



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103711651 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201310448128. X

(22) 申请日 2013. 09. 27

(30) 优先权数据

12186534. 9 2012. 09. 28 EP

(71) 申请人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 P. 富格尔桑格

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 李晨 傅永霄

(51) Int. Cl.

F03D 11/00(2006. 01)

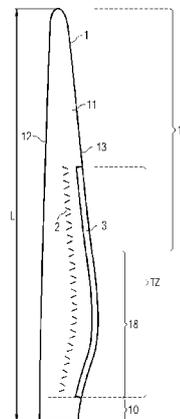
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

风力涡轮机转子叶片

(57) 摘要

本发明描述了一种包括根部和翼面部分的风力涡轮机转子叶片,所述叶片包括:加厚区,在加厚区中,叶片具有至少 0.45 的厚度系数,加厚区从叶片的内毂端向外延伸至叶片的翼面部分中;以及气流修正装置,气流修正装置在加厚区的至少一部分上被布置在叶片的压力侧上,气流修正装置包括扰流器和漩涡发生器,扰流器被实现成增加叶片提升力,漩涡发生器被布置在前缘与后缘之间并被实现成在漩涡发生器与扰流器之间保持附着气流。本发明还描述了具有至少一个此类转子叶片的风力涡轮机。本发明还描述了一种气流修正装置,用于针对具有至少 0.45 的厚度系数的叶片的区域修正风力涡轮机转子叶片的压力侧上的气流。



1. 一种包括根部(10)和翼面部分(19)的风力涡轮机转子叶片(1),所述叶片(1)包括
 - 加厚区(TZ),在加厚区(TZ)中,叶片(1)具有至少 0.45 的厚度系数,所述加厚区(TZ)从叶片(1)的根部(10)向外延伸至叶片(1)的翼面部分(19)中;以及
 - 气流修正装置(2,3),气流修正装置(2,3)在加厚区(TZ)的至少一部分上被布置在叶片(1)的压力侧(11)上,所述气流修正装置(2,3)包括扰流器(3)和漩涡发生器(2),扰流器(3)被实现成增加叶片提升力,漩涡发生器(2)被布置在前缘(12)与后缘(13)之间并被实现成在漩涡发生器(2)与扰流器(3)之间保持附着气流(42)。
2. 根据权利要求 1 所述的转子叶片,其中,所述厚度系数包括叶片(1)的翼面部分(19)中的至少 0.45,更优选地至少 0.6。
3. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的转子叶片,包括在根部(10)与翼面部分(19)之间的加厚区(TZ)中的过渡部分(18),所述过渡部分(18)延伸高达叶片长度(L)的至少 30%、更优选地至少 50%、更优选地至少 70%。
4. 根据前述权利要求中的任一项所述的转子叶片,其中,所述漩涡发生器(2)被布置成沿着加厚区(TZ)的长度延伸。
5. 根据权利要求 1 至 4 中的任一项所述的转子叶片,其中,所述漩涡发生器(2)被布置成沿着加厚区(TZ)的厚度系数超过 0.45 的那一段延伸。
6. 根据前述权利要求中的任一项所述的转子叶片,其中,所述漩涡发生器(2)包括漩涡发生器元件(20)的开放布置。
7. 根据权利要求 6 所述的转子叶片,其中,所述漩涡发生器元件(20)被以交替角度布置。
8. 根据权利要求 6 或权利要求 7 所述的转子叶片,其中,漩涡发生器元件(20)包括基本三角形形状,并且漩涡发生器元件(20)被布置在叶片(1)上,使得漩涡发生器元件(20)的顶点基本指向叶片(1)的前缘(12)。
9. 根据权利要求 6 至 8 中的任一项所述的转子叶片,其中,漩涡发生器元件(20)的高度包括叶片(1)的相应弦长(c)的至多 2.0%、更优选地至多 1.0%、更优选地至多 0.5%、最优选地至多 0.125%。
10. 根据前述权利要求中的任一项所述的转子叶片,其中,扰流器(3)包括在叶片(1)的后缘(13)处的基本平坦的外表面(30)。
11. 根据前述权利要求中的任一项所述的转子叶片,其中,扰流器(3)被实现成使得叶片(1)的压力侧(11)包括在漩涡发生器(2)与扰流器(3)的外表面(30)之间的凹面。
12. 根据前述权利要求中的任一项所述的转子叶片,包括
 - 具有至少 2m 的直径的根部(10);
 - 至少 40 m、更优选地至少 60 m、最优选地至少 80 m 的叶片跨度(L);并且其中,加厚区(TZ)延伸达叶片跨度的至少 30%、更优选地至少 50%、最优选地至少 70%;并且其中,扰流器(3)和漩涡发生器(2)沿着加厚区(TZ)的长度延伸。
13. 一种具有许多转子叶片(1)的风力涡轮机,其中,至少一个转子叶片(1)包括根据前述权利要求中的任一项所述的转子叶片(1)。
14. 一种用于修正风力涡轮机转子叶片(1)的压力侧(11)上的气流的气流修正装置(2,3),所述气流修正装置(2,3)包括

- 扰流器(3),其被实现成附接到叶片(1)的压力侧(11);和
- 漩涡发生器(2),其被实现成附接到叶片(1)的压力侧(11);并且

其中,漩涡发生器(2)的尺寸被确定成针对具有至少0.45的厚度系数的叶片(1)的区域保持漩涡发生器(2)与扰流器(3)之间的叶片(1)的压力侧(11)上的附着气流(42)。

15. 根据权利要求14所述的气流修正装置,其中,漩涡发生器(2)包括被安装到载体条上的多个漩涡发生器元件(20),所述载体条被实现成附接到转子叶片表面(11)。

风力涡轮机转子叶片

技术领域

[0001] 本发明描述了风力涡轮机转子叶片、风力涡轮机以及气流修正装置。

背景技术

[0002] 在常规风力涡轮机中,许多叶片(通常是三个)被安装到毂上,其能够迎风。每个叶片通常借助于变桨系统被连接到毂,使得能够根据需要进行调整叶片的俯仰角或“迎角”,例如以允许从风中提取更多的能量或使叶片在大风条件下朝向顺桨偏航。在操作期间,叶片将来字符翰的动能转换成转子的旋转能量以便驱动发电机。具有约为几兆瓦的高额定功率的风力涡轮机正在开发中。针对此类大型风力涡轮机,重要的是设计叶片,使得能够从风中提取尽可能多的能量。这可以通过延长叶片长度以增加可用表面面积来实现。然而,叶片的最大长度通常受到叶片尖端速度的约束,以避免不期望的噪声水平。与长叶片相关联的另一问题是较细的外端可能弯曲并与风力涡轮机塔架相碰撞。因此,可以使毂(和机舱)从水平面向上倾斜几度以使碰撞风险最小化。

[0003] 在如何使叶片效率最大化的问题的一个方法中,可以使叶片的弦长朝着根部增加,使得叶片的最宽点接近于毂。然而,此类叶片设计导致塔架上的较高负荷、较高制造成本和运输叶片方面的困难。

[0004] 在致力于叶片碰撞方面的另一方法中,通过使用碳纤维而不是仅使用普通玻璃纤维来使得较长叶片更具有刚性。然而,此类叶片比常规玻璃纤维叶片更昂贵,并且可以相当可观地增加风力涡轮机的总成本。

[0005] 在另一方法中,与更纤细从而“较厚”的叶片设计相组合的扰流器的使用被认为接近于根部,即叶片在圆形根部与较平坦的翼面部分之间的过渡区中具有约 0.5 的相对高的厚度系数。翼面的一段处的厚度系数被定义为最长垂直线与该段的垂直的弦长的比。在用于具有约 2m 的直径的圆形根部的此叶片设计中,过渡区中的弦长被保持得相对短,以便减小其下部区域中的叶片上的拉伸负荷。扰流器用于改善相对厚的过渡区中的叶片的性能。然而,过渡区中的高厚度系数能够导致气流随叶片旋转而从叶片的压力侧分离。结果,减小了叶片的升力系数,降低了扰流器的有效性,并且还降低了叶片的效率。

发明内容

[0006] 因此本发明的目的是提供一种克服了上述问题的改善的叶片设计。

[0007] 此目的由权利要求 1 的涡轮机转子叶片,由权利要求 13 的风力涡轮机以及由权利要求 14 的气流修正装置来实现。

[0008] 根据本发明,一种包括根部和翼面部分的风力涡轮机转子叶片包括:加厚区,在加厚区中,叶片具有至少 0.45 的厚度系数,该加厚区从叶片的内毂端向外延伸到叶片的翼面部分中;以及气流修正装置,气流修正装置在加厚区的至少一部分上被布置在叶片的压力侧上,该气流修正装置包括扰流器(spoiler)和漩涡发生器,扰流器沿着叶片的后缘布置并被实现成增加叶片提升力,漩涡发生器被布置在前缘与后缘之间并被实现成保持漩涡发生

器与扰流器之间的附着气流,即确保气流保持被附着在压力侧的表面上。

[0009] 根据本发明的风力涡轮机叶片的优点是厚叶片部分的空气动力性质被相当可观地改善,使得与现有技术叶片相比,能够在叶片的长得多的部分上、甚至在叶片的整个长度或跨度上实现厚叶片设计,在所述现有技术叶片中,任何此类厚叶片部分至多局限于根部与翼面部分之间的相对短的台肩或过渡区。扰流器和漩涡发生器一起作用以改善叶片的空气动力性质。漩涡发生器或“湍流器”用于引起局部湍流并用于对被激励的空气进行混合或搅拌,促使其在扰流器的方向上沿着叶片压力侧的表面保持被附着在边界层上。此气流得以稳定并随着其沿着压力侧朝着叶片的尾缘或后缘区域中的扰流器行进而保持被附着于表面。扰流器因此能够达到其改善此较厚转子叶片的空气动力性质的目的。漩涡发生器和扰流器的组合导致改善的性能,特别是对于在 5° 与 25° 之间的迎角而言,其是针对具有低旋转速度的大型转子上的叶片截面的典型范围。此外,与“较平坦”叶片(其必须在台肩区处较宽以便从风中提取能量)相比,由于叶片的加厚区与较小的总阻力(表面摩擦和裸露阻力)和较高升力系数相关联,根据本发明的叶片能够实现成在其邻近于根部的下部区域中具有相对窄的外形或形状。并且,通过使用漩涡发生器和扰流器的有利组合,能够使得扰流器本身相对小,因为漩涡发生器确保气流保持被附着,使得即使相对小的扰流器也始终“看到”气流。“小扰流器”被理解成具有相对低的高度的扰流器。这些有利方面允许利用更简单模具形状且利用用于较低风负荷的更简单扰流器设计的更简单直接的制造过程、具有不那么易碎的后缘的更稳健的叶片设计、以及叶片到风力涡轮机组装场地的更经济的运输。

[0010] 根据本发明的风力涡轮机叶片的另一优点是叶片上的存在于更远外侧的加厚区有利地增加了叶片刚度并从而帮助防止叶片塔架碰撞。加厚区与气流修正装置相结合确保了有利的压力侧气流得以保持,尽管在外侧区中具有相对厚的叶片。

[0011] 根据本发明,一种风力涡轮机具有许多转子叶片,其中,至少一个转子叶片包括根据本发明的转子叶片。优选地,根据本发明,此类风力涡轮机具有三个基本相同的转子叶片。

[0012] 此类风力涡轮机的优点是根据本发明的转子叶片的任何延伸的加厚区使升力系数的损失和阻力的增加最小化,否则其对于具有增加的相对厚度的叶片而言是能够预期的。根据本发明的风力涡轮机因此在从风中提取能量方面更有效。“厚”叶片的增加的刚度在此类风力涡轮机中也是有益的,因为不需要包括大量昂贵的碳纤维以避免塔架碰撞。

[0013] 根据本发明,用于修正风力涡轮机转子叶片上的气流的气流修正装置包括扰流器和漩涡发生器,被实现成在具有至少 0.45 的厚度系数的叶片区域中附着于叶片的压力侧;其中,漩涡发生器的尺寸被确定为在扰流器的方向上保持附着气流。

[0014] 根据本发明的气流修正装置的优点是漩涡发生器或“湍流器”的组合作用能够显著地改善在叶片的任何较厚区域上的叶片的升力系数。此类气流修正装置能够从一开始就被结合在叶片设计中,或者能够在改装程序中添加到现在叶片。

[0015] 本发明的特别有利实施例和特征由如以下描述中所揭示的从属权利要求给出。可以适当地将不同的权利要求种类的特征进行组合以提供本文中未描述的其他实施例。

[0016] 下面,可以假设转子叶片供在具有水平轴的风力涡轮机中使用,该水平轴被容纳于安装在塔架顶部上的机舱中。可以认为叶片在毂处开始并从毂向外延伸。并且,在下文

中,可以互换地使用术语“漩涡发生器”和“湍流器”。在下文中使用的术语“加厚区”应被如上文定义的那样理解为指的是风力涡轮机叶片的具有至少 0.45 的厚度系数的那部分。术语“厚”或“加厚”仅仅涉及描述叶片区段几何结构的厚度系数的定义,即横向与弦的比,并且不一定与叶片的质量或重量的任何增加有关。

[0017] 如上文所指示的,现有技术叶片中的厚度系数一般在翼面部分上被保持相当低。典型的“平坦”翼面上的厚度系数(τ)可以为约 0.25。现有技术设计一般致力于如何对相对平坦的翼面区段进行成形以便使提升力最大化。针对此类平坦翼面,压力侧上的气流将不会分离,使得在现有技术叶片的外侧区段上未考虑此方面。较厚叶片部分已被认为在不可避免的台肩或过渡区中是必需的,在台肩或过渡区中,圆形根部延续至较平坦的翼面部分中,因为在现有技术实施方式中,任何此类厚叶片区段与气流随着其在压力侧上面通过的脱离相关联。因此,现有技术叶片设计一般致力于将不可避免的过渡或台肩部分限制为尽可能短的区域。

[0018] 作为考虑不同方法的结果开发了根据本发明的叶片,该不同方法涵盖了高厚度系数的可能性而不是将此视为需要被最小化的约束。

[0019] 因此,在本发明的特别优选实施例中,转子叶片包括在根部与翼面部分之间的加厚区中的过渡部分,该过渡部分一直延伸高达叶片跨度的至少 30%、更优选地至少 50%、甚至达到或超过 70%。在这里和在下文中,术语“过渡部分”指的是叶片的一部分,在该部分上,厚度系数从高值(例如从圆形根部中的 1.0 的值)朝着叶片的翼面部分中的较低值减小。根据本发明的叶片因此很明显具有比常规叶片(其力求将不可避免的台肩或过渡区保持为尽可能短)长得多的过渡部分。该气流修正装置确保气流保持附着在较厚叶片的压力侧,甚至沿着叶片跨度相对远地向外,在那里,迎角由于叶片的增加的旋转速度而是低的。

[0020] 加厚区能够沿着叶片的长度向外延伸相当的一段距离超过过渡部分,并且甚至可以在叶片的整个长度上延伸。优选地,加厚区在叶片跨度的至少 30% 上、更优选地叶片跨度的至少 50% 上延伸,并且甚至可以延伸高达叶片跨度的 70% 或更大。在根据本发明的转子叶片的另一优选实施例中,因此,在叶片的翼面部分中,厚度系数包括至少 0.45、更优选地至少 0.6。这与常规叶片设计形成强烈对比,在常规叶片设计中,在翼面部分上保持低的厚度系数,很少超过 0.25-0.3 的值。在根据本发明的转子叶片中,厚叶片设计能够被用于叶片长度的大部分,并且过渡部分能够在“加厚区”的大部分上延伸或者甚至在整个“加厚区”上延伸。

[0021] 在根据本发明的转子叶片的一个优选实施例中,漩涡发生器被布置成沿着加厚区的长度延伸,特别是当加厚区并未一直延伸到叶片尖端时。例如,加厚区可以在叶片长度的三分之二上从毂向外延伸,并且可以将叶片翼面设计成在叶片的其余部分上具有普通的低厚度系数。

[0022] 气流在沿着叶片的某个距离处脱离压力侧的趋势可以取决于沿着转子叶片在该点的厚度系数。例如,随着沿着叶片的距离增加,厚度系数可以逐渐地减小,例如从根部中的 1.0 的值,通过过渡区中的约 0.7 的值,减小至沿着叶片进一步向外的约 0.45 的值。气流在沿着叶片向外相对远的点处脱离压力侧的趋势可以比在更接近于毂的点处低。因此,在本发明的特别优选实施例中,漩涡发生器被布置成沿着加厚区的厚度系数超过 0.45 的那一段延伸。

[0023] 压力侧的逆风部分上的进入气流是层状的,并且可以认为其基本垂直于转子叶片的纵轴线行进。因此,为了产生湍流,优选地将漩涡发生器实现成使进入气流偏转成使得其行进路径被改变的方式而不是使得气流偏转远离叶片。因此,为此,在本发明的优选实施例中,漩涡发生器包括向外突出的漩涡发生器元件或“翼片”的开放布置。这些元件优选地沿着叶片以线性方式布置。该开放布置允许进入空气在漩涡发生器元件之间通过。优选地,每个漩涡发生器元件在一定程度上“干扰”空气,使空气从否则其将采取的路径偏转,引起漩涡发生器元件上的风载荷,这进而导致将空气“混合”的涡流的产生或“散发”。例如,漩涡发生器可包括基本平行于进入气流的漩涡发生器元件的开放布置,但是其具有使气流偏转的成形的“尾端”,对空气进行混合或搅拌并使其成为湍流。替代地,在本发明的另一优选实施例中,漩涡发生器元件被以交替角度布置,例如以锯齿形图案或交错图案布置。为了允许进入气流进入漩涡发生器,相邻漩涡发生器元件优选地分隔适当的距离。漩涡发生器元件之间的距离可以是其高度的倍数。在本发明的特别优选实施例中,漩涡发生器元件包括基本三角形的形状,并且漩涡发生器元件被布置在叶片上,使得漩涡发生器元件的顶点基本指向叶片的前缘。这样,气流仅随着其离开漩涡发生器而变成湍流。漩涡发生器元件可以由任何适当材料制成,例如丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)或由于其耐久性而被选择的适当材料的混合物。

[0024] 湍流的程度可取决于漩涡发生器的尺寸。优选地,漩涡发生器的尺寸被确定成仅引发保持流被附着在叶片压力侧的后部上所需的那么多的湍流。因此,在本发明的另一优选实施例中,漩涡发生器元件的高度包括叶片的相应弦长的至多 2.0%、更优选地至多 1%、最优选地至多 0.125%。漩涡发生器元件的长度可以从其高度导出,例如其高度的 4 至 5 倍。在根据本发明的气流修正装置的一个示例性实施例中,漩涡发生器元件的高度对于约 3m 的弦而言可以是 1.5cm,其在长度方面可以约为 7 cm,并且相邻漩涡发生器元件的末端之间的距离可以约为 6cm。

[0025] 在本发明的特别优选实施例中,扰流器被实现成使得叶片的压力侧包括在漩涡发生器与叶片的后缘之间的凹面。这样,扰流器用于增加提升力。优选地,扰流器包括在叶片的后缘处的基本平坦的外表面。这被理解成意味着钝的后缘,例如后缘可具有相当的深度并且可基本垂直于弦。具有平坦后缘和压力侧上的凹陷内表面的此类扰流器设计意味着根据本发明的叶片能够比常规叶片更窄,具有关于提升力的类似或者甚至更好的性能。此外,通过将漩涡发生器实现成在扰流器的功能方面有效地辅助扰流器,能够使得扰流器更小,即具有较低的深度或高度。这使得叶片制造和运输起来更容易且更经济。

[0026] 根据本发明的气流修正装置能够在转子叶片正在被制造时在转子叶片上实现。例如,能够将扰流器模制为叶片本身的一部分,并且能够在模制程序之后且在叶片被安装到毂之前将漩涡发生器嵌入叶片压力侧的外表面中。当然,能够用此类气流修正装置来对现有叶片进行改装。在其长度的一部分上具有加厚区的任何叶片的性能都能够通过沿着该加厚区添加此类气流修正装置来改进。为此,在根据本发明的气流修正装置中,漩涡发生器优选地包括被安装到载体条上的多个漩涡发生器元件,该载体条被实现成附接到转子叶片表面。例如,此类载体可在一定程度上是柔性的,从而允许湍流器遵循叶片的曲度或保持与前缘或后缘的一定距离。在特别有利的实现中,漩涡发生器被实现为被安装到粘合条上的多个漩涡发生器元件。类似地,还可以将扰流器实现成安装到现有叶片的后缘,或者覆盖并替

换现有扰流器。

[0027] 对于具有已沿着此类加厚区就位的适当扰流器的叶片而言,漩涡发生器的添加能够足以相当可观地改善叶片的性能。

附图说明

[0028] 根据结合附图考虑的以下详细描述,本发明的其他目的和特征将变得明显。然而,应理解的是附图仅仅是出于图示的目的而不是作为本发明的限制的定义而设计的。

[0029] 图 1 示出了根据本发明的实施例的叶片的示意性表示;

图 2 示出了通过现有技术叶片的截面;

图 3 示出了通过图 1 的叶片的截面;

图 4 示出了在图 1 的叶片上使用的漩涡发生器的侧视图;

图 5 示出了常规叶片和图 1 的叶片的轴向干扰因数的第一图;

图 6 示出了厚叶片和图 1 的叶片的轴向干扰因数的第二图;

图 7 示出了现有技术厚叶片和图 1 的叶片的性能系数的图;

图 8 示出了常规叶片和图 1 的叶片的升力系数的图;

图 9 示出了常规叶片和根据本发明的两个实施例的叶片的厚度系数的图。

[0030] 在附图中,相同的参考标号自始至终指示相同的物体。图中的物体不一定按比例绘制。

具体实施方式

[0031] 图 1 示出了根据本发明的实施例的叶片 1 的示意性表示。叶片 1 能够具有约 40m 或更大的长度 L,并且甚至可以在长度上超过 80m。该图示出了沿着叶片 1 的一部分在其压力侧 11 上的翼面修正装置的放置,其包括扰流器 3 和漩涡发生器 2。翼面修正装置 2、3 的范围可取决于叶片的厚度系数。例如,翼面修正装置 2、3 可以被安装在叶片上和/或在具有超过 0.45 的厚度系数的任何叶片区段上被形成为叶片的一部分。翼面修正装置 2、3 在接近于叶片 1 的根端 10 处开始。扰流器 3 被沿着叶片的后缘 13 安装,而漩涡发生器被安装在后缘 13 与前缘 12 之间。在圆形根部 10 中,厚度系数仅仅为 1.0。在过渡区 18 上,厚度系数能够从圆形根端处的 1.0 的值平滑地减小至超过 0.45 的相对高的厚度系数,其被保持直至加厚区 TZ 的末端。在这里所示的示例性叶片 1 中,加厚区 TZ 延伸至叶片跨度 L 的约 60%。当然,加厚区 TZ 可以进一步向外延伸至翼面部分 19 中,并且甚至可以在叶片 1 的整个长度 L 上延伸。

[0032] 图 2 示出了通过现有技术叶片 100 的截面。叶片以迎角 α 朝向进入气流 4 或“相对风”。进入气流 4 随着叶片 100 移动通过转子平面而在叶片 100 周围移位,使得叶片 100 的吸力侧 114 上的气流具有比叶片 100 的压力侧 111 上的气流更低的压力。该图指示弦线 c 和最长横向范围 t。叶片 100 的厚度系数 τ 是比率 t/c 。对于 τ 的高值而言,气流将不能在压力侧 111 上保持其层状性质,并且作为结果将脱离,在叶片截面的最深点与后缘 113 之间的区域 40 中指示。将使得被安装到后缘 113 的任何扰流器 103 无效,因为此类扰流器仅与被附着于表面的层状气流相结合才有用。

[0033] 图 3 示出了通过图 1 的叶片 1 的截面。再次地,叶片 1 以迎角 α 朝向进入气流 4

中,并且进入气流 4 随着叶片 1 移动通过转子平面而在叶片 1 周围移位,使得叶片的吸力侧 14 上的气流具有比叶片 1 的压力侧 11 上的气流更低的压力。对于与上文图 2 中所示的类似的截面而言,根据本发明的实施例的叶片 1 的压力侧 11 上的气流的特征在于被安装到后缘 13 的扰流器 3 的区域中的改善的气流 42,因为漩涡发生器 2 激励叶片 1 的压力侧 11 上的气流,由涡流 41 指示,并且有效地确保气流随着其朝着扰流器 3 行进而保持被附着,即接近于叶片的表面。这是由于涡流 41 中的能量“混合”或激励接近于叶片表面的边界层而引起的。气流因此保持被附着在叶片的压力侧上,一直到扰流器 3。因此确保了扰流器 3 的有效性,即使对于高的厚度系数 τ 而言也是如此。漩涡发生器 2 或湍流器 2 优选地被安装成邻近于叶片的最深点,即被安装到横向范围 t 的一侧且在扰流器 3 的方向上,在气流在不存在此类湍流器 2 的情况下将趋向于与压力侧 11 分离的点之前。

[0034] 图 4 示出了安装在图 1 的叶片 1 的压力侧 11 上的漩涡发生器 2 的侧视图。漩涡发生器 2 包括一系列三角形漩涡发生器元件 20,其以锯齿形方式布置到沿着叶片 1 的最深部分延伸的线的一侧,使得每个三角形元件 20 的顶点以一角度指向前缘 12,并且每个三角形元件 20 的底边指向后缘 13。三角形元件 20 的高度在图中被夸大地示出。三角形元件 20 的实际高度可包括叶片弦(即沿着叶片 1 的该点处的弦的长度)的至多约 2%。叶片弦的仅约 0.125% 的较小高度甚至可以足以引入微量的湍流,而同时确保气流保持被附着在压力侧上,使得扰流器“看到”此气流。

[0035] 图 5 示出了转子叶片长度(X轴)上的现有技术“薄翼面”叶片(在图中用曲线 51 指示,虚线)和图 1 的厚叶片(在图中用曲线 50 指示,实线)的轴向干扰因数“a”的第一图。轴向干扰因数“a”是转子有多好地从风中提取能量的度量且能够使用以下等式来计算:

$$a = 1 - \frac{v}{v_1}$$

其中, v 是转子上游的风速,并且 v_1 是转子平面中的风速。轴向干扰因数具有 1/3 的理论最大值。

[0036] 如此图所示,常规叶片的轴向干扰因数在下叶片区域中显示出显著的下降。在那些区域中,叶片的性能是相当差的。本发明的叶片在其整个长度上、甚至在临界的下叶片区域中均具有轴向干扰因数的明显较高的值。

[0037] 图 6 示出了转子叶片长度(X轴)上的没有漩涡发生器的厚叶片(在图中用曲线 1 指示,虚线)和图 1 的厚叶片(在图中用曲线 60 指示,实线,对应于上文图 5 中的曲线 50)的轴向干扰因数的第二图。如图所示,没有任何漩涡发生器的厚叶片的轴向干扰因数在其大部分长度内是相当差的,并且明显比如以上图 5 中所示的常规叶片更差。这可以用气流从叶片的压力侧脱离的趋势来说明,并且是常规叶片的较平坦翼面设计的原因。相反,简单地通过用厚叶片区上的漩涡发生器和扰流器的组合来“修正”气流,本发明的叶片在其整个长度上具有轴向干扰因数的明显更高的值。

[0038] 图 7 示出了对于特定俯仰角或迎角的叶片跨度(X轴)上的没有漩涡发生器的厚叶片(用曲线 71 指示,虚线)和图 1 的叶片(用曲线 70 指示,平滑线)的性能系数 c_p 的图。性能系数 c_p 是从风中提取的功率与“可用”功率的比率,并且具有约 0.59 的理论最大值,而在实践中,0.5 的最大值对于风力涡轮机叶片而言更实际。如图所示,厚叶片上没有漩涡发生器会导致直至约叶片长度一半的叶片下部区域中的相当差的性能。具有漩涡发生器和扰流

器组合的根据本发明的叶片在厚叶片区上给出了高得多的性能系数 c_p ，在其大部分长度上达到接近于 0.5 的实际最大值的值。曲线 70、71 在叶片跨度的其余部分内合并。

[0039] 图 8 示出了针对迎角(X轴)的没有漩涡发生器的厚叶片(用曲线 81 指示,虚线)和图 1 的叶片(用曲线 80 指示,平滑线)的升力系数 c_l 的图。即使在非常低或负的迎角下,本发明的叶片也给出比没有任何漩涡发生器的厚叶片更高的升力系数。这可通过漩涡发生器对在压力侧上经过的空气的正面效果来说明,即由湍流器引起的湍流促使空气在扰流器的方向上保持为附着气流,因此允许扰流器履行其增加叶片提升力的功能。本发明的叶片有利性能对于高达约 25° 的迎角而言持续有用。

[0040] 图 9 示出了常规叶片(用曲线 91 指示,虚线)和根据本发明的两个实施例的叶片(用曲线 90 和 90' 指示,平滑线)的针对叶片长度的厚度系数 τ 的图。常规叶片的特征在于其大部分长度上的较平坦翼面,并且此类叶片的任何厚部分局限于圆形根部与翼面之间的不可避免的但短的过渡区,接近于叶片的底座或毂端,达到总叶片长度的约 10%-20%。因此,在其大部分长度内,常规叶片具有小于或等于 0.25 的厚度系数 τ 。根据本发明的实施例的厚叶片沿着加厚区具有漩涡发生器和扰流器以确保压力侧上的附着气流,并且可在其大部分长度内具有高达约 0.5 (曲线 90) 或者甚至高达约 0.6 (曲线 90') 的厚度系数 τ 。如图所示,本发明的叶片设计并未试图超过根部快速地减小厚度系数,而是厚度系数可在过渡部分 18 上保持相对高,仅在叶片的相对长的部分上在其长度的约 5% 和 50% 之间逐渐地减小,或者甚至可在翼面部分 19 上仍是高的。

[0041] 虽然已经以优选实施例及其变体的形式公开了本发明,但将理解的是在不脱离本发明的范围的情况下可以对其进行许多另外的修改和变更。

[0042] 为了明了起见,应理解的是遍及本申请使用的“一”或“一个”并不排除复数,并且“包括”不排除其他步骤或元件。

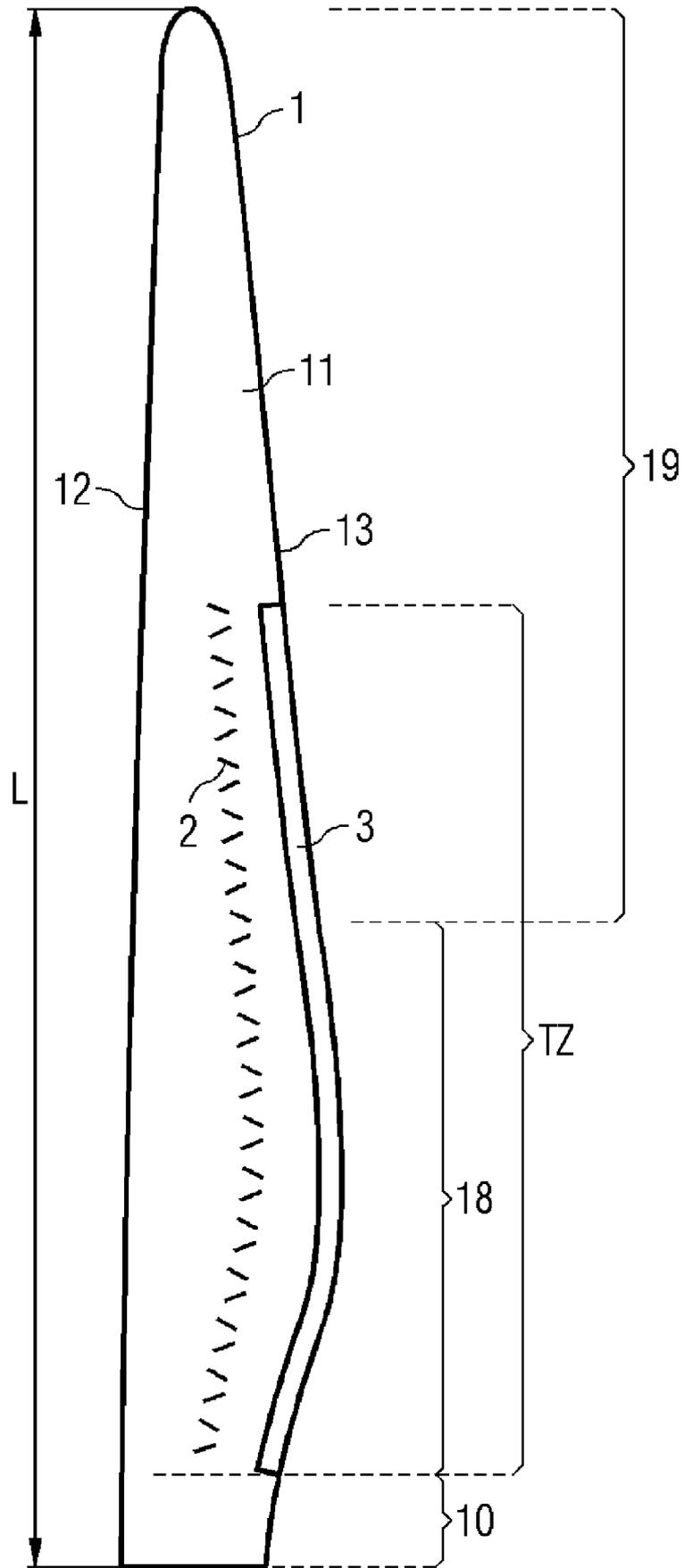


图 1

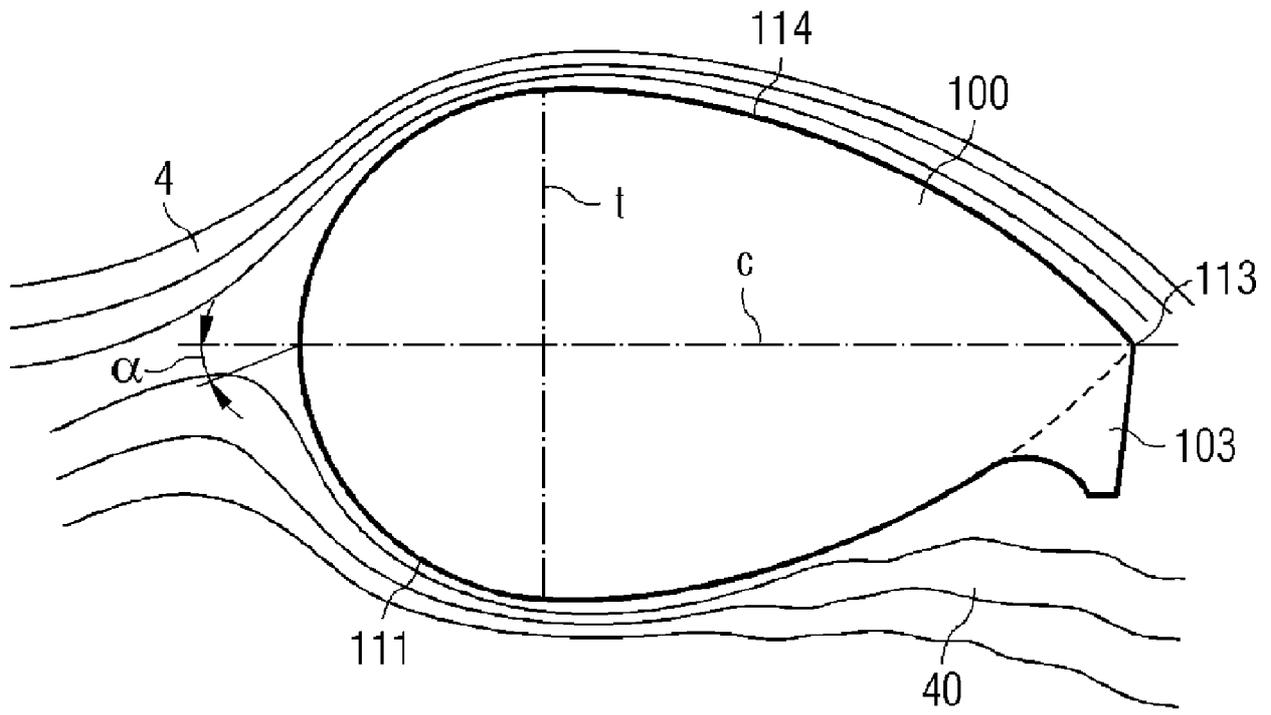


图 2

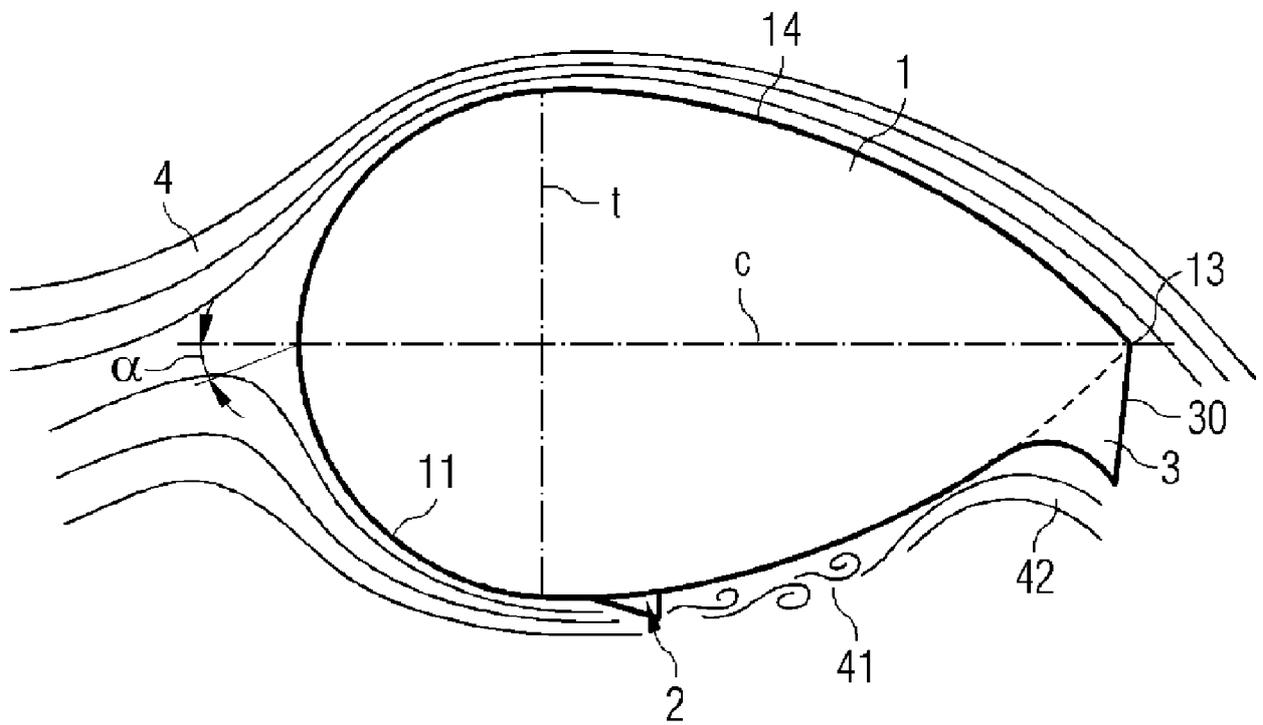


图 3

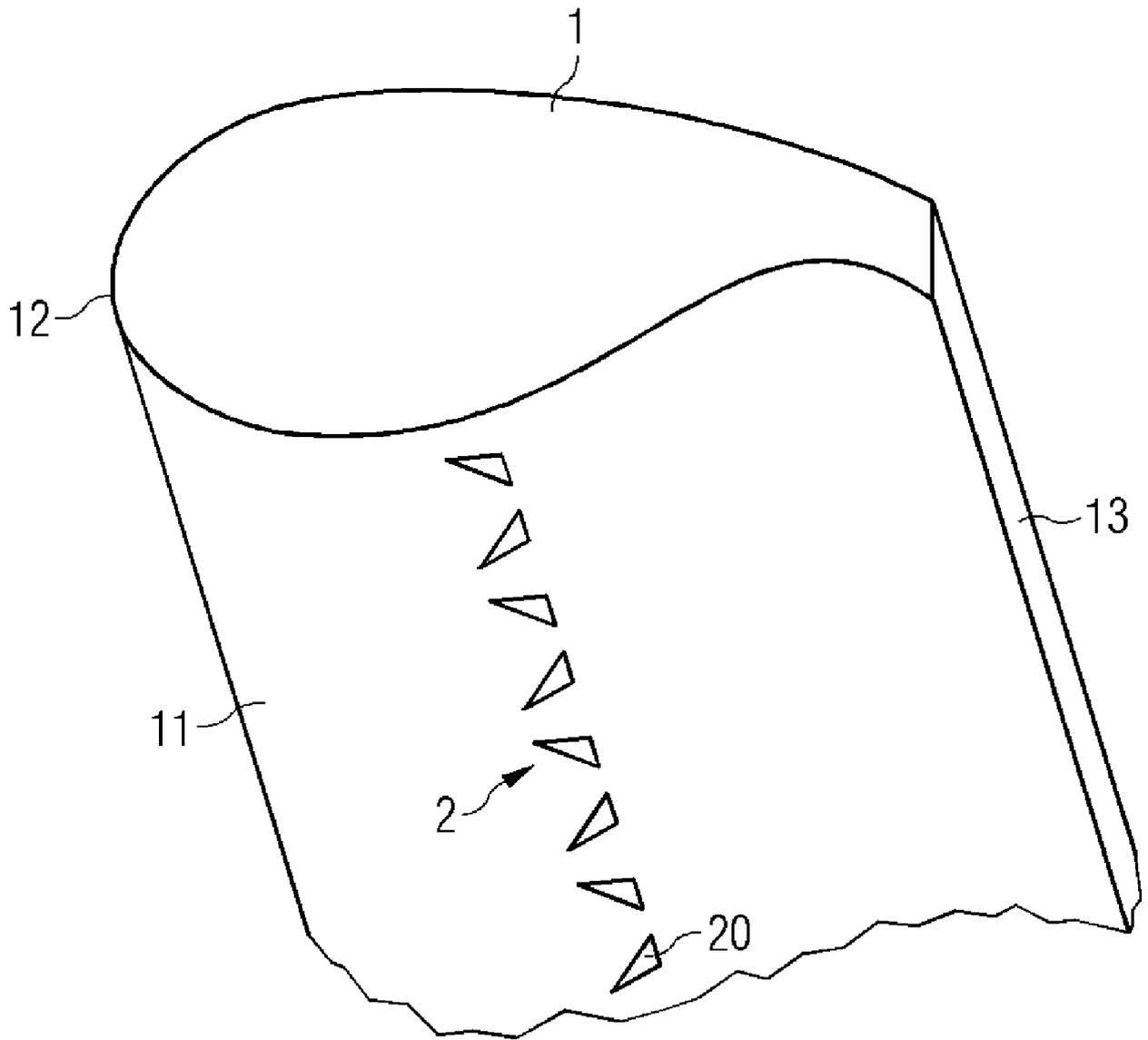


图 4

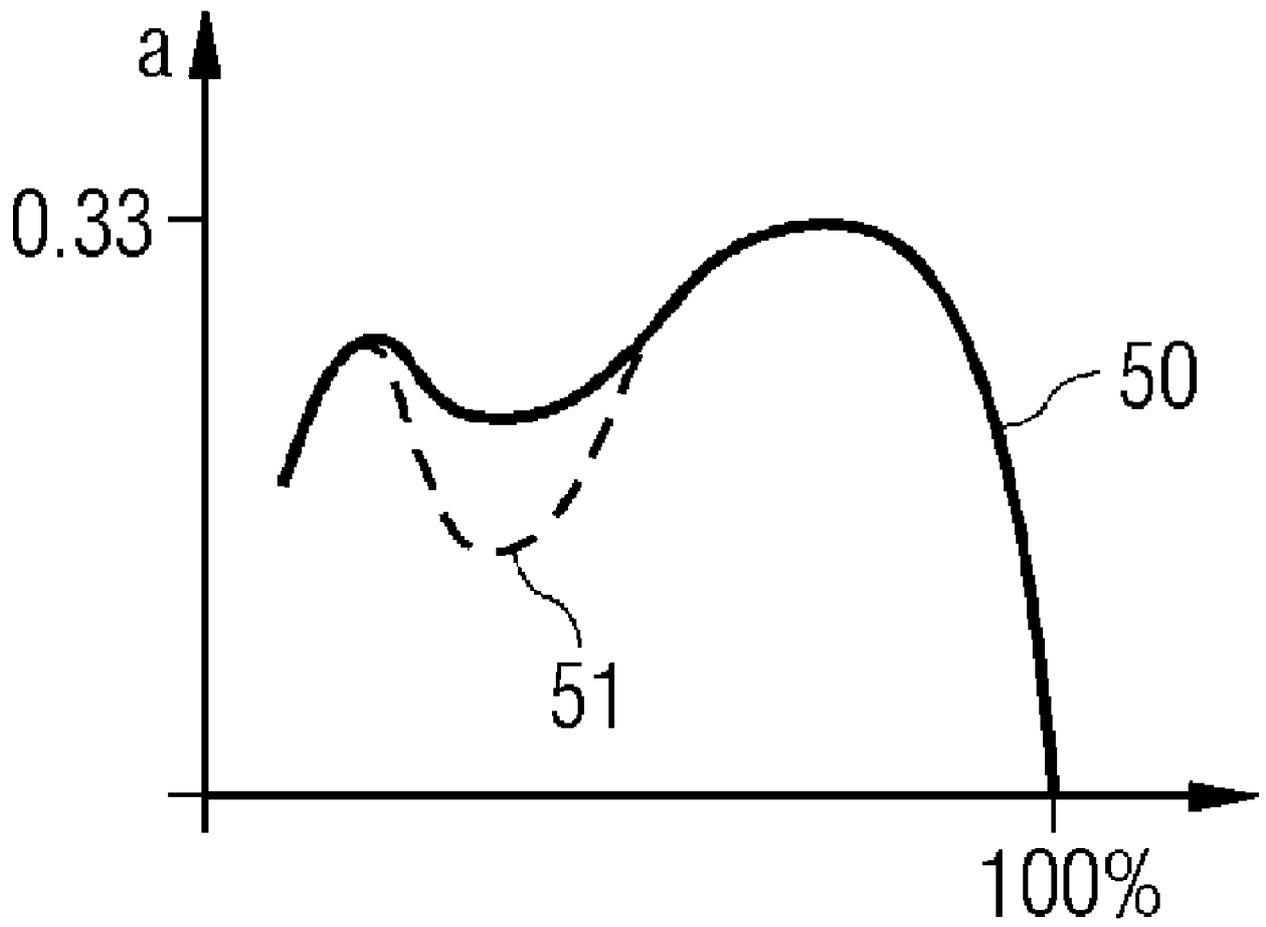


图 5

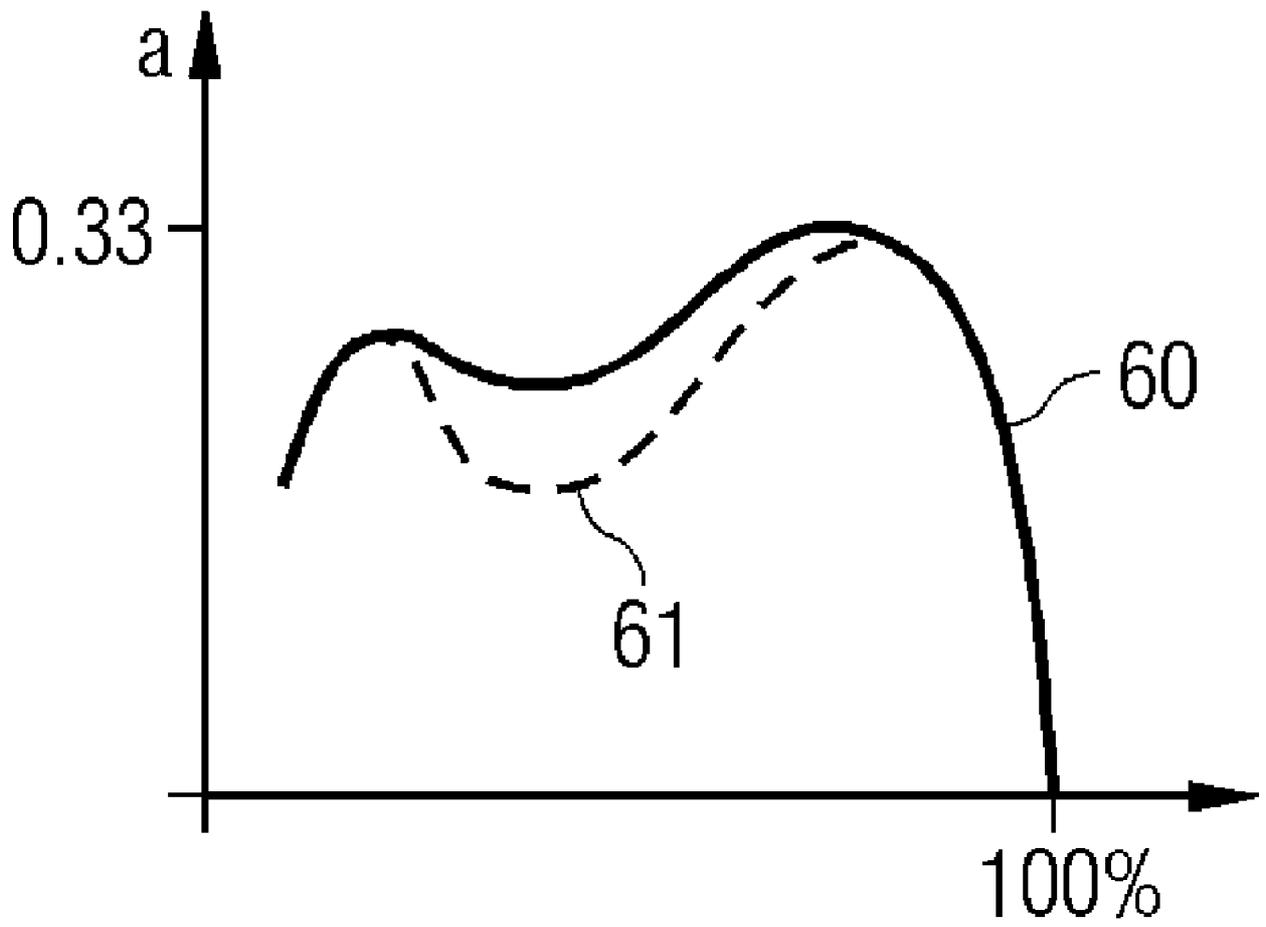


图 6

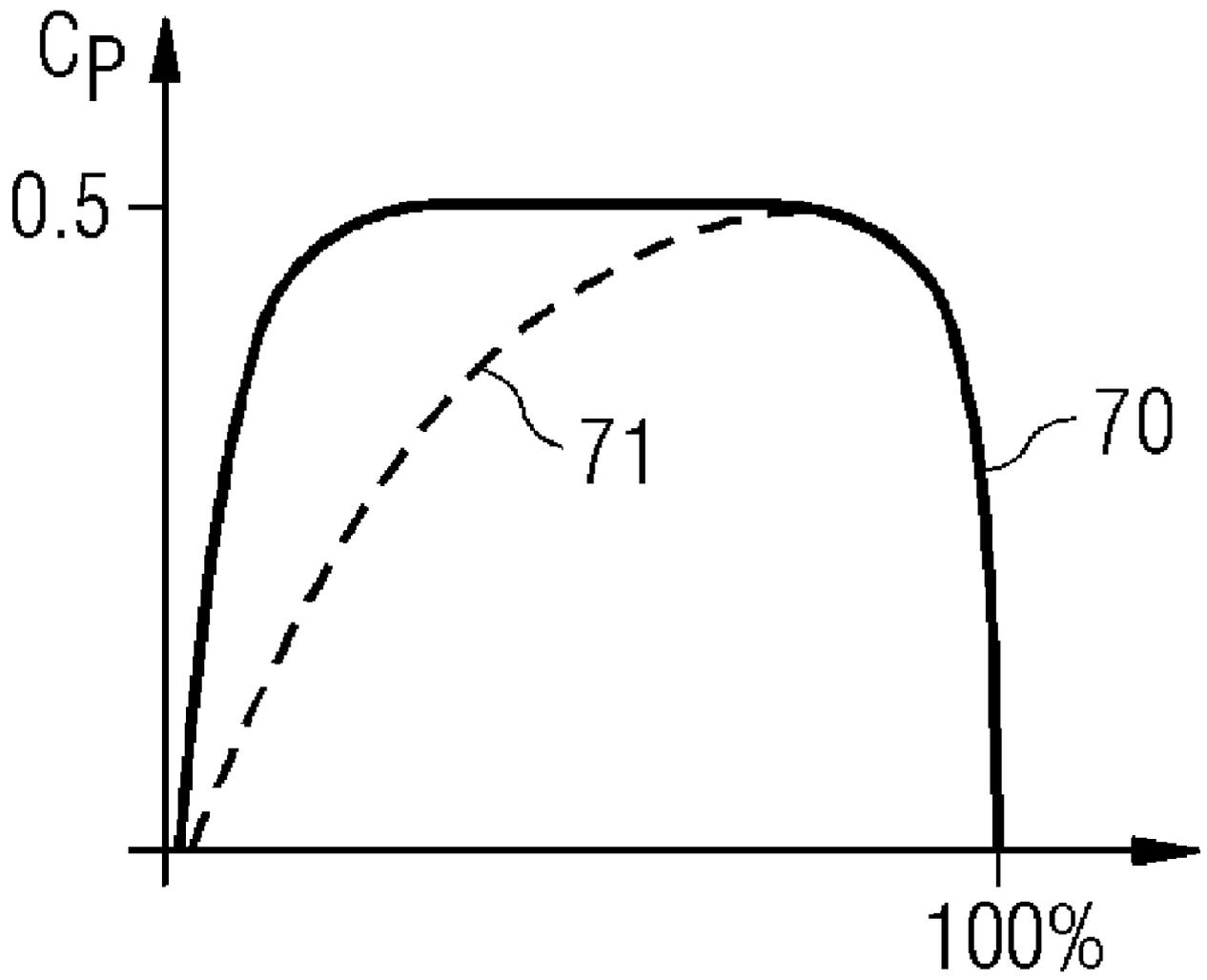


图 7

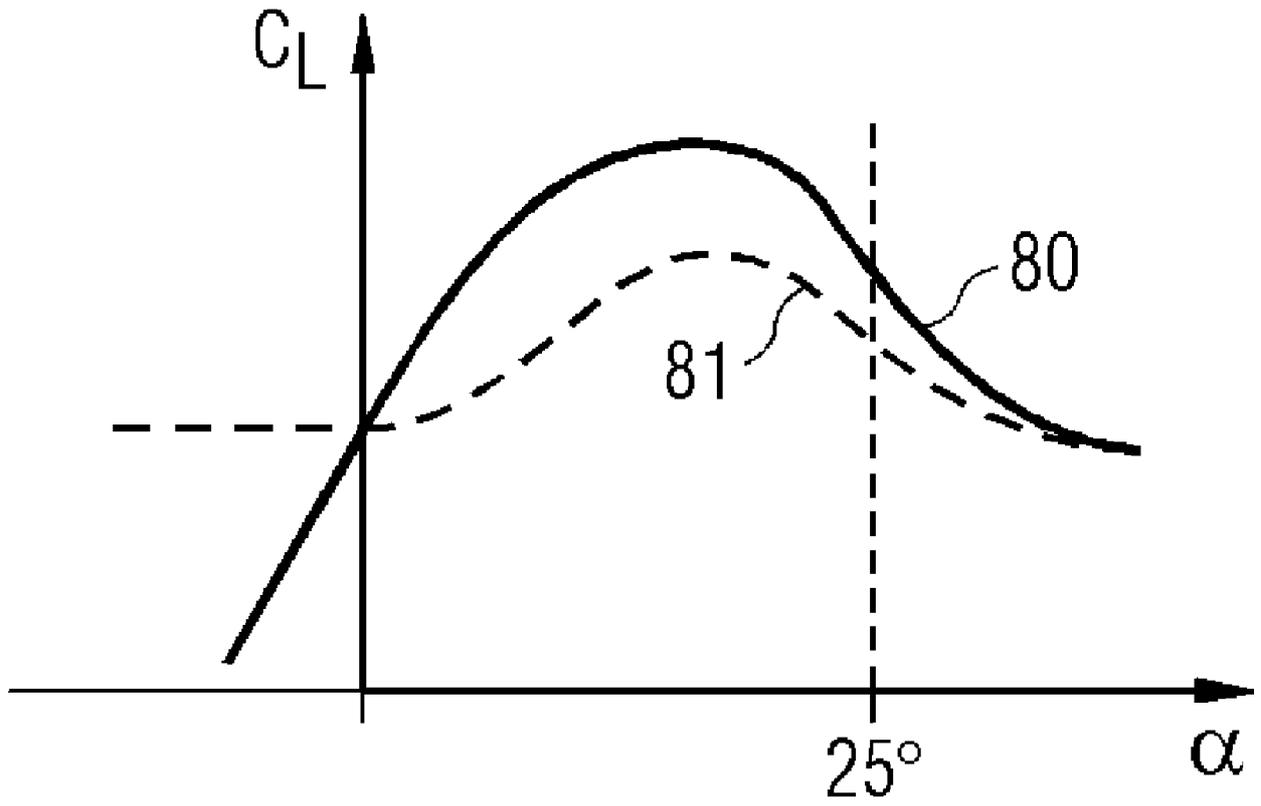


图 8

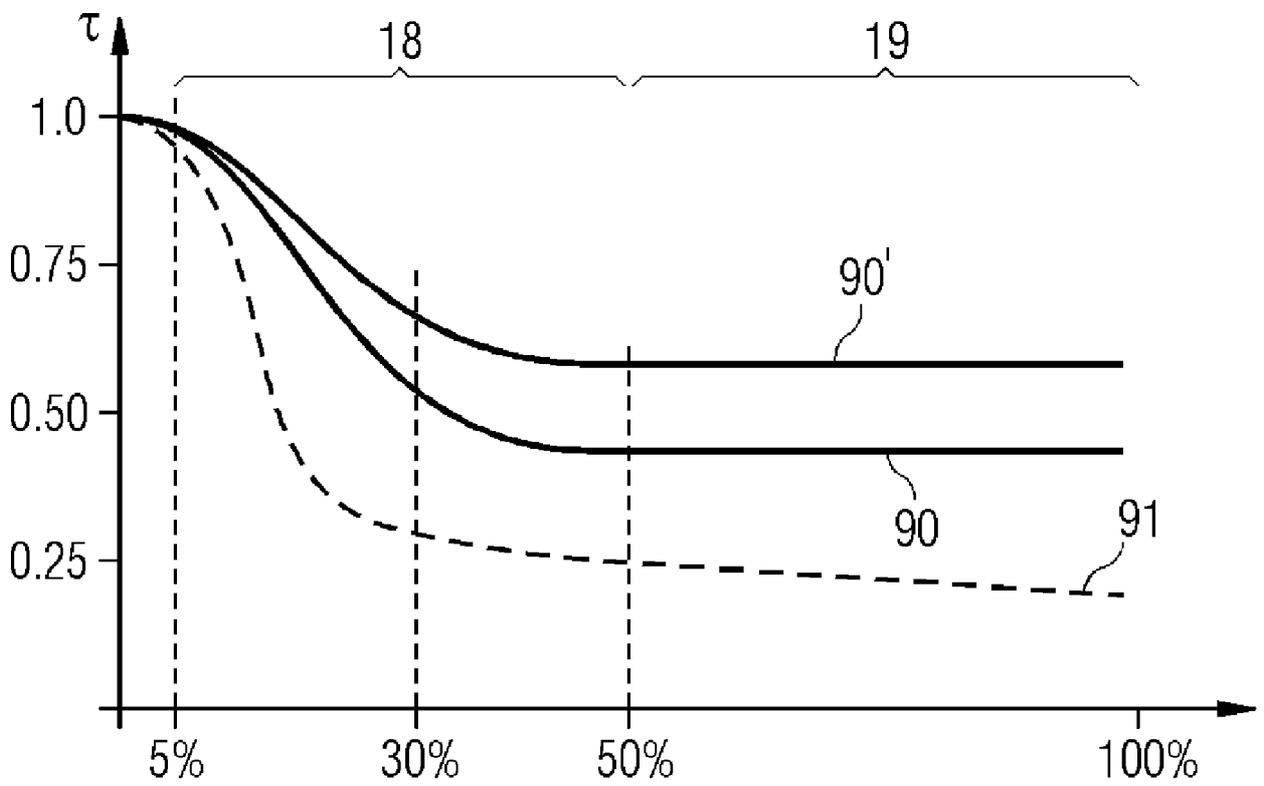


图 9