



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201733713 A

(43)公開日：中華民國 106 (2017) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：105140628

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 12 月 08 日

(51)Int. Cl. : **B22F7/00 (2006.01)**

(30)優先權：	2015/12/08	美國	62/264,571
	2015/12/08	美國	62/264,564
	2016/06/30	美國	62/356,610
	2016/08/08	美國	62/372,088

(71)申請人：3 M新設資產公司 (美國) 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY (US)
美國

(72)發明人：普拉特尼柯夫 伊麗薩維塔 優里芙娜 PLOTNIKOV, ELIZAVETA YURIEVNA (US)；麥克庫隆 柯林 MCCULLOUGH, COLIN (GB)；強生 道格拉斯 艾理斯 JOHNSON, DOUGLAS ELLIS (US)；安德森 傑森 大衛 ANDERSON, JASON DAVID (US)；戚 鋼 QI, GANG (US)；高茲 道格拉斯 保羅 GOETZ, DOUGLAS PAUL (US)；吳 永康 WU, YONG KANG (US)；坎培爾 喬登 亞力山卓 CAMPBELL, JORDAN ALEXANDER (US)；辛夫 珊迪普 庫馬 SINGH, SANDEEP KUMAR (US)；史托曾柏格 菲比恩 STOLZENBURG, FABIAN (DE)；虎司 加里斯 艾倫 HUGHES, GARETH ALLEN (US)；唐吉曼 珍 安 TANGEMAN, JEAN ANN (US)；威爾森 大衛 馬歇爾 WILSON, DAVID MARSHALL (US)；羅森佛蘭茲 安納多利 薩那維奇 ROSENFLANZ, ANATOLY ZHANOVICH (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：14 項 圖式數：7 共 52 頁

(54)名稱

製作包括無機粒子及不連續纖維之金屬基質複合物之方法

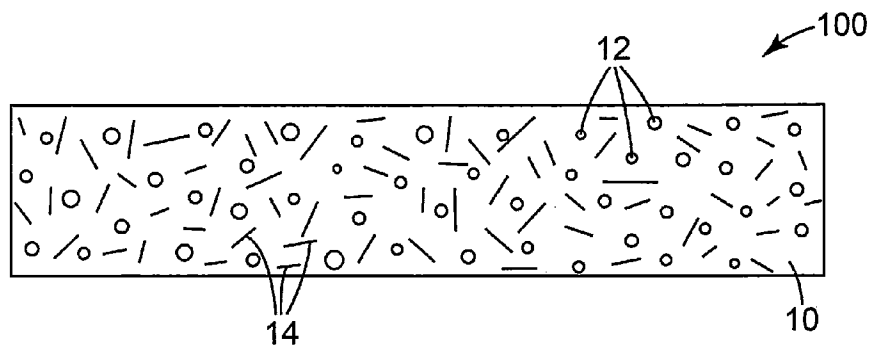
METHODS OF MAKING METAL MATRIX COMPOSITES INCLUDING INORGANIC PARTICLES AND DISCONTINUOUS FIBERS

(57)摘要

本發明提供一種製作多孔金屬基質複合物之方法。該方法包括混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維以形成一混合物。該方法進一步包括燒結該混合物以形成該多孔金屬基質複合物。一般而言，該等無機粒子及該等不連續纖維係分散在該金屬中。該金屬基質複合物具有比該金屬低的密度而沒有犧牲該金屬所有的機械性質或外觀。

A method of making a porous metal matrix composite is provided. The method includes mixing a metal powder, a plurality of inorganic particles, and a plurality of discontinuous fibers to form a mixture. The method further includes sintering the mixture to form the porous metal matrix composite. Typically, the inorganic particles and the discontinuous fibers are dispersed in the metal. The metal matrix composite has a lower density than the metal without sacrificing all of the mechanical properties or appearance of the metal.

指定代表圖：



符號簡單說明：

10 . . . 金屬

12 . . . 無機粒子

14 . . . 不連續纖維

100 . . . 多孔金屬基
質複合物

圖1

發明摘要

※ 申請案號 105140628

105/12/08

※ 申請日：

※IPC分類： B22F7/00 (2006.01)

【發明名稱】 製作包括無機粒子及不連續纖維之金屬基質複合物之方法

METHODS OF MAKING METAL MATRIX
COMPOSITES INCLUDING INORGANIC
PARTICLES AND DISCONTINUOUS FIBERS

【中文】

本發明提供一種製作多孔金屬基質複合物之方法。該方法包括混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維以形成一混合物。該方法進一步包括燒結該混合物以形成該多孔金屬基質複合物。一般而言，該等無機粒子及該等不連續纖維係分散在該金屬中。該金屬基質複合物具有比該金屬低的密度而沒有犧牲該金屬所有的機械性質或外觀。

【英文】

A method of making a porous metal matrix composite is provided. The method includes mixing a metal powder, a plurality of inorganic particles, and a plurality of discontinuous fibers to form a mixture. The method further includes sintering the mixture to form the porous metal matrix composite. Typically, the inorganic particles and the

discontinuous fibers are dispersed in the metal. The metal matrix composite has a lower density than the metal without sacrificing all of the mechanical properties or appearance of the metal.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1

【本代表圖之符號簡單說明】：

10...金屬

12...無機粒子

14...不連續纖維

100...多孔金屬基質複合物

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】 製作包括無機粒子及不連續纖維之金屬基質複合物之方法

METHODS OF MAKING METAL MATRIX
COMPOSITES INCLUDING INORGANIC
PARTICLES AND DISCONTINUOUS FIBERS

【技術領域】

【0001】 本揭露係有關金屬基質複合物之製作方法，其包括金屬基底與其他材料（如填料材料）之混合物。

【先前技術】

【0002】 金屬基質複合物因為其高強度、高剛性結合輕量化的組合而長期以來被認為是有前景的材料。金屬基質複合物一般包括以纖維或其他填料材料強化的一金屬基質。

【發明內容】

【0003】 本揭露提供用於製作輕量化金屬基質複合物之方法。對於形成具有包封密度比金屬低而同時保持一定位準物理性質的金屬基質複合物之方法的需求持續存在。

【0004】 在一態樣中，本揭露提供一種多孔金屬基質複合物的製作方法。該方法包括混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維，從而形成一混合物。該方法進一步包括燒結該混合物，從而形成該多孔金屬基質複合物。一般而言，該等無機粒子及該等不連續纖維係分散在該金屬中。

【0005】 本揭露之例示性實施例中獲得各種非預期的結果及優點。本揭露之至少一例示性實施例的優點為製造出一種多孔金屬基質複合物，含有無機粒子及不連續纖維分散在金屬中的該金屬基質複合物展現比該金屬低的包封密度及可接受的降伏強度（例如，在一拉應力-應變曲線中的塑性降伏）兩者。此外，根據本揭露之至少一些例示性實施例，在該等無機粒子上毋須使用任何塗層來提供具有無機粒子有效分散在該金屬中的金屬基質複合物。在該金屬基質複合物內的該等無機粒子一般而言係保持完好，本揭露之至少一些例示性實施例中具有極微量的破損粒子。

【0006】 本揭露之上述概述並非意欲說明本揭露之各個所揭示實施例或是各實施方案。以下的描述更具體地例示說明性實施例。在本申請案全文的數個地方透過實例清單來提供指引，該等實例可以各種組合之方式使用。在各種情況下，所引述的清單僅作為代表性群組，且不應將其詮釋為排他性的清單。

【圖式簡單說明】

【0007】 配合附圖，思考如下所述本揭露各個實施例之實施方式，可更完整地理解本揭露，其中：

圖 1 為根據本揭露之一例示性實施例所製造之一金屬基質複合物的示意剖面圖。

圖 2 為根據本揭露所製備之例示性基質及比較基質之應力-應變曲線的圖。

圖 3 為另外的例示性基質及比較基質之應力-應變曲線的圖。

圖 4 為進一步例示性基質及比較基質之應力-應變曲線的圖。

圖 5 為另一個例示性基質之應力-應變曲線的圖。

圖 6 為更進一步的例示性基質之應力-應變曲線的圖。

圖 7 為又另一個例示性基質之應力-應變曲線的圖。

【0008】 雖然以上所識別之圖式（可能未按比例繪製）闡述本揭露之實施例，但其他實施例（如在「實施方式」中所提到者）亦被考慮。

【實施方式】

【0009】 對於下文所定義用語的詞彙，這些定義應適用於整份申請書，除非在申請專利範圍或說明書中的別處提供不同定義。

詞彙

【0010】 說明書及申請專利範圍中使用某些用語，雖然這些用語大多數已為人所熟知，但可能需要一些解釋。應了解的是，如本文中所使用者：

【0011】 如本說明書及隨附實施例中所用者，單數形式「一(a/an)」及「該(the)」包括複數的指涉，除非內容另有清楚指定。如本說明書及所附實施例中所使用者，用語「或(or)」通常是用來包括「及/或(and/or)」的意思，除非內文明確地另有指示。

【0012】 如本說明書中所使用，以端點敘述之數字範圍包括所有歸於該範圍內的數字（例如，1 至 5 包含 1、1.5、2、2.75、3、3.8、4 及 5）。

【0013】 除非另有所指，否則本說明書及實施例中所有表達量或成分的所有數字、屬性之測量及等等，在所有情形中都應予以理解成以用語「約(about)」進行修飾。因此，除非另有相反指示，在前述說明書及隨附實施例清單所提出的數值參數，可依據所屬技術領域中具有通常知識者運用本揭露的教示而欲獲得之理想特性而有所變化。起碼，至少應鑑於有效位數的個數，並且藉由套用普通捨入技術，詮釋各數值參數，但意圖不在於限制所主張實施例範疇均等論之應用。

【0014】 在本說明書及申請專利範圍中之用語「包含、組成(comprises)」及其變化形並不具限制意思。

【0015】 在本揭露之實施例中之用語「較佳(preferred)」和「較佳地(preferably)」表示在某些情況下可能可以提供某些效益。然而，其他實施例在相同或其他情況下亦可為較佳的。此外，對於一個或多個較佳實施例之引述並不意味其他實施例非係有用的，也沒有意圖將其他實施例從本揭露之範疇中排除。

【0016】 本說明書全文提及的「一個實施例(one embodiment)」、「某些實施例(certain embodiments)」、「一或多個實施例(one or more embodiments)」、或「一實施例(an embodiment)」，不論在用語「實施例(embodiment)」之前是否包括有用語「例示性(exemplary)」，皆意指與該實施例連結之所述特定特徵、結構、材料、或特性都包括在本揭露某些例示性實施例的至少一個實施例中。因此，在本說明書全文中各處出現的用語，諸如「在一或多個實施例中(in one or more embodiments)」、「在某些實施例中(in certain

embodiments)」、「在一個實施例中(in one embodiment)」、「在許多實施例中(in many embodiments)」或「在一實施例中(in an embodiment)」，並不必然參照本揭露某些例示性實施例的相同實施例。更進一步，該等特定特徵、結構、材料、或特性可在一或多個實施例中用任何合適的方式結合。

【0017】 有關金屬基質中一或多個填料的用語「分散(dispersed)」是指該一或多個填料分布遍及該金屬基質，比如提供一包括該金屬及該（等）填料而實質上均質的金屬基質複合物。這是對比於一金屬基質複合物的區域有一或多個填料的濃度比在該金屬基質複合物不同位置的區域高出至少兩倍（例如，在該金屬基質複合物中數層的或數團的一填料）。雖然有可能觀察到該一或更多填料未確切均質分布在金屬基質中之一金屬基質複合物的足夠小體積，該（等）填料仍是分散在該金屬中。

【0018】 用語「燒結(sinter)」是指藉由加熱粉狀材料但不完全液化以使其聚合成固體或多孔塊體。亦可選地在燒結期間擠壓該粉狀材料。

【0019】 有關粒子的用語「包封密度(envelope density)」是指質量除以包封體積。該「包封體積(envelope volume)」是指各粒子中固體及該粒子中任何空隙的體積總和。同樣的，有關金屬基質複合物的用語「包封密度」是指質量除以包封體積，其中該「包封體積」是指該金屬基質複合物中固體及該金屬基質複合物中任何空隙的體積總和。

【0020】 有關多孔粒子的用語「骨架密度(skeleton density)」是指質量除以骨架體積。該「骨架體積(skeleton volume)」是指固體材料及粒子內任何封閉孔的體積總和。

【0021】 有關玻璃泡的用語「平均真密度(average true density)」是指該等玻璃泡的密度的平均而不是一體積的玻璃泡的密度（其取決於該等玻璃泡在該體積中的壓實度）。

【0022】 用語「塑性降伏(plastic yield)」是指材料發生預定量的永久形變時的應力。

【0023】 用語「拉塑性降伏(tensile plastic yield)」是指材料經受到拉力時，該材料發生預定量的永久形變時的應力。

【0024】 用語「軟化點(softening point)」是指材料（例如，處於固相）開始因為自己的重量而開始塌陷的溫度或溫度範圍。對於具有明確熔點（例如，金屬）的材料，軟化點大致上可視為金屬或金屬合金的熔點。然而，對於沒有明確熔點的材料，軟化點可以是材料的彈性行為變成塑性流的溫度。例如，玻璃、玻璃-陶瓷、或瓷的軟化點會出現在材料的玻璃-轉移溫度，而且可由黏度 $10^{7.65}$ 泊所定義。一般例如以 Vicat 法（例如，ASTM-D1525 或 ISO 306）或以熱變形測試（例如，ASTM-D648）來測定玻璃的軟化點。

【0025】 有關玻璃泡的用語「未塗佈(uncoated)」是指該等玻璃泡的外表面沒有施加任何額外的材料（亦即，具有一組成物不同於該玻璃）。

【0026】 用語「降伏強度(yield strength)」是指認為材料已經開始塑性延伸時的應力。在本文中使用时，係以 0.2%的偏移判定降伏強度。ASTM B557M-15 揭示「7.6 降伏強度—用偏移法以 0.2%的偏移判定降伏強度。接受或拒收材料可基於負載延伸法(Extension-Under-Load Method)決定。對於仲裁試驗，應使用該偏移法(offset method)。7.6.1 偏移法—藉由「偏移法」判定降伏強度，需要確保可繪製應力-應變圖的資料（自動圖繪或以數值表示）。然後在應力-應變圖（圖 16）標出等於偏移指定值的 O_m ，平行 OA 繪製 mn ，因而找出 r ，其為 mn 和應力-應變圖的交點（註 12）。記述以此方法得到的降伏強度時，應於用語降伏強度後在括號內記載「偏移」之特定值。如此：降伏強度（偏移= 0.2%）= 360 MPa」。

【0027】 用語「過渡型氧化鋁(transitional-alumina)」是指從鋁氫氧化物到 α -氧化鋁的任意氧化鋁。特定的過渡型氧化鋁粒子包括 δ -氧化鋁、 η -氧化鋁、 θ -氧化鋁、 χ -氧化鋁、 κ -氧化鋁、 ρ -氧化鋁、及 γ -氧化鋁。過渡型氧化鋁粒子係在鋁氫氧化物或鋁氧基氫氧化物的熱處理期間產生。熱力學上最穩定的形式一般是 α -氧化鋁。

【0028】 現將說明本揭露的各種例示性實施例。本揭示之例示性實施例可有各種修改及改變，而不悖離本揭示之精神及範疇。因此，應理解本揭示之該等實施例不受限於以下該等說明之例示性實施例，而是由該等申請專利範圍及任何其均等者所提限制所管制。

【0029】 在一態樣中，本揭露提供一種多孔金屬基質複合物的製作方法。該方法包括混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不

連續纖維以形成一混合物。該方法進一步包括燒結該混合物以形成該多孔金屬基質複合物。

【0030】 在一些實施例中，該金屬粉末、無機粒子、及不連續纖維之混合係以人工進行，諸如藉由以手搖動裝著該等材料的一容器。搖動時常進行至少 15 秒、至少 20 秒、至少 30 秒、至少 45 秒、或至少 60 秒、及至多 2 分鐘、至多 100 秒、至多 90 秒、或至多 70 秒。人工混合用於一金屬基質複合物的該等組分時，可選地將裝著該等材料的一容器倒置至少一次。在某些實施例中，該金屬粉末、無機粒子、及不連續纖維的混合係使用一聲學混合器、一機械混合器、一振盪板 (shaker table)、或一滾筒 (tumbler) 進行。使用一設備來類似地進行混合達至少 15 秒、至少 20 秒、至少 30 秒、至少 45 秒、或至少 60 秒、及至多 2 分鐘、至多 100 秒、至多 90 秒、或至多 70 秒。藉由混合該等組分所產生的該混合物包含分散在該金屬粉末中的該等無機粒子及該等不連續纖維。如上面所討論的，使該等無機粒子及不連續纖維分散在該金屬粉末提供一實質上均質的混合物。

【0031】 在混合以後，燒結該混合物。在大部分的實施例中，燒結進行至少 30 分鐘的時間、至少 60 分鐘、至少 90 分鐘、或至少 2 小時、且至多 3 小時或至多 24 小時；諸如在 30 分鐘及 3 小時之間（含）。一般而言，該混合物在一模（例如，一模具）中燒結。通常在一熱壓機或一爐中於至少攝氏 250 度(°C)、至少 300°C、至少 400°C、至少 500°C、或至少 600°C、及至多 1,000°C、至多 900°C、至多 800°C、或至多 700°C 進行燒結；例如在 250°C 與 1,000°C 之間（含）、或

在 400°C 及 900°C 之間、或在 600°C 與 800°C 之間。在許多實施例中，溫度以穩定速率上升，直到達到所欲之最大溫度為止。

【0032】 在某些實施例中，燒結進一步包含對該模中的該混合物施加壓力。例如，可選地在至少 4 百萬帕斯卡(MPa)、至少 5 MPa、至少 7 MPa、至少 10 MPa、至少 12 MPa、至少 15 MPa、或至少 20 MPa 的一壓力進行燒結；及至多 200 MPa、至多 150 MPa、至多 100 MPa、至多 75 MPa、至多 50 MPa、或至多 25 MPa；諸如在 4 MPa 與 200 MPa 之間（含）、在 4 MPa 與 50 MPa 之間（含）、或在 15 MPa 與 200 MPa 之間（含）。在某些實施例中，在所施加壓力釋放後，該模經一惰性氣體（例如，氮氣或氬氣）沖洗。

【0033】 在燒結製程之後，可允許該金屬基質複合物冷卻（例如在該熱壓機或爐內或外）。在一些實施例中，允許該金屬基質複合物進行爐冷（亦即藉由關閉該爐而且等待該金屬基質複合物自行冷卻）。在其他實施例中，一冷卻劑，其例如為而沒有限制為一惰性氣體（例如，氮氣、氬氣、等）通過該熱壓機或爐以幫助該金屬基質複合物更快冷卻。

【0034】 參照圖 1，其提供根據本揭露之例示性實施例製備的一多孔金屬基質複合物 100 的示意性剖面圖。多孔金屬基質複合物 100 包括一金屬 10、複數個無機粒子 12、及複數個不連續纖維 14。無機粒子 12 及不連續纖維 14 係分散在金屬 10 中。為簡單起見，該金屬基質複合物係繪示成具有單塊形狀；然而，可取決於所需應用而以一些不同的形狀形成該金屬基質複合物。金屬基質複合物可應用於若干產

業中，諸如建築、汽車、及電子業，可以金屬基質複合物組件取代其中特定金屬組件。

【0035】 在許多實施例中，該金屬包含一多孔基質結構。多孔基質結構通常從粉狀金屬獲得，其中該粉末含有一金屬結構，其中氣體（例如，空氣）係合併到該固體金屬結構中。一般而言，該金屬存在數量為該金屬基質複合物的 50 重量百分比或更多、55 重量百分比或更多、60 重量百分比或更多、65 重量百分比或更多、70 重量百分比或更多、或 75 重量百分比或更多；以及數量為 95 重量百分比或更少、90 重量百分比或更少、85 重量百分比或更少、或 80 重量百分比或更少。換個方式說明，該金屬存在數量可為該金屬基質複合物的 50 重量百分比與 95 重量百分比之間（含），或該金屬基質複合物的 70 重量百分比與 95 重量百分比之間（含）。該金屬包含鋁、鎂、或其合金（即一鋁合金或一鎂合金）。適當金屬包括例如而沒有限制純鋁（純度至少 99.0%的鋁粉末，例如，AA1100、AA1050、AA1070 等，諸如可購自 Eckart (Louisville, KY)的純鋁粉末）；或含鋁及以質量計 0.2 至 2%的另一金屬的一鋁合金。如此的合金包括：Al—Cu 合金（AA2017 等）、Al—Mg 合金（AA5052 等）、Al—Mg—Si 合金（AA6061 等）、Al—Zn—Mg 合金（AA7075 等）及 Al—Mn 合金，單獨一個或二或更多個的混合物。各種合適的金屬粉末可購自 Atlantic Equipment Engineers (Upper Saddle River, NJ)。

【0036】 一般而言，以粉末形式使用該金屬時，該金屬粉末包含 300 奈米(nm)或更大、400 nm 或更大、500 nm 或更大、750 nm 或更

大、1 微米(μm)或更大、2 μm 或更大、5 μm 或更大、7 μm 或更大、10 μm 或更大、20 μm 或更大、35 μm 或更大、50 μm 或更大、或 75 μm 或更大的一平均粒徑；以及 100 μm 或更小、75 μm 或更小、50 μm 或更小、35 μm 或更小、或 25 μm 或更小。換個方式說明，該金屬粉末包含範圍在 300 nm 與 100 μm 之間（含）的一平均粒徑；範圍在 1 μm 與 100 μm 之間（含）；或範圍在 1 μm 與 50 μm 之間（含）。例如，可使用光學顯微鏡及雷射繞射分析粒徑。

【0037】 合適無機粒子包括的粒子具有每立方公分 2.00 克或更少、每立方公分 1.75 克或更少、每立方公分 1.50 克或更少、每立方公分 1.25 克或更少、或每立方公分 1.00 克或更少的一最大包封密度。一般而言，該複數個無機粒子包含一實質上球形形狀或一針狀形狀，然而在一些實施例中該等無機粒子包含多單元泡。該等粒子通常有 2 : 1 或更小的最長軸對最短軸的縱橫比。

【0038】 一般而言，該複數個無機粒子包含 50 奈米(nm)或更大、250 nm 或更大、500 nm 或更大、750 nm 或更大、1 微米(μm)或更大、2 μm 或更大、5 μm 或更大、7 μm 或更大、10 μm 或更大、20 μm 或更大、35 μm 或更大、50 μm 或更大、75 μm 或更大、或 100 μm 或更大的一平均粒徑；以及 5 毫米(mm)或更小、3 mm 或更小、2 mm 或更小、1 mm 或更小、750 μm 或更小、500 μm 或更小、或 250 μm 或更小。換個方式說明，該複數個無機粒子包含範圍在 50 nm 與 5 mm 之間（含）的一平均粒徑；範圍在 1 μm 與 1 mm 之間（含）；或範圍在 10 μm 與 500 μm 之間（含）。

【0039】 分散在該金屬中的無機粒子數量沒有特定限制。該複數個無機粒子存在數量經常為該金屬基質複合物的至少 1 重量百分比、該金屬基質複合物的至少 2 重量百分比、至少 5 重量百分比、至少 8 重量百分比、至少 10 重量百分比、至少 15 重量百分比、或至少 20 重量百分比；及至多 50 重量百分比、至多 28 重量百分比、至多 26 重量百分比、至多 24 重量百分比、或該金屬基質複合物的至多 22 重量百分比。在某些實施例中，該等無機粒子存在於該金屬基質複合物之數量為該金屬基質複合物的 1 重量百分比與 30 重量百分比之間、或 2 重量百分比與 25 重量百分比之間、或 2 重量百分比與 15 重量百分比之間（含）。包括小於 1 重量百分比的該等無機粒子造成該金屬基質複合物包封密度極微小的下降，然而包括多於 30 重量百分比的該等無機粒子會因為該金屬基質複合物含有金屬及纖維的量不足而對該金屬基質複合物的機械性質造成負面的衝擊。

【0040】 在某些實施例中該複數個無機粒子包含多孔粒子。在本文中使用时，「多孔粒子(porous particles)」是指本身具有細孔的粒子，也指在至少一些非多孔一次粒子之間包括孔的非多孔一次粒子黏聚物。有用的多孔粒子的實例包括例如且沒有限制於多孔金屬氧化物粒子、多孔金屬氫氧化物粒子、多孔金屬碳酸鹽、多孔碳粒子、多孔矽石粒子、多孔脫水鋁矽酸鹽粒子、多孔脫水金屬水合物粒子、沸石粒子、多孔玻璃粒子、膨脹珍珠岩粒子、膨脹蛭石粒子、多孔矽酸鈉粒子、工程多孔陶瓷粒子、非多孔一次粒子之黏聚物、或其組合。在某些實施例中，該金屬氧化物、金屬氫氧化物、或金屬碳酸鹽的該金

屬係選自鋁、鎂、鋯、鈣、或其組合。在挑選的實施例中，該等多孔粒子包含多孔氧化鋁粒子、多孔碳粒子、多孔矽石粒子、多孔鋁氫氧化物粒子、或其組合。該等多孔粒子一般而言已經從其移除相關的水，常是透過加熱該等多孔粒子。該等多孔粒子可選地包含過渡型氧化鋁粒子。合適的多孔粒子包括例如而沒有限制可購自 UOP LLC (Des Plaines, IL)的 Versal 250 水鋁石粉末、Zibo Yinghe Chemical Company, Ltd. (Shandong, China)的 YH-D 16 水鋁石粉末、以及 PIDC International (Ann Arbor, MI)的 Alumax PB300 水鋁石。

【0041】 在某些實施例中，該複數個無機粒子包含陶瓷泡或玻璃泡。陶瓷泡及玻璃泡的合適材料包括例如而沒有限制氧化鋁、鋁矽酸鹽、矽石、或其組合。可購得的玻璃泡包括例如可得自 Cenostar Corporation (Amesbury, MA)的 LightStar、EconoStar、以及 High Alumina 微珠(cenosphere)。較佳的是該等陶瓷泡及玻璃泡係未塗佈（例如，以一金屬材料，用來幫助以該金屬基質潤濕該等泡）。

【0042】 在該金屬具有高熔點（例如，鋁）而該等無機粒子為玻璃泡的實施例中，有利的係該複數個（例如，未塗佈）玻璃泡包含的玻璃耐受加熱到攝氏 700 度的溫度達至少兩小時而不軟化。使用耐高溫玻璃泡允許該等玻璃泡合併於金屬基質複合物中，否則其等會以提升到足以損壞該等玻璃泡的溫度來製備，諸如軟化至少一些該等玻璃泡到它們變形及/或破裂的程度。

【0043】 一種適當類型的玻璃泡包括和去離子水攪拌 2 小時而每克玻璃泡在去離子水中溶出鈉離子小於 100 微克的泡。具如此低的鈉

溶出速率的玻璃泡的一個優點是其等在電子業應用上很有用，於此鈉離子溶出時常是不可接受的。在一實施例中，用於製備此類低鈉玻璃泡的適當化合物包括矽石、石灰、硼酸、磷酸鈣、煅氧化鋁矽酸鹽、以及鎂矽酸鹽。在某些實施例中，如熱膨脹測量法所測得，此類低鈉玻璃泡展現一軟化溫度在 717°C 與 735°C 之間（含）。

【0044】 較佳的是該等無機粒子包含未塗佈無機粒子。有利的是，採用未塗佈無機粒子提供節省材料成本及塗佈時間。根據本揭露之至少某些實施例的方法製備多孔金屬基質複合物，其中該等無機粒子係分散在該金屬中而不需要任何進一步材料以改善該等無機粒子與該金屬之間的接觸。

【0045】 分散在該金屬基質複合物的該複數個不連續纖維沒有特定限制，而例如包括無機纖維，諸如玻璃、氧化鋁、鋁矽酸鹽、碳、玄武岩、或其一組合。更具體地，在某些實施例中該等纖維包含至少一金屬氧化物、氧化鋁、氧化鋁-矽石、或其一組合。該等不連續纖維具有小於 5 厘米的一平均長度，和較長纖維相比更傾向有益於在金屬基質中分散。在許多實施例中，該等纖維具有比用以形成一金屬基質複合物之模具或模的最小尺寸更短的一平均長度，使得於該等纖維之定向不受限於該模具或模。該纖維長度對該模具或模之該最小尺寸的一比例通常是 $< 1 : 1$ 。在某些實施例中，該等不連續纖維具有小於 4 公分、小於 3 公分、或小於 2 公分之一平均長度。不連續纖維可從連續纖維形成，例如藉用所屬領域已知的方法，諸如裁剪及研磨。一般而言，該複數個不連續纖維包含 $10 : 1$ 或更大的一縱橫比。

【0046】 合適的不連續纖維可具有各種組成物，諸如陶瓷纖維。該等陶瓷纖維可生產成連續的長度，其經裁剪或剪切，如本文所討論，以提供本揭露的該等陶瓷纖維。可從各種可購得之陶瓷絲生產該等陶瓷纖維。有用於形成該等陶瓷纖維有用的絲的實例包括以商標 NEXTEL (3M Company, St. Paul, MN)銷售的該等陶瓷氧化物纖維。NEXTEL 是一種連續絲陶瓷氧化物纖維，其在操作溫度具有低延伸及收縮，並且提供良好的化學抗性、低導熱性、耐熱衝擊性、及低孔隙度。NEXTEL 纖維的特定實例包括 NEXTEL 312、NEXTEL 440、NEXTEL 550、NEXTEL 610 以及 NEXTEL 720。NEXTEL 312 及 NEXTEL 440 係包括 Al_2O_3 、 SiO_2 以及 B_2O_3 的耐火鋁硼矽酸鹽。NEXTEL 550 及 NEXTEL 720 係鋁矽酸鹽而 NEXTEL 610 係氧化鋁。製造期間，該等 NEXTEL 絲係塗佈有機塗料或精整物作用為紡織製程的輔助。塗料可包括使用施加到絲股以保護及有助於掌握的澱粉、油、蠟或其他有機成分。藉由熱清潔(heat cleaning)該等絲或陶瓷纖維，如 700°C 的溫度一到四小時，該塗料可自該等陶瓷絲移除。

【0047】 該等陶瓷纖維可經切削或裁剪以便提供相對均勻的長度，其可在機械剪切操作或雷射切削操作、以及在其他切削操作之中，藉由切削陶瓷材料的連續的絲來達成。鑑於如此切削操作之高度受到控制之本質，該等陶瓷纖維之尺寸分布非常狹窄，而允許控制該複合物性質。

【0048】 該陶瓷纖維的長度，例如，可用裝配有一 CCD Camera (Olympus DP72, Tokyo, Japan) 以及分析軟體 (Olympus Stream

Essentials, Tokyo, Japan) 之一光學顯微鏡 (Olympus MX61, Tokyo, Japan) 來判定。可藉由將該陶瓷纖維的代表性取樣散布在玻璃玻片上並以 10X 放大率測量至少 200 個陶瓷纖維的長度來製備樣本。

【0049】 合適的纖維包括例如以商標名 NEXTEL (可購自 3M Company, St. Paul, MN) 銷售的陶瓷纖維，諸如 NEXTEL 312、440、610 以及 720。目前較佳的一陶瓷纖維包含多晶體 α - Al_2O_3 。合適的氧化鋁纖維係描述於，例如美國專利第 4,954,462 號 (Wood 等人) 以及美國專利第 5,185,299 號 (Wood 等人) 中。例示性 α 氧化鋁纖維係以商標名稱 NEXTEL 610 (3M Company, St. Paul, MN) 銷售。在一些實施例中，該等氧化鋁纖維係為多晶體 α 氧化鋁纖維，而且以理論氧化物基礎來看，基於該等氧化鋁纖維的總重量，該等氧化鋁纖維包含大於 99 重量百分比的 Al_2O_3 以及 0.2 至 0.5 重量百分比的 SiO_2 。在其他實施例中，一些理想的多晶體 α 氧化鋁纖維包含之 α 氧化鋁具有小於一微米的平均晶粒尺寸 (或甚至在一些實施例中小於 0.5 微米)。在一些實施例中，多晶體 α 氧化鋁纖維具有至少 1.6 GPa 的平均抗拉強度 (在一些實施例中，至少 2.1 GPa，或甚至至少 2.8 GPa)。合適的鋁矽酸鹽纖維係描述於例如美國專利第 4,047,965 號 (Karst 等人)。例示性鋁矽酸鹽纖維係以商標名稱 NEXTEL 440、及 NEXTEL 720 由 3M Company (St. Paul, MN) 銷售。鋁硼矽酸鹽纖維係描述於例如美國專利第 3,795,524 號 (Sowman)。例示性鋁硼矽酸鹽纖維係以商標名稱 NEXTEL 312 由 3M Company 銷售。可如例如美國

專利第 3,429,722 號(Economy)以及美國專利第 5,780,154 號 (Okano 等人) 中所說明來製作硼氮化物纖維。

【0050】 亦可自其他適當陶瓷氧化物絲形成陶瓷纖維。此類陶瓷氧化物絲的實例包括可購自 Central Glass Fiber Co., Ltd.的彼等陶瓷氧化物絲 (例如, EFH75-01、EFH150-31)。鋁硼矽酸鹽玻璃纖維也是較佳的, 其係其含有小於約 2%的鹼或實質上不含鹼 (亦即, 「E-玻璃」纖維)。E-玻璃纖維可從許多供應商購得。

【0051】 分散在該金屬基質複合物中的不連續纖維數量沒有特定限制。該複數個纖維存在數量通常為該金屬基質複合物的至少 1 重量百分比、該金屬基質複合物的至少 2 重量百分比、至少 3 重量百分比、至少 5 重量百分比、至少 10 重量百分比、至少 15 重量百分比、至少 20 重量百分比、或至少 25 重量百分比; 及至多 50 重量百分比、至多 45 重量百分比、至多 40 重量百分比、或至多 35 重量百分比的該金屬基質複合物。在某些實施例中, 該等纖維存在於該金屬基質複合物之數量為該金屬基質複合物的 1 重量百分比與 50 重量百分比之間、或 2 重量百分比與 25 重量百分比之間、或 5 重量百分比與 15 重量百分比之間 (含)。包括小於 1 重量百分比的該等纖維造成該金屬基質複合物強度極微小的上升, 然而包括多於 50 重量百分比的該等纖維會因為該金屬基質複合物含有金屬及無機粒子的量不足而對該金屬基質複合物的包封密度造成負面的衝擊。在某些實施例中, 該複數個無機粒子及該複數個不連續纖維以該金屬基質複合物的 5 重量百分比與 50 重量百分比之間 (含) 的數量結合存在。

【0052】 有利的是，該金屬基質複合物展現一減少的包封密度（和純金屬相比）以及也展現可接受的機械性質兩者。例如，該金屬基質複合物一般而言具有每立方公分 1.35 與 2.70 克之間（含）或每立方公分 1.80 與 2.50 克之間（含）的一包封密度。例如，該金屬基質複合物可具有每立方公分至少 1.60 克、至少 1.75、至少 1.90、至少 2.00、至少 2.10、或每立方公分至少 2.25 克的一包封密度；以及每立方公分至多 2.70 的一包封密度、至多 2.60、至多 2.50、至多 2.40、或至多 2.30 克。

【0053】 在某些實施例中，該金屬包含鋁或其合金且該金屬基質複合物具有每立方公分 1.80 與 2.50 克之間（含）的一包封密度；每立方公分 2.00 與 2.30 克之間（含）；或每立方公分 1.80 與 2.20 克之間（含）。

【0054】 在某些實施例中，該金屬包含鎂或其合金且該金屬基質複合物具有每立方公分 1.35 與 1.60 克之間（含）的一包封密度；每立方公分 1.55 與 1.60 克之間（含）；或每立方公分 1.35 與 1.50 克之間（含）。

【0055】 有利的是，在許多實施例中該金屬基質複合物具有比該金屬之密度小至少 8%之一包封密度（或小至少 10%、小至少 12%、小至少 15%、或小至少 17%）而且在破裂前可耐受 1%之應變。此性質組合既提供該金屬的輕量化且在該金屬基質複合物中維持一些該金屬特性兩者。尤其，該金屬基質複合物較佳的是於一拉伸試驗中在破壞前展現一降伏強度。在某些實施例中該金屬基質複合物具有 50 百萬

帕斯卡或更大、75 百萬帕斯卡或更大、100 百萬帕斯卡或更大、150 百萬帕斯卡或更大、或 200 百萬帕斯卡或更大的一降伏強度。

【0056】 發現本揭露的至少某些例示性實施例的該金屬基質複合物展現一應力-應變曲線顯示塑性降伏行為，且本揭露的至少某些例示性實施例的該金屬基質複合物展現一應力-應變曲線顯示抗拉塑性降伏行為。也就是說，該應力-應變曲線展現一區域的塑性流。該塑性降伏曲線及抗拉塑性降伏曲線係與一純脆性破壞機制形成對比。也就是說，該純脆性行為在該應力-應變曲線內展現僅一彈性區域，而沒有（或很小）塑性流區域。令人驚訝的是，根據本揭露之至少一些實施例在金屬基質複合物中作為填料之無機粒子及不連續纖維二者之結合，於實驗提供一塑性降伏曲線及/或一抗拉塑性降伏行為。例如，參照圖 3，含有纖維及多孔無機粒子二者（詳細說明如下）的實例 13 的應力-應變曲線在脆性破壞機制前出現降伏。在某些實施例中，該金屬基質複合物破裂前可耐受 1%、1.5%、或 2%之應變。此外，出乎意料的，該金屬粉末與該等多孔無機粒子保持分離，而沒有在燒結過程中被推進該等多孔無機粒子的一些細孔中（尤其是施加壓力下的燒結）。有趣的是，該等多孔無機粒子並沒有傾向於在燒結期間受損（例如，碎裂或壓碎），而是維持其多孔骨架結構。

【0057】 在許多實施例中，該金屬基質複合物展現 25 百萬帕斯卡(MPa)或更大的一極限抗拉強度，例如 40 MPa 或更大、50 MPa 或更大、75 MPa 或更大、100 MPa 或更大、150 MPa 或更大、200 MPa 或更大、250 MPa 或更大、或 300 MPa 或更大。因為金屬基質複合物

的抗拉強度與金屬基質複合物的包封密度有關，一般而言一複合物輕量化的期間會犧牲抗拉強度，考慮金屬基質複合物的抗拉強度則可為進一步有用。在一些實施例中，該金屬基質複合物具有每立方公分 1.80 與 2.50 克之間（含）的一包封密度，以及 50 MPa 或更大、100 MPa 或更大、150 MPa 或更大、200 MPa 或更大、250 MPa 或更大、或 300 MPa 或更大的一極限抗拉強度。

【0058】 有利的是，在某些實施例中獲得了理想的機械性質而不需該等無機粒子及該等不連續纖維以外的填料。在如此實施例中，該金屬基質複合物基本上由一金屬、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維所組成。該金屬基質複合物因而可進一步含有對該金屬基質複合物的機械性質沒有實質衝擊的添加物。相比之下，基本上由一金屬、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維所組成的一金屬基質複合物不能進一步包括添加物，諸如用於幫助該等填料分散的材料。

【0059】 根據本揭露之態樣的金屬基質複合物可根據具有通常知識之從業人士所知的各種適當方法製備，包括粉末冶金製程諸如熱壓、粉末擠製、熱軋、加熱隨之溫軋(warm rolling)、冷壓並燒結、以及熱等靜壓。在一實施例中，可藉由混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維以將該等無機粒子及不連續纖維分散在該金屬粉末中，隨之藉由燒結該混合物以形成一金屬基質複合物來形成該金屬基質複合物。例如，如此的一種粉末冶金方法係詳細說明於以下實例 1 中。

例示性實施例

【0060】 實施例 1 係一種製作多孔金屬基質複合物之方法。該方法包括混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維，從而形成一混合物。該方法進一步包括燒結該混合物，從而形成該多孔金屬基質複合物。

【0061】 實施例 2 係如實施例 1 之方法，其中該混合物係在一模中燒結。

【0062】 實施例 3 係如實施例 1 或實施例 2 之方法，其中該燒結係在攝氏 250 度與攝氏 1,000 度之間且含攝氏 250 度與攝氏 1,000 度的一溫度進行。

【0063】 實施例 4 係如實施例 1 至 3 中任一項之方法，其中該燒結包含施加壓力。

【0064】 實施例 5 係如實施例 4 之方法，其中該燒結係在 4 百萬帕斯卡與 200 百萬帕斯卡之間且含 4 百萬帕斯卡與 200 百萬帕斯卡的一壓力進行。

【0065】 實施例 6 係如實施例 1 至 5 中任一項之方法，其中該燒結係在 30 分鐘與 3 小時之間（含）的一時間進行。

【0066】 實施例 7 係如實施例 1 至 6 中任一項之方法，其中該混合係使用一聲學混合器、一機械混合器、或一滾筒進行。

【0067】 實施例 8 係如實施例 1 至 7 中任一項之方法，其中該混合物包含分散在該金屬粉末中的該等無機粒子及該等不連續纖維。

【0068】 實施例 9 係如實施例 1 至 8 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有比該金屬之密度小至少 8%之一包封密度而且在破裂前可耐受 1%之應變。

【0069】 實施例 10 係如實施例 9 之方法，其中該金屬基質複合物在破裂前可耐受 2%之應變。

【0070】 實施例 11 係如實施例 1 至 10 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有 50 百萬帕斯卡或更大的一降伏強度。

【0071】 實施例 12 係如實施例 1 至 11 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有 100 百萬帕斯卡或更大的一降伏強度。

【0072】 實施例 13 係如實施例 1 至 12 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有 100 百萬帕斯卡或更大的一極限抗拉強度。

【0073】 實施例 14 係如實施例 1 至 13 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有 200 百萬帕斯卡或更大的一極限抗拉強度。

【0074】 實施例 15 係如實施例 1 至 14 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有 300 百萬帕斯卡或更大的一極限抗拉強度。

【0075】 實施例 16 係如實施例 1 至 15 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子包含多孔粒子。

【0076】 實施例 17 係如實施例 16 之方法，其中該等多孔粒子具有每立方公分 2 克或更少的一最大包封密度。

【0077】 實施例 18 係如實施例 15 或實施例 16 之方法，其中該等多孔粒子包含多孔金屬氧化物粒子、多孔金屬氫氧化物粒子、多孔金屬碳酸鹽、多孔碳粒子、多孔矽石粒子、多孔脫水鋁矽酸鹽粒子、

多孔脫水金屬水合物粒子、沸石粒子、多孔玻璃粒子、膨脹珍珠岩粒子、膨脹蛭石粒子、多孔矽酸鈉粒子、工程多孔陶瓷粒子、非多孔一次粒子之黏聚物、或其組合。

【0078】 實施例 19 係如實施例 16 至 18 中任一項之方法，其中該等多孔粒子包含多孔氧化鋁粒子、多孔碳粒子、多孔矽石粒子、多孔鋁氫氧化物粒子、或其組合。

【0079】 實施例 20 係如實施例 19 之金屬基質複合物，其中該等多孔粒子包含過渡型氧化鋁粒子。

【0080】 實施例 21 係如實施例 1 至 15 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子包含陶瓷泡或玻璃泡。

【0081】 實施例 22 係如實施例 21 之方法，其中該等玻璃泡包含的玻璃耐受加熱到攝氏 700 度的溫度達至少兩小時而不軟化。

【0082】 實施例 23 係如實施例 21 或實施例 22 之方法，其中該等玻璃泡和去離子水攪拌 2 小時而每克玻璃泡在去離子水中溶出鈉離子小於 100 微克。

【0083】 實施例 24 係如實施例 1 至 23 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子包含每立方公分 2 克或更少的一最大包封密度。

【0084】 實施例 25 係如實施例 21 至 23 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子包含氧化鋁、鋁矽酸鹽、矽石、或其組合。

【0085】 實施例 26 係如實施例 18 至 21、24、或 25 中任一項之方法，其中該等無機粒子包含多單元泡。

【0086】 實施例 27 係如實施例 1 至 26 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子具有一實質上球形形狀或一針狀形狀。

【0087】 實施例 28 係如實施例 1 至 27 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子具有範圍在 50 奈米(nm)與 5 毫米(mm)之間（含）的一平均粒徑；

【0088】 實施例 29 係如實施例 1 至 28 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子具有範圍在 1 微米(μm)與 1 mm 之間（含）的一平均粒徑。

【0089】 實施例 30 係如實施例 1 至 29 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子具有範圍在 10 μm 與 500 μm 之間（含）的一平均粒徑；

【0090】 實施例 31 係如實施例 1 至 30 中任一項之方法，其中該複數個不連續纖維包含玻璃、氧化鋁、鋁矽酸鹽、碳、玄武岩、或其一組合。

【0091】 實施例 32 係如實施例 1 至 31 中任一項之方法，其中該複數個不連續纖維具有 10 : 1 或更大的一縱橫比。

【0092】 實施例 33 係如實施例 1 至 32 中任一項之方法，其中該金屬包含一多孔基質結構。

【0093】 實施例 34 係如實施例 1 至 33 中任一項之方法，其中該金屬包含鋁或其合金。

【0094】 實施例 35 係如實施例 1 至 34 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有每立方公分 1.80 與 2.50 克之間（含）的一包封密度。

【0095】 實施例 36 係如實施例 1 至 34 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有每立方公分 2.00 與 2.30 克之間（含）的一包封密度。

【0096】 實施例 37 係如實施例 1 至 34 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有每立方公分 1.80 與 2.20 克之間（含）的一包封密度。

【0097】 實施例 38 係如實施例 1 至 33 中任一項之方法，其中該金屬包含鎂或其合金。

【0098】 實施例 39 係如實施例 38 之方法，其中該金屬基質複合物具有每立方公分 1.35 與 1.60 克之間（含）的一包封密度。

【0099】 實施例 40 係如實施例 38 或實施例 39 之方法，其中該金屬基質複合物具有每立方公分 1.55 與 1.60 克之間（含）的一包封密度。

【0100】 實施例 41 係如實施例 38 或實施例 39 之方法，其中該金屬基質複合物具有每立方公分 1.35 與 1.50 克之間（含）的一包封密度。

【0101】 實施例 42 係如實施例 1 至 41 中任一項之方法，其中該金屬基質複合物於一抗拉測試中在破壞前展現一降伏強度。

【0102】 實施例 43 係如實施例 1 至 42 中任一項之方法，其中該金屬存在數量為該金屬基質複合物的 50 重量百分比與 95 重量百分比之間（含）。

【0103】 實施例 44 係如實施例 1 至 43 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子存在數量為該金屬基質複合物的 2 重量百分比與 50 重量百分比之間（含）。

【0104】 實施例 45 係如實施例 1 至 44 中任一項之方法，其中該複數個不連續纖維存在數量為該金屬基質複合物的 2 重量百分比與 25 重量百分比之間（含）。

【0105】 實施例 46 係如實施例 1 至 45 中任一項之方法，其中該複數個無機粒子及該複數個不連續纖維以該金屬基質複合物的 5 重量百分比與 50 重量百分比之間（含）的數量結合存在。

【0106】 實施例 47 係如實施例 1 至 46 中任一項之方法，其中該等無機粒子之該包封密度係比該金屬之密度小至少 40%。

【0107】 實施例 48 係如實施例 1 至 47 中任一項之金屬基質複合物，其中該等無機粒子之包封密度係比該金屬之密度小至少 50%。

【0108】 實施例 49 係如實施例 1 至 48 中任一項之金屬基質複合物，其中該金屬基質基本上由該金屬組成；該複數個無機粒子；及該複數個不連續纖維。

實例

【0109】 這些實例僅用於闡釋之目的，並非意圖過度限制隨附申請專利範圍的範疇。雖然本揭露之廣泛範疇內提出之數值範圍及參數係近似值，但盡可能準確地報告在特定實例中提出之數值。然而，任何數值本質上都含有其各自試驗測量時所發現的標準偏差必然導致的某些誤差。起碼，至少應鑑於有效位數的個數，並且藉由套用普通捨入技術，詮釋各數值參數，但意圖不在於限制所主張申請專利範圍範疇均等者學說之應用。

材料概述

【0110】 除非另有說明，本說明書中之實例及其餘部分中的份數、百分率、比率等皆依重量計。表 1 提供下面實例使用的材料的說明及來源：

表 1：材料之概述

名稱	說明	來源
Al 6063 粉末	氣體霧化鋁 6063 粉末	The Aluminium Powder Company, Sutton Coldfield, UK
Al 1-511 粉末	Eckart 1-511 氣體霧化 99.5%鋁粉末	Eckart America Corp, Louisville, KY
Al 1-131 粉末	Eckart 1-131 氣體霧化 99.5%鋁粉末	Eckart America Corp, Louisville, KY
陶瓷纖維	經裁剪的氧化鋁 NEXTEL 610 纖維，長 180 微米	3M Company, St. Paul, MN
玻璃纖維	1/32"研磨玻璃纖維	Fibre Glast Developments Corp, Brookville, OH
微珠	Cenostar 微珠 Econostar、Lightstar、及 High Alumina，等級 106	Cenostar Corp, Amesbury, MA
玻璃泡	高溫玻璃泡	製備實例 1
氧化鋁粒子	Versal 250 水鋁石粉末，	UOP LLC, Des Plaines, IL

	熱處理到 600°C	
碳化矽	碳化矽，部分燒結之黏聚物	3M Company, St. Paul, MN
二氧化矽	SiO ₂	US Silica, Frederick, MD
石灰	CaCO ₃	Imerys, Roswell, GA
硼酸	B(OH) ₃	US Borax, Boron, CA
磷酸鈣	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	Spectrum, New Brunswick, NJ
氧化鋁矽酸鹽	煨 Al ₂ Si ₂ O ₇	Gelest, Morrisville, PA
鎂矽酸鹽	3MgO ₄ SiO ₂ ·2H ₂ O	Alfa Aesar, Ward Hill, MA
硫酸鋅	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Spectrum, New Brunswick, NJ
CMC	羧甲基纖維素	Ashland Inc., Covington, KY

測試方法 1.三點彎曲測試

【0111】 金屬基質複合物的應力及應變係使用三點彎曲測試判定。在三點彎曲測試，一樣本沿長度方向放置於間隔 32 毫米(mm)的兩圓柱狀支撐之間。吊掛自測試設備的加載元(load cell)的一第三加載圓柱降下來以便接觸該樣本的中點。MTS Systems Corporation (Eden Prairie, MN)提供的一軟體控制的加載框裝有一 100 千牛頓(KN)加載元，其用來經由該中間加載圓柱施加一負載到該樣本中心。該系統測量施加到該樣本的力量以及針對各時間點之該中間加載圓柱距其起始位置的位移。使用標準力量方程式，將這些值各別換算成應力及應變。

測試方法 2.聲學分散法

【0112】 為了在一金屬中均質分散一或多種填料材料，所有材料倒進一 50 毫升(mL)的玻璃瓶，接著將其確實蓋好。接著，把該瓶裝

進一 Resodyn LabRAM 聲學混合器(Resodyn Corporation, Butte, MT)，且以 70%的強度使用自動頻率調整搖 3 分鐘，然後將其抵靠一堅硬表面拍 3 至 5 次以使所有材料落在該瓶底部。

測試方法 3.離子溶出測試

【0113】 100 g 玻璃珠樣本與 1000 g 去離子(DI)水在超音波振盪器中攪拌約 2 小時。然後以每分鐘 10,000 轉藉由離心作用將該等玻璃珠與該 DI 水分開達 10 分鐘。藉由離子層析法測量所得之瀝取溶液的離子濃度。藉由繪製該等標準件中各離子之區域對上該標準件中該離子濃度，來製備各離子個別的校準曲線。自該等樣本溶出之各離子濃度係使用各離子之該測量區域來判定。各離子之識別係僅透過滯留匹配法(retention matching)達成。

測試方法 4.人工分散法

【0114】 為了在一金屬中以人工分散一或多種填料材料，所有材料倒進一 50 毫升(mL)的玻璃瓶，接著將其確實蓋好。接著，人工搖晃該瓶 30 秒，然後將其抵靠一堅硬表面拍 3 至 5 次以使所有材料落在該瓶底部。

製備實例 1

【0115】 列於下面表 2 中的各材料的數量係混合並放置於一石英玻璃坩堝內。然後該混合物於一爐中在華氏 2320 度（攝氏 1271 度）

加熱達 4 小時。接著，該材料係冷卻到室溫（例如，約攝氏 23 度）。將該材料從該坩堝鑿出，並且以一盤式研磨機(BICO Inc., Burbank, CA)壓碎成玻璃料粒子。該玻璃料的最大尺寸小於 5 毫米(mm)。接著使用一噴射研磨機(Hosokawa Alpine, Augsburg, Germany)將該等玻璃料粒子噴射研磨成具有質量中值直徑(D50)係 20 微米(μm)的粒徑的粉末。1000 g 的該粉末接著混合 1100 g 的水、2 重量百分比的補充硼酸、及來自硫酸鋅的 0.3 重量百分比的硫、以及 1 重量百分比的 CMC，各基於該等玻璃粉末的總重量。該漿體的總固體係製成 48 重量百分比。該水/玻璃料粉末漿體係以 LabStar 研磨機(NETZSCH Premier Technologies, LLC, Exton, PA)研磨下降到 D50 為一次粒徑 1.4 μm。來自該研磨的該漿體經噴霧乾燥以形成黏聚進料粒子。從該噴霧乾燥進料通過一天然氣火焰來生產該等玻璃泡。該總玻璃泡密度及火焰條件列於下表 3 中。該等所得之玻璃泡具有 7 微米的一 D5、35 微米的一 D50、及 60 微米的一 D90。

表 2.用於混合及熔化的材料及數量，以克為單位

樣本	二氧化矽	石灰	硼酸	磷酸鈣	煅氧化鋁矽酸鹽	鎂矽酸鹽
B-1	301.3	185.9	89.4	49.5	94.8	87.5
B-2	292.4	190.7	81.0	37.4	136.3	66.1

表 3.火焰成形條件及玻璃泡密度

樣本	火焰流(SLPM)			密度(g/cm³)
	空氣	天然氣	氧氣	
B-1A	265	30	-	0.8249
B-1B	285	30	-	0.8878

B-1C	241	30	5	0.8180
B-2A	265	30	-	0.7650
B-2B	285	30	-	0.7960
B-2C	241	30	5	0.8553

表 4.離子層析結果

離子	B-1 玻璃泡的濃度離子 (µg 離子/g 玻璃泡)
陽離子	
鈉	53±7
鉀	23±13
鈣	190±36
陰離子	
氟化物	小於 LOD , ≤ 4
氯化物	小於 LOD , ≤ 9
氮化物	13±2
溴化物	24±4
硫酸鹽	240±12
硝酸鹽	22±3
磷酸鹽	260±4

比較實例 1

【0116】 10 克(g)的 Al 1-511 粉末倒進具有內徑 1.5 英吋（3.81 公分）的圓形石墨模中。該 Al 1-511 粉末係如下燒結：該模裝進一 HP50-7010 熱壓機(Thermal Technology LLC, Santa Rosa, CA)，然後以泵將設定環境抽到真空。該模從室溫以每分鐘攝氏 25 度（度 C/分鐘）加熱到攝氏 600 度，於該溫度保持 15 分鐘(min)。在溫度保持 15 分鐘後，在攝氏 600 度施加 640 公斤(kg)的力量（對於這個大小的模是每平方英吋 800 磅的壓力）達 1 小時(hr)。接著釋放壓力、將腔充氮、而允許該模爐冷回降到室溫。該所得之燒結圓盤之尺寸以及其質量，係經測量以計算出每立方公分 1.91 克(g/cc)的一體密度(bulk

density)，係比完全緻密的純鋁小 29%。從該圓盤的中間切下寬約 0.5 英吋（1.27 公分）長 1.5 英吋（3.81 公分）的一條，而此條經受上述的三點彎曲測試。該樣本具有 31 百萬帕斯卡(MPa)的最大抗拉強度，使其具有 16 的強度對密度比。結果係顯示在下表 5 中。

比較實例 2

【0117】 10 g 的 Al 1-511 粉末及 1 g 的玻璃泡經由上述該人工分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 1 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之燒結圓盤具有 1.58 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中及圖 2 中。

比較實例 3

【0118】 10 g 的 Al 1-511 粉末及 1 g 的陶瓷纖維經由上述該人工分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 1 及 2 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.11 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中及圖 2 中。

比較實例 4

【0119】 9 g 的 Al 1-511 粉末、0.3 g 的玻璃泡、及 1.7 g 的陶瓷纖維經粗略攪拌，且該混合物倒入如比較實例 1 至比較實例 3 中的相

同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.72 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中及圖 2 中。

實例 5

【0120】 9 g 的 Al 1-511 粉末、0.3 g 的玻璃泡、及 1.7 g 的陶瓷纖維經由上述該人工分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 1 至比較實例 4 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.83 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中。

實例 6

【0121】 10 g 的 Al 粉末、0.5 g 的玻璃泡、及 0.5 g 的纖維經由上述該人工分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 1 至比較實例 4 及實例 5 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.71 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中。

實例 7

【0122】 8 g 的 Al 1-511 粉末、0.45 g 的玻璃泡、及 2.55 g 的陶瓷纖維經由上述該人工分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 1 至比較實例 4 及實例 5 至實例 6 中的相同石墨模。該設定環境接著經受

上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.78 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中。

實例 8

【0123】 7 g 的 Al 1-511 粉末、0.6 g 的玻璃泡、及 3.4 g 的陶瓷纖維經由上述該人工分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 1 至比較實例 4 及實例 5 至實例 7 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 1 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.63 g/cc 的一密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 5 中。

表 5.

複合物	Al (重量%)	泡 (重量 %)	陶瓷纖維 (重量%)	極限強度 (MPa)	包封密度 (g/cc)
CE-1	100	0	0	31	1.91
CE-2	91	9	0	18	1.58
CE-3	91	0	9	57	2.11
CE-4	82	3	15	18	1.72
EX-5	82	3	15	54	1.83
EX-6	91	4.5	4.5	28	1.71
EX-7	73	4	23	43	1.78
EX-8	64	5	31	32	1.63

比較實例 9

【0124】 10.8 克(g)的 Al 6063 粉末倒進具有內徑 1.575 英吋 (4.00 公分) 的一圓形石墨模中。該 Al 6063 粉末係如下燒結：該模裝進一 Toshiba Machine GMP-411VA 玻璃模壓機(Toshiba Machine Co., Numazu-shi, Japan)，且該裝置充氮 60 秒、接著以泵抽到真空。該模從攝氏 40 度以每分鐘攝氏 28 度 (度 C/分鐘) 加熱到攝氏 600

度。一旦該模達到 600 度 C，保持在彼溫度同時該模上的該力量逐漸從零施力增加到 21,000 牛頓（對於這個大小的模是 2400 psi（或 16.55 MPa）的壓力）。在 20 分鐘的過程中所發生的力量漸增大約為線性。一旦達到 21,000 N 的全部力量，該模在 600 度 C 保持在此狀態達 1 小時。接著釋放壓力、且允許該模爐冷降到室溫。所產生之燒結圓盤之尺寸以及其質量，係經測量以計算出每立方公分 2.51 克(g/cc)的一包封密度，係比完全緻密的鋁 6063 小 7%。從該圓盤的中間切下寬約 0.5 英吋（1.27 公分）長 1.5 英吋（3.81 公分）的一條，而此條經受上述的三點彎曲測試。該樣本具有 203 百萬帕斯卡(MPa)的一極限抗拉強度。結果顯示於以下表 6 中及圖 3 中。

比較實例 10

【0125】 8.64 g 的 Al 6063 粉末及 0.48 g 的氧化鋁粉末經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 9 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 9 的相同燒結程序。該所得之燒結圓盤具有 2.34 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 6 中及圖 3 中。

比較實例 11

【0126】 9.72 g 的 Al 6063 粉末及 1.56 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 9 至比較實例 10 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 9 的相同燒結程序。該

所得之圓盤具有 2.65 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 6 中及圖 3 中。

實例 12

【0127】 7.56 g 的 Al 6063 粉末、0.48 g 的氧化鋁粉末、及 1.56 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 9 至比較實例 11 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 9 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.45 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 6 中及圖 3 中。

實例 13

【0128】 5.4 g 的 Al 6063 粉末、0.96 g 的氧化鋁粉末、及 1.56 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 9 至比較實例 11 及實例 12 中的相同石墨模。該設定環境接著經受上述比較實例 9 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.11 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 6 中及圖 3 中。

實例 14

【0129】 5.4 g 的 Al 6063 粉末、0.96 g 的氧化鋁粉末、及 1.56 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 9 至比較實例 11 及實例 12 至實例 13 中的相同石墨模。該模裝進一 Toshiba Machine GMP-411VA 玻璃模壓機(Toshiba Machine Co.,

Numazu-shi, Japan)，且該裝置充氮 60 秒、接著以泵抽到真空。該模從攝氏 40 度以 30 度 C/min 加熱到攝氏 630 度。一旦該模達到攝氏 630 度，保持在彼溫度同時該模上的該力量逐漸從零施力增加到 34,664 牛頓（對於這個大小的模是 4000 psi（或 27.58 MPa）的壓力）。在 20 分鐘的過程中所發生的力量漸增大約為線性。一旦達到 34,664 N 的全部力量，該模在 630 度 C 保持在此狀態達 1 小時。接著釋放壓力、且允許該模爐冷降到室溫。該所得之圓盤具有 2.19 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 6 中及圖 3 中。

表 6：實例的組成物及機械性質

複合物	Al（重量%）	氧化鋁（重量%）	陶瓷纖維（重量%）	極限強度（MPa）	包封密度(g/cc)	破壞應變(%)
CE-9	100	0	0	203	2.51	>4%（可測量最大值）
CE-10	95	5	0	132	2.34	1.3
CE-11	86	0	14	279	2.65	>4%（可測量最大值）
EX-12	79	5	16	182	2.45	1.2
EX-13	68	12	20	106	2.11	0.8
EX-14	68	12	20	186	2.19	0.9

比較實例 15

【0130】 10.8 克(g)的 Al 6063 粉末倒進具有內徑 1.575 英吋（4.00 公分）的一圓形石墨模裡。該 Al 6063 粉末係如下燒結：該模裝進一 Toshiba Machine GMP-411VA 玻璃模壓機(Toshiba Machine Co., Numazu-shi, Japan)，且該裝置充氮 60 秒、接著以泵抽到真空。該模從攝氏 40 度以每分鐘攝氏 28 度（度 C/分鐘）加熱到攝氏 615

度。一旦該模達到 615 度 C，保持在彼溫度同時該模上的該力量逐漸從零力量增加到 21,000 牛頓（對於這個大小的模是 1600 psi 的壓力）。在 20 分鐘的過程中所發生的力量漸增大約為線性。一旦達到 21,000 N 的全部力量，該模在 600 度 C 保持在此狀態達 1 小時。接著釋放壓力、且允許該模爐冷降到室溫。所產生之燒結圓盤之尺寸以及其質量，係經測量以計算出每立方公分 2.51 克(g/cc)的一包封密度，係比完全緻密的鋁 6063 小 7%。從該圓盤的中間切下寬約 0.5 英吋（1.27 公分）長 1.575 英吋（4.00 公分）的一條，而此條經受上述的三點彎曲測試。該樣本具有 203 百萬帕斯卡(MPa)的一極限抗拉強度。結果顯示於以下表 7 中及圖 4。

實例 16

【0131】 5.4 g 的 Al 1-511 粉末、0.96 g 的玻璃泡、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如比較實例 15 中的相同石墨模。該模裝進一 Toshiba Machine GMP-411VA 玻璃模壓機(Toshiba Machine Co., Numazu-shi, Japan)，且該裝置充氮 60 秒、接著以泵抽到真空。該模從攝氏 40 度以每分鐘攝氏 30 度（度 C/分鐘）加熱到攝氏 615 度。一旦該模達到 615 度 C，保持在彼溫度同時該模上的該力量逐漸從零力量增加到 13,954 牛頓（對於這個大小的模是 1600 psi 的壓力）。在 20 分鐘的過程中所發生的力量漸增大約為線性。一旦達到 13,954 N 的全部力量，該模在 615 度 C 保持在此狀態達 1 小時。接著釋放壓力、且允許該模爐冷降到室溫。該所得之圓盤具

有 1.93 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 7 中及圖 4。

實例 17

【0132】 5.4 g 的 Al 1-511 粉末、0.96 g 的玻璃泡、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.91 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 7 中及圖 4。

實例 18

【0133】 5.4 g 的 Al 1-511 粉末、0.96 g 的 Lightstar 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.93 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 7 中及圖 4。

實例 19

【0134】 5.4 g 的 Al 1-511 粉末、0.96 g 的 High Alumina 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒

結程序。該所得之圓盤具有 1.95 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 7 中及圖 4。

實例 20

【0135】 5.4 g 的 Al 1100 粉末、0.96 g 的 Econostar 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.93 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 7 中及圖 4。

表 7：實例的組成物及機械性質

複合物	Al (重量 %)	泡 (重量%)	陶瓷纖維 (重量 %)	極限強 度(MPa)	包封密 度(g/cc)	破壞應變 (%)
CE-15	100	0	0	203	2.51	>4% (可測 量最大值)
EX-16	76	13	11	153	1.93	1.1%
EX-17	76	13	11	150	1.91	1.3%
EX-18	76	13	11	149	1.93	1.6%
EX-19	76	13	11	157	1.95	1.8%
EX-20	76	13	11	149	1.93	1.6%

實例 21

【0136】 5.4 g 的 Al 1-511 粉末、0.96 g 的部分燒結碳化矽黏聚粒子、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.28 g/cc 的一包封密度、190 MPa 的一

極限抗拉強度、及 3.4%的一破壞應變(strain-to-failure)。三點彎曲測試的結果顯示於圖 5 中。

實例 22

【0137】 5.94 g 的 Al1-131 粉末、0.96 g 的 Lightstar 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 1.98 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於以下表 8 中及圖 6 中。

實例 23

【0138】 7.56 g 的 Al 1-131 粉末、0.6 g 的 Lightstar 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.21 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於表 8 中及圖 6 中。

實例 24

【0139】 7.02 g 的 Al 1-131 粉末、0.72 g 的 Lightstar 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒

結程序。該所得之圓盤具有 2.12 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於表 8 中及圖 6 中。

實例 25

【0140】 7.02 g 的 Al 粉末、0.72 g 的 Lightstar 106 微珠、及 0.78 g 的陶瓷纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.00 g/cc 的一包封密度。三點彎曲測試的結果顯示於表 8 中及圖 6 中。

表 8：實例的組成物及機械性質

複合物	Al (重量 %)	泡 (重量 %)	陶瓷纖維 (重量 %)	極限強度 (MPa)	包封密度(g/cc)	破壞應變 (%)
EX-22	77	13	10	189	1.98	1.7%
EX-23	84	7	9	185	2.21	2.8%
EX-24	82.5	8.5	9	179	2.12	2.3%
EX-25	82.5	8.5	9	160	2.00	2.4%

實例 26

【0141】 5.94g 的 Al 1-131 粉末、0.84 g 的 Lightstar 106 微珠、及 1.016 g 的玻璃纖維經由上述該聲學分散法混合，且該混合物倒入如實例 16 中的相同石墨模。該裝置接著經受上述實例 16 的相同燒結程序。該所得之圓盤具有 2.00 g/cc 的一包封密度、159 MPa 的一極限抗拉強度、及 1.8% 的一破壞應變。三點彎曲測試的結果顯示於圖 7 中。

【0142】 雖然本說明書已詳細描述某些例示性實施例，但將瞭解所屬技術領域中具有通常知識者在理解前文敘述後，可輕易設想出這些實施例的替代、變化、及等同物。更進一步地說，在本文中所提及的全部公開案與專利皆全文以引用方式併入本文中，其引用程度就如同將各個各別公開案或專利明確並且各別地指示以引用方式併入本文中。已描述各種例示性實施例。這些及其他實施例係在以下申請專利範圍的範疇之內。

【符號說明】

【0143】 10...金屬

【0144】 12...無機粒子

【0145】 14...不連續纖維

【0146】 100...多孔金屬基質複合物

申請專利範圍

1. 一種製作多孔金屬基質複合物之方法，其包含：
 - a. 混合一金屬粉末、複數個無機粒子、及複數個不連續纖維，從而形成一混合物；以及
 - b. 燒結該混合物，從而形成該多孔金屬基質複合物。
2. 如請求項1之方法，其中該混合物係在一模中燒結。
3. 如請求項1或2之方法，其中該燒結係在攝氏250度與攝氏1,000度之間且含攝氏250度與攝氏1,000度的溫度進行。
4. 如請求項1至3中任一項之方法，其中該燒結包含施加壓力。
5. 如請求項4之方法，其中該燒結係在4百萬帕斯卡(megapascal)與200百萬帕斯卡之間且含4百萬帕斯卡與200百萬帕斯卡的壓力進行。
6. 如請求項1至5中任一項之方法，其中該混合係使用一聲學混合器、一機械混合器、或一滾筒進行。
7. 如請求項1至6中任一項之方法，其中該混合物包含分散在該金屬粉末中的該等無機粒子及該等不連續纖維。
8. 如請求項1至7中任一項之方法，其中該複數個無機粒子包含多孔粒子，該等多孔粒子包含多孔金屬氧化物粒子、多孔金屬氫氧化物粒子、多孔金屬碳酸鹽、多孔碳粒子、多孔矽石粒子、多孔脫水鋁矽酸鹽粒子、多孔脫水金屬水合物粒子、沸石粒子、多孔玻璃粒子、膨脹珍珠岩粒子、膨脹蛭石粒子、多孔矽酸鈉粒子、工程多孔陶瓷粒子、非多孔一次粒子之黏聚物、或其組合。
9. 如請求項1至7中任一項之方法，其中該複數個無機粒子包含陶瓷泡或玻璃泡。
10. 如請求項1至9中任一項之方法，其中該複數個不連續纖維包含玻璃、氧化鋁、鋁矽酸鹽、碳、玄武岩、或其一組合。

11. 如請求項1至10中任一項之方法，其中該金屬包含鋁、鎂、一鋁合金、或一鎂合金。
12. 如請求項1至11中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有比該金屬之密度小至少8%之包封密度而且在破裂前可耐受1%之應變。
13. 如請求項12之方法，其中該金屬基質複合物在破裂前可耐受2%之應變。
14. 如請求項1至13中任一項之方法，其中該金屬基質複合物具有50百萬帕斯卡或更大的降伏強度。

圖式

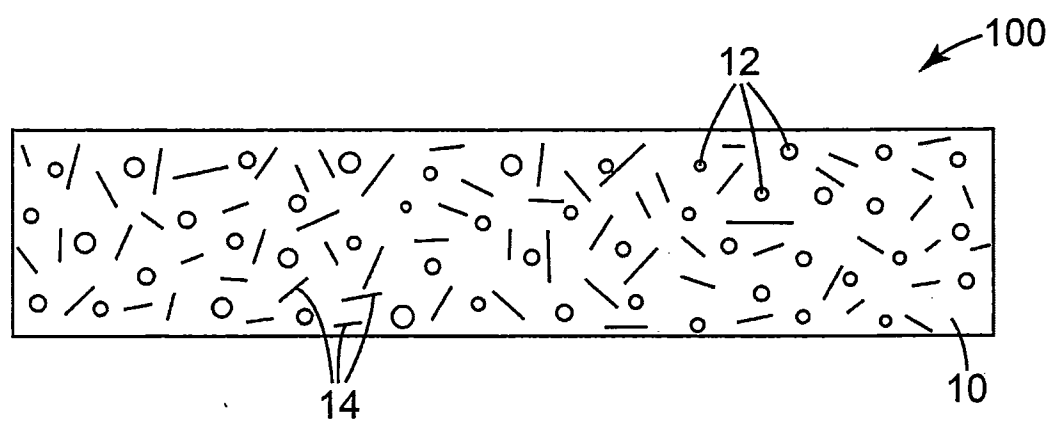


圖1

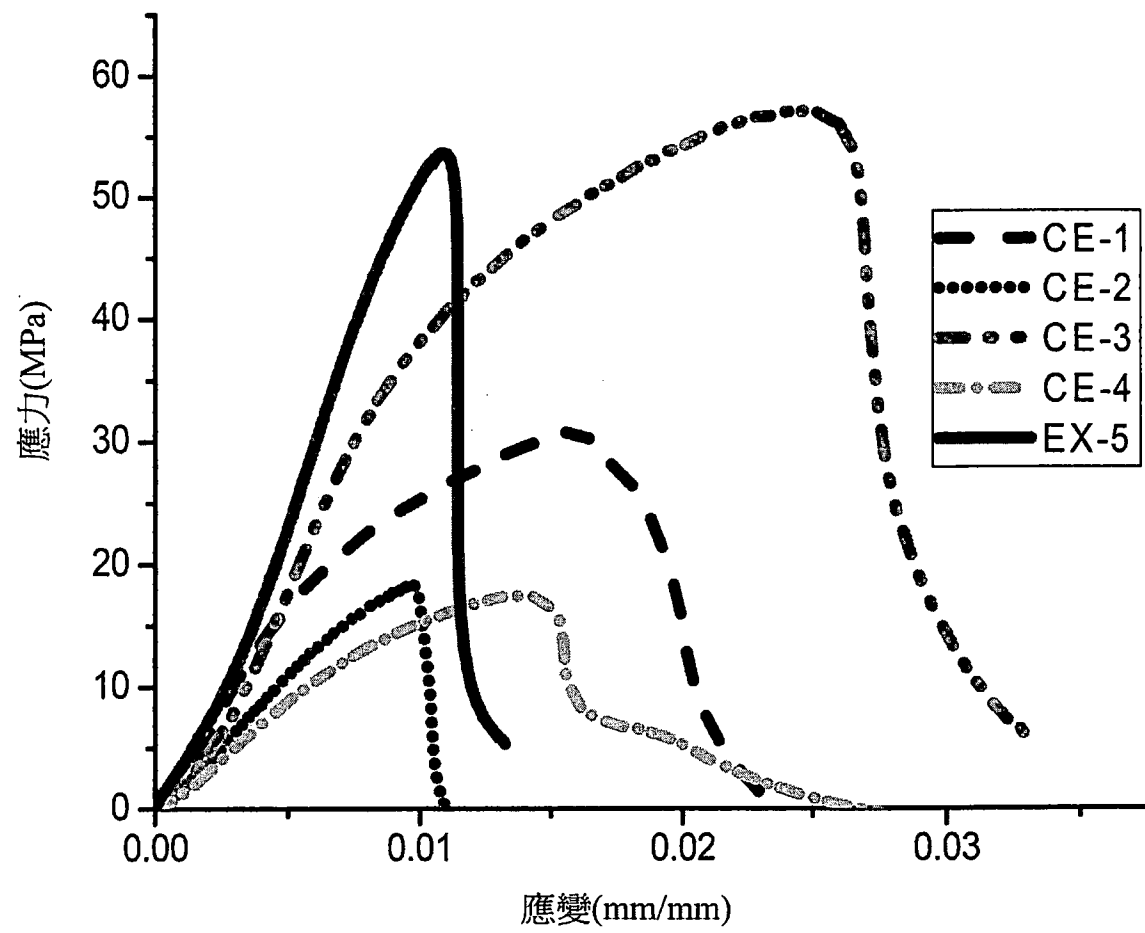


圖2

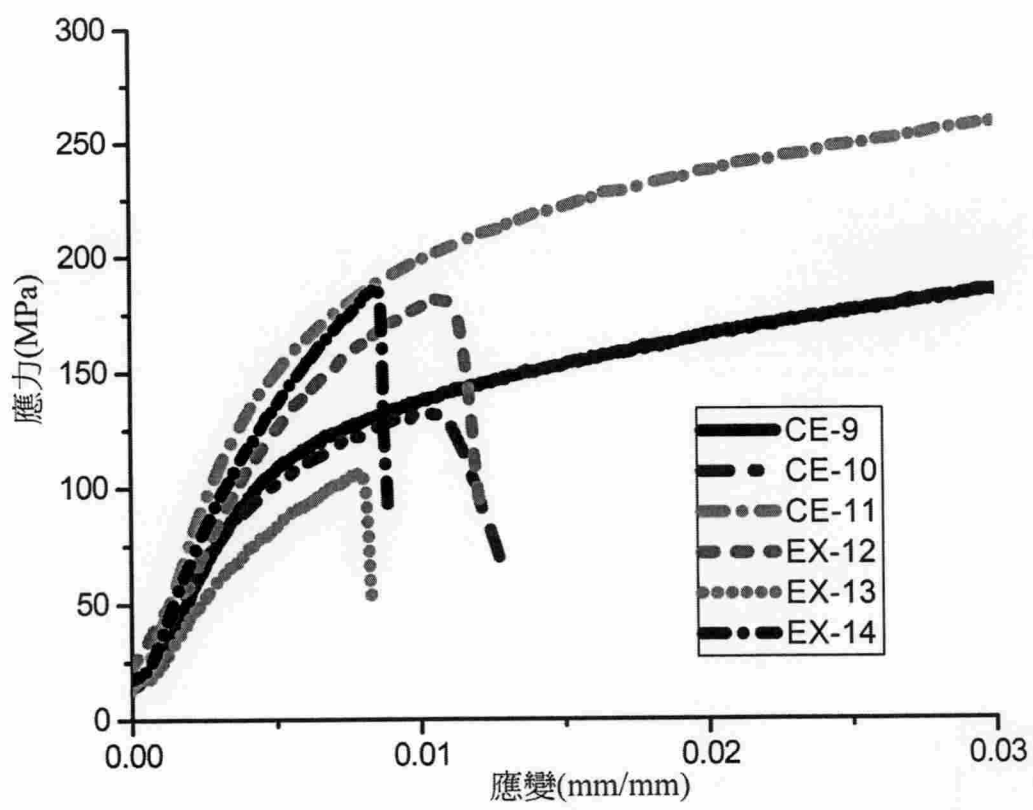


圖3

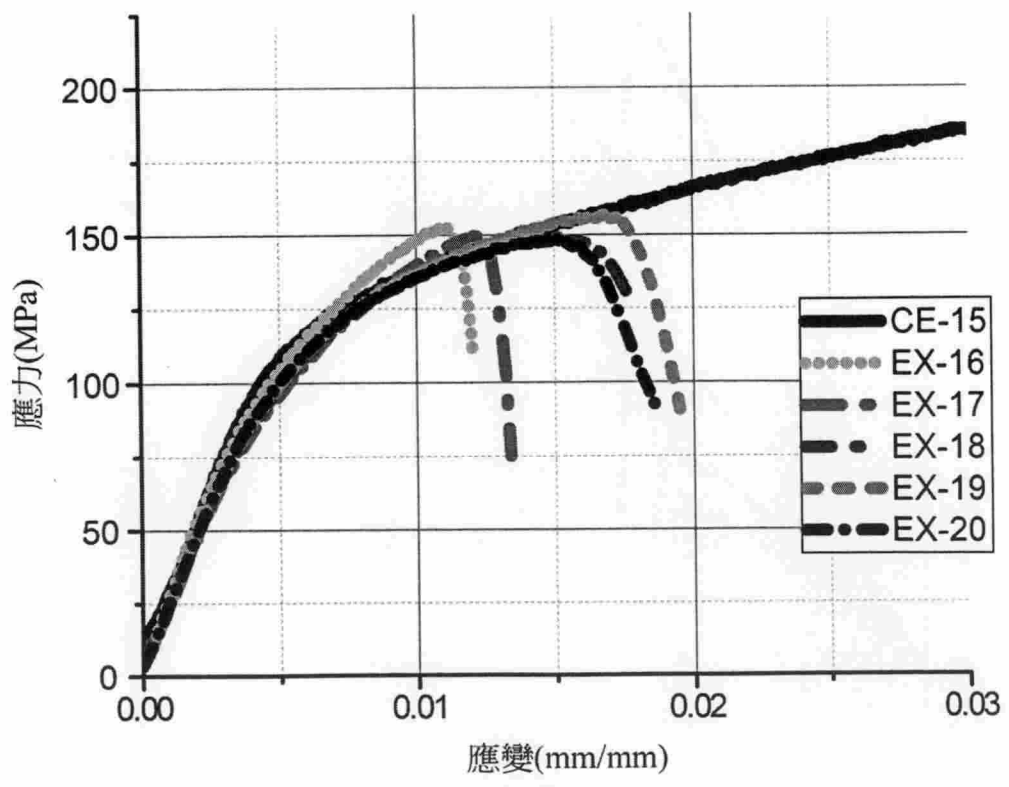


圖4

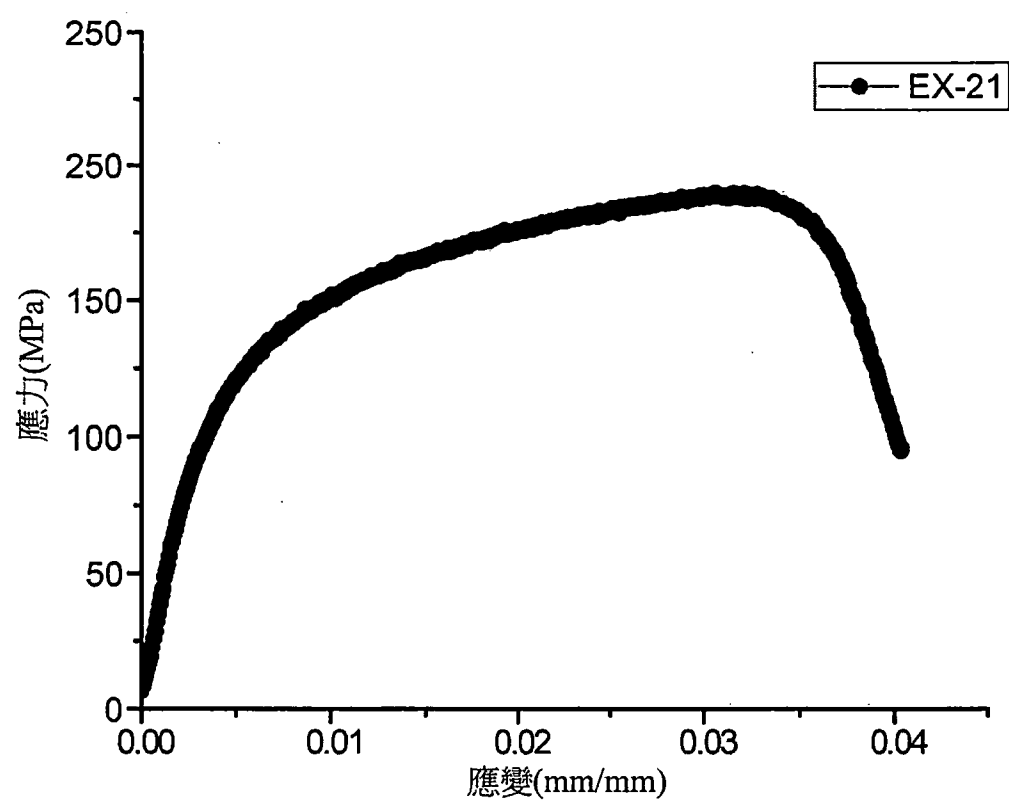


圖5

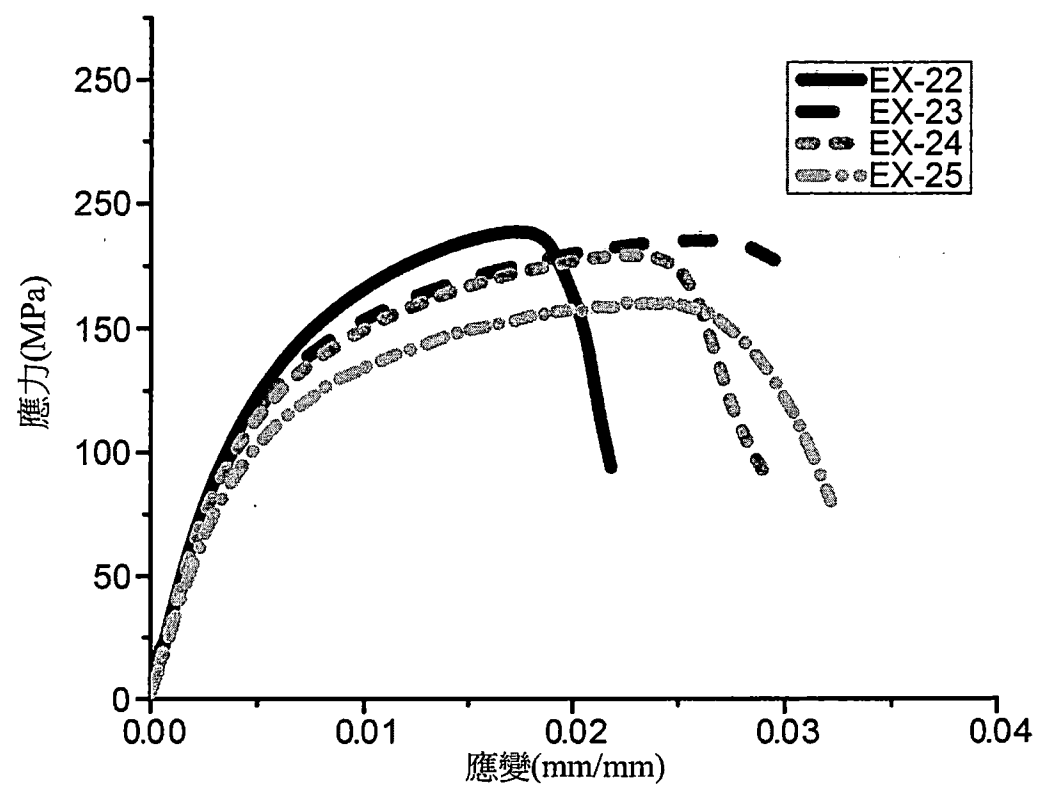


圖6

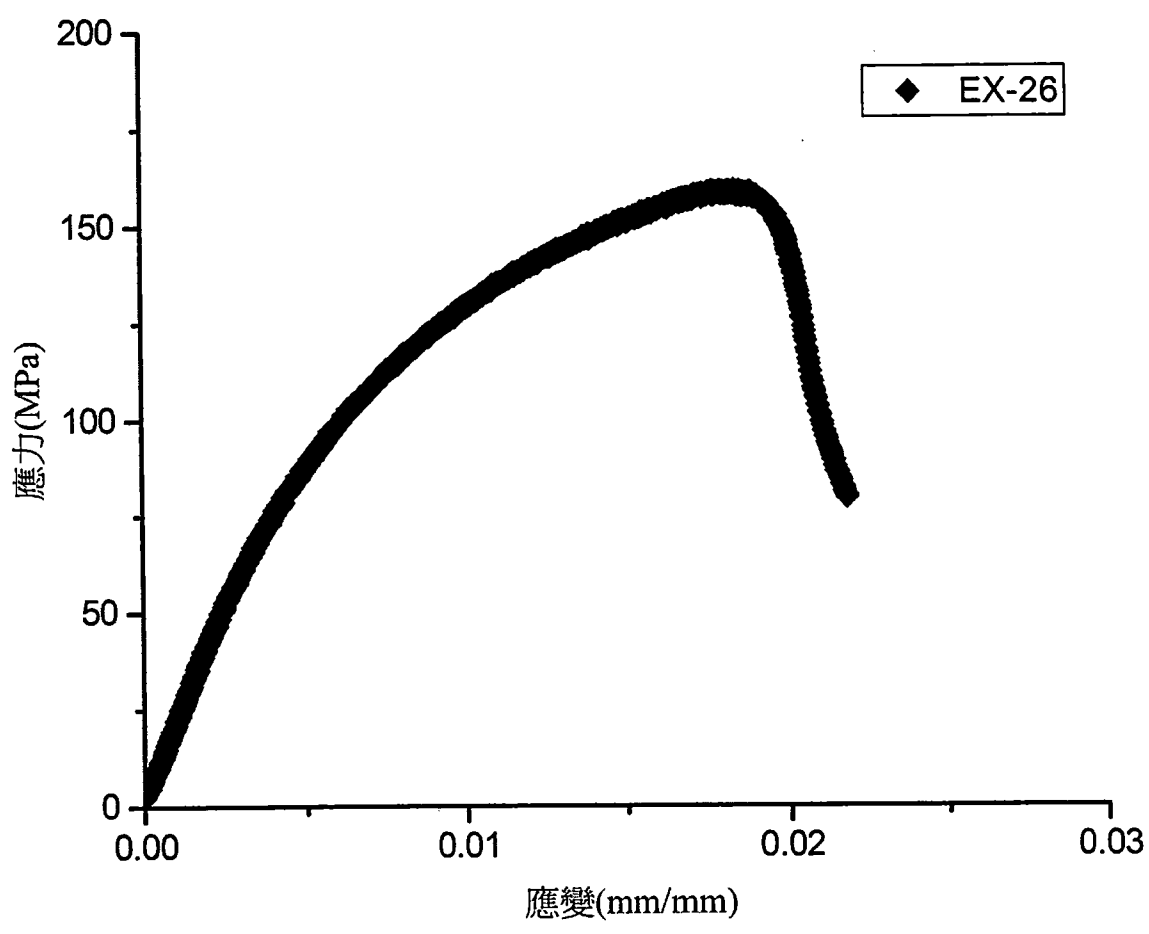


圖7