



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102085541 A

(43) 申请公布日 2011.06.08

(21) 申请号 201010600357.5

代理人 刘佳

(22) 申请日 2003.09.26

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

10/256,870 2002.09.26 US

*B21D 28/10* (2006.01)

*B21D 11/20* (2006.01)

*B21D 35/00* (2006.01)

(62) 分案原申请数据

03825318.6 2003.09.26

*E04C 2/08* (2006.01)

*H05K 5/04* (2006.01)

(71) 申请人 工业纸折品股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 M·W·杜尔内 A·D·潘德雷

I·S·拉帕波特

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

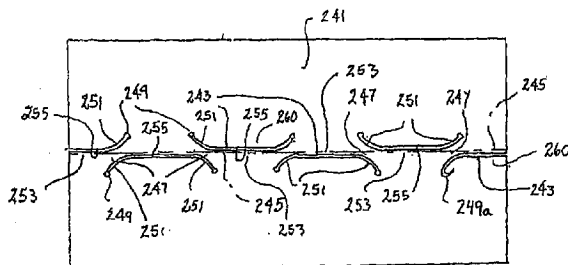
权利要求书 2 页 说明书 35 页 附图 31 页

## (54) 发明名称

设计和制造精确折叠的高强度的抗疲劳的结构物的方法和用于该结构物的板材

## (57) 摘要

一种用于设计、制造和精确地折叠高强度的抗疲劳的结构物以及用于这种结构物的板材的工艺。这一技术包括沿着弯折线 (45、245、345、445、543) 精确地弯折板材 (41、241、341、441、541) 的方法以及把板材成形为有诸如切缝或凹槽 (43、243、343、542) 的缝间弯折条限定结构的方法。这些方法包括设计和随后分别成形穿透板材的、沿纵向延伸并有间隔的切缝或凹槽 (43、243、343、542) 的步骤,使板材 (41、241、341、441、541) 可被沿着弯折线 (45、245、345、445、543) 精确地弯折。缝间弯折条的形状和定向可增强其强度和抗疲劳强度,最佳的是,所用的切缝可使切缝这一侧的边缘 (257、457) 在弯曲过程中接触并支承在切缝那一侧的表面 (255、455)。这种边缘对表面接触使得可产生沿着叠加在弯折线 (45、245、345、445、543) 上的虚拟支点的弯曲。本发明给出了适于产生边缘对表面接触支承和精确弯折的几个切缝 (43、243、343、542) 实施例,在这几个实施例中,开出切缝的板材用于生产各种三维结构物,还给出了各种设计和制造技术。



1. 一种成形为用于沿着弯折线进行弯折的金属或塑料板,所述金属或塑料板包括:  
多个弯折条限定结构,所述弯折条限定结构被构成和定位成使所述金属或塑料板沿着所述弯折线弯曲,每个弯折条限定结构包括中心部分和弧形部分,所述中心部分具有逐渐远离所述弯折线的端部,所述弧形部分连接至所述中心部分的端部且具有使所述弯折条限定结构的相对端部沿着附加的弧形部分朝着彼此向后延伸的曲率半径,其中所述附加的弧形部分的曲率半径大于连接至所述中心部分的所述弧形部分的曲率半径。
2. 如权利要求 1 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝。
3. 如权利要求 1 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是凹槽。
4. 如权利要求 1 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述多个弯折条限定结构以纵向交错的关系交替地定位在所述金属或塑料板中的所述弯折线的两侧上,在纵向相邻的弯折条限定结构之间限定有弯折条,每个弯折条具有相对于所述弯折线倾斜取向的中轴线,相邻的弯折条的所述中轴线沿交替方向歪斜。
5. 如权利要求 4 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝。
6. 如权利要求 4 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是凹槽。
7. 如权利要求 4 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条的中轴线就个弯折条的最小宽度处穿过所述弯折线,并且所述弯折条从其最小宽度处沿其中轴线向两端加宽。
8. 如权利要求 7 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝。
9. 如权利要求 7 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是凹槽。
10. 如权利要求 1 所述的金属或塑料板,其特征在于,每个弯折条限定结构的端部终止于朝着所述弯折线向内弯曲的附加的弧形部分。
11. 如权利要求 10 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝。
12. 如权利要求 10 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是凹槽。
13. 如权利要求 4 所述的金属或塑料板,其特征在于,每个弯折条限定结构的端部终止于朝着所述弯折线向内弯曲的附加的弧形部分。
14. 如权利要求 13 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝。
15. 如权利要求 13 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是凹槽。
16. 如权利要求 7 所述的金属或塑料板,其特征在于,每个弯折条限定结构的端部终止于朝着所述弯折线向内弯曲的附加的弧形部分。
17. 如权利要求 16 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝。
18. 如权利要求 16 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是凹槽。
19. 如权利要求 1 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝,所述切缝被构成和定位成使位于所述切缝的相对两侧上的所述金属或塑料板在弯曲过程中边缘对表面接合。
20. 如权利要求 4 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝,所述切缝被构成和定位成使位于所述切缝的相对两侧上的所述金属或塑料板在弯曲过程中边缘对表面接合。
21. 如权利要求 7 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝,所述切缝被构成和定位成使位于所述切缝的相对两侧上的所述金属或塑料板在弯曲过程中边缘对表面接合。

22. 如权利要求 10 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝,所述切缝被构成和定位成使位于所述切缝的相对两侧上的所述金属或塑料板在弯曲过程中边缘对表面接合。

23. 如权利要求 13 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝,所述切缝被构成和定位成使位于所述切缝的相对两侧上的所述金属或塑料板在弯曲过程中边缘对表面接合。

24. 如权利要求 16 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条限定结构是切缝,所述切缝被构成和定位成使位于所述切缝的相对两侧上的所述金属或塑料板在弯曲过程中边缘对表面接合。

25. 如权利要求 1 所述的金属或塑料板,其特征在于,所述弯折条相对结构的中心部分呈弧形,并且自所述中心部分的中点逐渐远离所述弯折线,连接至所述中心弧形部分的端部的弧形部分的曲率半径小于所述中心弧形部分的曲率半径。

26. 一种卷材,包括与聚合薄板共同卷绕的如权利要求 1 所述的金属或塑料板。

## 设计和制造精确折叠的高强度的抗疲劳的结构物的方法和用于该结构物的板材

[0001] 本发明专利申请是国际申请号为 PCT/US2003/030248, 国际申请日为 2003 年 9 月 26 日, 进入中国国家阶段的申请号为 03825318.6, 名称为“设计和制造精确折叠的高强度的抗疲劳的结构物的方法和用于该结构物的板材”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关的申请

[0003] 本申请是在 2002 年 9 月 26 日提交、申请号为 10/256,870、题目为 METHOD FOR PRECISION BENDING OF SHEET OF MATERIALS, SLIT SHEETS AND FABRICATION PROCESS 的一共同待审批的专利申请的基础上的一部分续展申请, 而那个申请又是在 2000 年 8 月 17 日提交、申请号为 09/640,267、题目为 METHOD FOR PRECISION BENDING OF A SHEET OF MATERIAL AND SLIT SHEET THEREFOR 的一共同待审批的专利申请, 即现在的美国专利 6,481,259 的基础上的一部分续展申请。

### 技术领域

[0004] 本发明总地涉及板材的设计和精确折叠以及用板材制造结构物。更具体地说, 本发明涉及为能够进行精确的折叠所用的设计、备料和制造过程, 包括但不限于准备板材的方法, 以及涉及这样的工艺在把二维的板材快速地折叠成三维的高强度的抗疲劳的结构物或部件这方面的使用。

### 背景技术

[0005] 弯曲板材过程中通常遇到的问题是: 由于弯曲允差的变化和允差误差的累积, 弯曲部位很难被控制。例如, 在电子设备外壳的成形中, 是在一定的允差范围内沿着一条第一弯折线弯曲金属薄板。但是, 第二个弯曲处往往是根据第一个弯曲处定位, 因此可能有误差的累积。制造一个电子设备的机架或外壳可能需要做三个或更多个弯曲, 所以, 在进行弯曲时累积的误差的影响可能相当大。而且, 根据弯曲加工的设备、弯曲加工的工具以及操作者的熟练程度, 可能做到的允差的变化范围是很大的。

[0006] 解决这一问题的一种办法一直是力图采用细长的切缝 (slitting) 或开槽 (grooving) 来控制板材的弯曲位置。可以用计算机数字控制 (CNC) 设备控制诸如激光、高压水枪、冲压机、刀具或其它工具之类的切缝或凹槽加工设备, 在板材坯件上精确地加工出切缝或凹槽。

[0007] 参照图 1, 所示的板材 21 上有多个切缝或凹槽 23, 它们沿着一条拟定的弯折线 25 以一定的间隔成一直线。每两个沿纵向相邻的切缝或凹槽 23 之间是板的缝间弯折条缝间弯折条 27, 其在板材 21 弯曲时将产生塑性变形。缝间弯折条 27 把被弯曲的板保持为一个整体。在采用不穿透板材 21 的凹槽时, 每一凹槽底下的材料也起到把被弯曲的板保持为整体的作用。

[0008] 可以把板材 21 上的切缝或凹槽 23 的位置沿着拟定的弯折线 25 定位在相当严紧的允差范围内。因此, 在开出切缝或凹槽 23 之后弯曲板材 21 时, 弯曲将发生在非常靠近拟

定的弯折线 25 的位置。由于在平板上可以精确地加工出切缝,与用折板机进行折板时的那种后一个弯曲处按照前一个弯曲处定位的弯曲过程相比,这种弯曲过程中的累积误差小得多。

[0009] 然而,沿着开出的切缝或凹槽 23 进行弯曲也有其问题。首先,由于缝间弯折条 27 的塑性变形,其中有应力,其两端还有应力集中。对于凹槽的情况来说,凹槽背面底下或凹槽背面上的材料的应力集中更大。缝间弯折条 27 处和 / 或切缝或凹槽 23 的背面可能发生断裂。加之,切缝或凹槽 23 未必能使缝间弯折条 27 直接沿着拟定弯折线 25 弯曲,而且开出凹槽的过程很慢,特别是在铣削或定点切割 V 形凹槽时,各个断续的凹槽可能不一致。所以,预先开出凹槽的工艺在工业上未得到广泛应用。

[0010] 从图 1A 和 1B 可以看出,如果板材 21 上加工出了分别由 23a 和 23b 所指的切缝或凹槽,那么,在弯曲时缝间弯折条 27a 和 27b 将承受塑性变形并有残余应力。当然,对于切缝 23a,材料是被沿着切缝的长度完全切除了。而对于 V 形凹槽 23b,在凹槽 23b 和弯曲处的凸的外表面之间有被减薄的部分 29,其也将承受塑性变形并且应力很高。用 V 形凹槽的弯曲处通常是凹槽 23b 闭合起来,凹槽的两个侧面靠在一起,如图 1B 所示。如果对图 1A 和 1B 的弯曲处施加垂向力  $F_v$  和 / 或水平力  $F_h$ ,由于切缝或凹槽的削弱作用,塑性变形的缝间弯折条 27 和减薄的部分 29 都将承受相当大的应力。与不用切缝或凹槽的弯曲过程相比,在较小的外力作用下就可能发生结构损坏。

[0011] 已有技术中,为便于进行弯曲,也已采用另一种板材开切缝方案。但是,所采用的这种能形成弯曲处的开切缝技术主要是用于在雕刻物品上产生感观的或装饰性的效果。感观的效果已被描述为“多行切缝”,而且弯曲部位本身由横杆在结构上加强。这种多行切缝的雕刻品曾在纽约现代艺术博物馆展览到至少 1998 年,并且 2002 年 12 月 12 日公布的美国专利申请 U. S. 2002/0184936A1 (Gitlin 等人的申请) 中描述了板材上开切缝的技术方法。杂志“Contemporary World Architects (当代世界建筑师)”, pp. 15, 20-35, 2000 的题目为“Office dA”的出版物中也展示和描述了这种雕刻品。

[0012] 本发明的附图 2、2A 和 2B 给出了被采用的多行切缝技术方法的一个例子。

[0013] Office dA 或 Gitlin 等人的申请中的一个实施例表示于图 2。板材 32 上开出许多切缝 31。切缝 31 是直线的并且沿着弯折线 33 交错地偏置于它的两侧。可以看出:这些切缝在纵向有搭叠而限定了在互相搭叠的切缝端部之间的、将变成弯曲部分或“缝间弯折条” 34 的那些区域。图 2A 和 2B 是板材 32 上的一个切缝一端的放大侧视图,这个板 32 已被沿着弯折线 33 弯曲了  $90^\circ$ ,在弯折线 33 两侧的板部分 35 和 36 由被扭转了的缝间弯折条 34 互相连接在一起,缝间弯折条 34 在已互相成  $90^\circ$  的板部分 35 和 36 之间呈扭转状态。纽约现代艺术博物馆的雕刻品的建筑师承认,形成的弯曲处在结构上强度不高,所以他们对那些雕刻品加了部分隐藏的杆,这些杆在每一多行切缝型弯曲处的内部角顶处焊接于雕刻品

[0014] 由于切缝 31 是平行于弯折线 33,所以缝间弯折条 34 有恒定的或均匀的宽度,各缝间弯折条 34 在其全长上被扭转并塑性变形,结果,在  $90^\circ$  的弯曲处的端部,缝间弯折条 34 的后侧在位置 37 处接触于切缝 31 的另一侧的表面 38。这样的接触使板部分 35 升高而离开板部分 36 的表面 38,并且力图打开切缝 31 的端部 40 以及使切缝的这一端部进一步承受更大的应力。缝间弯折条 34 的扭转和弯曲处的端部的升高使得在切缝 31 的全长上在板

部分 35 与表面 38 之间产生一个空隙 G。被扭转的缝间弯折条 34 迫使板部分 35 离开表面 38 并使切缝 31 的两端 40 承受应力（只表示出一个切缝端部 40，但是同样的应力也出现在图 2A 和 2B 所示的另一切缝端部 40）。

[0015] 每一切缝 31 处都产生空隙 G，其沿着弯折线 33 的长度位于弯折线 33 的两侧。因此，在每一切缝 31 处一个板部分被迫脱离与一个切缝形成表面的接触，而没有被拉到与那个表面接触从而得到它的充分支承。

[0016] 另外，非常重要的一项是：图 2 的切缝的结构会使每个缝间弯折条 34 承受很高的应力。如果增加缝间弯折条 34 的长度来试图降低由沿着缝间弯折条的长度的扭转而产生的应力，那么试图把一个板部分弹性地拉或夹靠于相反的表面的力将减小。相反，如果减小缝间弯折条 34 的长度，由于产生的应力增大，扭转会使恒定宽度的缝间弯折条里出现微观裂纹，被扭转的缝间弯折条 34 的总的状态将是应力过高。这会损伤弯曲处的强度，使之成了一个不能承受载荷的弯曲处。

[0017] 施加于板部分 35 的垂向力（图 2B 中的  $F_v$ ）将直接作用于被扭转了并承受应力的缝间弯折条 34，而且，由于有空隙 G，缝间弯折条 34 将在载荷的作用下进一步塑性变形并可能失效或断裂，而后使板部分 35 向下落到与表面 38 接触并支承于其上。类似地，水平力  $F_h$  会破坏纵向相邻的缝间弯折条 34（以及剪切图 2B 中的缝间弯折条 34），使空隙 G 闭合，使板部分 35 支承在相反的反切缝表面 38 上。

[0018] 图 2-2B 和 Gitlin 等人的申请中的切缝方案所固有的另一个问题是，不能独立于切缝之间的距离改变恒定的缝间弯折条宽度，以及，要想使缝间弯折条的应力不达到极限，缝间弯折条的宽度不能小于板材的厚度。在各切缝 31 互相平行且纵向搭叠时，按照定义，缝间弯折条的宽度必须等于各切缝之间的间距或错位尺寸（jog）。这限制了考虑缝间弯折条的结构载荷设计弯曲处的灵活性。还有，各切缝的端部是每隔一个切缝互相对准。所以，不可能试图降低出现高应力的因素，也不可能试图降低在切缝的两端出现的微观裂纹的蔓延，而且，在载荷作用下对准的切缝端部可能裂开。

[0019] 所以，图 2-2B 的板材切缝形状可以较好地用于装饰性的弯曲处，而不能较佳地用于必须有很大的结构支承强度和疲劳强度的弯曲处。

[0020] Gitlin 等人的申请也提出了开出曲线的切缝（见图 10a、10b），但是各切缝还是平行于一条弯折线，因此缝间弯折条的宽度还是不变的，各缝间弯折条沿着并平行于弯折线不是跨过它，各缝间弯折条被极大地扭转，切缝端部会使微观裂纹和应力集中指向下一个切缝，而且那个申请提出，在位置 37 处仅在弯曲处的端部，采用一个将形成与切缝的另一侧接触的切缝宽度。

[0021] 在美国波士顿的一家比萨饼饭店的金属板天棚棚板的安装中，同一些建筑师还采用了一种简单的沿着一条直线穿孔的方法。同样，被沿着直线穿孔弯曲的板件没有设计成能够承受作用在弯曲处的很大自由载荷。

[0022] 迄今，在各种取得专利权的系统中，已把切缝、凹槽、穿孔和压痕线作为折弯板材的基础。例如，West 等人的美国专利 5, 225, 799 用开凹槽的方法折叠板材来成形微波导管或滤波器。在 St. Louis 等人的美国专利 4, 628, 161 中，用压痕线和成行的凹坑来折叠板材。在 Brandon 的美国专利 6, 210, 037 中，用槽口和穿孔线弯曲塑料板。Yokoyama 的美国专利 6, 132, 349 和 PCT 出版物 WO 97/24221、Grebel 等人的美国专利 3, 756, 449 以及 Fischer

等人的美国专利 3, 258, 380 中, 描述了用切缝或冲切口来弯曲瓦楞纸板。Hunt 的美国专利 5, 692, 672、Wood 的美国专利 3, 963, 170 以及 Carter 的美国专利 3, 975, 121 中描述了用开切缝的方法弯曲纸板。已公布的美国专利申请 US 2001/0010167A1 也揭示了采用开口、切口等弯曲金属的方法, 用很大的力来形成可控的塑性流动和降低裂纹和皱褶。

[0023] 但是, 在大多数已有弯曲技术中, 弯曲处成形方法都大大地削弱了形成的结构物, 或者做不成精确的弯曲处, 或者弯曲处一侧的材料出现裂纹。而且, 在这些已有的弯曲技术中用切缝时, 除了结构削弱和存在潜在的结构损坏点之外, 切缝会使结构物的弯曲处的密封非常费时费力且很难。所以, 这些已有技术的方法不大适用于制造用于盛装流体或可流动物料的容器。

[0024] 在弯曲金属板特别是很厚的金属板时, 能否做到精确的弯曲并保持强度是很大的问题。在许多应用场合, 非常希望能够用小的力例如用手或手工工具或仅用轻型的动力工具来弯曲金属板。当然, 厚的金属板的弯曲还是存在较大的问题。

[0025] 本发明的另一方面, 是能够克服已有技术基于切缝弯曲板材的缺点, 能够消除已有技术金属材料加工方法中和用其制成的结构物中的缺陷。

[0026] 一种广为人知的用于生产刚性三维结构物的已有技术是用把板材或非板材切割成零件并把它们接合到一起的工艺。定位和焊接、夹紧和粘结、或机械加工和用 紧固件把各个分散的零件结合到一起, 一直是迄今用于制造刚性三维结构物的传统方法。例如在焊接的情况中, 问题在于各个板块的精确切割和定位需要用人力和机械设备搬动大量的零件以及大量的零件的质量控制和合格验证。此外, 焊接工艺的固有问题是受焊接热量影响的区域会产生翘曲。

[0027] 对于厚度大的材料的焊接, 传统的作法是: 通过磨削或单点加工在材料的边缘上开出坡口, 这会使制造时间和成本大大增加。而且, 对于那些依靠焊接、铜焊或锡铅材料承受载荷的接头, 受热影响的材料的疲劳损坏是难以预料的。通常, 对于焊缝的疲劳强度是通过增加焊接在一起的零件的重量以及焊缝的数目和深度来补偿。这种过度保守的设计的缺点当然是使制成的结构物过重。

[0028] 至于沿着各零件的边缘和表面粘结核状和非板状材料, 问题是在各个零件的粘结前处理和精确定位以及把它们保持或夹紧在位, 直到粘结剂固化才能完成。

[0029] 与制造三维结构物有关的已有技术的另一个等级是快速仿型法 (Rapid Prototyping Method)。这包括制作立体实型 (stereo lithography) 和许多其它工艺, 在这些工艺中用 CAD (计算机辅助设计) 系统进行设计, 以及用结构数据复现驱动加工设备来添加或去除材料, 直到制成结构物。已有技术的快速仿型法往往是既要添加也要去除材料。

[0030] 去除材料的快速仿型法的问题是浪费材料, 因为它是一个能包容整个要制造的零件的材料块, 然后用相当昂贵的高速机械加工中心去除多余的材料, 而把材料块铣削和切削成零件。

[0031] 添加材料的快速仿型法也存在问题。特别是, 大多数这样的方法都是针对非常窄的材料范围最佳化的。此外, 大多数都要求专用的制造设备, 这个设备根据复现零件的数据配送材料。这种添加材料的快速仿型法是很慢的, 在零件外表的比例方面受到限制, 并且一般不适用于结构上很结实材料。

[0032] 所以,总的来说,用已有技术中的板材开切缝或凹槽的方法能够把板材弯曲成产品,但是缺乏工业上的结构物所需要的精度和强度。因此,这种已有技术的板材弯曲方法一直是主要用于轻型材料的弯曲或装饰性场合,诸如雕刻物品。

[0033] 所以,本发明的一个广义方面,也就是本发明的一个重要目的,是能够以非常精确的方式弯曲板材,并且形成的弯曲处能够支承大的载荷并有很高的疲劳强度。

[0034] 本发明的这一方面的另一个目的是提供一种用改进的开切缝技术精确地弯曲 板材的方法,其能够提高弯曲处的精度、形成的结构物的强度,并且能降低应力引起的破坏。

[0035] 本发明的另一个目的是提供一种精确的板材弯曲工艺和一种开有便于弯曲的切缝或槽口的板材,这种工艺可用于弯曲各种厚度的板材和各种类型的非破碎材料。

[0036] 本发明的再一个目的是提供一种在板材上开出便于随后进行弯曲的切缝的方法,其仅用手工工具就可完成,为了便于弯曲也可用动力工具,但不必用它控制弯曲处的位置。

[0037] 本发明的再一个目的是要把板材弯曲成高强度的、具有精确的尺寸允差的三维结构物。

[0038] 本发明的再一个目的是把板材弯曲成精确的容易密封的且密封成本不高的三维结构物,以便能盛装流体或可流动的物料。

[0039] 在本发明的一个与采用基于切缝的弯曲来改进制造和装配技术有关的广义方面,本发明的目的是提供一种新的快速仿型和先进的快速制造技术 (Rapid Prototyping and Advanced Rapid Manufacturing Technique),这种技术适用于广泛的材料,包括许多结构上结实的材料,这种技术就采用目前现代制造企业中所用的那些设备,而不需要专用设备,这种技术可以放大比例或缩小比例,以适应所用的切割工艺的限制。

[0040] 本发明的这一方面的再一个目的是在待被弯折的板材内提供一些特色结构 (feature),借助这些结构有助于各元件在弯折板材之前和之后的精确附加对准。

[0041] 本发明的再一个目的是提供这样一种制造方法,用这种方法可制造一种近乎网状的架子结构物 (near-net-shape structural scaffold),用于把多个元件以正确的相互关系布置在三维空间里,而正确的相互关系是用初始 CAD 设计过程来定义。

[0042] 本发明的再一个目的是提供一种制造焊接结构物的方法,其采用数量较少的单个零件,并且各零件的边缘沿着弯折处的长度自定位,并且它们的非弯折边缘具有便于焊接准备中的定位和夹紧的结构特点。在这个意义上,本发明的再一个目的是提供一种极好的焊接板材的定位方法,其能够大大降低由焊接过程引起的翘曲和尺寸偏差。

[0043] 本发明的再一个目的是提供一种具有大的承载能力的新颖的焊接接头,其在所有自由度上都具有很大的承载能力,不依赖热影响区域,因而可提高制成的三维结构物的承载强度和循环疲劳强度。

[0044] 本发明的再一个目的是为下述各项提供一个极好的方法:

[0045] 1) 减少制造一个强度高、刚性好、尺寸精确的三维结构物所需要的分散零件的数目;以及

[0046] 2) 固有地提供一种用于所需要的三维结构物的各个侧面的定位和紧固方法,这种方法可提供本发明的被弯折的和不被弯折的边缘来做到,这是一个成本低制造产量高的方法。

[0047] 本发明的再一个目的是提供一种制造各种金属、聚合物、陶瓷和复合材料的铸造



模具的方法,这些模具能容纳流体,在这种方法中,铸造模具是用开有切缝的板材弯折成形的,可以在铸造流体硬化过程之后把板材模具去掉,也可以留在其上作为最终成品的一个结构或表面组成部分。

[0048] 本发明的再一个目的是提供一种板材弯折方法,其能够配用于现有的开切缝设备,能使板材坯件以平的状态或卷绕状态运输,并可使板材坯件在一个远的地方精确地弯折,而不必用折板机,以及可以在各元件固定于板之后改善各元件在由板材的弯折形成的外壳里和表面上的装配和安装。

[0049] 本发明的再一个目的是提供一种精确的折叠技术 (folding technique),其可用于在板材上制成精确的能承载的折褶,板材包括但不限于金属、塑料和复合材料板。

[0050] 本发明的再一个目的是提供一种精确的折叠技术,它允许绕着一条虚拟的弯折线进行折叠并且完成折叠所需要的力比常规弯折技术所需的小。

[0051] 本发明的再一个目的是提供一种精确的折叠技术,它基本上是线性可变比例的,与材料的厚度和微观组织特性无关。

[0052] 本发明的再一个目的是成形本文所述的几何形状,可以用开切缝 / 去除工艺 (slitting removal process)、切断工艺 (severing process), 或者用添加工艺 (additive process), 并且能达到本文中以任何说法描述的各个优点。

[0053] 本发明的再一个目的是提供一种用于折叠非破坏性材料的精确的折叠方法,用这种方法时折叠处附近材料的微观组织基本上保持不被改变。

[0054] 用于设计和精确的折叠板材的这些方法和各项技术、为其所用的制造技术以及用本发明的这种精确的弯折形成的结构物还有其它的特点和优点,这些将在附图中 和下面实现本发明的最佳方式那一节中更详细地显现出来。

[0055] 本发明的揭示

[0056] 在本发明的一个广义方面,缝间弯折条限定结构 (bending strap-defining structure) 较佳的是切缝但也可以是凹槽,采用该结构来限定板材上的缝间弯折条 (bending strap) 的形状,借以提高被弯曲的板的弯曲精度以及大大提高弯曲处的强度。

[0057] 简单地说,在一个较佳实施例中,板材被开出许多切缝,这些切缝相对于拟定的弯折线定位并且其形状允许沿着弯折线达到精确的弯曲,在弯曲过程中能产生切缝两侧的材料边缘对表面接触,这可提高弯曲处的强度和尺寸精确性。

[0058] 最佳的是,这些纵向相邻的切缝在弯折线的两侧到弯折线的距离相等而限定了斜跨弯折线延伸的缝间弯折条。较佳的是,切缝是弧形的,其凸侧对着并最靠近弯折线,使得缝间弯折条的宽度从其中点或宽度一定的区域向两个方向逐渐增大。较佳的是,切缝还包括能阻止微观裂纹蔓延的端部,这可进一步降低出现应力疲劳的可能性。

[0059] 简单地说,本发明的用于板材的精确弯曲的方法包括这样的步骤:在板材上沿着并靠近弯折线开出许多沿弯折线的纵向延伸的、并有纵向间隔的切缝,而限定出许多处于每两个相邻的切缝的端部之间的缝间弯折条。在成形切缝的过程中,把切缝的形状和位置确定为能够在板材的弯曲过程中产生切缝两侧的板材的边缘对表面的接触。这种方法还包括沿着弯折线弯曲板材的步骤,在这个步骤中在整个弯曲处产生切缝两侧板材的精确的边缘对表面的接触。

[0060] 在一个实施例中,开切缝的步骤是沿着弯折线成形两行纵向错开的细长切缝,每个切缝的两端逐渐远离弯折线,而形成位于弯折线两侧的成对的相邻切缝部分,这些部分限定跨越弯折线延伸的斜的缝间弯折条,这些缝间弯折条的宽度向两个离开弯折线的方向逐渐增加。切缝的宽度和相对两行弧形切缝之间的错位距离被定位成在弯曲过程中能产生切缝这一侧的板材与切缝那一侧的板材的边缘彼此相接触。最佳的是,切缝是弧形的并能使得产生这一侧的边缘与那一侧的表面的连续渐进的接触,结果是:在弯曲过程中沿着切缝的大部分长度这一侧的边缘弹性地靠在那一侧的表面上,这样可控制弯曲精度并能提高板弯曲处的强度。

[0061] 在本发明的方法的另一个实施例中,开切缝的步骤是这样的:沿着弯折线成形穿透板材的第一批长的切缝,这些切缝有一对横向间距很近的纵向平行延伸的第一切缝段,这些切缝段通过横向延伸的切缝段连接于一个公共横向平面;以及,以对第一批长的切缝大致纵向对准和纵向间隔的关系成形第二批长的切缝。较佳的是,开第二批长的切缝的步骤也是这样的:成形一对横向间距很近的纵向平行延伸的切缝段,这些切缝段通过横向延伸的切缝段连接于一个公共横向平面。这样,不是用一个连续的长的切缝,而是一对切缝中的每个切缝成形为一个略微移动一步的切缝,其靠近切缝段的组合长度的中点。

[0062] 在这些实施例中,在弯曲过程中存在着精确地位于弯折线上的一虚拟支点(virtual fulcrum),这可使缝间弯折条沿着弯折线的弯曲更精确。在下面实现本发明的最佳方式那一节将详细说明虚拟支点的概念。可给切缝设置多个大的端部通孔,或者把切缝的端部做成是向回弯的,这样可降低缝间弯折条处的应力集中以及组织微观裂纹的漫延。

[0063] 在另一个实施例中,沿着弯折线只设置一单个切缝,由它与板材的边缘限定的缝间弯折条可把弯折线远侧的板拉向切缝,而达到边缘对表面相接触。有中轴线的倾斜定向的缝间弯折条在弯折线的与切缝所在的那一侧相反的一侧会聚,其将产生所述的边缘对表面接触。板材的边缘与弧形的切缝端部一起限定这样的倾斜定向的缝间弯折条。

## 附图说明

[0064] 图 1 是其上按照一种已有技术成形有切缝和凹槽的一块板材的局部顶视图。

[0065] 图 1A 是在图 1 的板材被弯曲后大致沿着图 1 中的线“1A-1A”剖取的局部放大剖面图。

[0066] 图 1B 是在图 1 的板材被弯曲后大致沿着图 1 中的线“1B-1B”剖取的局部放大剖面图。

[0067] 图 2 是其上成形有多行切缝的一块板材的局部顶视图,这是已有技术中的一种替代结构。

[0068] 图 2A 是图 2 中的板被弯曲约 90° 之后的局部放大侧视图。

[0069] 图 2B 是沿着图 2A 中的线“2B-2B”剖取的剖面图。

[0070] 图 3 是按照本发明的一个实施例开出切缝的一块板材的局部顶视图。

[0071] 图 4A-4D 是一块板材的局部顶视图,其上已经按照图 3 的实施例开出切缝,并且这块板是处于被弯曲的过程中,就是从图 4A 的平面状态弯曲到图 4D 的 90° 弯曲状态。

[0072] 图 5A 到图 5C' ”是在板材的弯曲过程中分别沿着图 4A-4D 中的线“5A-5A”到线“C' ”-C' ””剖取的局部剖面图。

- [0073] 图 6 是按照本发明的第二实施例的开有切缝的一块板材的顶视图。
- [0074] 图 7 是图 6 的那块板材被弯曲约  $90^\circ$  之后的顶视图。
- [0075] 图 8 是图 7 的那块板材的端视图。
- [0076] 图 8A 是图 7 的那块板材的大致沿着图 7 中的平面“8A-8A”剖取的并且从图 8 转了约  $45^\circ$  的放大端视剖面图。
- [0077] 图 8B 是图 7 的那块板材的大致沿着图 7 中的平面“8B-8B”剖取的并且从图 8 转了约  $45^\circ$  的放大端视剖面图。
- [0078] 图 9 是按照本发明的另一个替代实施例的开有切缝的一块板材的局部顶视图。
- [0079] 图 10 是图 9 的那块板材被弯曲约  $90^\circ$  之后的侧视图。
- [0080] 图 10A 是大致沿着图 10 中的线“10A-10A”剖取的局部剖面图。
- [0081] 图 11 是本发明的再一个替代实施例的局部示意顶视图, 板材上有按照本发明构造的缝间弯折条限定结构。
- [0082] 图 11A 是图 11 中所示形状 of 切缝的局部顶视图, 这个切缝是用快速穿透激光切割技术成形的。
- [0083] 图 12 是一块板材在其被弯曲和装配成一个曲线的箱梁之前的局部顶视图。
- [0084] 图 13 是用两块板材构造的一个弯曲的箱梁的侧视图, 每块板材有图 12 中所示的切缝。
- [0085] 图 14 是图 13 的箱梁的端视图。
- [0086] 图 15 是一块板材的顶视图, 其成形有缝间弯折条限定结构并且构形为用于围在一个圆柱形构件上。
- [0087] 图 16 是图 15 的那块板材沿着弯折线弯折并安装成围在一个圆柱形构件上的立体图。
- [0088] 图 17 是用一块板材按照本发明成形的波纹板组件的分解立体图。
- [0089] 图 18 是按照本发明成形的一块板材的一个替代实施例的分解立体图。
- [0090] 图 19 是用于构造波纹板的一个替代实施例的开有切缝的板材在弯曲或折叠之前的顶视平面图。
- [0091] 图 20 是用图 19 的那块有切缝的板材构造的波纹板组件的立体图。
- [0092] 图 21 是基本上位于图 20 中的弧线“21-21”范围内的那一部分的局部放大立体图。
- [0093] 图 21A 是基本上位于图 19 中的弧线“21A-21A”范围内的那一部分的局部放大顶视平面图。
- [0094] 图 22 是用一块类似于图 19 和 20 的波纹板构造的一个圆柱形构件的示意端视图, 波纹板的比例改为适于构成这个圆柱形。
- [0095] 图 23 是按照本发明开有切缝的一块板材的局部放大侧视图, 这块板材有一个偏置的突舌, 用以确保预定的弯曲。
- [0096] 图 23A 是表示图 23 的那块板材的弯曲过程的缩小端视图。
- [0097] 图 24 是一块开有对其平面有一个斜角的切缝的板材的局部端视图, 表示出其在被弯曲到形成一个补角的过程中。
- [0098] 图 25 是按照本发明布置的从卷材到卷材的板材开切缝生产线的侧视示意图。

[0099] 图 26 是一卷板材的立体图,这卷板材已经被用例如图 25 的设备开出了切缝并且是处在被开卷并随后弯曲成一个三维结构物的过程中。

[0100] 图 27A-27G 是按照本发明构造的一块板材被弯曲成一个有对角支撑的箱梁的各个步骤的立体图。

[0101] 图 28A-28E 是按照本发明构造的一块板材被弯曲成一个机架的各个步骤的立体图,这个机架可用于支承例如电气设备。

[0102] 图 29 是适用于对本发明的开有切缝的板材进行不大费力的弯曲或折叠的设备的示意立体图。

[0103] 图 30 是本发明的板材弯曲或折叠过程的另一个实施例的示意立体图。

[0104] 图 31 是用于本发明的开有切缝的板材的弯曲的交互作用的设计、制造和装配过程的一个方面的流程图。

[0105] 图 32A-32E 是按照本发明构造的一块板材被弯曲成一个骨架壁 / 梯子的各个步骤的立体图。

[0106] 图 33 是按照本发明构造的一个弯曲的波纹板的立体图。

[0107] 图 34A-34E 是一块包括扳起的撑角板 (swing-out bracing) 的板材被弯曲成一个有撑角板的箱梁 (box-beam) 的各个步骤的立体图。

[0108] 图 35 是一块按照本发明开有切缝的并包括单个切缝实施例的板材的俯视图。

[0109] 图 36 是用图 35 的那块板材弯曲成的一个辊子箱体 (roller housing) 的立体图。

[0110] 图 37 是一块板材的局部俯视图,这块板材有几种不同的弯折线切缝终止形状 (termination slit configuration)。

[0111] 实现本发明的最好方式

[0112] 现在详细说明本发明的各较佳实施例,它们的例子如各附图所示。尽管将结合各较佳实施例说明本发明,但是应该理解,不能把本发明限制于这些实施例。相反,本发明涵盖属于权利要求书所定义的本发明的精神和范围内的各种替代、变型和等同的构想。

[0113] 本发明的用于板材的精确弯曲的方法和设备是基于此前的专利申请书中揭示的切缝几何形状,这些此前的申请书是 2000 年 8 月 17 日提交、题目为“板材的精确弯折用的方法和用于该方法的切缝板 (METHOD FOR PRECISION BENDING OF A SHEET OF MATERIAL AND SLIT SHEET THEREFOR)”、申请号为 09/640,267 的专利申请以及 2002 年 9 月 26 日提交、题目为“板材的精确弯折用的方法、切缝板和制造工艺 (METHOD FOR PRECISION BENDING OF SHEET OF MATERIALS, SLIT SHEETS AND FABRICATION PROCESS)”、申请号为 10/256,870 的专利申请,这两个文件被本文全面引用。

[0114] 本发明的用于进行精确和高强度的弯曲的工艺和设备的一个实施例可参照图 3-5 来说明。图 3 中,板材 41 成形有许多缝间弯折条限定结构,在这一情况中,诸切缝 43 总是沿着弯折线 45。所以,切缝 43 是以头对头的间隔关系沿纵向延伸,而限定了每相邻两个切缝 43 之间的弯曲部分或缝间弯折条 47。图 3 中,切缝 43 的两端设有可降低应力的结构,即通孔 49,其能够降低缝间弯折条 47 里的应力集中。但是,从下面的说明将能理解,图 3 中的这样加大的通孔 49 不是为实现本发明的精确弯曲方法的好处所必需的。

[0115] 但是,对于图 3 中所示的切缝 43 的这一实施例,沿纵向延伸于每两个切缝端部之间的每个切缝相对于弯折线 45 是沿横向或侧向错位的。这样,诸如切缝 43a 的那个切缝包

括两个纵向延伸的切缝段 51 和 52, 它们靠近弯折线 45, 等距地位于其两侧, 并与之平行。纵向切缝段 51 和 52 还由横向延伸的切缝段 53 连接起来, 所以, 切缝 43a 是从通孔 49a 沿着一条连接起来的路径延伸到通孔 49b, 这条路径连通两个通孔并包括纵向延伸的切缝段 51, 52 以及横向的切缝段 53。

[0116] 参照图 4A-4D 以及对应的图 5A-5C' 可以更好地理解这种错位的切缝的作用和优点, 其中表示出了图 3 所示的板材 41 的弯曲或折叠的各个阶段。图 4A 中, 板材 41 开出了基本上如图 3 所示的切缝。图 3 和图 4A 的一点不同在于: 图 3 中表示出了切缝宽度或被去掉的材料的宽度, 而图 4A 中没有表示切缝宽度, 这些切口可以用一种切口刀或切口冲头加工出来。但是, 如果切缝宽度足够小, 以至于在弯曲过程中切缝两侧的材料能互相接触, 那么弯曲过程中的效果是基本上相同的。图 4A-5C 中的标号与图 3 中的相同。

[0117] 这样, 在图 4A 中, 板材 41 处于弯曲前的平板状态。图 4A 表示出了沿纵向延伸的切缝段 51 和 52, 而图 5A-5C 中表示出了它们的横断面。图 4A 还表示出了板材的各个横断面的位置。

[0118] 图 4B 中, 板材 41 已被沿着弯折线 45 略微弯曲, 这从图 5A'-5C' 可以看出。如图 5A 和 5B 所示, 切缝段 51 和 52 的顶边缘已经张开。板材的在弯折线 45 左右两侧的部分在美国专利 6, 481, 259 和美国专利申请 10/256, 870 中被称为“舌板 (tab)”55, 但是为了与这一申请中后面的各实施例一致, 这里把它称为“唇部 (lip)”55。唇部 55 的下侧或底侧边缘 51a 和 52a 已经沿着切缝两侧的支承面 51b 和 52b 略微向上移动。当板材被弯曲到一个较大的程度时, 例如弯曲到图 4C 所示的位置时, 可以更清楚地看出唇部边缘 51a 和 52a 的这种移动。

[0119] 在图 4C 和对应的各剖面图中可以看出, 边缘 51a 和 52a 已经向上运动到支承在弯折线 45 两侧的支承表面 51b 和 52b 上。这样, 在弯曲过程中, 边缘 51a 和 52a 与支承表面 51b 和 52b 之间有滑动接触。如果纵向切缝段 51 和 52 是等距地加工在弯折线 45 的两侧, 如图 4A 所示, 那么这种滑动接触将发生在中间的弯折线 45 两侧距离相等的位置。用润滑剂, 也可以用粘结剂和密封剂可使滑动接触顺畅, 当然对粘结剂和密封剂而言, 要在它们凝固和粘合之前。

[0120] 这种结构的结果是有两个实际的弯曲支点 51a、51b 和 52a、52b, 它们在弯折线 45 的两侧并对其有相等的距离。唇部边缘 51a 和支承表面 51b 以及唇部边缘 52a 和支承表面 52b 使缝间弯折条 47 绕一个虚拟支点弯曲, 这个虚拟支点位于两个实际支点之间, 并且可以被理解为是叠加在弯折线 45 上。

[0121] 弯曲到 90° 度的最终结果如图 4D 和对应的剖面图 5A'-5C' 所示。可以看出, 边缘 52a 和底侧或底面 52c 现在是与支承表面 52b 互相接触或靠在一起, 并且以部分搭接的关系支承于其上 (见图 5A')。类似地, 边缘 51a 和底面 51c 现在接合于表面 51b 并且以搭接状态靠在其上 (见图 5B')。可以看出: 缝间弯折条 47 已经发生了塑性变形, 或者说是沿着它的上表面 47a 它被拉长了, 而沿着它的下表面 47b 它被压缩了, 如图 5C' 所示。

[0122] 在图 4D 所示的弯曲状态, 板材的两个唇部, 也就是板材切缝的中轴线两侧的部分 55, 现在靠在支承表面 51b 和 52b 上。在弯曲过程中这种边缘对表面的接触和支承, 其在图中所示的结构中交错于弯折线的两侧, 可给出较好的弯曲或折叠精度, 并且可使形成的弯曲或折叠结构能承受较大的在垂直方向作用的剪切力。在各缝间弯折条 47 之间, 载荷

La(见图 5A'") 将由底面 52c 和边缘 52a 在支承表面 52b 上的搭接来支承。类似地, 载荷 Lb(见图 5B'") 将由边缘 51a 和表面 51c 在支承表面 51b 上的搭接来支承, 这些搭接与缝间弯折条 47 一段一段地交替着。

[0123] 这里所说的材料的“边缘对表面”接触和支承, 既纵向地沿着切缝一侧的整个长度也纵向地沿着切缝另一侧的整个长度。将能理解: 如果板材 41 被弯曲或被折叠超过  $90^\circ$ , 边缘 51a 和 52a 将脱离支承表面 51b 和 52b, 并且下表面 51c 和 52c 将由表面 51b 和 52b 的下边缘支承。如果板材弯曲小于  $90^\circ$ , 在开始弯曲之后边缘仍是几乎立刻就进入与表面接触, 但只是边缘线接触表面。这种切缝的一侧在其另一侧上的支承在本说明书和权利要求书中也将被称为是“边缘对表面”接触和支承。下文将有说明, 通过在板材上开出不是与板材表面成  $90^\circ$  的切缝, 也可以在非  $90^\circ$  的弯曲的情况下做到边缘 51a 和 52a 完全支承在支承表面 51b 和 52b 上。

[0124] 在本发明的基于切缝的弯曲系统中, 尽管缝间弯折条或弯曲部分 47 由于塑性变形有残余应力, 以及尽管切缝使弯曲处的一个很大部分不是直接连接在一起, 但是开出的切缝的位置可使得形成一种边缘对表面的搭接, 与图 1, 1A, 1B 和 2A, 2B 的基于传统的切缝和凹槽形状的弯曲结构相比, 这种搭接可提供很大的补充强度。实际上, 本发明的缝间弯折条给弯曲处预加了载荷, 以至基本上在整个弯曲过程中把切缝的两侧拉成了或夹持成了在弯曲处在切缝的大致整个长度上的边缘对表面接触。由缝间弯折条中的残余拉伸应力产生的弯曲处的预加载荷也能防止被预加载荷的切缝边缘和切缝的另一侧上的、作为靠山的表面之间的振动。

[0125] 另外, 由于在切缝长度的大部分上各切缝这一侧的边缘与各切缝那一侧的表面接触, 载荷 La 和 Lb 将不会破坏缝间弯折条 47 或者使它进一步塑性变形, 而用图 2、2A、2B 的已有技术的切缝结构就有破坏或进一步变形的可能。这个弯曲处的载荷直接由用本发明的开切缝技术达到的边缘对表面接触来支承, 而不是仅由被扭转的高应力的缝间弯折条的连接区域的横断面承担, 而在图 2、2A、2B 的已有技术的切缝结构和 Gitlin 等人的申请中, 却是只由连接区域的横断面承担。

[0126] 所以, 本发明的采用横向错位的切缝的这一实施例具有明显的优点。首先, 可以在弯折线 45 的每一侧精确地布置沿纵向延伸的切缝段 51 和 52 的横向位置, 使得弯曲绕着一个由两个等距离位于弯折线的两侧的实际支点产生的虚拟支点发生。由于可以用 CNC 控制器控制切缝切割设备, 因而可非常精确地控制切缝的位置, 所以这种精确的弯曲可降低或消除累积误差,

[0127] 还应该注意到: 折板机 (press brake) 通常是在距离板材的边缘或一个已存在的弯曲处或其它结构一定距离处进行折板, 这使得很难用折板机以对板材边缘结构有一个角度进行弯曲。但是, 用本发明的开切缝工艺可以很容易做到以对板材边缘的任何结构的各个角度进行精确的弯曲。此外, 由于板承受的载荷是由本发明的切缝形状产生的边缘和表面的搭接来支承, 弯曲成的板结构的承受剪切载荷和沿着横向垂直的轴线的载荷的能力大大地提高了。

[0128] 可以看出: 图 3-5C'") 所示的本发明的这一实施例可使大致垂直于弯折线的各弯曲部分或缝间弯折条 47 产生精确的弯曲。缝间弯折条的这一取向可使缝间弯折条产生沿着其外表面或顶面的相当大的塑性伸长, 以及沿着缝间弯折条的内表面或底面的相当大的

压缩。这种弯曲发生在相对较短的垂直的缝间弯折条上,与图 1-1B 的垂直的缝间弯折条的弯曲方式相类似,但是在图 3-5C'”中,一个平面的唇部 55 被翻转到与另一平表面成互锁或互相接触的关系,这就增加了弯曲处的强度。

[0129] 图 2-2B 中所示的已有技术的作法是把缝间连接条 34 定向为平行于弯折线,结果是缝间连接条 34 有很大的塑性扭转变形。这样的塑性扭转变形还会明显地改变弯折线附近的材料的微观组织。而且,这些缝间连接条不会在切缝的整个长度上使板材的相对两侧翻转到互相接触。还有,在图 3-5C'”的实施例中,可以独立于切缝段 51 和 52 之间的错位距离改变缝间弯折条的宽度,所以在弯曲强度的设计中有较大的灵活性。

[0130] 尽管图中表示的是板材弯曲了  $90^\circ$ ,但是应该理解:如果开有这种切缝的板材弯曲大于或小于  $90^\circ$ ,也能实现本发明的各实施例中所述的大多数优点。从小的弯曲角度开始,横着弯折线延伸的唇部就滑上并接触相反的表面,在大于  $90^\circ$  的弯曲角度情况下这种支承和接触将继续存在。

[0131] 已经发现图 3-5C'”的实施例最适用于延展性相当好的板材。如果材料比较硬且延展性小,则第二实施例为佳。

[0132] 在图 6-8B 所示的本发明的实施例中,采用了这样一种切缝形状,它可使切缝两侧的板材翻转到使互相接触,并可减小缝间弯折条的塑性变形和缝间弯折条中的残余应力。而且,这一实施例也允许独立于切缝之间的错位距离改变缝间弯折条的宽度,以及从弯折线开始向左、右两个方向增大缝间弯折条的宽度,这可减小在弯折线两侧的板材的连接部分里的应力集中。

[0133] 采用了斜向对着弯折线的缝间弯折条,与图 3-5C'”的较短缝间弯折条相比,这可以增加缝间弯折条的长度。缝间弯折条的塑性变形也可以部分地由扭转来达到,而不是像图 3-5C'”中那样只产生纯粹的弯曲,但是与图 2-2B 的平行的缝间弯折条相比,扭转的量大大地减小了,而且,切缝这一侧的唇部被翻转到实际上在切缝的整个长度上与切缝那一侧的表面互相接触,这使得在有载荷作用时不会产生很大的缝间弯折条附加应力。

[0134] 此外,在图 6-8B 所示的实施例中,在弯曲过程中这种切缝形状使切缝两侧的材料产生连续的滑动接触,这种连续接触沿着切缝从中间走向两端。在弯曲过程中,切缝的一侧表面成为滑动支承的靠山,这可使缝间弯折条的弯曲更均匀并且应力较小。所以,图 6-8B 所示的实施例可用于延展性较小的板材,诸如热处理的 6061 铝甚至某些陶瓷材料,并且可用较厚的板材。

[0135] 特别参照图 6-8B,被弯曲或折叠的板材 241 被成形有许多沿纵向延伸的缝间弯折条限定结构,诸如沿着弯折线 245 的那些切缝 243。每个切缝 243 的两端可以任选地设置大的减轻应力孔 249 或者曲线的端部 249a,其可以阻止任何应力裂纹漫延回切缝 243,这取决于板材的受力方向。可以看出:图 6-8B 的实施例的切缝不是一步一步间隔的,但是它们被构造成能使斜的缝间弯折条 247 绕着叠加在弯折线 245 上的一个虚拟支点发生弯曲和扭转。切缝的这种形状和定位,包括错位距离和切缝宽度,在弯曲过程中也可使切缝两侧的板材翻转到或运动到边缘对表面互相接触。在整个弯曲过程中直至其结束,这种最佳的边缘对表面的互相接触始终存在。但是,可以通过选择错位距离和切缝宽度,使得只在弯曲开始时产生边缘对表面的接触,这对确保精确的弯曲有利。因此,就本文的用语而言,“在弯曲过程中”是指包括在弯曲的任何阶段发生的边缘对表面的互相接触。

[0136] 尽管图 6-8B 和图 9-10A 所示的各实施例不是一步一步的,但是这些实施例的斜的缝间弯折条可以用图 3-5C' ”的一步一步的切缝形状来组合。这样,一步一步的切缝的一端或两端可以是斜的或曲线的。

[0137] 如图 6 所示,一对长的切缝 243 分别较佳地定位在弯折线 245 的两侧并靠近弯折线 245,它们定位成使弯折线两侧的纵向邻近的各对切缝端部之间形成弯曲部分或缝间弯折条 247,可以看出:缝间弯折条 247 是斜向穿越弯折线 245。“斜的”和“斜向地”将在下面结合图 11 更详细地解释,其意思是缝间弯折条的纵向中轴线以一个不是 90° 的角度穿越所期望的弯折线。这样,每个切缝端部 251 逐渐远离弯折线 245,致使缝间弯折条 247 的中轴线成为歪的或斜的了,以及缝间弯折条可以发生扭转。虽然不是实现本发明的弯曲所绝对需要的,但是可以看出各切缝 243 是沿着弯折线 245 沿纵向搭叠的。

[0138] 与图 2-2B 的切缝 31 和已有技术的 Gitlin 等人的申请不同,它们的切缝是平行于在限定缝间弯折条 34 的区域里的弯折线,而这里的切缝 243 逐渐远离弯折线 245,形成了斜的缝间弯折条,其在弯曲过程中不会发生已有技术的图 2-2 和 BGitlin 等人的申请中存在的那种极端的扭转。而且,切缝 243 对弯折线 245 的逐渐远离可使缝间弯折条的尺寸向着与板材 241 的其余部分连接的方向逐渐加宽。这个逐渐增加的宽度可加强载荷跨越弯曲处的传递,因而可降低应力集中和提高缝间弯折条的疲劳强度。

[0139] 与第一实施例的情况一样,切缝 243 较佳地有一个宽度尺寸,并且切缝之间跨越弯折线的横向错位距离也规定了尺寸,以便在弯曲过程中切缝两侧的材料能互相接触。这样,切缝 243 可以用一种刀具加工出来并且可以有大致为零的切缝宽度,或者它们可以有仍能产生互相接触的较大的切缝宽度,这取决于被弯曲的板的厚度。最佳的是,切缝宽度不超过板材厚度的 0.3 倍,以及错位距离不超过板材厚度的 1.0 倍。

[0140] 与图 3-5C' ”的实施例的情况一样,唇部 253 延伸越过弯折线 245 到切缝 243。如果切缝宽度和错位距离相对于板材的厚度不是大得在弯曲过程中会阻止切缝两侧之间的接触,那么唇部 253 可滑上或骑上舌部 260 的表面 255。

[0141] 如果切缝宽度和错位距离大得使唇部 253 和舌部 260 的表面 255 之间不会发生接触,那么被弯曲或折叠的板将仍然有某些斜的缝间弯折条的提高强度的优点,但是在这样的情况中没有实际的弯曲支点,所以沿着弯折线 245 的弯曲变得不大可预测和不大精确。类似地,如果缝间弯折条限定结构是不穿透板材的凹槽 243,那么这些凹槽将限定斜的高强度的缝间弯折条,但是在弯曲过程中不会发生边缘对表面的滑动,除非凹槽深得弯曲过程中会裂穿而变成切缝。这样,缝间弯折条的弧形的逐渐远离的凹槽实施例即使不能产生边缘对表面的接触也能提高缝间弯折条的强度。

[0142] 如果切缝宽度太宽以至于不会发生唇部 253 舌部 260 的表面 255 的接触,这种情况的另一个问题是最终弯曲成的板材没有支承在切缝表面上的唇缘,除非弯曲处是相当的极端以至于被弯曲的板的两个侧面之间形成一个小的锐角。在已有技术的开切缝作法中已经注意到:在有载荷作用时缝间弯折条里将立即出现进一步的应力。图 6-8B 的缝间弯折条形状中的问题不会像已有技术中的那样严重,但是应给切缝宽度和错位距离选择较佳的尺寸,以确保基本上在整个弯曲过程中唇部和舌部表面的互相接触。

[0143] 也可把切缝 243 正好放在弯折线上,或者即使跨越弯折线仍能产生从实际支点平面 255 的平衡位置开始的精确的弯曲以及唇部 253 的边缘沿着它的滑动。成形为跨越弯折



线 245 的切缝 243 的潜在缺点是在边缘 257 与表面 255 之间将仍有一个空隙。但是,为了便于后续的焊接、铜焊、锡焊、填充粘结剂,或者希望留一个空隙通气,一个空隙是可以接受的。在弯曲后进行后续的加强时,把切缝定位成能产生一个空隙是本发明的一个符合需要的特点。但是,如果空隙不填充起来,它会把对弯曲处在所有自由度(旋转自由度除外)上的全部承载要求放在塑性变形的连接区域或缝间弯折条 247 的横断面上。也可以改变跨越弯折线的切缝的大小,使之能产生边缘对表面的接触而又不产生空隙。

[0144] 图 7、8、8A 和 8B 表示出板 241 被沿着弯折线 245 弯曲了  $90^\circ$ 。从图 8A 和 8B 中可以清楚地看出:唇部 253 的内边缘 257 已经滑上切缝另一侧的舌部 260 的表面 255,并与之接触和支承在其上。所以,图 8A 中所示的垂向力  $F_v$  是由边缘 257 在表面 255 上的搭接来支承。类似地,图 8B 中所示的水平力  $F_h$  将由边缘 257 在表面 255 上的搭接来抵抗。把图 8A 和 8B 与已有技术的图 1A、1B 和 2A、2B 相比较可以看出它们的区别,在整个结构的强度上,本发明的弯曲方法和切缝形状明显优越。与已有技术的切缝形状相比,本发明的沿着切缝交错搭接的边缘对表面支承和在两个相反的歪斜方向上的缝间弯折条的组合,不仅可产生精确的弯曲,而且残余应力较小,强度较高。

[0145] 但是,缝间弯折条向两个相反方向的歪斜不是为达到本发明的诸多优点所必需的。在板 241 是各向同性的材料时,缝间弯折条的中轴线的交错歪斜能够消除应力。如果板的材料不是各向同性的,可以用向同一方向歪斜的缝间弯折条来抵消材料中的优先晶粒效应。或者,对于各向同性的板材,缝间弯折条向同一方向的歪斜可使板材的在弯折线两侧的两个部分沿着弯折线相对位移,这种位移可用于产生与一个第三平面的锁合,诸如由产生的侧向移动量建立一种过盈配合或一个突舌和槽口的插合。

[0146] 斜的切缝的几何参数是这样的:它们弯曲并扭转过一个区域,这个区域会使缝间弯折条材料里在切缝终止处或缝间弯折条连接于板材的其余部分处的残余应力降低,这样,可以降低裂纹的漫延,减轻对大的缝间弯折条端部通孔或缝间弯折条的卷曲形状的需要。如果做成的结构物主要是承受静载荷或预料其不承受任何载荷,对限定斜的缝间弯折条的弧形切缝,不必设置能降低应力的端部形状。

[0147] 另外,将能理解:可以沿着 245 移动切缝 243 以改变缝间弯折条 247 的宽度而不增大各切缝之间的横向错位距离。相反,切缝 243 之间的错位距离可以增大,并且纵向移动切缝可保持缝间弯折条的厚度相同。很明显,这两种改变都可以进行,以设计出满足应用的缝间弯折条宽度和长度。

[0148] 一般地说,可把从切缝到切缝的横向距离,也就是切缝到弯折线的距离的两倍称为“错位”距离。在本发明的各较佳实施例中,错位距离对材料的厚度之比应小于 1。就是说,错位距离通常是小于材料厚度。一个较佳实施例中这一比值是小于 0.5。一个更佳的实施例中这一比值是小于 0.3。这要根据所用具体材料的特性、缝间弯折条的宽度和切缝尺寸来确定。

[0149] 缝间弯折条 247 的宽度将影响使板弯曲所需要的力,可以通过移动切缝 243 使其离开弯折线更远一些或纵向移动切缝的位置,或者两者兼用,来改变弯曲力的大小。一般地说,最好是把斜的缝间弯折条 247 的宽度选择得比被弯曲的材料厚度大一些,缝间弯折条的宽度可以是材料厚度的约 0.5 到 4 倍,更佳的是 0.7 到 2.5 倍。

[0150] 但是,本发明的优点之一是切缝的形状可使板材的弯曲通常可用手工工具或轻型

的动力工具来完成。因为只需要弯曲工具施加使缝间弯折条 247 弯曲和扭转的力,不必用弯曲工具来控制弯曲的部位。要控制弯曲部位就得用动力工具,诸如折板机,把材料夹住施加足够大的力才能控制弯曲部位。但是,在本发明中,弯曲部位是由实际支点,也就是在弯折线两侧的表面 255 上枢转的边缘 257 来控制。所以,只需要弯曲工具能实现缝间弯折条 247 的弯曲而不要求它控制弯曲的位置。在没有大功率的动力工具可用的情况下,例如在室外或在野外建造工地,或者操作者没有动力工具,这是极其重要的。也可以用小功率的板材弯曲设备,诸如用瓦楞纸板弯曲机、气囊、真空弯曲机、带有折叠杆的液压拉缸以及形状记忆弯曲材料来弯曲金属板,这将在下文详细说明。此外,如果要制造的结构物本身的几何参数使得无法应用动力弯曲设备,那么在这种结构物的制造中,能够用手工工具进行精确的弯曲是非常重要的。在进行闭合和扣合一个三维结构物的最后几个弯曲时,情况尤其如此。

[0151] 切缝端部 251 的最佳形状是逐渐远离弯折线 245 的一个弧形。事实上,每一条切缝都可以成形为一个连续的弧,如图 9、10 和 10A 所示,这将在下文说明。一个弧形可使切缝一侧的材料从切缝的中心开始沿着一个弧形路径滑顺地渐进地爬上舌部的表面,并渐进到切缝的端头。这可降低弯曲过程中边缘 257 顶死在表面 255 上的危险,因而可使缝间弯折条里的应力较小。此外,大的切口自由表面半径有利于减小应力集中。在图 6-8B 的切缝形状中,切缝 243 的中间部分基本上平行于弯折线 245。某些不平行的切缝取向,特别是平衡在弯折线的任一侧,也是可以接受的,并能产生本文所述的结果。

[0152] 也可把切缝端部 251 成形为以垂直于弯折线 245 和切缝 243 的中段的方向逐渐远离于弯折线 245。如果切缝不是纵向搭接的,这将形成不斜的缝间弯折条。这种作法的缺点是,缝间弯折条 247 的弯曲不均匀不可靠,因而影响弯曲部位的精度。此外,这样的几何参数使得缝间弯折条不发生扭转,并在弯曲处的内和外半径上有几个严重的应力集中点,还可能限制边缘对表面的接触程度。

[0153] 对于弹 / 塑性材料,本发明的所有各实施例中的缝间弯折条都是先弹性变形而后塑性变形。本发明的开切缝方法也可以用于从不塑性变形的可弹性变形的塑料。这类材料只要不放开就能保持在弯曲或折叠状态。为了使得更可能只发生弹性变形,较佳的是把缝间弯折条成形为有纵向的中轴线,这个中轴线对弯折线有一个小的角度,最好是  $26^\circ$  或小于  $26^\circ$ 。这个角度越小,发生扭转的比例就越高,以及发生弯曲的比例就越低。而且,这个角度越小,弯曲半径就会越大。不怎么塑性变形的刚性材料,诸如硬的聚合物、硬的金属、比较柔性的陶瓷以及某些复合材料,都能在弹性范围内承受大半径的弯曲。它们也能承受分布在长的缝间弯折条材料上的弹性扭转或扭曲。小角度的缝间弯折条在这两个方面都起作用。

[0154] 但是,在塑性变形的板的弯曲处的端部将仍保持有一定的有回弹力的弹性变形,其倾向于把边缘 257 拉靠到表面 255 上并产生能保持切缝两侧材料之间互相接触的残余弹性夹紧力。因此,被弯曲的板的弹性力将会把板的搭接边缘预加载或坐落在支承表面上,这可确保弯曲处的强度并可降低弯曲处承受载荷时缝间弯折条的应力增量。

[0155] 图 9、10 和 10A 所示的实施例是结合图 6-8B 说明的斜的缝间弯折条实施例的一种特殊情况。这里,斜的缝间弯折条由完全是弧形的切缝 443 限定。这样的一段圆弧形状的切缝特别适用于弯曲较厚的延展性不大好的金属板材,例如钛板和厚度 1/4 英寸以上的钢

板。

[0156] 在板材 441 上弯折线 435 的两侧成形出圆弧形切缝 443 时,延伸越过弯折线 445 到切缝 443 的唇部 453 在弯曲的初始阶段开始翻转到或滑到弧形切缝的中部的舌部 470 的表面 455 上。随后,随着缝间弯折条 447 被扭转和弯曲,唇部 453 从切缝的中部滑出,部分地滑到舌部表面 455 上,这种情况逐渐向切缝端部进展。各唇部逐渐翻转到各相对的表面 上可减小切缝端部 449 处的应力,所以,与图 6-8B 的实施例相比,这更适用于弯曲延展性较小厚度较大的板材。图 6-8B 中,切缝的中间部分是直的,弯曲时整个直的部分同时滑到相对的表面上。

[0157] 图 10 中的切缝端部 449 没有应力减轻通孔 249,也没有做成图 6-8B 那样的弯的端部 249a,也没有做成图 11 那样的曲线端部,但是可以比较经济地在大多数板上切割或成形出切缝 443。而且,在弯曲过程中,缝间弯折条 447 的变形是逐渐发生的,因而可降低应力集中。当然,这可与增大缝间弯折条的宽度并用,以便把载荷力和弯曲力更均匀地传递到板的其余部分,同时降低应力集中。

[0158] 本发明的在板材上开出切缝和凹槽的各实施例在设计、制造和制作上能够达到迄今从未实现过的优点。用本发明的板料成形技术,可以充分实现诸如 CAD 设计、快速仿型和“即拿即装 (pick and place)”装配 (“pick and place”assembly) 等设计和制造技术的优点。而且,用本发明的缝间弯折条限定结构大大有利于采用诸如焊接等标准制造技术。

[0159] 采用按照本发明成形的板的许多优点可在应用诸如焊接的基本制造技术中显现出来。用本发明的方法弯曲板材,可以避免制造中的许多问题,诸如搬动许许多多的零件,在焊接前用夹具定位,等等。

[0160] 此外,对采用本发明的切缝弯曲的板可以沿着切缝进行焊接。例如,如图 10A 所示,舌部 470 的表面 455 和唇部 453 的端面 457 形成一个 V 形截面,这对于焊接是很理想的。不必磨削或机械加工就可沿着切缝 443 焊上一条焊缝 460,如图 10A 中的虚线所示。而且,切缝两侧的板材的边缘对表面相接触,在效果上相当于在焊接过程中用于把板材的两部分保持在一起的一个定位工具或夹具,还可降低焊接热引起的翘曲。并且,在焊接步骤中可大大缩短拼装时间,可保持用本发明的开切缝工艺得到的尺寸精度。精确的切缝还可以为机器人进行焊接提供容易感受的形状特点。这些优点在锡焊、铜焊和填充粘结剂中也是很明显的,当然,对于许多粘结剂,热变形一般不是什么严重的问题。

[0161] 用焊接、铜焊、锡焊、封装剂或粘结剂可使按照本发明弯曲的板成为能盛装流体或可流动的物料的壳体。这样,用弯曲的板制成的壳体甚至可用于制成流体密封模具,模制后可把板材取下也可留在模制件上。

[0162] 用斜的特别是曲线的凹槽或切缝的突出特点之一是形成的缝间弯折条的、连接于板材的其余部分的两端是逐渐加宽的。这样,图 10 中缝间弯折条 447 的区域 450 是在缝间弯折条端部 449 与相邻的缝间弯折条 443 之间横向加宽。这种加宽有利于把缝间弯折条 447 的端部的应力以一种扩散或不集中地发生传递到板材的其余部分。随着切缝圆弧半径的减小,加宽程度增大,这允许进一步独立地改变缝间弯折条里的应力遍及弯曲处的传递。可以把这种改变与改变缝间弯折条宽度、错位距离和切缝宽度等之一或全部组合起来,以进一步提高弯曲处的强度。图 11 的切缝或凹槽的设计中用了这一原则。

[0163] 尽管图 6-8 和图 9-10 的各实施例的斜的缝间弯折条可以大大提高弯曲结构的总

强度和疲劳强度,但是,已经在经验中发现:如果缝间弯折条限定结构采取弧形切缝的形式,还可以做出更进一步的特别是与疲劳有关的一些实施例。就这里的用法而言,“弧形的”是指并包括圆弧和由一连串半径不同的切向弧首尾连接起来的折线弧。圆弧形切缝或凹槽最好是有相对较大的半径(与板厚相比),如图 11 所示。这样,板材 541 可以沿着弯折线 543 设置许多连接起来的大半径的圆弧形切缝,其总的由标号“542”所指。圆弧形切缝 542 最好是纵向错开或偏置一个偏置距离,这个距离在沿着弯折线 543 在相邻两个切缝的中部之间度量,或者是以本发明的前面各实施例中所述的方式在弯折线 543 两侧错开一个距离。圆弧形切缝 542 限定出乃是连接区域的缝间弯折条 544 以及乃是断开区域的切缝 542。图 11 中,只是右边的切缝 542 表示出了切缝宽度,其余的切缝 542 或是示意地表示的,或是只画了一条线而没有表示切缝宽度。

[0164] 纵向相邻的两个切缝 542 限定了其间的缝间弯折条 544,其在这一实施例中也是斜对着弯折线 543,并且是交替地歪斜,这与上述是一样的。每一切缝 542 有一个中间圆弧段 546,其中点到弯折线 543 距离最近。其端部 548 也可以有利地做成一个小半径的圆弧,接着是往回弯的弧形部分 549,最后终止于向内的弧形部分 551。

[0165] 所以,可以看出:缝间弯折条 544 是由在弯折线 543 两侧的圆弧段 546 和端部弧形部分 548 限定。缝间弯折条的最小宽度是出现在纵向相邻的两个切缝的圆弧段 546 之间,如图 11 中的箭头 552 所指。如果在缝间弯折条的最小宽度处画出一条穿过箭头 552 的中轴线,这条中轴线大致在缝间弯折条的最小宽度处穿过弯折线 543。缝间弯折条 544 从其最小宽度 552 处沿着其中轴线 553 向两端逐渐加宽。这样,板材的在弯折线 543 一侧的那一部分 554 通过缝间弯折条 544 连接于板材的在弯折线 543 另一侧的第二部分 556。缝间弯折条 544 的宽度从最小宽度处开始向两个相反的方向逐渐增大,这使缝间弯折条 544 跨越弯折线 543 连接于板的第一部分 554 和第二部分 556。这种方式可大大降低应力和提高疲劳强度。

[0166] 为了进一步说明,以画出网格的缝间弯折条 554a 来说明缝间弯折条的宽度沿着中轴线 553 的增大。由两端宽度逐渐增大的缝间弯折条 544 把板的第一部分 554 和第二部分 556 连接起来,这有助于降低应力。缝间弯折条 544 的中轴线 553 定向为对弯折线 543 有一个斜角,这使缝间弯折条既被扭转又被弯曲,而不是单纯扭转,这也可降低缝间弯折条里的应力。板材里的应力流过缝间弯折条的连接材料遍及弯曲处。作为疲劳损坏的主要原因的循环拉伸应力(cyclical stress in tension)流过被扭转和弯曲的缝间弯折条并大致平行于大半径的弧 546 和 549。小半径的弧 551 和 548 起到从承载主应力的自由表面 546 和 549 向外平滑过渡的作用,但它们本身不经受应力流。这样,诸弧形的切缝就像是由多个小得多的圆弧连接起来的诸非常大的圆的诸部分,其连接方式为,只是大半径的弧(与板材厚度相比)在应力场里,并且用小半径的弧作为连接部分,以减小从形成切缝的弯折线深入母平面(parent plane)的深度。这样,最容易出现应力引起的微观裂纹的切缝端部将不会有应力裂纹出现,因为应力是沿着弯曲处的长度从一个切缝到另一个切缝。但是可以看到:在图 6-8 和 9-10 的各实施例中,在疲劳状态下切缝端部就可能出现裂纹。

[0167] 缝间弯折条的形状也将影响应力遍及弯曲处的分布。在缝间弯折条从其最窄处例如图 11 中的最小宽度 522 处向两端迅速加宽时,这个最小尺寸处倾向于构成缝间弯折条的中部的腰部或薄弱平面。这种向中间快速变窄将会使缝间弯折条里有局部塑性变形和应

力集中,而不会是所希望的应力分布于缝间弯折条的全长和分布到缝间弯折条两侧的材料 554 和 556 中。

[0168] 如图 11 所示,最好是缝间弯折条 544 的最小宽度 552 处有所需要的缝间弯折条强度,而后,缝间弯折条向两端逐渐加宽,并且在其端部快速加宽而融合于板的第一部分 554 和第二部分 556。这样的结构可避免缝间弯折条的腰部 552 过窄。而如果腰部过窄,应力就不能沿着缝间弯折条的长度均匀分布,更不能分布到板的第一部分 554 和第二部分 556,弯曲和扭转力就会集中而导致破坏。

[0169] 切缝的舌部,亦即由弧形切缝的凸侧限定的母平面的一部分可能不会受拉伸应力。这使得整个舌部用于设置切入母平面的结构是很理想的。例如可在舌部上设置与其它连接零件配对的固定或对准孔或缺口。图 11A 表示出把喷水切割 (water-jetcut) 的或激光切割的快速穿透孔 560 和 565 定位在切缝 546 的舌部 555 上。快速穿透孔是不大规整的并且其边缘可能出现疲劳裂纹。图 11A 中,表示出快速穿透孔 可在的两个位置。用激光和喷水加工快速穿透孔可以大大降低成本,因为慢速穿孔是很费工时的。

[0170] 本发明的最有利方面之一是可以通过设计和切割在板材上形成缝间弯折条以及在弯曲时达到板材的唇部和舌部的边缘对表面的接触,而又基本上不改变弯曲或折叠处的材料微观组织。相比之下,用已有技术中所述的常规的弯曲方法把板材弯曲或折叠到同样的角度或程度,材料的微观组织就会发生很大的变化。正是缝间弯折条和切缝的边缘对表面的接触的关系提供了在材料被弯曲时的综合的扭转和弯曲变形,这可大大降低弯曲处的应力并使弯曲处的材料微观组织基本上不被改变。而在用已有技术的常规弯曲方法时,如果弯曲得很厉害,例如使弯曲处的内部角度为  $90^\circ$ ,就像图 5A'、8、8A、8B 和 10A 所示那样,弯曲处的材料微观组织就会变化很大。

[0171] 如结合本发明的其它实施例所述的那样,可以改变切缝 542 的几何参数来适应宽广的板材特性。因此,就像可以选择各种类型的板材或改变它们的厚度和强度弹性一样,可以改变切缝 542 的几何参数。例如可以改变切缝的长度 L、切缝的偏置距离、切缝沿着弯折线 543 的纵向间隔。还可改变切缝的宽度 H、在弯折线两侧之间的跨越弯折线的错位距离 J。这些因素都对缝间弯折条 544 的几何参数和取向有影响,而缝间弯折条 544 的几何参数又影响弯曲处的强度和它用于各种结构的适用性。弧形切缝的形状也是同等重要的,因为它与上述的密封和定位有关。

[0172] 所以,本发明的一个特点是可以修改限定缝间弯折条的切缝或凹槽来适应被弯曲或折叠的材料和要生产的结构物。例如,可以用逼近设计法设计弧形切缝,在设计中略微改变其几何参数,形成一系列有关的弧形参数,凭经验试验给定材料但厚度不同的板材。对于不同的材料,可以重复进行这一过程,并把得到的经验数据储存在数据库里,以便以后输入要弯曲的板材种类和厚度,就能从数据库检索数据而进行设计。这一过程尤其适用于应用计算机进行设计,可将板材的物理性能输入计算机,并且由程序从经验数据库选择数据,来设计出最适合要弯曲的板材的弧形几何参数。对于没有准确数据储存在数据库里的板材,或对于没有准确数据储存在数据库里的板材厚度,可以采用中间插值法。

[0173] 也可以改变弧形的沿着弯折线长度的形状进而改变起连接作用的缝间弯折条,来适应板材的厚度沿着弯折线的变化。或者,可以改变或修改缝间弯折条沿着弯折线的形状,来适应非线性的载荷。尽管切缝或缝间弯折条的形状不是与本发明的强度和疲劳强度

的提高同等重要,但是也可以改变它们来产生不同的装饰性效果,同时能提高强度和疲劳强度。

[0174] 本发明的板材开切缝系统的各实施例的另一个优点是制成的弯曲处或折叠处的内部和外部都可以相当尖。尖的弯曲处可使一个弯曲成形的结构物对另一个弯曲成形的结构进行高强度的连接。用折板机折出的弯曲处往往是圆角的并有明显的半径。例如,在把折板机弯曲成的结构物连接于一个板时,施加的力有使弯曲结构物绕有圆弧的弯曲处转动的趋势,以至弯曲结构可能脱离那块板。而用本发明的开切缝技术制成的弯曲处是尖的,那种脱离情况就不易发生。

[0175] 能生产出尖的弯曲处或折叠处的能力使本发明的工艺可应用于迄今只能用纸或纸箔做的结构,也就是日本所述的折纸术(origami),或者说用纸折叠成的结构物。复杂的三维折叠的纸结构及其创造中的科学或数学是在多少世纪的努力中发展起来的。这种折纸结构物,外表非常精致,但通常不能用厚度大于箔片的金属板制作。因此,用折纸术折叠成的结构物通常不能支承多大的载荷。折纸术的典型例子是美国纽约州布法罗市 Fierfly Books 出版商 2002 年出版的 Dedier Boursin 的著作《先进的折纸术(ADVANCED ORIGAMA)》以及纽约州纽约市 Sterling Publishing Company 出版公司 2002 年出版的 Kunihiro Kasahara 的著作《非凡的折纸术(EXTREME ORIGAMA)》中发表的折叠的纸结构。本发明使模仿折纸术进行结构物设计这样一个新的设计门类成为可能,在这一门类中可用本文描述的开切缝和弯曲方法取代折纸术的折褶。

[0176] 本发明的开切缝或凹槽工艺可以生产出尖的弯曲处甚至允许把金属板折叠 180° 或折回在自身上。这样,可用厚度超过箔片的金属板折叠成许多构造上有趣的结构物,而且这种基于折纸术制成的结构物将能承受很大的载荷。

[0177] 把本发明的开切缝技术用在快速仿型技术和快速制造技术中,尤其是用于自动化的“即拿即装”式装配中,可以发挥另一种很有价值的设计和制造潜力。快速仿型技术和快速制造技术现已广为人知,并且分别包括 CAD(计算机辅助设计)和 CAM(计算机辅助制造)的应用,这些技术使三维制造成为可能。设计者从所需要的虚拟三维结构开始,将本发明用于进行快速仿型,由 CAD 软件把虚拟的三维结构物展开成二维平面,然后确定用于生产所需结构的平板上的切缝位置,把平板弯曲成所需结构物。同样的过程可以在采用 CAM 的快速制造技术中进行。还可用于执行类似任务的其它类型的软件。本发明的通过选择错位距离和缝间弯折条宽度进行精确的弯曲和修改弯曲处的强度的能力允许设计者在设计过程中在展平的二维板材图上布置切缝,随后在 CAM 制造过程中在板上开出凹槽或切缝,然后进行弯曲而把板材生产成复杂的三维结构物,可以带有或不带有添加上去的零件。

[0178] 一般地说,用高速自动化的“即拿即装”装配技术把元件装配到电子设备的电路板上也是广为人知的。装配机器人从元件供应装置上拿起元件随即将其装配到电路板或基板或机架上。机器人用紧固件、锡焊、接插件等把元件固定在基板上。这样的“即拿即装”装配基本上一直限于把元件放在平的表面上。因此,必须在“即拿即装”装配完成之后才能把电路板放进三维的外壳。

[0179] 一个电子设备的外壳,在各元件固定在其壁上之后,一般不能折叠或弯曲成三维形状。而且,已有技术的弯曲方法达不到本发明能够达到的弯曲精度,并且需要解决元件和结构的对准问题。所以,已有技术的预先折叠或预先弯曲一直把即拿即装机器人的能力局

限于把电子元件固定在外壳内。

[0180] 还应注意：在应用于电子设备时，可把存在于切缝之间的缝间弯折条有利地用作跨越弯曲处的导电路径，并且在成形三维机架时或在把电路板本身折成更密的结构体时，本发明能够达到的精度允许把电路板上的导电路径或元件折到对准位置。

[0181] 还有，本发明的设计和制造工艺能够依靠切缝精确地定位弯曲处的位置，然后用相当小的力使弯曲处成形，如图 28A-28E 所示。因此可以设计一外壳并把一块平板 821 切割成该外壳平板，用高速的即拿即装机器人技术把各元件 C 固定于外壳平板的将成为立体外壳的任一壁或所有六个壁的部分上，在即拿即装过程完成之后，很容易把装有元件的平板折成三维形状。

[0182] 如图 28A 所示，较佳的是，在进行弯曲之前用高速机器人技术把元件 C 固定在平板 821 上。用激光切割、喷水切割、冲模切割等方法把平板 821 成形为带有例如设计的切口 822、元件插装孔 823、舌头 824、支承边板 826 以及舌头接纳口 827。在图 28B 中，板 821 的一部分已经被沿着弯折线 831 折立起来了，使舌头 824 在垂向向外伸。再沿着弯折线 832 将板 821 弯曲，如图 28C 所示。再后，沿着弯折线 833 进行弯曲以盖住元件 C，同时，沿着弯折线 834 把边板 826 折立起来，如图 28D 所示。最后，沿着弯折线 837 向上弯端部 836，并把舌头 824 插进舌头接纳口 827，这样使板 821 成为一个包围元件 C 的三维电子元件机架 838。

[0183] 很明显，在大多数情况中，可在弯曲之前把许多元件 C 固定于平板 821，也可以在弯曲过程的各个步骤中把元件 C 固定于机架 838 和固定于机架的各个表面。

[0184] 图 28A-28E 还表示出用本发明的板材弯曲方法进行的基本设计过程。最有效地利用元件支承空间的办法 (space-efficient ways of supporting components) 之一是把元件安装在尚未弯曲的板上。但是，用常规的板弯曲方法做不到准确的弯曲，也不能弯成使板某个部分置于中间的复杂弯曲结构。但是，本发明的弯曲工艺能够把切缝布置得极其精确，因而能使弯曲处精确定位，板上的孔、切口、槽、舌头等能够在弯曲成的结构物的内部精确地对准，弯曲后预先安装在板上的元件位置准确，弯曲成的结构物还可连接于其它结构物。

[0185] 另外，弯折线和机架或外壳结构细节的精确布置仅仅是优点的一部分。可以用相当小的力甚至用手工工具就能进行结构物本身的弯曲。弯折线的精确定位和小的弯曲力的组合使得有了一种以往只能部分地实现的设计技术。这种技术包括选择有所需功能的元件以及把它们在所需结构布置里布置到位。然后，例如用 CAD 技术设计机架，使其带有所需功能的元件所需的起支承作用的薄板部分。定位弯折线以形成板的起支承作用的部分，并且把机架展开成有所需的结构细节和折叠线的如图 28A 所示那样的平板。

[0186] 尽管以前的 CAD 设计文献以及 CAD 和 CAM 软件程序中已经描述过这样的技术方法，但是由于精度不够和需要大的弯曲力，其迄今一直没有得到有效应用，只是应用在最简单的设计中。本发明的基于切缝的弯曲方法使那些理论上的 CAD 和 CAM 设计技术成为实际可行的制造技术。已有技术的 CAD 或 CAM 设计技术不能在实际的材料上实现到与理论的 CAD 或 CAM 模型同样的精度，因为例如常规的弯曲方法达不到要求的允差。而本发明能够达到的弯曲精度可以大大提高 CAD 或 CAM 模型与板材弯曲得到的实际形状之间的一致性。

[0187] 另外，本发明的弯曲不必在即拿即装或快速仿型现场 (rapid prototyping site) 进行。可以把固定上了元件的板和元件一起运输，作为运输过程中的衬垫。制造现场有时

离设计和切割现场很远,到了制造现场时,再来精确地弯曲机架或壳体的板,如果愿意甚至可以就用手来弯,并把弯曲成的其内部和 / 或外部已经固定有所选择的元件的壳体固定于一个三维结构。

[0188] 而且,三维的机架或其它结构物可以具有由沿着弯折线的缝间弯折条固定在其内的板,以便在机架或其它结构物上形成便于定期或紧急检查其内部的门。这种门可以不用门铰链之类的部件。

[0189] 用本发明描述的板开切缝或凹槽的各实施例,可以成形范围极广的产品。不必限于数量,用本发明的开切缝或凹槽的方法,用板材可弯曲成或折叠成的产品列举如下:桁架、梁、曲线梁、卷绕梁、梁中梁 (beams within beams)、外壳、多面体、墙壁的骨架、梁网格 (beam networks)、包络梁 (enveloped beams)、突缘梁 (flanged beams)、超静定多件突缘梁 (indeterminate multiple-piece flanged beams)、机械结构物、工艺品和雕刻品、三维折纸结构物、乐器、玩具、广告牌架、连接模块、包装件、货架、保护性罩壳、平台、桥梁、电力设备箱体、RF (无线电) 屏蔽罩壳、EMI (电磁干扰) 屏蔽物、微波导管等等。这类结构物中的几个例子示于图 12-30 和 32。

[0190] 下面参照图 12、13 和 14 说明用本发明的开切缝工艺和开了切缝的板成形一个弯曲的箱梁。图 12 中的板材 561 有两条弯折线 562 和 563。弯折线 562 的两侧有许多弧形切缝 563 弯折线。较小的弧形切缝 564 也定位成沿着弯折线 562。切缝 563 和 564 的形状与图 11 中的切缝 542 的大致相同,但是切缝 564 的长度比切缝 563 的小,并且切缝 564 对准板材边缘 568 上的缺口 567。由各切缝 563 和切缝 564 的各纵向相邻的端部限定的各缝间弯折条 569 的形状大致相同,只是由于切缝 563 和切缝 564 的长度不同,处于一个切缝 563 与另一个切缝 563 之间的缝间弯折条 569 与处于切缝 563 与切缝 564 之间的缝间弯折条 569 有小的区别。但是,沿着弯折线 562 的长度,各缝间弯折条 569 具有大致均匀的强度和抗疲劳能力。

[0191] 切缝 564 的这样布置的优点之一是,它们可包容可能出现在切口 567 的顶点处的任何应力裂纹的漫延。由各缺口 567 限定的各翼部 571 可以被弯曲到例如与板 572 的中部成  $90^\circ$  角,或者根据结构物的需要弯曲到任一角度。板中部 572 保持处在图 12 表示的板平面内。

[0192] 沿着第二条弯折线 563 有许多弧形切缝 576 和 577。这些切缝的曲线端部 578 比沿着弯折线 562 的切缝的端部收拢得紧些。一般地说,收拢得紧些的曲线端部 578 不像切缝 563 和 564 的那种较开放的端部那样符合需要,但是对于不易应力破坏的延展性材料切缝 576 和 577 那样形状的切缝完全可满足要求。同样,切缝 576 和 577 的不同是:较小的切缝 577 对准切口 567 的顶点 566。

[0193] 一旦开好了切缝,就可以沿着弯折线 563 弯曲板 561,把各翼部 571 弯曲到与中间部分 572 成例如  $90^\circ$  角。应该注意到:正常情况下,沿着弯折线 562 和 563 的那些切缝应有同样的形状,也就是说,它们或者是切缝 563 和 564 或者是 576 和 577。可以混合应用切缝形状,但是像图 12 那样混合采用不同的切缝通常没有什么优点。图 12 的实施例的目的是想表明按照本发明在板材的弯曲中可以采用不同形状的切缝。

[0194] 下面参照图 13 和 14 说明用两块图 12 所示的、开有切缝的平板来成形一个弯曲的箱梁。其设计可以像前面所述那样在 CAD 或 CAM 系统上完成,并且按照设计过程中的布置



在平板 561 上开出切缝。把两块板 561 的翼部 571 都弯曲到与中间部分成 90 度角,形成两个 U 形体。把两个设计好的、切割好并弯曲而成的 U 形体 572a 和 572b 扣合起来,就可形成一个弯曲的箱梁 581。从图 13 和 14 可以看出,翼部 571a 是扣在翼部 571b 的外面。在这两个图中,顶点 566 紧贴折叠线 562a、563a、562b 和 563b。这些顶点的这种定位允许把两个 U 形体弯成曲线形状,就是在梁 581 的纵向弯曲段 582 内使缺口 567a 占的角度增大,同时使缺口 567b 占的角度减小,同时使中间部分 572a 和 572b 向上弯曲。中间部分 572a 和 572b 的厚度适合于弯曲,在弯曲半径不是极端小的情况下它不会出现皱褶。

[0195] 可以用铆钉 585 或其他适当的紧固件把这两个由板弯曲成的 U 形体固定在一起,也可以用粘结剂、或其它固定方法,诸如焊接和铜焊。供紧固件穿过的孔可以预先在板上加工出来,如图 12 中的标号“580”所示。如果在弯曲成弯曲的箱梁之前已经确定或知道箱梁的精确的曲线形状,孔 580 的位置可以精确定位。或者先在将扣在外面的那块板的各翼部 571 的中央加工出孔 580,待箱梁的曲线形状在现场成形后在现场按照外板上的孔 580 钻里面的板上的孔。然后把两个 U 形体连接在一起。

[0196] 这种曲线形状特定的箱梁的一种用途是用在例如飞机工业中。可把难以弯曲的 4041T-6 或 6061T-6 铝材设计成有所需的切缝布置并制成图 12 那样的有切缝的板。然后在现场把板成形,以便制成箱梁,箱梁的弯曲度在现场按照例如飞机的需要修理的那一部分的弯曲度来确定。把两块构成箱梁的板弯曲成适合装在飞机的受损的那部分蒙皮的下面,然后在弯曲的箱梁的中间部分 572 上固定新的蒙皮。

[0197] 可以用简单的手工工具甚至就用手弯板的翼部 571,然后用外面的板上预先成形的孔 580 作为导向孔对里面的那块折叠了的板进行钻孔,再在现场用铆钉固定而保持箱梁的弯曲度。因此,用简单的手持电钻和钳子就能够把高强度的结构铝材 4041T-6 在现场剪裁成形并定位成飞机的结构件,随后将飞机的蒙皮固定于其上。这使得可以甚至在战斗的情况下现场暂时修理飞机,以便飞机能飞到一个可得到正规修理的地方。

[0198] 在纵向弯曲的弯曲的箱梁有预定的或已知的纵向曲度时,可以用缺口来限定板的翼部 571a 和 571b,使折成 U 形的两块板上的翼部在同一平面内互相啮合。这样生产出的箱梁的侧壁是平整的,没有两块板的翼部交错形成的开口。

[0199] 箱梁,不管是弯的还是直的,也可以用在骨架设计中,以便具有很高的强度/重量比。这样,不是用伴随重量大的实心梁,而是用有对应的强度但重量轻的折叠或弯曲的空心梁。如果愿意,这种空心梁里可填充泡沫材料,包括金属泡沫。

[0200] 如图 12-14 所示,纵向弯曲的弯曲的箱梁 681 是通过把板材沿着直的弯折线 562 和 563 弯曲而成形的。也可以通过沿着曲线的弯折线开出切缝和凹槽来生产弯曲的箱梁。

[0201] 现在来看图 15 和 16,它们分别表示出开有切缝或凹槽用于折叠的板材和一个用那块板折成的三维结构物。板 611 已经设计成可沿着纵向延伸的折叠线 612 和 613 开切缝或开凹槽。横向延伸的折叠线 614、615、616 和 617 已开出了切缝或凹槽。板 611 的相反的侧向边缘 618 是圆弧形的,其上成形有多个缺口 619。一个连接突舌 (coupling tab) 621 成形在板 611 的一端并且其上有紧固件接纳孔,这些孔将与板 611 的另一端的孔 623 对准。已经沿着折叠线 612-617 定位了图 9 和 10 的实施例所示的那种形状切缝或凹槽。应该理解:在本发明的范围内,可以用其它实施例中所示的那些形状切缝或凹槽。

[0202] 图 15 所示的板材是设计成用于包围如图 16 所示的一个圆柱形构件,诸如一根杆

子、棒子或柱子。通过沿着折叠线 612-617 折叠板 611, 可把板 611 折叠成包围在圆柱形构件 631 上, 如图 16 所示。板的圆弧形部分 618 的半径可以与柱子 631 的半径相匹配。各缺口 619 闭合起来, 缺口的边缘互相对头接触, 同时折叠线 614-617 允许把板折叠成一个围住柱子 631 的四方块。折成的三维结构物有几个平面 636-639, 它们提供了在其上可贴上其它构件或结构物用的表面。可以用插进孔 622 和 623 的紧固件把折叠了的板 611 固定在柱子上。切缝或凹槽 624 的结构形状使被折叠了的板 611 成为一个包围在柱子 631 上的高强度的刚性结构物。被折叠了的板 611 固定于柱子 631 不会有垂向位移, 可以依靠圆弧形边缘 618 与柱子表面之间的过盈配合和 / 或用紧固件、粘结剂、焊接、铜焊等把被折叠了的板 611 固定于柱子 631, 使其不会沿垂向移动, 这样的组件有许多用途, 可解决各种结构件连接于圆柱形结构件的问题。图 15 和 16 的例子不仅是一种可能的美化包覆, 而且是圆柱形构件与矩形构件之间的一个结构过渡件。

[0203] 本发明的开切缝或凹槽的板的设计和制造方法还可用于设计和成形波纹板组件。图 17 和 18 表示出两个波纹板组件, 它们用本发明的设备和方法设计和构造。这样的组件对于提供强度 / 重量比高的构件非常有效, 并且, 本发明的板材折叠技术很容易适应波纹板的折叠和连接突舌的设置。

[0204] 图 17 中, 设置的连接突舌可插进切缝而把波纹板连接于平板, 而在图 18 中, 连接突舌上有紧固件接纳孔。

[0205] 图 17 中, 板材 641 已经按照本发明的创意沿着纵向延伸的折叠线 642-647 开出了切缝或凹槽。此外, 已经沿着折叠线 643、645 和 647 成形了许多突舌 649。这些突舌 649 是在沿着折叠线成形切缝或凹槽的同时在板材 641 上切割成形的。也就是说, 在平板 641 上成形出 U 形的切割线 652, 在板被折叠成图 17 所示的波纹形状时 U 形切割线 652 里的材料就向上伸出而成为突舌 649。在折叠成波纹时, 突舌 649 相对于垂向有一个角度, 但是在随后的步骤中它们可被扳到近乎垂向的位置, 如图 17 所示。

[0206] 可将图 17 所示的被折叠了的或呈波纹的板 641 连接于一个上面成形有许多切缝 657 的平板 656。切缝 657 的位置和尺寸可配对地将突舌 649 接纳于其内。在板 656 被下放到折成波纹板 641 上时, 突舌 649 将插进切缝 657 里。突舌 649 可以与切缝 657 形成过盈配合而把两块板固定在一起。还可以把突舌 649 向下弯和用粘结剂、焊接、铜焊等固定于平板 656。

[0207] 还可任选地把第二块平板 (未示) 用在开切缝或凹槽过程中在板 641 上成形出来的突舌 (未示) 连接在折叠成波纹状板 641 的下侧。可将这个第二块平板以与平板 656 相同的方式固定于折叠成波纹状板 641。

[0208] 这样就形成了一种高强度、抗疲劳、重量轻的波纹板组件, 其可用在许多场合。

[0209] 可按照图 18 构造出类似于图 17 的波纹板组件的波纹板。被折叠成的波纹状板 661 包括多个折叠线 662 和多个突舌 663。突舌 663 以类似于上述突舌 649 的方式成形在板 661 上, 只是突舌 663 上做出了紧固件接纳孔。此外, 突舌 663 被向下扳到近乎水平的位置, 而不是像突舌 649 那样扳到近乎垂向的位置。在水平位置的突舌 663 可用于连接其上有紧固件接纳孔的第二块板 666。把平板 666 定位成其上的孔 667 对准突舌上的孔 664, 然后用紧固件把两块板固定在一起。与图 17 的情况一样, 尽管图 18 没有表示出波纹板 661 下侧的突舌 664, 但也可以把一个第三块板固定于波纹板 661 的下侧。

[0210] 再说一遍,通过采用按照本发明成形的许多切缝或凹槽 668,如上所述,可以制成强度非常高、抗疲劳性能好、重量轻的波纹板组件。

[0211] 图 19-22 表示出可以用本发明的开切缝的板和方法成形的连续波纹板的一个实施例。而且,图 19-22 的波纹板具有强度高的优点,这是因为它的尖的弯曲处或折叠处具有很大的承载能力。还有,图 19-22 的实施例是用突舌把被折叠的板锁定为一个高强度的三维结构物。

[0212] 用已有的波纹板成形技术往往不能达到所希望的弦板材(chord material)对整个波纹板材的高百分比。一般地说,在波纹板上,设置腹板的作用是用最小的腹板重量支撑住上下两块弦板来达到足够的强度。工字梁是由较厚的上和下两个弦板和将它们连接起来的腹板构成的型材,其可以是轧制或焊接成形的。用本发明可制成一种新的波纹板结构,它有刚度、强度和重量方面的设计灵活性,它可用便于运输的卷板制造,并且容易在应用现场成形。这种结构的锁定性质可以避免在角部进行焊接,而焊接是特别容易疲劳的。

[0213] 板材 721 已经用本发明的方法开出了切缝,如图 19 所示,其处在弯曲或折叠前的平板状态。如图 19 所示,板上有许多平行的弯折线 722,弯折线的两侧有交错的弧形切缝 723,形成向两个不同方向倾斜的缝间弯折条。例如,切缝 723 是图 6 或 9 的切缝那种形状的。板材 721 上还成形有许多突舌 724,它们是弯折线一侧的某些切缝 723 的向外伸的舌头,板材 721 上还成形有钥匙孔形的通孔 725。通孔 725 与突舌 724 位置对准。

[0214] 从图 21A 可以看出,突舌 724 从切缝 723 延伸越过弯折线 722。所以,突舌 724 是切缝 723 的舌部的延伸。通孔 725 是切口或者是把成形在切缝 723 另一侧的突舌向里扳而形成的开口,通孔 725 的结构形状可接纳突舌 724。为了防止突舌的颈部与切缝另一侧向上位移的表面相干涉,在切缝 723 的唇部一侧开出了缺口 730。这样,通孔 725 和缺口 730 的整个区域被从板上切掉了,所以突舌 724 可插进孔口 725/730。

[0215] 图 20 中,图 19 中的平板已被折成波纹板 726。波纹板 726 包括各腹板部分 727 和各弦板部分 728。在波纹板 726 上可看见,在波纹板的全长上在其上下两侧各弦板 728 是头顶头的关系,构成连续的弦板表面。这样的构造使波纹板 726 的例如弯曲强度大大提高,在整个折成的板的上下两侧横向的各腹板结合于各弦板。如果在上侧或下侧加一块附加的板(未示),这个折成的板还可进一步被加强,这可进一步改善弦板重量对整个波纹板的重量之比,而达到极好的强度/刚度对重量之比

[0216] 图 21 更详细地表示出用于制成折成的板 726 的弯曲或折叠方法。例如,从端部缘板 729 开始,可把腹板 727a 沿着弯折线 722a 向下弯到将被折成的板的下侧。然后沿着弯折线 722b 向前弯板材 721,并使弦板 728a 在将被折成的板的纵向平行于端部缘板 729。再沿着弯折线 722c 把腹板 727b 向上并向回弯到弯折线 722a,再从这一点把弦板 728b 向前弯并伸到弯折线 722b。然后,沿着弯折线 722d 把腹板 727 向回弯到弯折线 722c。沿着将被折成的板 726 的长度方向连续地进行这样的弯折,就可形成被折成的板 726,其中各个弦板依次头顶头地处在顶面和底面上,各腹板在顶面和底面的弦板之间起连接作用。在这种折成的板中,弦板的重量对整个折成的板的重量之比相当高,所以有很高的强度对重量之比。

[0217] 用本发明的开切缝工艺把平板 721 折成尖的折叠处的能力使把腹板 727 和弦板 728 之间的折棱做得相当尖并能定位成靠紧的头顶头关系。如图 19-21 所示,折成的板 726 具有构成等边三角形的、长度相等的腹板和弦板。应能理解:可以同样地做出许多其它几何

形状的折成板。

[0218] 尽管可用各种各样的办法把折成的板 726 固定成一个三维结构物,但是一个较佳的方法是采用在成形切缝过程中在板 721 上切出来的突舌 724 和钥匙孔形的通孔 725。

[0219] 例如,可以用激光或喷水切出从缘板 729 上切缝的舌部向前伸进腹板 727b 的突舌 724a(见图 19)。在把腹板 727a 向下向后弯到弯折线 722b 时,突舌 724a 仍在缘板 729 的水平平面内。从图 21A 可看出,切出在弦板 728b 上的、并与突舌 724a 对准的配对通孔 725 允许突舌 724a 插入其内。如果每个突舌 724 有一个加大的头部 734,则各突舌可被其各自的配对通孔 725 锁住或卡住,这就好像两个犬牙交错的东西互相卡住一样。这种互锁可阻止突舌和与之配对的通孔分离。突舌和通孔的尺寸不必而最好不要形成过盈配合。

[0220] 在折成的板 726 的底面也做成突舌 724 和通孔 725 的互锁,结果是把折叠成的板固定成图 20 所示的形状,即使不加附加的固定措施,也能保持这个形状,当然也可以任选地用粘结剂、焊接、铜焊之类的加固措施。

[0221] 图 22 中,把图 19-21 的板材开切缝和弯曲工艺示意地表示为用于形成一个圆筒形构件 741。同样,腹板 742 和弦板 743 都是绕弯折线成形,并且弯折线的位置选择为使内圆 744 上的弦板的长度比外圆 746 上的弦板的长度小。根据板材的厚度和圆筒体 741 的半径,可用许多突舌和配对的通孔把腹板和弦板锁定成一个所需要的圆筒体。这种圆筒形结构物可用作重量轻强度高的柱子或杆子。

[0222] 在本发明的大多数实施例中,特别是板材厚度大的实施例中,一开始弯曲,切缝的舌部就会自动地按正确的方向从弯曲处滑出而靠在切缝另一侧的表面上。但是,在板材相当薄以及切缝宽度很小或为零时,开切缝的板的舌部偶尔会向错误的方向运动,因而影响弯曲处的精度。为了补救这一问题,可把切缝的舌部向预定能产生正确的弯曲的方向偏移。这一解决办法表示于图 23 和 23A。

[0223] 用本发明的设计和板材开切缝技术把板材 681 成形为能够绕弯折线 682 的平面弯曲。弧形的切缝 683 限定了舌部 684,在绕着弯折线 682 弯曲板材 681 的过程中舌部 684 将沿着相反的表面滑动。

[0224] 从图 23a 可以看见,板材 681 被绕着弯折线 682 向下弯,如箭头 687 所示。由于舌部 684 被向下偏移了,唇部 689 的下边缘或下角部将向上翻转并接触舌部的表面 690,这种接触方式将使边缘 688 沿着表面 690 滑动。弯折线 682 每一侧的边缘 688 将被向上偏移而滑上预先做成向下偏移的舌部 684,这样,在弯曲过程中,绕着弯折线 682 的弯曲将按照预定地使边缘沿着舌部的表面向所希望的方向滑。

[0225] 在用例如冲压工艺冲出切缝 683 而成形用于弯曲的板材 681 时,可以让冲模使弯折线一侧的舌部 684 产生向下的塑性变形。这样,在弯曲过程中,边缘 688 就将向正确的方向作预定的滑动,从而弯折线两侧的实际支点将使得产生沿着与弯折线 对准的虚拟支点的精确弯曲。被偏移的舌部也可给操作者一个关于正确的弯曲方向的提示。

[0226] 尽管本发明的许多应用场合需要作  $90^\circ$  的弯折,但是某些应用场合需要其它角度的弯折。本发明的设备和方法能够适应那样的弯折,同时仍能保持充分的边缘对表面接触的优点。图 24 表示出一个约为  $75^\circ$  的弯折。

[0227] 从图 24 可以看到,板材 691 成形有切缝 692,切缝对板材平面的角度  $\alpha$  约为  $75^\circ$ 。(在弯折线 693 的另一侧的切缝对板材平面的角度也是  $75^\circ$ ,不过是向相反的方向歪斜,为

了简明,没有表示。)在向下弯曲时,唇部 695 的下边缘 694 翻转并滑到舌部 697 的表面 696 上。当板 691 弯到 105 度或者说是角度  $\alpha$  的补角时,板的靠近边缘 694 的下表面 698 将与舌部的表面 696 共面甚至支承在其上。

[0228] 当今大多数工业用激光切割机都有相当大的功率,能够切割供给它的塑料和金属板材,也有以卷材形式进给的激光切割设备,但是目前的这类设备不能把经过切割的材料再卷成卷材。也就是说,当今使用中或工业上还没有从卷材到切割再到卷材(reel-to-reel)激光切割设备。

[0229] 与本发明联系起来看,把卷材进给切割(roll fed cutting)与一个卷绕机构组合起来的优点是:可以用 CAD 设计和切割非常大或者说是非常复杂的富含信息的结构物,然后再把这些预加工的结构材料重新卷绕成紧凑的形状。卷起来的紧凑的形状便于运输,例如可装在货运平板卡车上,铁路车厢上,甚至可以发射到外层空间去。到了使用地点时,可把金属或塑料的卷材展开并切割成板材,这时展开的板材是由弧形的切缝和斜的缝间弯折条支承着,沿着规定的弯折线进行弯曲或折叠,可制成所需的结构物。

[0230] 可以用至少三种方式把本发明的开切缝或凹槽设备和方法用到从卷材到切割再到卷材工艺中。目前工业上广泛应用许多型式的平板进给激光切割机。第一个作法是把卷材放在一个平板进给激光切割机的一端,激光切割机放在中间,一个用于重新卷绕已经被部分地切割了的材料的卷轴放在后面。用手使材料前进通过这一系统,并在展平的板材上做出定位物或边缘切口之类的记录结构。把板材在 X 轴和 Y 轴方向对准,用紧固于激光切割机台板的夹具把要切割的结构就位。用这一方式,可以进行一段一段地送料,包括对准本发明的基于切缝的弯曲结构。这样做的新颖性是用本发明的弯曲形成结构(bend-producing feature)把这种配位系统(registration system)与材料的开卷和卷绕结合在一起,这可以制成用力小、弯曲位置精确、强度高的弯曲或折叠结构物。

[0231] 第二种作法是用已有的动力开卷、停止、切割和动力卷绕技术使卷材前进通过激光切割机。

[0232] 第三种作法表示于图 25。它采用平稳的连续的带式输送,同步进行开卷和卷绕。板材 701 被从卷材 702 上展开下来。控制 CNC 切割机 703 的运动,以补偿板材 701 的速度波动。CNC 切割机可以是激光切割机或水枪切割机,其配置成能够可控制地把板材 701 切割出所希望的切缝布置和形状。切割之后,把板材 701 再卷成卷材 704。

[0233] 由于卷起来的板料往往有卷绕造成的卷曲,可以在开卷之后设置一个压平步骤或压平装置,这是任选的。板材 701 可由夹送辊 707 以及卷材 702 和 704 处的驱动马达驱动通过这个生产线,导辊 710 处也有附加的马达。

[0234] 以前一直没有采用从卷材到卷材的加工过程的一个原因是切割出来的结构的边缘或轮廓在一层一层地绕在卷材 704 上时可能互相锁住或咬住,在本发明的不费力的基于切缝的弯折结构有可折叠的突舌或折片时尤其如此。正是重新卷绕板材 701 的动作可能会使切出来的突舌或折片在卷材里面处在切线方向。可用两种方法解决这个问题。其中之一是,在重新卷绕时用容易揭下来的像标签一样的薄片覆盖本发明的可能会处于切向的那些折叠结构。第二种方法如图 25 所示,随卷材 704 一起卷进一层聚合物的衬带 708。该衬带 708 应该是韧性的,不易被刺破,而且要薄。可以用聚丙烯或聚乙烯薄膜,当然这只是两个例子。

[0235] 用于提高从卷材到卷材的加工系统的产量的一个方法是用有多个激光束的激光切割机,来切割本发明的基于切缝的不费力的弯曲结构。诸如图 12 所示的可折制箱梁需要有几行有助于弯折的弧形切缝,这些切缝在所希望的弯折线附近平行于卷材的卷绕方向。用例如几个多光束激光器机械地连接在一起,用一个总的运动控制器把它们的运动控制器连成一个系统,可以同时地成形全部弯折结构,同时用有独立的运动驱动系统和运动控制器的其它激光器成形所有其它的结构,诸如边缘切口。

[0236] 以上描述了可以组合于本发明的不费力高强度弯曲结构的三种从卷材到卷材的加工系统(reel-to-reel processing system)的方法和设备,它们能使一类产品成为可能,从各种梁到各种梯子,到建筑物的柱子和各种接头系统,都能成形,在需要以卷绕状态运输它们的时候和情况下,可以把它们卷绕起来,然后在使用现场展开并折叠成确定的尺寸,具有可给人深刻印象的结构完整性。这种技术可以用在外层空间,用在军事上,用在工商业和居住建筑物中,以及许多其它行业。在把设备以装配状态运到使用现场的成本和努力都过于昂贵和很难的情况下,本发明的技术最为适用。

[0237] 图 25 的从卷材到卷材的加工系统还可以任选地包括一对用硬材料制造的滚压模辊(hard-tooled die cutter)709。用阴的和阳的压模形状滚压出弧形的切缝和其它弯折结构,滚压模辊也可以是厚板并应用材料添加处理技术,但最佳的是,它们就是用硬材料制造的回转压模 709。

[0238] CNC 切割方法应用于制造精心设计的折叠结构物的优点是,容易把非重复性的结构特点编程输入切割工艺。硬压模滚压或旋转模具切割方法的优点是,不管是间断的还是连续的,能够有效地加工出重复性的结构,特别是弧形的切缝。

[0239] 产量高和灵活性好的最大效益是,用 CNC 切割与压模滚压/模具切割组合构成一个联机系统,具有在工艺的开卷步骤和重新卷绕步骤之间的两个成形步骤。在这种组合系统诸如图 25 所示的系统中,每一个成形工具发挥其自身的优点。

[0240] 图 25 表示出的方法特别适用于在远离板材开切缝和/或结构物做了部分装配的地点的地方成形现场用的三维结构物。一种特别有意义的应用是在外层空间制造三维结构物。当前,在外层空间装配这种结构物是用三维模件,这些模件大多不是在外层空间制造的。在空间进行模件装配的问题是,那些模件讨厌地占用轨道舱运载工具的有效载荷的容积。迄今,在外层空间进行制造的一个问题一直是成形高强度三维结构物所需的工具过于大而笨重。在空间进行装配的另一个问题可能是零件和紧固件数目太大。一方面,各个笨重得近乎完整的模件已经发射并紧固在一起。另一方面,那些尚未装配的模件的包装着的零件和紧固件的数量非常庞大。

[0241] 图 26 表示出板材 341 的卷材 339,其已经沿着两条弯折线 345 设计并加工出切缝或凹槽。板材 341 还成形有孔 346 和突舌 348,它们分别周期性地定位在板的两个边缘。可以看出:切缝 343 有利地采取了图 6 所示的形状。不难理解:卷材 339 是板材运输的高度紧凑的形状。可以在有不受限制的制造设备的地球上的工厂里,例如用图 25 的从卷材到卷材的生产线,把板材 341 成形有切缝 243、孔 346 和突舌 348 以及其它需要的结构细节。接着,可以用空间运载工具把卷起来的板材输送到外层空间的一个位置。然后把板材 341 从卷材 339 开卷下来,而后用轻型的动力工具把板材制成三维结构物,或者是一边开卷一边制作。沿着弯折线 345 弯曲板并把突舌 348 插进孔 346,把板锁定成一个三维结构物,诸如

图 26 的右边部分所示的三角梁,制作过程就完成了。

[0242] 如图 26 所示,结构物 350 是一个断面为三角形的长梁,它可以连接于其它的三维结构物而形成复杂的空间三维结构物和场所。在采用本发明的板材弯折切缝形状时,在切缝 345 处形成的每一弯折处将较佳地包括板材的边缘对表面的支承,这将使弯折处能够承受大的载荷。很明显,沿着有上述形状切缝的弯折线进行弯折也可生产出其它结构形状的梁,诸如图 13 和 14 的箱梁、图 20 的折成的波纹板或图 22 的柱子。

[0243] 另外,用本发明的开切缝或凹槽方法和设备可以确保板材 341 的两侧边缘以及孔 346 和 348 的精确定位,这可使结构物 350 闭合。如果采用了切缝但又需要制成的结构物是流体密封的,可把由切缝 345 形成的弯折处用粘结剂密封,或者用焊接或铜焊密封。也可以生产出许许多多其它的闭合结构,包括沿着板 341 的对头边缘和板的边缘与侧壁的搭接处进行焊接,以及用突舌和 / 或紧固件。

[0244] 能够表现出本发明的设备和工艺的灵活性的另一种箱梁形状表示于图 27A-27G,也就是有对角撑板箱梁或自斜撑箱梁 (self-braced box beam)。

[0245] 图 27A 的板材 801 已沿着弯折线 802 和 803 开出了切缝。此外,设置了许多横向的切缝 804,其用于形成梁的斜撑板 (cross brace) 806。板 801 弯折成图 27G 所示的自斜撑箱梁的顺序如图 27B-27G 所示。

[0246] 首先,把板的有斜撑板 806 的那一侧弯折到图 27B 的位置。接着,沿着弯折线 803 弯折板以形成图 27C 的斜撑板 806。然后,绕弯折线 802a 把板 801 弯到图 27D 的位置。再把板绕弯折线 802b 和 802c 弯折到图 27E 和 27F 所示的位置,最后把边板 805 向上弯,绕弯折线 802d 把板弯成图 27G 的箱梁 807。可以用诸如铆钉或螺钉之类的紧固件穿过孔 808 和 809 (它们以互相对准的关系成形在板 801 上),把边板 805 固定于箱梁的其余部分,而形成一个不会散开也不可能被弯折的结构物。可以看出:箱梁 807 内有沿着其长度交错的斜撑板,这可以大大增强其强度。所以说,用本发明的工艺,可以用一块板设计和制成强度 / 重量比极高的内部有斜撑板的箱梁。

[0247] 可以给用本发明的设备和方法成形的许多不同结构物增加一个任选的步骤,就是给弯角处 802 添加一个护角板 810 (见图 27G),以使弯角处光滑并有装饰作用。这样,可用例如粘结剂或紧固件,把角钢形状的护角板 810 按照箭头“820”的方向固定到梁 807 上。护角板 810 可以是金属的、塑料的、甚至是能反光的,以产生装饰性效果,还能有防冲击保护作用,使表面光滑,起密封作用或把弯角包起来。

[0248] 在图 27A-27G 的内斜撑箱梁 807 中,斜撑板 806 先被折成 X 形状而后被裹在折成的箱梁内形成内部斜撑板。对于有在不同平面内的相邻壁的结构物,形成其内撑板的另一种办法是采用撑角板部分。

[0249] 图 34A-34E 表示出撑角板在另一种箱梁中的应用,该箱梁有许多减轻重量的孔。图 34A 中,板 811 有许多弯折线 812,并有用本发明的方法开出的切缝。板 811 还已切割出或冲制出许多减重孔 813。此外,为了给梁的壁板提供斜撑,设置了许多可绕弯折线 815 折立起来的撑角板部分 814。

[0250] 图 34B 中,撑角板 814 已经绕弯折线 815 折立起来而离开了板 811 的平面,而在图 34C 中板的外边板 816 已经绕弯折线 812 弯曲到垂向。在图 34D 中板 811 的一个侧板部分 817 已经绕一条弯折线 812 折立起来,在图 34E 中另一个侧板 817 已经绕另一条弯折线 812

折立起来,而形成了箱梁 818。

[0251] 最后一个弯曲步骤,也就是从图 34D 的形状到图 34E 的形状的步骤,使两块外边板 816 搭接起来,也使它们上的撑角板 814 搭接起来。各边板 816 和撑角板 814 上都有紧固件接纳孔 819,由于用本发明的边缘对表面弯曲技术能够达到很高的弯曲精度,在形成了图 34E 所示的梁时,这些孔 819 能互相对准。所以,可以用铆钉或螺钉之类的紧固件插进孔 819,把边板 816 固定在一起,防止梁 818 散开,以及把对应的撑角板 814 固定在一起,形成梁 818 的互相垂直的壁板之间的撑角板以及梁的内撑板。很明显,撑角板的数目可以比图中所示的多,而且,这种给不同平面内的相邻壁板提高撑角板的作法可以用于除梁之外的许多结构物。

[0252] 现在看图 29 和 30,其表示出本发明的不用费力弯曲的板的优点。图 29 中,板材 841 有许多以上述方式沿着弯折线成形的圆弧形切缝 842。可以用不费力的弯折方法把板 841 折成盒子 843。

[0253] 可把板 841 放在模子 846 的开口 844 的上面,可把盒子的四个侧面 847 同步地弯到竖立位置。可以用一个由驱动器驱动的冲头 848,或者通过管路 849 对模子施加真空。不需要把板 841 夹持于模子 846,只要把板 841 上的弯折线定位成对准模子开口 844 的边缘就可以,可通过例如在模子顶面上靠近开口 844 的角部设置定位销(未示)来定位。让定位销接触板 841 的每两个边板 847 之间的角顶。

[0254] 根据被弯折的材料及其厚度,由管路 849 产生的真空力可足以把板 841 向下拉进模子 846 而把各边板 847 向上折,或者对于较厚的板和较强的材料,可以用冲头 848 施加力来成形盒子。

[0255] 盒子 843 可用作例如小的电路板的 RFI(无线电干扰)屏蔽罩,例如用于屏蔽移动通讯手机的电路板,以前它们的屏蔽罩是用已有技术的顺序冲模(progressive diestamping)制造的。顺序冲模冲制可以达到足够的精度并且批量生产的成本也抵。但是,面对这个市场,产品在迅速改变,需要新的屏蔽设计,这要求频繁更换冲制模具。这从产品在市场寿命来看很成问题,有时最终设计尚未被选定产品就改变了。依靠冲制模具的另一个难点是,正式全面生产必须等到冲制模具完全可用才能进行。这个等待时间可能长达 8 周,在产品迅速变化、产品生命力短的市场,这个时间太长了。顺序模具冲制还有一个问题,为了检查和维修必须能接触到下面的部件。如果一批电路片中的一大部分有毛病而可能需要修理,要用有低型面电子围墙(low profile fence)的两件式 RFI 屏蔽罩锡焊到电路上,并且以过盈配合像“鞋盒子盖”那样盖住它。这样做的缺点是,下面的电子围墙从电路板夺走了某些水平的“真实的地产”,并且两块东西的制造总比一块东西代价高。已有技术的解决可接近性的另一个办法是,在屏蔽盖子上切出一行圆通孔,使盖子可以沿着一侧像铰链那样向上翻开而接近被盖住的区域。但是这些通孔会有 RFI 泄漏,也很难切掉和重新密封盖子。

[0256] 图 29 的用本发明的技术的盒子 843 是解决上述问题的一个办法。用 CAD 设计系统和诸如激光切割器的 CNC 切割工艺,可以不用冲制模具,对用基于圆弧形切缝的弯折方法制造的 RFI 屏蔽罩进行快速仿型。用手工工具和图 29 的制作设备能够很容易地折叠成所需要的空间。

[0257] 通过用激光切割进入市场所需的初始生产批量,可以立即过渡到全面正式生产。



用于冲制本发明的板上的舌部和偏置突舌的冲制模具是费用很低的,其可以在向正式生产过渡期间制造,对于初始生产可用 CNC 切割解决。走这样的路子,与等待顺序模具制造出来的现行实践相比,可以降低设计、过渡阶段和生产的成本。

[0258] 本发明的另一个优点是,可把板设有固有的用于维修内部零件的通路门。通过切开屏蔽罩 843 的三个棱上的、由切缝 842 限定的缝间弯折条以及切开已经锡焊于电路板的低型面矩形盒子 843 的边缘 850,可把盒子 843 的底板 840 像盖子一样翻开 90°,形成一个临时的维修通路。在完成修理时,把盖子或底板关闭并重新在角部加以锡焊。大多数适用于 RFI 屏蔽的合金都允许以这种方式提供通路八次以上,而后作为铰链的缝间弯折条才会被折断。

[0259] 图 30 表示出可用一个气囊或真空抓手 (vacuum gripper) 把具有本发明的切缝的板 861 变成一个盒子的一系列步骤。

[0260] 图 30 的左边表示出板 861 呈扁平状。事实上,板 861 包括完全相同的两层板,这两层板由边板 863 的外边缘处的四条弯折线 862 连接在一起,这在它变成一个盒子的过程中就看清楚了。可把板 861 以扁平状态运输到使用现场,然后使它鼓起来变成图 30 的右边所示的盒子。盒子 865 的这种现场成形可以很容易用一个气动或液压工具来完成,因为只需要很小的力就能使它鼓起来。

[0261] 一种使它鼓起来的办法是用两个真空抓手 864,如箭头 866 所示,使真空抓手的吸盘接触于板 861 的中央部分 867。对两个真空抓手 864 施加真空并使两个抓手作方向相反的运动,如箭头“868”所示,直到盒子 865 完全鼓起来,如图 30 的右边所示。

[0262] 另一个办法是把一个可膨胀的气囊塞进略微鼓起来一点儿的盒子里,如箭头“871”所示。气囊的塞进可在运输之前也可在使用现场进行。然后用气动或液压工具使气囊膨胀,把盒子渐渐地鼓起来,达到图 30 的右边所示的状态。

[0263] 在角部 872 处用焊接、铜焊或粘结把各侧板 863 固定起来,就可保持图 30 的右边所示的盒子 865 的形状。

[0264] 本发明的高精度弯曲或折叠工艺的再一个优点是,在制造不用费力弯折的高精度结构物的同时,可把几何信息埋藏在平板材料里。可以以非常低的成本把这些信息准确地可判断地变成预期的三维空间关系。

[0265] 以往,符号和几何定理一直用于传递关于结构物的装配的信息。本发明的一个方面是:可以在给板材成形便于弯折的切缝或凹槽的同时,把弯折或折叠的指导给予板材的扁平的部分。或者,通过一个诸如印刷、贴标签、附加标牌等手段把折叠的指导给予扁平的部分。此外,可以把信息埋藏在打算用于指导同类精确弯折结构物的装配过程的扁平部分里或者埋藏在来自于非折叠的已有技术和未来技术制造方法的零件的邻接部分里。

[0266] 例如,一个采用预制件的连续的墙壁结构物可以用一单块板材成形,把这个板材折叠成带有折立起来的中间柱的顶部和底部接合处。所有预期的窗子、门和接电箱都可作为有形的几何信息埋藏在扁平部分里,用于以后折叠和装配成建筑物。可以建立一个约定,结构物上的一个圆孔表示以后将穿过这个孔的电线导管。有圆角的方孔可以表示将穿过墙壁的热水铜管。以这种方式,不仅可把结构特点定位在扁平部分上,而且能够将其以正确的三维关系传递,最终把这些约定传给那些与建筑物的建造不相干但其活动却与结构物相关的生意人。而且,这些信息的传递预先考虑生意人的活动,使它们在通过建筑物给他们的底

层建筑穿管线过程中不必修改和修理结构物。

[0267] 图 32A-32E 表示出中间柱壁 (stud wall) 的一个实施例,其可以用本发明的板材弯曲方法用一单块板材折叠而成。图 32A-32E 中,没有力图表示用于传递信息的孔之类的东西的精确定位和形状,但是,在板材开切缝过程中可以精确地定位这些数据。也应该注意到:图 32E 的折叠了的板可以是一个带有结合于各接头杆 (joist) 的中间柱的中间柱壁,或是一个带有结合于侧杆 (side rail) 的横档的梯子。

[0268] 来看图 32A,板材 901 已沿着许多弯折线开出了可使它成形为一个中间柱壁或梯子的切缝。这些切缝的定位和成形是按照本发明的创意进行的。

[0269] 图 32B 中,最终的中间柱或梯子横档 903 的侧壁部分 902 已经从平板 901 沿着弯折线 904 向上折起。下一步是沿着弯折线 907 折起附加的端壁或阶梯部分 906,如图 32C 所示。图 32D 中,接头杆或梯杆 (ladder rail) 908 沿着弯折线 909 折起,最后再沿着弯折线 911 折叠接头杆 / 梯杆 908,如图 32E 所示。这最后的折叠使接头杆 / 梯杆 908 上的开口 912 以对准或配位的关系重叠于中间柱 / 横档 903 的侧壁 902 上的开口 913 (图 32D)。可以用诸如铆钉和螺钉的紧固件把接头杆或梯杆 908 固定于中间柱 / 横档 903,从而把这个折叠件固定成一个能够承受载荷的三维结构物 914。

[0270] 在用作梯子时,梯杆 908 是垂向的,而横档 903 是水平的。在用作中间柱壁时,接头杆 908 是水平的,中间柱 903 是垂向的。将能理解,横档 / 中间柱和梯杆 / 接头杆也可以根据用途适当地改变尺寸。

[0271] 前已说明,本发明的开切缝工艺和开切缝的板要求把许多切缝偏置于所希望的弯折线的两侧。由于有两个相对的有间隔的实际支点,这两个实际支点使它们之间的虚拟支点精确地定位在所希望的弯折线上,这种办法将能生产出最精确的板坯件。

[0272] 尽管弯折精度可能有非常小的损失,但是在用本发明的技术时也可以用一单个切缝和缝间弯折条,来进行沿着弯折线的板材弯折,同时,也能产生板的跨越切缝的两个部分之间的边缘对表面的接触。这种利用单个切缝的弯折表示于图 35 和 36。

[0273] 图 35 中,已经开出了切缝的板材 941 用于弯折成一个轮子的箱体,如图 36 中的标号 942 所指。板 941 包括一个切缝 943,其用于绕弯折线 946 弯折耳部 944。可以看出,弯折线的与切缝 943 相反的那一侧没有切缝。可是,耳部 944 包括两个肩部 947,其与切缝 943 的弧形端部 949 一起限定了缝间弯折条 948。还能看出:两个缝间弯折条 948 的中轴线是沿着相反的歪斜方向斜对着弯折线 946。

[0274] 在把图 35 中的耳部 944 向后 (向页面里) 弯时,斜的缝间弯折条 948 弯曲和扭转,同时把切缝 943 的耳部那一侧的唇部 952 拉到与切缝的主体那一侧的舌部 953 的表面相接触。这样,依靠正确地确定斜的缝间弯折条 948 的尺寸和形状也能达到滑动的边缘对表面的接触。

[0275] 板 941 还有其它的弧形弯折线,它们与板的相对的部分切缝或边缘一起限定了将能产生边缘对表面接触的缝间弯折条。例如,对于弯折线 956,切缝 943a 的一端 949a 与有弧形端部 958 的部分切缝 957 相对,弧形端部 958 与弧形端部 949a 限定了斜的缝间弯折条 948a。在切缝 943a 的另一端,弧形边缘部分 959 和弧形切缝端部 949a 限定了另一个相反地歪斜的缝间弯折条 948a。

[0276] 由于两个缝间弯折条 948a 的形状,能够产生绕弯折线 956 的边缘对表面接触的弯

折。

[0277] 切缝 943b 成形为与切缝 943a 镜面对称,也有与其一起限定两个斜的缝间弯折条 948b 的弧形边缘和弧形部分切缝。类似地,切缝 943c 与边缘和部分切缝一起限定能确保边缘对表面接触的弯折的斜的缝间弯折条 948c。最后,切缝 943 与切缝 960 一起限定斜的缝间弯折条 948d。

[0278] 图 35 所示的本发明的设备和方法的单个切缝实施例不能很精确地把弯折处定位在所希望的弯折线上,但是对于许多应用场合,精确性的损失并不明显。在图 36 所示的结构物中,把用于支承轮子的一根轴穿过孔 963、964 和 965 (见图 35),这些孔在把板 941 弯折成图 36 的三维箱体后是能对准的。所以说,单个切缝实施例也能达到足够精确的弯折,能使孔 963、964 和 965 的对准偏差在千分之几英寸以内,所以轴 961 能插进去。

[0279] 图 37 表示出与本发明的开切缝工艺和设备相关的弯折线终止或边缘效应。板材 971 有五条弯折线 972-976。各切缝 981 按照上述沿着各弯折线成形在板上。在设计切缝布置时应考虑板 971 的边缘 982,因为它影响切缝的定位。

[0280] 在弯折线 972 上,各切缝 981 有给定的长度和间距,部分切缝 981a 开到板材的边缘 982。这是一个可以接受的弯折线终止方法。在弯折线 973 上,部分切缝 981b 开到板材的边缘 982,但是部分切缝 981b 包括弧形端部 983 限定了与缝间弯折条 986 相反的缝间弯折条 984。也可看出,有一个跨越切缝 987 的长方形孔 988。孔 988 大致在切缝 987 的中部,所以它不会明显影响缝间弯折条 984 或 986,也不会影响边缘对表面的接触。

[0281] 在弯折线 974 上,切缝 981c 有弧形端部 989,它与倾斜的边缘部分 991 一起限定斜的缝间弯折条 992。切缝 981d 和边缘部分 993 有类似的形状。用板的边缘部分地限定缝间弯折条,这种作法也用在图 35 的板上,这在前面已说明了。

[0282] 最后,在弯折线 976 上,弧形端部 994 与切缝 981e 的弧形端部 996 一起限定缝间弯折条 997。这样,就像一个把切缝 981e 倒过来而成为像切缝 981d 那样取向的切缝,并且它是一个无限长的切缝,在布置切缝时应考虑边缘效应。在大多数情况中,可以略微调整切缝长度,以便产生所希望的弯折线终止或边缘效应。

[0283] 在本发明的再一个方面中,如图 31 的示意的表示,提供了一种用于成形三维结构物的方法。第一个步骤是设计三维结构物。这包括初始的子步骤,就是构思设计 370a。一旦形成了概念,设计就往往要但也不是一定要要进行步骤 370b 或 370c,在其中进行 CAD 设计。在 CAD 设计步骤 370b 或 370c 之前或过程中,可以任选地进行材料及其厚度的选择。

[0284] 从图 31 可见,CAD 设计步骤 370b 和 370c 可包括几个子步骤。这样,一个常用的子步骤是子步骤 370b1,在这一步骤中进行三维 CAD 设计并随后将其展平。或者在子步骤 370b2,设计连续地弯折的板的各边板。也可以在二维里进行设计并 标明或定位各弯折线,这就是子步骤 370b3。可以用软件在子步骤 370b4 或者人工地在子步骤 370b5 做出本发明的恰当的或设计得最好的切缝或凹槽布置。

[0285] 本发明的设计也可以选择,通常,是由计算机借助 CAD 软件程序在子步骤 370c1 在许多储存的设计结构或者零件中进行选择。然后,如果需要进行修改,CAD 系统可在子步骤 370c2 修改所选择的设计,以达到新的所希望的设计。最后,在子步骤 370c3,用软件把设计的三维零件展开成平的状态。

[0286] 一旦完成了设计,下一个步骤是开切缝或凹槽步骤 373,最好是用 CNC 控制器控制

板材开切缝设备。这样,在子步骤 373a,把代表平的零件和所设计的切缝或凹槽的数据从 CAD 或 CAM 系统传送给 CNC 控制器。然后,控制器控制切割和制造设备的开切缝和其它成形步骤。这样,可在子步骤 373b 用添加(模制、铸造、立体印刷)或去除(开切缝、切割)或断除(冲切、冲压、模切)等制造技术成形平的零件。

[0287] 也可以任选地让成形的平的零件经过这样一些步骤,诸如表面处理步骤 373c、元件固定步骤 373d、试验步骤 373e4 以及存放步骤 373f,这些步骤一般是在平的状态或卷绕状态进行。

[0288] 往往在步骤 377 进行板材的弯折或折叠之前还有运输步骤 375。把开好切缝的板材从板材加工地点运输到一个很远的弯折和装配地点的一个最方便的作法是让板材处于平的或卷绕的状态。

[0289] 弯折或折叠步骤 377 是精确的和不用力的。对于大多数结构物,弯折沿着许多弯折线发生并且往往是连续进行直到板的两部分达到头顶头的状态,在这一状态把它们的头顶头的部分接合在一起,在步骤 379 形成一个能承受载荷的三维结构物。可以任选地把形成的三维结构物在一个加包件步骤(enveloping step)中固定成三维的能承受载荷的形状,这个加包件步骤是通过把折叠的各部分包起来而把它们连接起来。

[0290] 可用至少三种方法来加包件。在本发明中,一个折叠处的角度不是由形成它的切缝的几何参数来表达。(尽管对于特定的折叠角度,如图 24 所示的那样,可以用有斜角的切缝来影响边缘对表面接触的最大接触区域。)每一折叠处的角度一般由至少三个互锁的平面决定。在某些情况中,没有互锁三个独立的正交平面的可能性,所以需要有一个能限定转动角度的替代方法。一个方法是对照一个有已知角度关系的参照结构物来折叠结构物,并用粘结、铜焊、焊接、锡焊、或给折叠物的内部或外部加装结构上的形状保持物(shin guard)等方法来把角度锁定到位。另一个方法是用一个限定角度形状的内部结构并绕着它弯折这个结构,这就是给内部结构加包件。这第二个方法在图 31 的设计和制造过程框图中由标号“376a”和“376b”表示。在这一加包件的实施例中,内部零件可以留在其位(步骤 376b),或者在某些情况中,它只是有助于折叠过程并且随后被取出。

[0291] 包件的另一个应用是互相锁住(to capture),这是这样一个过程,就是用把零件或模件折在或包进另一结构物内的作法,把本发明的一个由板材折叠成的结构物与一个可以是也可以不是用本发明成形的功能零件对接起来。例如,图 16 表示出许多“互相锁住”可能性之一例,其体现了本发明的加包件的结构特点。图 16 中,板折成的构件 611 包在柱子 631 的外面。

[0292] 也可以加另一种包件,其用在进行本发明的两个或多个板折成的模件之间的连接时,或者进行其中至少有一个是本发明的板材折成件的两个或多个模件之间的连接时。用本发明的由平面材料成形的结构物的三维定位精度结合于加包件或连接过程可建立一种把许多个结构物结合到一起的方法,这种方法的成功率很高,不要求再进行切割和装配调整。这是本发明的能力所特有的,其能够对准诸如孔、突舌和槽口之类的紧固结构。这是一种通过包卷(wrapping)达到结合在一起的方法。

[0293] 本发明的过程还可包括一个迭代步骤 380。用本发明的方法能够低成本地创造三维零件,这可使设计者能在着手生产设计之前实实在在地享受大于超前设计的乐趣。

[0294] 本发明的基于切缝的弯折方法和设备有很高的弯折位置精度。可以用 CNC 技术控

制例如激光切割机、喷水切割机、冲压或冲切模具,以极高的精度加工出初始切缝,即使对于大的零件,弯折处的位置精度也在  $\pm 0.005$  英寸以内。这个精度与高度熟练的操作者用折板机所能达到的精度一样高,甚至比它高。采用冲压模具的一个附加优点是可把模具做成楔形,用以在横向或在切缝宽度方向压缩切缝边缘。这种压缩可提高切缝处材料的疲劳强度。在设计能在弯折过程中产生边缘对表面的接触的切缝宽度时,也必须考虑这种横向压缩。也可以跟随激光或喷水切割之后用楔形冲模横向压缩切缝边缘,以提高其疲劳强度。

[0295] 另外,在用本发明的弯折方法时不会累积误差,而用折板机进行弯折误差是要累积的。或者,可把切缝或凹槽铸造或模制在板材上,或者铸造有需要被折叠的板状延伸部分或翼部的三维构件。不管是加工尺寸非常大或非常小的材料,都可以用微电子和 MEMS(微型机电系统)领域中常用的其它成形方法,诸如电子束印刷和蚀刻,来实现本发明要求的几何参数,而且精度极高。

[0296] 在用激光切割器成形板材上的切缝或凹槽时,也可以任选地不是移动激光束,而是移动被加工的板材,在板材上成形出所希望的切缝或凹槽形状。对于重量轻的金属板或塑料板,移动它们所需的功率不大,这种作法是可行的。

[0297] 本发明的方法中的制造技术还可包括这样一些步骤,诸如除去切缝或凹槽的毛刺,用溶剂进行蚀刻,阳极氧化处理,表面防锈处理,施加诸如油漆、聚合物、各种填缝胶等顺从的涂层。

[0298] 从上述还可理解,本发明的用于精确地弯折板材的方法的另一方面包括沿着并靠近弯折线在纵向以一定的纵向间隔成形许多切缝或凹槽的步骤,以限定每两个纵向相邻的切缝之间的缝间弯折条。在一类实施例中,每个纵向延伸的切缝成形为有纵向的切缝段,其至少一端连接有大致沿横向延伸的切缝段。在第二类实施例中,切缝或凹槽是弧形的,其两端逐渐远离弯折线,而限定缝间弯折条,较佳的是,这样限定的缝间弯折条是斜的,其宽度向两端逐渐增加。在这两类实施例中,缝间弯折条可以产生绕虚拟支点的弯折,弯折时切缝两侧的板材料产生边缘对表面的接触。缝间弯折条和切缝或凹槽的数目可在本发明的范围内有很大的变化范围。也可以独立于切缝之间的横向间距来改变缝间弯折条的宽度或断面面积和缝间弯折条的横向逐渐加宽的程度。本发明的方法的一个附加步骤是基本上沿着弯折线在板材的缝间弯折条处弯折板材。

[0299] 本发明的方法可应用于各种类型的板材,特别适用于诸如铝板和钢板等金属板材,它们可以有很大的厚度和各种热处理状态(例如 2 英寸厚的碳钢板、热处理状态为 T6 的 6061 铝、某些陶瓷和复合材料)。一定种类的塑料和聚合物板材以及可塑性变形的复合材料板材也适于用本发明的方法进行弯折。这些材料的性质与给定温度有关,因此对于一种特定的材料可能需要改变其温度来使其适应本发明的弯折方法。本发明的方法和开好切缝的板材特别适于在远离加工切缝或凹槽的设备的地方进行弯折。而且,不用折板机也能达到精确的弯折。

[0300] 板材也可以是用折板机弯折并开出了切缝或凹槽的,而后由制造者进行弯折。这允许将板材以平的或弧弯的形状运输到很远的制造现场去完成弯折,例如弯成外壳。折板机折出的弯折处可以比没有加强的用切缝弯折的弯折处强,因此把用折板机进行弯折和基于切缝的弯折组合起来用,可以提高制成的产品的强度,可以把用折板机弯折的弯折处用于例如沿着板材的边缘定位。可将基于切缝或凹槽的弯折处只作部分弯折而略微向外开

着,以便这样的板材仍可以以弧弯状态运输。

[0301] 弯折成的产品有搭接的边缘对表面接触和支承。这可增强产品承受各个方向的载荷的能力,而缝间弯折条处的应力又不是很高。如果要求进一步增强或需要外表美化,也可以对弯折成的产品进行加强,例如沿着弯折线进行焊接或固定一个护角板。应该注意到:采用切缝宽度大致为零的切缝的优点之一是弯折后沿着板材弯折线的开口较小,这样可能就不太需要为外表美化而沿着弯折线进行焊接或填缝。

[0302] 应该注意到:尽管至此表示的都是直线的弯折处,但是也能够做成弧形的弯折处。用于产生弯曲的弯折线的一种方法表示于图 33,也就是,沿着一条弯曲的弯折线布置完全相同的缝间弯折条限定结构,使虚拟支点落在所希望的曲线的中心线上。

[0303] 板 931 已经开出了完全相同的切缝 932,这些切缝定位在各弯曲的弯折线 933 两侧,并且板 931 已经弯曲成波纹板。所示的切缝 932 有类似于图 6 中的切缝的形状,其中段是直线的而两个端部是曲线的并逐渐远离弯折线。但是,切缝 932 的直线段是布置在弯折线上。随着弯折线 933 的弯曲半径减小,可减短沿着弯折线 933 的切缝 932 的长度,以便更接近于曲线。

[0304] 应该注意到:波纹板有草帽形的横断面,这样的横断面常常见之于轧制的波纹板。在用作桥面板之类的铺面板时,这样的结构物不如图 20 的连续波纹板那样适用,因为其弦板 934 的重量只占整个波纹板的重量的一半,但是在其它的应用场合,它有优点并且需要的材料较少。

[0305] 第二种方法是用不完全一样的切缝来限定缝间弯折条的形状,以产生平缓的曲线的弯折。被弯折的板将有在弯折线两侧的弯曲的表面。如果用一步一步的切缝,可以减短切缝的纵向延伸段的长度。

[0306] 可以考虑各种原因来改变缝间弯折条的分布和宽度,包括弯合作所需要的局部力和未增强的弯折处的残余强度之间的折衷。例如,有可能偶尔与本发明的缝间弯折条同时成形的那些邻近结构可能如此靠近弯折线以至于最靠近附近结构的缝间弯折条成形得最好的出现率较低,或者只以较细的缝间弯折条维持被弯折的材料的平面性。

[0307] 最后,本发明的弯折成的结构物可以很容易弄平。这允许把三维结构物拆开或解体以便运输到其它地方去,或者把板材回收利用。已经发现:往往可以把弯曲了的板材弄直,或者让它承受反向的弯曲,然后再重新弯曲,可以来回弯五到十次或更多次。这允许在一个地方弯折或制造一个结构物,然后把它弄平,运输到另一个地方去再进行弯折而形成为结构物。很容易弄平也便于把结构物弄平之后送到废品回收中心,以利板材和拆下来的元件的再利用。

[0308] 为了便于说明和权利要求书中的精确定义,词语“上”或“上面的”,“下”或“下面的”,“内部的”和“外部的”是用于说明本发明的具体结构相对于各图中所表示的整个结构的位置。

[0309] 以上对本发明的各特定实施例的描述只是为了表示和说明的目的。不能认为再没有更多的实施例了,也不能把本发明严格地限制于所揭示的内容。很明显,根据上述讲解可做出许多变型和改变。选择和描述实施例是为了最好地说明本发明的原理和它的实际应用,以使熟悉本技术领域的人们能够最好地利用本发明及其各实施例,同时做出适用于其设想的特定用途的各种改变。本发明的范围由权利要求及其等同物限定。

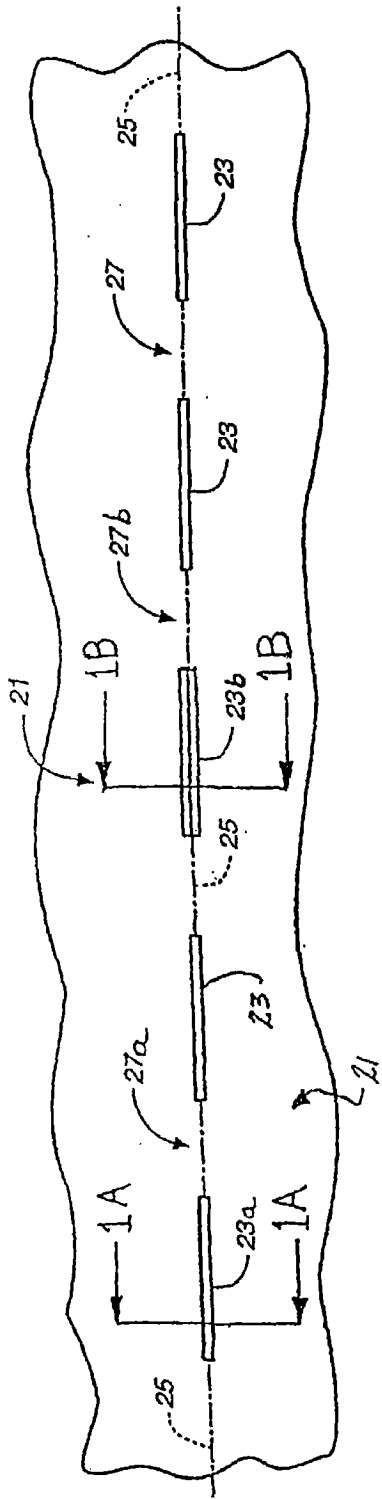


图 1

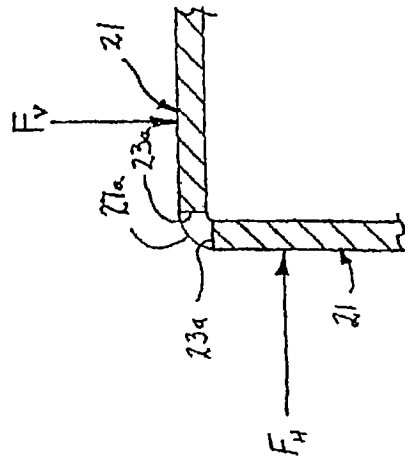


图 1A

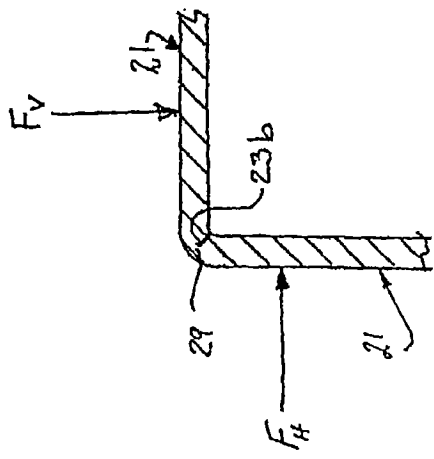


图 1B

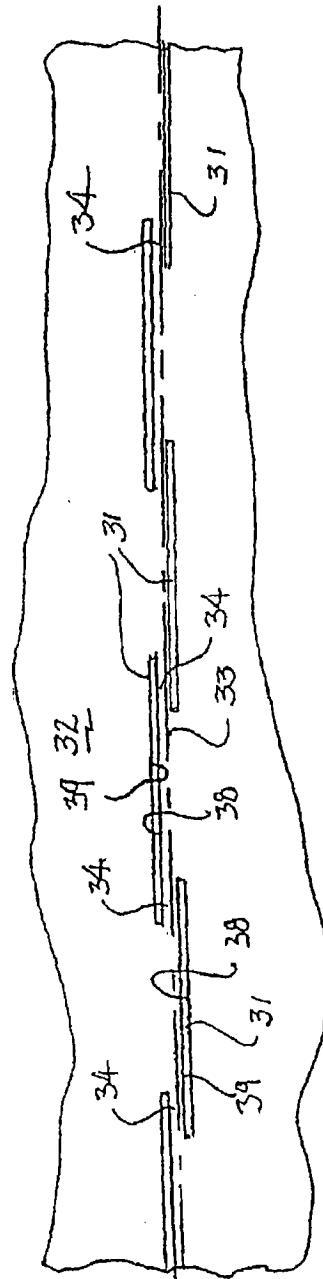


图 2



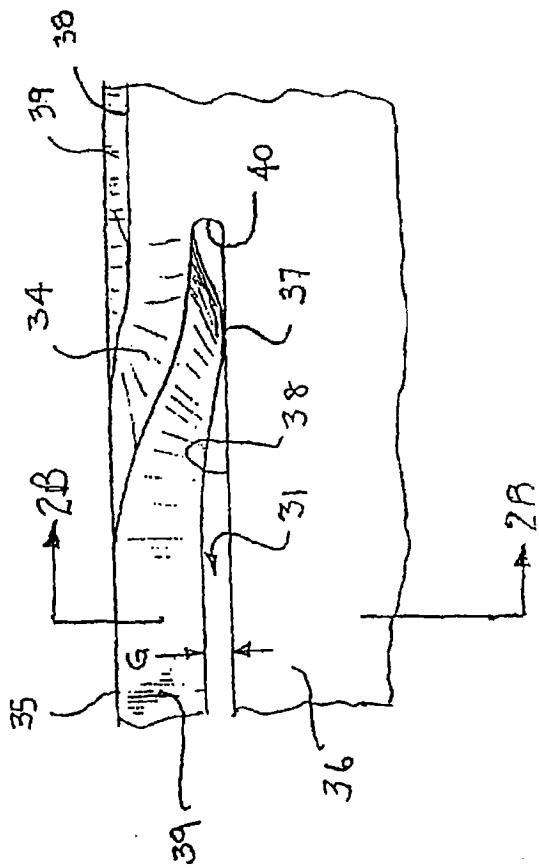


图 2A

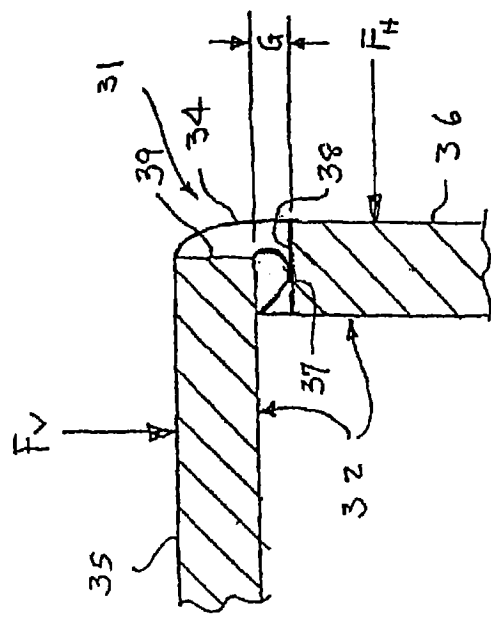


图 2B

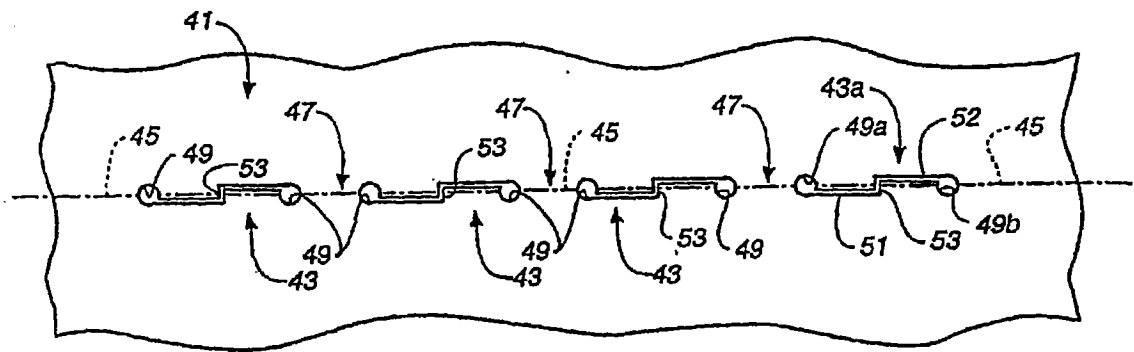


图 3

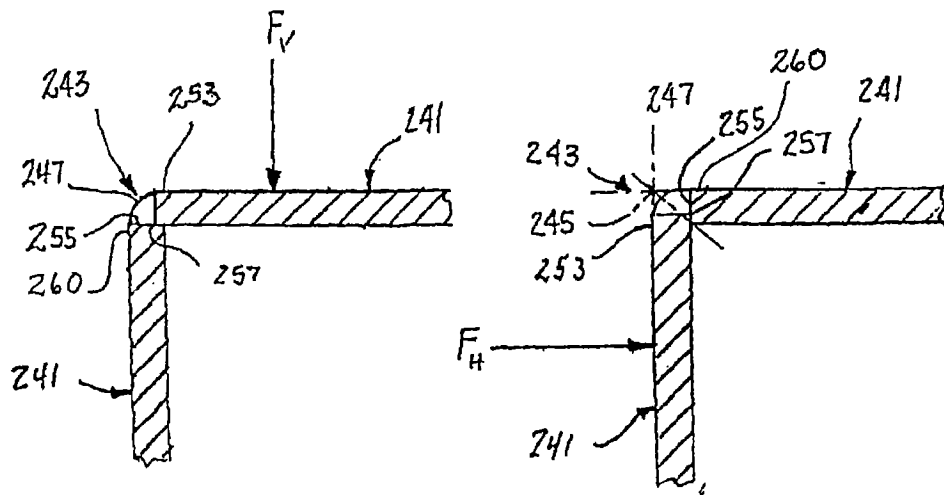


图 8A

图 8B

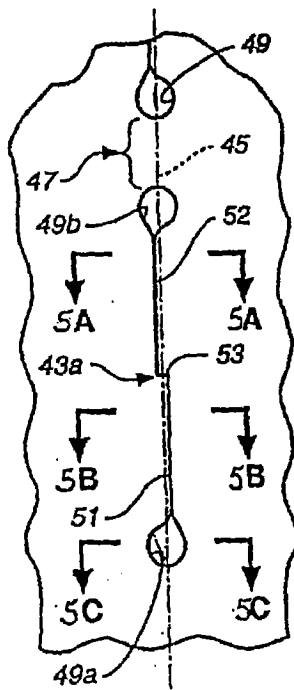


图 4A

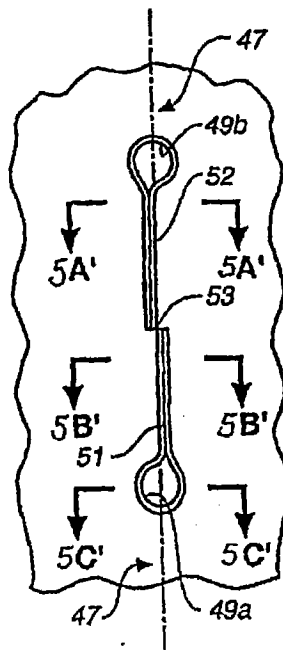


图 4B

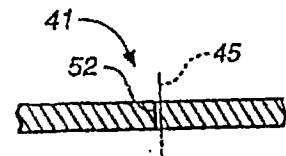


图 5A

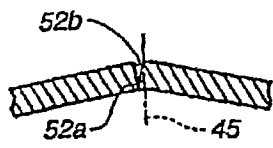


图 5A'

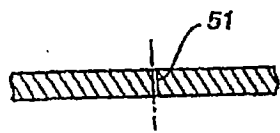


图 5B

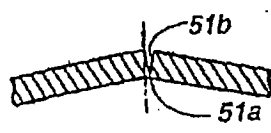


图 5B'

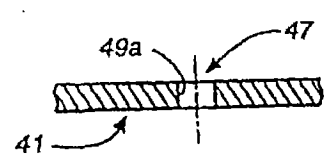


图 5C

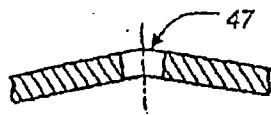


图 5C'

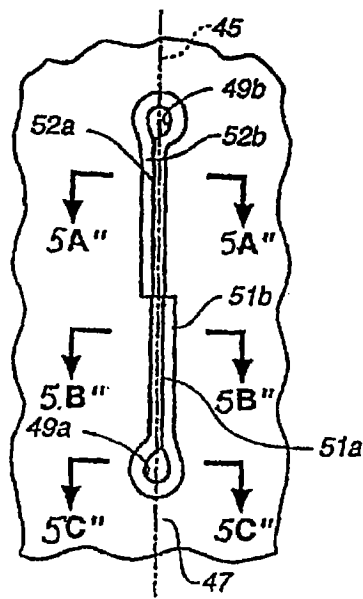


图 4C

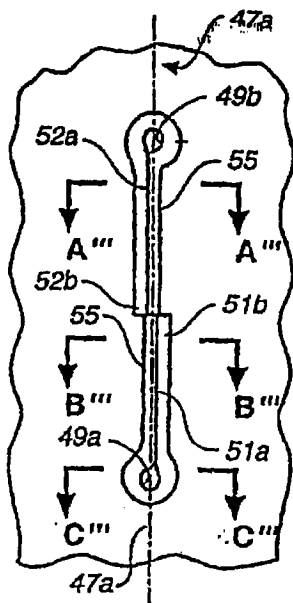


图 4D

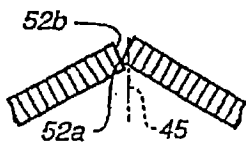


图 5A''

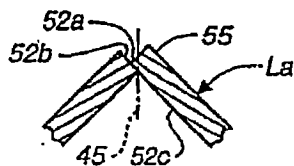


图 5A'''

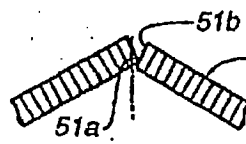


图 5B''

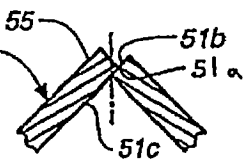


图 5B'''

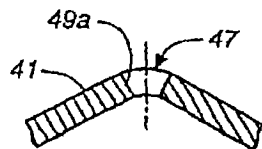


图 5C''

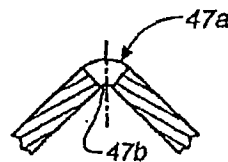


图 5C'''

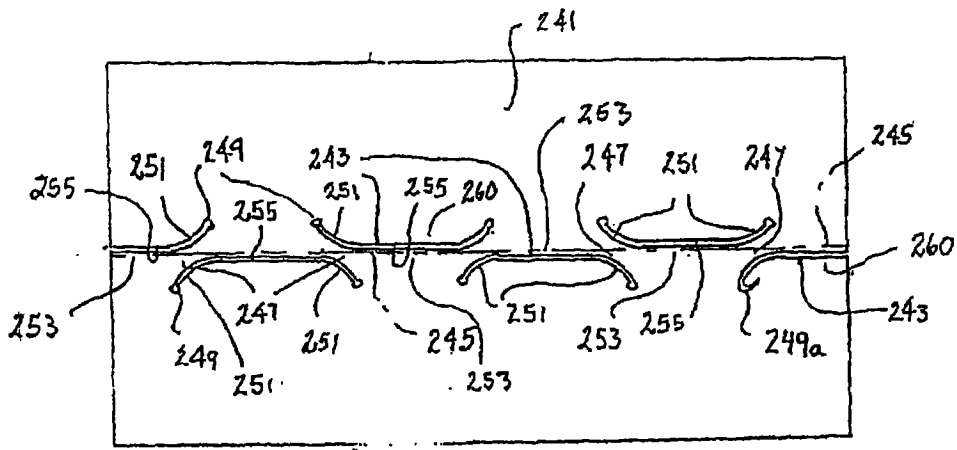


图 6

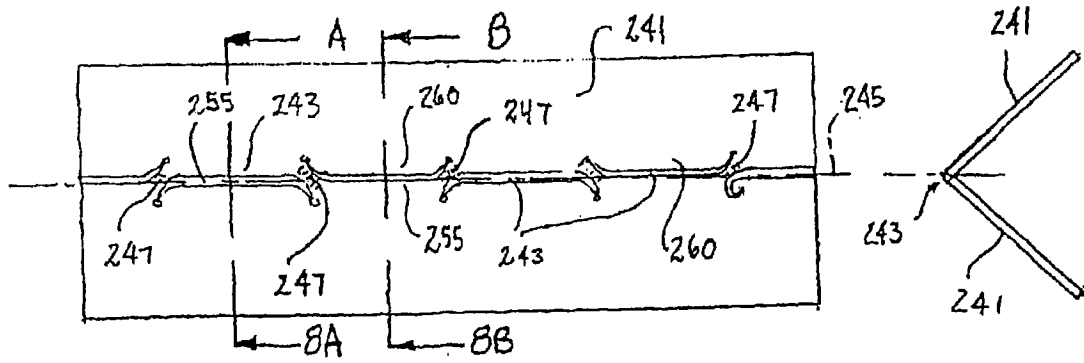


图 7

图 8

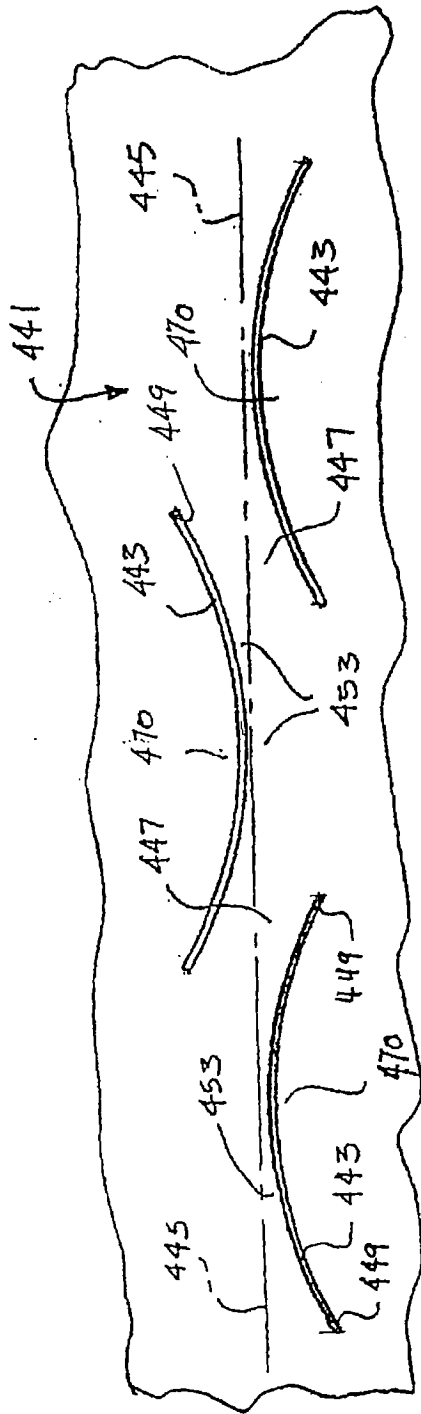


图 9

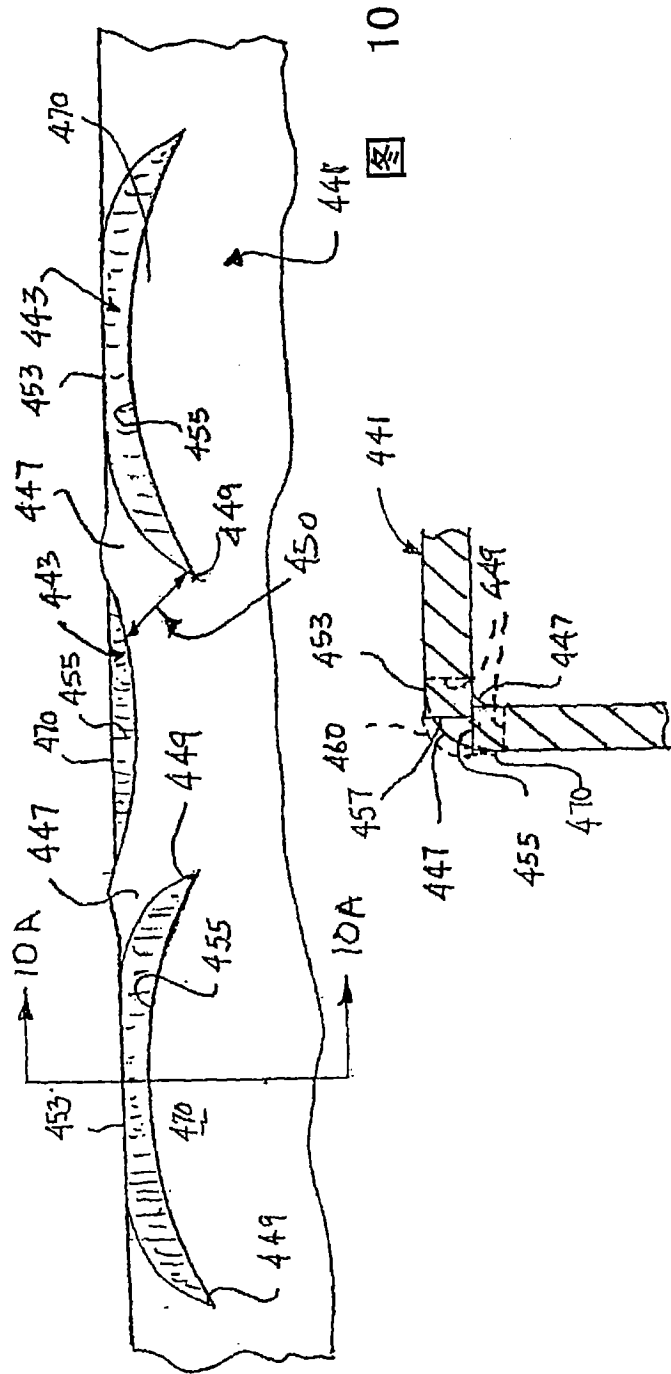


图 10A

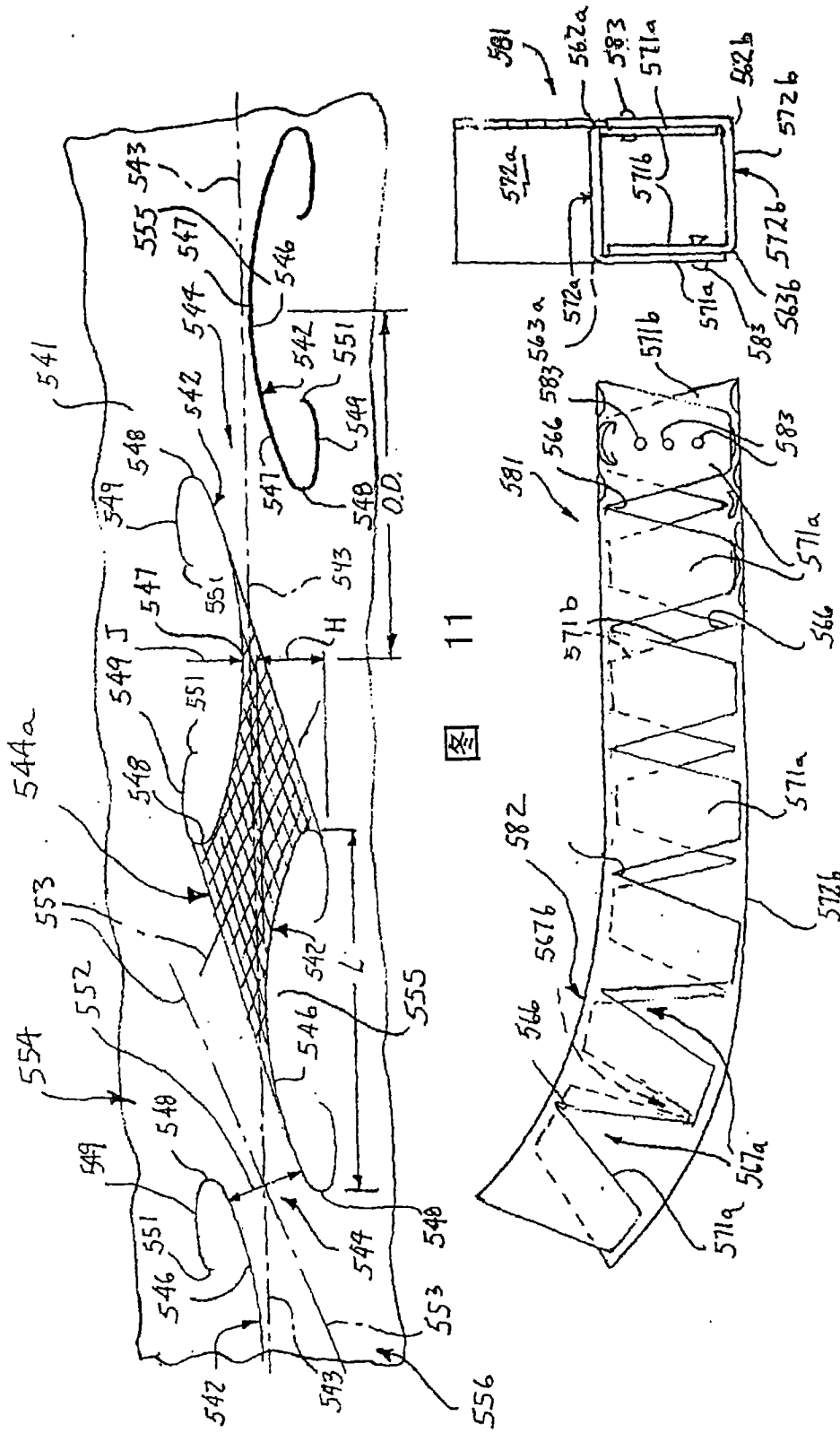


图 11

图 14

图 13

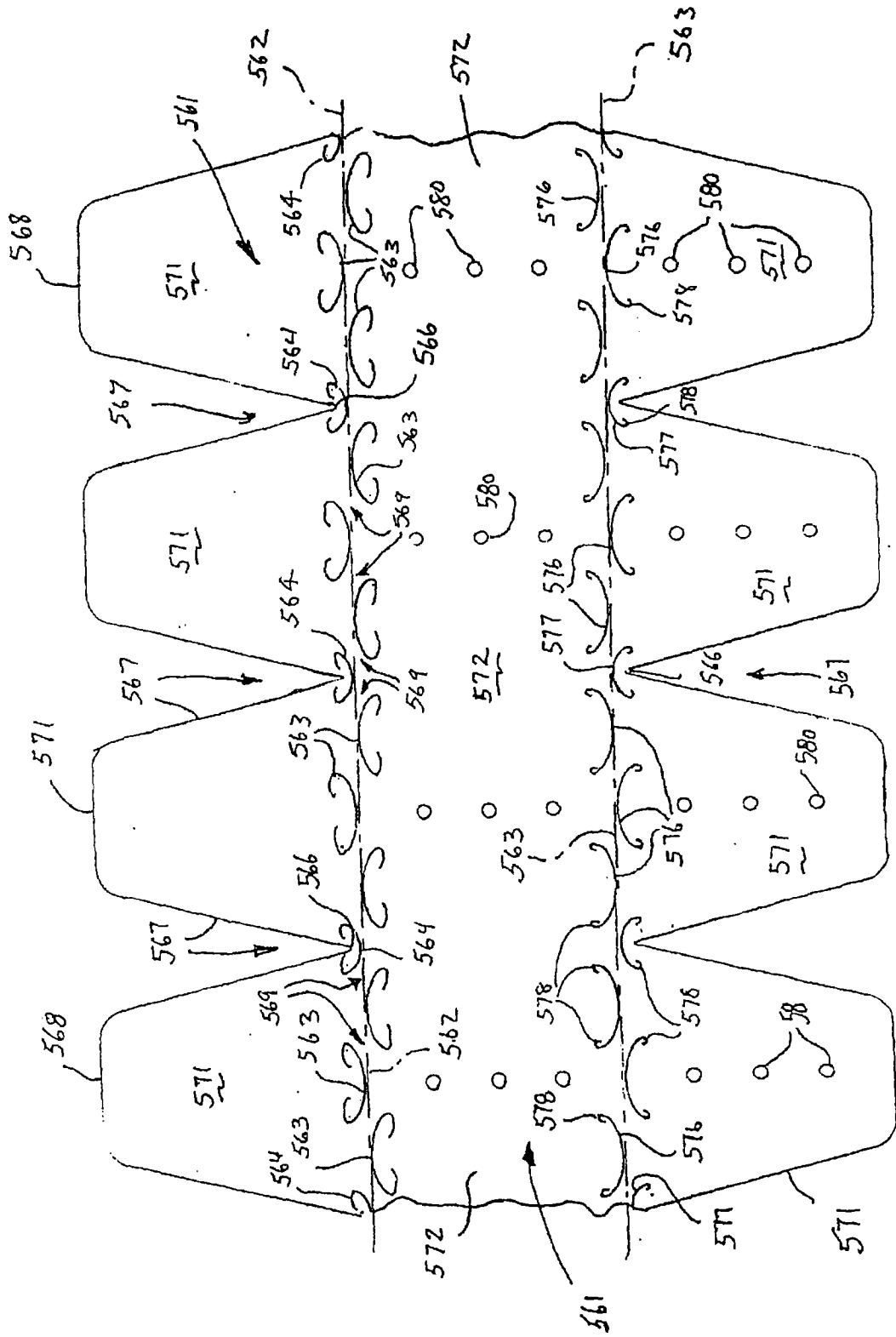


图 12

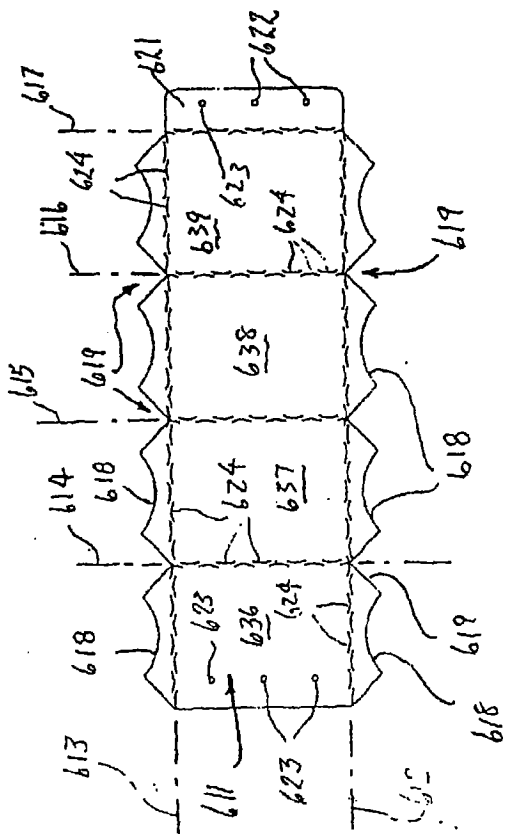


图 15

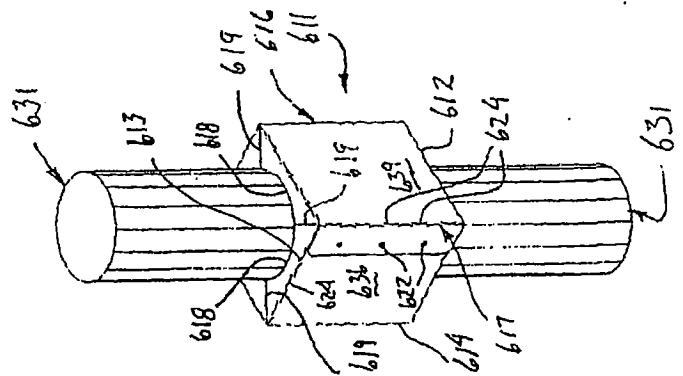


图 16



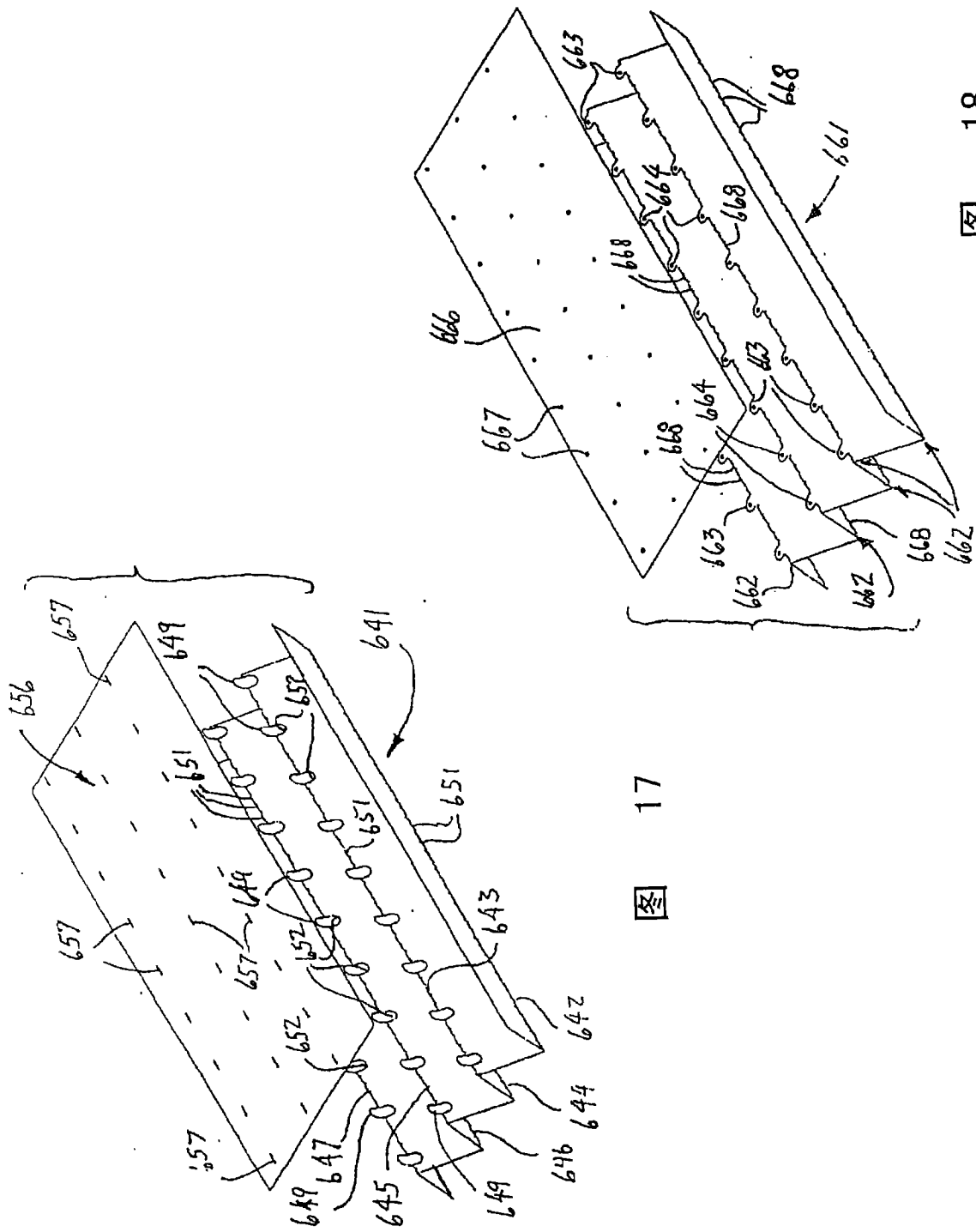


图 17

图 18

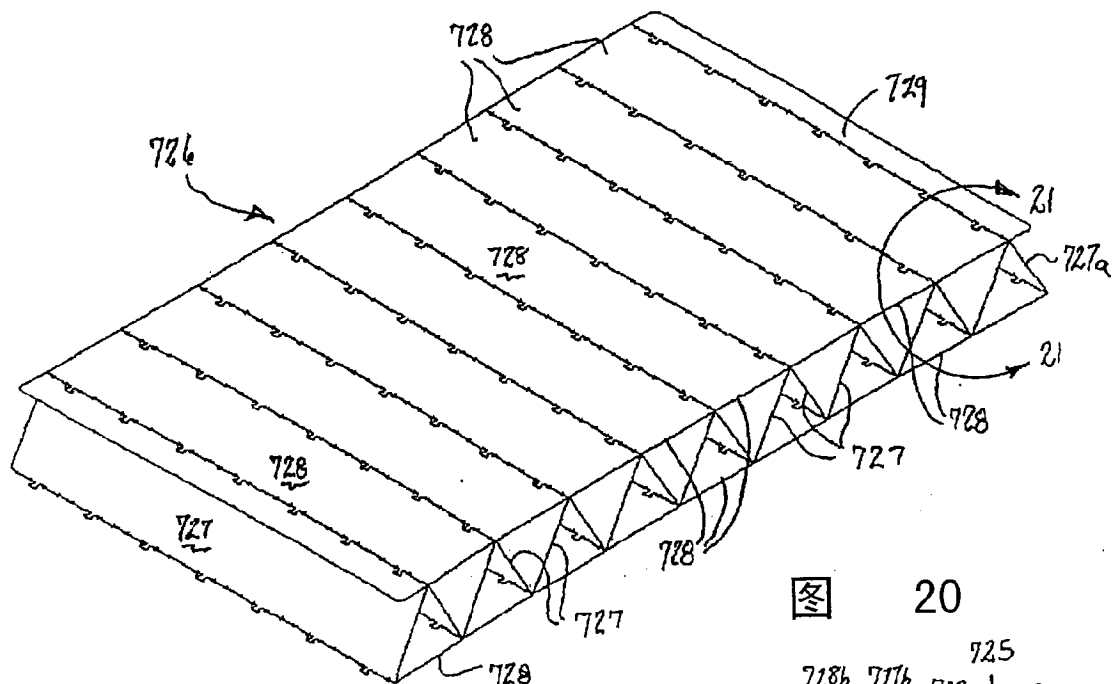


图 20

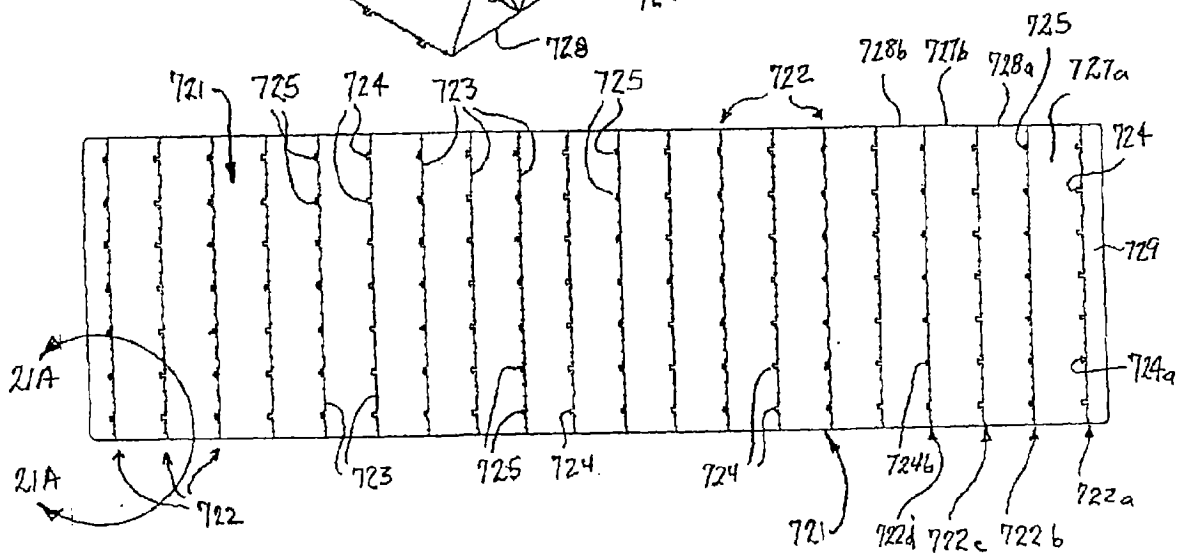


图 19

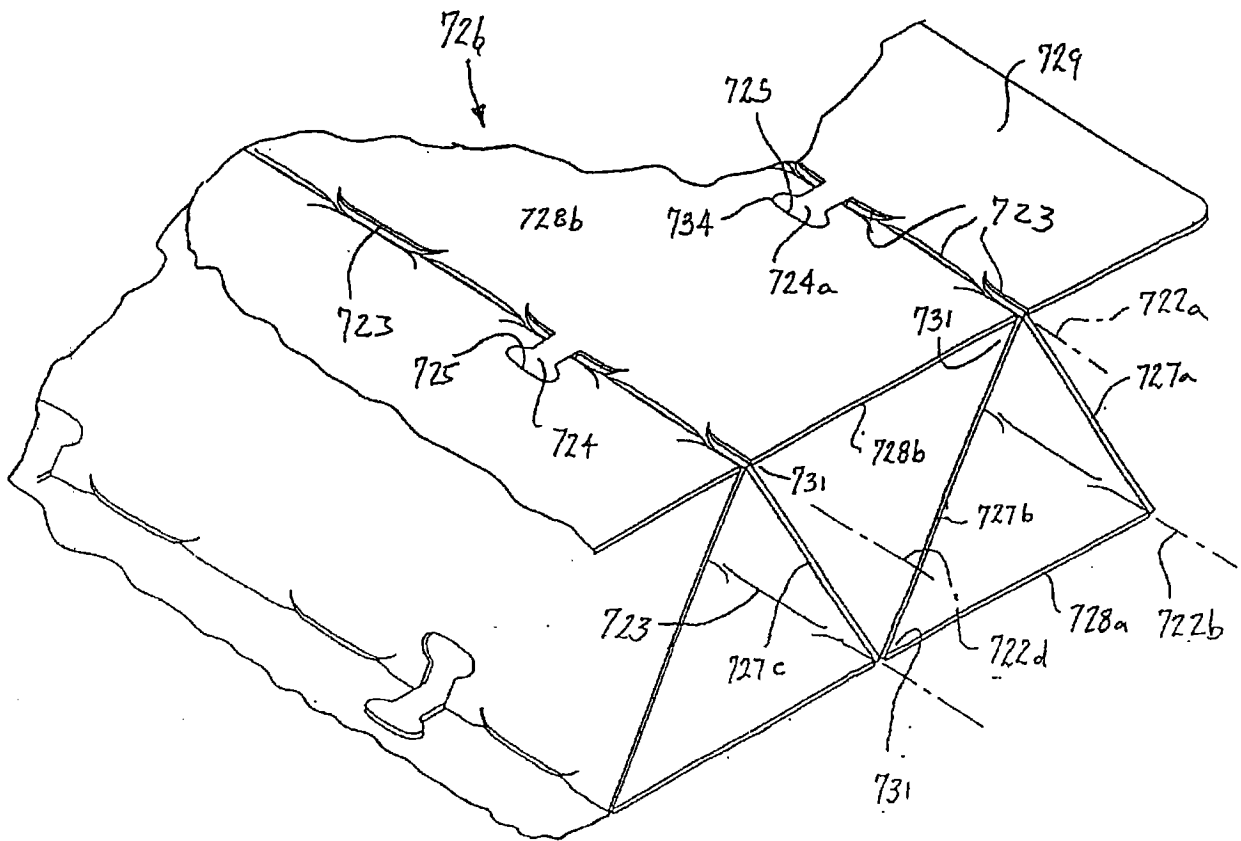


图 21

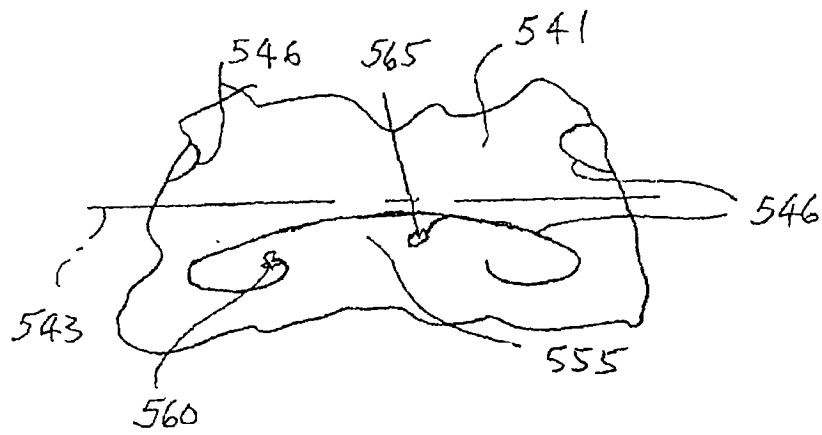


图 11A

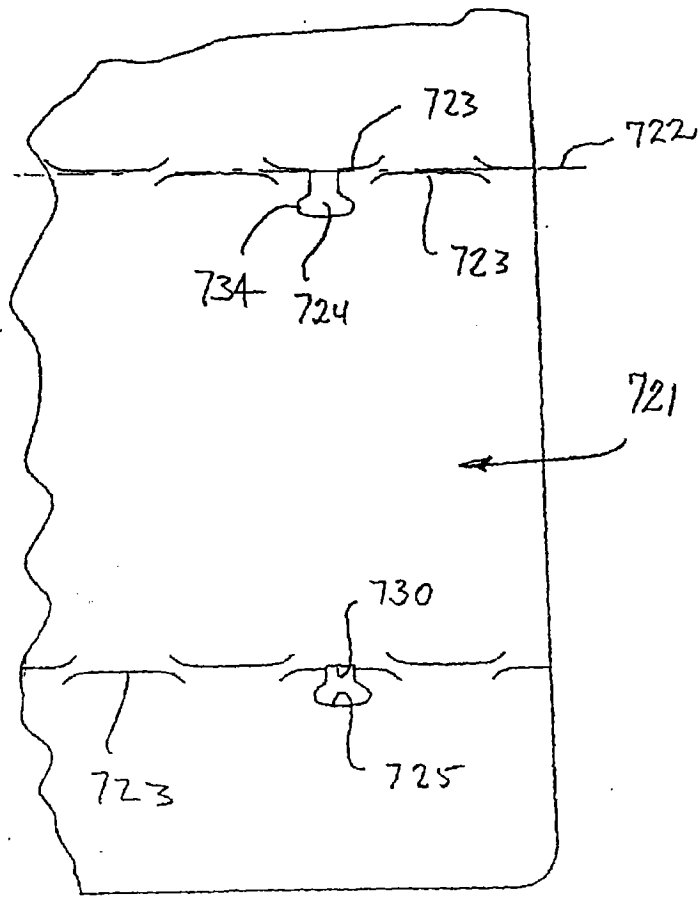


图 21A

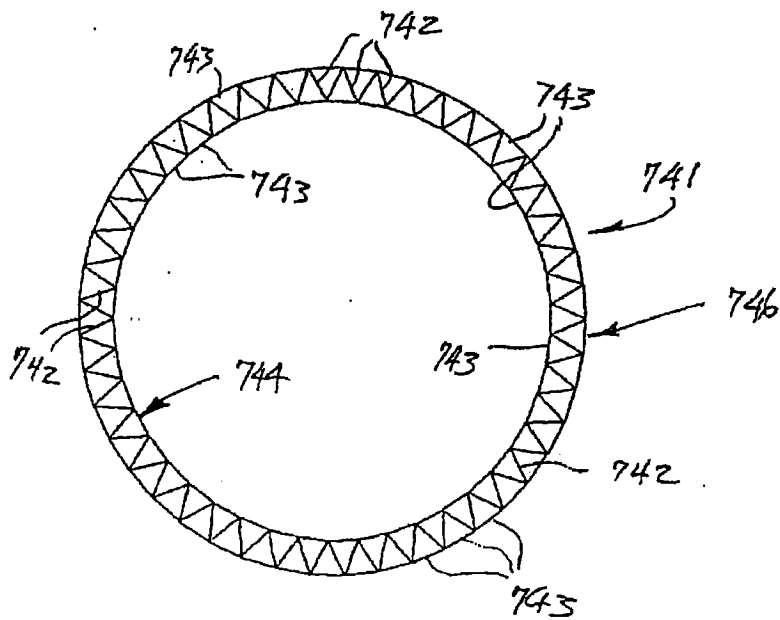


图 22

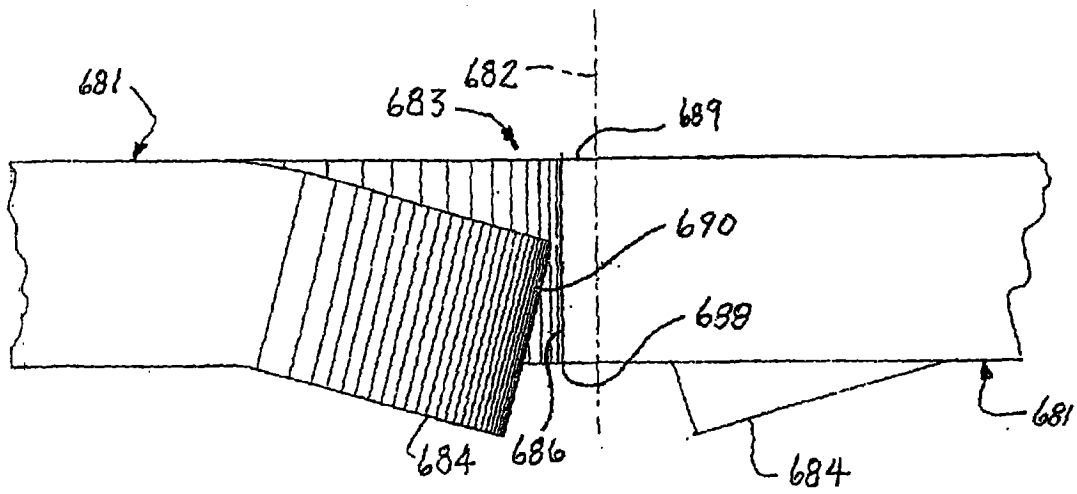


图 23

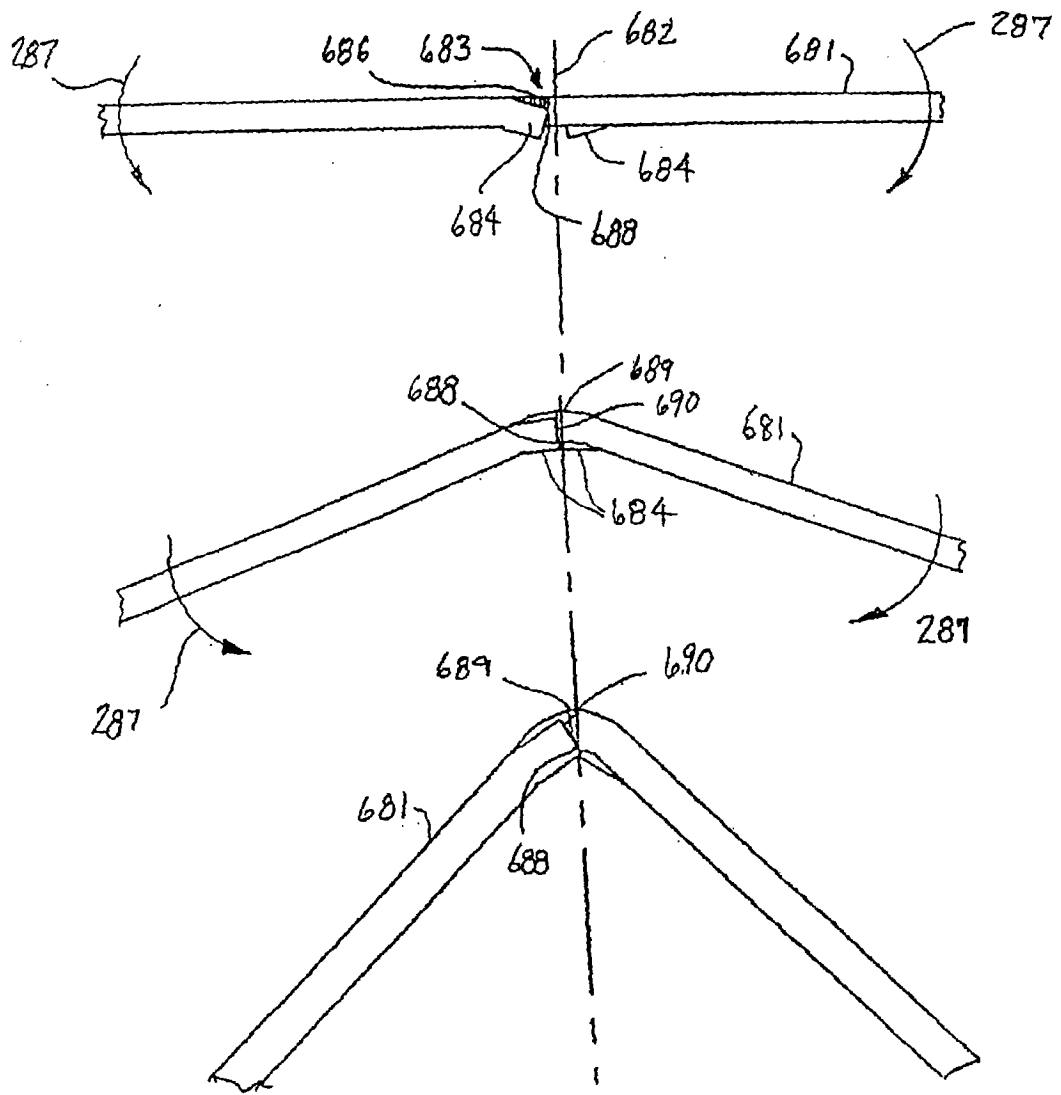


图 23A

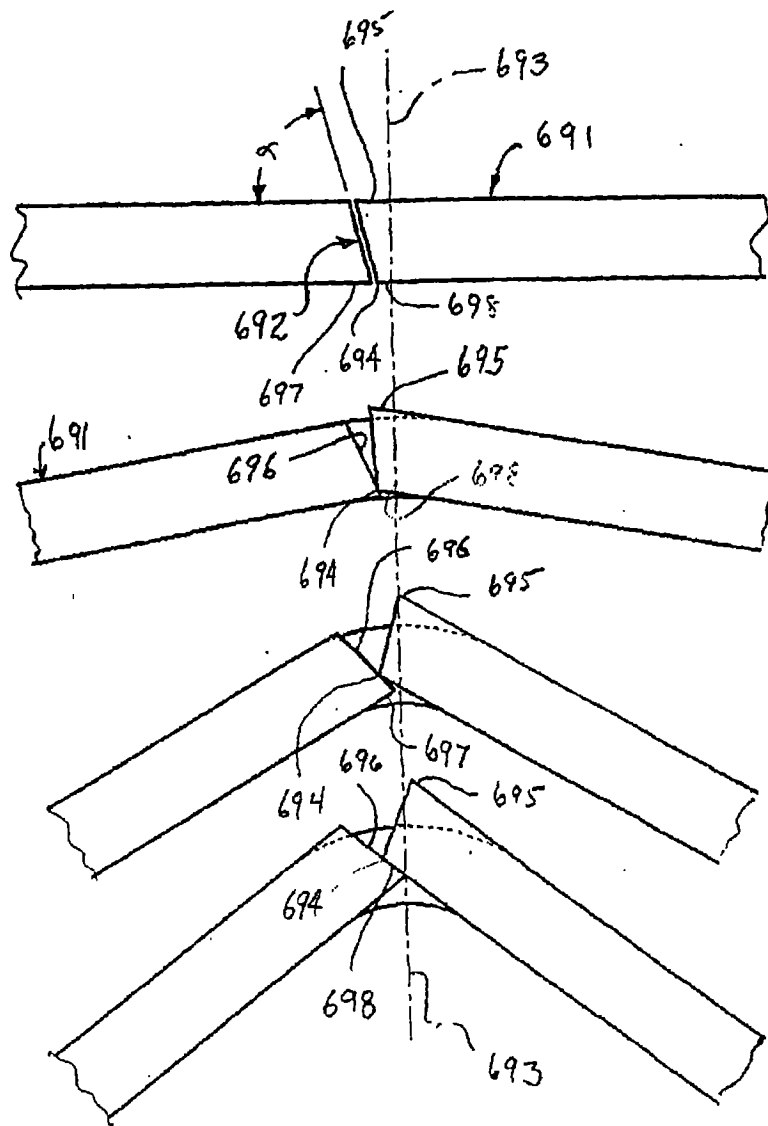


图 24

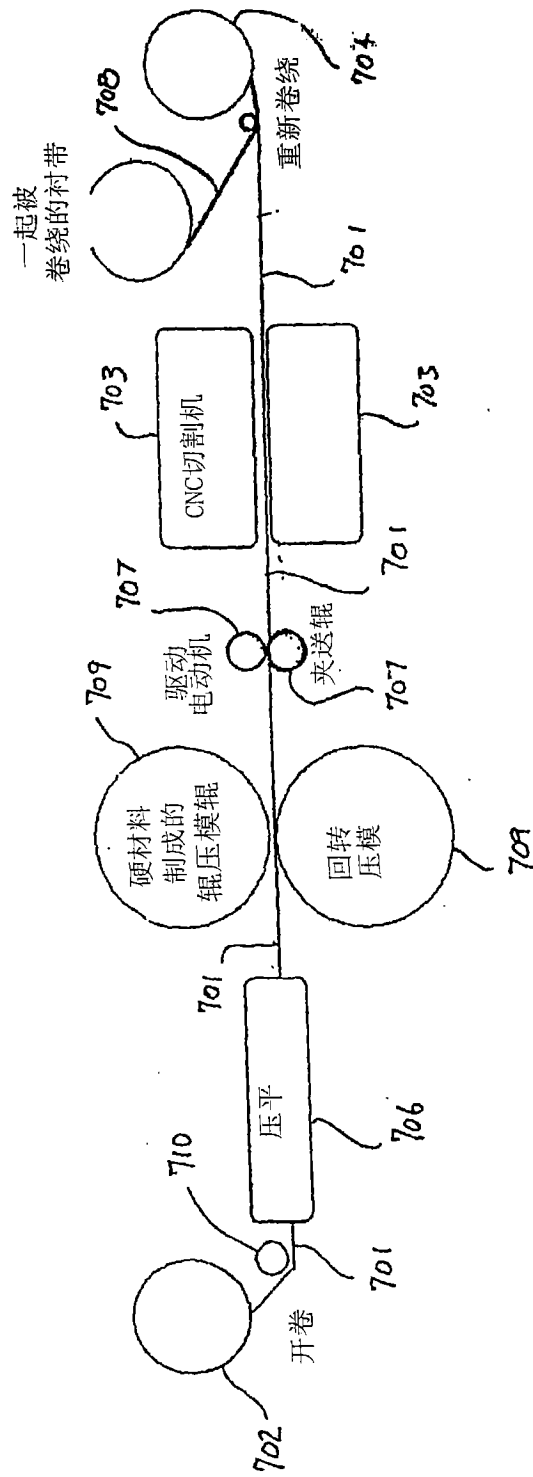


图 25



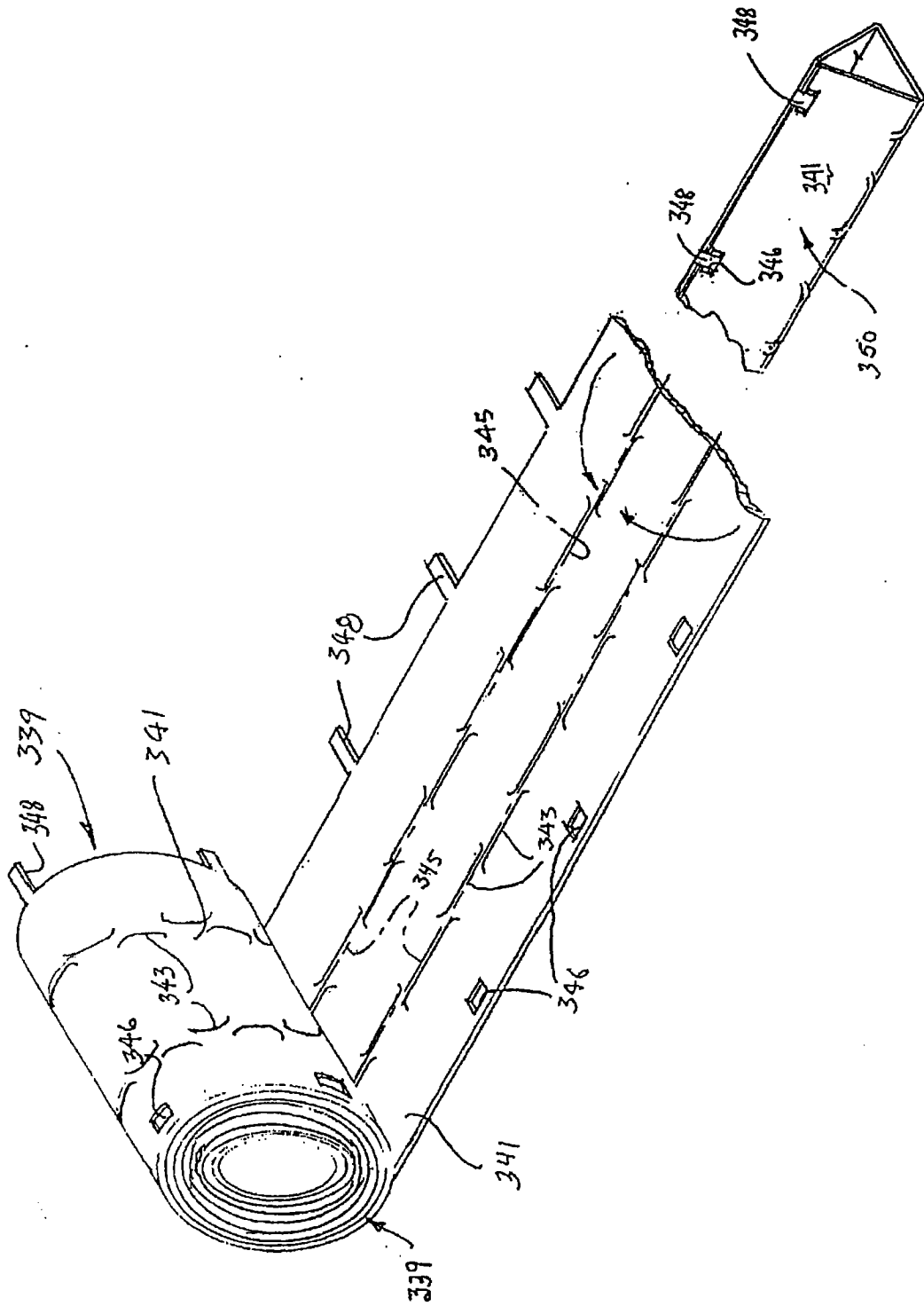


图 26

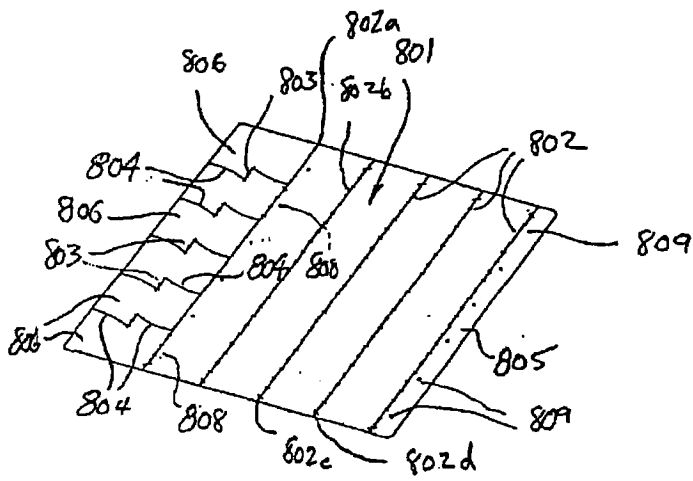


图 27A

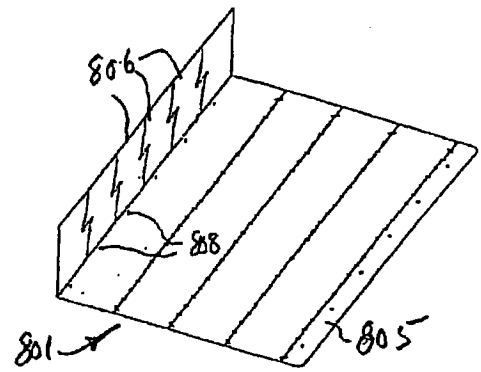


图 27B

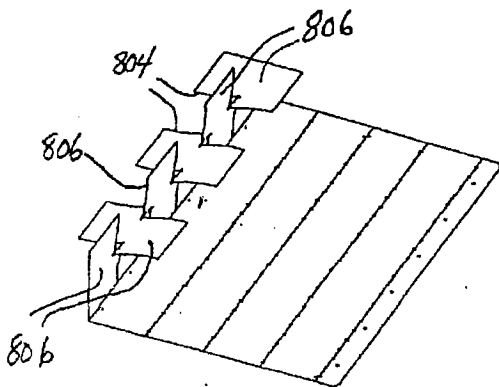


图 27C

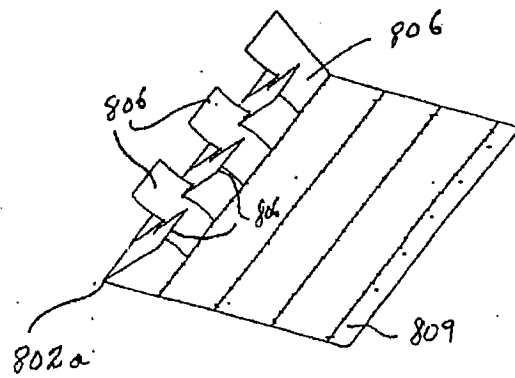


图 27D

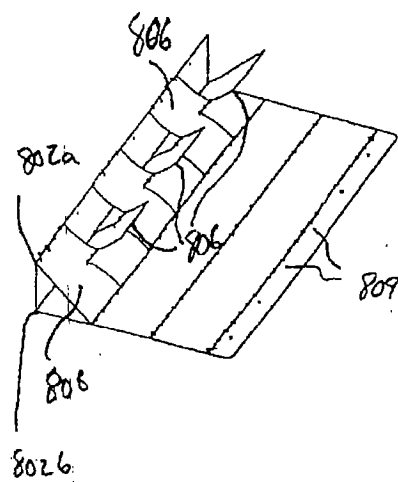


图 27E

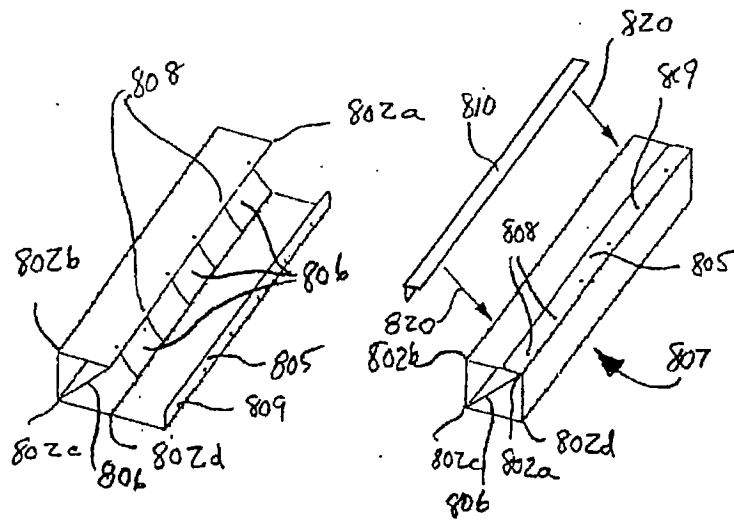


图 27F

图 27G

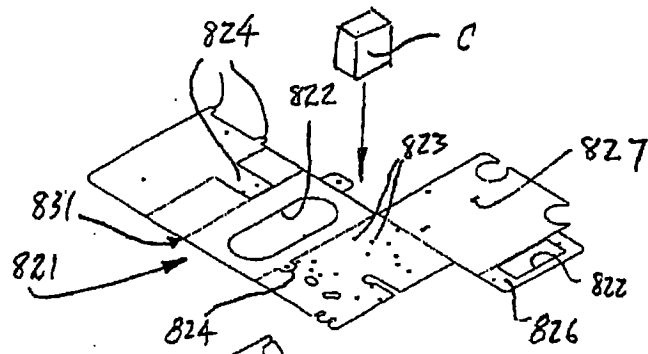


图 28A

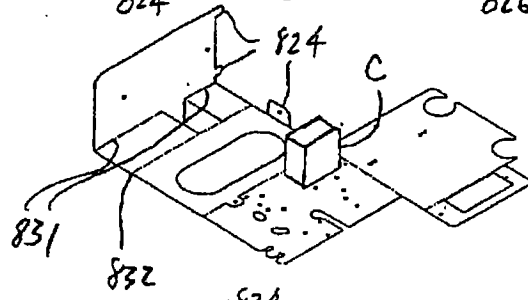


图 28B

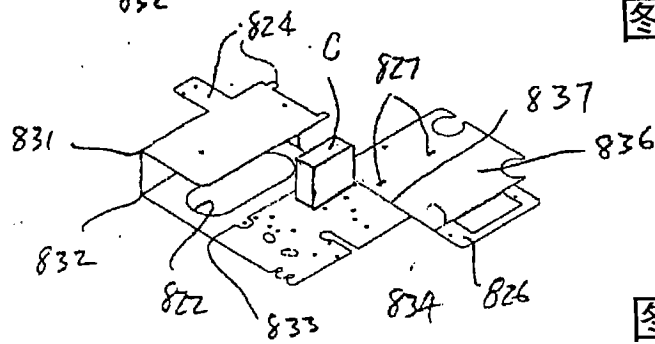


图 28C

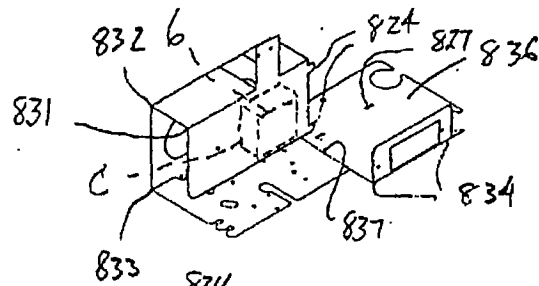


图 28D

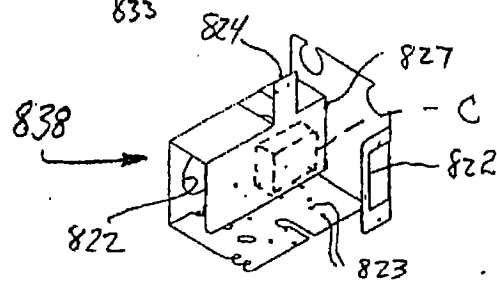


图 28E

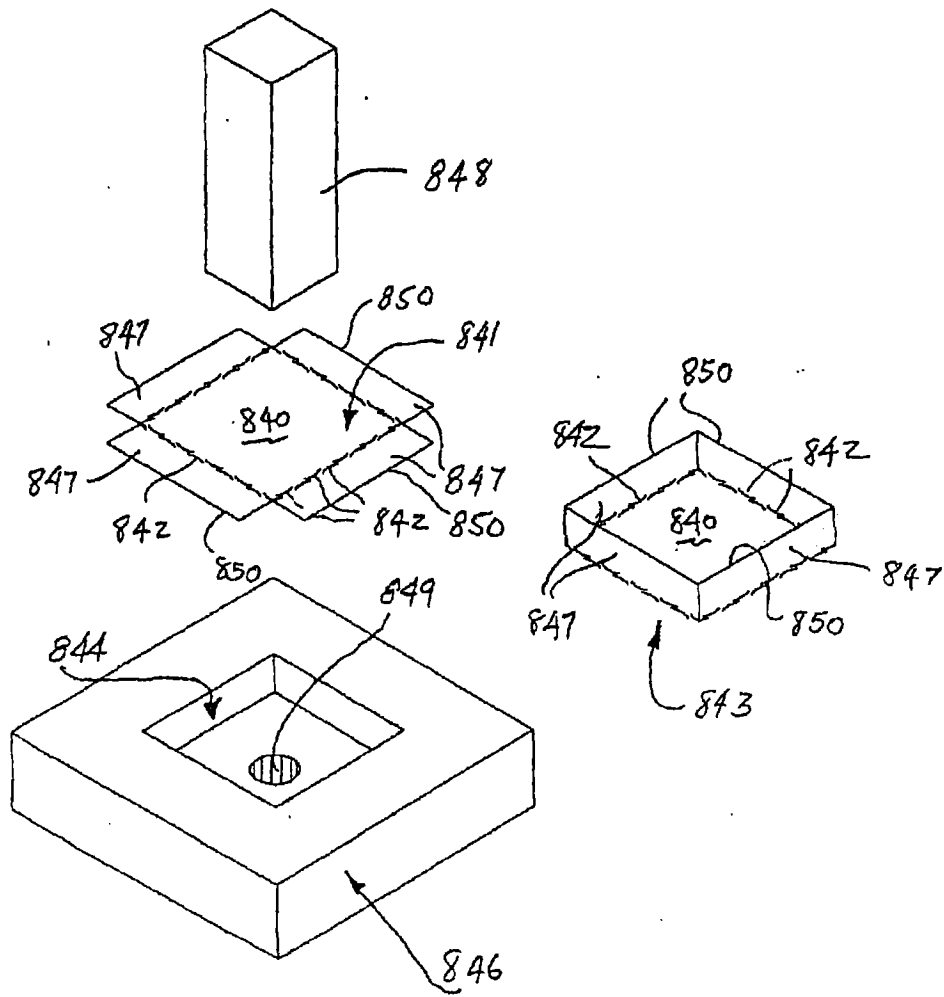


图 29

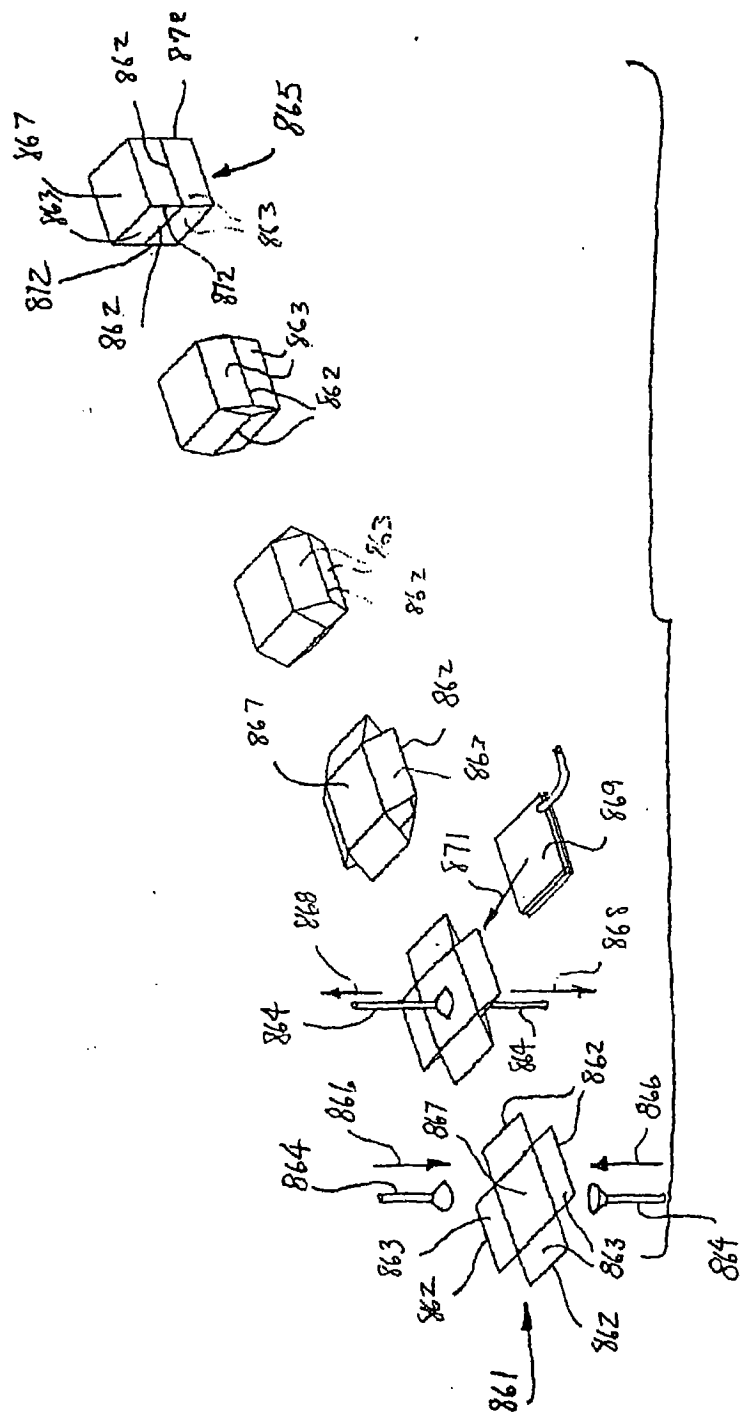


图 30

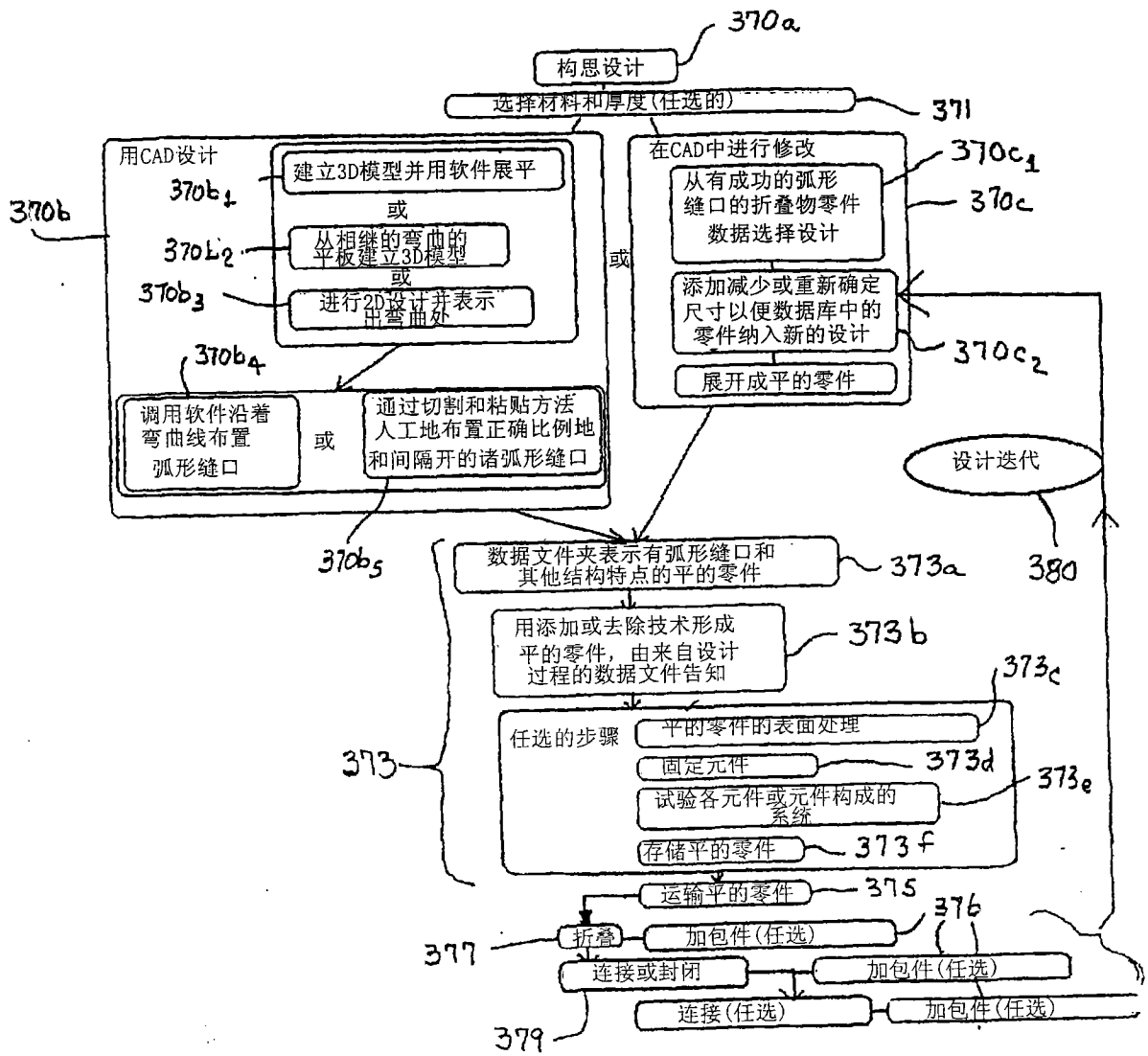
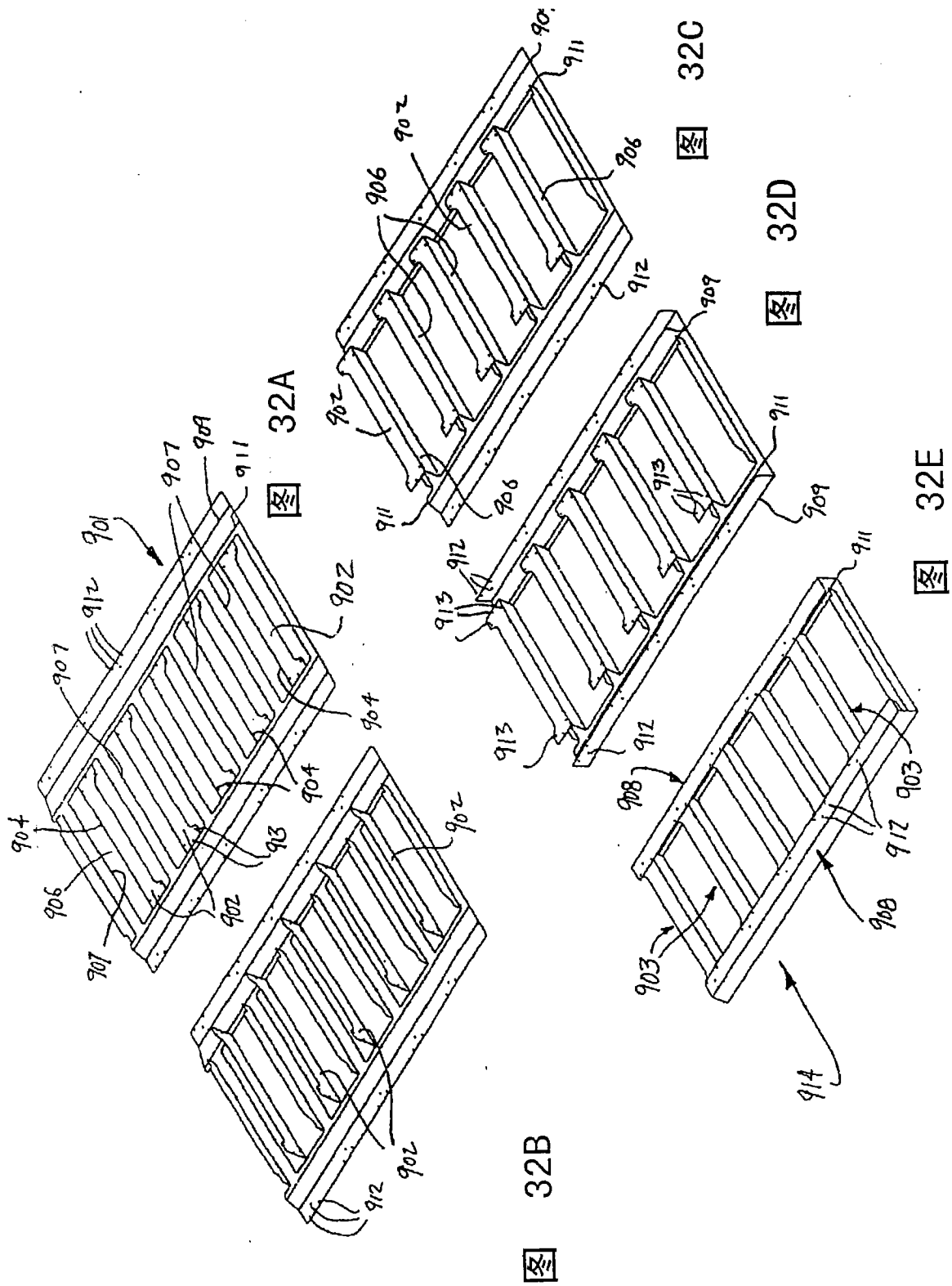


图 31





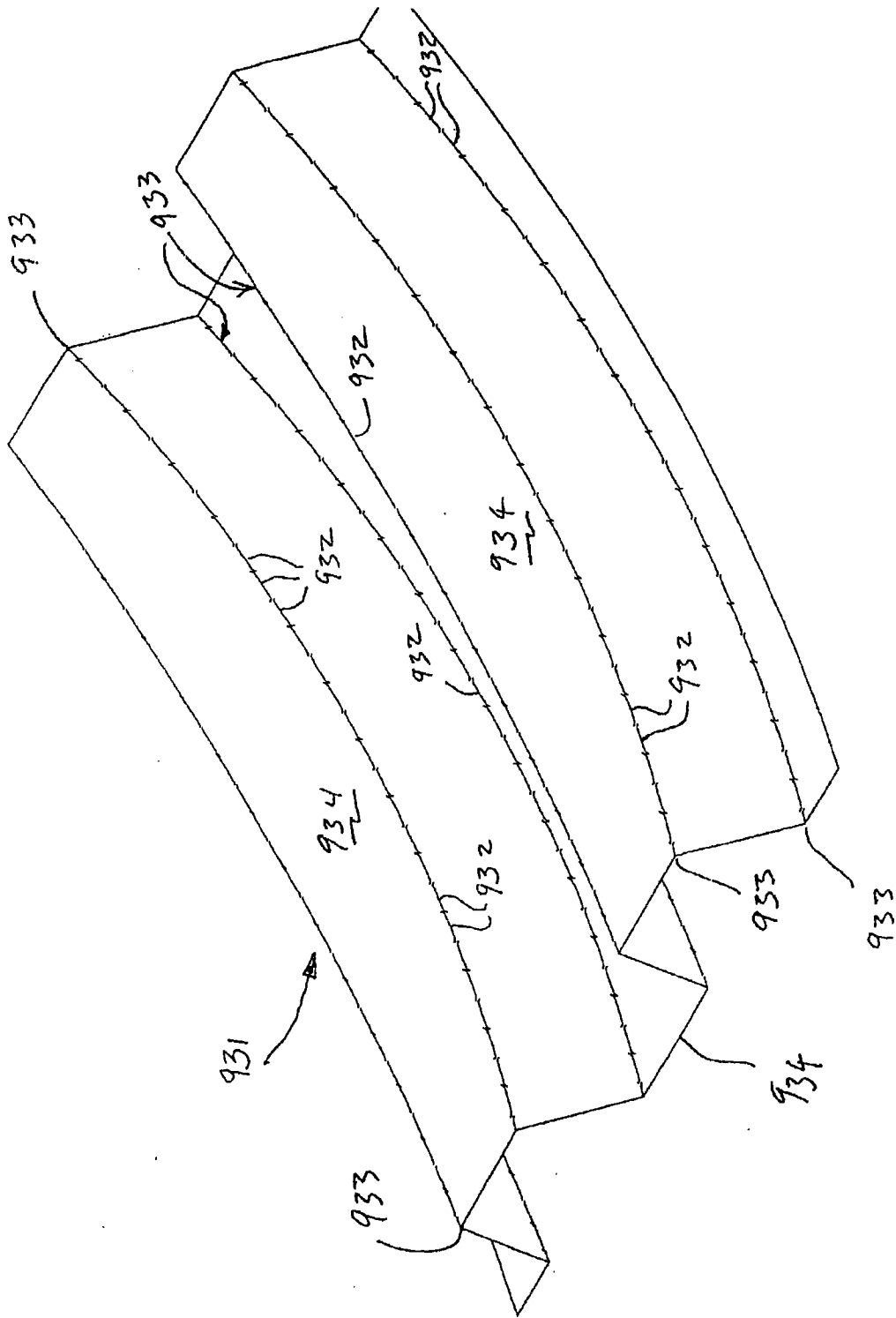
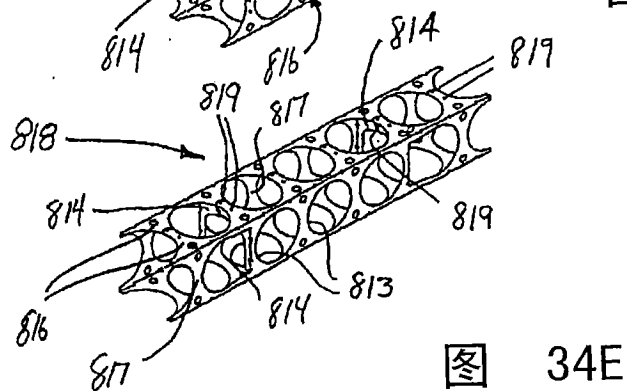
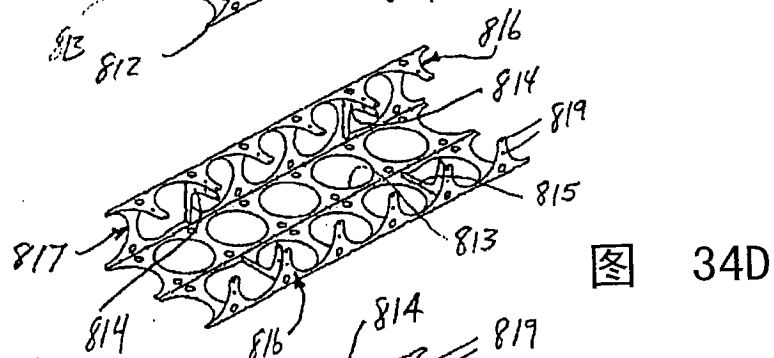
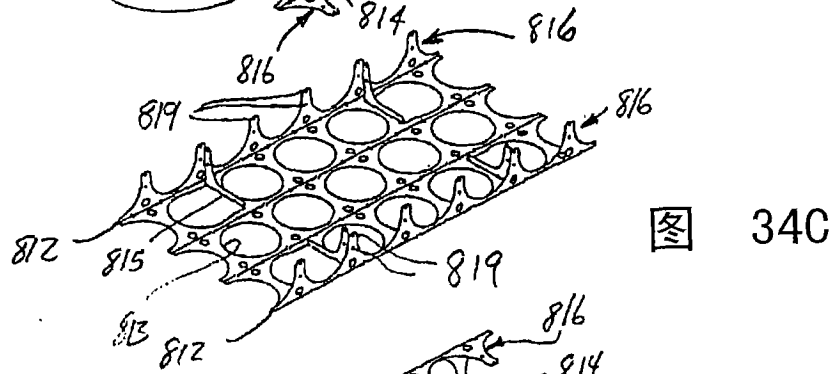
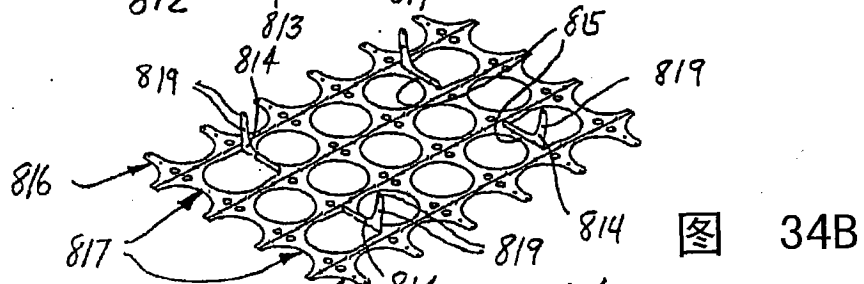
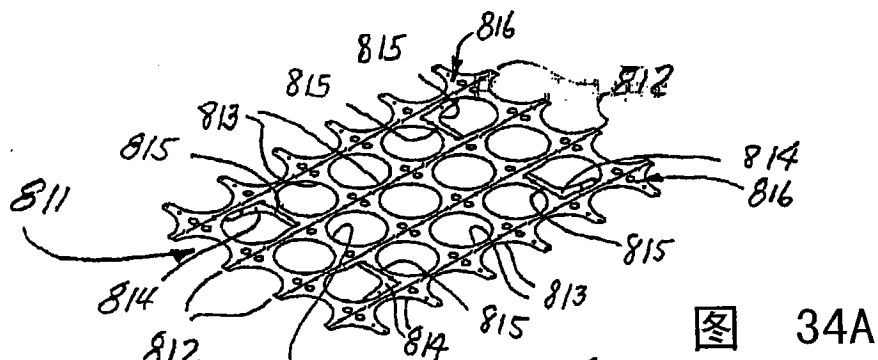


图 33



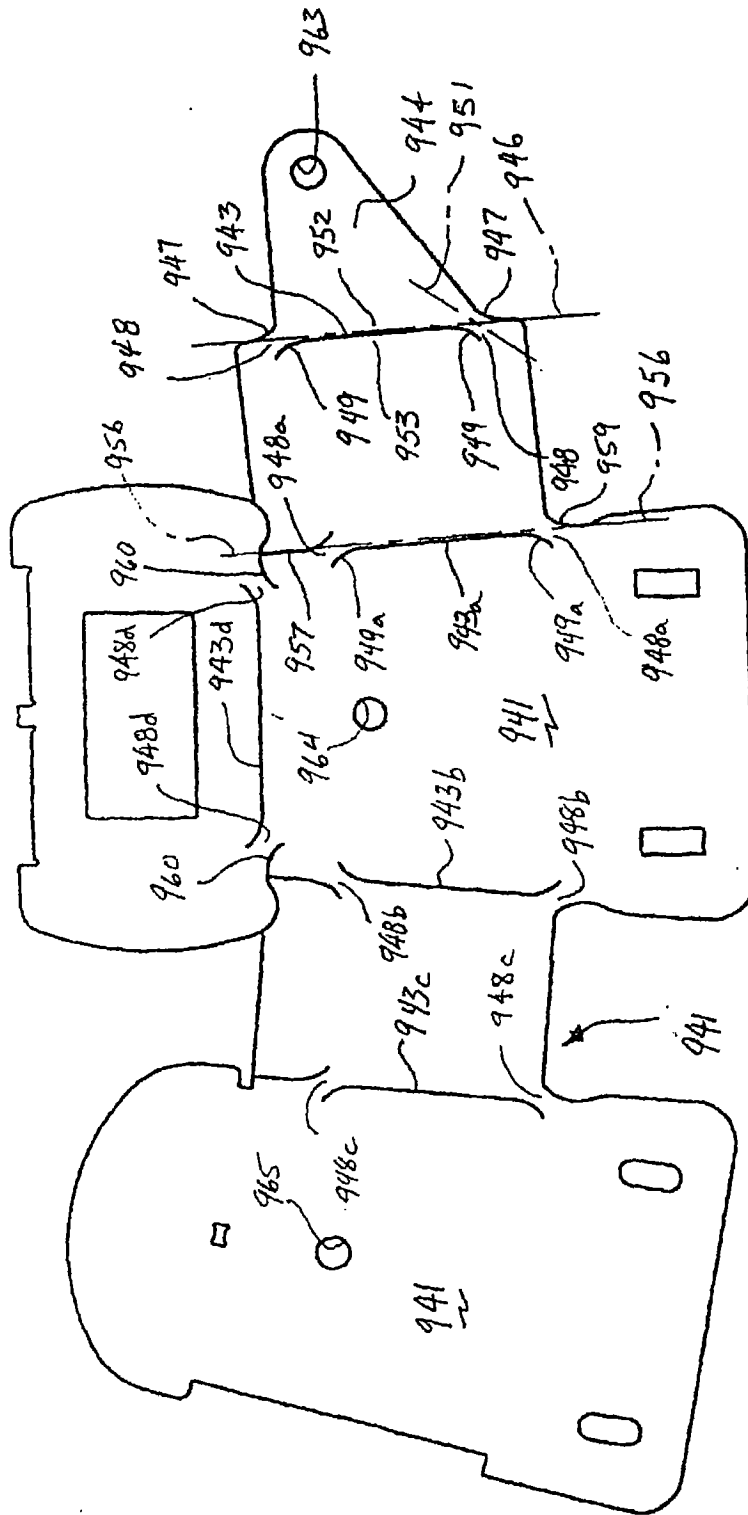


图 35

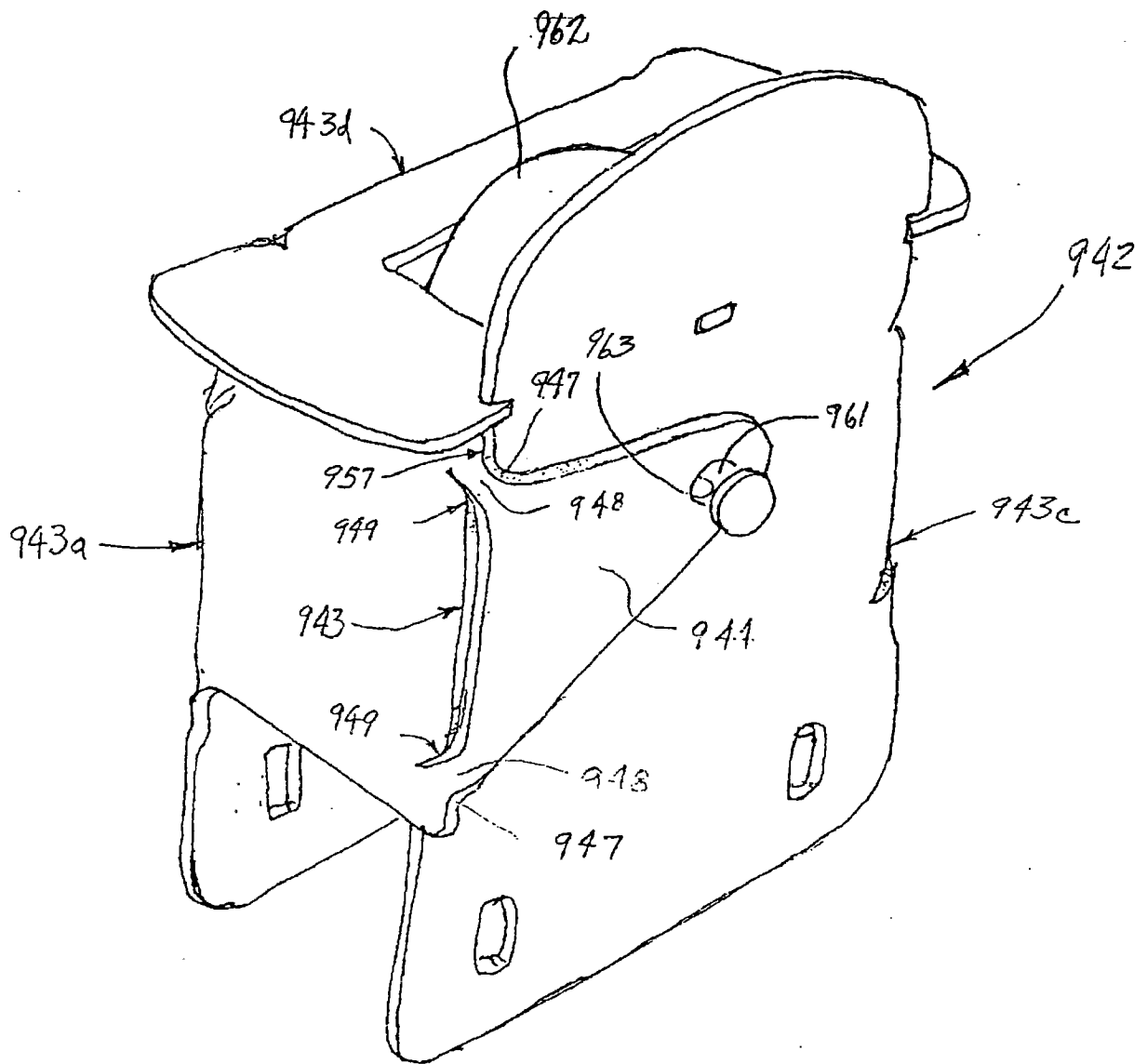


图 36

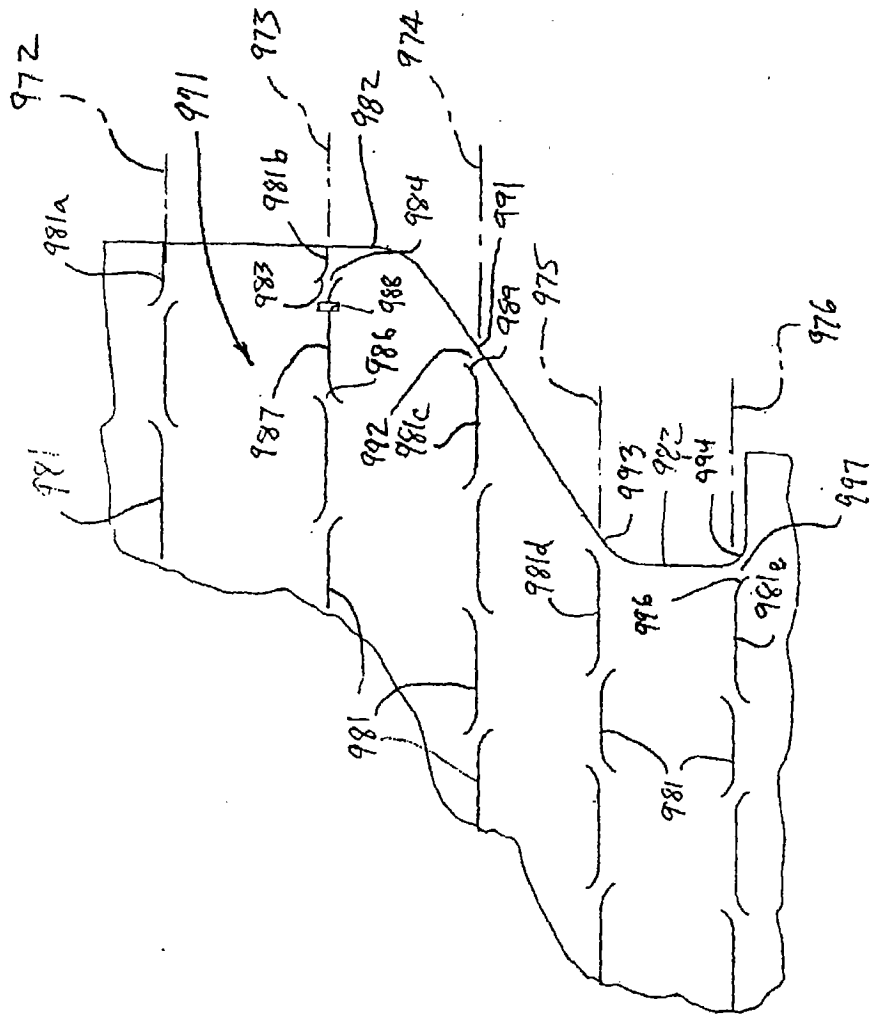


图 37