

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-83813

(P2016-83813A)

(43) 公開日 平成28年5月19日(2016.5.19)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)
B32B	5/18	(2006.01)	B32B	5/18	101	4F100
B32B	7/04	(2006.01)	B32B	7/04		4K018
B32B	15/08	(2006.01)	B32B	15/08	A	
C22C	1/08	(2006.01)	C22C	1/08	D	
B22F	3/11	(2006.01)	B22F	3/11	B	

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2014-217323 (P2014-217323)
 (22) 出願日 平成26年10月24日 (2014.10.24)

(71) 出願人 504139662
 国立大学法人名古屋大学
 愛知県名古屋市千種区不老町1番
 (74) 代理人 110000567
 特許業務法人 サトー国際特許事務所
 (72) 発明者 小橋 眞
 名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人
 名古屋大学内
 Fターム(参考) 4F100 AB01A AB10 AB12 AK01B AK53
 BA03 BA10A BA10B BA41C DJ10C
 EJ481 EJ82C JL11
 4K018 AA03 AA06 AA07 AA19 AA24
 BA02 BA03 BA04 BA09 BA13
 HA10 KA22

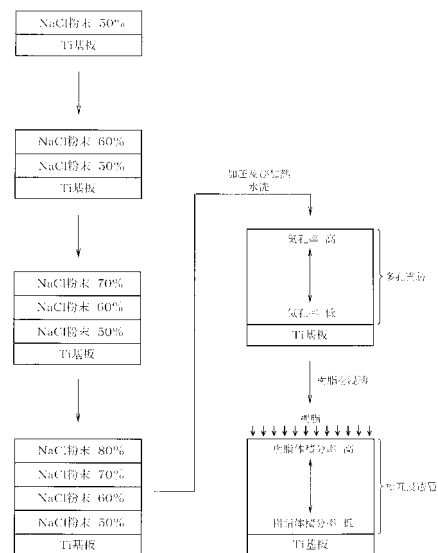
(54) 【発明の名称】 多孔質層、相互浸透層、金属と樹脂との接合構造、多孔質層の作製方法、相互浸透層の作製方法、金属と樹脂との接合方法

(57) 【要約】

【課題】樹脂が多孔質層の空隙部に浸透して相互浸透層が形成され、金属と樹脂とが相互浸透層を介して接合される構造において、樹脂と相互浸透層との間の接合強度を高める。

【解決手段】多孔質層を作製する際に、気孔率を決定するNaCl粉末の体積分率を、金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって増加させ(例えば50%から80%まで段階的に変化させ)、金属に接する側の気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側の気孔率が相対的に高くなるようにする。樹脂と相互浸透層との境界で、樹脂が相互浸透層に浸入する面の境界面全体に対する樹脂面積比が相対的に大きくなり、樹脂内部に発生する応力が低下する。その結果、樹脂と相互浸透層との境界で破断が発生し難くなり、樹脂と相互浸透層との間の接合強度を高めることができる。

【選択図】 図17



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

金属と樹脂との間に介在され、前記樹脂が浸透可能な空隙部を有する多孔質層であって、
金属に接する側の気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側の気孔率が相対的に高く構成されていることを特徴とする多孔質層。

【請求項 2】

請求項 1 に記載した多孔質層において、
金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって気孔率が常に高くなるように構成されていることを特徴とする多孔質層。

10

【請求項 3】

金属からなる基板上に作製された多孔質層の空隙部に樹脂が浸透して形成された相互浸透層であって、金属に接している側の樹脂体積分率が相対的に低く、樹脂が浸入している側の樹脂体積分率が相対的に高く構成されていることを特徴とする相互浸透層。

【請求項 4】

請求項 3 に記載した相互浸透層において、
金属に接している側から樹脂が浸入している側に向かって樹脂体積分率が常に高くなるように構成されていることを特徴とする相互浸透層。

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載した相互浸透層を含み、
前記金属と前記樹脂とが前記相互浸透層を介して接合されていることを特徴とする金属と樹脂との接合構造。

20

【請求項 6】

金属粉末とスプレー粉末とを含む原料粉末を、前記スプレー粉末が圧壊又は分解しない圧力及び温度の条件下で加圧及び加熱して前記金属粉末を焼結させ、その後前記スプレー粉末を除去して空隙部を形成する方法により、金属に接する側の気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側の気孔率が相対的に高くなるように多孔質層を作製することを特徴とする多孔質層の作製方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載した多孔質層の作製方法において、
金属に接する側ではスプレー粉末の原料粉末全体に対する体積分率を相対的に低くし、樹脂が浸入する側ではスプレー粉末の原料粉末全体に対する体積分率を相対的に高くして前記金属粉末を焼結させ、多孔質層を作製することを特徴とする多孔質層の作製方法。

30

【請求項 8】

請求項 6 に記載した多孔質層の作製方法において、
金属に接する側では原料粉末を加圧する圧力及び加熱する温度のうち少なくとも何れかを相対的に高くし、樹脂が浸入する側では原料粉末を加圧する圧力及び加熱する温度のうち少なくとも何れかを相対的に低くして前記金属粉末を焼結させ、多孔質層を作製することを特徴とする多孔質層の作製方法。

40

【請求項 9】

請求項 6 から 8 の何れか一項に記載した多孔質層の作製方法において、
金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって気孔率が常に高くなるように多孔質層を作製することを特徴とする多孔質層の作製方法。

【請求項 10】

請求項 6 から 9 の何れか一項に記載した多孔質層の作製方法において、
前記スプレー粉末として、静水に溶解する粉末を用いて作製することを特徴とする多孔質層の作製方法。

【請求項 11】

金属からなる基板上で、金属粉末とスプレー粉末とを含む原料粉末を、前記スプレー

50

ー粉末が圧壊又は分解しない圧力及び温度の条件下で加圧及び加熱して前記金属粉末を焼結させ、その後前記スペーサー粉末を除去して多孔質層を作製し、樹脂を前記多孔質層の空隙部に浸透させる方法により、金属に接している側の樹脂体積分率が相対的に低く、樹脂が浸入している側の樹脂体積分率が相対的に高くなるように相互浸透層を作製することを特徴とする相互浸透層の作製方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載した相互浸透層の作製方法において、

金属に接している側ではスペーサー粉末の原料粉末全体に対する体積分率を相対的に低くし、樹脂が浸入する側ではスペーサー粉末の原料粉末全体に対する体積分率を相対的に高くして前記金属粉末を焼結させ、相互浸透層を作製することを特徴とする相互浸透層の作製方法。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載した相互浸透層の作製方法において、

金属に接している側では原料粉末を加圧する圧力及び加熱する温度のうち少なくとも何れかを相対的に高くし、樹脂が浸入する側では原料粉末を加圧する圧力及び加熱する温度のうち少なくとも何れかを相対的に低くして前記金属粉末を焼結させ、相互浸透層を作製することを特徴とする相互浸透層の作製方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 1 から 1 3 の何れか一項に記載した相互浸透層の作製方法において、

金属に接している側から樹脂が浸入している側に向かって樹脂体積率が常に高くなるように相互浸透層を作製することを特徴とする相互浸透層の作製方法。

20

【請求項 1 5】

請求項 1 1 から 1 4 の何れか一項に記載した相互浸透層の作製方法において、

前記スペーサー粉末として、静水に溶解する粉末を用いて作製することを特徴とする相互浸透層の作製方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 1 から 1 5 の何れか一項に記載した相互浸透層の作製方法を含み、

前記金属と前記樹脂とを前記相互浸透層を介して接合することを特徴とする金属と樹脂との接合方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多孔質層、相互浸透層、金属と樹脂との接合構造、多孔質層の作製方法、相互浸透層の作製方法、金属と樹脂との接合方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば自動車や航空機等の輸送機器を始めとする様々な分野で、優れた材料を適材適所に配置するマルチマテリアル化が進んでいる。特に炭素繊維強化樹脂複合材料（CFRP：carbon fiber reinforced plastic）を用いることで、著しい軽量化が可能となる。例えば自動車ではキャビン部分にCFRPが用いられ、航空機ではジェットエンジンのファンブレード部分にCFRPが用いられ、何れの場合も金属と樹脂との強固な接合が不可欠である。

40

【0003】

金属と樹脂とを接合する方法として、金属の表面に開気孔型の多孔質層を付与し、樹脂を多孔質層の空隙部（気孔）に浸透させる方法がある。この方法では、植物が根付くように樹脂が空隙部に浸透して相互浸透層を形成し、金属と樹脂とが相互浸透層を介して接合する（例えば非特許文献 1 から 3 参照）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

50

【非特許文献 1】Materials Letters 59 (2005)2178 - 2182

【非特許文献 2】Journal of Materials Processing Technology 212 (2012)1061 - 1069

【非特許文献 3】一般社団法人軽金属学会 第 1 2 4 回春季大会 講演予稿集 (平成 2 5 年 4 月 1 8 日発行)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図 1 8 は、A l (アルミニウム) 基板上に多孔質層を作製し、エポキシ樹脂を多孔質層の空隙部に浸透させて作製した試料について、軸方向 (矢印 D 1、D 2 方向) への引張試験を行った結果を示している。相互浸透層の樹脂体積分率が 7 0 % の試料の接合強度はエポキシ樹脂の接合強度の 5 0 % 程度であることが確認された。このとき、破断はエポキシ樹脂と相互浸透層との境界 (エポキシ樹脂の相互浸透層への浸入部) で発生しており、相互浸透層側の破断面 (観察位置 A) では A l とエポキシ樹脂が観察され、エポキシ樹脂が浸入する側の破断面 (観察位置 B) では A l は観察されずにエポキシ樹脂のみが観察された。破断状態を模式的に示すと、図 1 9 に示すようになる。エポキシ樹脂と相互浸透層との破断面において、エポキシ樹脂が A l に接していた部分では剥離が発生し、エポキシ樹脂が相互浸透層に浸入していた部分では破断が発生していたことが確認された。

10

【0006】

図 2 0 は、試料を X 線 C T で撮像し、三次元モデルを作成し、有限要素解析 (F E M : Finite Element Method) により試料内部に発生する応力分布を計算した結果を示している。計算結果において濃淡が最も濃い部分 (模式図において矢印 P で示すハッチング部分)、即ち、エポキシ樹脂と相互浸透層との境界付近で高い応力が発生することが確認された。これら図 1 8 から図 2 0 により、エポキシ樹脂内部において相互浸透層との境界に近い部分で局所的に高い応力が発生し、その部分が破断の起点となっていることが確認された。

20

【0007】

ところで、接合強度は高ければ高いほど品質向上に繋がることが明らかであり、接合強度を高めることが要望されている。

本発明は、上記した事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、樹脂との間で高い接合強度を実現し得る相互浸透層を形成可能な多孔質層、相互浸透層、金属と樹脂との接合構造、多孔質層の作製方法、相互浸透層の作製方法、金属と樹脂との接合方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項 1 に記載した多孔質層は、金属と樹脂との間に介在され、前記樹脂が浸透可能な空隙部を有する多孔質層であって、金属に接する側の気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側の気孔率が相対的に高く構成されていることを特徴とする。

請求項 6 に記載した多孔質層の作製方法は、金属粉末とスプレー粉末とを含む原料粉末を、前記スプレー粉末が圧壊又は分解しない圧力及び温度の条件下で加圧及び加熱して前記金属粉末を焼結させ、その後前記スプレー粉末を除去して空隙部を形成する方法により、金属に接する側の気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側の気孔率が相対的に高くなるように多孔質層を作製することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0009】

樹脂が多孔質層の空隙部 (気孔) に浸透して相互浸透層が形成され、金属と樹脂とが相互浸透層を介して接合される構造では、[発明が解決しようとする課題] で記載したように、樹脂内部において相互浸透層との境界に近い部分が破断の起点となることが確認されている。この点に関し、請求項 1 に記載した多孔質層によれば、金属に接する側では気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側では気孔率が相対的に高く構成されているので、金属上に作製された多孔質層の空隙部に樹脂が浸透すると、金属に接している側では樹脂体

50

積分率が相対的に低くなり、樹脂が浸入している側では樹脂体積分率が相対的に高くなる。即ち、樹脂と相互浸透層との境界において、樹脂が金属に接している面の境界面全体に対する樹脂面積比（接触面積比）が相対的に小さくなり、逆に樹脂が相互浸透層に浸入している面の境界面全体に対する樹脂面積比（浸入面積比）が相対的に大きくなり、境界で相互浸透層へと浸入している樹脂の量が多くなる。図19に示した樹脂と相互浸透層との破断は、樹脂内部において相互浸透層との境界に近い部分で発生するので、このように樹脂と相互浸透層との境界で樹脂が相互浸透層に浸入する面の樹脂面積比が相対的に大きくなることで、樹脂内部に発生する応力が低下する。その結果、樹脂と相互浸透層との境界で破断が発生し難くなり、樹脂と相互浸透層との間の接合強度を高めることができる。

【0010】

10

請求項6に記載した多孔質層の作製方法によれば、請求項1に記載した発明と同様に、樹脂と相互浸透層との境界において、樹脂が金属に接している面の境界面全体に対する樹脂面積比である接触面積比が相対的に小さくなり、逆に樹脂が相互浸透層に浸入している面の境界面全体に対する樹脂面積比である浸入面積比が相対的に大きくなり、境界で相互浸透層へと浸入している樹脂の量が多くなる。その結果、樹脂と相互浸透層との境界で破断が発生し難くなり、樹脂と相互浸透層との間の接合強度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の一実施形態を示し、多孔質層単体を作製する態様を示す図

【図2】Ti基板と多孔質層との接合体を作製する態様を示す図

20

【図3】試料を作製する手順を示す図

【図4】試料が作製されるまでの遷移を示す図

【図5】Ti粉末の焼結の態様を示す図

【図6】Ti粉末、Al粉末、NaCl粉末のSEM画像を示す図

【図7】試料の外観画像及び断面のSEM画像を示す図

【図8】モデルを示す図

【図9】(a)はモデルを示す図、(b)は計算結果を示す図、(c)は模式図

【図10】(a)はモデルを示す図、(b)は計算結果を示す図、(c)は模式図

【図11】(a)はモデルを示す図、(b)は計算結果を示す図、(c)は模式図

【図12】(a)はモデルを示す図、(b)は計算結果を示す図、(c)は模式図

30

【図13】(a)は全体のX線CT画像を示す図、(b)はAlのみ抽出したイメージを示す図、(c)はエポキシ樹脂のみ抽出したイメージを示す図

【図14】傾斜体積分率のモデルについて、水平断面のAlの分布とエポキシ樹脂の分布を示す図

【図15】一定体積分率のモデルについて、(a)は全体のX線CT画像を示す図、(b)及び(c)は垂直断面のAl部分の応力分布を示す図

【図16】傾斜体積分率のモデルについて、(a)は全体のX線CT画像を示す図、(b)及び(c)は垂直断面のAl部分の応力分布を示す図垂直断面の応力分布を示す図

【図17】傾斜体積分率の試料が作製されるまでの遷移を示す図

【図18】破断面を示すSEM画像

40

【図19】破断状態を模式的に示す図

【図20】試料内部に発生する応力分布を示す図

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の一実施形態について図面を参照して説明する。最初に多孔質層を作製する方法について説明する。本実施形態では、金属として軽量化に優れた特性を持つTiを用い、Tiを焼結させるための補助剤としてTiよりも融点が高いAlを用い、スペーサー粉末としてAlよりも融点が高いNaCl粉末を用いて多孔質層を作製する場合を説明する。Tiの融点は約1668であり、Alの融点は約660であり、NaClの融点は約800である。又、NaClは静水に溶解する特性を持つ。多孔質層を作製する

50

場合としては、多孔質層のみを作製する（多孔質層単体を作製する）場合と、Ti基板上（金属の表面上）に多孔質層を作製する（Ti基板と多孔質層との接合体を作製する）場合とがある。以下、多孔質層単体及び接合体を試料と総称する。

【0013】

本実施形態では、原料粉末（Ti粉末とAl粉末とNaCl粉末との混合粉末）を加圧及び加熱する手段として、図1及び図2に示す装置1を用いる。装置1は、円筒状の型（黒鉛型）2と、上側部材3と、下側部材4とが組み合わされており、上側部材3及び下側部材4が型2の中空部2aを軸方向に移動可能となっている。装置1を用いて以下の条件及び図3に示す手順により、原料粉末から試料を作製する。

【0014】

- ・ Ti粉末の粒径： $< 45 \mu\text{m}$, $< 150 \mu\text{m}$
 - ・ Al粉末の粒径： $< 45 \mu\text{m}$
 - ・ NaCl粉末の粒径： $330 - 430 \mu\text{m}$
 - ・ Ti粉末とAl粉末との原子組成比：Ti - 0 , 20 , 50 at% Al
 - ・ NaCl粉末の体積分率（原料粉末全体に対するNaCl粉末の割合）： $0 - 70 \text{ vol} \%$
 - ・ 圧力： 1.8 MPa , 10 MPa
 - ・ 昇温速度： $1 / \text{sec}$
 - ・ 設定温度： $500 - 650$
 - ・ 保持時間（設定温度で保持する時間）： 0 h , 1 h
- 尚、設定温度は、型2において原料粉末を充填する箇所付近に熱電対を設けて測定する。

10

20

【0015】

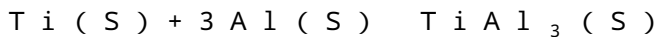
手順1：Ti粉末とAl粉末とを所定の原子組成比で混合し、そのTi-Al混合粉末にNaCl粉末を所定の体積分率で添加し、原料粉末を作製する。

手順2：多孔質層単体を作製する場合であれば、下側部材4を型2に装着した状態で、原料粉末を型2の中空部2aに充填する。接合体を作製する場合であれば、最初にTi基板を型2の中空部2aに充填し、続いて原料粉末を型2の中空部2aに充填する。尚、Ti基板のサイズは、例えば直径20mm、高さ5mmである。

【0016】

手順3：上方から上側部材3を型2に装着し、所定の圧力で加圧し、所定の昇温速度で所定の設定温度まで加熱する。このとき、設定温度（ $500 - 650$ ）をAlの融点（約 660 ）に近い温度まで加熱するので、図4及び図5に示すように、Al粉末がTi粉末同士の隙間に拡散し、その拡散したAl粉末とTi粉末との間で以下の反応が進む。

【0017】



このようにして生成された TiAl_3 （化合物）は、Ti粉末同士を結合させるバインダーとして機能する。即ち、Al粉末を添加していることで、 TiAl_3 が生成され、その生成された TiAl_3 がTi粉末同士を結合させることで、空隙部（気孔）が形成される。尚、このとき、設定温度によっては拡散しないAl粉末が残留している場合もあり得る。又、設定温度をNaCl粉末の融点（約 800 ）よりも十分に低い温度に抑えているので、Ti粉末同士の結合が進んでいる最中にNaCl粉末が分解することはない。即ち、Ti粉末同士の TiAl_3 を介した結合によるTi粉末の焼結により空隙部が形成され、且つNaCl粉末が散在されている（原形を留めている）Ti-Al合金が作製される。

30

40

【0018】

手順4：設定温度で所定の保持時間だけ保持する。

手順5：Ti-Al合金を常温まで冷却した後に型2から離型し、静水が注入されている容器（ピーカー）5内に放置し、Ti-Al合金を静水で水洗する。このとき、NaCl粉末が静水に溶解して除去されるので、図4に示すように、NaCl粉末が散在してい

50

た箇所にも空隙部（気孔）が形成される。

手順6：NaCl粉末が除去されたTi-Al合金を容器5から取り出す。

このような手順1から6を行うことで、Ti粉末の焼結による空隙部と、NaCl粉末の除去による空隙部とが形成された試料を作製することができる。

【0019】

図6は、原料を示し、(a)は粒径 $< 45 \mu\text{m}$ のTi粉末、(b)は粒径 $< 45 \mu\text{m}$ のAl粉末、(c)は粒径 $330 - 430 \mu\text{m}$ のNaCl粉末のSEM (Scanning Electron Microscope) 画像を示す。

図7は、Ti粉末の粒径： $< 45 \mu\text{m}$ 、Al粉末の粒径： $< 45 \mu\text{m}$ 、NaCl粉末の粒径： $330 - 430 \mu\text{m}$ 、Ti粉末とAl粉末との原子組成比：Ti - 50 at % Al、NaCl粉末の体積分率：70 vol %、圧力：1.8 MPa、昇温速度：1 / sec、設定温度：600、保持時間：0 hを条件とし、手順1から6を行うことで作製した試料を示し、(a)は外観を撮像した外観画像、(b)は断面（垂直断面）の組織を撮像したSEM画像を示す。上記した条件で作製した試料では、断面のEDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 分析により、 TiAl_3 が生成されていることが確認された。図7(b)において丸数字「1」の部分がNaCl粉末の除去による形成された空隙部である。即ち、添加したNaCl粉末の粒径が数 $100 \mu\text{m}$ 程度であるので、NaCl粉末の除去により数 $100 \mu\text{m}$ 程度の空隙部が形成されていることが確認された。図7(c)において丸数字「2」の部分がTi粉末の焼結により形成された空隙部である。NaCl粉末の除去により形成される空隙部ほどのサイズではないが、Ti粉末の焼結により数～数 $10 \mu\text{m}$ 程度の空隙部が形成されていることが確認された。このようにTi粉末よりも融点が高いAl粉末を添加することで、高い気孔率と十分な焼結性とを両立することが可能となる。尚、気孔率は、外部と連通する空隙部の容積と内部に封入されている空隙部の容積との和を、全容積（見かけ上の容積）で除した値であり、試料の質量と容積を用いて計算している。

【0020】

次に、上記した手順により作製した多孔質層の空隙部に樹脂を浸透させて相互浸透層を作製し、金属と樹脂とを相互浸透層を介して接合する構造における接合強度について考察する。金属と樹脂とを相互浸透層を介して接合する構造では、[発明が解決しようとする課題]で記載したように、樹脂内部において相互浸透層との境界に近い部分が破断の起点となることが確認されている。この点に関し、図8に示すように相互浸透層の構造を単純化した3タイプのモデルを作成し、相互浸透層の構造が樹脂内部の応力に及ぼす影響を有限要素解析により計算した。図8(a)に示す一定体積分率のモデルは、相互浸透層の樹脂体積分率が、金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって一定の（変化しない）モデルである。図8(b)に示す傾斜体積分率のモデルは、相互浸透層の樹脂体積分率が、金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって線形的に増加するモデルである。図8(c)に示す逆傾斜体積分率のモデルは、相互浸透層の樹脂体積分率が、金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって線形的に低下するモデルである。

【0021】

これらのモデルについて、有限要素解析 (FEM: Finite Element Method) により樹脂内部に発生する応力分布を計算した結果を図9から図12に示す。尚、図8から図12では、樹脂のみ図示し、金属の図示を省いている。又、図9及び図12では、計算結果において濃淡が最も濃い部分（模式図において矢印Pで示すハッチング部分）が、応力が最大となる部分であり、その応力が最大となる部分から離れるにしたがって応力が低下している。この場合、応力の最大値は例えば約 $1.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ (N/m^2)程度である。

【0022】

図9は、一定体積分率のモデルについて、相互浸透層の中の樹脂径（太さ）を変化させたときの計算結果を示す。相互浸透層の中の樹脂径が太くなるほど樹脂体積分率が大きくなる。樹脂内部に発生する応力は相互浸透層の中の樹脂径に依存し、相互浸透層の中の樹脂径が太くなる（樹脂体積分率が大きくなる）ほど局所的に発生する応力が低下すること

が確認された。ただし、相互浸透層の中の樹脂径が太くなるほど金属内部に発生する応力が大きくなり、金属との境界で破断する虞があるので、無暗に相互浸透層の中の樹脂径を太くすることはできない。

【0023】

図10は、一定体積分率のモデルについて、相互浸透層の中の樹脂厚さ（高さ）を変化させたときの計算結果を示す。樹脂内部に発生する応力は相互浸透層の中の樹脂厚さに殆ど依存せず一定であることが確認された。ただし、相互浸透層の中の樹脂厚さが薄いと、樹脂が浸透する部分の側面で剥離が発生し、樹脂が引き抜ける虞があるので、一定以上の厚さが必要である。

【0024】

図11は、傾斜体積分率のモデルの計算結果を示す。傾斜体積分率のモデルでは、一定体積分率のモデルと比較すると、樹脂内部に発生する応力が低下しており、即ち、接合強度が向上していることが確認された。接合強度が向上するのは以下の理由による。傾斜体積分率のモデルでは、樹脂が空隙部に浸透された状態で相互浸透層において樹脂との境界に近くなるほど樹脂体積分率が大きくなる。そのため、樹脂と相互浸透層との境界において、樹脂が金属に接する面の境界面全体に対する樹脂面積比（接触面積比）が相対的に小さくなり、逆に樹脂が相互浸透層に浸入する面の境界面全体に対する樹脂面積比（浸入面積比）が相対的に大きくなることで、境界で相互浸透層へと浸入する樹脂の量が多くなる。その結果、図9で示した一定体積分率のモデルと同様の効果（相互浸透層の中の樹脂径が太くなるほど局所的に発生する応力が低下する効果）により、樹脂内部において相互浸透層との境界に近い部分で発生する応力が低下する（樹脂母材内部に発生する応力と同等レベルまで低下する）。又、図9で示した一定体積分率のモデルでは相互浸透層の中の樹脂径が太くなるほど金属内部に発生する応力が増加するが、傾斜体積分率のモデルでは、金属に接している側では樹脂径が細いので、金属内部に発生する応力が増加することはない、金属と相互浸透層との境界で破断が発生する虞はない。

【0025】

これに対し、図12は、逆傾斜体積分率のモデルの計算結果を示す。逆傾斜体積分率のモデルでは、一定体積分率のモデルと比較すると、樹脂内部に発生する応力が増加しており、即ち、樹脂内部で局所的に非常に高い応力が発生していることが確認された。

【0026】

図13は、Al（アルミニウム）基板上に、Al基板側からエポキシ樹脂が浸入する側までの気孔率が40%から60%まで線形的に変化する多孔質層を作製し、エポキシ樹脂を多孔質層の空隙部に浸透させて作製した試料のX線CT画像を示す。このような傾斜体積分率のモデルでは、図14に示すように、Al基板側の水平断面ではAlの分布が60%であり且つエポキシ樹脂の分布が40%であり、エポキシ樹脂が浸入する側の水平断面ではAlの分布が40%であり且つエポキシ樹脂の分布が60%であり、エポキシ樹脂の体積分率がAl基板側からエポキシ樹脂が浸入する側に向かって増加している（傾斜している）。

【0027】

図15は、一定体積分率のモデルについて垂直断面のAl部分の応力分布を示し、図16は、傾斜体積分率のモデルについて垂直断面のAl部分の応力分布を示す。図15及び図16でも濃淡の濃い部分（模式図において矢印Pで示すハッチング部分）が高い応力を示しており、傾斜体積分率のモデルでは、一定体積分率のモデルと比較すると、相互浸透層においてAl部分に発生する応力が大幅に低減していることが確認された。

【0028】

図17は、このように高い接合強度が期待される傾斜体積分率の多孔質層を実際に作製する手順の一例を示す。上述した図1から図3で説明したように原料粉末を型2の中空部2aに充填して加圧及び加熱する方法では、NaCl粉末の原料粉末全体に対する体積分率を複数段階で区分することで、気孔率を傾斜化することができる。即ち、例えば最初にNaCl粉末の体積分率を50%とした原料粉末を型2の中空部2aに充填し、続いてN

10

20

30

40

50

a C l 粉末の体積分率を 6 0 %、7 0 %、8 0 % と順次増加させることで、気孔率を傾斜化した多孔質層を作製可能となり、樹脂を浸透させることで、傾斜体積分率の相互浸透層を作製可能となる。ただし、N a C l 粉末の体積分率が 9 0 % を超えると T i 粉末同士が結合しなくなるので、N a C l 粉末の体積分率を最大でも 9 0 % までとすることが望ましい。N a C l 粉末の体積分率を複数段階で区分する方法としては、充填する N a C l 粉末の個数や粒径を変えれば良い。即ち、例えば粒径が一定の N a C l 粉末を充填するのであれば、充填する N a C l 粉末の個数を段階的に増加すれば良く、又、個数を一定として N a C l 粉末を充填するのであれば、充填する N a C l 粉末の粒径を段階的に増加すれば良い。勿論、充填する N a C l 粉末の個数と粒径との両方を調整しても良い。尚、N a C l 粉末の体積分率を区分する段階数を多くするほど気孔率を線形的に増加させ、多孔質層における気孔率の変化を線形とすることができ、樹脂を浸透させたときの相互浸透層における樹脂体積分率の変化を線形とすることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

以上に説明したように本実施形態によれば、樹脂が多孔質層の空隙部に浸透して相互浸透層が形成され、金属と樹脂とが相互浸透層を介して接合される構造において、多孔質層を、金属に接する側の気孔率が相対的に低く、樹脂が浸入する側の気孔率が相対的に高くなるように構成した。これにより、樹脂と相互浸透層との境界において、樹脂が金属に接している面の境界面全体に対する樹脂面積比（接触面積比）が相対的に小さくなり、逆に樹脂が相互浸透層に浸入している面の境界面全体に対する樹脂面積比（浸入面積比）が相対的に大きくなり、境界で相互浸透層へと浸入している樹脂の量が多くなる。このように樹脂と相互浸透層との境界で樹脂が相互浸透層に浸入している面の樹脂面積比が相対的に大きくなることで、樹脂内部に発生する応力が低下する。その結果、樹脂と相互浸透層との境界で破断が発生し難くなり、樹脂と相互浸透層との間の接合強度を高めることができる。

【 0 0 3 0 】

又、この場合、金属に接する側では樹脂が浸入する側よりも金属体積分率が大きくなっているため、金属と相互浸透層との間の接合強度が低下することはない。即ち、金属に接する側から樹脂が浸入する側にかけて全体的に気孔率を高くしてしまうと、金属と相互浸透層との境界で高い応力が発生し、金属と相互浸透層との接合強度の低下を招く可能性があるが、金属に接する側から樹脂が浸入する側にかけて気孔率を高くなるように傾斜化することで、金属と相互浸透層との間の接合強度をある程度維持しつつ、樹脂と相互浸透層との間の接合強度を高めることができる。

【 0 0 3 1 】

本発明は、上記した実施形態にのみ限定されるものではなく、以下のように変形又は拡張することができる。

本実施形態では、基板として用いる金属として比重が比較的小さい T i （比重は約 4 . 5 4 g / c m ³ ）を例示したが、軽量化の要求が小さければ比重が T i よりも大きい例えば C u （銅、融点は約 1 0 8 5 、比重は約 8 . 9 6 g / c m ³ ）、N i （ニッケル、融点は約 1 4 5 5 、比重は約 8 . 9 0 2 g / c m ³ ）、F e （鉄、融点は約 1 5 3 8 、比重は約 7 . 8 7 4 g / c m ³ ）、W （タングステン、融点は約 3 4 2 2 、比重は約 1 9 . 3 g / c m ³ ）等の別の金属を用いても良い。T i を焼結させるための補助剤として用いる金属として A l を例示したが、スペーサー粉末である N a C l 粉末よりも融点が低い条件を満たせば M g （融点は約 6 5 0 ）、P b （融点は約 3 2 7 . 5 ）等の別の金属を用いても良い。

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、スペーサー粉末として N a C l 粉末を用いた場合を例示したが、補助剤として用いる金属よりも融点が高く、焼結時に溶融せず、水洗や揮発や燃焼等の方法により除去可能である条件を満たせばスペーサー粉末としてどのような物質を用いても良い。例えば K C l （塩化カリウム）粉末を用いても良い。又、N a C l 粉末を静水に溶解させて除去する方法を例示したが、例えば燃やして除去する等のどのような方法で除去して

も良い。

【0033】

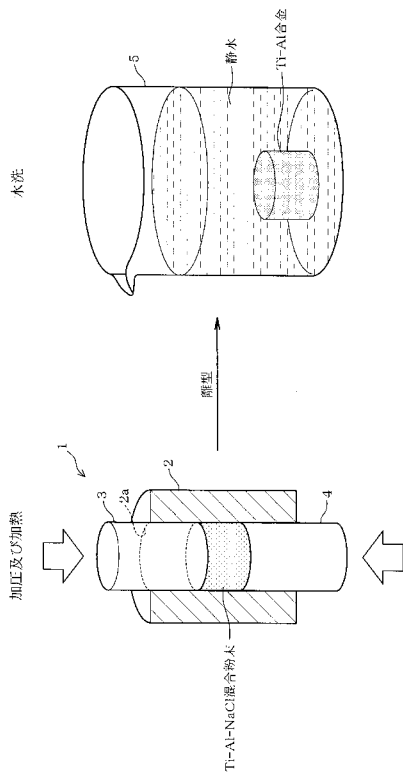
本実施形態では、金属に接する側から樹脂が浸入する側に向かって気孔率が常に増加する（低下する領域が存在しない）場合を説明したが、気孔率が必ずしも常に増加しなくても（低下する領域が存在しても）良い。例えば原料粉末を型2の中空部2aに充填する場合に、NaCl粉末の体積分率を50%、60%、50%、70%、80%の順序としても良い。

【0034】

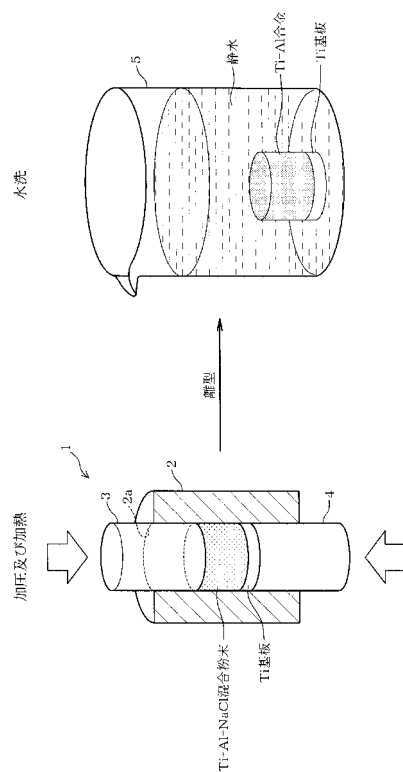
本実施形態では、NaCl粉末の体積分率を複数段階で区分し、傾斜体積分率の相互浸透層を作製する手順を例示したが、原料粉末を加圧する圧力及び加熱する温度を調整する（差別化する）ことで、傾斜体積分率の相互浸透層を作製しても良い。即ち、NaCl粉末の体積分率を一定とし、金属に接する側では、加熱する温度を相対的に高くして粉末の緻密化を促進することで、気孔率を相対的に低くし、樹脂が浸入する側では、加熱する温度を相対的に低くして粉末の緻密化を抑制することで、気孔率を相対的に高くしても良い。

10

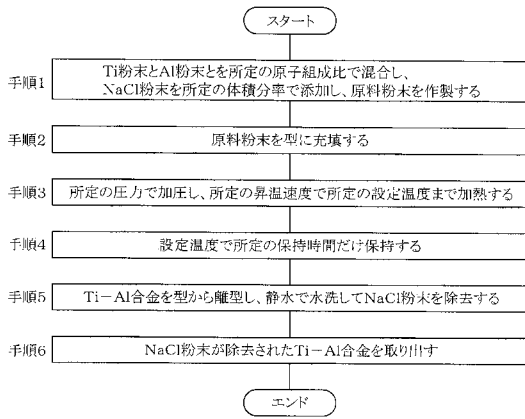
【図1】



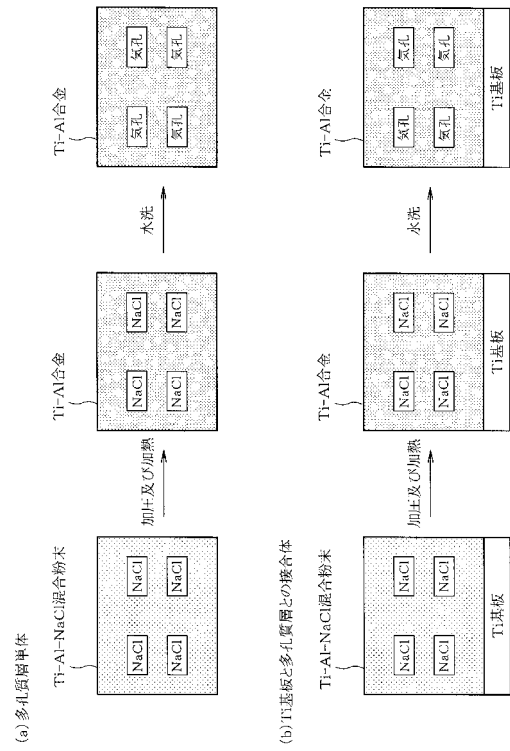
【図2】



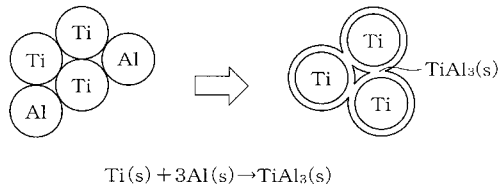
【 図 3 】



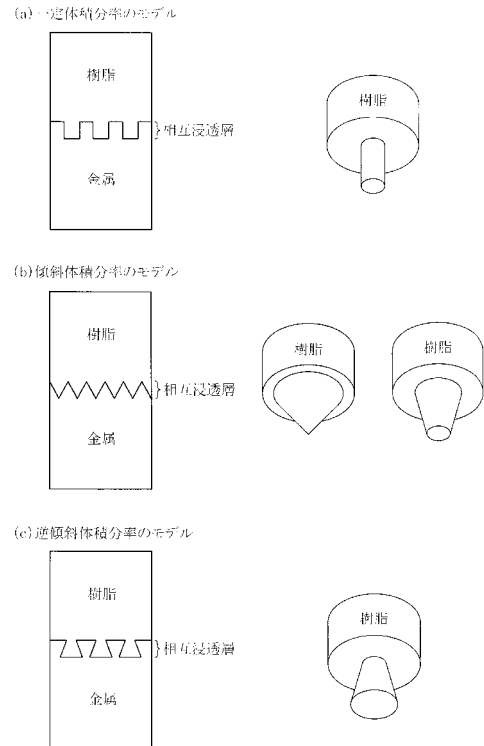
【 図 4 】



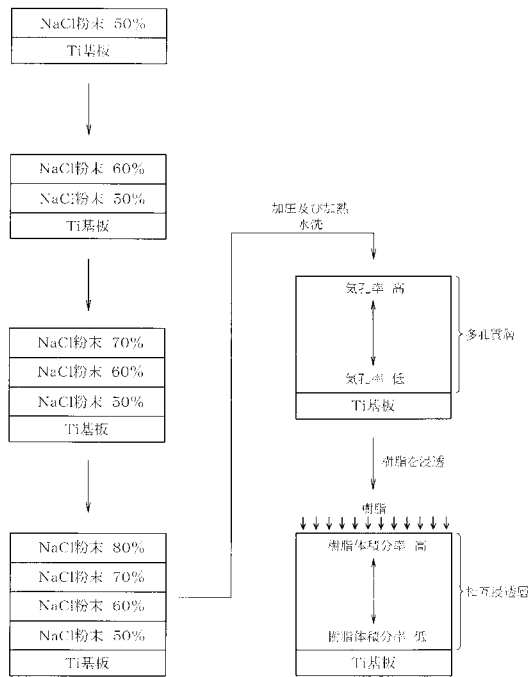
【 図 5 】



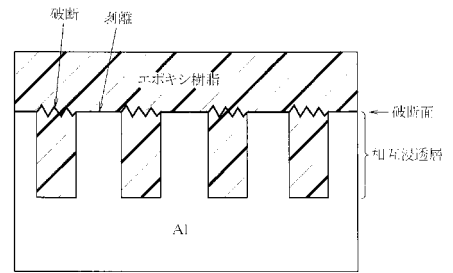
【 図 8 】



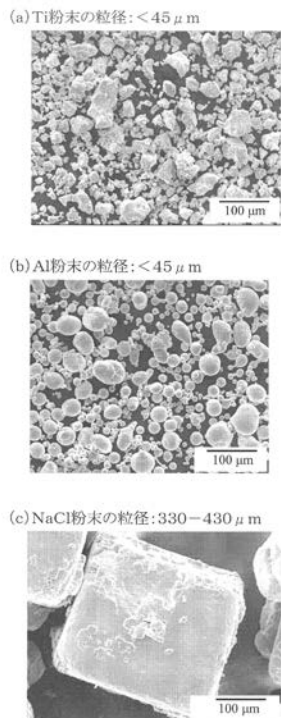
【 図 1 7 】



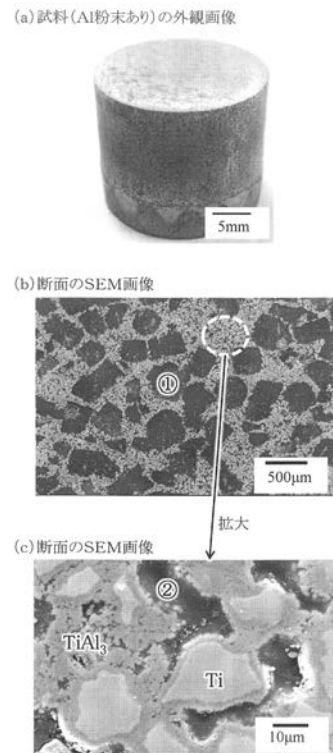
【 図 1 9 】



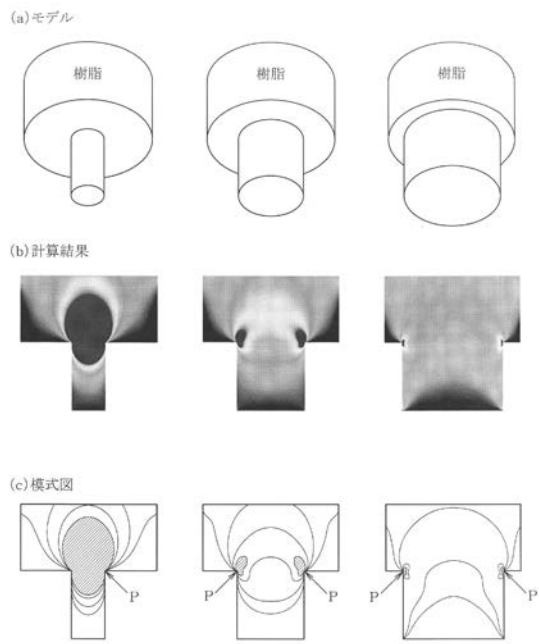
【 図 6 】



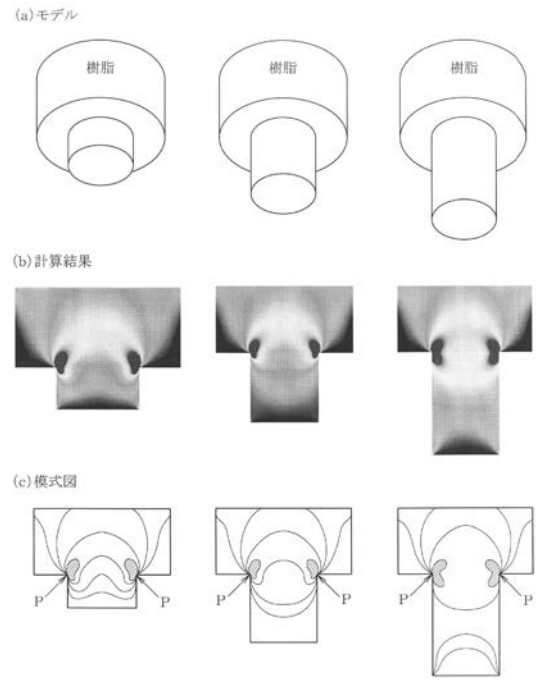
【 図 7 】



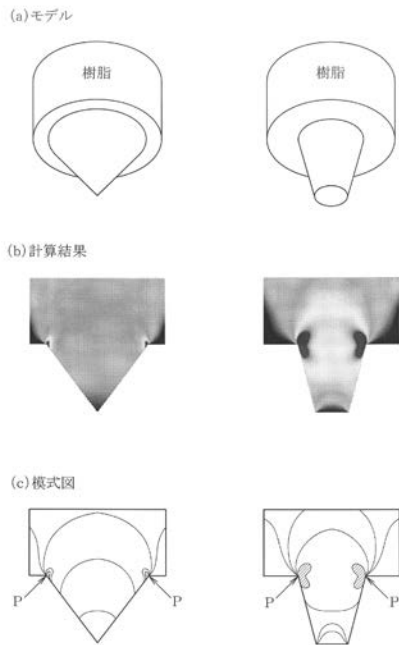
【 図 9 】



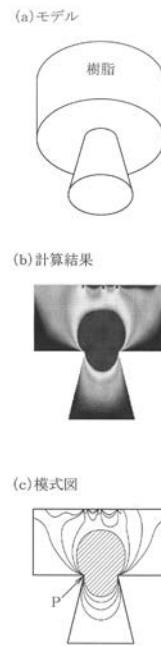
【 図 1 0 】



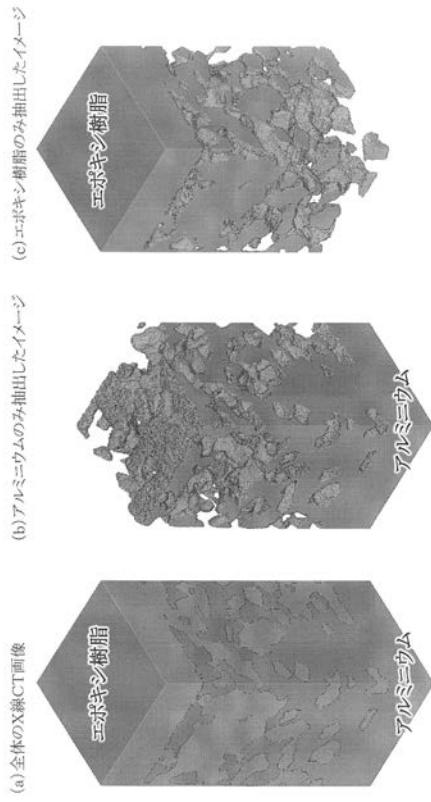
【 図 1 1 】



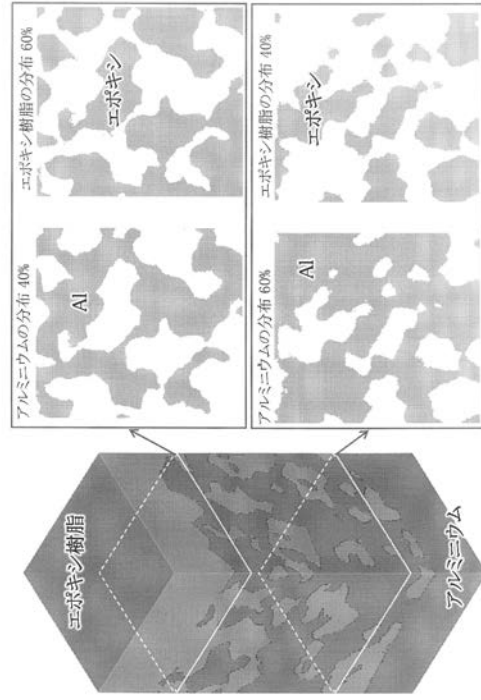
【 図 1 2 】



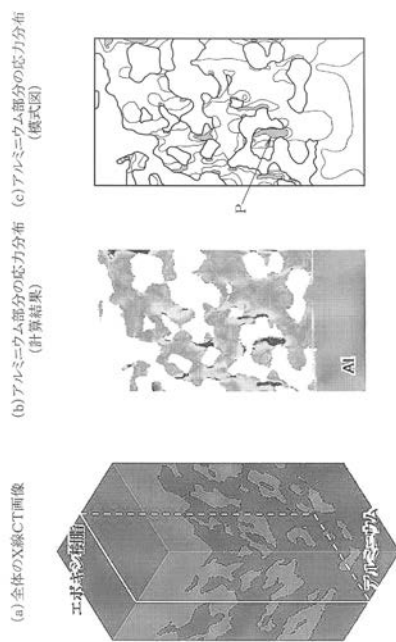
【 図 1 3 】



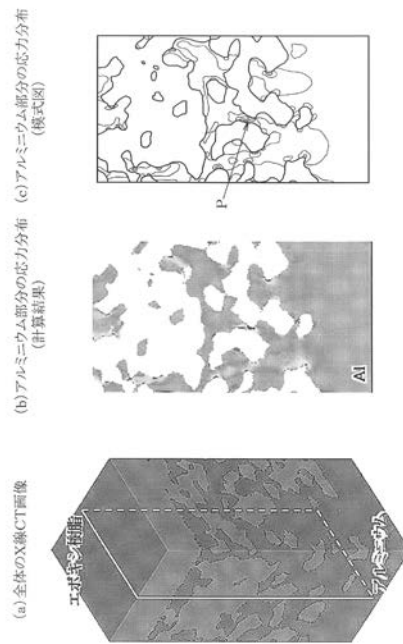
【 図 1 4 】



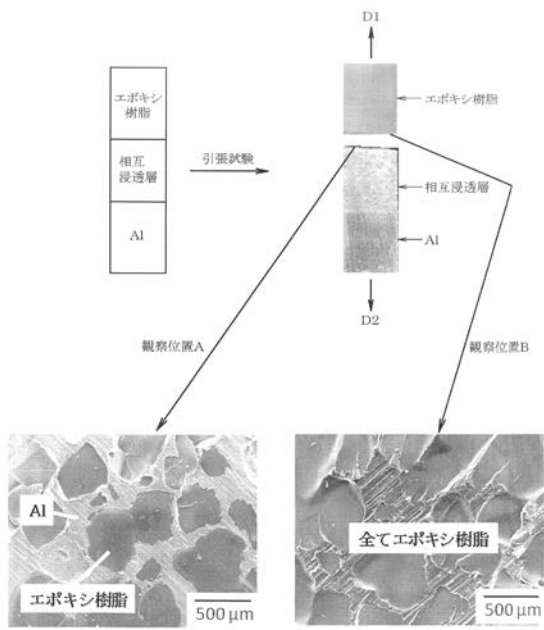
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 8 】



【 図 2 0 】

