



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410042115.3

[45] 授权公告日 2007 年 11 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 100347317C

[22] 申请日 2004. 4. 30

[21] 申请号 200410042115.3

[30] 优先权

[32] 2003. 4. 30 [33] US [31] 10/426816

[73] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 S · R · 曼纳瓦

T · J · 罗克斯特罗

W · W · 舍菲尔德

I · F · 普伦蒂斯

T · F · 布罗德里克

[56] 参考文献

US6410884B1 2002. 6. 25

US5911891A 1999. 6. 15

US6197133B1 2001. 3. 6

W095/25821A1 1995. 9. 28

审查员 王伟

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴立明 梁永

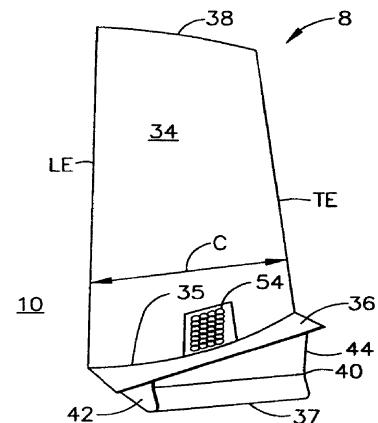
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

[54] 发明名称

边界的低流量激光击锤的方法

[57] 摘要

一种对物件(8)进行激光击锤的方法包括,用至少一束高流量激光束(16)对第一区域(14)进行激光击锤,用至少一束第一低流量激光束(24)对物件(8)第一区域(14)和非-激光击锤区域(22)之间的边界区域(20)进行激光击锤。边界区域(20)可以用第二低流量激光束(45)或者流量更低的激光束进行激光击锤,其中,第二低流量激光束(45)和其它激光束的流量要比第一低流量激光束(24)的低。可以从一束第一低流量激光束(24)开始,用流量逐渐降低的激光束对边界区域(20)进行激光击锤,其中,流量逐渐降低的激光束从最高流量到最低流量,从第一区域通过边界区域(20)到非-激光击锤区域(22)向外顺序进行。



1. 一种对物件进行激光击锤的方法，该方法包括：
用至少一束高流量激光束对第一区域进行激光击锤，
用至少一束第一低流量激光束对物件在第一区域和非-激光击锤区域之间的边界区域进行激光击锤，
用高流量激光束在第一区域形成高流量激光击锤斑点，
用低流量激光束在边界区域形成第一低流量激光击锤斑点，
高、低流量激光束在相同功率下运行，其中第一低流量激光击锤斑点的面积比高流量激光击锤斑点的大。
2. 如权利要求1所要求的方法，其中第一低流量激光束的流量约为高流量激光束的50%。
3. 如权利要求2所要求的方法，其中高流量激光束的流量约为 $200\text{J}/\text{cm}^2$ 。
4. 如权利要求1所要求的方法，其中用第一低流量激光束在边界区域仅产生第一低流量激光击锤斑点的单独一行。
5. 如权利要求4所要求的方法，其中高流量激光束的流量约为 $200\text{J}/\text{cm}^2$ 。
6. 如权利要求1所要求的方法，进一步包括利用第一低流量激光束对与第一区域接界的边界区域的第一部分进行激光击锤，并用第二低流量激光束对第一区域和非-激光击锤区域之间的边界区域的第二部分进行激光击锤，其中第二低流量激光束的流量比第一低流量激光束的低。
7. 如权利要求6所要求的方法，其中第一低流量激光束的流量大约是高流量激光束的50%。
8. 如权利要求7所要求的方法，其中第二低流量激光束的流量大约是第一低流量激光束的50%。
9. 如权利要求6所要求的方法，其中高流量激光束的流量约为 $200\text{J}/\text{cm}^2$ 。
10. 如权利要求9所要求的方法，其中第一低流量激光束的流量大约是高流量激光束的50%。
11. 如权利要求10所要求的方法，其中第二低流量激光束的流量大约是第一低流量激光束的50%。

12. 如权利要求 1 所要求的方法, 进一步包括从一束第一流量激光束开始, 用流量逐渐降低的激光束对边界区域进行激光击锤, 其中, 流量逐渐降低的激光束从最高流量到最低流量, 从第一区域通过边界区域到非-激光击锤区域顺序向外进行。

边界的低流量激光击锤的方法

技术领域

本发明涉及激光击锤，更具体地说，涉及到在与低流量激光击锤表面接界的边界区域采用激光击锤的制造方法和产品。

背景技术

激光击锤，或者还可以称作为激光冲击处理，是一种采用激光击锤物件表面一个区域，从而产生具有深度压缩残余应力区域的方法。激光击锤通常采用来自高能量的，约 50 焦耳或更高的，脉冲化激光束的一个或多个辐射脉冲，在物件表面产生强烈的冲击波，该方法类似于标题为“改变材料性质”的美国专利 No. 3850698；标题为“激光冲击处理”的美国专利 No. 4401477；以及标题为“材料性质”的美国专利 No. 5131957 所公开的方法。在标题为“采用低能激光器的激光击锤”的美国专利 No. 5932120 中曾公开过对低能激光束的应用，该专利发布于 1999 年 8 月 3 日，并已转让给本专利受让人。激光击锤，如本技术领域所理解的以及这里所采用的，意味着应用来自激光束源的脉冲激光束，在部分表面产生强烈的局部压力，在激光束的冲击点产生爆炸力，使表面上的薄层或表面上的涂层（例如带子或涂料）瞬间烧融或蒸发，形成等离子体。

在气体透平发动机领域，正在逐步发展对激光击锤的多项应用，有些应用已在以下编号的美国专利中公开：标题为“关于快捷激光击锤”的 5756965；标题为“激光击锤的气体透平发动机风扇叶片边缘”的 5591009；标题为“对激光击锤的气体透平发动机压缩机叶片边缘的畸变控制”的 5531570；标题为“激光击锤的涡轮机组转子元件”的 5492447；标题为“激光击锤覆盖的胶粘带”的 5674329；以及标题为“激光击锤覆盖的干带”的 5674328，以上所有这些专利都已经转让给了本受让人。

激光锤击已经用于在物件外表面产生压应力保护层，大家知道，正如标题为“激光锤锻的系统和方法”的美国专利 No. 4937421 所公开的，该方法可以显著提高物件对疲劳故障的抵抗能力。这些方法通常应用流过物件的一层水帘或别的什么方法提供等离子体禁闭媒介。这

种媒介能够使等离子体迅速达到冲击波压力，从而产生塑性形变和相应的残余压力模式，构成 LSP 效应。水帘提供一种禁闭媒介，可以对产生的冲击波进行禁闭，并将它导入要成为 LSP'D 元件的大块材料中，从而产生有利的压缩残余压力。

来自迅速扩展等离子体的压力脉冲把行进的冲击波赋予到元件内。由激光脉冲产生的这股压缩冲击波在元件中造成深度塑性压缩应变。这些塑性应变产生与材料的动力学模数相符的残余应力。工程元件中的激光击锤残余压缩应力的许多有用益处，包括在疲劳能力方面的改进，已经适当形成文件和专利。这些压缩残余应力被元件中的残余张应力所平衡。这些增加的残余张应力可能会使元件的疲劳能力降低，所以应当减少残余张应力和/或使之最小。在解决特殊问题时，要在元件有选择的位置上进行激光击锤。平衡张应力通常就会在激光击锤区域的边缘产生。窄小的张应力带或张应力线会立刻在与激光击锤过的小片或沿小片边缘相邻区域积累起来。为了确定这些张应力存在的位置，要进行扩展的有限元分析，并计划 LSP 小片的位置和尺寸，使张应力带终止在物件或元件的惰性部分（例如，不在弯曲、扭曲或其它振动模式中的某种模式的高应力线上）。希望能将激光击锤区域和非-激光击锤区域之间过渡区域的张应力水平降低下来。

发明内容

一种激光击锤物件的方法包括用至少一束高流量的激光束对第一区域进行激光击锤，并用至少一束第一低流量的激光束对物件的第一区域和非-激光击锤区域之间的边界区域进行激光击锤。在本方法一个具体的实施方案中，第一低流量激光束的流量约为高流量激光束的 50%，高流量激光束的流量可能是，例如，约 $200\text{J}/\text{cm}^2$ 。在本方法另一个更具体的实施方案中，第一低流量激光束仅用于在边界区域形成单独一行第一低流量激光击锤斑点。

本方法的另一个实施方案进一步包括，用第一低流量激光束对与第一区域接界的边界区域的第一部分进行激光击锤，并用第二低流量激光束对第一区域和非-激光击锤区域之间的边界区域的第二部分进行激光击锤，其中，第二低流量激光束的流量比第一低流量激光束的低。在本方法另一个更具体的实施方案中，第一低流量激光束的流量约为高流量激光束的 50%。第二低流量激光束的流量可能约为第一低流量激

光束的 50%。在另一个更具体的实施方案中，高流量激光束的流量约为 $200\text{J}/\text{cm}^2$ 。

本方法的另一个实施方案进一步包括，从一束第一流量激光束开始，用流量逐渐降低的激光束对边界区域进行激光击锤，其中，流量逐渐降低的激光束从最高流量到最低流量，从第一区域通过边界区域到非-激光击锤区域顺序向外进行。本方法一个更具体的实施方案进一步包括，在第一区域形成高流量激光击锤斑点，在边界区域形成第一低流量激光击锤斑点，并使高、低流量激光束运行的功率或能量水平相同，其中，第一低流量激光击锤斑点的面积比高流量激光击锤斑点的大。

附图说明

图 1 是一张阐明风扇叶片的透视图，该图举例说明，激光击锤的物件是在其第一区域用高流量激光束，而在其第一区域和非-激光击锤区域之间的边界区域是用低流量激光束进行激光击锤的。

图 2 是一张阐明激光击锤区域的截面图，该区域靠近图 1 所示风扇叶片的翼面和叶片平台之间的圆角。

图 3 是一张示意图，以例阐明对图 1 所示物件进行激光击锤的方法，该方法在物件的第一区域利用高流量激光束，在其第一区域和非-激光击锤区域之间的边界区域利用低流量激光束。

图 4 概略阐明的激光击锤方法利用的是在图 3 所示边界区域内的两行流量逐渐降低的激光击锤斑点。

图 5 概略阐明的激光击锤方法利用的是在图 3 所示边界区域内的三行流量逐渐降低的激光击锤斑点。

图 6 概略阐明的激光击锤方法利用的是在图 3 所示边界区域内，流量逐渐降低的激光击锤斑点各行的羽状效果。

图 7 概略阐明由相同能量水平的激光束获得流量逐渐降低的激光击锤斑点，从而产生一系列逐渐增大的激光击锤斑点，这些在图 3-6 所示的激光击锤方法中可能得到应用，

具体实施方式

图 1 阐明的是风扇叶片 8，该叶片具有由钛合金制成的翼面 34，它从叶片基底 35 的叶片平台 36 径向向外延伸到叶尖 38。叶片 8 代表一种坚硬的金属物件 10，对其边界曾逐步进行低流量激光击锤。风扇叶

片 8 包括根部截面 40, 该截面从平台 36 径向向内延伸到根部截面 40 的径向内端 37。在根部截面 40 的径向内端 37 处是叶根 42, 用叶柄 44 将它与平台 36 连接。翼面 34 在其前沿 LE 和后沿 TE 之间在翼弦方向上延伸。翼面 34 的翼弦 C 是叶片各截面处前沿 LE 和后沿 TE 之间的直线。已经熟知, 利用激光击锤可以克服物件部分可能的疲劳故障。通常, 对例如象叶片 8 的物件的一面或两面都进行激光击锤, 以便产生激光击锤小片或表面 54, 并且预-应力区 56 从激光击锤 (LSP) 方法获得深度压缩残余应力并从激光击锤表面 54 延伸到物件内部。

图 1 所示的激光击锤表面 54 大约处于翼面 34 的弦-中, 沿着基底 35 并正好在叶片 8 的平台 36 的上方。再参见图 2, 在翼面 34 和平台 36 之间的基底 35 附近形成半径为 R 的圆角 43。激光击锤赋予预-应力区 56 的压缩残余应力被残余张应力所平衡, 张应力延伸到圆角 43 时, 就可能降低叶片的疲劳能力, 导致在圆角区域发生断裂。为了降低这种残余张应力, 并且使得由于该区域受激光击锤后下降了的疲劳能力降低到最小程度甚至消除, 曾开发过较低流量的边界激光击锤。

图 3 阐明了一种低流量的边界激光击锤方法, 用于对例如象风扇叶片 8 的物件进行激光击锤。该方法包括用至少一束高流量激光束 16 对第一区域 14 进行激光击锤, 以及用至少一束第一低流量激光束 24 对物件 10 在第一区域 14 和非-激光击锤区域 22 之间的边界区域 20 进行激光击锤。在该方法一个具体的实施方案中, 第一低流量激光束 24 的流量约为高流量激光束 16 的 50%, 高流量激光束 16 的一个特别有用的流量约为 $200\text{J}/\text{cm}^2$ 。

在第一区域 14 形成的高流量激光击锤斑点 30, 以及在边界区域 20 形成的第一低流量激光击锤斑点 31 示于图 3, 这些斑点具有相同的直径 D 和相同的斑点面积 A, 这表明高流量激光束 16 的激光束截面积和直径与第一低流量激光束 24 的相同, 但是流量不同, 所以它们来自不同功率或能量水平的激光束。该方法打算利用或者能量在约 20 到约 50 焦耳之间的高能激光束, 或者利用能量在约 3 到约 10 焦耳之间以及别的能量水平的低能激光束。请见, 例如, (Mannava et al.) 发布于 1997 年 10 月 7 日的美国专利 No. 5674329 (利用高能量激光器的 LSP 方法), 和 (Mannava et al.) 发布于 1999 年 8 月 3 日的美国专利 No. 5932120 (利用低能量激光器的 LSP 方法)。综合考虑激光器能量

和激光束尺寸，通常给出高流量激光束 16 的能量密度或流量最高达到约 200 J/cm^2 ，当然，流量低一些也可以采用。这里描述的激光击锤斑点和激光束的形状为圆形，不过它们也可以具有其它形状，如卵形或椭圆形（见 Mannava et al. 于 2003 年 4 月 1 日发布的标题为“激光击锤具有整体叶片转子的叶片边缘”的美国专利 No. 6541733。激光击锤斑点通常形成的是重叠行的重叠斑点。在一个具体的设计中，一行里两个斑点之间，以及相邻行的斑点之间约有 30% 直径重叠。

在图 3 阐明该方法的实施方案中，用第一低流量激光束 24 在边界区域 20 仅产生第一低流量激光击锤斑点 31 的单独一行 26。图 4 阐明该方法的另一个实施方案进一步包括，利用第一低流量激光束 24 对于与第一区域 14 接界的边界区域 20 的第一部分 32 进行激光击锤，并用第二低流量激光束 45 对第一区域 14 和非-激光击锤区域 22 之间的边界区域 20 的第二部分 39 进行激光击锤，其中，第二低流量激光束 45 的流量比第一低流量激光束 24 的低。在该方法一个更具体的实施方案中，第一低流量激光束 24 的流量大约是高流量激光束 16 的 50%。第二低流量激光束 45 的流量可以是第一低流量激光束 24 的约 50%。高流量激光束 16 的一个特别有用的流量约为 200 J/cm^2 。可以应用的低流量激光束也可以是别的数目，例如 3 个，如图 5 所示的边界区域 20 中，分别是第一，第二和第三低流量激光击锤斑点 31，60 和 62 的第一，第二和第三行所示。

图 6 阐明对边界区域 20 进行激光击锤使边界区域 20 产生的羽状效果，利用的是流量逐渐降低的激光束，流量逐渐降低的激光击锤斑点 64 表明，流量逐渐降低的激光束从一束第一流量激光束 24 开始，从最高流量到最低流量，从第一区域通过边界区域 20 到非-激光击锤区域 22 顺序向外进行。可以用 3 行或 4 行或更多行的低流量激光束来产生羽状效果。作为举例，一个产生羽状效果的方法包括，从 200 J/cm^2 的高流量激光束开始，以 -50 J/cm^2 为增量，下降到 50 J/cm^2 ，这样就具有 3 行低流量激光击锤斑点，相应由 150 J/cm^2 ， 100 J/cm^2 ，和 50 J/cm^2 的流量激光束产生。作为举例，另一个产生羽状的方法包括从 200 J/cm^2 的高流量激光束开始，以 -20 J/cm^2 为增量，下降到 25 J/cm^2 ，这样就具有 7 行低流量激光击锤斑点，相应由 175 J/cm^2 ， 150 J/cm^2 ， 125 J/cm^2 ， 100 J/cm^2 ， 75 J/cm^2 ， 50 J/cm^2 ，和 25 J/cm^2 的

流量激光束产生。

图7阐明用高流量激光束16对第一区域14进行激光击锤,形成高流量激光击锤斑点30,用第一低流量激光束24对边界区域20进行激光击锤,形成第二低流量激光击锤斑点31,并在相同功率或能量水平下运行高激光束16和低激光束24。这一点由具有第二面积A2和第二直径D2的第二低流量激光击锤斑点表现出来,它们相应都大于高流量激光击锤斑点的第一面积A1和第一直径D1。如果第二低流量激光束用于形成一行第三低流量激光击锤斑点62,那么为了应用的能量水平相同,则第三低流量激光击锤斑点62的第三面积A3和第三直径D3将相应大于第二低流量激光击锤斑点的第二面积A2和第二直径D2。这种利用具有相同能量水平激光束的方法可以用于多于3行的激光击锤斑点,以及如上所述产生羽状的操作。本方法的另一个实施方案应用一种激光可变衰减器,并将它设置得能把激光器输出能量的10%,20%,.....75%加以吸收或从靶反射出去,从而能够使从同一功率的激光器而得到各种流量的激光束。

这里对本发明进行的是例证式的说明。大家将会理解,本文所使用的术语只具有描述字词的性质,而没有限制性质,尽管认为这里描述的是可作为本发明范例的优选实施方案,但显然,本技术领域的熟练人员从这里讲解的内容出发会对本发明进行其它修改。所以希望,所有这些在所附权利要求中,在本发明真正构思和范围内的修改都将受到保护。

因此,本发明希望受到美国专利特许证保护的内容将在下列权利要求中详细说明和区分。

附图标记明细表

- 8. 风扇叶片
- 10. 物件
- 14. 第一区域
- 16. 高流量激光束
- 20. 边界区域
- 22. 非-激光击锤区域
- 24. 第一低流量激光束
- 26. 单独一行

- 30. 高流量激光击锤斑点
- 31. 第一低流量激光击锤斑点
- 32. 第一部分
- 34. 翼面
- 35. 叶片基底
- 36. 叶片平台
- 37. 内端
- 38. 叶尖
- 39. 第二部分
- 40. 根部截面
- 42. 叶根
- 43. 圆角
- 44. 叶柄
- 45. 第二低流量激光束
- 54. 激光击锤小片或表面
- 56. 预-应力区域
- 60. 第二低流量激光击锤斑点
- 62. 第三低流量激光击锤斑点
- 64. 流量逐渐降低激光击锤斑点
- A - 斑点面积
- C - 翼弦
- D - 直径
- R - 半径
- LE - 前沿
- TE - 后沿
- A1 - 第一面积
- A2 - 第二面积
- A3 - 第三面积
- D1 - 第一直径
- D2 - 第二直径
- D3 - 第三直径

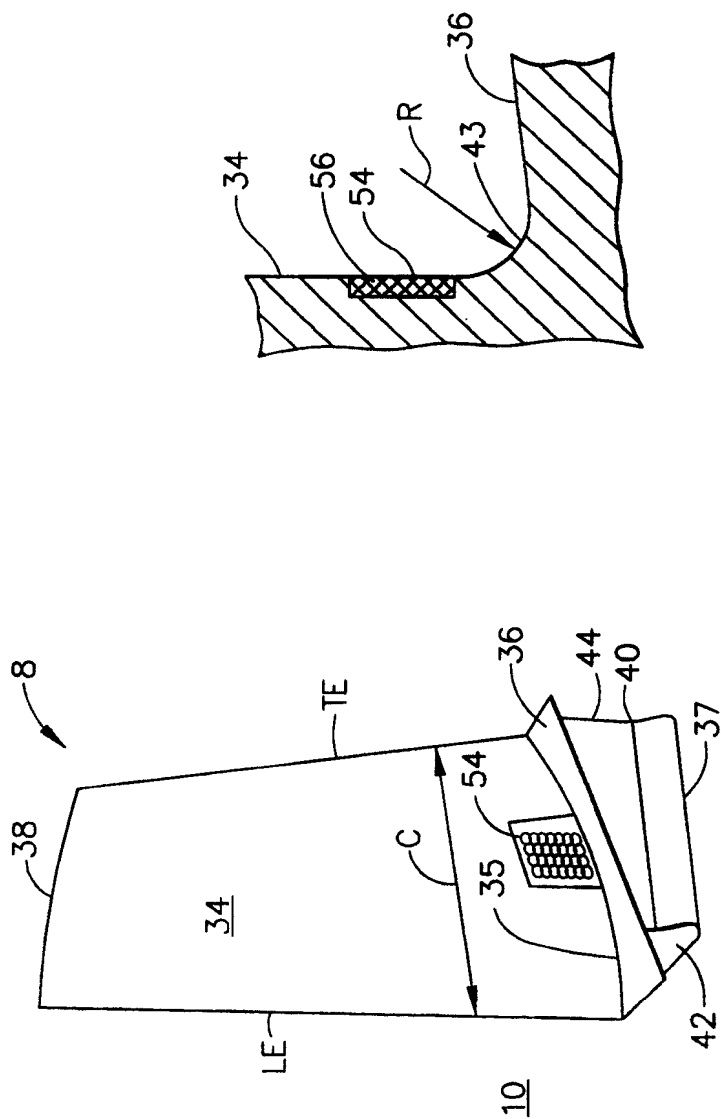


图 2

图 1

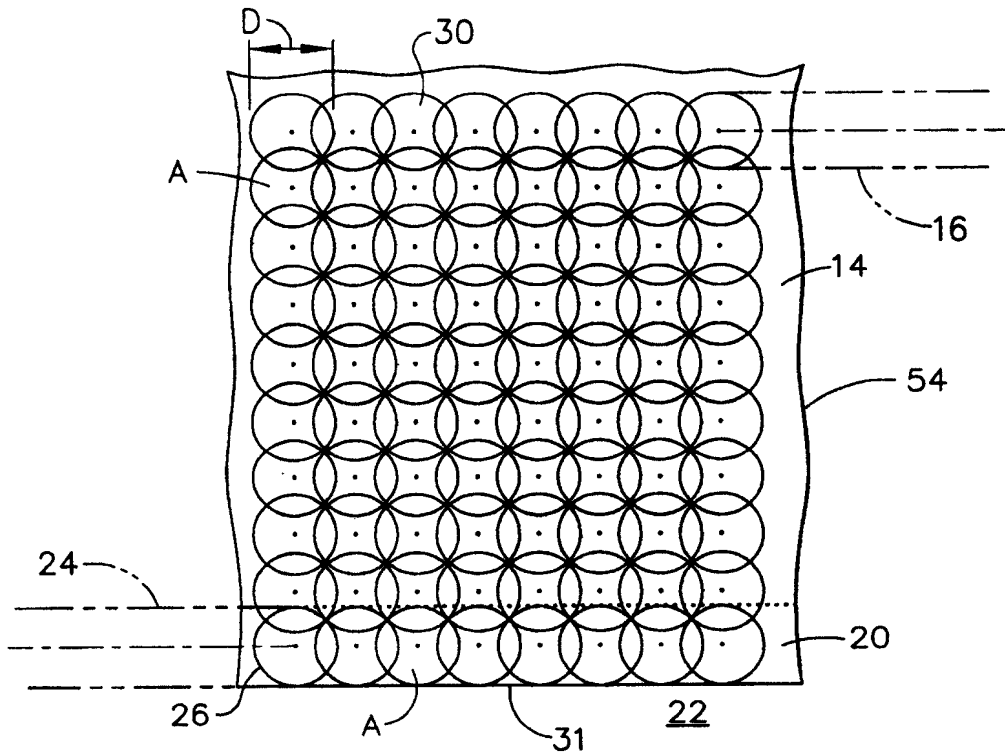


图 3

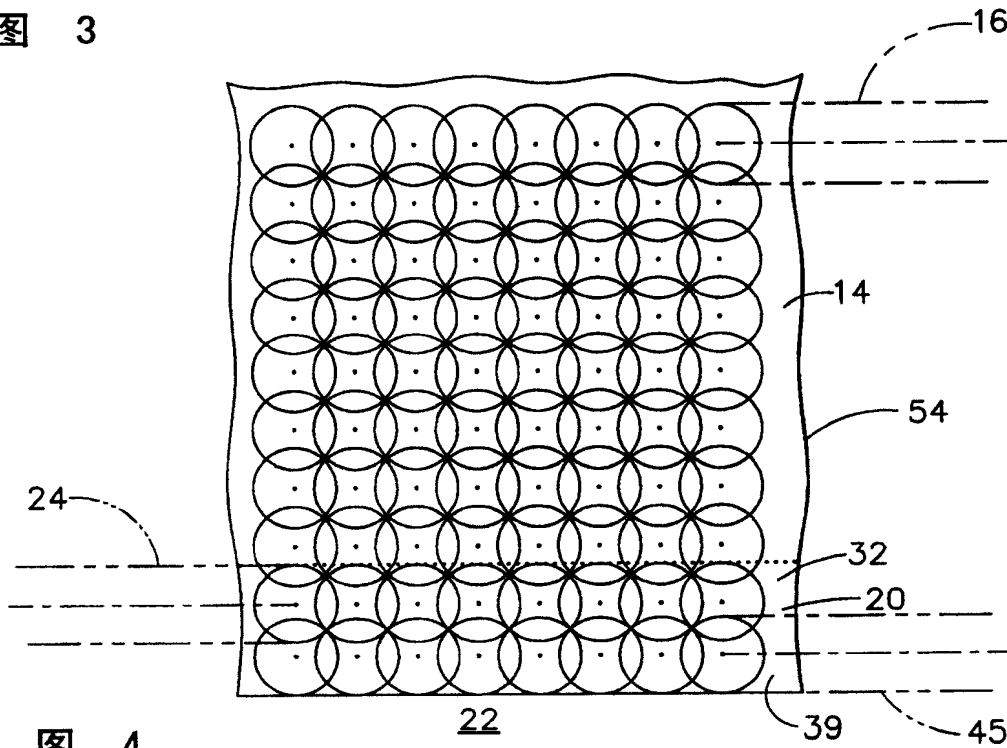


图 4

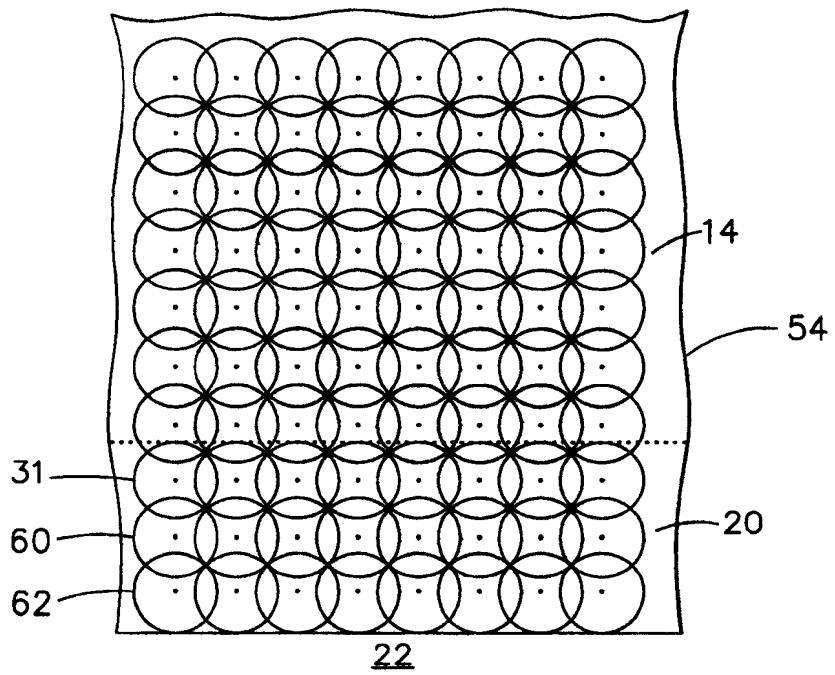


图 5

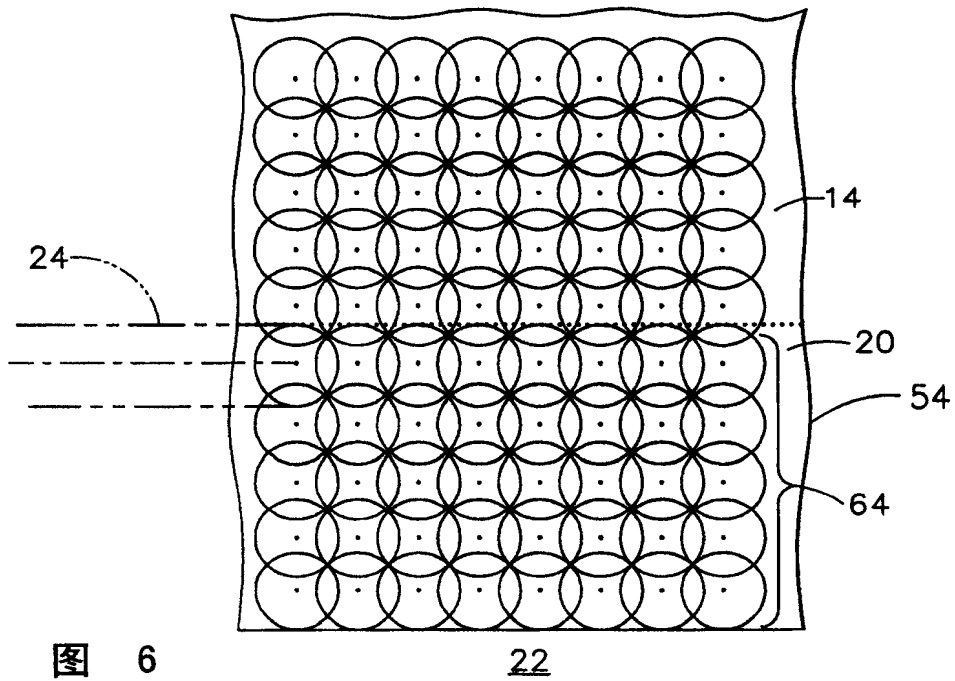


图 6

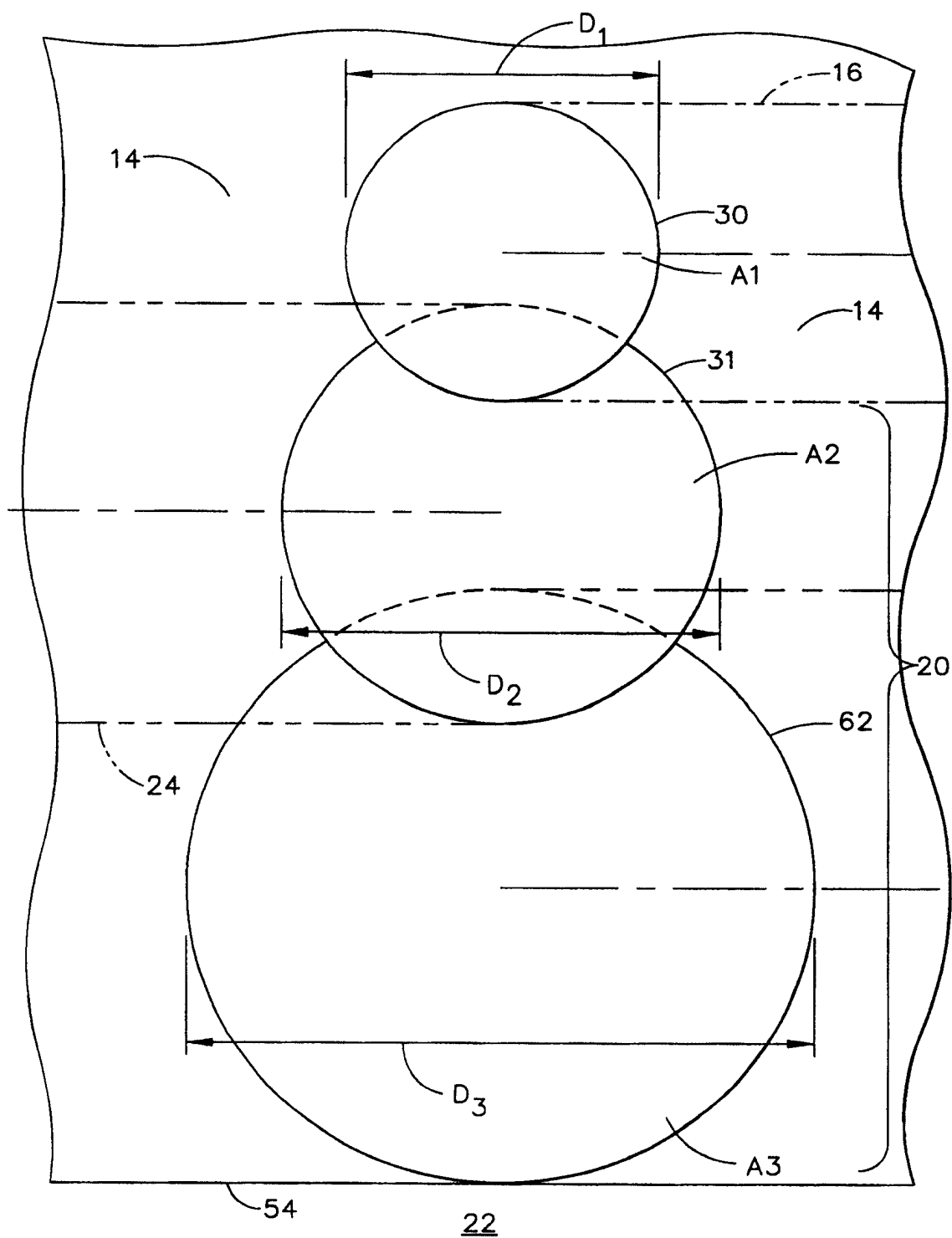


图 7