



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108637330 A

(43)申请公布日 2018.10.12

(21)申请号 201810420278.2

(22)申请日 2018.05.04

(71)申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工
路2号(72)发明人 康仁科 董志刚 杨国林 朱祥龙
尉言振 郭东明(74)专利代理机构 大连东方专利代理有限责任
公司 21212

代理人 赵淑梅 李洪福

(51)Int.Cl.

B23C 3/00(2006.01)

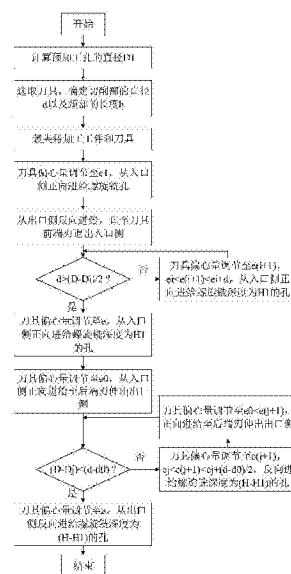
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法

(57)摘要

本发明公开了一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,刀具先正向螺旋铣前半段加工孔,然后反向进给螺旋铣后半段加工孔,可避免复合材料出现超出加工要求的分层、撕裂等缺陷,提高加工质量。在本发明螺旋铣预加工孔的过程中,由于无垫板,可能产生加工缺陷,但加工缺陷会在后续的反向进给螺旋铣孔过程中被切削掉,且该过程不会再产生新的加工缺陷。本发明中刀具正向进给螺旋铣前半段加工孔时,后半段材料可作为前半段加工的垫板,使复合材料在此处的纤维层不出现分层、撕裂等缺陷;在反向进给螺旋铣后半段材料时,复合材料受到的轴向力方向发生改变,前半段剩余材料可作为后半段加工的垫板,使复合材料在此处的纤维层不出现分层、撕裂等缺陷。



1. 一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于具有如下步骤:

S1、刀具通过螺旋铣孔方式正向进给加工出预加工孔,预加工孔的孔径为 D_1 , $D_1 < D$, D 为待加工的通孔的孔径;

S2、刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,其中, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

S3、调小刀具偏心量后正向进给,直至刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,之后,单次或多次调节刀具偏心量,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H-H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕。

2. 根据权利要求1所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述步骤S1中,刀具通过螺旋铣孔方式正向进给加工出预加工孔,具有如下步骤:

S11、计算预加工孔的孔径 D_1 ;

S12、选取刀具;

S13、装夹待加工工件和所述刀具;

S14、将所述刀具偏心量调节至 $e_1 = (D_1 - d) / 2$,其中, d 为所述刀具的切削部的直径,驱动所述刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D_1 的预加工孔;

S15、反向进给,直至所述刀具的切削部的前端切削区退出口侧。

3. 根据权利要求1所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述步骤S2中,刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,具有如下步骤:

S21、若 $d > (D - D_i) / 2$,调节所述刀具偏心量至 $e = (D - d) / 2$,从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,执行步骤S3,其中, D 为待加工的通孔的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, D_i 为前一次螺旋铣孔后,入口侧的孔径, $i = 1, 2, 3, 4, \dots$, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

若 $d \leq (D - D_i) / 2$,调节所述刀具偏心量至 $e(i+1) < e_i + d$,从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,执行步骤S22,其中, D 为待加工的通孔的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, D_i 为前一次螺旋铣孔后,入口侧的孔径, e_i 为前一次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $e(i+1)$ 为本次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $i = 1, 2, 3, 4, \dots$, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

S22、重复S21。

4. 根据权利要求1所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述步骤S3中,调小刀具偏心量后正向进给,直至刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,之后,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H-H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕,具有如下步骤:

S31、将所述刀具偏心量调节至 $e_0 < e_1$,正向进给,直至所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,其中 e_1 为螺旋铣预加工孔时,所述刀具的偏心量;

S32、若 $D - D_j < d - d_0$,将所述刀具偏心量调节至 $e = (D - d) / 2$,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H-H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕,其中, D_j 为前一次螺旋铣孔后,出口侧的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, d_0 为所述刀具的颈部的直径, $j = 1, 2, 3, 4, \dots$;

若 $D-D_j \geq d-d_0$,将所述刀具偏心量调节至 $e(j+1)$ 满足 $e_j < e(j+1) < e_j + (d-d_0)/2$,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔深为 $H-H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,将所述刀具偏心量调节至 $e_0 < e(j+1)$,正向进给,使所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,其中, D_j 为前一次螺旋铣孔后,出口侧的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, d_0 为所述刀具的颈部的直径, e_j 为出口侧产生孔径为 D_j 的孔时,所述刀具偏心量, $e(j+1)$ 为本次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $j=1,2,3,4\cdots$;

S33、重复步骤S32。

5.根据权利要求2所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述步骤S11中, D_1 的计算方法为:根据待加工的通孔的孔径 D ,加工要求的损伤区域径向单边最大宽度 K 和由以往实验数据和生产经验确定的螺旋铣预加工孔产生的损伤区域径向单边最大宽度 K_1 ,则 D_1 满足:

$D_1 < D + 2 \times K - 2 \times K_1$, D_1 具体数值根据实际情况确定。

6.根据权利要求2所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述步骤S12中,刀具的选取方法为:刀具包括切削部、颈部和柄部,切削部包括前端切削区、圆周切削区和后端切削区,切削部的直径 d 应满足 $D_1/2 < d < D_1$,颈部直径 d_0 应满足 $d_0 < d$,颈部的长度 $h > H$,正向进给至所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧时,柄部未进入孔内。

7.根据权利要求1所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述刀具的驱动装置为加工中心或具有偏心量自动调节功能的螺旋铣专用设备或其他可驱动刀具实现本发明所需运动的加工设备。

8.根据权利要求4所述的一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于:所述步骤S32中,从出口侧反向进给螺旋铣孔的方法为:刀具自身高速旋转的同时,沿螺旋轨迹向出口侧进给,利用所述刀具的切削部的后端切削区对出口侧进行螺旋铣削。

一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航空航天飞行器装配中的制孔加工技术领域,具体涉及一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法。

背景技术

[0002] 航空航天飞行器设计中大量使用复合材料,在飞行器装配过程中经常遇到单层复合材料及复合材料叠层结构的制孔问题。常用的制孔方法为使用钻头钻孔,使用这种加工方法时,会产生较大的轴向切削力。还有一种新的制孔方法为使用特制立铣刀进行螺旋铣孔,其轴向切削力虽然较钻孔小,但仍然存在。复合材料通常是由多层纤维组合而成的,不同纤维层之间通常为强度较弱的树脂基体材料,加工中的轴向力是引起复合材料加工损伤的主要原因,在刀具从复合材料一侧切出时,在刀具轴向切削力的作用下,靠近出口侧纤维层产生变形,将不同纤维层之间的树脂基体拉断,形成分层、撕裂等加工缺陷,影响制孔质量,如图7所示为钻孔出口侧形成加工缺陷的情况,如图9所示为螺旋铣孔出口侧形成加工缺陷的情况。如果在复合材料后端增加一层垫板,当刀具切削到靠近复合材料出口一侧时,靠近出口侧的纤维层会受到垫板的支撑而不发生大的变形,纤维层间的树脂基体不会被破坏,从而避免分层、撕裂等加工缺陷的出现,如图8所示为钻孔有垫板的情况,如图10所示为螺旋铣孔有垫板的情况。但是实际生产中,有些情况下复合材料背面无法在制孔时加装垫板;有些情况下虽然能在制孔时加装垫板,但垫板的安装拆卸将大幅增加生产成本,降低生产效率。

[0003] 因此,对于复合材料及其叠层结构的制孔,如何实现无垫板情况下的无缺陷高质量制孔是目前急需解决的技术难题。

发明内容

[0004] 本发明针对复合材料制孔时出口易出现分层、撕裂等缺陷和垫板安装费时费力的缺点,研究设计一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法。本发明采用技术手段如下:

[0005] 一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,其特征在于具有如下步骤:

[0006] S1、刀具通过螺旋铣孔方式正向进给加工出预加工孔,预加工孔的孔径为 D_1 , $D_1 < D$, D 为待加工的通孔的孔径;

[0007] S2、刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,其中, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

[0008] S3、调小刀具偏心量后正向进给,直至刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,之后,单次或多次调节刀具偏心量,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H-H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕。

[0009] 所述步骤S1中,刀具通过螺旋铣孔方式正向进给加工出预加工孔,具有如下步骤:

[0010] S11、计算预加工孔的孔径 D_1 ;

[0011] S12、选取刀具;

[0012] S13、装夹待加工工件(复合材料)和所述刀具;

[0013] S14、将所述刀具偏心量调节至 $e_1 = (D_1 - d) / 2$,其中, d 为所述刀具的切削部的直径,驱动所述刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D_1 的预加工孔;

[0014] S15、反向进给,直至所述刀具的切削部的前端切削区退出口侧。

[0015] 所述步骤S2中,刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,具有如下步骤:

[0016] S21、若 $d > (D - D_i) / 2$,调节所述刀具偏心量至 $e = (D - d) / 2$,从入口侧(面向刀具的一面)正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,执行步骤S3,其中, D 为待加工的通孔的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, D_i 为前一次螺旋铣孔后,入口侧的孔径, $i = 1, 2, 3, 4, \dots$, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

[0017] 若 $d \leq (D - D_i) / 2$,调节所述刀具偏心量至 $e(i+1) < e_i + d$,从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,执行步骤S22,其中, D 为待加工的通孔的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, D_i 为前一次螺旋铣孔后,入口侧的孔径, e_i 为前一次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $e(i+1)$ 为本次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $i = 1, 2, 3, 4, \dots$, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

[0018] S22、重复S21。

[0019] 所述步骤S3中,调小刀具偏心量后正向进给,直至刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,之后,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H - H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕,具有如下步骤:

[0020] S31、将所述刀具偏心量调节至 $e_0 < e_1$,正向进给,直至所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧(背向刀具的一面),其中 e_1 为螺旋铣预加工孔时,所述刀具的偏心量;

[0021] S32、若 $D - D_j < d - d_0$,将所述刀具偏心量调节至 $e = (D - d) / 2$,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H - H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕,其中, D_j 为前一次螺旋铣孔后,出口侧的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, d_0 为所述刀具的颈部的直径, $j = 1, 2, 3, 4, \dots$;

[0022] 若 $D - D_j \geq d - d_0$,将所述刀具偏心量调节至 $e(j+1)$ 满足 $e_j < e(j+1) < e_j + (d - d_0) / 2$,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔深为 $H - H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,将所述刀具偏心量调节至 $e_0 < e(j+1)$,正向进给,使所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,其中, D_j 为前一次螺旋铣孔后,出口侧的孔径, d 为所述刀具的切削部的直径, d_0 为所述刀具的颈部的直径, e_j 为出口侧产生孔径为 D_j 的孔时,所述刀具偏心量, $e(j+1)$ 为本次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $j = 1, 2, 3, 4, \dots$;

[0023] S33、重复步骤S32。

[0024] 所述步骤S11中, D_1 的计算方法为:根据待加工的通孔的孔径 D ,加工要求的损伤区域径向单边最大宽度 K 和由以往实验数据和生产经验确定的螺旋铣孔铣预加工孔产生的损伤区域径向单边最大宽度 K_1 ,则 D_1 满足:

[0025] $D_1 < D + 2 \times K - 2 \times K_1$, D_1 具体数值根据实际情况确定。

[0026] 所述步骤S12中,刀具的选取方法为:刀具包括切削部、颈部和柄部,切削部包括前端切削区、圆周切削区和后端切削区,切削部的直径 d 应满足 $D_1 / 2 < d < D_1$,颈部直径 d_0 应满足 $d_0 < d$,颈部的长度 $h > H$,正向进给至所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧时,柄部未

进入孔内。

[0027] 所述刀具的驱动装置为加工中心或具有偏心量自动调节功能的螺旋铣专用设备或其他可驱动刀具实现本发明所需运动的加工设备。

[0028] 所述步骤S32中,从出口侧反向进给螺旋铣孔的方法为:刀具自身高速旋转的同时,沿螺旋轨迹向出口侧进给,利用所述刀具的切削部的后端切削区对出口侧进行螺旋铣削。

[0029] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0030] 1.可避免复合材料出现超出加工要求的分层、撕裂等缺陷,提高加工质量。在本发明螺旋铣预加工孔的过程中,由于复合材料背面无垫板,可能产生较大的加工缺陷,但加工缺陷会在后续的反向进给螺旋铣孔过程中被切削掉,且反向进给螺旋铣孔过程不会再产生新的加工缺陷。本发明中刀具正向进给螺旋铣削前半段(H1段)加工孔时,后半段材料可作为前半段加工的垫板,使复合材料在此处的纤维层不出现分层、撕裂等缺陷。在反向进给螺旋铣削后半段材料时,复合材料受到的轴向力方向发生了改变,且前半段剩余材料可作为后半段加工的垫板,使复合材料在此处的纤维层不出现分层、撕裂等缺陷。

[0031] 2.复合材料出口侧无需使用额外垫板,节约成本,简化加工过程,提高生产效率。

[0032] 3.降低刀具设计难度。本发明使用的刀具的前端切削区进行正向进给螺旋铣孔时,允许产生一定尺度内的加工缺陷,相当于降低了刀具的前端切削区刃形的设计要求,更容易获得可使用的刀具。

[0033] 4.提高刀具寿命。本发明使用的刀具的前端切削区进行正向进给螺旋铣孔时,允许产生一定尺度内的加工缺陷,因此,刀具的前端切削区的切削刃产生一定磨损后,即使加工质量下降,也能继续使用,直至产生的加工缺陷超过本发明的允许值。本发明使用的刀具的后端切削区反向进给螺旋铣孔时,由于复合材料本身可以充当垫板,因此即使产生一定程度的磨损,也不会复合材料上产生加工缺陷。

[0034] 基于上述理由本发明可在航空航天飞行器装配中的制孔加工等领域广泛推广。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做以简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0036] 图1是本发明的具体实施方式中一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法的流程图。

[0037] 图2是本发明的具体实施方式中刀具的结构示意图。

[0038] 图3是本发明的具体实施方式中刀具第一次正向进给螺旋铣孔示意图。

[0039] 图4是本发明的具体实施方式中刀具正向进给螺旋铣削待加工的通孔前半段的示意图。

[0040] 图5是本发明的具体实施方式中刀具的切削部的后端切削区伸出孔外的示意图。

[0041] 图6是本发明的具体实施方式中刀具反向进给螺旋铣削待加工的通孔后半段的示意图。

[0042] 图7是本发明背景技术中现有钻孔加工方法下复合材料出口侧加工损伤形成原理示意图。

[0043] 图8是本发明背景技术中现有钻孔加工方法下复合材料出口侧有垫板时对加工损伤抑制原理示意图。

[0044] 图9是是本发明背景技术中现有螺旋铣孔加工方法下复合材料出口侧加工损伤形成原理示意图。

[0045] 图10是本发明背景技术中现有螺旋铣孔加工方法下复合材料出口侧有垫板时对加工损伤抑制原理示意图。

[0046] 图11是利用本发明方法对复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔加工获得的最终孔的出口质量与第一次从入口侧正向进给螺旋铣孔得到的预加工孔的出口质量加工效果对比图。

具体实施方式

[0047] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0048] 一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,适用于单层或多层复合材料叠层的加工。本发明所提到的方向用语上、下、左、右等,仅是参考附图的方向,因此,使用的方向用语是用来说明,而非用来限制本发明。

[0049] 本发明中提到的复合材料(待加工工件)主要指碳纤维增强树脂基复合材料,但也包含其他具有不同纤维和基体材料的单层或多层复合材料。

[0050] 本发明中提到的加工缺陷包含分层、撕裂加工缺陷,但不限于此。本发明也适用于因出口侧无垫板支撑引起的其他缺陷,或其他与分层、撕裂具有相同特征但命名不同的加工缺陷。

[0051] 所述方法具有如下步骤:

[0052] S1、刀具通过螺旋铣孔方式正向进给螺旋铣预加工孔,预加工孔的孔径为 D_1 , $D_1 < D$, D 为待加工的通孔的孔径;

[0053] S2、刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 H_1 、与预加工孔同轴的孔,其中, H_1 小于 H , H 为待加工的通孔的孔深;

[0054] S3、调小刀具偏心量后正向进给,直至刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,之后,单次或多次调节刀具偏心量,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D 、孔深为 $H-H_1$ 、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕。

[0055] 所述步骤S1中,刀具通过螺旋铣孔方式正向进给加工出预加工孔,具有如下步骤:

[0056] S11、计算预加工孔的孔径 D_1 ;

[0057] S12、选取刀具;

[0058] S13、装夹待加工工件和所述刀具;

[0059] S14、将所述刀具偏心量调节至 $e_1 = (D_1 - d) / 2$,其中, d 为所述刀具的切削部的直径,驱动所述刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D_1 的预加工孔;

[0060] S15、反向进给,直至所述刀具的切削部的前端切削区退出口侧。

[0061] 所述步骤S2中,刀具从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为D、孔深为H1、与预加工孔同轴的孔,具有如下步骤:

[0062] S21、若 $d > (D - D_i) / 2$,调节所述刀具偏心量至 $e = (D - d) / 2$,从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为D、孔深为H1、与预加工孔同轴的孔,执行步骤S3,其中,D为待加工的通孔的孔径,d为所述刀具的切削部的直径, D_i 为前一次螺旋铣孔后,入口侧的孔径, $i = 1, 2, 3, 4 \dots$,H1小于H,H为待加工的通孔的孔深;

[0063] 若 $d \leq (D - D_i) / 2$,调节所述刀具偏心量至 $e(i+1) < e_i + d$,从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔深为H1、与预加工孔同轴的孔,执行步骤S22,其中,D为待加工的通孔的孔径,d为所述刀具的切削部的直径, D_i 为前一次螺旋铣孔后,入口侧的孔径, e_i 为前一次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $e(i+1)$ 为本次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $i = 1, 2, 3, 4 \dots$,H1小于H,H为待加工的通孔的孔深;

[0064] S22、重复S21。

[0065] 所述步骤S3中,调小刀具偏心量后正向进给,直至刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,之后,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为D、孔深为H-H1、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕,具有如下步骤:

[0066] S31、将所述刀具偏心量调节至 $e_0 < e_1$,正向进给,直至所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,其中 e_1 为螺旋铣预加工孔时,所述刀具的偏心量;

[0067] S32、若 $D - D_j < d - d_0$,将所述刀具偏心量调节至 $e = (D - d) / 2$,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔径为D、孔深为H-H1、与预加工孔同轴的孔,得到待加工的通孔,加工完毕,其中, D_j 为前一次螺旋铣孔后,出口侧的孔径,d为所述刀具的切削部的直径, d_0 为所述刀具的颈部的直径, $j = 1, 2, 3, 4 \dots$;

[0068] 若 $D - D_j \geq d - d_0$,将所述刀具偏心量调节至 $e(j+1)$ 满足 $e_j < e(j+1) < e_j + (d - d_0) / 2$,从出口侧反向进给螺旋铣孔,铣出孔深为H-H1、与预加工孔同轴的孔,将所述刀具偏心量调节至 $e_0 < e(j+1)$,正向进给,使所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧,其中, D_j 为前一次螺旋铣孔后,出口侧的孔径,d为所述刀具的切削部的直径, d_0 为所述刀具的颈部的直径, e_j 为出口侧产生孔径为 D_j 的孔时,所述刀具偏心量, $e(j+1)$ 为本次螺旋铣孔时,所述刀具偏心量, $j = 1, 2, 3, 4 \dots$;

[0069] S33、重复步骤S32。

[0070] 所述步骤S11中, D_1 的计算方法为:根据待加工的通孔的孔径D,加工要求的损伤区域径向单边最大宽度K和由以往实验数据和生产经验确定的螺旋铣孔铣预加工孔产生的损伤区域径向单边最大宽度 K_1 ,则 D_1 满足:

[0071] $D_1 < D + 2 \times K - 2 \times K_1$, D_1 具体数值根据实际情况确定。

[0072] 所述步骤S12中,刀具的选取方法为:刀具包括切削部、颈部和柄部,切削部包括前端切削区、圆周切削区和后端切削区,切削部的直径d应满足 $D_1 / 2 < d < D_1$,颈部直径 d_0 应满足 $d_0 < d$,颈部的长度 $h > H$,正向进给至所述刀具的切削部的后端切削区伸出出口侧时,柄部未进入孔内。

[0073] 所述刀具的驱动装置为加工中心或具有偏心量自动调节功能的螺旋铣专用设备或其他可驱动刀具实现本发明所需运动的加工设备。

[0074] 所述步骤S32中,从出口侧反向进给螺旋铣孔的方法为:刀具自身高速旋转的同时,沿螺旋轨迹向出口侧进给,利用所述刀具的切削部的后端切削区对出口侧进行螺旋铣削。

[0075] 本发明实质上是刀具先正向进给螺旋铣前半段加工孔,然后反向进给螺旋铣后半段加工孔,反向进给螺旋铣孔时复合材料前半段可充当垫板,使复合材料在此处的纤维层也不出现分层、撕裂等缺陷,任何与本发明方法作用原理上一致的制孔方法均在本发明保护范围内。

[0076] 若工件上已存在直径小于待加工通孔的预钻孔、小孔、导孔、盲孔、倾斜孔、不良孔等类型孔,可在不考虑此类孔的基础上,仍然按照本发明方法步骤进行加工制孔。

[0077] 若工件上已存在小的通孔允许刀具的切削部伸出,且刀具颈部长度大于待加工的通孔的孔深,此状态下也可利用本发明方法直接进行反向扩孔。

[0078] 本发明方法刀具正向进给螺旋铣前半段加工孔和反向进给螺旋铣后半段加工孔过程中,可保有很小的加工余量,并随后再利用螺旋铣孔的方式一次性全部加工到最终孔径,可避免产生接刀痕。

[0079] 本发明适用于复合材料及其叠层结构的加工,同时也适用于单层复合材料与金属叠层材料、单层金属、金属叠层材料的制孔,用以避免出口侧产生飞边和毛刺等加工缺陷。

[0080] 实施例1

[0081] 如图1-图6所示,一种复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔方法,如图11所示,为利用本发明方法对复合材料的正向-反向进给螺旋铣孔加工获得最终孔的出口质量与第一次从入口侧正向进给螺旋铣孔得到的预加工孔的出口质量加工效果对比图。待加工的通孔的孔径 $D=16\text{mm}$,待加工工件的材质为单层复合材料,待加工的通孔的孔深为 $H=20\text{mm}$,加工要求的损伤区域径向单边最大宽度 $K=0.5\text{mm}$,

[0082] 所述方法具有如下步骤:

[0083] S1、计算预加工孔的孔径 D_1 :

[0084] D_1 的计算方法为:根据待加工的通孔的孔径 $D=16\text{mm}$,加工要求的损伤区域径向单边最大宽度 $K=0.5\text{mm}$ 和由以往实验数据和生产经验确定的螺旋铣预加工孔产生的损伤区域径向单边最大宽度 $K_1=0.8\text{mm}$,则 D_1 满足:

[0085] $D_1 < D + 2 \times K - 2 \times K_1$, D_1 具体数值根据实际情况确定,确定 $D_1=14\text{mm}$;

[0086] S2、选取刀具:

[0087] 刀具的选取方法为:刀具8包括切削部1、颈部2和柄部3,切削部1包括前端切削区6、圆周切削区5和后端切削区4,切削部1的直径 $d=8\text{mm}$,满足 $D_1/2 < d < D_1$,颈部2直径 $d_0=6\text{mm}$ 满足 $d_0 < d$,颈部2的长度 $h=30\text{mm}$,正向进给至所述刀具8的切削部1的后端切削区4伸出出口侧时,柄部3未进入孔内

[0088] S3、装夹待加工工件7和所述刀具8,将所述刀具8夹持在可以进行自转并以一定偏心量公转的装置上,使所述刀具8轴线和待加工的通孔轴线平行;

[0089] S4、将所述刀具8偏心量调节至 $e_1 = (D_1 - d) / 2 = 3\text{mm}$,其中, d 为所述刀具8的切削部1的直径,驱动装置驱动所述刀具8从入口侧正向进给螺旋铣孔,铣出孔径为 D_1 的预加工孔,所述刀具的驱动装置为加工中心或具有偏心量自动调节功能的螺旋铣专用设备或其他可驱动刀具实现本发明所需运动的加工设备,螺旋铣孔时刀具8高速旋转并正向进给至后端

切削区4脱离待加工工件7,同时要保证柄部3未进入孔内;

[0090] S5、反向进给,直至所述刀具8的切削部1的前端切削区6退出口侧;

[0091] S6、 $d=8\text{mm}$, $(D-D_1)/2=1\text{mm}$, 则 $d>(D-D_1)/2$, 调节所述刀具8偏心量至 $e=(D-d)/2=4\text{mm}$, 正向进给入口侧铣出孔径为 $D=16\text{mm}$ 、孔深为 $H_1=14\text{mm}$ 、与预加工孔同轴的孔;

[0092] S7、将所述刀具8偏心量调节至 $e_0=2.8\text{mm}<e_1$, 正向进给, 直至所述刀具8的切削部1的后端切削区4伸出出口侧;

[0093] S8、 $D-D_1=2\text{mm}$, $d-d_0=2\text{mm}$, 则 $D-D_1=d-d_0$, 将所述刀具8偏心量调节至 $e(1+1)$ 满足 $e_1<e(1+1)<e_1+(d-d_0)/2$, $e(1+1)=3.5\text{mm}$, 从出口侧反向进给螺旋铣孔, 铣出孔深为 $H-H_1=6\text{mm}$ 、与预加工孔同轴的孔, 刀具8自身高速旋转的同时, 沿螺旋轨迹向出口侧进给, 利用所述刀具8的切削部1的后端切削区4对出口侧进行螺旋铣削, 将所述刀具8偏心量调节至 $e_0<e(1+1)$, 正向进给, 使所述刀具8的切削部1的后端切削区4伸出出口侧;

[0094] S9、 $D-D_2=1\text{mm}$, $d-d_0=2\text{mm}$, 则 $D-D_j<d-d_0$, 将所述刀具8偏心量调节至 $e=(D-d)/2=4\text{mm}$, 从出口侧反向进给螺旋铣孔, 铣出孔径为 $D=16\text{mm}$ 、孔深为 $H-H_1=6\text{mm}$ 、与预加工孔同轴的孔, 得到待加工的通孔, 加工完毕。

[0095] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

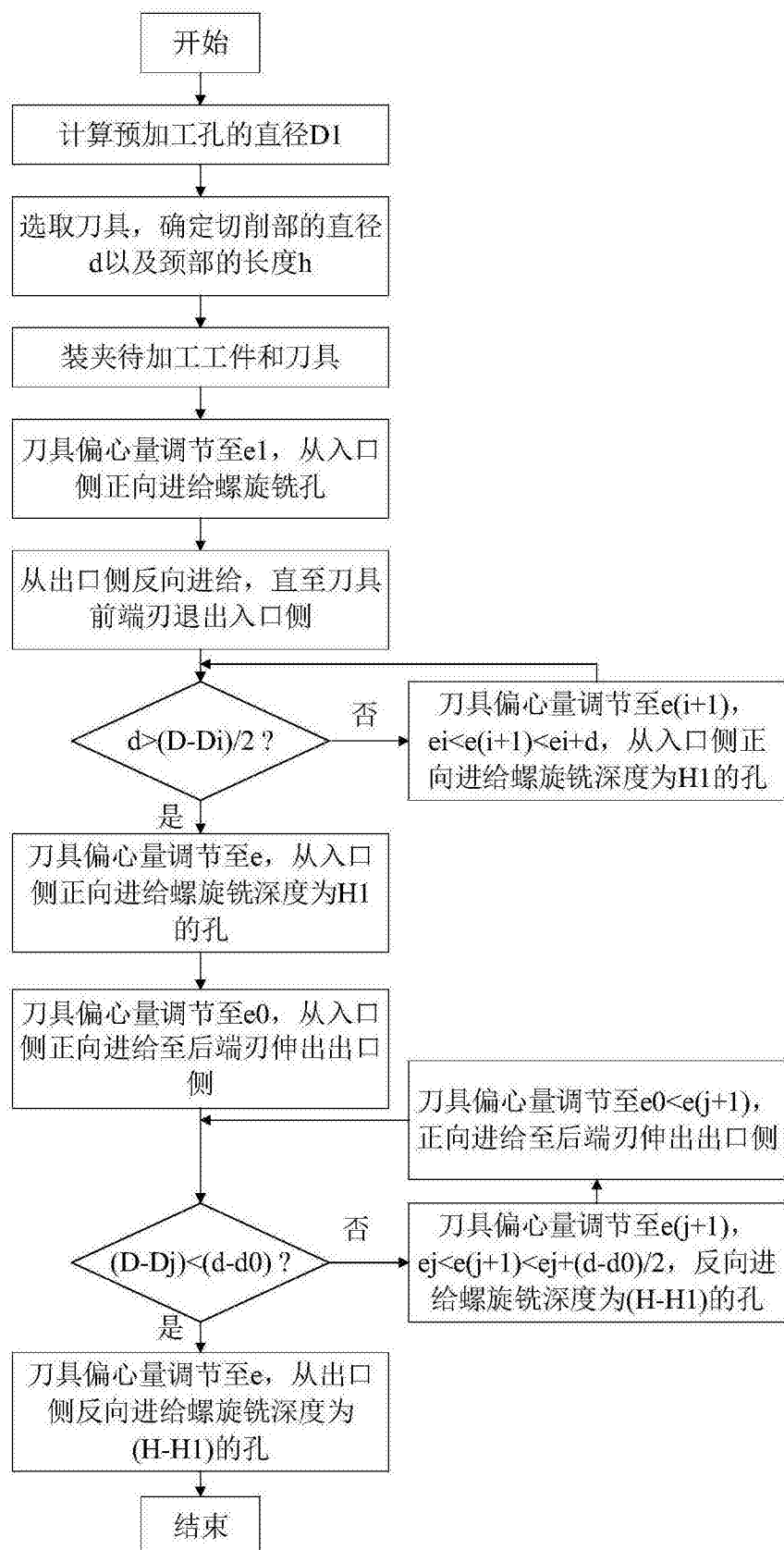


图1

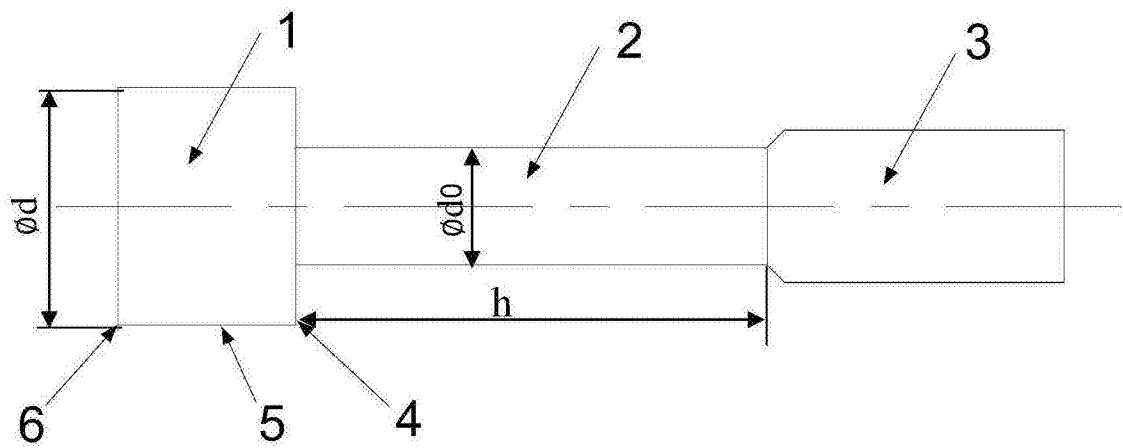


图2

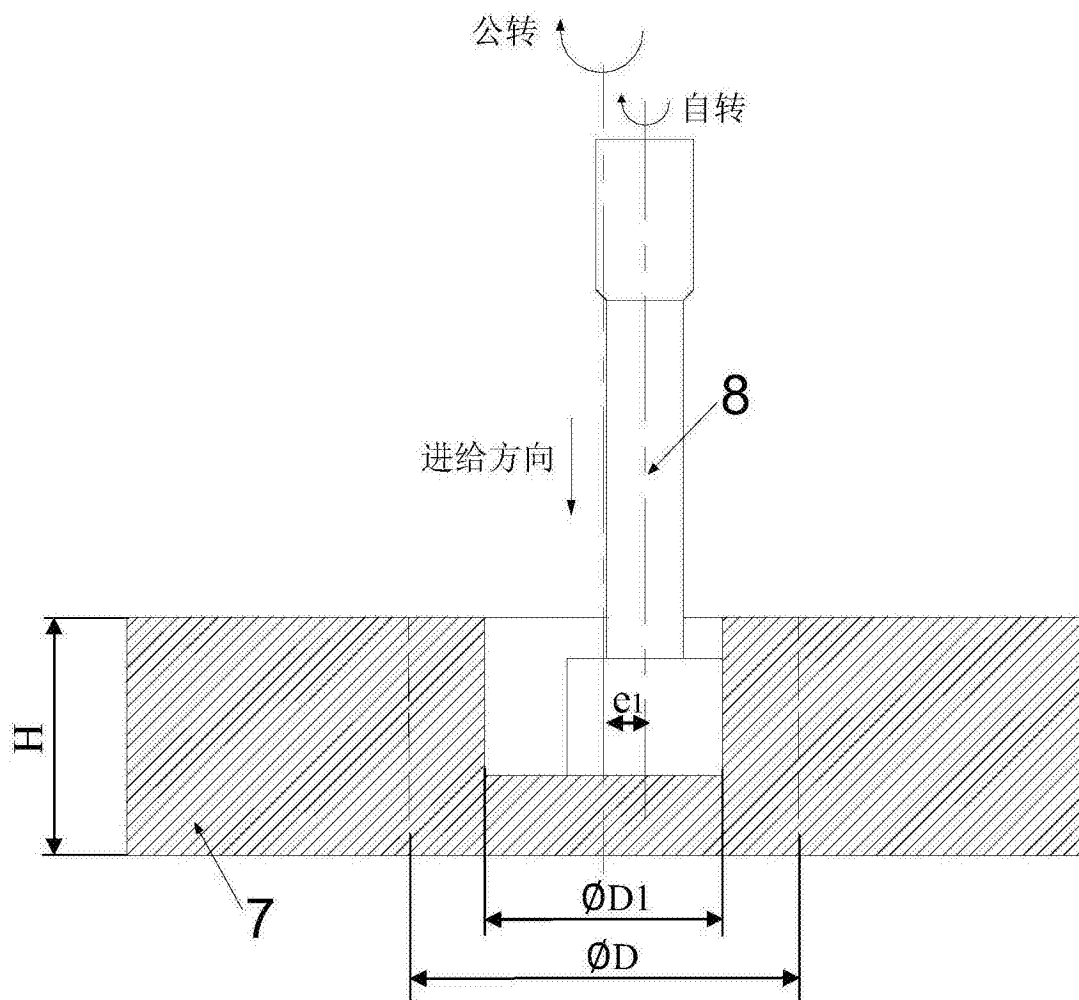


图3

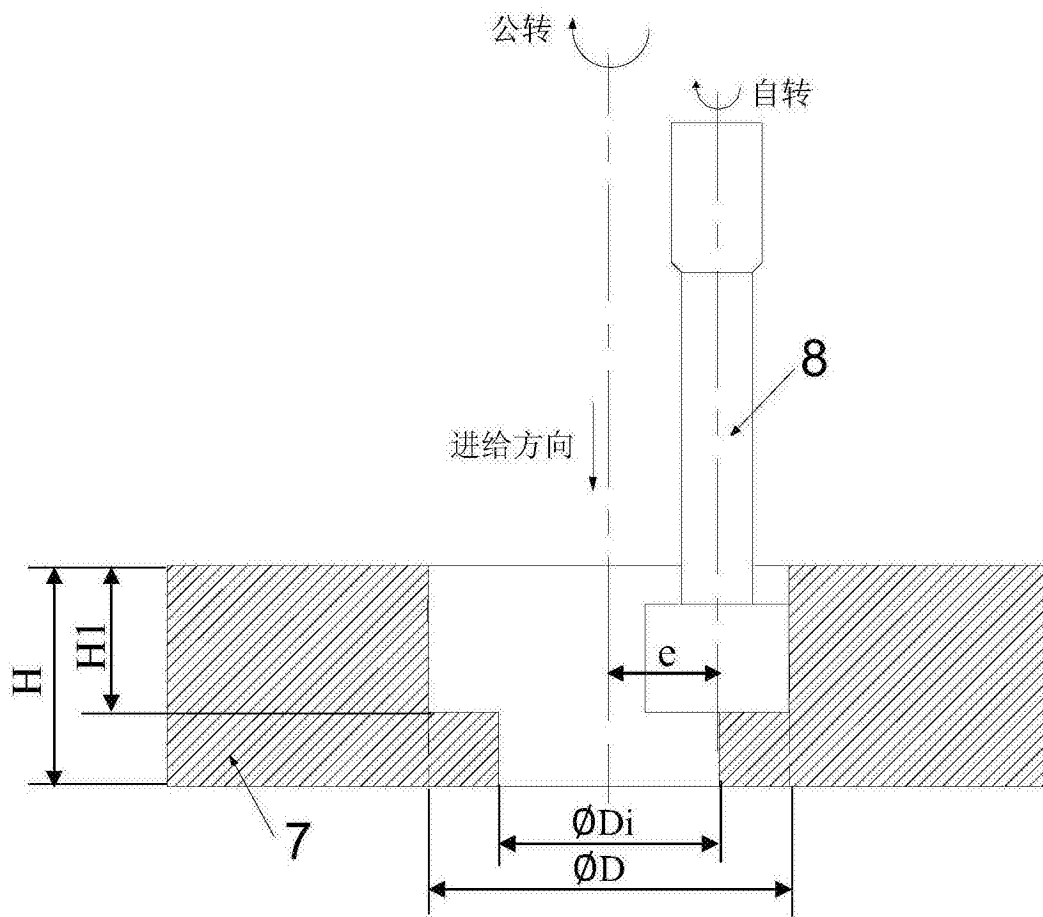


图4

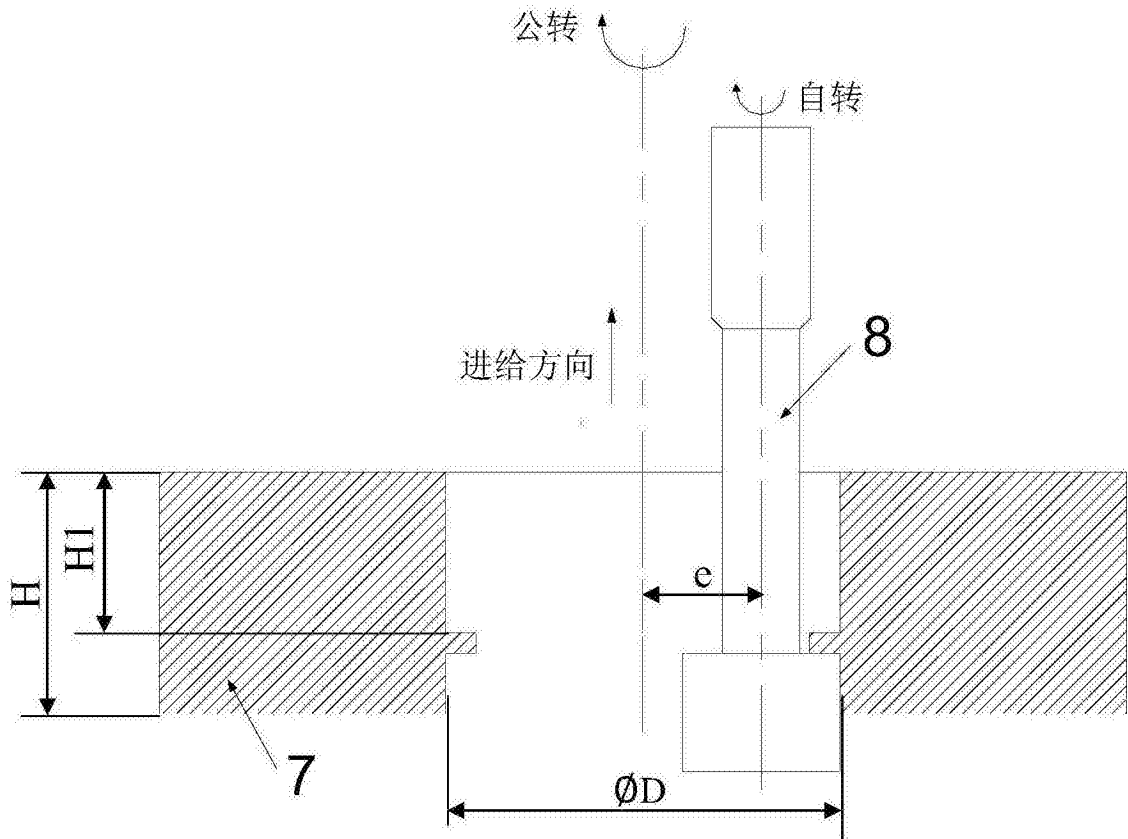


图6

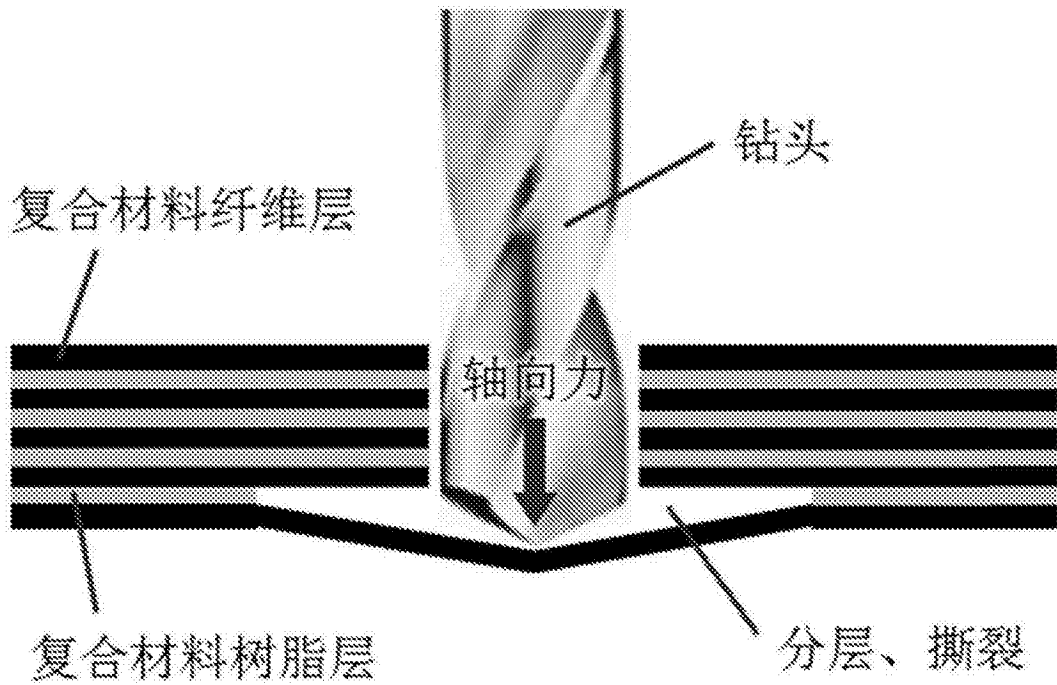


图7

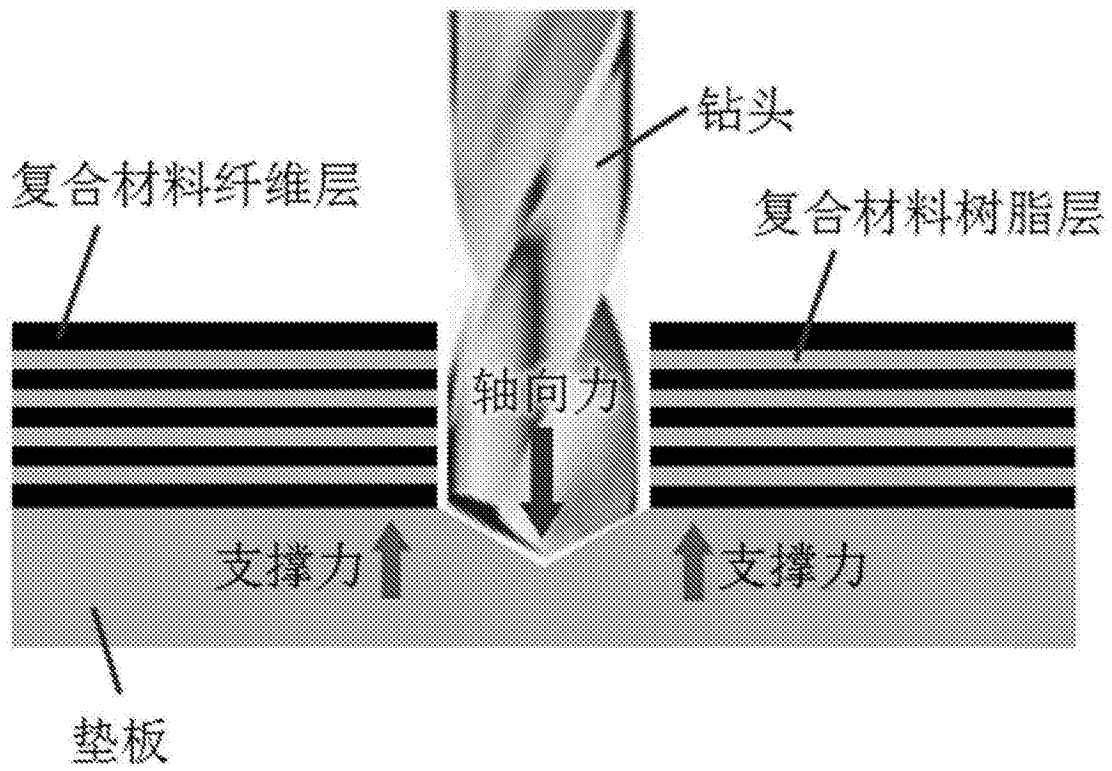


图8

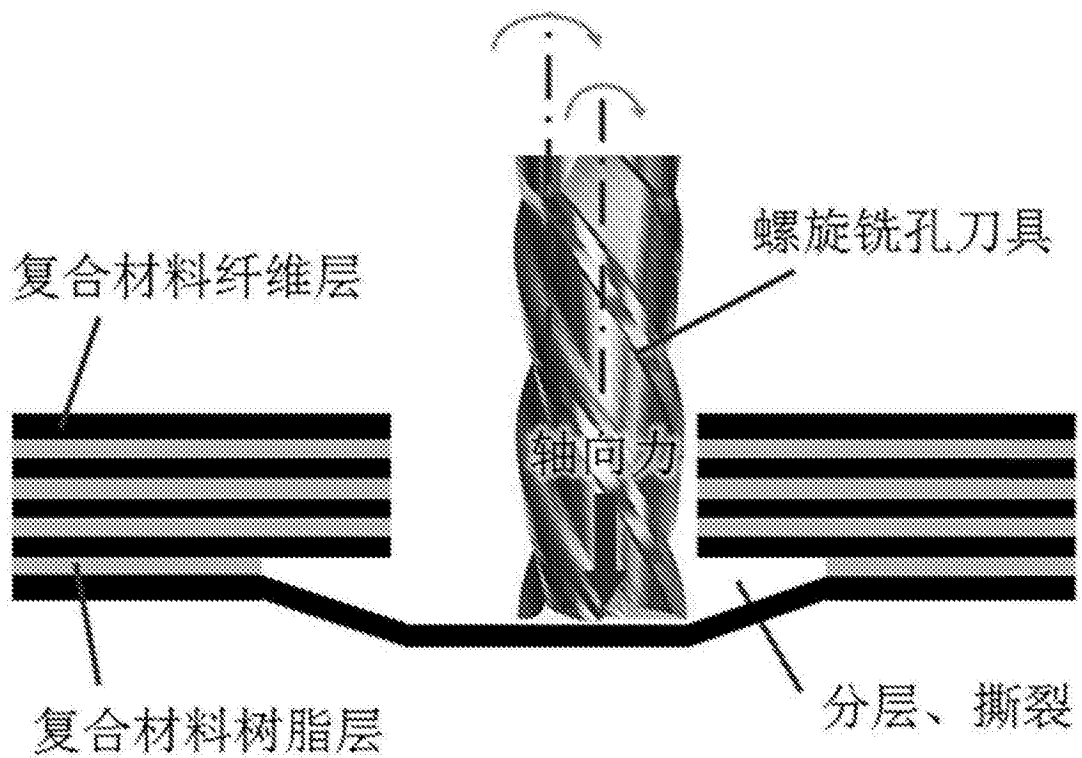


图9

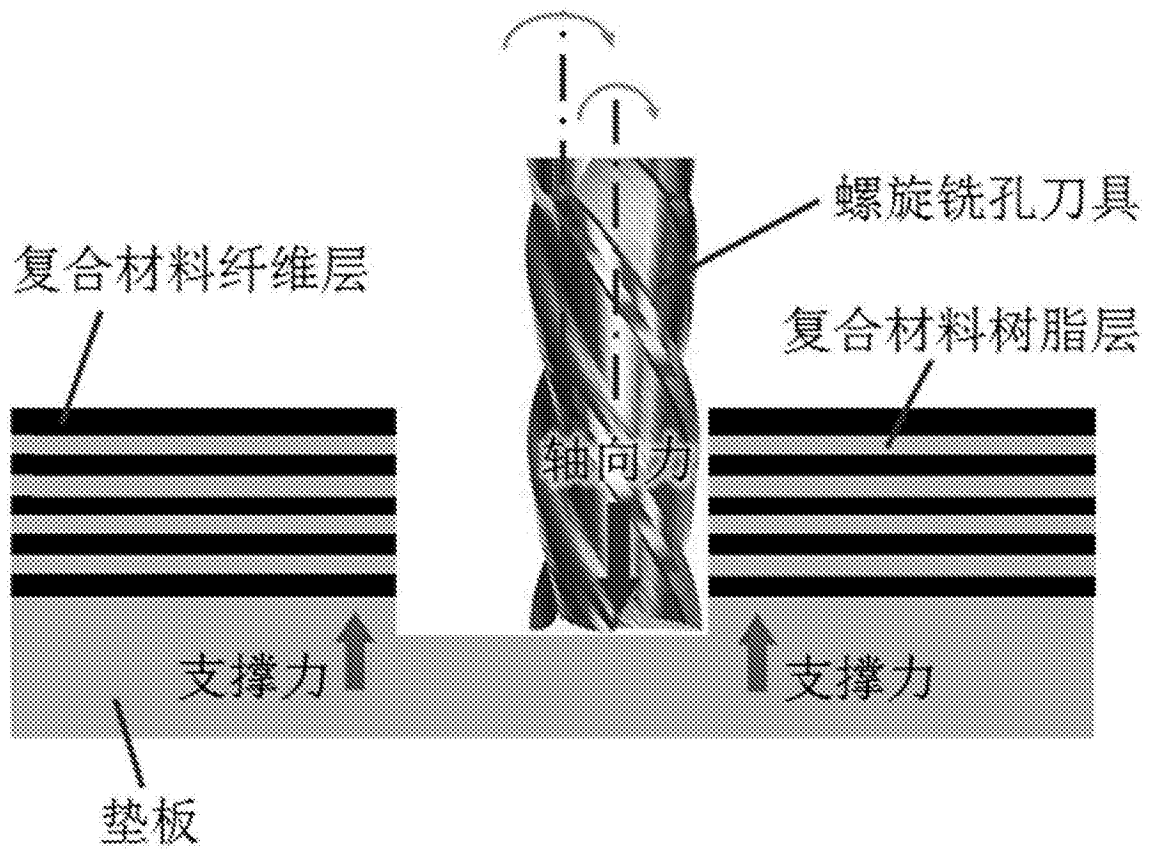


图10

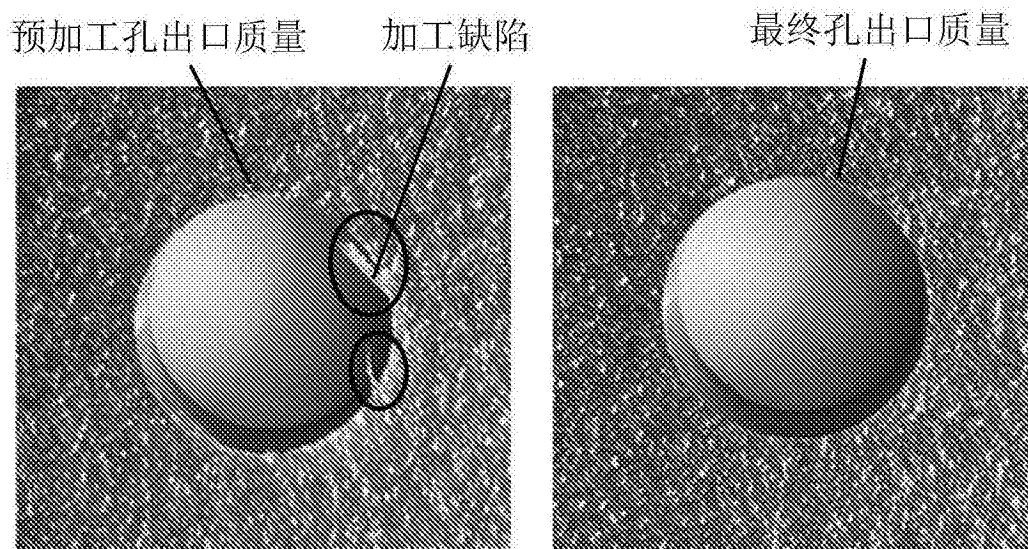


图11