



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107107528 A

(43)申请公布日 2017.08.29

(21)申请号 201580068226.8

克里斯多福·S·罗普耳

(22)申请日 2015.12.15

艾利克·C·克拉夫

(30)优先权数据

62/092,750 2014.12.16 US

62/261,492 2015.12.01 US

(74)专利代理机构 北京泰吉知识产权代理有限公司 11355

代理人 张雅军 史瞳

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.06.14

(51)Int.Cl.

B32B 3/00(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/065918 2015.12.15

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/100410 EN 2016.06.23

(71)申请人 HRL实验室有限责任公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 托拜厄斯·A·谢德勒

雅各·M·亨德利 约翰·H·马汀

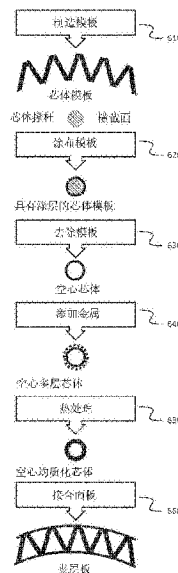
权利要求书4页 说明书13页 附图15页

(54)发明名称

具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板和制造方法

(57)摘要

本发明提供一种具有复杂形状和曲率的轻型夹层板结构,和一种由高温合金制造此类板的方法。提供在允许弯曲的同时提供高比强度和硬度的微桁架芯体结构的实施例,和用于沉积多层可以相互扩散成复合合金的金属的方法。可以由聚合物模板制造板芯体,所述聚合物模板可以经过成形(例如弯曲)并且涂布有金属层,所述金属层可以随后经过热处理以使得金属的层相互扩散以形成合金。



1. 一种制品,其包含:
芯体;和
紧固到所述芯体上的两个面板;
所述芯体包含:
沿第一方向延伸的多个空心第一桁架构件;和
沿第二方向延伸的多个空心第二桁架构件;
所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件在多个空心节点处相互贯穿(interpenetrate),
所述空心节点中的每一个都紧邻并紧固到所述两个面板中的一个上,
所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件中的每一个都具有:
在0.1mm与5mm之间的外径,
在3mm与50mm之间的长度,和
在1微米与1000微米之间的壁厚,
其中空心节点被截断,以使得所述空心节点的鞍点与其所紧邻的面板间隔开的距离小于从所述空心节点延伸的空心桁架构件外径的二分之一。
2. 根据权利要求1所述的制品,其中2个面板用粘合剂附接到所述芯体上,所述粘合剂被配置成用于将负荷从包括空心节点鞍点的所述空心节点的一部分直接转移到所述空心节点所紧邻的所述面板。
3. 根据权利要求1所述的制品,其进一步包含空心第四桁架构件,所述空心第四桁架构件垂直于所述两个面板并且在所述多个空心节点中的一个处与所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件中的一个相互贯穿。
4. 根据权利要求1所述的制品,其中所述芯体包含两个交错的四面体结构。
5. 根据权利要求1所述的制品,其中所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件中的一个桁架构件包含:
包含选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分第一涂层;
包含铬或NiCr的第二涂层,所述第二涂层中Cr的厚度为所述第一涂层的厚度的10%-40%,
铝或NiAl的第三涂层,所述第三涂层中Al的厚度为所述第一涂层的厚度的10%-40%。
6. 根据权利要求5所述的制品,其中所述桁架构件进一步包含厚度在所述第一涂层的厚度的1%与15%之间的第四涂层,所述第四涂层包含选自由以下组成的群组的物质作为主要组分:Mo、W、Ta、Ti和Re以及其组合。
7. 根据权利要求6所述的制品,其中所述桁架构件进一步包含厚度小于所述第一涂层的厚度的2%的第五涂层,所述第五涂层包含选自由以下组成的群组的物质作为主要组分:Si、C、B、Zr、Hf和Y以及其组合。
8. 根据权利要求1所述的制品,其中所述一个或多个面板中的一个面板的曲率半径在5cm与10m之间。
9. 根据权利要求1所述的制品,其中所述一个或多个面板中的一个面板的曲率半径大于10m。
10. 根据权利要求1所述的制品,其中所述一个或多个面板中的一个面板具有处于所述

面板上第一点处的第一曲率半径和处于所述面板上第二点处的第二曲率半径,并且所述第二曲率半径与所述第一曲率半径相差至少30%。

11. 根据权利要求1所述的制品,其中所述一个或多个面板中的第一面板具有处于第一点处的法线,并且所述一个或多个面板中的第二面板具有处于与所述第一点相对的第二点处的法线,其中所述第一法线与所述第二法线之间的角度小于175度。

12. 根据权利要求1所述的制品,其中选自由扣接件、衬套、插入件和其组合组成的群组的特征嵌入于所述芯体和所述一个或多个面板中的一个面板中。

13. 根据权利要求1所述的制品,其中所述制品内第一区中所述芯体的密度比所述制品内第二区中所述芯体的密度大10%。

14. 根据权利要求1所述的制品,其中所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件中的一个桁架构件具有选自由椭圆形、矩形和不规则形状组成的群组的横截面形状。

15. 根据权利要求1所述的制品,其进一步包含:

紧固到所述一个或多个面板中第一面板上的三个支座,所述三个支座中的每一个的长度都在1cm与10cm之间,和

与所述第一面板相邻的隔热材料。

16. 根据权利要求15所述的制品,其在所述芯体内进一步包含辐射屏障。

17. 根据权利要求15所述的制品,其在所述芯体内进一步包含隔热材料。

18. 根据权利要求1所述的制品,其中:

所述一个或多个面板包含第一弯曲面板和第二弯曲面板;

所述制品具有翼型形状、飞行控制表面或前边缘;

所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件中的每一个的壁厚都在30微米与500微米之间;

所述壁厚在外径的0.01与0.1倍之间;

19. 根据权利要求18所述的制品,其中所述空心节点中的每一个都紧邻并紧固到所述一个或多个面板中的一个面板上。

20. 根据权利要求18所述的制品,其在所述芯体中进一步包含内部板片,其中所述空心节点中的每一个都紧邻并紧固到:

所述一个或多个面板中的一个面板,或

所述内部板片。

21. 根据权利要求1所述的制品,其中所述芯体进一步包含沿第三方向延伸的多个空心第三桁架构件,

所述多个第一桁架构件、所述多个第二桁架构件和所述多个第三桁架构件的桁架构件在所述多个空心节点处相互贯穿。

22. 根据权利要求1所述的制品,其中所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件包含选自由以下组成的群组的元素作为主要组分: Ni、Co、Fe、Cu、Cr、Zn、Sn和其组合。

23. 一种用于形成包含比0.5mm更薄的壁的的结构的方法,所述方法包含:

形成聚合物模板;

用包含金属的第一涂层涂布所述模板；

通过用第二涂层电镀来涂布所述模板，所述第二涂层包含一种或多种选自由以下组成的群组的化学元素：Ni、Co、Fe、Cu、Cr、Zn、Sn、Pb、Cd、Ag、Au、Pd、Pt、Rh、Mn和Ir，所述第二涂层的组成与所述第一涂层的组成不同；

去除所述聚合物模板以形成第一空心薄壁结构；

用包含一种或多种化学元素的第三涂层涂布所述第一空心薄壁结构以形成第二空心薄壁结构；以及

执行所述第二空心薄壁结构的热处理以形成第三空心薄壁结构，所述执行所述热处理包含将所述空心结构加热到第一温度并在第一时间间隔期间维持所述空心结构温度处于或高于所述第一温度，选择所述第一温度和所述第一时间间隔以使得所述热处理引起所述第一涂层的元素、所述第二涂层的元素和所述第三涂层的元素相互扩散以形成包含一种或多种化学元素的单个连续层，所述连续层中每一化学元素的浓度在所述连续层内变化小于10%。

24. 根据权利要求23所述的方法，其中所述形成所述模板包含：

形成多个第一桁架构件，所述第一桁架构件由多个第一自传播聚合物波导界定并且沿着第一方向延伸；

形成多个第二桁架构件，所述第二桁架构件由多个第二自传播聚合物波导界定并且沿着第二方向延伸；以及

形成多个第三桁架构件，所述第三桁架构件由多个第三自传播聚合物波导界定并且沿着第三方向延伸。

25. 根据权利要求23所述的方法，其中所述形成所述模板包含利用选自由以下组成的群组的动作：立体光刻、三维(3D)印刷、增材制造和注射模制。

26. 根据权利要求23所述的方法，其中用所述第一涂层涂布所述模板的动作包含利用选自由以下组成的群组的动作：电镀、无电镀敷、化学气相沉积、物理气相沉积、喷雾涂布和其组合。

27. 根据权利要求23所述的方法，其中用所述第三涂层涂布所述第一空心薄壁结构的动作包含利用选自由以下组成的群组的动作：铝扩散涂布、铬扩散涂布、钛扩散涂布和包渗(pack cementation)。

28. 根据权利要求23所述的方法，其中所述去除所述模板包含利用选自由以下组成的群组的动作：碱蚀刻、酸蚀刻、等离子蚀刻、溶剂浴加工、热分解和熔融。

29. 根据权利要求23所述的方法，其中所述第一温度是至少1100°C，并且所述第一时间间隔是至少24小时。

30. 根据权利要求23所述的方法，其进一步包含利用选自由以下组成的群组的动作将两个面板接合到所述第三空心薄壁结构的顶部表面和底部表面上：钎焊、瞬时液体粘结、焊接和粘合剂粘结。

31. 根据权利要求23所述的方法，其中所述用第一涂层涂布所述模板包含：

用第一子层使得所述模板导电；和

将5到300微米厚的第二子层沉积在所述模板上，所述第二子层包含选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分，

并且其中所述方法进一步包含,在所述去除所述模板之后:

利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的动作来沉积一层或多层铬,达到组合厚度为所述第一层的厚度的10%到40%;

利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的动作来沉积一层或多层铝,达到组合厚度为所述第一层的厚度的10%到40%;

沉积包含选自由Mo、W、Ta、Ti和Re以及其组合组成的群组的物质作为主要组分的层,达到厚度为所述第一层的厚度的1%到15%;以及

沉积包含选自由Si、C、B、Zr、Hf、Y和其组合组成的群组的物质作为主要组分的层,达到厚度小于所述第一层的厚度的2%。

32. 根据权利要求23所述的方法,其中:

所述第一涂层是金属的并使得所述模板导电,并且所述第二涂层包含以下的组合作为主要组分;

钴;和

浓度为10到70重量%(wt.%)的铼;

所述用所述第二涂层涂布所述模板包含利用电镀;

所述第三涂层包含选自由铬、镍、铝、钽、硅和其组合组成的群组的物质作为主要组分;并且

所述用所述第三涂层涂布所述模板包含利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的动作。

33. 根据权利要求23所述的方法,其中所述用第一涂层涂布所述模板包含:

用第一子层使得所述模板导电;和

将5到300微米厚的第二子层沉积在所述模板上,所述第二子层包含选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分;并且

所述用所述第三涂层涂布包含利用选自由阴极电弧沉积、直流电(DC)偏置场阴极电弧物理气相沉积和等离子增强型磁控溅镀组成的群组的动作来沉积金属合金。

34. 根据权利要求33所述的方法,其进一步包含用选择性蚀刻去除所述第一和第二涂层。

具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板和制造方法

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请要求2014年12月16日提交的名称为“具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板和制造方法(CURVED HIGH TEMPERATURE ALLOY SANDWICH PANEL WITHA TRUSS CORE AND FABRICATION METHOD)”的美国临时申请第62/092,750号的优先权和权益,其全部内容以引入的方式并入本文中,并且本申请还要求2015年12月1日提交的名称为“空心四面体桁架芯体的机械性能(MECHANICAL PERFORMANCE OF HOLLOW TETRAHEDRAL TRUSSCORES)”的美国临时申请第62/261,492号的优先权和权益,其全部内容也以引入的方式并入本文中。

[0003] 本申请还与美国专利第7,382,959号(“’959专利”)相关,并且以全文引用的方式并有所述专利,如同充分阐述一般。

[0004] 关于由联邦政府赞助的研究或开发的声明

[0005] 本发明在美国政府支持下,按照由DARPADSO授予的合同号W91CRB-10-C-0305进行。美国政府拥有本发明的某些权利。

技术领域

[0006] 本发明实施例的一个或多个方面涉及复合结构,并且更确切地说涉及轻型耐热性夹层结构。

背景技术

[0007] 能够承受高温的轻型夹层结构结构和芯体材料具有多种应用,包括高速飞机的大面积热保护系统(Acreage Thermal Protection System)、飞机推进应用、能量吸收影响保护板和挡热板。用于此类应用的现有技术夹层芯体材料可能难以制造成弯曲形状和具有足够低密度。因此,需要可以容易地制造成弯曲形状并且能够承受高温的低密度结构。

发明内容

[0008] 本发明的实施例包括一种具有复杂形状和曲率的轻型夹层板结构,和一种由可能难以使用现有技术方法加工成夹层板的高温合金制造此类板的方法。提供在允许弯曲的同时提供高比强度和硬度的微桁架芯体结构的实施例,和用于沉积多层可以相互扩散成复合合金的金属的方法。实施例的另一个方面是,通过由聚合物模板制造板的芯体,可以克服对形状和曲率的限制,并且通过涂布聚合物模板,可以实现新芯体材料和低密度。芯体架构可以针对涂布工艺进行设计以例如克服视线限制并使由空心节点引入的弱点减到最少或减少。

[0009] 根据本发明的一个实施例,提供一种制品,其包括:芯体;和紧固到所述芯体上的两个面板;所述芯体包括:沿第一方向延伸的多个空心第一桁架构件;和沿第二方向延伸的多个空心第二桁架构件;所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件在多个空心节点处相互贯穿(interpenetrate),所述空心节点中的每一个都紧邻并紧固到所述两个面板中的一个上,所述多个第一桁架构件和所述多个第二桁架构件的桁架构件中的每

一个都满足:外径在0.1mm与5mm之间,长度在3mm与50mm之间,并且壁厚在1微米与1000微米之间,其中空心节点被截断,以使得所述空心节点的鞍点与其所紧邻的面板间隔开的距离小于从所述空心节点延伸的空心桁架构件外径的二分之一。

[0010] 在一个实施例中,制品包括空心节点的鞍点,其连接到所述空心节点紧邻的面板。

[0011] 在一个实施例中,制品包括空心第四桁架构件,所述空心第四桁架构件垂直于两个面板并且在多个空心节点中的一个处与多个第一桁架构件和多个第二桁架构件的桁架构件中的一个相互贯穿。

[0012] 在一个实施例中,芯体包括两个交错的四面体结构。

[0013] 在一个实施例中,制品包括选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分;包括铬或NiCr的第二涂层,所述第二涂层中Cr的厚度为第一涂层厚度的10%-40%,铝或NiAl的第三涂层,所述第三涂层中Al的厚度为第一涂层厚度的10%-40%。

[0014] 在一个实施例中,制品包括选自由以下组成的群组的物质作为主要组分:Mo、W、Ta、Ti和Re以及其组合。

[0015] 在一个实施例中,制品包括选自由以下组成的群组的物质作为主要组分:Si、C、B、Zr、Hf和Y以及其组合。

[0016] 在一个实施例中,一个或多个面板中的一个面板的曲率半径在5cm与10m之间。

[0017] 在一个实施例中,一个或多个面板中的一个面板的曲率半径大于10m。

[0018] 在一个实施例中,一个或多个面板中的一个面板具有处于所述面板上第一点处的第一曲率半径和处于所述面板上第二点处的第二曲率半径,并且所述第二曲率半径与所述第一曲率半径相差至少30%。

[0019] 在一个实施例中,一个或多个面板中的第一面板具有处于第一点处的法线,并且一个或多个面板中的第二面板具有处于与所述第一点相对的第二点处的法线,其中第一法线与第二法线之间的角度小于175度。

[0020] 在一个实施例中,将选自由扣接件、衬套、插入件和其组合组成的群组的特征嵌入于芯体和一个或多个面板中的一个面板中。

[0021] 在一个实施例中,制品内第一区中芯体的密度比制品内第二区中芯体的密度大10%。

[0022] 在一个实施例中,多个第一桁架构件和多个第二桁架构件的桁架构件中的一个桁架构件具有选自由椭圆形、矩形和不规则形状组成的群组的横截面形状。

[0023] 在一个实施例中,制品包括:紧固到一个或多个面板中第一面板上的三个支座,所述三个支座中的每一个的长度都在1cm与10cm之间;和与第一面板相邻的隔热材料。

[0024] 在一个实施例中,制品在芯体内包括辐射屏障。

[0025] 在一个实施例中,制品在芯体内包括隔热材料。

[0026] 在一个实施例中,一个或多个面板包括第一弯曲面板和第二弯曲面板;制品具有翼型形状、飞行控制表面或前边缘;多个第一桁架构件和多个第二桁架构件的桁架构件中的每一个的壁厚都在30微米与500微米之间;所述壁厚在外径的0.01与0.1倍之间;并且多个第一桁架构件和多个第二桁架构件的桁架构件在多个空心节点处相互贯穿。

[0027] 在一个实施例中,空心节点中的每一个都紧邻并紧固到一个或多个面板中的一个面板上。

[0028] 在一个实施例中,制品在芯体中包括内部板片,其中空心节点中的每一个都紧邻并紧固到:一个或多个面板中的一个面板,或内部板片上。

[0029] 根据本发明的一个实施例,提供一种用于形成包括比0.5mm更薄的壁的结构的方法,所述方法包括:形成聚合物模板;用包括金属的第一涂层涂布所述模板;通过用第二涂层电镀来涂布所述模板,所述第二涂层包括一种或多种选自由以下组成的群组的化学元素:Ni、Co、Fe、Cu、Cr、Zn、Sn、Pb、Cd、Ag、Au、Pd、Pt、Rh、Mn和Ir,所述第二涂层的组成与所述第一涂层的组成不同;去除所述聚合物模板以形成第一空心薄壁结构;用包括一种或多种化学元素的第三涂层涂布所述第一空心薄壁结构以形成第二空心薄壁结构,执行所述第二空心薄壁结构的热处理以形成第三空心薄壁结构,执行所述热处理包括将所述空心结构加热到第一温度并在第一时间间隔期间维持所述空心结构温度处于或高于所述第一温度,选择所述第一温度和所述第一时间间隔以使得所述热处理引起所述第一涂层的元素、所述第二涂层的元素和所述第三涂层的元素相互扩散以形成包括一种或多种化学元素的单个连续层,所述连续层中每一化学元素的浓度在所述连续层内变化小于10%。

[0030] 在一个实施例中,模板的形成包括:形成多个第一桁架构件,所述第一桁架构件由多个第一自传播聚合物波导界定并且沿着第一方向延伸;形成多个第二桁架构件,所述第二桁架构件由多个第二自传播聚合物波导界定并且沿着第二方向延伸;以及形成多个第三桁架构件,所述第三桁架构件由多个第三自传播聚合物波导界定并且沿着第三方向延伸。

[0031] 在一个实施例中,模板的形成包括利用选自由以下组成的群组的动作:立体光刻、三维(3D)印刷、增材制造和注射模制。

[0032] 在一个实施例中,用第一涂层涂布模板的动作包括利用选自由以下组成的群组的动作:电镀、无电镀敷、化学气相沉积、物理气相沉积、喷雾涂布和其组合。

[0033] 在一个实施例中,用第三涂层涂布第一空心薄壁结构的动作包括利用选自由以下组成的群组的动作:铝扩散涂布、铬扩散涂布、钛扩散涂布和包渗(pack cementation)。

[0034] 在一个实施例中,模板的去除包括利用选自由以下组成的群组的动作:碱蚀刻、酸蚀刻、等离子蚀刻、溶剂浴加工、热分解和熔融。

[0035] 在一个实施例中,第一温度是至少1100°C,并且第一时间间隔是至少24小时。

[0036] 在一个实施例中,所述方法包括利用选自由以下组成的群组的动作将两个面板接合到第三空心薄壁结构的顶部表面和底部表面上:钎焊、瞬时液体粘结、焊接和粘合剂粘结。

[0037] 在一个实施例中,所述方法包括用第一子层使得模板导电;和将5到300微米厚的第二子层沉积在所述模板上,所述第二子层包括选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分,并且其中所述方法进一步包括,在去除所述模板之后:利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的动作来沉积一层或多层铬,达到组合厚度为第一层厚度的10%到40%;利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的动作来沉积一层或多层铝,达到组合厚度为第一层厚度的10%到40%;沉积包括选自由Mo、W、Ta、Ti和Re以及其组合组成的群组的物质作为主要组分的层,达到厚度为第一层厚度的1%到15%;以及沉积包括选自由Si、C、B、Zr、Hf、Y和其组合组成的群组的物质作为主要组分的层,达到厚度小于第一层厚度的2%。

[0038] 在一个实施例中,第一涂层是金属的并使得模板导电,并且第二涂层包括浓度为

10到70重量% (wt. %) 的钴和镍的组合作为主要组分;用第二涂层涂布模板包括利用电镀;第三涂层包括选自由铬、镍、铝、钼、硅和其组合组成的群组的物质作为主要组分;并且用第三涂层涂布模板包括利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的动作。

[0039] 在一个实施例中,所述方法包括,用第一子层使得模板导电;并将5到300微米厚的第二子层沉积在所述模板上,所述第二子层包括选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分;并且用第三涂层涂布包括利用选自由阴极电弧沉积、直流电 (DC) 偏置场阴极电弧物理气相沉积和等离子增强型磁控溅镀组成的群组的动作来沉积金属合金。

[0040] 在一个实施例中,所述方法包括用选择性蚀刻来去除第一和第二涂层。

附图说明

[0041] 结合附图描述特征、方面和实施例,其中:

[0042] 图1是用于形成根据本发明一个实施例的芯体模板的系统的示意图;

[0043] 图2A-2I是根据本发明实施例的夹层结构的示意性横截面图;

[0044] 图3A是根据本发明一个实施例的桁架芯体的透视图;

[0045] 图3B是图3A的桁架芯体的放大透视图;

[0046] 图3C是图3A的桁架芯体的俯视图;

[0047] 图3D是图3A的桁架芯体的正视图;

[0048] 图3E是使用图3A桁架芯体的夹层的透视图;

[0049] 图4A是根据本发明另一实施例的桁架芯体的透视图;

[0050] 图4B是图4A的桁架芯体的俯视图;

[0051] 图4C是图4A的桁架芯体的正视图;

[0052] 图5A是根据本发明另一实施例的弯曲桁架芯体的透视图;

[0053] 图5B是使用图5A桁架芯体的夹层的透视图;

[0054] 图5C是图5A桁架芯体的桁架构件横截面的显微照片;

[0055] 图6是用于制造根据本发明一个实施例的夹层板的方法的说明性流程图;

[0056] 图7A-7D是展示根据本发明实施例的沉积层的分层图;

[0057] 图8是现有技术材料和本发明实施例的强度随密度而变化的图表;

[0058] 图9是用于形成根据本发明一个实施例的具有额外特征的芯体模板的系统的示意图;

[0059] 图10是根据本发明一个实施例的支座上的夹层结构的横截面图;

[0060] 图11是根据本发明一个实施例的桁架芯体的透视图;

[0061] 图12是根据本发明一个实施例的桁架芯体的示意性横截面图;

[0062] 图13是根据本发明一个实施例的夹层的示意性横截面图;

[0063] 图14A是根据本发明一个实施例的桁架芯体的示意性横截面图;

[0064] 图14B是根据本发明一个实施例的桁架芯体的示意性横截面图;

[0065] 图15是根据本发明一个实施例的两个部分重叠的桁架芯体的俯视图照片;

[0066] 图16A是根据本发明一个实施例的用于推进器的聚合物模板的透视照片;并且

[0067] 图16B是根据本发明一个实施例的推进器的透视照片。

具体实施方式

[0068] 下文与附图结合阐述的实施方式打算作为根据本发明提供的具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板和制造方法的示例性实施例描述,并且不打算表示仅有的可以构筑或利用本发明的形式。描述与说明性实施例结合阐述本发明特征。然而,应理解,相同或等效功能和结构可以通过也预期涵盖在本发明的精神和范围内的不同实施例来实现。如在本文中其它地方所标示,类似元件编号打算指示类似元件或特征。

[0069] 本发明的一个实施例是一种具有钴-镍合金芯体的弯曲的大面积热保护系统(TPS),其可能承受比基于镍合金蜂窝的现有技术金属TPS高30%的温度,同时提供对许多应用必要的更轻重量和复杂形状。本发明的实施例提供可以由高温合金制造的轻型夹层板。弯曲板和复杂形状可以使用所公开的方法来制造,并且可以实现极低密度,这是因为合金可以沉积为薄涂层,而非由浇注块滚轧成越来越薄的板片。

[0070] 举例来说,用于制造蜂窝芯体的现有技术板片滚轧途径限制可供使用的合金,这是因为许多高温合金的延性不足以允许将其滚轧成薄板片。

[0071] 扣接件可以嵌入于根据本发明实施例制造的板中。芯体可以是开孔的,其相对于现有技术结构(如闭孔蜂巢或发泡体)在多功能性(如热管理)方面具有优势。使用本发明的实施例,有可能使芯体密度形成梯度(grade)并且在某些位置中(例如围绕扣接件或在高负载发生处)增加强度和硬度,同时在不需要强度和硬度处降低密度并节省重量。

[0072] 参考图1,在一个实施例中,根据例如'959专利中所公开的方法,通过首先形成聚合物微桁架来形成桁架芯体。聚合物芯体模板通过使用固定光输入(准直UV光)使聚合物光学波导固化(聚合)来形成,所述聚合物光学波导在三维(3D)图案中自传播。一些液体单体(被称作感光单体)当暴露于光(例如UV光)中时聚合,并且在聚合过程期间进行折射率变化。折射率变化可以导致形成聚合物光学波导。如果使光敏单体在正确条件下暴露于光(通常UV)中,则初始聚合区域(如较小环形区域)将“截留”所述光并且将其引导到聚合区端部,进一步推进所述聚合区。此过程将继续,导致形成沿着其整个长度具有大致(约)相同横截面尺寸的自传播感光聚合物波导结构。

[0073] 参考图1,用于形成根据本发明一个实施例的3D聚合物芯体模板的系统包括一个或多个准直光源100;具有一定体积的感光单体树脂120的储槽(模具)110,所述感光单体树脂将在由所述光源100提供的准直光束的波长下聚合;以及图案化设备,如具有多个孔口(开放区域)140的掩模130。

[0074] 孔口140中的每一个都具有与波导(例如波导160a)的横截面几何结构基本上匹配的给定形状和尺寸。在掩模130与单体120之间,可能存在衬底150。此处,在图1中,可以形成真正3D网状结构,这是因为交叉的聚合物波导160将简单地聚合在一起,而不会干扰波导传播。另外,多个波导160之间的间距与多个孔口140的图案对应。孔口140的图案可以例如呈正方形图案或呈六边形图案。可以调节掩模130中的孔洞(孔口)直径和间距以及由孔口140中的每一个形成的波导160数目以调节所形成3D芯体模板的开放体积分数(即开放空间)。这些特征可以是恒定的,或可以由于跨整个芯体模板的掩模孔洞大小、形状或间距的相对变化而变化。以此方式形成的芯体模板可以由包括在节点180处相互贯穿的桁架构件170的单位单元组成的周期性或准周期性结构。可以选择储槽的深度以对应于待形成的芯

体模板的厚度。

[0075] 当已经在感光单体储槽内形成芯体模板时,可以从储槽中取出芯体模板,并且可以允许过量感光单体从芯体模板上排干。在一个实施例中,从储槽中取出芯体模板并且利用热空气工艺来清洁。用压力5磅/平方英寸表压 (PSI表压) 到100PSI表压使热空气(例如介于30°C到120°C之间的空气)吹过芯体模板以去除过量感光单体树脂。在此过程期间,可以将芯体模板悬挂在如栅板 (grate) 的多孔支撑物上方以允许树脂滴落或滴在如纸中的多孔支撑物上以吸收过量树脂。在此状态中,芯体模板被称作生坯状态芯体模板,其可以是柔性的并且能够加以模制或成形。

[0076] 生坯状态聚合物芯体模板可以经过模制或成形以形成与平坦板片不同的形状。这可以例如通过将生坯状态芯体模板放置到由两个半部组成的合适模具中,并且用足以使得所述生坯状态聚合物微桁架结构呈现半部之间剩余空间形状的力将所述半部按压在一起来实现。在其它实施例中,可以手动或使用工具来使生坯状态芯体模板成形,或可以用生坯状态芯体模板覆盖弯曲表面并且通过重力使其符合所述表面。在其它实施例中,通过选自以下组成的群组的工艺使生坯状态芯体模板成形:弯曲、拉伸、压印、压纹和其组合。一旦已经使生坯状态聚合物微桁架结构成形,则可以在保持于原位的同时使其后固化,所述后固化例如通过将所述生坯状态芯体模板再次暴露于紫外线 (UV) 光中或通过惰性环境中对其加热来进行。对于UV光固化,可以使用可购自马里兰州盖瑟斯堡 (Gaithersburg, Maryland) 美国贺利氏特种光源 (Hereaus Noblelight America) 的具有H+灯泡的融合箱,并且可以将生坯状态芯体模板例如暴露于辐照度为约100mW/cm²的UV光中持续2分钟。为了使用热量使生坯状态芯体模板后固化,可以例如在真空或氮气氛围中将其加热到160°C。使用UV光的后固化工艺可以后接使用热量的第二后固化工艺。后固化工艺完成单体的交联,形成芯体模板。一旦后固化,芯体模板被称作经过固化的芯体模板,并且其可以具有足够刚性以可靠地保持其形状。

[0077] 在其它实施例中。可以通过将经过固化的芯体模板加热到高于聚合物的玻璃化转变温度,使其弯曲,并且将其冷却以固定曲率来(在固化之后)使经过固化的芯体模板成形。

[0078] 可以用金属涂布以此方式形成的经过固化的芯体模板,并且可以随后例如通过蚀刻来去除芯体模板以留下空心金属结构或“桁架芯体”。如下文进一步详细描述,可以使用其它加工动作。参考图2A,可以通过将两个面板紧固到桁架芯体,例如空心金属桁架的板片上来形成夹层板。如果在固化之前使芯体模板形成为弯曲形状,则桁架芯体可以具有相应弯曲的形状,可以将弯曲的面板紧固到所述弯曲形状上,以形成如图2B-2D中所示的那些的夹层结构。图2D的实施例可以适合用作例如航空飞行器中的钝前边缘。如本文所用,“面板”是紧固到桁架芯体外表面上的板片。如本文所用的“板片”是具有局部基本上平行的两个主表面的固体形状,所述两个主表面的表面积是所述板片总表面积的至少80%。

[0079] 如图2A-2D中所示,当桁架芯体中的所有空心节点都在面板上或紧邻面板而在远离面板的桁架芯体块体内不具有节点时,夹层板的强度可能更大。不直接处于面板上的此类空心节点(即“不受限的”节点)可以充当屈曲起始位点并且降低芯体的强度。芯体结构可以是例如角锥形桁架配置,其中三个或四个撑杆或“桁架构件”在与顶部或底部面板接触的节点处会合。

[0080] 可以制造具有梯度芯体的桁架芯体和夹层板,例如通过使用具有梯度孔口间距的

掩模和具有倾斜底部的储槽来制造。参考图2E,例如桁架芯体的节点间距和桁架芯体的厚度从左到右以梯度方式增加的桁架芯体可以用于形成楔形夹层板(图2F)或具有内部板片的楔形夹层板(图2G)。此类结构(例如图2F的结构)中的面板可以不平行。第一面板可以具有第一向外指向法向量(或“法线”)205,并且第二面板可以具有第二向外指向法线210,并且第一和第二法向量可以不平行,即,其之间的角度可以不是180度。在一个实施例中,第一法线与第二法线之间的角度小于175度。此类结构可以用作前边缘或飞行控制表面的一部分。如在图2A-2D的实施例中,桁架构件在节点处互连,并且底部的节点连接到第一板片,同时顶部的节点连接到第二板片,并且所述结构不具有未连接到面板或内部板片(如图2G的内部板片)的独立节点。独立空心节点可能是弱点;面板限定节点并且由此可以增加芯体的硬度和强度。

[0081] 桁架芯体可以使用在某种程度上限于在视线中沉积的涂布工艺(如溅镀或物理气相沉积)或取决于待涂布的表面与阳极之间电场的工艺(如电沉积)来制造。其中芯体提供进入桁架构件和节点表面的良好视线通道的单层桁架结构(如图2A-2F中所示的结构)可以较适合于使用这些工艺来制造。多个单层芯体可以随后与一个或多个内部板片和面板组合以形成多层夹层结构,如图2G中的结构。图2H展示具有单个卷绕弯曲面板的梯度芯体,并且图2I展示具有单个卷绕弯曲面板和双重梯度芯体的结构,其中节点间距在从左到右行进时首先增加并且随后减小。

[0082] 图3A和3B展示具有截断节点的空心四面体金属桁架芯体的两个视图。图3C和3D展示具有标准节点(无截断)的空心四面体金属桁架芯体的两个视图以及与图3A相比不同的桁架构件长度和直径。桁架芯体通过使用上文和'959专利中所描述的自传播感光聚合物波导方法制造角锥形聚合物芯体模板来制造。通过无电镍电镀敷用薄Ni-P层涂布芯体模板以使得其导电。随后对顶部和底部的节点进行砂磨以去除涂层并使聚合物暴露。通过氨基磺酸镍溶液中的标准电镀添加大致(约)50微米厚的镍层。随后用1.5M NaOH溶液蚀刻掉聚合物模板以得到密度为大致 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 的空心镍桁架芯体。图3A-3D中的四面体桁架芯体展现3重对称性;三个桁架构件在每一节点处会合。图3E展示通过将两个面板添加到图3A-3D的芯体上而制造的夹层。

[0083] 图4A-4C展示具有4重对称性的角锥形桁架芯体(其中四个撑杆在每一节点处会合)的三个视图(透视图,图4A,俯视图,图4B,和正视图,图4C)。具有3重对称性的结构(例如图3A-3D的结构)可以使得有可能围绕节点并且尤其在节点处得到更均匀的涂层覆盖性,而图4A-4C的结构的4重对称性可以在特定方向上提供更大剪切硬度和强度。用于两个实施例的芯体架构(图3A-3D的芯体架构和图4A-4C的芯体架构)被称作角锥形,这是因为空心桁架构件处于沿着具有3或4个侧面的假想角锥的边缘处并且并不交叉,以形成具有不受限的节点的完整栅格。

[0084] 图5A展示弯曲桁架芯体。通过经由将聚合物模板加热到高于聚合物的玻璃化转变温度,使其弯曲,并且将其冷却以固定曲率来弯曲所述聚合物模板以将此芯体制造为弯曲的。随后通过电镀用镍涂布弯曲聚合物模板。随后用环氧粘合剂将面板粘结到芯体上以形成图5B的弯曲夹层结构。图5C展示图5A和5B实施例的桁架构件的横截面。在其它实施例中,可以使空心金属角锥形桁架芯体弯曲以呈现一定曲率,这是因为角锥形架构能够在不受破坏的情况下被弯曲成弯曲形状。

[0085] 角锥形桁架芯体模板的开放性可以使得解释使用并非完全非视线的方法(如电镀和物理气相沉积)仍能够得到相当均匀的涂层。当使用电镀时,可以调节电镀工艺参数以使均镀能力达到最大,以使得将涂布表面的每一部分并且整体涂层厚度可以是合理地均匀的。涂层可以在朝向电极延伸并且没有防护免受金属离子流影响的位置处较厚,所述位置在平坦角锥形芯体的情况下可以是节点。节点处的较厚涂层可以增加强度,这是因为节点可以使应力集中。良好涂层覆盖性和厚度均匀性可以使用电子束蒸发和溅镀,使用旋转3拱顶行星齿轮夹具使桁架芯体相对于蒸发剂物流的角度连续地变化并且在沉积半途使芯体翻转来实现。在另一实施例中,直流电(DC)偏置场阴极电弧物理气相沉积用于涂覆金属涂层;在此方法中,施加于结构上的偏置电压通过吸引金属离子和带电颗粒来改进非视线沉积。此方法还允许沉积较厚涂层(例如,在2小时中50微米厚)。

[0086] 除角锥形桁架芯体之外,也可以如上文所描述涂布其它芯体架构,例如具有椭圆形、矩形或不规则形撑杆的桁架芯体。桁架构件可以在内部中不受限的节点处交叉,形成如图9中所示在整个厚度内具有多个单位单元的结构。在一些实施例中,通过三维(3D)印刷来制造芯体模板;在此情况下,可以添加连接两个面板的其它特征,如柱、壁或奇形特征,以及使区域彼此分隔的分隔壁。涂布方法视线受限越多,可能越难以在其中内部区处于外部特征阴影中的芯体上实现均匀涂层厚度。然而,如无电镀敷、原子层沉积、化学气相浸润和化学气相沉积的涂布工艺可以具有沉积在整个厚度内具有多个单位单元的结构(如图9的结构)的能力。

[0087] 图6展示根据一个实施例的制造具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板的方法的流程图。在动作610中,通过增材制造,例如通过3D打印、立体光刻或自传播感光聚合物波导方法(如'959专利所传授的方法)例如由聚合物材料制造芯体模板。替代性地,模板可以由适于涂布的任何其它材料制造。芯体可以制造为呈复杂弯曲形状,或可以制造为平坦板片并在之后成形。热固性聚合物芯体模板可以通过将聚合物加热到高于玻璃化转变温度,使其成形,并且随后将其冷却以使形状变化持久来成形为某一曲率。

[0088] 在动作620中,涂布模板,并且在任意的动作630中,用碱蚀刻、酸蚀刻、等离子蚀刻或溶剂浴来去除模板。涂层可以强到足以独立存在,并且涂层可以与用于去除模板的方法相容。模板可以通过电镀、无电镀敷、化学气相沉积、物理气相沉积、浆料涂布、浸渍涂布或另一种方法来涂布。为了使得能够进行电镀,可以首先通过用物理气相沉积、电子束蒸发、溅镀或无电镀敷沉积薄镍、铬、钴或其它金属层来使得聚合物模板导电。在一个实施例中,第一涂层是相对厚的电镀镍、钴或铜层,并且随后通过碱蚀刻,例如用1.5M NaOH蚀刻来去除模板。

[0089] 去除模板的动作630是任意的。空心芯体结构可以具有较低密度,但在其中密度不关键的情况下,可以将模板留在芯体中。将模板留在芯体中将抑制空心撑杆的局部屈曲,其在一些情况下可以增加比强度,尤其在芯体含有多层单元和不受限的节点的情况下。

[0090] 在动作640中,添加额外化学元素。此步骤是任意的,并且在一些实施例中,在去除芯体模板之前添加额外元素。可以受控厚度添加额外元素以实现对应于动作650中所形成合金的体积或重量分数。在一个实施例中,涂布动作620包括用第一子层使得模板导电,并将5到300微米厚的第二子层沉积在所述模板上,所述第二子层包括选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分。动作640可以包括,在去除模板之后:利用选自由电镀、

化学气相沉积和包渗组成的群组的作用来沉积一层或多层铬,达到组合厚度为第一层厚度的10%到40%;利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的作用来沉积一层或多层铝,达到组合厚度为第一层厚度的10%到40%;沉积包括选自由Mo、W、Ta、Ti和Re和其组合组成的群组的物质作为主要组分的层,达到厚度为第一层厚度的1%到15%;以及沉积包括选自由Si、C、B、Zr、Hf、Y和其组合组成的群组的物质作为主要组分的层,达到厚度小于第一层厚度的2%。在一个实施例中,第一涂层是金属的并使得模板导电,并且第二涂层包括浓度为10到70重量%(wt.%)的钴和镍的组合作为主要组分;用第二涂层涂布模板包括利用电镀;第三涂层包括选自由铬、镍、铝、钽、硅和其组合组成的群组的物质作为主要组分;并且用第三涂层涂布模板包括利用选自由电镀、化学气相沉积和包渗组成的群组的作用。在另一实施例中,模板涂布有三个层,并且用第一涂层涂布模板包括:用第一子层使得模板导电;和将5到300微米厚的第二子层沉积在所述模板上,所述第二子层包括选自由镍、钴、铁和其组合组成的群组的物质作为主要组分;并且用第三涂层涂布包括利用选自由阴极电弧沉积、直流电(DC)偏置场阴极电弧物理气相沉积和等离子增强型磁控溅镀组成的群组的作用来沉积金属合金。

[0091] 随后在动作650中执行热处理,以使不同涂层相互扩散并得到均质化合金。选择热处理的温度以实现适时涂布平衡。可以执行间歇热处理以在添加额外元素之前促进相互扩散。在一个实施例中,热处理包括将空心桁架芯体加热到至少1100°C(例如,加热到1200°C)持续24小时。在对空心桁架芯体进行热处理的动作650之后,可以使分开沉积的金属或其它元素层相互扩散达到其形成一个连续层的程度。如本文所用,连续层是层中每一元素组分的浓度在整个层中连续,即不在所述层内任一点处不连续地变化的层。相比之下,在具有不同组成的若干堆叠层中,一种或多种元素组分的浓度可以在层间边界处不连续地变化。在一个实施例中,连续层(即,在对空心桁架芯体进行热处理的动作650期间形成的层)中每一元素的浓度在连续层内变化小于5%。在一个实施例中,通过对空心桁架芯体进行热处理的动作650形成的连续层含有选自由镍、钴、耐火元素和其组合组成的群组的元素作为主要组分。如本文所用,术语“耐火元素”包括铌、钼、钽、钨、镍、钛、钒、铬、锆、钨、钨和铀。

[0092] 在制造芯体之后,可以在动作660中通过钎焊、扩散粘结、瞬时液体粘结(例如瞬时液相扩散粘结)、焊接(例如固态焊接或电阻焊接)、粘合剂粘结或电接合来附接面板。在一个实施例中,面板含有选自由镍、钴、耐火元素和其组合组成的群组的元素作为主要组分。

[0093] 图7A-7D展示用于不同芯体合金的四种不同可能涂层堆叠。图7A展示可以沉积以用于基于镍或钴的超合金的涂层。在一个实施例中,通过用电子束蒸发沉积镍或钴的薄层(0.1-1微米)来使得聚合物模板导电。可以使用此沉积技术代替无电镍镀敷,这是因为无电镍镀敷可能引入磷。为了向目标合金中引入少量Mo、W、Ta、Ti、Re、Si、C、B、Zr、Hf和/或Y,可以首先以适当厚度沉积这些元素,并且随后用100nm镍或钴层封盖以便于镀敷后续一个或多个层。随后,可以使用标准电镀来累积相对厚的镍或钴层。随后,通过包渗化学气相沉积(CVD)或电镀添加具有实现目标合金组成所需厚度的铬和铝层,例如达到厚度在镍或钴层厚度的10%与40%之间。必要时,可以添加厚度在镍或钴层厚度的1%与15%之间的任意的元素,如Mo、W、Ta、Ti和/或Re。还可以通过物理气相沉积(PVD)或CVD添加痕量元素,例如Si、C、B、Zr、Hf和/或Y。

[0094] 图7B和7C展示可以沉积以由基于钴-镍的高温合金制造芯体的涂层。可以使用硫

酸钴和高铈酸钾通过电镀共沉积钴和铈,形成温度能力比镍或钴更高的底涂层。可以随后添加铬和其它掺合元素层。

[0095] 图7D展示在使用DC偏置场阴极电弧物理气相沉积(CAPVD)由复合合金制造芯体的情况下的涂层堆叠。可以首先通过电镀将导电的稳固金属涂层涂覆于聚合物模板上,通常是镍、钴、铁或铜。随后可以通过CAPVD来沉积复合合金,例如C-103(其是89%Nb、10%Hf和1%Ti)或C-129Y(10%钨、10%钪、0.1%钇、其余铈)或几乎任何其它复合合金。CAPVD是允许沉积许多合金的通用工艺。可以将第一涂层留在原位,与第二层相互扩散,或蚀刻掉,例如,可以用HN03蚀刻掉Cu。

[0096] 图8展示镍超合金桁架芯体夹层板芯体与目前先进技术中高温材料相比的高温强度和密度计算值。可见此类镍超合金芯体实现极低密度,同时维持良好强度。

[0097] 图9和10涉及用于在根据一个实施例的大面积热保护系统中应用的具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板。图9展示使用自传播感光聚合物波导方法(例如'959专利的方法)制造具有嵌入特征(如扣接件、衬套或插入件)的微桁架芯体的示意图。这些特征嵌入于感光单体树脂中,并且随后经由具有图案化孔口的掩模使树脂暴露。在每一孔口下,形成聚合物波导。可以使掩模图案形成梯度以围绕扣接件或在需要强度的区域中形成更强并更致密的微桁架。在暴露之后,洗去残留的液体树脂,并且例如根据图6方法的动作620-660来加工包括扣接件的聚合物模板。为了实现图10中所展示的曲率,可以例如在聚合物阶段中使板弯曲。

[0098] 为了表达芯体结构特征之间的关系,使用以下定义:

[0099] D: 撑杆外径

[0100] t: 壁厚

[0101] $A = \pi t (D - t)$: 撑杆横截面积

[0102] $I = \frac{A(D^2 - 2Dt + 2t^2)}{8}$: 撑杆区域惯性矩

[0103] H: 桁架结构高度(即,面板之间的分隔)

[0104] L: 桁架结构的单位单元间距

[0105] ω : 撑杆倾角(即,面板与撑杆之间的角度)

[0106] r: 撑杆之间交叉处倒圆角的半径(通常 $\frac{D}{4}$)(即,由平行于撑杆的切割平面形成的曲线的半径)

[0107] k: 欧拉屈曲终端条件参数(Euler buckling end-condition parameter)(对于桁架芯体,在1(钉扎)与2(夹持)之间变化)(即,数量可以在1.0与2.0之间,并且在一个实施例中等于1.5)

[0108] E: 杨氏模量(Young's modulus)

[0109] E_T : 切线模量

[0110] $\sigma_{屈服}$: 屈服强度

[0111] ν : 泊松比(Poisson's ratio)

[0112] $z = \frac{1}{2} \left(\frac{L \tan(\omega)}{\sqrt{3}} - H \right)$: 3重桁架的截断高度

[0113] $z = \frac{1}{2} \left(\frac{L \tan(\omega)}{2} - H \right)$: 4重桁架的截断高度

[0114] 在一个实施例中,选择撑杆外径D和撑杆壁厚t以使得:

$$[0115] \frac{\sigma_{\text{整体}}}{\sigma_{\text{局部}}} = \frac{(Al^2 + 48I(1 + \nu)) \sin(\omega)}{96I^2 \sin(\omega) (1 + \nu) + 2Al(3D \cos(\omega) + l \sin(\omega))}$$

$$[0116] z \leq \frac{D}{2 \cos(\omega)} + r \left(\frac{1}{\cos(\omega)} - 1 \right) - t$$

[0117] 其中:

$$[0118] \sigma_{\text{整体}} = \min \begin{cases} \frac{\pi^2 k^2 E_T I}{l^2 A} \\ \sigma_{\text{屈服}} \end{cases}$$

$$[0119] \sigma_{\text{局部}} = \frac{\eta_l 2E\gamma}{\sqrt{3(1 - \nu^2)}} \frac{t}{D}$$

$$[0120] \gamma = 1 - .901 (1 - e^{-\phi})$$

$$[0121] \phi = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{D}{2t}}$$

[0122] 其中:

$$[0123] \eta_l \approx 0.02777z + 0.08629$$

[0124] 得自撑杆之间交叉处的材料行为与应力集中度的组合。

[0125] 在一些实施例中,H小于2.00米并且H大于2毫米(0.002m);在一些实施例中,夹层芯体厚度处于2.0mm到200.0mm范围内,并且在一些实施例中,其处于6.0mm到50.0mm范围内。在一些实施例中,L关于H的值由以下关系定义:

$$[0126] L \geq \frac{H}{2 \tan(\omega)} \text{ (对于4重桁架)}$$

$$[0127] L \geq \frac{H}{\sqrt{3} \tan(\omega)} \text{ (对于3重桁架)}。$$

[0128] 实例1:电沉积的Co-Re桁架

[0129] 通过蒸发钛达到厚度为0.5微米并蒸发铂达到厚度为0.1微米来对如上文所描述而制造的聚合物微桁架进行金属化。随后在360g/l CoSO₄、45g/l 硼酸和17g/l NaCl的水溶液中在10mA/cm²下用钴对金属化的微桁架进行电镀持续75分钟,达到厚度为大致(约)15微米。随后在钴镍镀敷溶液中对钴微桁架进行镀敷。对镀敷技术进行改进以改进微桁架的镀敷品质。经过双重铂涂布的钛网状阳极用于改进微桁架上的电流分布。如所属领域的技术人员将理解的,用多个电线架起样品以改进薄金属导电层上的电流分布。在阴极处使用高搅动水平来执行镀敷,以使得能够在镀敷表面进行高质量转移并且去除由于气体逸出而来自表面的气泡,所述气泡可能在钴和钴合金沉积中留下气体标记。在整个沉积过程中通过周期性添加氢氧化铵来维持溶液的pH。在65°C和50mA/cm²下执行沉积持续1小时,得到30微米的沉积厚度。通过能量分散X射线光谱法(EDX)来分析所得合金以确认Co-Re组成。所得微桁架展示于图11中。任选的后续加工包括去除聚合物和/或向现有金属中添加额外金属或合金。

[0130] 芯体的强度可以通过截断节点来增加。(细节在文章中)。在一个实施例中包括以

下芯体,如图12中所展示,其中空心节点底部与节点顶部间隔开的距离小于芯体高度的15%。空心节点的底部可以与空心节点外表面中的鞍点重合。在一个实施例中,节点底部与节点顶部间隔开的距离越近,强度越大。

[0131] 在一个优选实施例中,当附接面板时,如图13中所展示,进行测量以确保粘合剂也使节点底部直接粘结于面板上。这确保像较大节点区域的负荷转移并且降低应力集中度。此外,这减少芯体-面板介面处的负载失效。另外,粘合剂固定节点底部,以使得可以不在此处引发屈曲或变形。

[0132] 四面体(3重)芯体可以交错以形成较大芯体。由此,如图14B和15中所见,两个芯体被布置成重叠。这允许拼接较小芯体以形成较大芯体,并且如图14A和14B中所示,可以减少未得到支撑的面板的量。图15展示与下部芯体区段部分地重叠的上部芯体区段。可以将多个此类下部芯体区段(例如正方形下部芯体区段)平铺在一起以覆盖较大区域,并且可以随后将多个上部芯体区段(例如,与下部芯体区段具有相同尺寸)平铺在部芯体区段上方(例如,上部芯体区段与下部芯体区段偏移)。因此,可以通过使例如每一芯体的每一个四分之一与邻近芯体的四分之一交错来将众多具有正方形形状的芯体区段布置成一个较大、连续、均匀的芯体,在一个实施例中,将连续面板附接到此类拼接的芯体上。

[0133] 此处所公开的方法还可以用于由高温合金制造其它薄壁结构。在一个实施例中,壁厚小于300微米以使得各层能够在合理的时间范围(如小于100小时)中相互扩散。所关注的并非桁架芯体的薄壁高温结构是例如用于卫星推进的推进器。图16展示用于小型卫星推进系统的推进器,其通过首先经由立体光刻3D打印聚合物模板,随后通过用导电银漆喷雾涂布所述模板使得其导电来制造。随后对部件电镀100微米镍。随后,用2摩尔浓度氢氧化钠溶液蚀刻掉聚合物模板。随后,通过包渗使扩散铬涂层沉积于空心镍部件上,得到大致32微米的有效铬厚度。随后,通过包渗使扩散铝涂层沉积于空心部件上,得到大致31微米的有效铝厚度。随后,在1100°C下在氩气中对部件进行热处理持续50小时以使Ni、Cr和Al相互扩散,并且形成简单英高镍(Inconel)型合金。随后在900°C下使合金老化12小时以确立 $\gamma-\gamma$ 主微观结构,在一些实施例中,其是超合金的特征并提供良好高温机械特性。

[0134] 应理解,尽管本文中可以使用术语“第一”、“第二”、“第三”等来描述各种元件、组分、区、层和/或部分,但是这些元件、组分、区、层和/或部分不应受到这些术语限制。这些术语仅用于区分一种元件、组分、区、层或部分与另一种元件、组分、区、层或部分。因此,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,下文所讨论的第一元件、组分、区、层或部分可以被称为第二元件、组分、区、层或部分。

[0135] 本文中可以为易于描述而使用空间相关术语,如“下面”、“下方”、“下部”、“下”、“上方”、“上部”等如图中所示描述一个元件或特征与另一个或多个元件或特征的关系。应理解,此类空间相关术语打算涵盖装置在使用或操作中除图中描绘的定向外的不同定向。举例来说,如果图中的装置翻转,则描述为在其它元件或特征“下方”或“下面”或“下”的元件将定向在其它元件或特征“上方”。因此,实例术语“下方”和“下”可以涵盖上方和下方的定向两者。装置可以其它方式定向(例如,旋转90度或处于其它定向),并且本文所用的空间相关描述词应相应地进行解释。另外,还应理解,当一层被称作“在两层之间”时,其可以是两层之间的唯一层,或也可存在一个或多个插入层。

[0136] 本文所用的术语仅用于描述特定实施例的目的,并且并不打算限制本发明概念。

如本文所用,术语“基本上”、“约”和相似术语用作近似的术语而不用作程度的术语,并且打算考虑所属领域的技术人员将认识到的测量值或计算值中的固有偏差。如本文所用,术语“主要组分”意味着以重量计构成组合物至少一半的组分,并且术语“主要部分”在应用于多个项时意味着所述项的至少一半。

[0137] 如本文所用,除非上下文另外明确指示,否则单数形式“一(a/an)”和“所述(the)”打算也包括复数形式。应进一步理解,当用于本说明书中时,术语“包含(comprises/comprising)”指定存在所陈述的特征、整数、步骤、操作、元件和/或组分,但不排除存在或添加一个或多个其它特征、整数、步骤、操作、元件、组分和/或其群组。如本文所用,术语“和/或”包括相关联的所列项目中的一个或多个的任何和所有组合。当在元件列表之前时,如“中的至少一个”的表述修饰整个元件列表并且并不修饰列表的个别元件。此外,当描述本发明概念的实施例时使用“可以”是指“本发明的一个或多个实施例”。另外,术语“示例性”打算指实例或说明。

[0138] 如本文所用,术语“使用(use/using/used)”可以视为分别与术语“利用(utilize/utilizing/utilized)”同义。

[0139] 应理解,当元件或层被称作“在另一元件或层上”、“连接到另一元件或层”、“耦接到另一元件或层”或“与另一个元件或层相邻”时,其可以直接位于所述另一个元件或层上、连接到所述另一个元件或层、耦接到所述另一个元件或层或与所述另一个元件或层相邻,或可能存在一个或多个插入元件或层。相比之下,当元件或层被称作“直接在另一元件或层上”、“直接连接到另一元件或层”或“直接耦接到另一元件或层”或“与另一元件或层紧邻”时,不存在插入元件或层。如本文所用,如果两个、三个或更多层直接或间接接触,则其称为“彼此耦接”。举例来说,如果第三层直接在第二层上,第二层直接在第一层上,则第一、第二和第三层可以称为彼此耦接。

[0140] 本文所叙述的任何数值范围都打算包括包含于所叙述范围内的具有相同数值精确度的所有子范围。举例来说,范围“1.0到10.0”打算包括介于所叙述的最小值1.0与所叙述的最大值10.0之间(并且包括所述值),也就是说,具有等于或大于1.0的最小值和等于或小于10.0的最大值的所有子范围,如例如2.4到7.6。本文所叙述的任何最大数值限制打算包括包含于其中的所有较小数值限制,并且本说明书中所叙述的任何最小数值限制打算包括包含于其中的所有较大数值限制。

[0141] 如本文所用,层的元素厚度定义为沉积时元素层的厚度。铝和铬在高温下通过包渗或CVD来沉积时通常与镍或钴反应,并且形成金属间化合物。因此,尽管在沉积之后例如存在NiAl层,但层的厚度是通过沉积添加的厚度。

[0142] 尽管本文已经具体描述和说明了具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板和制造方法的有限实施例,但许多修改和变化形式对于所属领域的技术人员将是显而易见的。因此,应理解,根据本发明原理采用的具有桁架芯体的弯曲高温合金夹层板和制造方法可以除如本文具体描述以外的方式实施。还在以下权利要求书和其等效物中定义本发明。

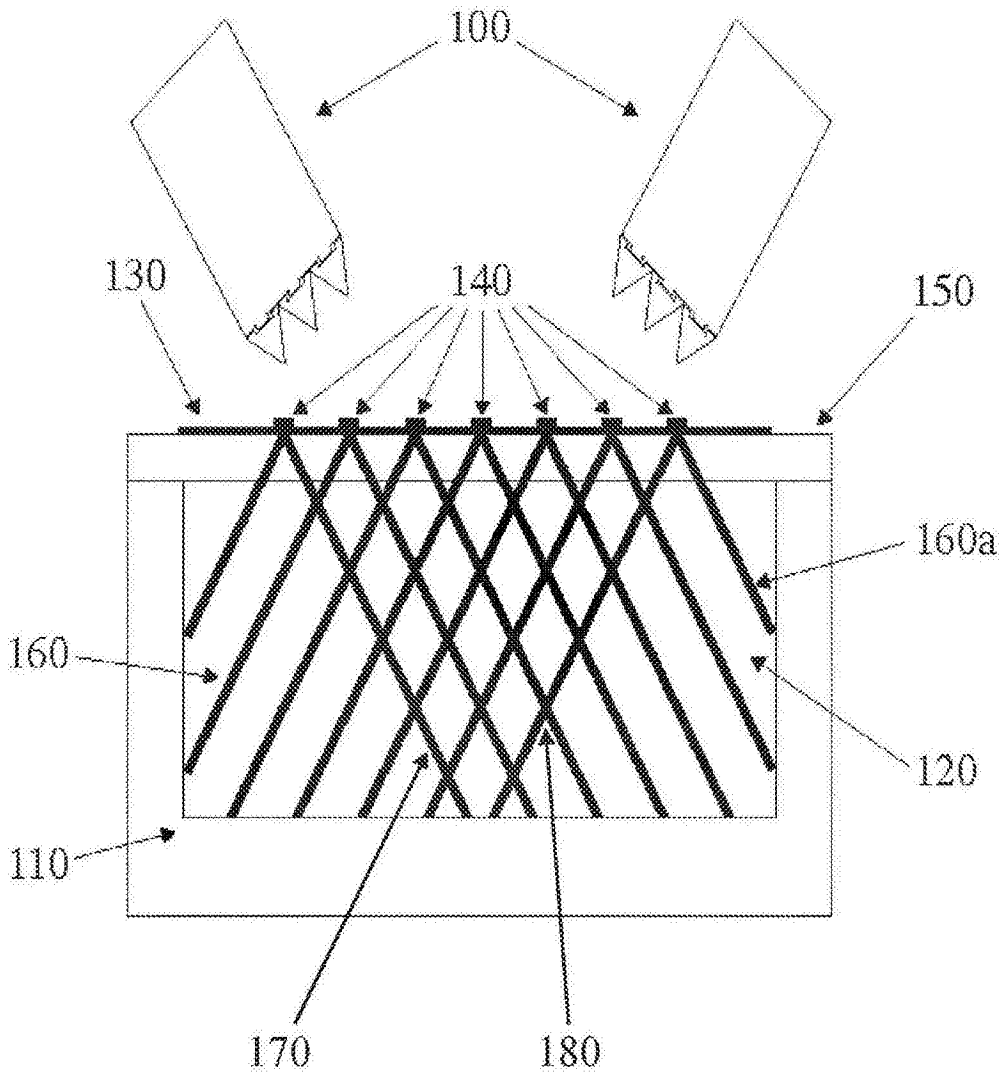


图1



图2A

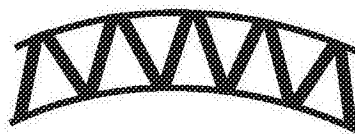


图2B

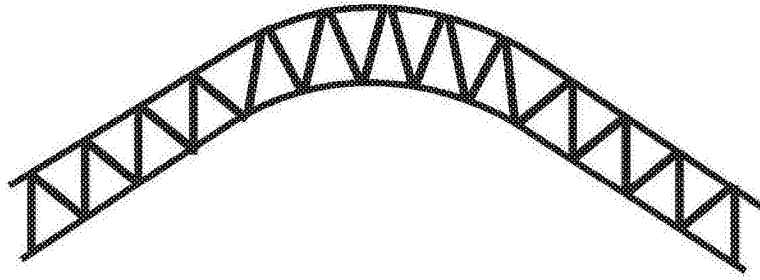


图2C

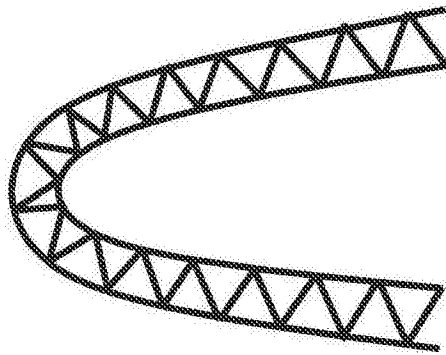


图2D



图2E

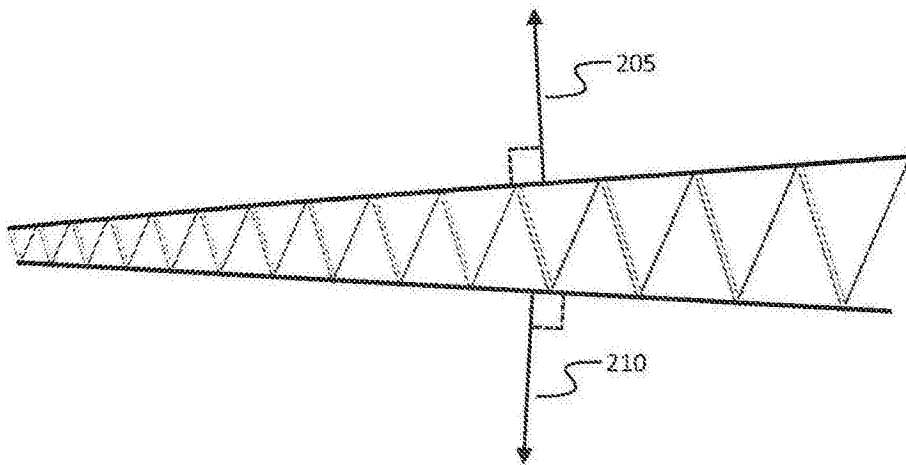


图2F

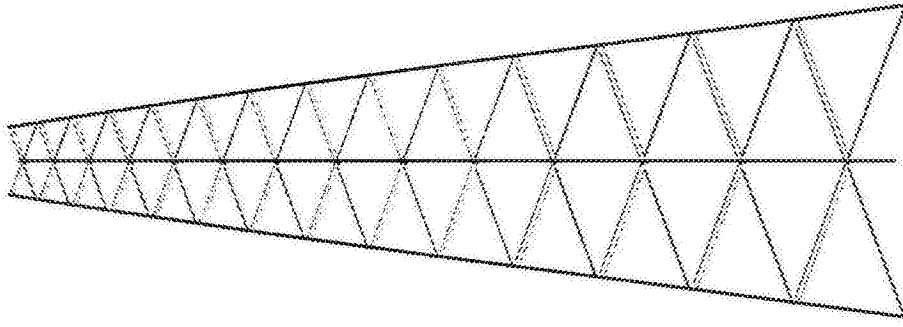


图2G

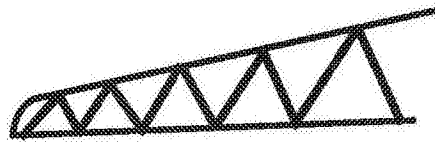


图2H

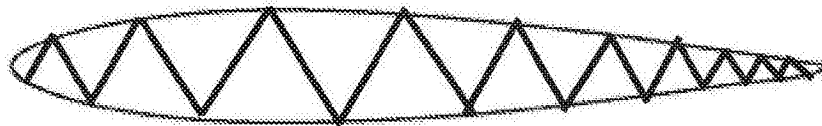


图2I

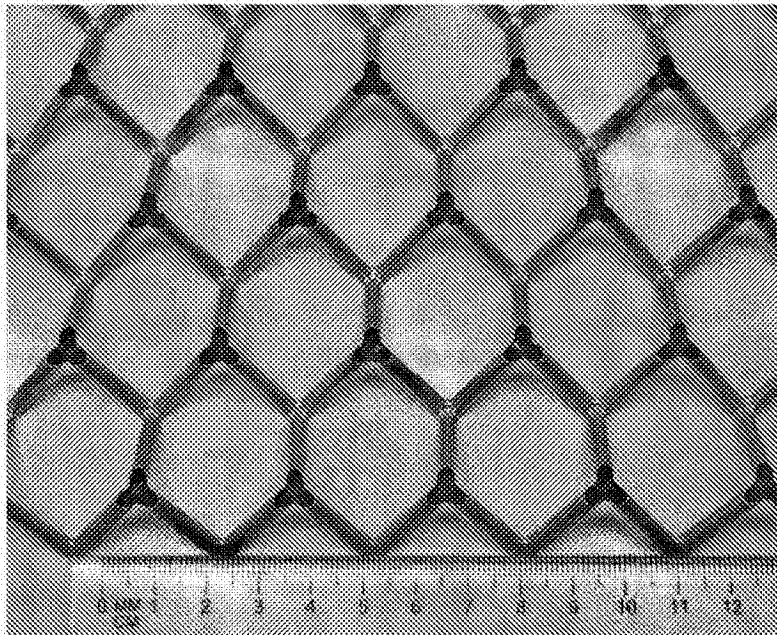


图3A

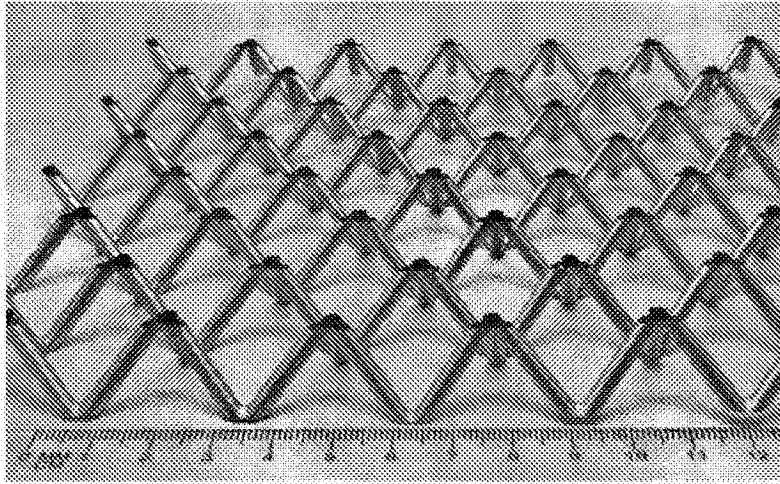


图3B

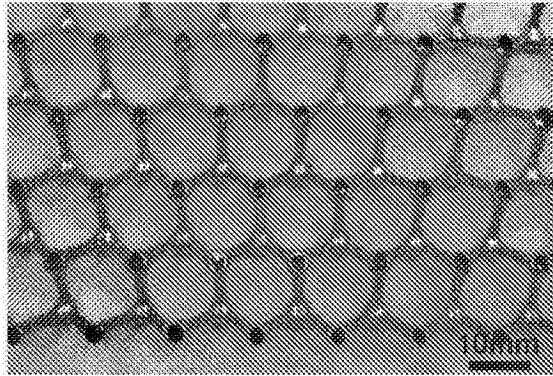


图3C

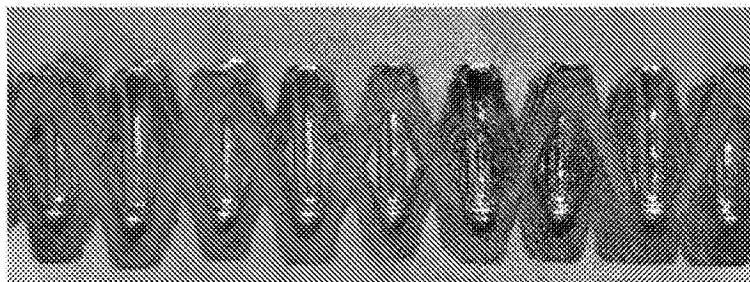


图3D

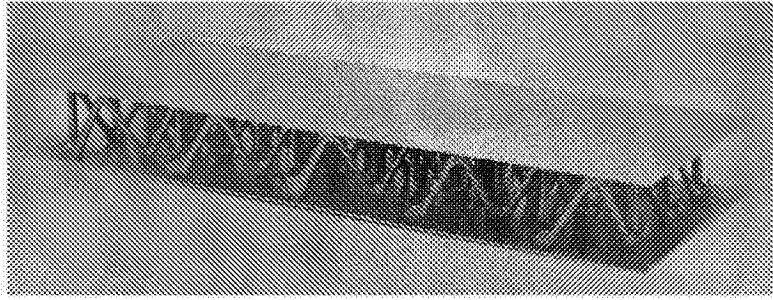


图3E

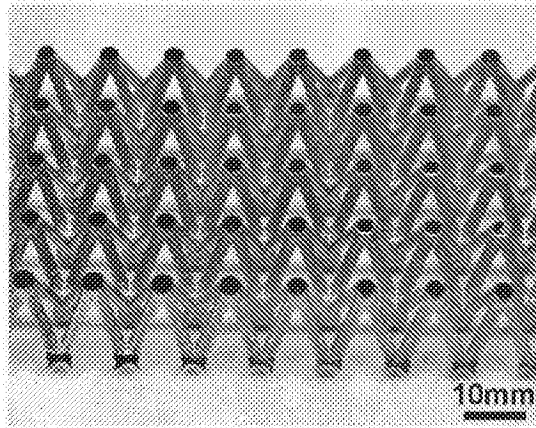


图4A

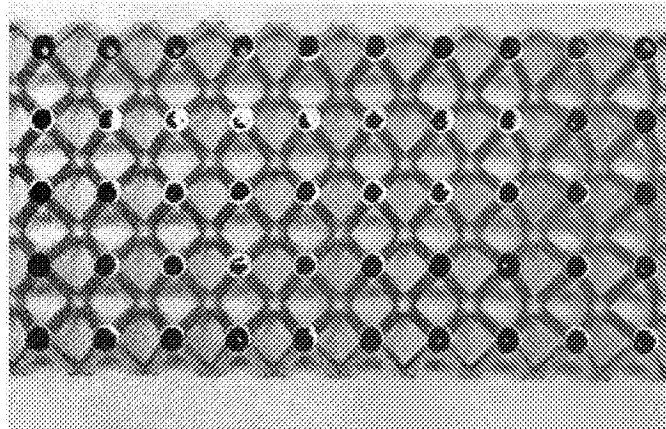


图4B

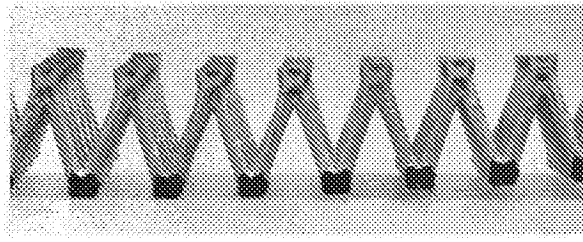


图4C

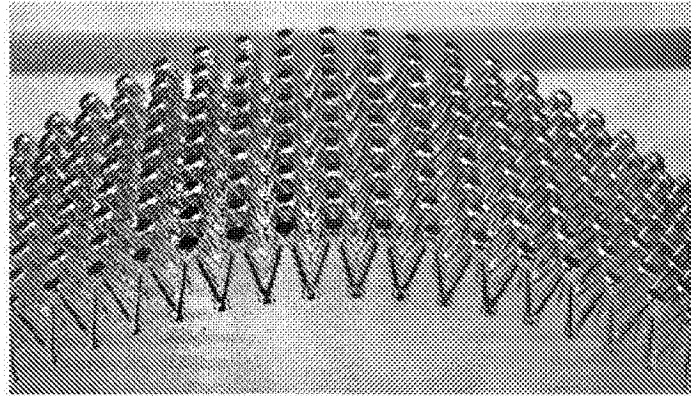


图5A

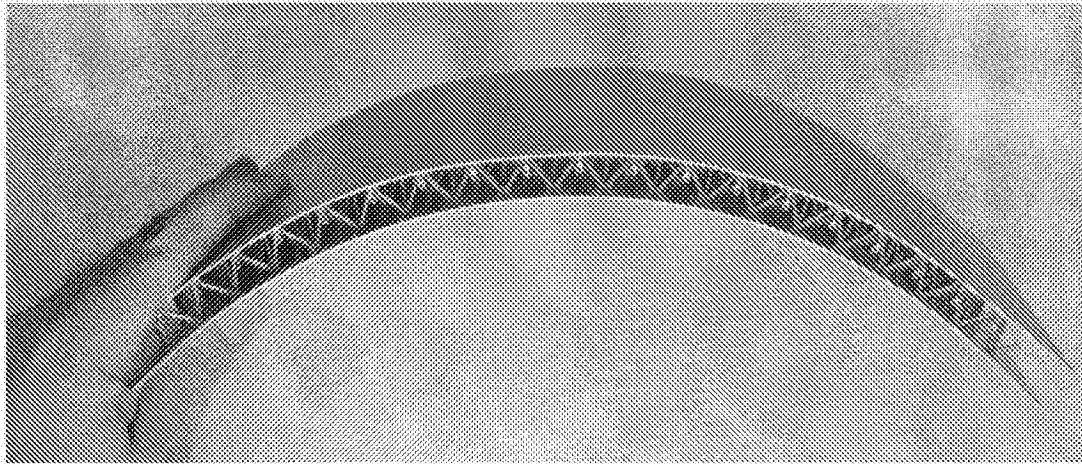


图5B

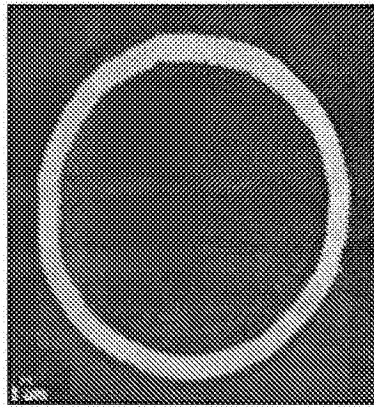


图5C

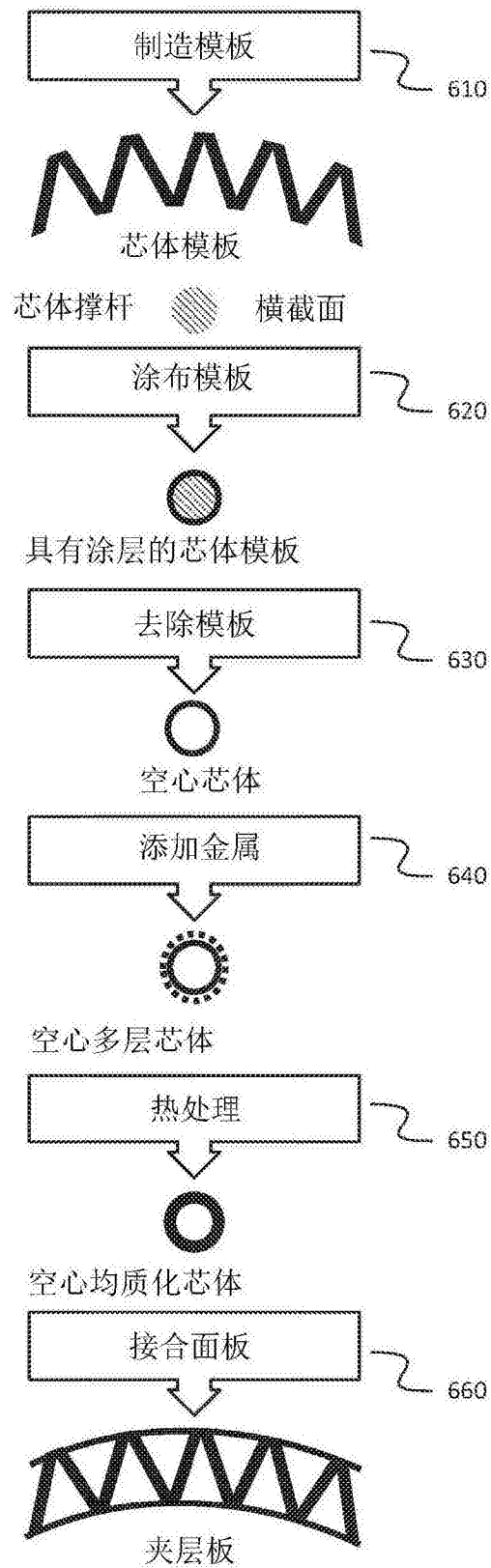


图6

涂层	厚度	工艺
Si、C、B、Zr、Hf和/或Y	<2%	CVD或PVD
Mo、W、Ta、Ti和/或Re	1-15%	
铝	10-40%	包渗或CVD
铬	10-40%	
镍和/或钴	100%	电镀

图7A

涂层	厚度	工艺
Cr、Al、Ta和/或Si等	5-40%	CVD或PVD
钴和铌	100%	电镀
钴或镍	20 -100%	电镀
钴或镍		PVD
钛		PVD

图7B

涂层	厚度	工艺
Al、Ni、Ta和/或Si	1-20%	CVD或PVD
铬	10-40%	
钴和铌	100%	电镀

图7C

涂层	厚度	工艺
多组分合金	10-500%	阴极电弧沉积
Ni、Co或Cu	100%	电镀

图7D

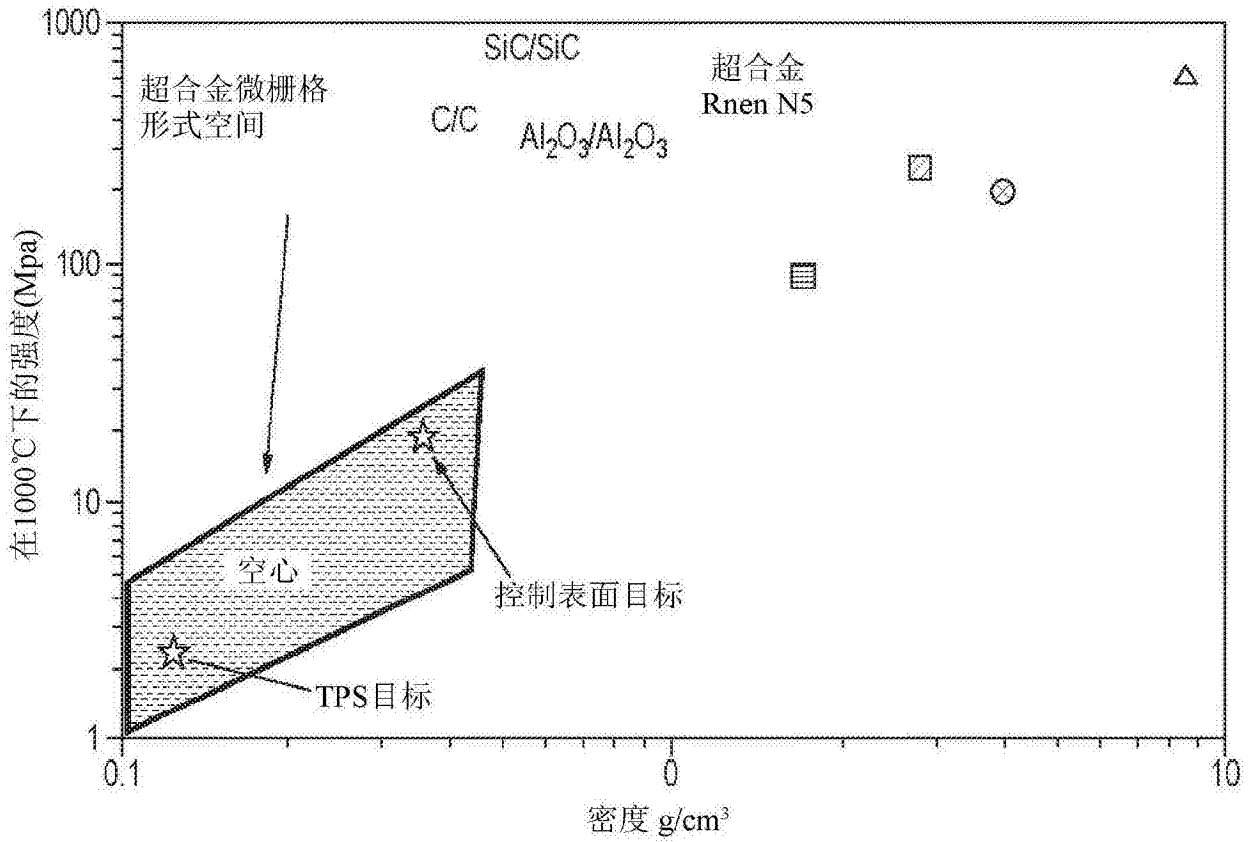


图8

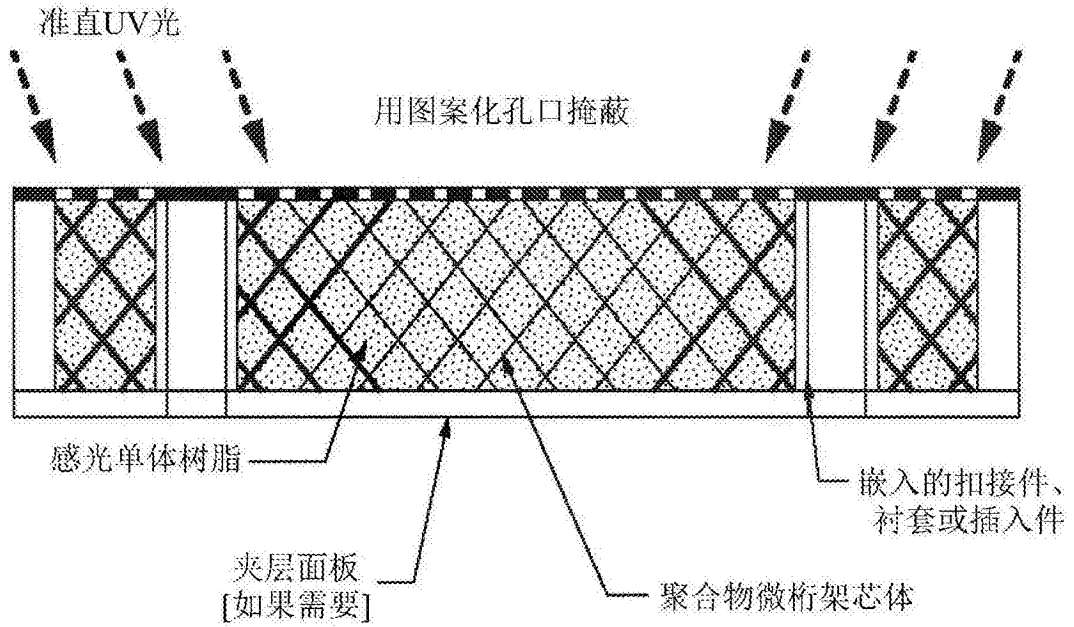


图9

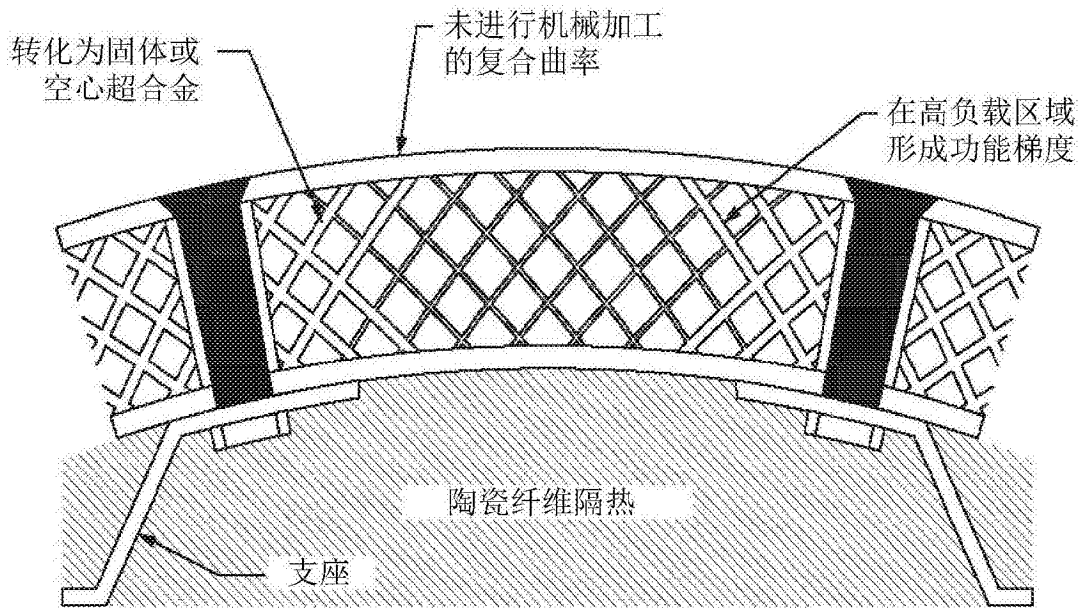


图10

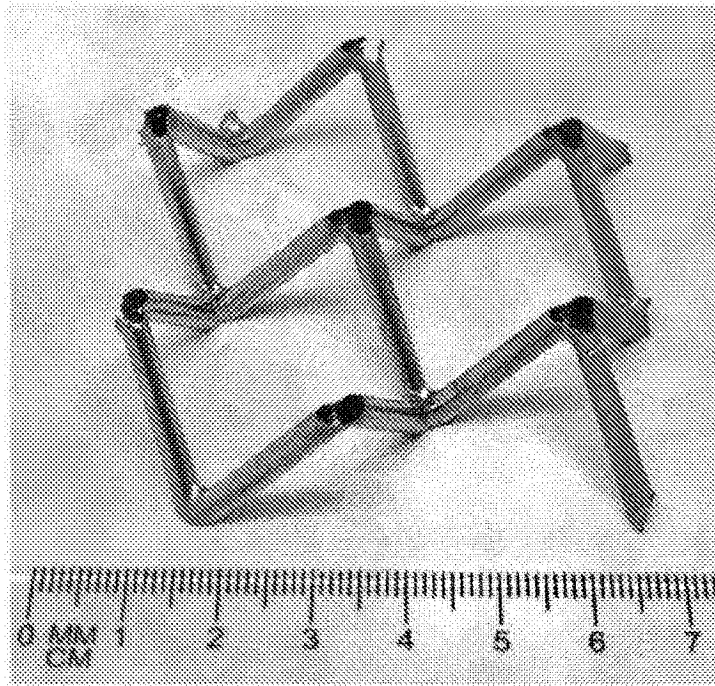


图11

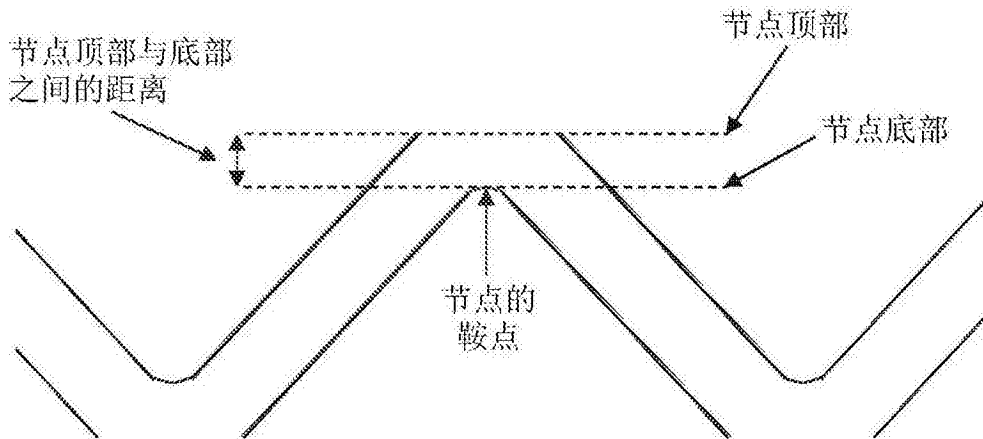


图12

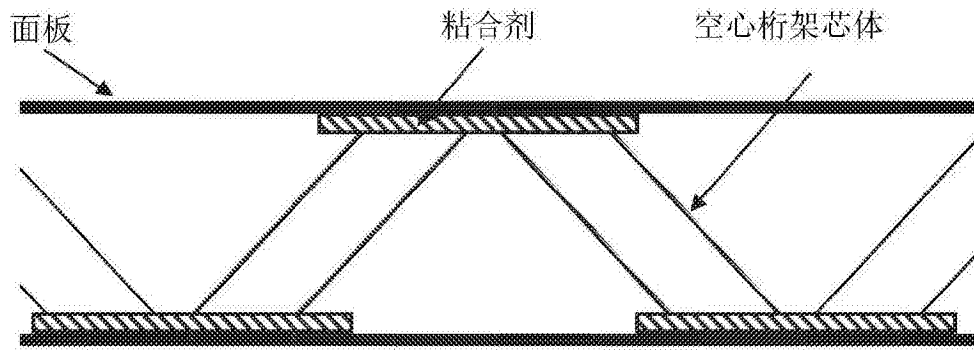


图13

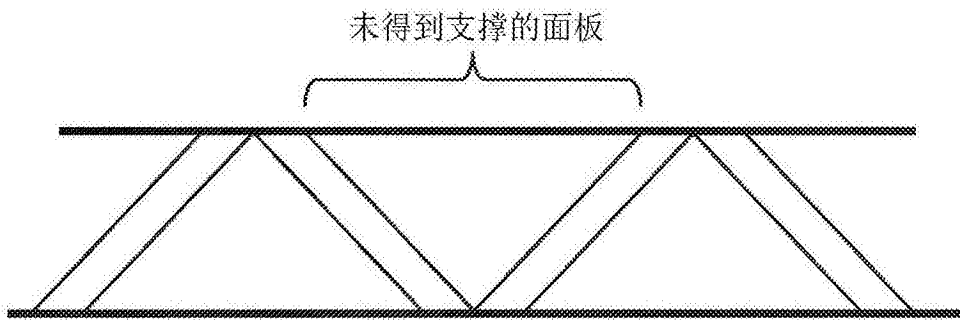


图14A

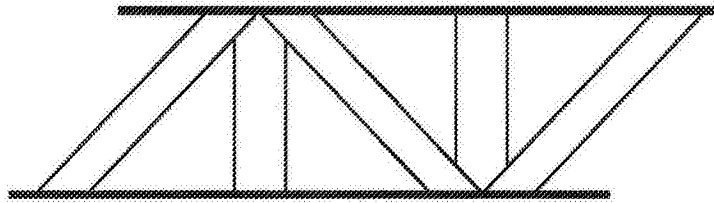


图14B

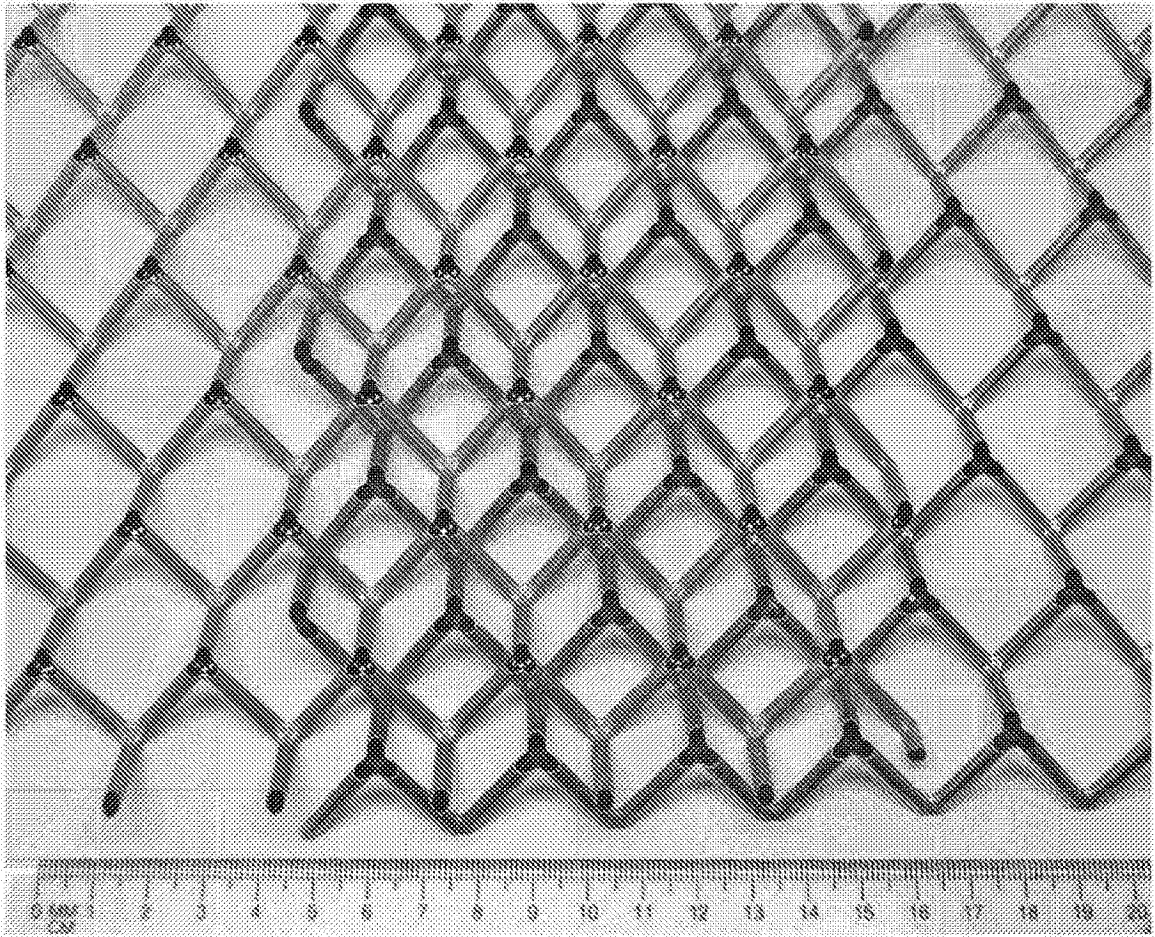


图15

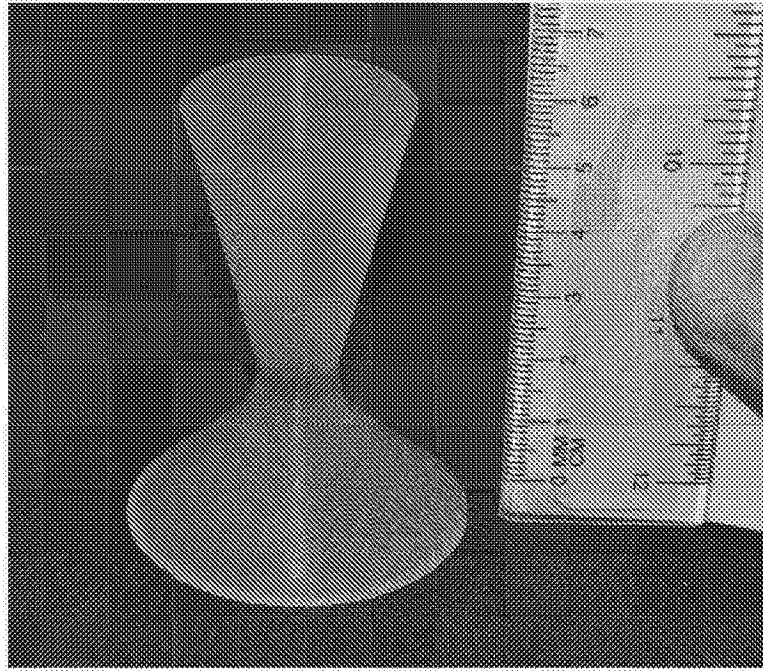


图16A

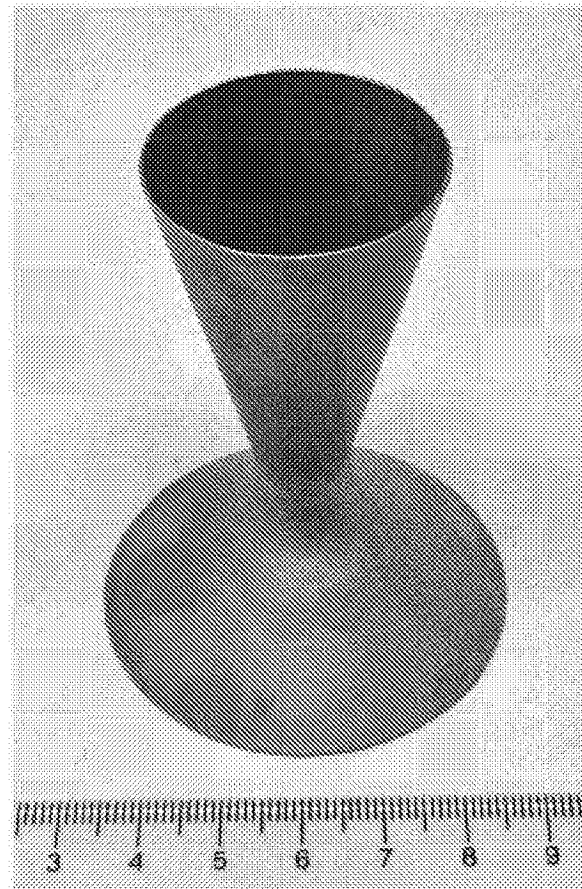


图16B