal Stresses in the Functionally Graded Infinite Strip, Acta Mechanica, Vol.196, No.3/4, pp.219-237, (2008-3).
- (6) Y. Shabana and N. Noda, Numerical Evaluation of the Thermomechanical Effective Properties of a Functionally Graded Material using the Homogenization Method, Int. J. Solids and Structures, vol.45, No.11-12, pp.3494-3506, (2008-6).
- (7) M. Ohmichi and N. Noda, The effect of oblique functional gradation to transient thermal stresses in the functionally graded infinite strip, Acta Mechanica, (2010)(to be published)

〔学会発表〕（計 2 件）

- (1) Licheng Guo, N. Noda, Thermal Shock Solution of a Functionally Graded plate with Arbitrary Thermoelastic Properties and a Surface Crack, Poster session, No. 10608, 2008/8/26, Tuesday 14:15-20 room1, 22th International Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Adelaide, Australia, August 24-29, 2008 (2008/8/26)
- (2) M. Ohmichi, N. Noda, Transient Thermal stresses in the semi-infinite body, Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures, Matsue, Japan, October 31-November 3, 2008.(2008/11/01)

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計◇件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 直剛 (NODA NAOTAKE)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：22002238

(2) 研究分担者

石原 正行 (ISHIHARA MASAYUKI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・

准教授

研究者番号：60283339

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：