



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107635424 A

(43)申请公布日 2018.01.26

(21)申请号 201680017968.2

(22)申请日 2016.02.04

(30)优先权数据

1501834.4 2015.02.04 GB

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.09.25

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2016/050587 2016.02.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/125105 EN 2016.08.11

(71)申请人 牛津大学创新有限公司

地址 英国牛津郡,西方大道3号,巴克斯顿
公寓

(72)发明人 詹姆斯·库克

(74)专利代理机构 杭州千克知识产权代理有限公司 33246

代理人 裴金华

(51)Int.Cl.

A42B 3/12(2006.01)

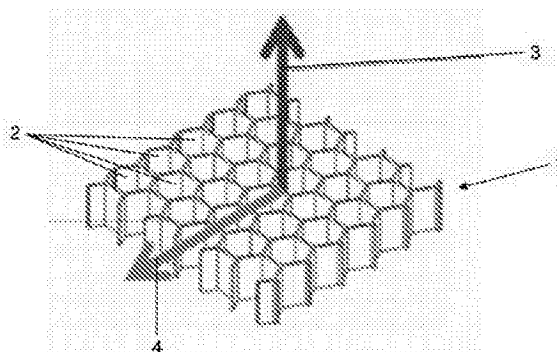
权利要求书2页 说明书15页 附图11页

(54)发明名称

一种吸震结构和具有这种结构的头盔

(57)摘要

一种吸震结构,包括形成为拉伸主导中空单元结构的整体材料,和一种头盔,包括以这种结构作为内部抗冲击衬垫。



1. 一种吸震结构,包括形成为拉伸主导中空单元结构的整体材料。
2. 如权利要求1所述的吸震结构,其中,所述中空单元结构的所有单元都是2D中空单元。
3. 如权利要求2所述的吸震结构,其中,所有的单元在平面外对齐。
4. 如权利要求1所述的吸震结构,其中,所述单元形成为微型桁架晶格。
5. 如权利要求1所述的吸震结构,其中,所述单元形成为晶格结构。
6. 如权利要求1至3任意一项所述的吸震结构,其中至少多个单元被配置为镶嵌。
7. 如权利要求6所述的吸震结构,其中,至少多个单元被配置为用与表面或平面外正交的单元轴镶嵌。
8. 如权利要求7所述的吸震结构,其中,至少多个单元是六边形。
9. 如权利要求7所述的吸震结构,其中,至少多个单元是三角形。
10. 如权利要求7所述的吸震结构,其中,至少多个单元是正方形。
11. 如权利要求7所述的吸震结构,其中,至少多个单元是在镶嵌体细工图案上共同定位的八边形和正方形的组合。
12. 如权利要求1至11任意一项所述的吸震结构,其中,所述整体材料的相对密度基本上在0.05和0.15之间。
13. 如权利要求12所述的吸震结构,其中,单元形状、大小、单元壁厚、单元宽度和单元长度可以相对于彼此自由地变化。
14. 如权利要求13所述的吸震结构,其中,单元壁厚与单元长度的比例非常小。
15. 如权利要求13或14所述的吸震结构,其中,单元壁具有为1mm的最大厚度。
16. 如权利要求1至15任意一项所述的吸震结构,其中,整体材料是聚合物材料。
17. 如权利要求16所述的吸震结构,其中,整体材料是弹性体。
18. 如权利要求16或17所述的吸震结构,其中,整体材料是弹塑性的和弹脆性的。
19. 如权利要求16至18任意一项所述的吸震结构,其中,整体材料是尼龙11。
20. 如权利要求16至18任意一项所述的吸震结构,其中,整体材料是ST弹性体。
21. 如权利要求16至18任意一项所述的吸震结构,其中,中空单元结构通过激光烧结制作而成。
22. 一种头盔,包括至少部分形成于如权利要求1至21任意一项所述的吸震结构的内部抗冲击衬垫。
23. 如权利要求22所述的头盔,进一步包括用于覆盖内部抗冲击衬垫的外壳。
24. 如权利要求23所述的头盔,其中,外壳至少部分由复合材料形成。
25. 如权利要求24所述的头盔,其中,外壳至少部分由热塑性材料形成。
26. 如权利要求23至25任意一项所述的头盔,其中,外壳上至少形成有一个排气槽。
27. 一种头盔衬垫,如本发明参照图6所描述的。
28. 一种头盔,如本发明参照图7所描述的。
29. 一种优化吸震结构的方法,用以改善冲击吸收,包括以下步骤:
 - (i) 选择材料;
 - (ii) 将材料形成为拉伸主导中空单元结构。
30. 如权利要求29所述的优化吸震结构的方法,其中,中空单元结构的所有单元都是2D

中空单元。

31. 如权利要求30所述的优化吸震结构的方法,其中,形成所有单元以便在平面外对齐。

32. 如权利要求30所述的优化吸震结构的方法,其中,单元形成为微型桁架晶格。

33. 如权利要求30所述的优化吸震结构的方法,其中,单元形成为晶格结构。

34. 如权利要求29至33任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,至少多个单元形成以便镶嵌。

35. 如权利要求34所述的优化吸震结构的方法,其中,至少多个单元形成以使用与表面或平面外正交的单元轴镶嵌。

36. 如权利要求35所述的优化吸震结构的方法,其中,中空单元形成为具有径向垂直于曲面的拓扑结构。

37. 如权利要求34至36任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,至少多个单元形成为六边形。

38. 如权利要求34至36任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,至少多个单元形成为三角形。

39. 如权利要求34至36任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,至少多个单元形成为正方形。

40. 如权利要求34至36任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,至少多个单元形成为在镶嵌体细工图案上共同定位的八边形和正方形的组合。

41. 如权利要求29至40任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,用这样的方法形成材料以至于形成的材料具有在0.05和0.15之间的相对密度。

42. 如权利要求41所述的优化吸震结构的方法,其中,形成单元以至于单元形状、大小、单元壁厚、单元宽度和单元长度可以相对于彼此自由地变化。

43. 如权利要求42所述的优化吸震结构的方法,其中,形成单元以至于单元壁厚与单元长度的比例非常小。

44. 如权利要求42或43所述的优化吸震结构的方法,其中,形成单元以至于单元壁具有为1mm的最大厚度。

45. 如权利要求29至44任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,整体材料是聚合物材料。

46. 如权利要求45所述的优化吸震结构的方法,其中,整体材料是弹性体。

47. 如权利要求46或44所述的优化吸震结构的方法,其中,整体材料是弹塑性的和弹脆性的。

48. 如权利要求45至47任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,整体材料是尼龙11。

49. 如权利要求45至47任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,整体材料是ST弹性体。

50. 如权利要求45至49任意一项所述的优化吸震结构的方法,其中,中空单元结构通过激光烧结制作而成。

一种吸震结构和具有这种结构的头盔

技术领域

[0001] 本发明涉及一种吸震结构。具体地,本发明涉及一种中空单元吸震结构。更具体地,本发明涉及一种形成为拉伸主导中空单元结构的吸震结构。本发明还涉及冲击表面弯曲的吸震结构,例如运动头盔或航空鼻保险杠,至少部分结构由中空单元吸震结构,甚至更具体地是由拉伸主导的中空单元吸震结构形成。

背景技术

[0002] 当人或物体遭受足够力量的冲击时,可能会发生人身伤害或物体损坏。为了生产提供保护而免受潜在破坏性和有害影响的材料和结构已经花费了相当大的努力。

[0003] 冲击保护对于防止头部受伤特别重要。对头部的打击可导致严重的创伤性脑损伤(TBI)。脑外伤的常发生是对头部的集中冲击,或颅内的突然加速/减速,或冲击和运动相组合的结果。创伤性脑损伤可引起长期问题,并且治疗方案有限。

[0004] 头部受伤最常见的原因之一是参加体育运动。例如,骑自行车时的坠落可能导致头部撞击牢固坚硬的物体或表面,例如路面或类似物。为了防止受伤,在诸如自行车,摩托车和骑马,攀岩,美式足球以及如滑冰、冰球和滑雪的冬季或冰上运动的许多运动中,头盔上午使用是习惯性的或强制的。头部受伤的另一个常见原因是建筑物或建筑工地上物体坠落造成的。

[0005] 运动头盔和安全帽是独立设计的,以至于特别适用于其特殊用途。然而,大多数或所有头盔具有共同的设计元素,例如硬外壳(由刚性热塑性塑料或复合材料形成)和衬里/衬垫,该衬里/衬垫要比外壳柔软,但仍然足够坚固以至于在不受到支撑时仍能保持其形状。通过组合,壳和衬垫起到吸收冲击力的作用,并有助于防止这种力传递到头部和脑部。几乎所有的头盔都使用发泡聚苯乙烯作为能量吸收衬垫。发泡聚苯乙烯形成为所需形状的整体结构(即没有间隙)。

[0006] 美国专利US 3447163描述并示出了摩托车骑士和/或赛车驾驶者使用的安全或防撞头盔。头盔具有形成为双层构件的外壳,外壳的双层构件通过没有锋利边缘的轻柔弯曲的周边部分围绕外壳的外围彼此连接,并且,层之间的空间包含蜂窝状材料层,蜂窝层的单元填充有能量吸收泡沫材料。

[0007] 美国专利US 7089602描述并示出了在硬壳体的外侧上具有用以减少冲击强度的增加冲击时间的层的吸震模块化头盔。这些层由均匀一致的吸震聚合物材料制成,聚合物层填充有空气或聚合物结构。这些吸震层也可以制成和用作独立的、可拆卸的外部保护罩,该保护套可以安装在硬质头盔上。

[0008] 美观专利US 6247186描述并示出了一种头盔,其具有壳体,与骑手头部匹配成形的内部抗冲击层,在壳体上空并与壳体一体成型的保护罩,以及由壳体和保护罩围绕的置于前方用于通风的腔室。该腔室在其前侧具有用于防止异物进入的网带,并且具有通过通道与头盔内部空间连通的一个或多个内部通道。使用中,新鲜空气流过通道并进入抗冲击层。

[0009] 运动头盔和安全帽通常必须长时间佩戴,头盔的重量是一个重要的设计考虑。在设计头盔时,在头盔的整体重量(和形状和尺寸)与吸震性能之间通常会有一个权衡。增加吸震材料的量将增加头盔的整体重量,并且也可能导致外部尺寸的增加,这反过来会使得佩戴头盔相对更笨重和不舒适,尤其是在空气动力学考虑也很重要。相反,如果头盔的吸震材料太少,则冲击保护可能会被削弱。

[0010] 诸如头盔中使用的泡沫通常是优异的能量吸收剂,因为它们具有长的平台应力,并且在大多数冲击中,该区域是恒定的,因此应力可以直接转化为力用于提供长的平台力。这意味着所有的能量都可以被吸收,同时保持低的峰值力和加速度,最大限度地减少脑损伤。然而,在椭圆形头盔中,冲击时的区域不是恒定的。

[0011] 在引用了专利说明书,其他外部文件或其他信息来源的本说明书中,这通常是为了提供讨论本发明特征的背景。除非另有明确说明,提及这些外部文件不应被解释为承认这些文件,或任何管辖区域的这些信息来源是现有技术,或者构成本领域普通知识的一部分。

发明内容

[0012] 本发明的一个目的是提供一系列优化的吸震结构以改善冲击吸收,或者至少为公众或企业提供一种有用的选择。本发明的另一个目的是提供一系列优化的吸震结构,其可用于通过减少对大脑的峰值加速度和力的作用并将能量引离大脑的脆弱区域来减少创伤性脑损伤,或者至少为公众或企业提供有用的选择。本发明的另一个目的是提供一种至少部分由优化的吸震结构形成的头盔,其通过减少对大脑的峰值加速度和力的作用并将能量引离大脑的脆弱区域来帮助减少创伤性脑损伤,或者至少为公众或企业提供有用的选择。本发明的另一个目的是提供一种优化吸震结构的方法,用以改善冲击吸收。

[0013] 本说明书和指示性独立权利要求中使用的术语“包括”意思是“至少部分组成”,并且旨在作为包容性而不是排他性术语。当解释本说明书中的每个陈述和包括术语“包含”的指示性独立权利要求时,也可以存在除该术语或术语之前的特征。相关术语如“包括”和“包括”将以相同的方式解释。

[0014] 如本文所用,术语“和/或”是指“和”或“或”,或者两者。

[0015] 如本文使用,名词后面加“(s)”是指名词的复数形式和/或单数形式。

[0016] 因此,第一方面,本发明可以广义的被认为包括吸震结构,其包括形成为拉伸主导中空单元结构的整体材料。

[0017] 在一个实施例中,基本上中空单元结构的所有单元都是2D中空单元。

[0018] 在一个实施例中,基本上所有的单元大体上在平面外对齐。

[0019] 在一个实施例中,单元形成为微型桁架格。

[0020] 在一个实施例中,单元形成为晶格结构。

[0021] 在一个实施例中,至少多个单元被配置为镶嵌。

[0022] 在一个实施例中,至少多个单元被配置为用与表面或平面外正交垂直的单元轴镶嵌。

[0023] 在一个实施例中,至少多个单元是六边形。

[0024] 在一个实施例中,至少多个单元是三角形。

- [0025] 在一个实施例中,至少多个单元是正方形。
- [0026] 在一个实施例中,至少多个单元是在镶嵌细工图案上共同定位的八边形和正方形的组合。
- [0027] 在一个实施例中,形成为相对密度基本上在0.05和0.15之间的整体材料。
- [0028] 在一个实施例中,单元形状,大小,单元壁厚,单元宽度和单元长度可以相对于彼此自由地变化。
- [0029] 在一个实施方案中,单元壁厚与单元长度的比例非常小。
- [0030] 在一个实施例中,单元壁具有约为1mm的最大厚度。
- [0031] 在一个实施例中,整体材料是聚合材料。
- [0032] 在一个实施例中,整体材料是弹性体。
- [0033] 在一个实施例中,整体材料是弹塑性的和弹脆性的。
- [0034] 在一个实施例中,整体材料是尼龙11。
- [0035] 在一个实施例中,整体材料是ST弹性体。
- [0036] 在一个实施例中,中空单元结构通过激光烧结制造。
- [0037] 第二方面,本发明可以广义的被认为包含头盔,该头盔包括至少部分形成于前述任何一个声明所述的吸震结构的内部抗冲击衬垫。
- [0038] 在一个实施例中,头盔进一步包括用于大体上覆盖内部抗冲击衬垫的外壳。
- [0039] 在一个实施例中,外壳至少部分由复合材料形成。
- [0040] 在一个实施例中,外壳至少部分由热塑性材料形成。
- [0041] 在一个实施例中,外壳中至少形成有一个排气槽。
- [0042] 第三方面,本发明可以广义的被认为包括一种优化吸震结构以改善冲击吸收的方法,包括以下步骤:
- (i) 选择材料;
 - (ii) 将材料形成为拉伸为主的中空单元结构。
- [0043] 在该方法的一个实施例中,基本上中空单元结构的所有单元都是2D中空单元。
- [0044] 在该方法的一个实施例中,基本上形成所有的单元以便大体上在平面外对齐。
- [0045] 在该方法的一个实施例中,单元形成为微型桁架格。
- [0046] 在该方法的一个实施例中,单元形成为晶格结构。
- [0047] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成以便镶嵌。
- [0048] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成以使用与表面或平面外正交的单元轴镶嵌。
- [0049] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成为具有径向传播至曲面的拓扑结构。
- [0050] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成为六边形。
- [0051] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成为三角形。
- [0052] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成为正方形。
- [0053] 在该方法的一个实施例中,至少多个单元形成为在镶嵌细工图案上共同定位的八边形和正方形的组合。
- [0054] 在该方法的一个实施例中,材料用这样的方法形成以至于形成的材料具有基本上

在0.05和0.15之间的相对密度。

[0055] 在该方法的一个实施例中,形成单元以至于单元形状,大小,单元壁厚,单元宽度和单元长度可以相对于彼此自由地变化。

[0056] 在该方法的一个实施例中,形成单元以至于单元壁厚与单元长度的比例非常小。

[0057] 在该方法的一个实施例中,形成单元以至于单元壁具有大体上为1mm的最大厚度。

[0058] 在该方法的一个实施例中,整体材料是聚合材料。

[0059] 在该方法的一个实施例中,整体材料是弹性体。

[0060] 在该方法的一个实施例中,整体材料是弹塑性的和弹脆性的。

[0061] 在该方法的一个实施例中,整体材料是尼龙11。

[0062] 在该方法的一个实施例中,整体材料是ST弹性体。

[0063] 在该方法的一个实施例中,中空单元结构通过激光烧结制造。

[0064] 关于上述描述,应当认识到,本发明部件的包括尺寸,材料,形状,形式,功能和操作方式,组装和使用的变化的最佳尺寸关系对本领域技术人员来说是显而易见的,并且附图中所示和说明书中描述的所有等效关系旨在包括在本发明中。

[0065] 本发明还可以广义的包括在应用说明书中单独地或集中地引用或指出的部件、元件和特征,以及任意两个或多个所述部件、元件或特征中的任意或所有组合,其中在本文中提及到在本发明所涉及领域中具有已知等同物的特定整数,这些已知的等同物被视为并入本文,如同单独阐述。

[0066] 因此,上述被认为仅是本发明的原理说明。此外,由于本领域技术人员会容易想到许多修改和变化,所以不希望将本发明限制于所示和所描述的精确结构和操作,因此,可以采用本发明范围内的所有适当的修改和等效方式。

附图说明

[0067] 通过仅通过示例的方式给出的和参照附图给出的描述,本发明的其它方面将变得显而易见,附图通过示例的方式示出了装置的实施例,并且其中:

图1A-C示出了形成部分多孔固体的单个单元的示意图,示出了该单元与相邻单元共享的接头j和支柱s,支柱s形成包围单元的周围面;图1A示出了接头被锁定且框架在结构装载时弯曲的弯曲主导结构,如图1B和1C所示的拉伸主导结构,其中构件在装载时承载张力或压缩,提供更高的模量和强度。

[0068] 图2A和2B示出了依照对立于相对密度 ρ/ρ_s 的相对模量 E/E_s 和相对强度 σ/σ_3 总结拉伸和弯曲主导结构之间差异的图。

[0069] 图3示出了根据本发明的实施例的蜂窝状中空单元结构的从上向下和向侧面的立体图。

[0070] 图4示出了从图3的中空单元结构的正上方的俯视图。

[0071] 图5示出了六边形单元的周期晶格的一部分,示出了该拉伸主导结构的接头/和支柱s的位置。

[0072] 图6示出了自行车头盔的内部抗冲击衬垫一侧的透视图,内部抗冲击衬垫是由类似于图3,4和5所示的中空单元结构形成,该衬垫成形为跟随并基本上符合使用者头部的顶部。

[0073] 图7示出了图3的内部抗冲击衬垫的正后方的透视图,其中外壳覆盖内部抗冲击衬垫,形成在外壳中的排气槽允许空气在内部抗冲击衬垫内流通。

[0074] 图8示出了用于测试中空单元结构样品的测试台的正面和一侧的透视示意图。

[0075] 图9是显示一系列测试样品的头部伤害标准(HIC)和峰值加速度的曲线图。

[0076] 图10至图12示出了根据本发明的实施例的后续测试的蜂窝状中空单元结构的测试样品,每个样品具有不同的相对密度,图10示出了在相对密度为0.111的脆性破坏,图11示出了在相对密度为0.143的塑性功,图12示出了相对密度为0.25的线性弹性变形。

[0077] 图13示出了一系列测试材料和条件下的每体积能量与峰值加速度的关系图。

[0078] 图14示出了由尼龙11,弹性体和可发性聚苯乙烯形成的测试片的加速度与时间和力与位移的关系图。

具体实施方式

[0079] 现在将参考附图描述本发明的实施例。如上文背景技术部分所概述,某些结构是已知的适用于冲击吸收。然而,尚未完全了解如何将其结构化以优化冲击吸收性能。下面列出了优化的结构以提高冲击吸收的实例。这些可用于形成旨在减少创伤性脑损伤的物品,如自行车头盔。还描述了优化结构以改善冲击吸收的方法。

[0080] 以前,在评估头盔或类似的吸震结构中的能量耗散时,假定衬垫泡沫对消散冲击能量负全责。反作用力由泡沫的抗压强度决定。假设泡沫晶格在其密实化应变上具有平坦的平台抗压强度。然而,如果压缩区域在区域上是均匀的,则泡沫仅提供理想的力-位移曲线。在诸如具有大致卵形形状的头盔的弯曲结构中,冲击区域或挤压区域不是恒定的,或平面的:接触面积随位移而增加。这导致反作用力也增加。此外,如果弯曲的头盔表面冲击另一个曲面,则力-位移梯度将进一步减小。其结果是,泡沫衬垫需要更厚,以便通过将峰值加速度保持在安全立法之下来提供足够的能量吸收。由于固有的弯曲接触表面,泡沫一致的平台应力将效力限制为用作曲面结构时(例如在头盔中)的能量吸收结构。另一个假设是衬垫作为整体结构形成(即没有间隙)。

[0081] 如下所述,可以创建一种结构,该结构的刚度和强度较高,否则将会创建结构为由诸如泡沫形成的整体结构,对于给定相对密度 ρ/ρ_s (其中 ρ 是泡沫的密度和 ρ_s 为基体材料的密度),并且这允许每体积消耗更多的能量。当接触面积非常小并具有与接触面积的增加成比例的渐进后屈服软化时,也可以创建提供初始高强度的结构。

[0082] 这通过形成例如拉伸主导的中空单元结构的吸震结构来实现,例如微型桁架格或平面外蜂窝。

[0083] 这种类型的结构中,变形机理涉及“硬”模式,例如压缩和拉伸而不是弯曲。对于与泡沫相同的相对密度,拉伸主导结构具有相对高的模量和屈服应力。这将在下面讨论。

[0084] 在拉伸主导的中空单元结构中,屈服应力由于局部塑性屈曲和支柱的脆性破坏而发生。这也被称为分叉点,因为结构变得不稳定并且接着产生后屈服软化方案。

[0085] 在密实化应变(ϵ_d)下,应力急剧上升,这可以由以下公式算出:

$$\epsilon_d = 1 - \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right) / \left(\frac{\rho_{crit}}{\rho_s} \right)$$

其中 ρ 为结构的密度和 ρ_s 基体材料的密度,其中 s 是结构锁定的相对密度(或固体体积分数)。

[0086] 除了轻量化和通风,使用中空单元拉伸主导结构作为吸震结构有两个潜在的主要优点。首先,后屈服软化抵消了在更均匀的平台力下椭圆形头盔消散能量的面积增加。其次,对于给定的屈服应力,拉伸主导结构的相对密度可以更低,从而提供更大的致密化应变,并因此增加在相同位移消散的势能。

[0087] 拉伸主导结构的一种特定形式是多孔固体。多孔固体由形成单元边缘和面的实心支柱或板的相互连接的网络构成。通常,多孔固体的机械性能可以通过弯曲(泡沫)和拉伸(晶格)主导机制来区分。麦克斯韦稳定性标准用于区分弯曲和拉伸主导结构。多孔固体可以被认为通过支柱连接的接头,其包围环绕单元的面,如图1所示。

[0088] 面上的材料效应通过常量使结构变硬。在图1A中,当框架被压缩时,其在负载方向上没有刚度或强度。如果接头被冻结(锁定),则图1A中的框架将在结构负载时弯曲,并且可以称为弯曲主导结构。在图1B和1C中的拉伸主导结构中,当负载时,构件承受张力或压缩,提供更高的模量和强度。这在图2A和2B中示出,其根据对立于相对密度 ρ/ρ_s 的相对模量 E/E_s 和相对强度 σ/σ_3 总结了拉伸和弯曲主导结构之间的差异。图1A和1B的结构中,结构承受自应力,意味着即使结构不承受外力的情况下支柱也承受应力(这在图1C中是普遍的)。例如,如果垂直支柱缩短,则将其他支柱拉入压缩状态。

[0089] 使用拉伸主导结构作为吸震结构的两个主要优点如下:首先,后屈服软化抵消了在更均匀的平台力下椭圆形头盔消散能量的面积增加;其次,对于给定的屈服应力,拉伸主导结构的相对密度可以更低,从而提供更大的致密化应变,并因此增加在相同位移消散的势能。这在附录E中详细讨论。

[0090] 在下面描述的实施例中,吸震结构形成为晶格-即互相连接的中空单元。此外,为了简化加工,描述了一种周期性晶格(即,单元规则的形状和尺寸)。使用六角形单元,因为这种形状具有最大数量的边,并且其仍将整齐地镶嵌-即不需要第二形状来填充间隙(例如,如果选择正八边形格子,则规则的正方形将是固有的)。六角形蜂窝状单元对于每个对于具有最高数量的单元壁,因此具有最低的连接性,其已被证明在高比强度下是有效的。

[0091] 其他形状(例如三角形和正方形)也将镶嵌,但具有较少的边。然而,侧面的数量已被证明与结构的每单位质量(SAE)的耗散能量正相关。

[0092] 上述晶格结构的类型通常可以描述为2D中空单元结构。在本说明书中提及的那些,这表示具有以具有深度的方式形成的结构单元的三维结构,但是结果是,当以某一角度观察时,单元将具有均匀或完全相同的垂直于视角的任何位置的横截面。也就是说,在任何位置截取的横截面与在任何其他位置截取的截面相同。例如,从平面图或从上方观察的蜂窝状单元结构将会提供单元的任意深度的一致的横截面。这可以转化成弯曲形状,例如形成头盔所需的卵形形状。当从向内朝向内部中心的任何特定点观察时,单元将看起来与从向内朝向内部中心的另一点观察的单元相同。

[0093] 应该指出,形成为拉伸主导结构的其他类型的结构也将提供相同的优点。例如,也可以形成诸如桁架结构或类似于晶格结构的3D拉伸主导结构,这将提供相同的冲击吸收益处。

[0094] 如图3和图4所示,本发明的第一实施例中使用的中空单元拉伸主导结构1是形成

蜂窝结构的整体材料。优选的是,单元是六边形的,如六角形单元2,例如在中空单元结构1中使用的那些单元,因此形成一种结构,该结构中的每个单元壁与相邻单元共有。

[0095] 由六角形单元形成的网格还提供了整体网格密度(材料总量),单元壁材料的布局/位置以及单元壁所包围的空白空间之间的平衡。也就是说,通过在给定平面或弯曲表面上分布的单元壁,尽可能均匀地形成细分,没有过量的焦点区域或超大的未覆盖区域来实现镶嵌。

[0096] 六角形蜂窝体通过应用麦克斯韦标准可被认作拉伸主导结构:

$$M_{\text{honeycomb}} = 30 - 3 \times 12 + 6 = 0$$

图4示出了六边形单元的周期性晶格的一部分,展示了这种拉伸主导结构的接头*j*和支柱*s*的位置。

[0097] 在实际应用中,当遇到冲击时,蜂窝状结构将面临平面内和平面外的装载。诸如六边形中空单元结构1的拉伸主导结构通常在平面或片状形式中使用,平面的或弯曲的,并且由中空单元结构接收的冲击具有直接插入垂直于冲击点的平面的主力分量。也就是说,在图1中的平面外箭头3相反的方向上。然而,正如所指出的,经常会有一个与之成一个角度的力分量,而这个背后的理论在附录C中有详细的讨论。

[0098] 诸如中空单元结构1的拉伸主导结构的冲击吸收性能由用于形成结构的材料和结构的具体几何形状决定:即如图4所示单元尺寸,单元壁厚度,单元宽度和单元长度。

[0099] 如果用于诸如头盔的吸震结构中,设计晶格以至于单元的轴向部分总是垂直于头部的表面。这是非常重要的,因为随着冲击角度远离单元轴向部分的垂线的增加,蜂窝体的抗压强度会削弱。

[0100] 如果单元尺寸是已知的,则可以使用以下所示的等式计算中空单元相对密度(或固体体积分数)的值:

$$\frac{\rho^*}{\rho_s} = \left\{ \frac{\frac{h}{l} + 2}{2 \times \left(\frac{h}{l} + \sin \theta \right) \cos \theta} \right\} \frac{t}{l} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{t}{l} \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{t}{l} \right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{t}{l}$$

对于本发明所述的蜂窝状结构1的具体实施方案,h等于1,θ为30°,并且单元壁厚度(t)与单元长度(l)的比率非常小。

[0101] 中空单元结构1建议用在自行车头盔中。在本实施例中用于制造中空单元结构1的材料是尼龙11和ST弹性体。这是一种容易获得的材料,其材质轻,易成型和可延展,因此适合或至少类似于用于大量制造头盔的材料类型。

[0102] 通过增量制造技术制造中空单元结构1。该过程在附录B中简要描述。

[0103] 测试按照附录A和附录D的详细说明进行,目的是确定在受到冲击试验时变化的蜂窝状中空单元结构1(这种类型的结构也称为“平面外蜂窝体”)的相对密度如何影响中空单元结构1。如附录A所示,通过将单元尺寸从最小值6mm和最大值为20mm之间变换使得相对密度在0.1至0.33之间变化,同时将壁厚保持在恒定值1mm。

[0104] 结果表明,由于附录A和附录D的“冲击测试结果”部分中概述的原因,对于该材料以及在测试期间使用的特定单元/晶格尺寸和形状,最佳相对密度的可接受范围在0.125和0.175之间。结果表明,单元尺寸,单元壁厚度,单元宽度和单元长度可以相对自由地变化,

只要相对密度在0.03和0.17之间,则结构将提供优化的冲击吸收性能。

[0105] 如“背景”部分所述,头盔设计通常是头盔的整体重量与吸震性能之间的权衡。基于附录A和附录D中详细测试的结果,使用与由外壳6覆盖的、尼龙12或相似材料制造的内部抗冲击衬垫7(形成为六边形中空单元拉伸主导结构)相同或类似的结构构造的图3和图4所示头盔5的头盔将提供能够满足和超过冲击吸收的相关标准的轻质结构,特别是BS EN 1078。测试结果表明,弹塑性蜂窝体的EPV比典型的发泡聚苯乙烯头盔要高3倍。图13和14所示的实验结果曲线清楚地表明了这一点。原因可概括如下:

- 拉伸主导结构依靠通过压缩和张力的“硬”变形模式。随着应力响应随着面积增加而柔化,实现了长的平台力。

[0106] · 拉伸主导结构对于相同的相对密度具有较高的比强度,因此随着拉伸主导结构的相对密度较低,可以增加致密化应变。

[0107] · 所有拉伸主导结构具有相似的力学响应。因此,吸震结构可以由任何合适的材料形成并且以任何形状和尺寸(例如所有蜂窝状拓扑结构和材料)形成,并且仍将提供如上所述的优点。

[0108] 如上所述,本说明书中提及的2D中空单元,这表示具有以具有深度的方式形成的结构单元的三维结构,但是结果是,当以某一角度观察时,单元将具有均匀或完全相同的垂直于视角的任何位置的横截面。也就是说,在任何位置截取的横截面与在任何其他位置截取的截面相同。例如,从平面或从上方观察的蜂窝状单元结构将会提供单元的任意深度的一致的横截面。还应该注意的,当一种结构被称为“拉伸主导”时,这是依据本文所概述的麦克斯韦标准。还应该注意的,短语“相对密度”和“固体体积分数”本质上具有相同的含义,并且在本说明书中是可交换使用。

[0109] 附录A-测试方法和结果

通过选择性激光烧结由尼龙12制造一系列中空单元结构。每个样品的横截面的面积为 100cm^2 ,深度为10cm。

[0110] 使用跌落试验进行测试。将重7.21kg的铝合金头部模型垂直落下1.48m的距离到样品上。使用手柄释放样品,并使用图8所示的试验台上的导板进行定向。

[0111] 在头部模型的质心位置放置单轴加速度计。LabView中的采样率设置为1000Hz。

[0112] 发现在0.125和0.23之间的相对密度将通过本测试中的相关英国标准。在0.15左右的相对密度下,峰值加速度降至最大阈值的53%。随着相对密度的增加,结果的一致性也随之增加。头部伤害标准HIC由后处理软件Diadem[®]计算,头部性能指标值具有与峰值加速度相似的趋势线。

[0113] 根据结果(见下表,和图9),对于相对密度为0.15的蜂窝体,将发生AIS 3级(中度)的损伤,同时严重头部损伤的风险将最小化为5%。在英国标准阈值下,会发生AIS 4级(严重)的损伤,同时严重损伤的风险将增加到24%。

[0114] 结果表明最佳相对密度在0.125和0.175之间。图10,11和12分别示出了相对密度为0.111,0.143和0.25的变形模式。样品8显示出具有塑性变形的破裂对,这似乎是最有效的变形形式。对于0.33的相对密度,没有观察到永久变形模式,表明只发生线性行为。

[0115] 头部伤害标准(HIC)用于测量冲击测量造成的头部受伤的可能性。HIC是目前应用最广泛的脑损伤计算预测因子。HIC在该加速度下绘制了头部的平移加速度与持续时间的

关系图。

[0116] 六边形单元结构优化

通过改变相对密度和单元高度,研究在平面外的弹性体和弹塑性六边形蜂窝状结构的冲击性能。将这些结果与从常规自行车头盔衬里切割的泡沫截面进行比较。

[0117] 在一个落锤体系中,使用镶边石形状作为冲击投射。蜂窝体的几何参数在每个冲击范围内变化:单元宽度,单元壁厚度,单元高度和单元衬垫。每个蜂窝体样品具有100mm×100mm的恒定横截面积,并且被放置以至于单元壁总是沿着试验台原理图所示的z方向轴向。将0.375mm,0.5mm,1mm和2mm厚度的聚碳酸酯片放置在样品的顶部以代表壳。为了测试可发泡性聚苯乙烯材料,将头盔分成九个部分,每个部分的表面积与蜂窝状结构大致相同。由于可发泡性聚苯乙烯部分不平整,所以将硬质聚乙烯填充物成型以提供弯曲支撑体。质量为5公斤的镶边石铁砧的冲击速度为 $4.57 \pm 0.1 \text{ms}^{-1}$ 。

[0118] 使用滴注塔来重复1078标准的能量吸收测试。使用2000帧/秒的高速摄影技术来追踪铁砧的冲击力并记录蜂窝状结构的响应。在撞击前使用15 mm的轻量级触发器触发高速摄像机。撞击铁砧连接到悬挂在刚性笼中的杆,确保其仅能够在z轴上行进。当铁砧和杆撞击时,刚性笼将继续自由移动,直到与减震器接触。

[0119] 由于泡沫理论上具有恒定的平台应力,所以力与位移成比例地增加。

[0120] 常用的头部伤害标准用于分析潜在脑损伤的可能性。头部伤害标准(HIC)是对减速度的大小和持续时间的测量,高于 $750-1000 \text{s-g}^{2.5}$ 表示严重伤害的16%风险。下表表示通过测试不同材料样品找到的“最佳”结构s。

材料&结构	时间周期 (ms)	HIC ($\text{sg}^{2.5}$)
弹性体蜂窝体	2	54
	5	247
	10	431
可发泡性聚苯乙烯	2	18
	5	70
	10	148
尼龙 11 蜂窝体	2	5
	5	21
	10	44

[0121] 上表列出了2、5和10 ms的EPS泡沫,弹性体蜂窝体和弹塑性(PA11)蜂窝的HIC值。这三个变化显示了PA11异常低的HIC值,最低HIC值为44。当头盔被调节到安全立法给定的+50 °C和-20 °C时,预计会得到更高的HIC值。加速度的大小和持续时间之间的关系已被证明在造成脑损伤方面是重要的。韦恩州立耐受曲线(WSTC)用于绘制冲击持续时间的大小,红色的阈值曲线描述了大脑的致命耐受限度。弹性体,PA11蜂窝和EPS泡沫的标准冲击曲线绘制在WSTC上。所有曲线均低于致命阈值。有趣的是,EPS始终是离极限值最远的,这表明缓

慢的渐变力位移曲线可以更有效地预防脑损伤。然而,与PA11相比,其加速持续时间几乎是两倍。

[0122] 每体积能量吸收 (EPV) 是从在结构的最大位移体积上投射时损失的动能的量,通过使用数字图像相关性来测量。在更高的EPV下,该结构在相同的体积上消耗或储存更多的动能。这也等同于Gibson和Ashby用于创建连续能量吸收图的应力-应变曲线的积分。

[0123] 对于等同于EPS的EPV,最佳峰值加速度降低了60%以上,突出了头盔的这种类型的结构和材料的适用性。很明显的,相对密度高于0.15的弹塑性(尼龙11)蜂窝状结构过硬,并以极高的峰值加速度进行响应,例如在0.33密度下,获得了650g的峰值加速度。然而,在大约0.1密度(蓝色)下,峰值加速度与EPS相似,但是具有三倍大的EPV。尼龙11蜂窝体的响应是塑性弯曲和单元壁破裂。

[0124] 激光烧结PA 12显示出应变速率和温度依赖性,证实聚合物是无定形的。能量密度高于 $0.37\text{J}/\text{mm}^2$ 时,机械性能在低,中,高应变速率下变差。 $\omega/3$ 转变可以在约 1000s^{-1} 和 -50°C 下发现,在 T_g 和 $\omega/3$ 之间存在自然温度依赖性。

[0125] 如附录B所述,通过增量制造技术将弹性体和弹塑性材料制成蜂窝状结构。在安全立法冲击条件下和,结构在平面外受到冲击,并与自行车头盔中截取的发泡聚苯乙烯部分进行比较。弹性体蜂窝体呈弹性屈曲变形,同时弹塑性蜂窝体通过局部塑性铰链和单元壁破裂塑性屈曲。弹性体蜂窝体和EPS泡沫显示非常相似的力-位移曲线,其中力与位移成比例。然而,弹塑性蜂窝体获得在样品上保持的较高的初始力,这意味着冲击能量在更短的持续时间内以较低的峰值载荷消散。通过头部性能指标分析了三种不同机制的加速度-时间曲线,其中弹塑性蜂窝体达到预测头部损伤的最低值,并且在韦恩州立耐受曲线内。当绘制峰值加速度的每体积能量吸收 (EPV) 时,发现弹塑性蜂窝体的EPV比发泡聚苯乙烯头盔要高3倍。

[0126]

测试数据汇

材料	材料										材料										
	厚度 (mm)	长度 (mm)	宽度 (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	弹性模量 (GPa)	泊松比	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	伸长率 (%)	冲击功 (J)	硬度 (HV)	疲劳强度 (MPa)	蠕变率 (%)	热膨胀系数 (1/K)	热导率 (W/mK)	电导率 (S/m)	磁导率 (H/m)	介电常数	热稳定性	
1.01	2.2	18.5	18.5	18.5	1	0.05	0.063	30	20	11.25	1.2	4.62	53.361	22	15	433.2					
1.02	3.0	17.3	17.3	17.3	1	0.06	0.067	30	20	11.7	1.2	4.62	53.361	22	15	433.2					
1.03	2.8	16.2	16.2	16.2	1	0.06	0.071	30	20	10.8	1.2	4.62	53.361	22	15	433.4					
1.04	2.6	15.0	15.0	15.0	1	0.07	0.077	30	20	13.5	1.2	4.62	53.361	22	15	433.0					
1.05	2.4	13.9	13.9	13.9	1	0.07	0.083	30	20	14.6	1.2	4.62	53.361	22	15	467					
1.06	2.2	12.7	12.7	12.7	1	0.08	0.091	30	20	15.8	1.2	4.62	53.361	22	15	462.8					
1.07	2.0	11.5	11.5	11.5	1	0.09	0.100	30	20	17.5	1.2	4.62	53.361	22	15	401.6					
1.08	1.8	10.4	10.4	10.4	1	0.10	0.111	30	20	19.5	1.2	4.62	53.361	22	15	94.6					
1.09	1.6	9.2	9.2	9.2	1	0.10	0.111	30	20	19.5	1.2	4.62	53.361	22	15	102.3					
1.1	1.4	8.1	8.1	8.1	1	0.10	0.111	30	20	18.5	1.2	4.62	53.361	22	15	114.3					
1.12	2.0	11.5	11.5	11.5	1	0.09	0.100	30	15	17.5	1.2	4.62	53.361	22	15	134.2					
1.13	2.2	12.7	12.7	12.7	1	0.08	0.091	30	15	15.8	1.2	4.62	53.361	22	15	143.5					
1.17	3.0	17.3	17.3	17.3	1	0.10	0.111	30	20	19.5	1.2	4.62	53.361	22	15	186.9					
1.18	2.6	15.0	15.0	15.0	1	0.11	0.125	30	20	21.9	1.2	4.62	53.361	22	15	187.0					
1.19	1.8	8.1	8.1	8.1	1	0.12	0.148	30	20	25.0	1.2	4.62	53.361	22	15	238.1					
1.2	1.2	6.9	6.9	6.9	1	0.14	0.167	30	20	29.8	1.2	4.62	53.361	22	15	268.5					
1.21	1.0	5.8	5.8	5.8	1	0.17	0.203	30	20	35.0	1.2	4.62	53.361	22	15	295.6					
1.22	0.8	4.6	4.6	4.6	1	0.22	0.280	30	20	43.8	1.2	4.62	53.361	22	15	387.8					
1.23	0.6	3.5	3.5	3.5	1	0.25	0.333	30	20	56.4	1.2	4.62	53.361	22	15	617.9					
1.24	0.4	19.6	19.6	19.6	2	0.10	0.118	30	20	20.6	1.2	4.62	53.361	22	15	237.8					
1.25	0.2	21.9	21.9	21.9	2	0.09	0.105	30	20	18.4	1.2	4.62	53.361	22	15	184.5					
1.26	0.2	24.2	24.2	24.2	2	0.08	0.095	30	20	16.7	1.2	4.62	53.361	22	15	143.2					
1.01	2.0	15.0	15.0	15.0	1	0.07	0.077	30	20	14.2	1.2	4.62	53.361	22	15	957.6					
1.02	2.4	13.9	13.9	13.9	1	0.07	0.083	30	20	15.0	1.2	4.62	53.361	22	15	612.2					
1.03	2.2	12.7	12.7	12.7	1	0.08	0.091	30	20	16.7	1.2	4.62	53.361	22	15	504.0					
1.04	2.0	11.5	11.5	11.5	1	0.09	0.100	30	20	17.5	1.2	4.62	53.361	22	15	476.3					
1.05	1.8	10.4	10.4	10.4	1	0.10	0.111	30	20	20	1.2	4.62	53.361	22	15	280.7					
1.06	1.6	9.2	9.2	9.2	1	0.11	0.125	30	20	21.9	1.2	4.62	53.361	22	15	326.7					
1.07	1.4	8.1	8.1	8.1	1	0.12	0.143	30	20	25.0	1.2	4.62	53.361	22	15	355.5					
1.08	1.2	6.9	6.9	6.9	1	0.14	0.167	30	20	29.1	1.2	4.62	53.361	22	15	382.5					
1.09	1.0	5.8	5.8	5.8	1	0.17	0.187	30	20	34.9	1.2	4.62	53.361	22	15	375.1					
1.1	0.8	4.6	4.6	4.6	1	0.22	0.250	30	20	43.7	1.2	4.62	53.361	22	15	391.8					

附录B-增量制造技术

增量制造技术提供了一种创建复杂几何形状的快速过程,这与传统的减法/形成方法相比将不可能或非常昂贵。增量制造技术通过直接通过逐层累积材料构建计算机辅助设计

来工作。激光烧结是增量制造技术的一种形式,由此将薄层粉末堆积在预热的构建区域上,然后使用CO₂激光来选择性地固化粉末。选择激光烧结作为制造六边形结构的工序,因为具有较高的机械性能。激光烧结仍然是一个相对较年轻的制造技术,需要一个特定的热窗才能固化,所以仅有一些材料可供选择。然而,可以通过使用一系列不同加工条件来改变微结构。

[0127] 激光烧结的机械性能可部分归因于颗粒熔融体(DPM)的程度,其定义了烧结固结的量变化。

[0128] 附录C-平面内和平面外力学的讨论

平面内

在压缩过程中,单元壁初始弯曲,产生线性弹性。但是当达到临界应力时,单元开始坍塌:弹性材料的坍塌是由于单元壁的弹性屈曲,所以是可恢复的;在具有塑性屈服点的材料中,是由于在弯曲构件的最大力矩部分处的塑料铰链的形成;在脆性材料中,是由于单元壁的脆性破裂;后面两个是不可恢复的。

[0129] 最终,在高应变下,单元充分坍塌,使得相对的单元壁接触(或破碎的碎片包裹在一起)并进一步的变形压缩单元壁材料本身。这给出了称为致密化的应力-应变曲线的最终的,急剧上升的部分。

[0130] 平面外

在压缩过程中,单元壁最初轴向压缩,使得杨氏模量随着相对密度线性变化,而泊松比是固体的。在弹性体材料中,一旦弹性体被卸载,蜂窝体恢复弯曲(通常由于能量通过热损失会出现滞后效应),单元壁就会弯曲。塑性材料具有屈服点,之后,通过局部塑料铰链(单元壁弯曲)发生永久变形。陶瓷材料通常由于单元壁破裂而失效。

[0131] 用于收集测试结果的蜂窝材料是激光烧结粘弹性聚酰胺和弹性体。聚合物的塑性和破裂取决于温度和应变速率。在较低温度下($T \ll T_g$),聚合物是线性弹性破裂。在较高温度下($T \approx 0.8T_g$),破坏模式从脆性变为塑性,通过屈服点表征。破坏机理图分别用于总结无定形聚合物和弹性体中的塑性和破裂响应。

[0132] 对于弹性体,如果单元壁受到平行于单元面的约束,则弹性屈曲载荷由欧拉屈曲的柱公式决定:

$$P_{critical} = \frac{KE_s t^3}{(1-\nu_s^2) l}$$

常数K是约束约束因数,通常等于4。如果单元高度大于 $l (> 3l)$,则K与单元高度无关。单层壁 t 在达到初始坍塌载荷 P_{crit} 后将保持相同的载荷,总坍塌载荷为 $6P_{crit}$ 除以装载横截面积:

$$\sigma_{el} = 5.2 \cdot E_s \left(\frac{t}{l}\right)^3$$

其中 σ_{el} 是弹性屈曲应力,5.2是从规则蜂窝体的单元几何形状中发现的值,其中 ν_s 假设定为0.3。

[0133] 对于弹塑性材料,Wierzbicki发现,在压缩中,最低的塑性坍塌强度(最可能发生)是由于塑性屈服。塑性弯曲通过单元壁的永久旋转消散能量。Wierzbicki基于分离单元壁得出近似值。具有均匀壁厚 t 的规则六边形的塑性破坏应力为:

$$\sigma_{cr} = 0.6 \cdot \sigma_{ys} \left(\frac{t}{l} \right)^{2/3}$$

其中 σ_{ys} 为屈服应力。

[0134] 在脆性材料中,如果净截面应力 σ_3 超过单元壁固体的拉伸断裂强度 σ_{fs} ,则蜂窝体在拉伸中会失效。脆性固体在压缩中比在拉伸中更强,因为压缩应力闭合最终确定强度的小裂纹或缺陷。但是即使它们闭合,这些缺陷也可以切断并且该切断集中在以仍将导致破裂的方式的应力上。其结果是,实验发现,在平面外单元壁的破碎强度 σ_{cr} 是破坏强度的12倍以上。

$$\sigma_{cr} = 12 \cdot \sigma_{fs}$$

[0135] 通过能量吸收图分析诸如泡沫的弯曲主导结构。每单位体积吸收的能量 W 由下面图(a)中应力-应变曲线下的面积给出。

[0136] 在弹性体材料中,破坏机制是弹性屈服,因此大部分能量被弹性地储存。在塑性和脆性材料中,能量被弹性地储存直至屈服点,此后,能量通过塑性弯曲或单元壁破裂消散。在图(a)中,当我们沿着应变轴移动时,吸收能量的量 W (消散或储存)的增加,峰值应力 σ_p 几乎没有变化。在致密化时,峰值应力急剧上升, W 几乎没有变化。通过利用该曲线的肩部,即对于给定峰值应力,吸收尽可能多的能量,来实现泡沫能量吸收性能的最佳使用。不同泡沫密度的肩部的包络绘制在图(b)中。在特定的应变速率和温度下,该包络描述了 W 和 σ_p 之间的关系,以选择最佳相对密度。

[0137] 能量吸收图的建模可用于弹性体和线性弹性区域非常小的弹塑性材料。弹性体和弹塑性材料的建模过程是相同的,最终的方程式是以下形式:

$$\frac{W_{max}}{E_s} = \frac{\sigma_D}{E_s} \left(1 - 6.26 \left(\frac{\sigma_D}{E_s} \right)^{1/2} \right)$$

其中 σ_D 是致密化应力,其对于弯曲主导结构被假定与平台应力在相同水平。 W_{max} 是可吸收的最大能量。上面开发的方程式表明 $\frac{W_{max}}{E_s}$ 仅取决于 $\frac{\sigma_D}{E_s}$ 和 $\frac{\sigma_p}{E_s}$,也就是说,图表描述了所有密度和材料特性的泡沫胶。

[0138] 附录D-材料特性和六边形单元结构优化

如果用于能量吸收,蜂窝材料的响应是至关重要的,因为它可以经受各种冲击速度和温度条件。为了理解不同激光烧结加工条件下的应变速率和温度依赖性进行了一项调查。所研究的材料是聚酰胺12,所有试验都在压缩条件下。

	ED1	ED2	ED3	ED4
激光功率 (W)	19	21	23	21
扫描间距 (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25
扫描速度 (mm/s)	2500	2500	2500	1500
ED (J/mm ²)	0.03	0.034	0.037	0.056

[0139] 研究了四种能量密度(ED) (J/mm²),如上表所示。ED加工由在诺丁汉大学的EPSRC创新制造中心通过EOS P100机器控制。ED通过激光功率和扫描速度改变。为了获得部件的一致性,每个构造的取向和位置是均匀的。初始压缩特性是通过一系列应变速率来执行,以研究轴向压缩中的能量密度的关系。其中一种材料,ED2,在-60℃至60℃的温度下经受拟静态压缩试验。所有实验重复三次,并提交平均样品响应。测量在每个能量密度下产生的每种材料的质量和体积五次以计算各自的平均物理密度。使用可读性为0.01mg的分析天平测量质量,使用可读性为0.001mm的千分尺测量体积。

[0140] 使用Instron试验机进行低速压缩(0.001,0.01和0.1s⁻¹)。对于这些低强度材料,机器的顺应性不是问题,并且使用来自十字头的真实应变控制;然而,引伸计也附着在靠近样本的装载砧上,以验证试样延伸性。作为时间函数的样品上的总抗压力从标准精度为±0.05N的100kN测力传感器获得。通过用于接入1和50 s⁻¹之间的应变速率的定制的液压负载框架获得中等应变速率(1和10 s⁻¹)。线性差动变压器(LVDT)测量样品的位移;该信号没有收到来自在测力传感器振铃和其他仪器噪声的明显变形。使用分离式霍普金森压杆(SHPB)进行高应变速率(>1000s⁻¹)压缩实验。对于SHPB系统,输入和输出杆由银钢制成。输入杆长1m,并沿其长度的一半测量;输出杆长500mm,并从样品杆50mm处测量。在使用标准分析的情况下,使用反射和透射测量信号来导出应力-应变关系。凡士林用作润滑剂。对于非环境拟静态实验,使用氮气和加热丝来获得必要的室温度。每个样品在测试温度下预热/冷却5-10分钟,以确保热平衡。

[0141] 高能密度样品被发现具有粗糙的表面积,表明大的表面孔隙度。这种孔隙度可能削弱材料,因为存在较低的固体体积分数。

[0142] 附录E-拉伸主导结构力学

拉伸主导结构的一个例子是微型桁架晶格或平面外蜂窝体,其中变形机理涉及“硬”模式,例如压缩和拉伸而不是弯曲。下图显示了具有弹塑性材料的拉伸主导结构的应力-应变曲线。屈服应力由于局部塑性屈曲和支柱的脆性破坏而发生。这也被称为分叉点,因为结构变得不稳定并且接着产生后屈服软化方案。

[0143] 在致密化应变下,应力急剧上升,可由下式计算:

$$\epsilon_d = 1 - \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right) / \left(\frac{\rho_{crit}}{\rho_s} \right)$$

后屈服软化抵消了在更均匀的平台力下椭圆形头盔消散能量的面积增加。例如，下图中的线x是实验结果中看到的后屈服软化，而线y表示特定头部形状的面积增加。通过将应力减小和面积增加相乘得到恒定的平台力，这有助于减少吸收能量所需的峰值力和厚度。

[0144] 由于拉伸主导结构依赖于硬的变形模式，在屈服中的应力与泡沫(弯曲主导结构)相比要高得多。这可以在下图中看出，其中相对模量是在特定相对密度下基体材料强度和结构强度之间的比例。

[0145] 因此，对于给定屈服应力，拉伸主导结构的相对密度可以低得多。根据下面的等式，致密化应变与相对密度成反比。

$$\epsilon_d = 1 - \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right) / \left(\frac{\rho_{crit}}{\rho_s} \right)$$

[0146] 其中 ρ 是结构密度， ρ_s 是基体材料的密度，其中 ρ_{crit} 是结构锁定的相对密度(或固体体积分数)，通常为0.71。下图描述了确认上述关系的实验结果。

[0147] 因此，对于所需的屈服应力，拉伸主导结构需要较低的相对密度，并且根据上述方程获得更大的致密化应变。因为吸收能量的量是应力和应变的乘积，所以增加应变将意味着增加吸收能量的量(实质上拉伸主导的结构需要更少的材料，并且因此在单元壁致密化增加吸收能量之前具有更长的位移)。

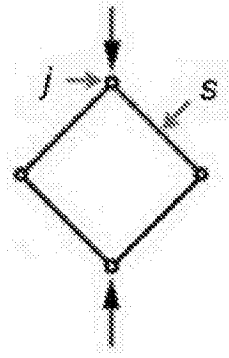


图1A

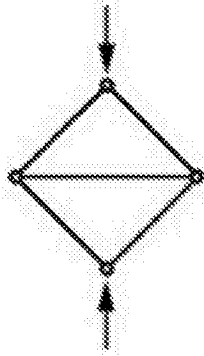


图1B

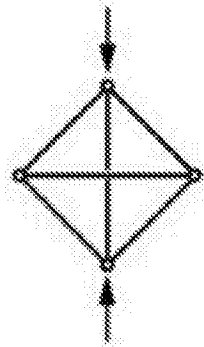


图1C

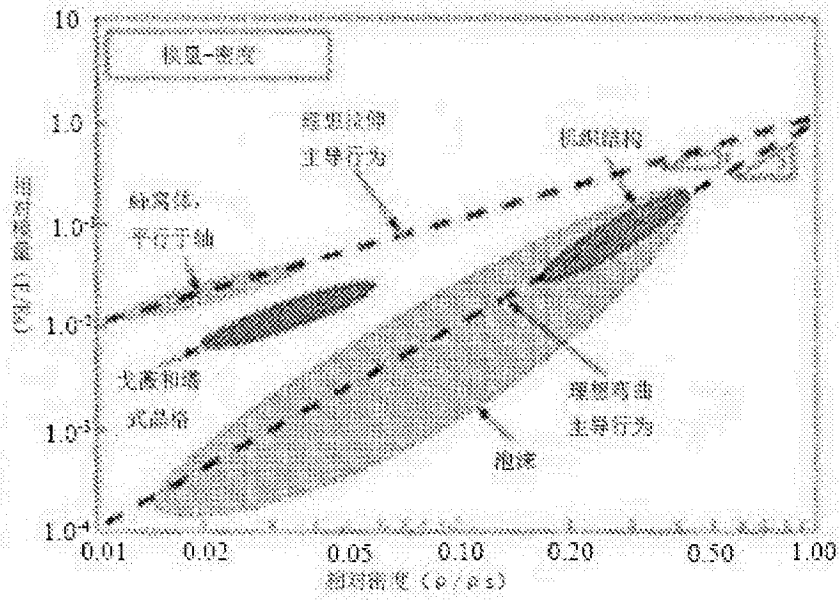


图2A

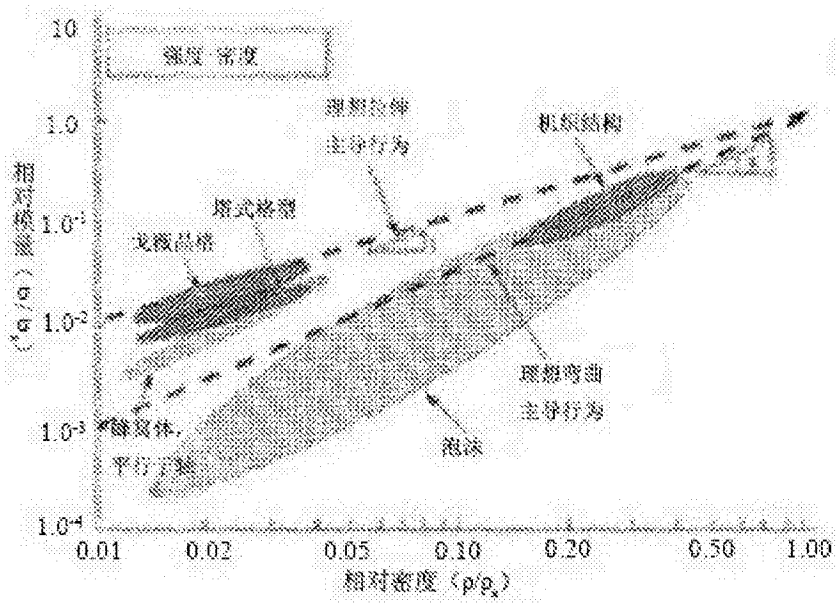


图2B

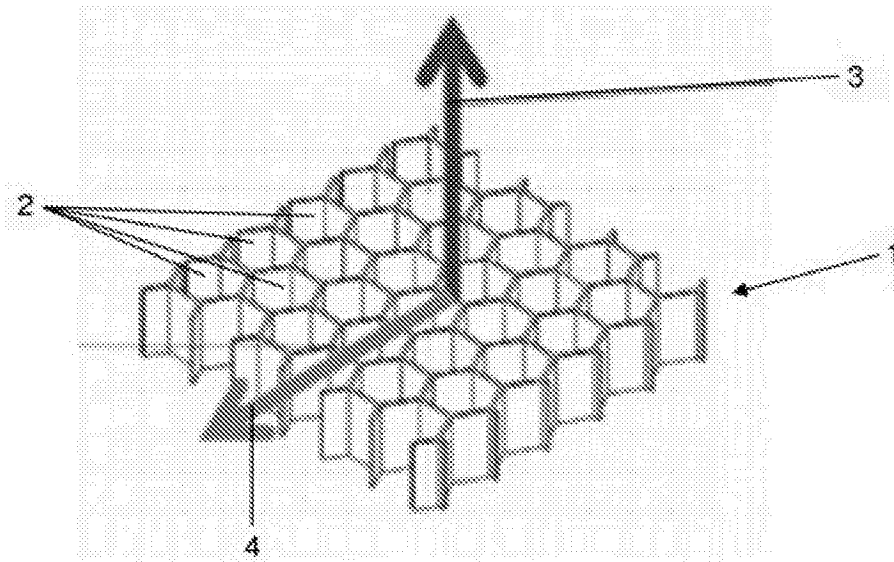


图3

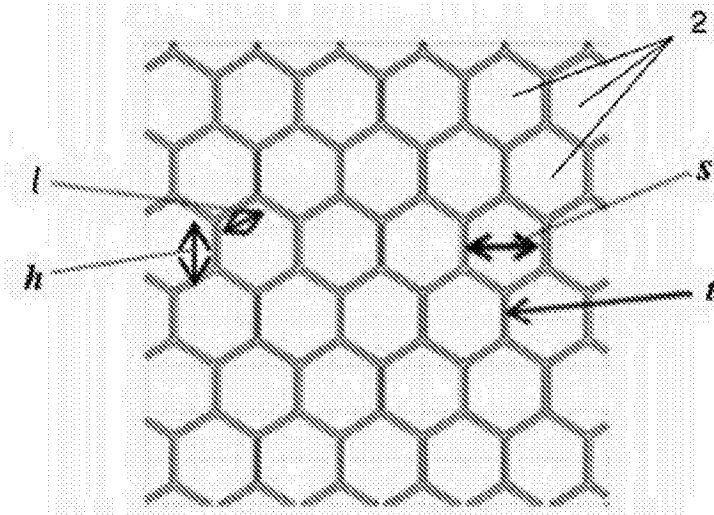


图4

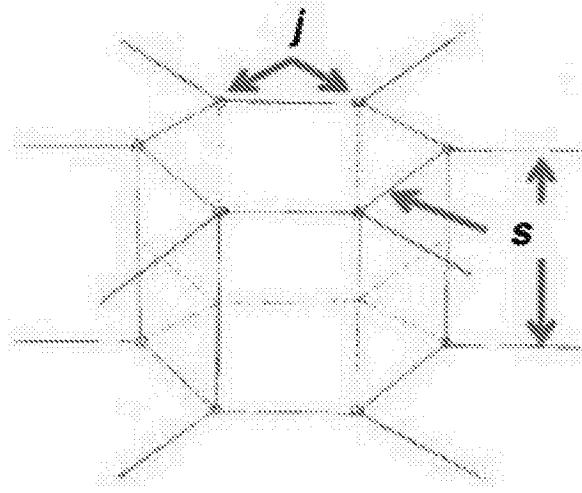


图5

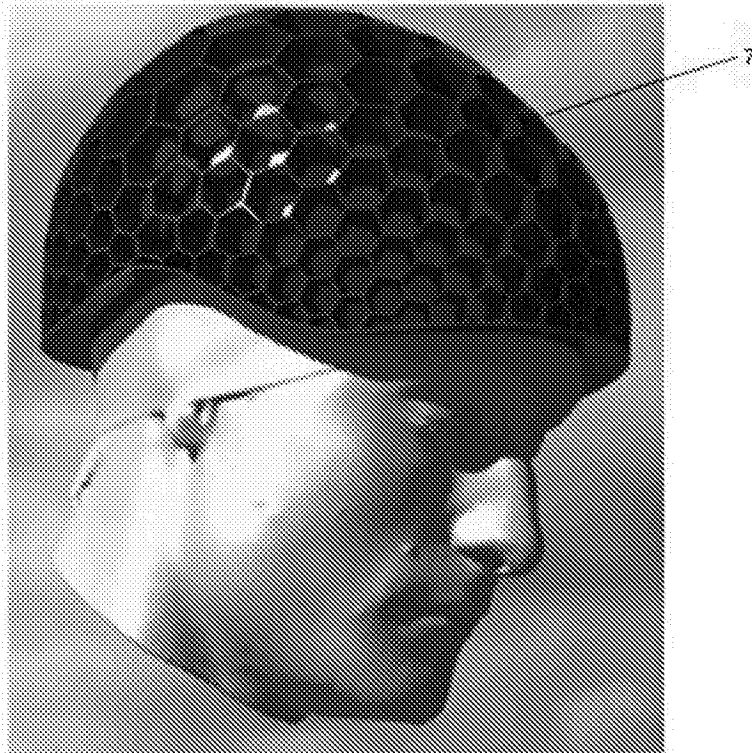


图6

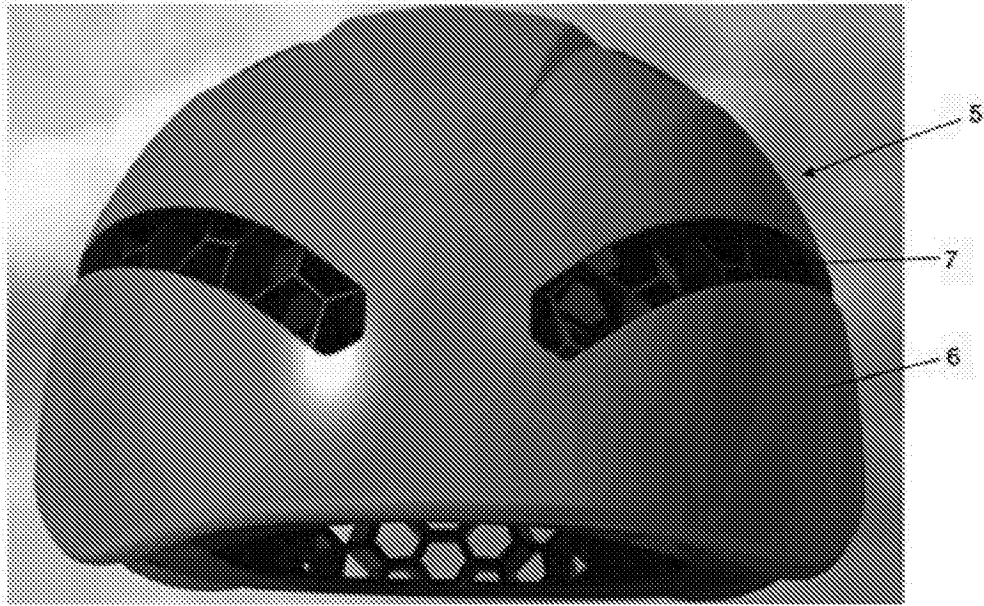


图7

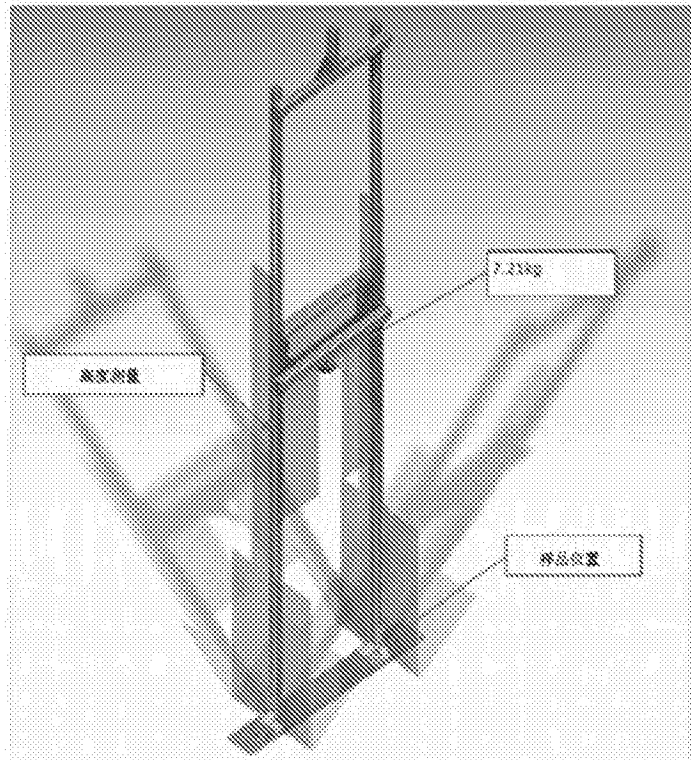


图8

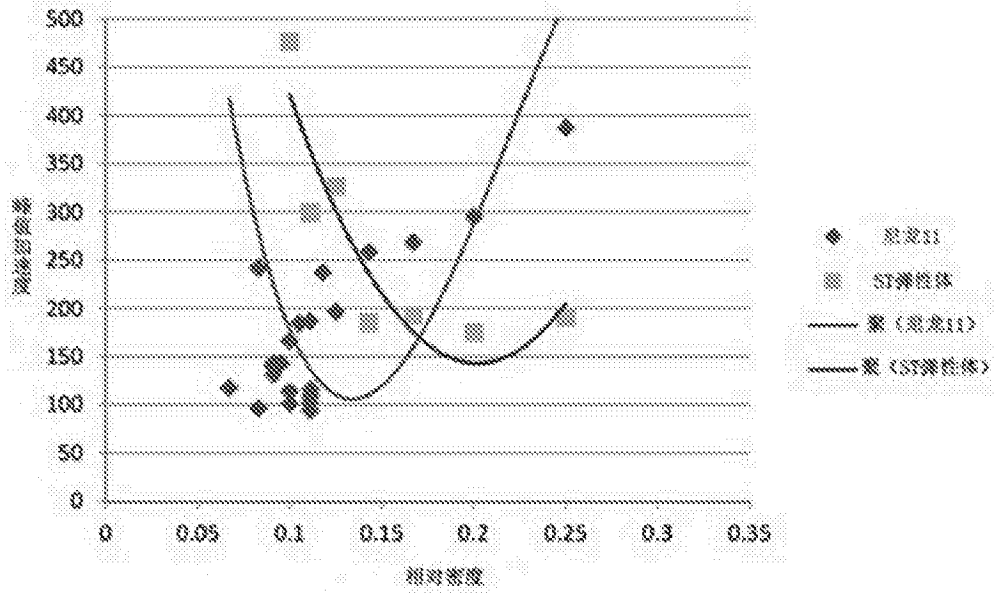


图9

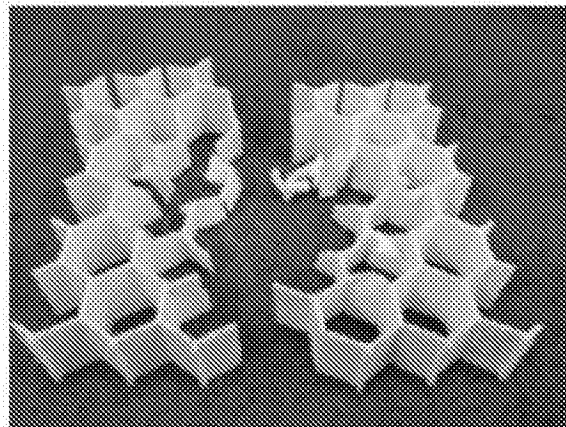


图10

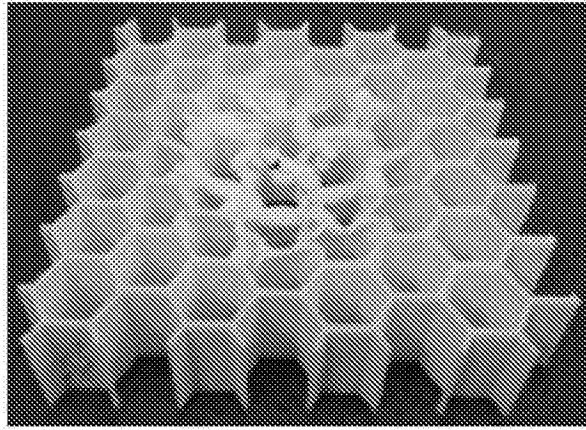


图11

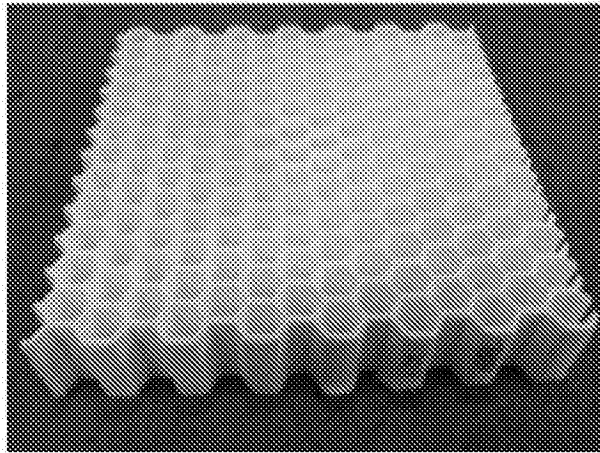


图12

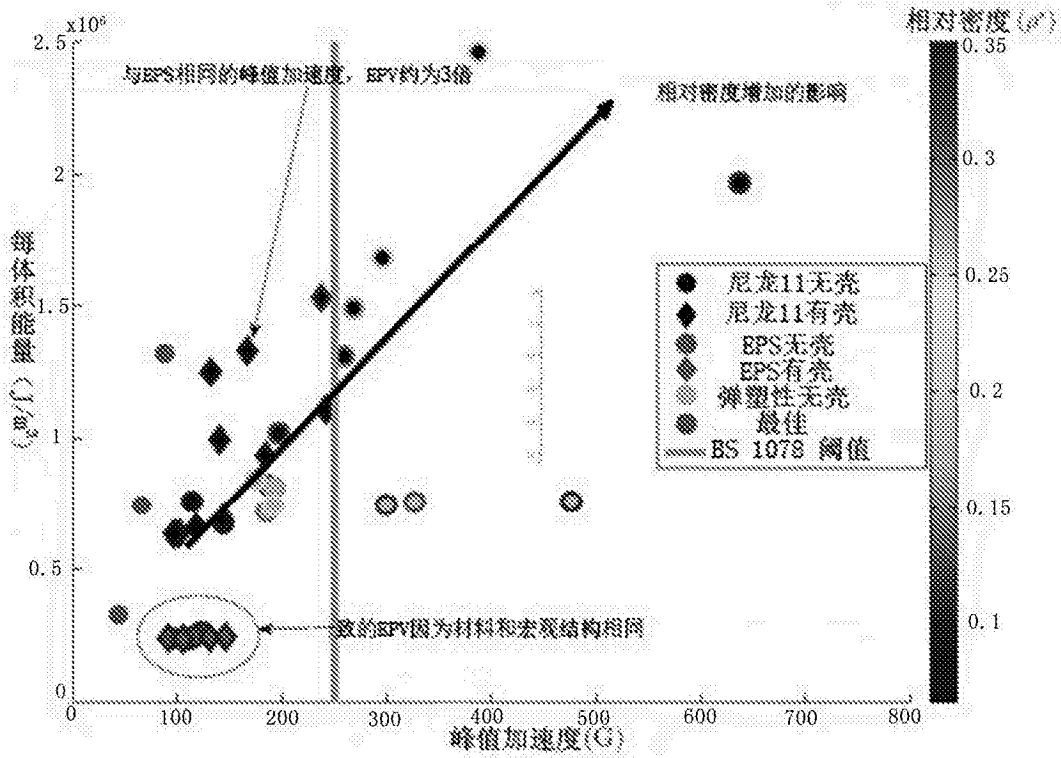


图13

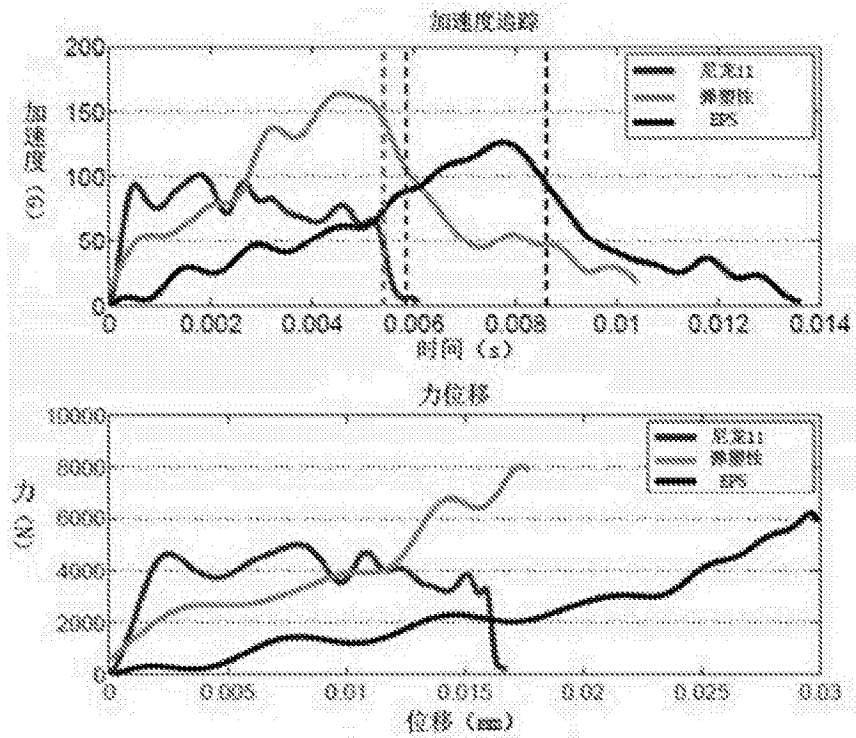
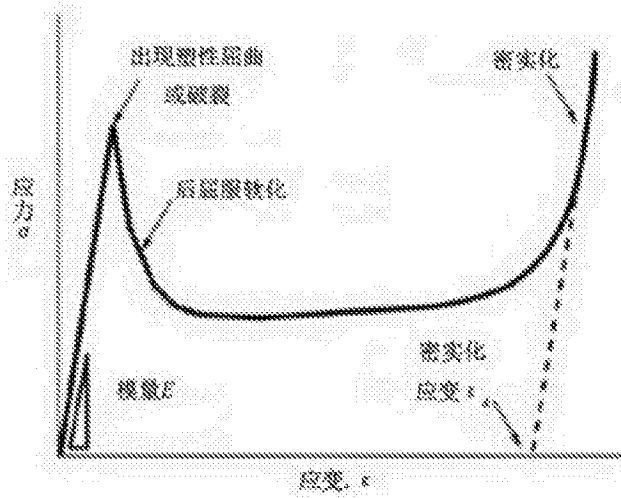
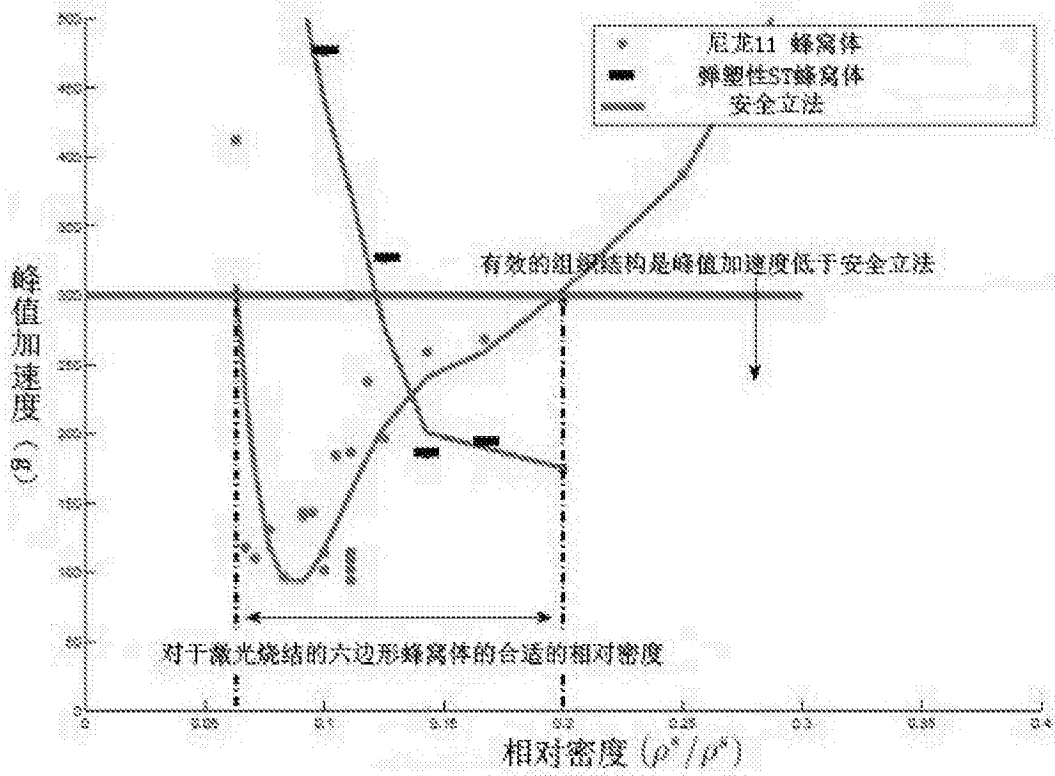
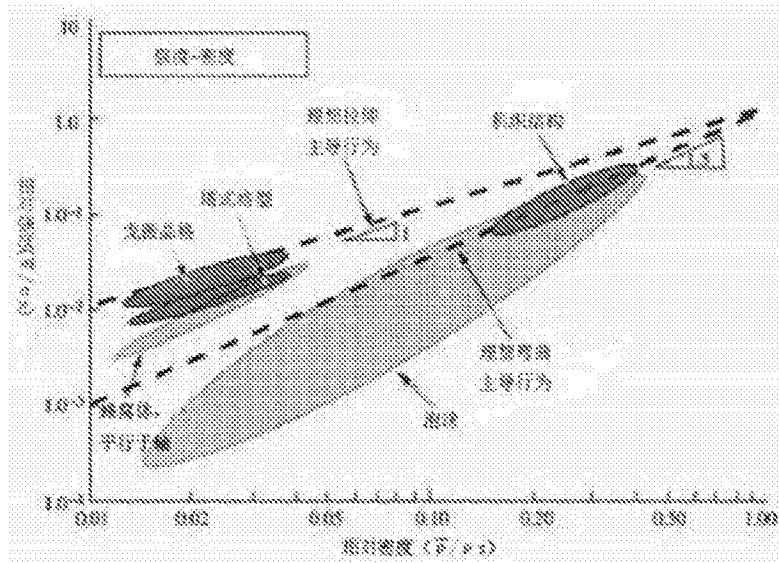
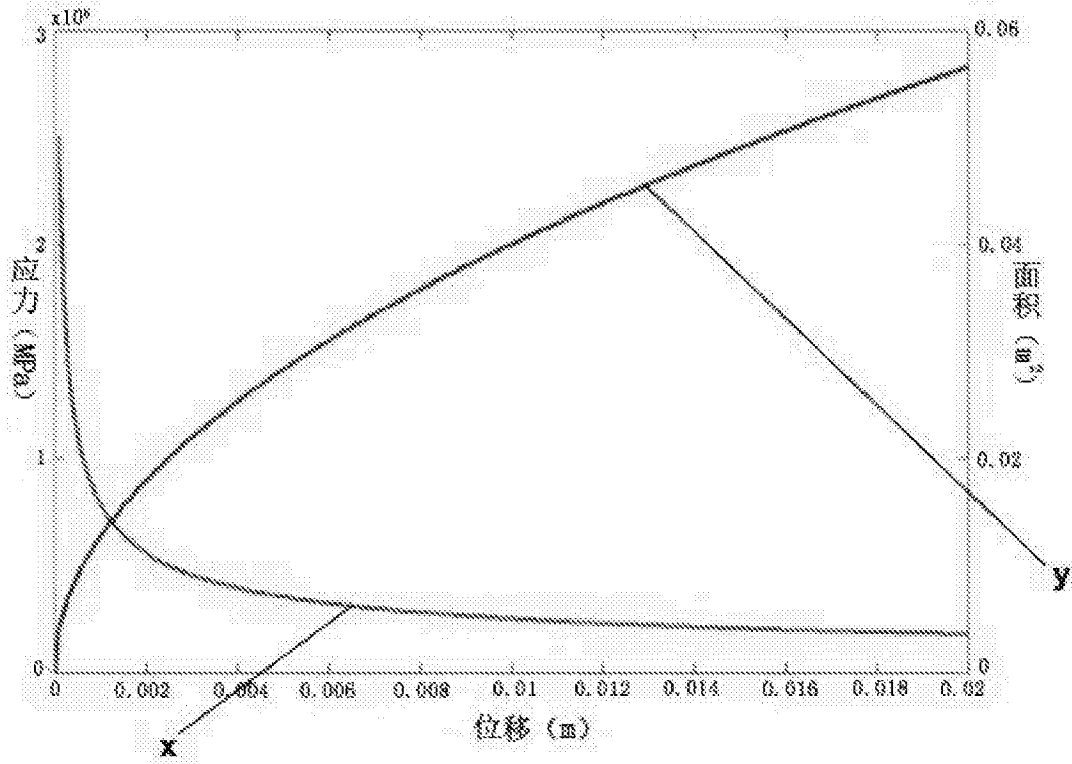
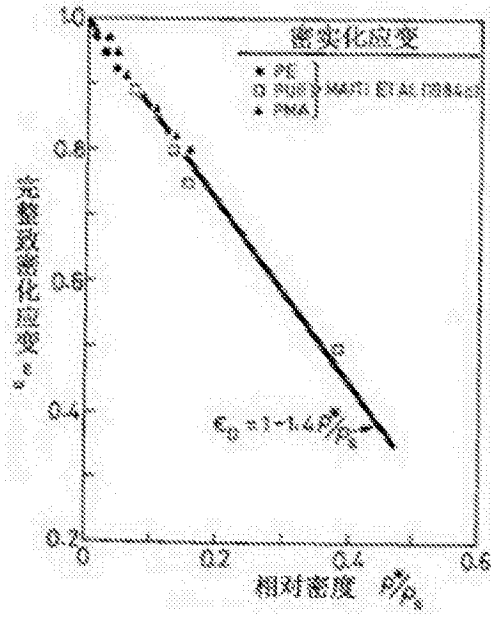


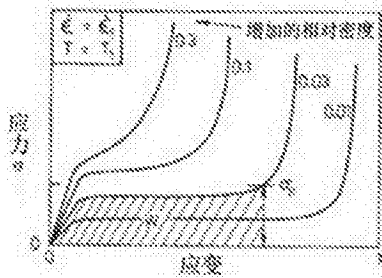
图14



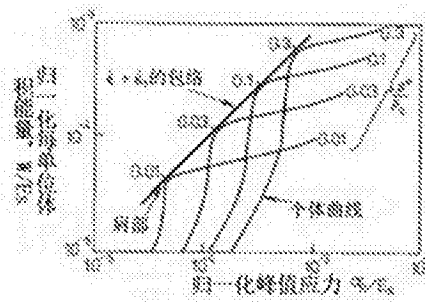




能量吸收图



(a) 每单位体积吸收的能量



(b) 对归一化峰值应力绘制的归一化