

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6719210号  
(P6719210)

(45) 発行日 令和2年7月8日 (2020.7.8)

(24) 登録日 令和2年6月18日 (2020.6.18)

(51) Int. Cl.	F I
<b>B 3 2 B</b> 18/00 (2006.01)	B 3 2 B 18/00 A
<b>B 6 4 C</b> 1/00 (2006.01)	B 6 4 C 1/00 B
<b>B 6 4 D</b> 33/04 (2006.01)	B 6 4 D 33/04
<b>F 0 1 D</b> 25/00 (2006.01)	F 0 1 D 25/00 L
<b>F 0 1 D</b> 25/30 (2006.01)	F 0 1 D 25/00 X

請求項の数 8 外国語出願 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-1541 (P2016-1541)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成28年1月7日 (2016.1.7)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2016-196181 (P2016-196181A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成28年11月24日 (2016.11.24)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成31年1月7日 (2019.1.7)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	14/593,682	(74) 代理人	110002077
(32) 優先日	平成27年1月9日 (2015.1.9)		園田・小林特許業務法人
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	キース、ウィリアム・ピー、
			アメリカ合衆国 イリノイ 60606,
			シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100
		審査官	伊藤 寿美

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料 (CMC) (10) であって、

セラミックマトリクス (24) 内のフィラメント (22) を含む第1の表面板 (14) と、

セラミックマトリクス (24) 内のフィラメント (22) を含む第2の表面板 (16) と、

前記第1の表面板 (14) と前記第2の表面板 (16) との間で両方の表面板に接着されたコア (12) と

を含み、

前記ハイブリッドサンドイッチ型の CMC (10) は温度勾配に曝されるように構成されており、前記温度勾配では前記第1の表面板 (14) が前記第2の表面板 (16) よりも高い温度環境に曝され、前記第1の表面板 (14) と前記第2の表面板 (16) は、互いの  $0.9 \times 10^{-6}$  ミクロン/メートル/°C ( $0.5 \times 10^{-6}$  ミクロン/メートル/°F) 内にある、ほぼ一致した熱膨張率を有し、前記第1の表面板 (14) は前記第2の表面板 (16) よりも高い圧縮強度を有し、前記第2の表面板 (16) は、前記第1の表面板 (14) よりも高い引張強度を有し、前記第1の表面板 (14) の前記フィラメント (22) の直径は、前記第2の表面板 (16) の前記フィラメント (22) の直径よりも少なくとも2倍大きい、ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料

( C M C ) ( 1 0 )。

【請求項 2】

前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) が、前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) の引張強度よりも 1 . 5 倍高い圧縮強度を有し、前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) が、前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) の圧縮強度よりも 1 . 5 倍高い引張強度を有する、請求項 1 に記載のハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 )。

【請求項 3】

前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) の前記フィラメント ( 2 2 ) と前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) の前記フィラメント ( 2 2 ) は同じ化学成分を有し、前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) の前記セラミックマトリクス ( 2 4 ) と前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) の前記セラミックマトリクスは同じ化学成分を有し、前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) の前記フィラメント ( 2 2 ) の体積率は、前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) の前記フィラメント ( 2 2 ) の体積率と等しい、請求項 1 または 2 に記載のハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 )。

【請求項 4】

前記ハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 ) は円筒形である、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 )。

【請求項 5】

前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) は、前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) よりも直交異方性が高い、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 )。

【請求項 6】

前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) の前記フィラメント ( 2 2 ) と前記セラミックマトリクス ( 2 4 ) との間の界面強度は、前記第 2 の表面板 ( 1 6 ) の前記フィラメント ( 2 2 ) と前記セラミックマトリクス ( 2 4 ) との間の界面強度よりも強い、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 )。

【請求項 7】

前記ハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 ) は、航空機排気システム ( 3 4 ) の部品の一部であり、前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) は前記航空機排気システム ( 3 4 ) の排気ガスの流路 ( 4 2 ) に面する、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 )。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料 ( C M C ) ( 1 0 ) を製造する方法であって、

セラミックマトリクス ( 2 4 ) 内のフィラメント ( 2 2 ) のプリプレグ層を含む第 1 の表面板 ( 1 4 ) をツール上に積層する ( 5 4 ) ことと、

前記第 1 の表面板 ( 1 4 ) 上にコア ( 1 2 ) を積層する ( 5 6 ) ことと、

積層スタックを提供するために、セラミックマトリクス ( 2 4 ) 内のフィラメント ( 2 2 ) のプリプレグ層を含む第 2 の表面板 ( 1 6 ) を前記コア ( 1 2 ) 上に積層する ( 5 8 ) ことと、

前記積層スタックを第 1 の温度で硬化させる ( 6 0 ) ことと、

前記ハイブリッドサンドイッチ型の C M C ( 1 0 ) を提供するために、第 2 の温度において前記積層スタックを焼結する ( 6 2 ) ことと

を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は概して、セラミックマトリクス複合材料に関し、より具体的には、温度勾配に曝されるハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合構造に関する。

【背景技術】

【0002】

セラミックマトリクス複合材料 ( C M C ) は、中に強化材料 ( 例：微粒子、ウイスカ、

10

20

30

40

50

不織繊維、織繊維)が組み込まれたセラミックマトリクスからなる複合材料である。ＣＭＣは比較的軽量で、高い動作温度に耐えうるため、航空宇宙の用途における使用に魅力的な材料である。例えば、ＣＭＣは重量が軽く、現在使われる金属ベースの構造(例:チタンとニッケルベースの合金)よりも排気温度への長時間の暴露に耐えうるため、排気システムの部品の構成に有用でありうる。

#### 【０００３】

同一の２つの表面板の間に接着された荷重伝達コアを含むＣＭＣのサンドイッチ構造は、航空機の用途において排気用部品として研究されてきた(米国特許出願公開広報第２００９／０００４４２５号明細書参照)。使用中、サンドイッチ型のＣＭＣ部品は、サンドイッチ構造全体に高い温度勾配が存在する時、特に表面板が例えば円筒形サンドイッチ構造内に拘束されている時に、応力に曝されうる。具体的には、高い温度環境(「高温の表面板」)に曝される表面板は膨張する、又は膨張しようとするが、低温環境(「低温の表面板」)に曝される対向する表面板によって阻まれる。この結果、高温の表面板には、低温の表面板による膨張抵抗に起因する圧縮応力がかかり、低温の表面板には、高温の表面板による収縮抵抗が原因で引張応力がかかりうる。ある極端な条件下では、上記の競合する力により、サンドイッチ型のＣＭＣ部品が構造的限界にまで達し、構造上のダメージが起きる可能性がある。

10

#### 【０００４】

従って、従来技術には克服すべき課題と限界がある。具体的には、温度勾配条件下での回復力が改善された、より頑丈なサンドイッチ型のＣＭＣ構造が必要である。

20

#### 【発明の概要】

#### 【０００５】

本発明に一態様によれば、ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料(ＣＭＣ)が開示される。ハイブリッドサンドイッチ型のマトリクス(ＣＭＣ)は、セラミックマトリクス内のフィラメントを含む第１の表面板と、セラミックマトリクス内のフィラメントを含む第２の表面板と、第１の表面板と第２の表面板との間で両方の表面板に接着されたコアとを含む。ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣは温度勾配に曝されるように構成されており、この温度勾配では第１の表面板が第２の表面板よりも高い温度環境に曝される。第１の表面板と第２の表面板は、ほぼ一致する熱膨張率を有し、第１の表面板は第２の表面板よりも高い圧縮強度を有しうる。

30

#### 【０００６】

本発明の別の態様によれば、ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料(ＣＭＣ)が開示される。ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣは、セラミックマトリクス内のフィラメントを含む第１の表面板と、セラミックマトリクス内のフィラメントを含む第２の表面板と、第１の表面板と第２の表面板との間で両方の表面板に接着されたコアとを含みうる。第１の表面板と第２の表面板はほぼ一致する熱膨張率を有しうるが、フィラメントの直径、フィラメントの化学的性質、直交異方性の度合い、及びフィラメントとセラミックマトリクスとの間の界面強度の内の少なくとも一つにおいて異なっている。

#### 【０００７】

40

本発明の別の態様によれば、ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料(ＣＭＣ)を製造する方法が開示される。本方法は、第１の表面板と第２の表面板とを提供することを含むことができ、第１の表面板と第２の表面板は各々、セラミックマトリクスのスラリ前駆体のフィラメントを含み、第１の表面板と第２の表面板は、フィラメントの直径、直交異方性の度合い、及びフィラメントとセラミックマトリクスとの間の界面強度の内の少なくとも一つにおいて異なっている。本方法は更に、第１の表面板をツール上に積層することと、第１の表面板上にコアを積層することと、ツール上に積層スタックを提供するためにコア上に第２の表面板を積層することとを含みうる。加えて、本方法は更に、積層スタックを第１の温度で硬化させることと、ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣを提供するために、第２の温度において積層スタックを焼結するこ

50

とを含みうる。

【 0 0 0 8 】

前述の特徴、機能及び利点は、様々な実施形態において個別に実現可能であるか、又は、以下の説明及び図面を参照して更なる詳細が理解されうる、更に別の実施形態において組み合わせられうる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】本発明に従って構成されたハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料（ＣＭＣ）を示す斜視図である。

【図 2】本発明に従って構成された、図 1 の断面 2 - 2 を示す断面図である。

【図 3】本発明の一態様に従って構成された、ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣの第 1 の表面板を示す、図 2 の詳細 3 を示す拡大図である。

【図 4】本発明の一態様に従って構成された、ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣの第 2 の表面板を示す、図 2 の詳細 4 を示す拡大図である。

【図 5】本発明の方法に従って第 1 の表面板を提供するための、プリプレグフィラメント層の直交異方性レイアップを示す概略斜視図である。

【図 6】本発明の方法に従って第 2 の表面板を提供するために、プリプレグフィラメント層の疑似等方性積層を概略的に示す斜視図である。

【図 7】本発明の一態様に従って構成された、ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣのハニカムコア構造を示す、図 2 の詳細 7 を示す拡大図である。

【図 8】本発明の別の態様に従って構成された、泡状コア構造を示す、図 7 と同様の拡大図である。

【図 9】本発明の別の態様に従って構成された、トラスコア構造を示す、図 7 と同様の拡大図である。

【図 10】本発明のハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣから形成された部品を有しうる排気システムを有する航空機を示す斜視図である。

【図 11】本発明のハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣから形成された中央本体と排気ノズルを示す、図 10 の断面 11 - 11 を示す断面図である。

【図 12】本発明の方法に従ってハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣを製造するのに使用されうる一連のステップを示すフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

図面は必ずしも原寸に比例しておらず、開示された実施形態はしばしば概略的に示されていることを理解すべきである。更に当然ながら、下記の詳細説明は単なる例であり、本発明又は本発明の用途及び使用を限定するものではない。従って、本発明を説明の便宜上特定の実施形態として図示し説明しているが、本発明を、他の様々な種類の実施形態及び他の様々なシステム及び環境において実行することができることが理解されるだろう。

【 0 0 1 1 】

ここで図面、特にハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料（ＣＭＣ）１０を示す図 1 ～ 2 を参照する。本明細書に記載される「ＣＭＣ」という語は、セラミックマトリクスに組み込まれた一又は複数の強化材料からなる材料を指すものである。加えて、「ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣ」という語は、２つのＣＭＣ表面板の間にコアを有するＣＭＣ材料を指し、２つの表面板は少なくとも一つの物理特性において異なっている。非限定的な例として、ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣ１０は、以下に更に詳細に説明するように、航空機のエンジンの排気システムの部品であってよい。ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣ１０は、第 1 の表面板 14 と第 2 の表面板 16 との間に接着されたコア 12 を含みうる。第 1 の表面板 14 と第 2 の表面板 16 は両方とも、ＣＭＣ材料から形成されうる。本発明の一態様では、第 1 の表面板 14、第 2 の表面板 16、及びコア 12 は各々円筒形の構造を形成することができ、これにより、ハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣ１０の全体形状は、図示したように中央開口部 18 を有する円筒形で

10

20

30

40

50

ある。あるいは、ハイブリッドサンドイッチ型のCMC10は、別の種類の閉じた構成を有することができる、又は表面板14及び16のたわみによっては2つの表面板14及び16への応力を完全に軽減することができないように拘束されうる。従って、ハイブリッドサンドイッチ型のCMC10は、例えば非限定的に、立方体、球、円錐の形状等の他の三次元形状を有しうる。

#### 【0012】

ある動作条件下では、ハイブリッドサンドイッチ型のCMC10は高い温度勾配に曝されるため、第1の表面板14（「高温の」表面板）が第2の表面板16（「低温の」表面板）よりも高温の環境（例：高温の排気ガス）に曝されうる。本明細書に記載される「高い温度勾配」は、第1の表面板14と第2の表面板16との間の温度差が少なくとも200°F以上である条件を指すものである。更に、用途によっては、音を低減する又は吸収するようにハイブリッドサンドイッチ型のCMC10を音響学的に処理することができる。例えば、更なる高温環境に曝されるように構成された表面板（例：第1の表面板14）は、表面板を貫通して形成された孔20を有してよく、これにより、音が中に進入してコア12の内側で緩和されうる。図2においては第1の表面板14を内側の表面板として図示したが、幾つかの用途においては、高温環境に曝される表面板は外側の表面板であってよいことに留意したい。

#### 【0013】

高い温度勾配条件下で、高温の表面板14が、低温の表面板16よりも軸方向、半径方向、及び周方向に膨張しようとしうる。この膨張する傾向は、第1の（高温の）表面板14における圧縮応力の蓄積、及び第2の（低温の）表面板16における引張応力の蓄積の原因になりうる。上記条件下でハイブリッドサンドイッチ型のCMC10への応力に耐えられるようにするために、第1の表面板14が引張強度よりも高い圧縮強度を呈するように第1の表面板14のCMC材料を調整することができる。非限定的な可能性として、第1の（高温の）表面板14の圧縮強度は、引張強度を約1.5倍以上、上回ってもよい。上記調整により、ほぼ同等の引張強度及び圧縮強度に達しやすいように材料が構成されている場合よりも、表面板14の圧縮強度をより高めることができるようになりうる。同様に、第2の表面板が圧縮強度よりも高い引張強度を呈するように、第2の（低温の）表面板16のCMC材料を構成することが可能である。非限定的な可能性として、第2の表面板16の引張強度は、圧縮強度を約1.5倍以上、上回ってもよい。上記調整により、同等の引張強度及び圧縮強度に達しやすいように材料が構成されている場合よりも、第2の表面板16の引張強度をより高めることができるようになりうる。本明細書に記載される「圧縮強度」という語は、表面板が主に周方向及び軸方向に圧縮された時にその力に耐える能力を指すものであり、「引張強度」という語は、表面板が、主に周方向及び軸方向に膨張するように引っ張られた時にその力に耐える能力を指すものである。これらの強度は、初期状態にある材料の、又は材料に孔又はダメージが存在する時のものであってよい。非限定的な例として、第1の表面板14は約25キロポンド/平方インチ（ksi）を上回る圧縮強度と、約5ksiを上回る引張強度を有し、第2の表面板16は、約25ksiを上回る引張強度と、約5ksiを上回る圧縮強度を有しうる。上記設計の結果、ハイブリッドサンドイッチ型のCMC10は、高い温度勾配条件下で、ほぼ同一の引張強度及び圧縮強度を有する2つの表面板を使用する従来技術の非ハイブリッドサンドイッチ型のCMCと比べてより改善されたロバスト性及び構造強度を呈しうる。

#### 【0014】

ここで、第1の表面板14と第2の表面板16の成分をより詳細に示す図3～4を参照する。第1の表面板14と第2の表面板16は各々、セラミックマトリクス24に組み込まれたフィラメント22からなっていてよい。更に、第1の表面板14と第2の表面板16は各々、セラミックマトリクス24で予め含浸されたフィラメント22の一又は複数の硬化プリプレグ層26から形成されうる（図5～6及び下記の詳細説明参照のこと）。フィラメント22は、繊維の直径に対する長さの比率が200以上の連続繊維であってよく、連続繊維は単向性の不織テープ又は織布の形態であってよい。連続繊維はセラミック繊

10

20

30

40

50

維であってよいが、幾つの場合において、非酸化性コーティングでコーティングされる金属繊維及び／又は炭素繊維も使用可能である。しかしながら、フィラメント２２は、例えば非限定的に、短／非連続繊維、ウスカ、又は微粒子等の他の種類の強化材料であってもよい。加えて、セラミックマトリクス２４には、酸化アルミニウム（ $Al_2O_3$ ）、酸化マグネシウム（ $MgO$ ）、及びムライト（ $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ）等の氧化物セラミック、及び炭化ケイ素（ $SiC$ ）、窒化ホウ素（ $BN$ ）、及び炭素（ $C$ ）等の非氧化物セラミックが含まれるが、多数の他の種類のセラミックマトリクスも使用可能である。

#### 【００１５】

第１の表面板１４と第２の表面板１６とは両方とも、一致する又はほぼ一致する熱膨張率（ $CTE$ ）を有するＣＭＣ材料から形成することができ、これによりハイブリッドサンドイッチ型のＣＭＣ１０が製造中に使用される高温焼結ステップに耐えることができるようになる。本明細書に記載される「密接に一致する $CTE$ 」とは、互いの約 $0.5 \times 10^{-6}$  ミクロン／メートル／ $^{\circ}F$  内にある $CTE$ を指すものである。ある場合には、上記のような $CTE$ の小さな（ $0.5 \times 10^{-6}$  ミクロン／メートル／ $^{\circ}F$  の）変化は許容可能であり、有益でさえありうる。例えば、動作中に高温に曝された表面板１４が表面板１６よりもわずかに低い $CTE$ を有する場合、製造中に焼結温度よりも下がることにより、第１の表面板１４において残留引張応力が発生し、表面板１６において残留圧縮応力が発生する。この残留応力により、動作中に温度勾配に曝された時に引き起こされる対向応力が部分的に相殺され、これにより、ハイブリッドのＣＭＣ１０が動作中の高い温度勾配に、

#### 【００１６】

一致する又は密接に一致する $CTE$ を提供するために、第１の表面板１４と第２の表面板１６は同じ又は類似の化学成分（すなわち、同じフィラメント成分及び同じセラミックマトリクス成分）を有してよく、マトリクス２４におけるフィラメント２２の同じ又は類似の体積率を有してよい。またある場合に、表面板１４と表面板１６は、２つの表面板１４と１６の $CTE$ が少なくとも密接して一致している限り、フィラメント２２及び／又はセラミックマトリクス２４の化学成分は異なっていてよいことに留意したい。後に更に詳しく説明するように、第１の表面板１４と第２の表面板１６は、フィラメント２２の直径、フィラメント２２の化学的性質、直交異方性の度合い、及びフィラメント２２とマトリクス２４との間の界面強度の内の少なくとも一つにおいて異なっていてよい。この違いにより、第１の表面板１４の圧縮強度が高められ、第２の表面板１６の引張強度が高められる。一つの可能性としては、第１の表面板１４のフィラメント２２は、第２の表面板１６のフィラメント２２の直径（ $d$ ）よりも大きい直径（ $d$ ）を有しうる（図３～４参照）。例えば、第１の表面板１４のフィラメント２２の直径は、第２の表面板１６のフィラメント２２の直径より少なくとも約２～１０倍大きくてよく、ある場合にはこの範囲を越えて拡張される。上記構成において、第１の表面板１４のフィラメント２２の直径が大きいことで、マイクロ座屈に対するこれらのフィラメントの耐性及び／又は第１の表面板１４に圧縮ひずみがかかった時の局所的なピーク応力に起因する故障に対するこれらのフィラメントの耐性が改善され、第１の表面板１４の圧縮強度が上がりうる。更に、直径の小さいフィラメントの製造上の構造欠陥を減らすことができるため、第２の表面板１６の直径の小さいフィラメント２２の引張強度が改善される。

#### 【００１７】

あるいは、第１の表面板１４と第２の表面板１６それぞれの圧縮強度と引張強度を調節するために、フィラメント２２の化学成分を変えることができる。例えば、様々な割合のケイ酸塩（又は他の分子又はエレメント）を有する酸化アルミニウム（ $Al_2O_3$ ）のフィラメントを使用して、表面板１４と１６それぞれの圧縮強度及び引張強度を調整することができるが、フィラメント２２の化学成分を多数の他の方法で変化させることができる。表面板１４と１６のフィラメント２２の化学成分の上記の変化を利用して、例えば第１の表面板１４の $CTE$ をわずかに低くするなど、表面板１４と１６の相対 $CTE$ を調整す

10

20

30

40

50

ることができることに留意したい。

【 0 0 1 8 】

別の可能性としては、第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 のフィラメント 2 2 は、周囲のセラミックマトリクス 2 4 との界面強度において異なっている場合がある。具体的には、第 1 の表面板 1 4 のフィラメント 2 2 とセラミックマトリクス 2 4 との間の界面強度は、第 2 の表面板 1 6 のフィラメント 2 2 とセラミックマトリクス 2 4 との間の界面強度よりも高くてもよい。第 1 の表面板 1 4 の界面強度が高いことで、第 2 の表面板 1 6 に対する第 1 の表面板 1 4 の圧縮特性が高まる可能性があるが、第 2 の表面板 1 6 の界面強度が低いために、第 1 の表面板 1 4 に対する第 2 の表面板 1 6 の引張特性が高まる可能性がある。

10

【 0 0 1 9 】

第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 のフィラメント 2 2 とセラミックマトリクス 2 4 との間の界面強度を調整するために、幾つかの方法が使用されうる。例えば、セラミックマトリクス 2 4 のフィラメント 2 2 及び / 又は添加物上のコーティングを利用して、第 1 の表面板 1 4 のフィラメント 2 2 とセラミックマトリクス 2 4 との間の化学的適合性を高めることで、第 1 の表面板 1 4 の圧縮強度を高めることができる。あるいは、低密度（又はより多孔質の）セラミックマトリクス 2 4、又は適合性のないコーティングを第 2 の表面板 1 6 に使用して、フィラメント 2 2 とセラミックマトリクス 2 4 との間の界面強度を低くすることができる。複合材料の界面強度を調節するためのこれらの方法、及び他の方法は当業者によって理解されるものである。加えて、表面板 1 4 と 1 6 の界面強度、及びこれら表面板の相対的な圧縮及び引張強度を必要に応じて調整するために、上記の取り組みを単独で使用する、又は組み合わせる使用することができる。

20

【 0 0 2 0 】

第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 それぞれの圧縮強度及び引張強度を調節する更に別の取り組みとして、第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 の相対的な直交異方性の度合いを変えることもできる。本明細書に記載される「直交異方性」という語は、表面板の特性が表面板の平面において異なる方向に変化することを意味し、「疑似等方性」という語は、表面板の特性が表面板の平面において全ての方向に同じであることを意味する。具体的には、第 1 の表面板 1 4 の直交異方性を第 2 の表面板 1 6 よりも高くすることができ、第 2 の表面板 1 6 を疑似等方性にするすることができる。具体的には、第 1 の表面板 1 4 を形成するのに使用されるプリプレグ層 2 6 は、（第 2 の表面板 1 6 より）直交異方性が高い積層を有してよく、この積層において多数のフィラメント 2 2 が他の方向（例：45°、-45°、60°、-60°等）よりも0°及び / 又は90°等の方向に配向されている（図 5 参照）。更に、第 2 の表面板 1 6 を形成するのに使用されるプリプレグ層 2 6 は疑似等方性積層を有してよく、この積層において、0°、45°、-45°、及び90°の方向にそれぞれ同じ量のフィラメント 2 2 が配向されている（図 6 参照）。当業者は、代替の疑似等方性積層では、例えば0°、60°、及び-60°の方向等の他の方向にも同じ量のフィラメント 2 2 が配向されていてよいことが理解されるだろう。この積層配置の結果として、直交異方性がより高い第 1 の表面板 1 4 の圧縮性能が改善され、疑似等方性の第 2 の表面板 1 6 の引張性能は、-45°と45°に配向されたフィラメント（及び / 又は-60°及び60°に配向されたフィラメント等）により、孔、欠陥、又は他のダメージ周囲の引張荷重を伝達することができる荷重経路が供給されうるため、改善されうる。図 4 ~ 5 に単向性フィラメントを有するプリプレグ層 2 6 を示したが、同様の積層の概念を織フィラメントを有するプリプレグ層にも適用することができることに更に留意したい。

30

40

【 0 0 2 1 】

本明細書に記載される表面板 1 4 及び 1 6 それぞれの圧縮強度及び引張強度を調節する概念を個別に、又は組み合わせる使用することができる。例えば、ある配置構成では、第 1 の表面板 1 4 は、第 2 の表面板 1 6 よりも直径が大きいフィラメントと、高い界面強度の両方を有しうる。別の例として、第 1 の表面板 1 4 は、第 2 の表面板 1 6 よりも直径が

50

大きいフィラメント、高い界面強度、及び更に高い直交異方性積層を有しうる。

【 0 0 2 2 】

ここで、コア 1 2 の実行可能な構造を示す図 7 ~ 9 を参照する。コア 1 2 は、ハニカム構造 2 8 ( 図 7 ) と、泡状構造 3 0 ( 図 8 )、又はトラス構造 3 2 は、表面板 1 4 と 1 6 ( 図 9 ) を結合させる斜め材を含んでいるが、当業者に明らかな他の多数の種類のコア構造を使用することが可能である。コア 1 2 は、第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 の C T E と一致する、又はほぼ一致する ( すなわち、 $0.5 \times 10^{-6}$  ミクロン / メートル / ° F 内の ) C T E を有しうる。これに関しては、コア 1 2 は、第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 と同じ又は類似の化学成分 ( すなわち同じフィラメント及びマトリクス成分 ) を有する C M C から形成することができる。あるいは、コア 1 2 は、第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 の C T E と一致する、又はほぼ一致する C T E を有する他の高温耐性材料から形成することができる。

10

【 0 0 2 3 】

ハイブリッドサンドイッチ型の C M C 1 0 の非限定的な適用例を、図 1 0 ~ 1 1 に示す。具体的には、ハイブリッドサンドイッチ型の C M C 1 0 を、航空機のエンジン 3 6 の排気システム 3 4 の中に組み込むことができる。排気システム 3 4 には、排気ノズル 3 8 と、排気ノズル 3 8 内部の半径方向に、ノズルから本体までの排気ガスの流路 4 2 を画定する中央本体 4 0 とが含まれる。ハイブリッドサンドイッチ型の C M C 1 0 は、排気ノズル 3 8 と中央本体 4 0 のいずれか、あるいは両方の少なくとも一部を形成してよく、図示したように、流路 4 2 の高温燃焼ガスに面する第 1 の表面板 1 4 の圧縮強度が高くなるように調整され、流路 4 2 の反対側に面する第 2 の表面板 1 6 の引張強度が高くなるように調整される。エンジン 3 6 の開始中、又はエンジン 3 6 のアイドリングからフルパワーへの加速中等、排気システム 3 4 における急速な温度変化の間に、ハイブリッドサンドイッチ型の C M C は高い温度勾配に曝せられる。第 1 の表面板 1 4 と第 2 の表面板 1 6 の圧縮強度及び引張強度を調整することにより、第 1 の表面板 1 4 の熱膨張が大きいことに起因する応力に耐えるハイブリッドサンドイッチ型の C M C の能力が、従来技術のサンドイッチ型の非ハイブリッド C M C と比べて改善せられる。

20

【 0 0 2 4 】

ここで、本発明のハイブリッドサンドイッチ型の C M C 1 0 を製造する方法を示す図 1 2 を参照する。ブロック 5 0 から開始し、第 1 の表面板 1 4 のプリプレグ層 2 6 をスタック状に積層して、第 1 の表面板 1 4 を提供することができる。必要に応じて、上述したように、第 1 の表面板 1 4 に直交異方性積層を確立することができる ( 図 5 参照 )。プリプレグ層 2 6 は、セラミックマトリクス 2 4 のスラリー前駆体で予め含浸されたフィラメント布として得ることができる、又はプリプレグ層 2 6 は、セラミックマトリクス 2 4 のスラリー前駆体にフィラメント布を浸すことによって作製することができる。

30

【 0 0 2 5 】

第 1 の表面板 1 4 を次に、図示したように、次のブロック 5 4 に従って、円筒形ツール ( 又はハイブリッドサンドイッチ型の C M C 1 0 を所望の形状に成形することができる他の適切なツール ) 上に積層することができる。次のブロック 5 6 及び 5 8 に従って、ツール上に積層スタックを提供するために、コア 1 2 を次に第 1 の表面板 1 4 上に積層することができ、第 2 の表面板 1 6 をコア 1 2 上に積層することができる。必要に応じて、第 2 の表面板 1 6 のプリプレグ層 2 6 を積層して、上述したように、疑似等方性の配置を確立することができる ( 図 6 参照 )。第 1 の表面板 1 4 と同じく、第 2 の表面板 1 6 のプリプレグ層 2 6 を、セラミックマトリクス 2 4 のスラリー前駆体で予め含浸されたフィラメント布として得ることができる、又はプリプレグ層 2 6 は、セラミックマトリクス 2 4 のスラリー前駆体にフィラメント布を浸すことによって作製することができる。

40

【 0 0 2 6 】

次のブロック 6 0 に従って、ツール上の積層スタックを次に第 1 の温度で圧縮し硬化させることができ、セラミックマトリクス 2 4 の化合物により、単一構造として取り扱うことができ、それ自体の重量を支持することができるように表面板 1 4 及び 1 6 とコア 1 2

50

とを互いに弱く固着させることができる。ブロック 60 は、例えば加熱押圧、真空引き、及びオートクレーブ等の、当業者に明らかな技術及び設備を使用して実施することができる。硬化された構造を次にツールから取り外して加熱炉に置き、より高温の第 2 の温度で焼結して、表面板 14 及び 16 とコア 12 を互により強く固着させ、ハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10 を提供することができる（ブロック 62）。上述したように、第 1 の表面板 14、第 2 の表面板 16、及びコア 12 の CTE が一致している（又は CTE がほぼ一致している）ことにより、ハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10 が、ある場合には（華氏）数千度になりうる焼結温度からの冷却に耐えることが可能になりうる。

【0027】

本明細書による発明対象の例示的かつ非排他的な例は、以下に列挙される条項 A 1 ~ C 20 に記載される。

【0028】

A 1 ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料（CMC）10であって、

セラミックマトリクス 24 内のフィラメント 22 を含む第 1 の表面板 14 と、

セラミックマトリクス 24 内のフィラメント 22 を含む第 2 の表面板 16 と、

第 1 の表面板と第 2 の表面板との間で両方の表面板に接着されたコア 12 とを含み、ハイブリッドサンドイッチ型の CMC は温度勾配に曝されるように構成されており、この温度勾配では第 1 の表面板が第 2 の表面板よりも高い温度環境に曝され、第 1 の表面板と第 2 の表面板は、ほぼ一致する熱膨張率を有し、第 1 の表面板は第 2 の表面板よりも高い圧縮強度を有する。

【0029】

A 2 第 2 の表面板 16 は、第 1 の表面板 14 よりも高い引張強度を有する、条項 1 に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0030】

A 3 第 1 の表面板 14 が、第 1 の表面板の引張強度よりも約 1.5 倍高い圧縮強度を有し、第 2 の表面板 16 が、第 2 の表面板の圧縮強度よりも約 1.5 倍高い引張強度を有する、条項 1 又は 2 に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0031】

A 4 第 1 の表面板 14 のフィラメント 22 と第 2 の表面板 16 のフィラメント 22 は同じ化学成分を有し、第 1 の表面板のセラミックマトリクス 24 と第 2 の表面板 16 のセラミックマトリクスは同じ化学成分を有し、第 1 の表面板のフィラメントの体積率は、第 2 の表面板のフィラメントの体積率と等しい、条項 1 から 3 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0032】

A 5 ハイブリッドサンドイッチ型の CMC は円筒形である、条項 1 から 4 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0033】

A 6 第 1 の表面板 14 のフィラメント 22 の直径は、第 2 の表面板 16 のフィラメントの直径よりも大きい、条項 1 から 5 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0034】

A 7 第 1 の表面板 14 は、第 2 の表面板 16 よりもより直交異方性が高い、条項 1 から 6 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0035】

A 8 第 1 の表面板 14 のフィラメント 22 とセラミックマトリクス 24 との間の界面強度は、第 2 の表面板 16 のフィラメント 22 とセラミックマトリクス 24 との間の界面強度よりも強い、条項 1 から 7 のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型の CMC 10。

【0036】

10

20

30

40

50

A 9 第1の表面板14の熱膨張率が、第2の表面板16の熱膨張率よりも低い、条項1から8のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0037】

A 10 ハイブリッドサンドイッチ型のCMCが航空機の排気システム34の部品の一部であり、第1の表面板14が航空機の排気システムの排気ガスの流路42に面している、条項1から9のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0038】

B 11 ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料(CMC)10であって、

セラミックマトリクス24内のフィラメント22を含む第1の表面板14と、

セラミックマトリクス24内のフィラメント22を含む第2の表面板16と、

第1の表面板と第2の表面板との間で両方の表面板に接着されたコア12とを含み、第1の表面板と第2の表面板は、ほぼ一致する熱膨張率を有しているが、フィラメントの直径、フィラメントの化学的性質、直交異方性の度合い、及びフィラメントとセラミックマトリクスとの間の界面強度の内の少なくとも一つにおいて異なっている。

【0039】

B 12 ハイブリッドサンドイッチ型のCMCは温度勾配に曝され、この温度勾配では第1の表面板14が第2の表面板16よりも高い温度環境に曝されるように構成されている、条項11に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0040】

B 13 第1の表面板14は第2の表面板16よりも高い圧縮強度を有する、条項11又は12に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0041】

B 14 第2の表面板16が、第1の表面板14よりも高い引張強度を有する、条項11から13のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0042】

B 15 第1の表面板14のフィラメント22の直径が、第2の表面板16のフィラメント22の直径よりも大きい、条項11から14のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0043】

B 16 第1の表面板14は、第2の表面板16よりも直交異方性が高い、条項11から15のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0044】

B 17 第1の表面板14のフィラメント22とセラミックマトリクス24との間の界面強度は、第2の表面板16のフィラメント22とセラミックマトリクス24との間の界面強度よりも強い、条項11から16のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0045】

B 18 第1の表面板14の熱膨張率は、第2の表面板16の熱膨張率よりも低い、条項11から17のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0046】

B 19 ハイブリッドサンドイッチ型のCMCが円筒形である、条項11から18のいずれか一項に記載のハイブリッドサンドイッチ型のCMC10。

【0047】

C 20 ハイブリッドサンドイッチ型のセラミックマトリクス複合材料(CMC)10を製造する方法であって、

フィラメント22のプリプレグ層をセラミックマトリクス24に含む第1の表面板14をツール上に積層する54ことと、

第1の表面板上にコア12を積層する56ことと、

積層スタックを提供するために、フィラメント22のプリプレグ層をセラミックマトリ

10

20

30

40

50

クス 24 に含む第 2 の表面板 16 をコア上に積層する 58 ことであって、第 1 の表面板と第 2 の表面板は、フィラメントの直径、フィラメントの化学的性質、直交異方性の度合い、及びフィラメントとセラミックマトリクスとの間の界面強度の内の少なくとも一つにおいて異なる、積層する 58 ことと、

積層スタックを第 1 の温度で硬化させる 60 ことと、

ハイブリッドサンドイッチ型の CMC を提供するために、第 2 の温度において積層スタックを焼結する 62 ことと

を含む。

【産業上の利用可能性】

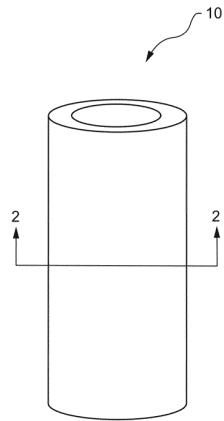
【0048】

従って一般に、本明細書に開示された技術は、非限定的に、高い温度勾配に曝されるサンドイッチ型 CMC 部品を使用した産業用途を含む様々な環境における産業上の利用可能性を有することが分かる。本明細書に開示された技術により、ハイブリッドサンドイッチ型の CMC 部品が高い温度勾配に十分耐えられるほど構造的に頑丈になるように、2 つの対向する表面板の圧縮強度と引張強度が調整されるハイブリッドサンドイッチ型の CMC が提供される。具体的には、高温環境に曝される表面板の圧縮特性が改善されるように調整され、低温環境に曝される対向する表面板の引張特性が改善されるように調整される。これらの特性により、ハイブリッドサンドイッチ型の CMC が、両方とも同じ圧縮 / 引張特性を有する表面板を使用する従来技術のサンドイッチ型 CMC と比べて熱膨張率が高い高温の表面板が原因で発生する応力に、更に耐えることができるようになる。この技術は、2 つの表面板が互いに強く結び合わされ、簡単に曲がらないように制限されることにより、幾つかの円筒形構造における等の温度勾配によって引き起こされる応力が低減するサンドイッチ型の CMC 構造に特に有用でありうる。更に、本明細書に記載されるハイブリッドサンドイッチ型の CMC 構造は、重量が軽く、排気温度への長時間の曝露に耐えうるため、現在使われる金属ベースの構造と比べて改善された航空機排気システムの部品を提供しうる。本明細書に記載される技術の、例えば非限定的に、航空機排気システムの用途等、幅広い分野における様々な産業上の利用可能性が開けることが期待される。

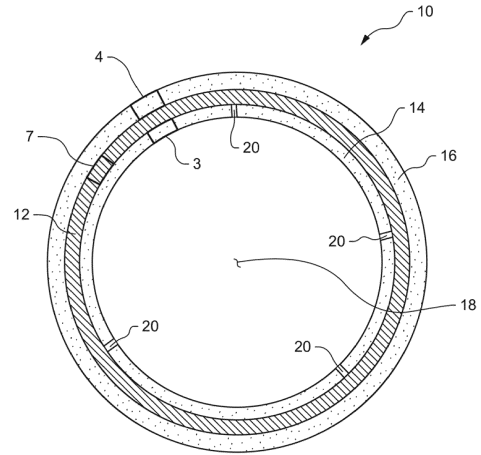
10

20

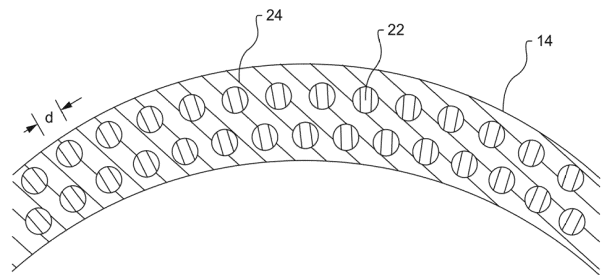
【図 1】



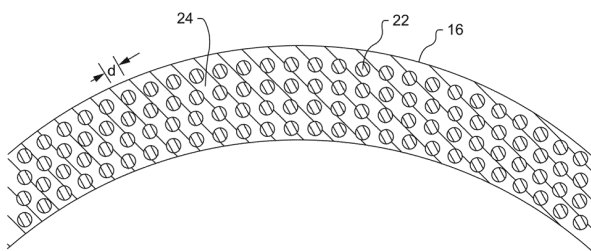
【図 2】



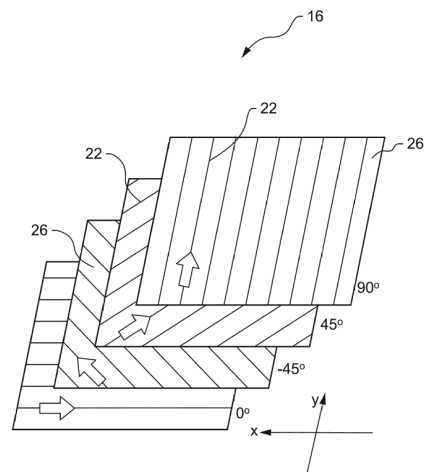
【図 3】



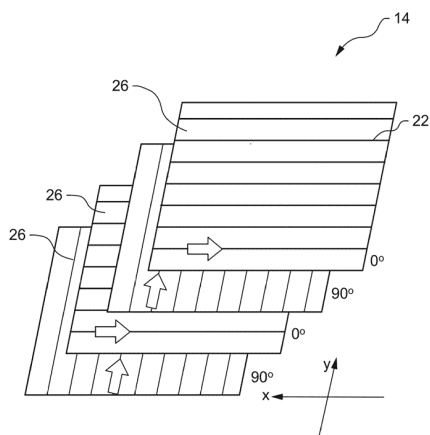
【図 4】



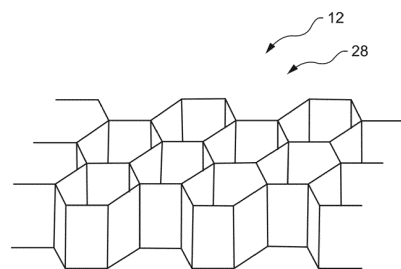
【図 6】



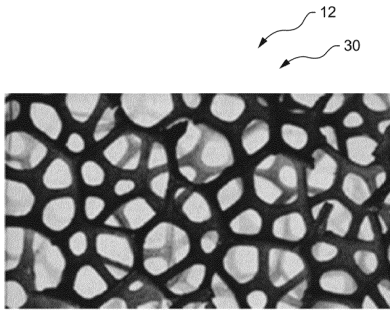
【図 5】



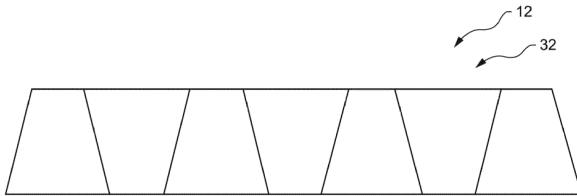
【図 7】



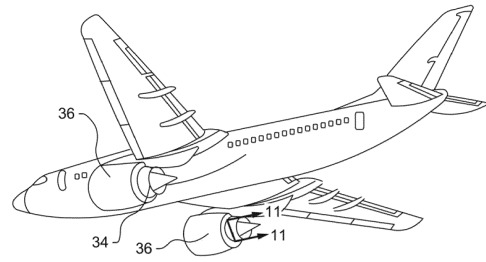
【図 8】



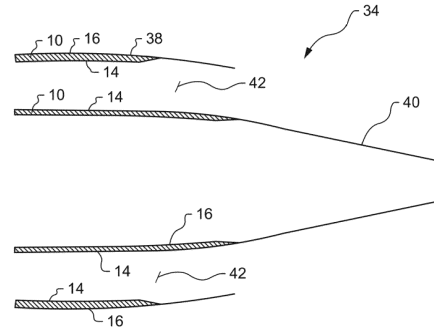
【図 9】



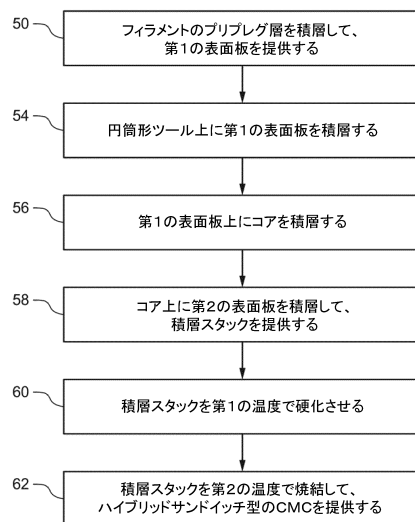
【図 10】



【図 11】



【図 12】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<b>F 0 2 C</b>	<b>7/00</b>	<b>(2006.01)</b>	F 0 1 D	25/30 B
			F 0 2 C	7/00 C
			F 0 2 C	7/00 D
			F 0 2 C	7/00 F
			F 0 2 C	7/00 B

(56)参考文献 米国特許出願公開第2009/0252907(US,A1)  
 特表2013-543072(JP,A)  
 米国特許第6251815(US,B1)  
 特開平11-129364(JP,A)  
 特開2009-214540(JP,A)  
 特開2009-143540(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 3 2 B	1 / 0 0 - 4 3 / 0 0
B 6 4 C	1 / 0 0 - 1 / 4 0
B 6 4 D	3 3 / 0 0 - 3 3 / 1 2
F 0 1 D	2 5 / 0 0 , 2 5 / 3 0
F 0 2 C	7 / 0 0
C 0 4 B	3 5 / 8 0