



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109955043 A
(43)申请公布日 2019.07.02

(21)申请号 201910251556.0

(22)申请日 2019.03.29

(71)申请人 北京卫星制造厂有限公司
地址 100190 北京市海淀区知春路63号

(72)发明人 许爱军 宁旭东 李彩玲 张玉良
代国宝

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009

代理人 武莹

(51) Int. Cl.
B23P 15/00(2006.01)

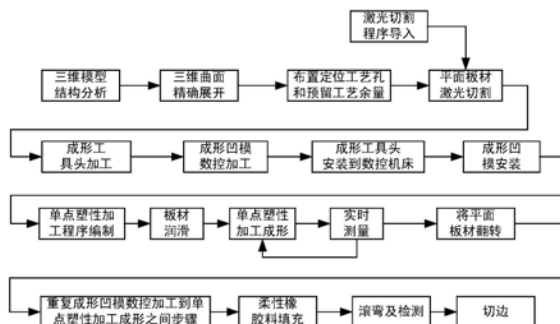
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法

(57)摘要

本发明公开了一种带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,首先将空间曲面防护板模型精确展开为二维平面模型,得到对应CAD模型并根据二维平面模型对板材进行加工,得到空间防护板展开且修正后的二维平面板材,然后设计制造加工一侧加强筋所需成形凹模,对平面板材进行单点塑性加工成形,得到包括单面合格加强筋的平面板材,然后将成形完单面加强筋的平面板材翻转,放置到加工另一侧加强筋所需成形凹模上,进行单点塑性成形,得到带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板,最后填充橡胶板到曲面防护板加强筋内外进行等厚度处理及固封,使用三轴滚弯机将平面板材滚弯,再进行切边、打磨,完成带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形。



1. 带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在于包括如下步骤:

步骤1、读取带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的三维模型,进行结构分析得到反映零件结构的展开要素;

步骤2、利用中性层原理将铝合金空间曲面防护板三维设计模型展开为二维平面模型;

步骤3、将二维平面模型进行整理、检查、校对,预留工艺余量并布置定位工艺孔,得到对应的CAD模型;

步骤4、将修正后的CAD模型导入激光切割机系统并进行编程,对板材进行加工,得到空间防护板展开且修正后的二维平面板材,加并进行去毛刺处理;

步骤5、根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板单面加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成形凹模,并根据加强筋的形状设计制造成形工具头;

步骤6、使用成形工具头代替铣刀,并安装到铣床铣刀固定座上,利用压板将成形凹模固定在铣床加工平台上,然后将平面板材放置到成形凹模上,并利用定位销进行定位、高强磁性压块进行固定,保证平面板材在成形过程中不会产生流动;

步骤7、对高强磁性压块固定在成形凹模上的平面板材采用MoS₂进行润滑;

步骤8、根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维设计模型,编制单面的单点塑性加工程序;

步骤9、在数控机床上,用成形工具头代替铣刀,利用步骤(8)的加工程序对平面板材进行单点塑性加工成形;

步骤10、在加强筋的成形过程中,通过激光测量仪进行实时测量且与目标数据进行对比,得到误差并反馈给数控铣床,控制数控铣床根据误差大小调整程序进行第二次塑性成形,直至成形得到完成单面合格加强筋的平面板材;

步骤11、将成形完单面加强筋的平面板材取下,然后根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板另一面的加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成型凹模,同时根据加强筋的形状设计并制造成形工具头;

步骤12、将成形完单面加强筋的平面板材翻转,放置到步骤11加工完成的成形凹模上,并利用定位销定位,然后利用高强磁性压块进行固定;

步骤13、对防护板另一面的加强筋进行单点塑性成形,直至成形出合格的加强筋,得到带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板;

步骤14、在数控铣床上将成形工具头更换为划线工具头,划出空间曲面板材的外形线;

步骤15、根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的加强筋形状制造不同形状的橡胶板填充料,然后将橡胶板填充到加强筋内外进行等厚度处理,用胶带将橡胶板固封在加强筋内;

步骤16、将步骤15得到的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板放置到三轴滚弯机中,调整三轴滚弯机的滚轮和工艺参数,将平面板材滚弯;

步骤17、将滚弯的平面板材沿刻划的外形线进行切边、打磨,完成带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形。

2. 根据权利要求1所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在于:所述的所述的展开要素包括空间曲面的曲率、空间防护板的尺寸、成形板材的厚度。

3. 根据权利要求2所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在在于:所述的步骤3中将二维平板板材进行预留工艺余量并布置定位工艺孔的要求为:

修正后的二维平板板材尺寸应比空间曲面防护板展开后的尺寸在横向尺寸方面大安全尺寸C1,在纵向尺寸方面大安全尺寸C2,其中, $C1 \geq 30\text{mm}$, $C2 \geq 30\text{mm}$;

修正后的二维平板板材的对角处加工6~8个 $\Phi 20 \sim \Phi 30\text{mm}$ 的销钉孔。

4. 根据权利要求3所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在在于:所述的步骤5中根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板单面加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成形凹模,并根据加强筋的形状设计制造成形工具头的方法为:

成形凹模材料采用45号钢,并进行淬火及回火处理,硬度要求HRC32~42,成形凹模外形尺寸比修正后的二维平板板材在横向尺寸方面大安全尺寸B1,在纵向尺寸方面大安全尺寸B2,其中, $B1 \geq 30\text{mm}$, $B2 \geq 30\text{mm}$,成形凹模的凹槽深度H、加强筋深度h和修正后的二维平板板材厚度t尺寸关系满足 $H = h + t$,成形凹模的凹槽宽度D、加强筋宽度d和修正后的二维平板板材的厚度t满足 $D = d + 2t$,成形凹模凹槽的圆角半径r等于空间防护板的加强筋的外圆角R1;

成形工具头材料选用合金工具钢,并进行淬火处理,硬度大于HRC60,成形工具头成形部分的直径 $\phi 2$ 满足 $\frac{3d}{4} \geq \phi \geq \frac{d}{2}$,成形工具头的圆角半径R等于空间防护板的加强筋的内圆角R2。

5. 根据权利要求4所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在在于:所述的步骤7中对高强磁性压块固定在成形凹模上的平板板材采用MoS₂进行润滑的方法为:

将MoS₂均匀的涂在采用高强磁性压块固定在成形凹模上的平板板材上,然后对待成形部位的MoS₂进行补充。

6. 根据权利要求5所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在在于:所述的步骤8根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维设计模型,编制单面的单点塑性加工程序的方法为:

(1) 采用螺旋线方式对刀具轨迹进行编排,避免刀具直接沿零件表面的进刀,保证每层刀具轨迹的步距沿曲面的切向方向是均匀的,刀具以恒定的速度和加工参数对成形表面进行单点塑性加工;

(2) 采用参数法进行刀具轨迹编程;

其中,单点塑性加工轨迹的要求包括:首先利用CAM软件建立数字模型,生成成形工具头的运动轨迹,成形工具头从单面的加强筋起始点接触平板板材,然后根据加强筋的形状设置加工轨迹,沿加工轨迹行走,每一层分两次成形,加工完成第一层后设定一个压下量进入下一层的加工轨迹。

7. 根据权利要求6所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在在于:所述的步骤9中在数控机床上,用成形工具头代替铣刀,利用步骤8的加工程序对平板板材进行单点塑性加工成形的要求包括:编制单点塑性加工程序,控制成形工具头接触平板板材后到达程序要求的起始点,然后从起始位置开始进入单点塑性加工轨迹,并对板材压

下设定压下量,然后按照第一层加强筋轮廓的要求,对板材进行单点渐进塑性加工,在成形出所需的第一层加强筋截面轮廓后,成形工具头再压下设定压下量,进入下一层的加强筋加工轨迹,再按第二层加强筋截面轮廓要求运动,并形成第二层加强筋轮廓,直到加强筋成形完成,从单面的加强筋起始点接触平面板材,然后根据加强筋的形状设置加工轨迹,沿加工轨迹行走,每一层分两次成形,成形速度为 $800/\text{min}\sim 1600\text{mm}/\text{min}$,加工完成第一层后设定一个压下量进入下一层的加工轨迹,深度方向要求每周期进给一般为 $(0.1\sim 0.3)\text{tmm}$;在加强筋的成形过程中,通过激光测量仪进行实时测量,测量数据与目标数据进行对比,测量仪将测得的误差反馈给数控铣床,数控铣床根据误差大小调整程序进行第二次塑性成形,成形完成后对成形后的加强筋再次检测,直至成形出合格的加强筋。

8. 根据权利要求7所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在于:所述的步骤15中橡胶板填充料的要求包括:填充料与凸起的加强筋留有足够间隙,并加以固定。

9. 根据权利要求8所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在于:所述的步骤15中橡胶板填充料填充到加强筋中的过程中:橡胶板厚度 H_1 与加强筋深度 H_2 之间满足 $H_1=H_2+0.1\text{mm}$ 。

10. 根据权利要求9所述的带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,其特征在于:所述步骤6中采用的利用的磁性压块保证成形过程中,板材不会产生流动。

带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法

技术领域

[0001] 本发明涉及行器防护结构成形工艺技术领域,特别是带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法。

背景技术

[0002] 随着航天事业的发展,空间碎片环境日益恶化,空间碎片对在轨航天器的威胁越来越严重。对航天器进行空间碎片防护设计成为时代的必需和今后发展的必然趋势,我国航天事业特别是载人航天及空间交会对接等一系列航天活动的发展对航天器进行有效的空间碎片防护设计提出了迫切的要求。

[0003] 空间碎片与航天器的相对撞击速度大约在1km/s到16km/s范围内,空间碎片防护的重点是与航天器的碰撞概率极高的直径小于1厘米的微小碎片,其平均质量密度约为 $2.8\text{g}/\text{cm}^3$,与铝或铝合金接近。

[0004] 双层板防护结构,也被称为Whipple防护结构,包含前、后两层板,前板代表防护板,后板代表航天器的舱壁,其常用材料为铝或铝合金,是最基本的防护措施,也是国际空间站广泛采用的防护方案。

[0005] 航天器空间防护板的整体形状跟航天器的形状一致,为大型的空间曲面结构,一般为圆锥形或者圆柱形,为了增加空间防护板的刚度,在空间防护板的上面的内外双向均增加了有各种各样凹下去的加强筋,加强筋深度为 $2.0\sim 3.5\text{mm}$ 。制造该类空间防护板的传统方法是采用铸造模具冲压成形,然后制造切边胎具,利用切边胎加工外形和连接孔。而采用此种传统的冲压成形方法,需要设计并制造大型的模具,通过该种大型模具来成形零件,模具的设计制造周期比较长,一次成品率较低,为得到满足要求的零件,需要反复试模、修模,一般一个成品需3-4个月左右的制造周期,生产的周期长,模具制造费用高,生产成本低,另外在成形过程中,需要上下模和压边装置,成形过程中回弹难以控制,并且成形过程中加强筋的圆角过度处容易产生破裂,需要不断的修模来控制零件的成形极限,因此不适宜采用传统方法成形该类空间防护板。

发明内容

[0006] 本发明解决的技术问题是:克服现有技术的对于这种复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的成形的不足,提供一种操作简单、易于实现的高效率的复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的成形方法,从而解决了该空间曲面防护板传统成形过程中,生产成本低,回弹比较难控制,加强筋的圆角过度处容易产生破裂的难题。

[0007] 本发明的技术解决方案是:带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1、读取带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的三维模型,进行结构分析得到反映零件结构的展开要素;

[0009] 步骤2、利用中性层原理将铝合金空间曲面防护板三维设计模型展开为二维平面

模型；

[0010] 步骤3、将二维平面模型进行整理、检查、校对，预留工艺余量并布置定位工艺孔，得到对应的CAD模型；

[0011] 步骤4、将修正后的CAD模型导入激光切割机系统并进行编程，对板材进行加工，得到空间防护板展开且修正后的二维平面板材，加并进行去毛刺处理；

[0012] 步骤5、根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板单面加强筋的形状设计并制造成形凹模，利用三轴数控铣床铣加工成形凹模，并根据加强筋的形状设计制造成形工具头；

[0013] 步骤6、使用成形工具头代替铣刀，并安装到铣床铣刀固定座上，利用压板将成形凹模固定在铣床加工平台上，然后将平面板材放置到成形凹模上，并利用定位销进行定位、高强磁性压块进行固定，保证平面板材在成形过程中不会产生流动；

[0014] 步骤7、对高强磁性压块固定在成形凹模上的平面板材采用MoS₂进行润滑；

[0015] 步骤8、根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维设计模型，编制单面的单点塑性加工程序；

[0016] 步骤9、在数控机床上，用成形工具头代替铣刀，利用步骤(8)的加工程序对平面板材进行单点塑性加工成形；

[0017] 步骤10、在加强筋的成形过程中，通过激光测量仪进行实时测量且与目标数据进行对比，得到误差并反馈给数控铣床，控制数控铣床根据误差大小调整程序进行第二次塑性成形，直至成形得到完成单面合格加强筋的平面板材；

[0018] 步骤11、将成形完单面加强筋的平面板材取下，然后根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板另一面的加强筋的形状设计并制造成形凹模，利用三轴数控铣床铣加工成型凹模，同时根据加强筋的形状设计并制造成形工具头；

[0019] 步骤12、将成形完单面加强筋的平面板材翻转，放置到步骤11加工完成的成形凹模上，并利用定位销定位，然后利用高强磁性压块进行固定；

[0020] 步骤13、对防护板另一面的加强筋进行单点塑性成形，直至成形出合格的加强筋，得到带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板；

[0021] 步骤14、在数控铣床上将成形工具头更换为划线工具头，划出空间曲面板材的外形线；

[0022] 步骤15、根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的加强筋形状制造不同形状的橡胶板填充料，然后将橡胶板填充到加强筋内外进行等厚度处理，用胶带将橡胶板固封在加强筋内；

[0023] 步骤16、将步骤15得到的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板放置到三轴滚弯机中，调整三轴滚弯机的滚轮和工艺参数，将平面板材滚弯；

[0024] 步骤17、将滚弯的平面板材沿刻划的外形线进行切边、打磨，完成带内外双向加强筋的空间曲面防护板的成形。

[0025] 所述的所述的展开要素包括空间曲面的曲率、空间防护板的尺寸、成形板材的厚度。

[0026] 所述的步骤3中将二维平面板材进行预留工艺余量并布置定位工艺孔的要求为：

[0027] 修正后的二维平面板材尺寸应比空间曲面防护板展开后的尺寸在横向尺寸方面

大安全尺寸C1,在纵向尺寸方面大安全尺寸C2,其中, $C1 \geq 30\text{mm}$, $C2 \geq 30\text{mm}$;

[0028] 修正后的二维平板材的对角处加工6~8个 $\Phi 20 \sim \Phi 30\text{mm}$ 的销钉孔。

[0029] 所述的步骤5中根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板单面加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成形凹模,并根据加强筋的形状设计制造成形工具头的方法为:

[0030] 成形凹模材料采用45号钢,并进行淬火及回火处理,硬度要求HRC32~42,成形凹模外形尺寸比修正后的二维平板材在横向尺寸方面大安全尺寸B1,在纵向尺寸方面大安全尺寸B2,其中, $B1 \geq 30\text{mm}$, $B2 \geq 30\text{mm}$,成形凹模的凹槽深度H、加强筋深度h和修正后的二维平板材厚度t尺寸关系满足 $H=h+t$,成形凹模的凹槽宽度D、加强筋宽度d和修正后的二维平板材的厚度t满足 $D=d+2t$,成形凹模凹槽的圆角半径r等于空间防护板的加强筋的外圆角R1;

[0031] 成形工具头材料选用合金工具钢,并进行淬火处理,硬度大于HRC60,成形工具头成形部分的直径 $\phi 2$ 满足 $\frac{3d}{4} \geq \phi \geq \frac{d}{2}$,成形工具头的圆角半径R等于空间防护板的加强筋的内圆角R2。

[0032] 所述的步骤7中对高强磁性压块固定在成形凹模上的平板材采用 MoS_2 进行润滑的方法为:

[0033] 将 MoS_2 均匀的涂在采用高强磁性压块固定在成形凹模上的平板材上,然后对待成形部位的 MoS_2 进行补充。

[0034] 所述的步骤8根据带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维设计模型,编制单面的单点塑性加工程序的方法为:

[0035] (1) 采用螺旋线方式对刀具轨迹进行编排,避免刀具直接沿零件表面的进刀,保证每层刀具轨迹的步距沿曲面的切向方向是均匀的,刀具以恒定的速度和加工参数对成形表面进行单点塑性加工;

[0036] (2) 采用参数法进行刀具轨迹编程;

[0037] 其中,单点塑性加工轨迹的要求包括:首先利用CAM软件建立数字模型,生成成形工具头的运动轨迹,成形工具头从单面的加强筋起始点接触平板材,然后根据加强筋的形状设置加工轨迹,沿加工轨迹行走,每一层分两次成形,加工完成第一层后设定一个压下量进入下一层的加工轨迹。

[0038] 所述的步骤9中在数控机床上,用成形工具头代替铣刀,利用步骤(8)的加工程序对平板材进行单点塑性加工成形的要求包括:编制单点塑性加工程序,控制成形工具头接触平板材后到达程序要求的起始点,然后从起始位置开始进入单点塑性加工轨迹,并对板材压下设定压下量,然后按照第一层加强筋轮廓的要求,对板材进行单点渐进塑性加工,在成形出所需的第一层加强筋截面轮廓后,成形工具头再压下设定压下量,进入下一层的加强筋加工轨迹,再按第二层加强筋截面轮廓要求运动,并形成第二层加强筋轮廓,直到加强筋成形完成,从单面的加强筋起始点接触平板材,然后根据加强筋的形状设置加工轨迹,沿加工轨迹行走,每一层分两次成形,成形速度为 $800/\text{min} \sim 1600\text{mm}/\text{min}$,加工完成第一层后设定一个压下量进入下一层的加工轨迹,深度方向要求每周进给一般为 $(0.1 \sim 0.3) \text{ tmm}$;在加强筋的成形过程中,通过激光测量仪进行实时测量,测量数据与目标数据进

行对比,测量仪将测得的误差反馈给数控铣床,数控铣床根据误差大小调整程序进行第二次塑性成形,成形完成后对成形后的加强筋再次检测,直至成形出合格的加强筋。

[0039] 所述的步骤15中橡胶板填充料的要求包括:填充料与凸起的加强筋留有足够间隙,并加以固定。

[0040] 所述的步骤15中橡胶板填充料填充到加强筋的过程中:橡胶板厚度 H_1 与加强筋深度 H_2 之间满足 $H_1=H_2+0.1\text{mm}$ 。

[0041] 所述步骤6中采用的利用的磁性压块保证成形过程中,板材不会产生流动。

[0042] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0043] (1) 本发明对于复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板,采用双面填充柔性补强技术,可以将带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的刚度均匀化,保证带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的等厚度及等刚度,同时提高带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的整体刚度和抗失稳能力,确保了成形过程中整体曲面不发生褶皱,内外双向加强筋不发生扭曲变形,有效抑制各种缺陷的发生,显著提高板材的成形质量;

[0044] (2) 本发明对于带复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板无需专用模具,对于带复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的成形仅仅需要一个简单的平面凹模和成形工具头,就将一个复杂的曲面的成形转换成平面过程成形,与传统的整体冲压成形方法相比,节省巨额加工、制造模具的费用;

[0045] (3) 本发明以空间三维曲面精确展开、数控单点塑性加工及双面填充等刚度柔性滚弯的技术代替传统模压方法,通过对板材局部加压变形连续积累而达到整体成形,具有变形工艺力小、设备小、投资少等优点;同时能够实现数控编程及自动化生产,加强筋尺寸在线检测,且根据检测结果随时调节成形工具头的进给量和成形速度,从而控制和消除回弹,成形的产品精度高、质量好,在三维曲面成形中将具有广阔的应用前景。

附图说明

[0046] 图1为本发明的工艺流程示意图;

[0047] 图2为空间曲面板材中性层示意图;

[0048] 图3为复杂的带内外双向加强筋的空间曲面防护板展开过程示意图;

[0049] 图4为修正后的平面板材与理论展开后的平面板材、凹模尺寸及位置关系示意图;

[0050] 图5为成形凹模;

[0051] 图6为成形工具头示意图;

[0052] 图7为高强磁性压块示意图;

[0053] 图8为成形轨迹示意图;

[0054] 图9为双面填充等刚度处理技术;

[0055] 图10为锥形带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板尺寸图;

[0056] 图11为锥形带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板形状示意图。

具体实施方式

[0057] 本发明克服现有技术的不足,对于这种复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲

面防护板的成形的不足,提供一种操作简单、易于实现的高效率的复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的成形方法,从而解决了该空间曲面防护板传统成形过程中,生产成本低,回弹比较难控制,加强筋的圆角过度处容易产生破裂的难题。下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明,如图1所示为本发明的工艺流程示意图,本发明方法包括以下步骤:

[0058] 步骤1、读取复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的三维设计模型,进行结构分析,提取既能够反映零件结构又可以展开计算的展开要素,同时充分考虑具体成形工艺参数例如空间曲面的曲率、空间防护板的尺寸、成形板材的厚度等因素,以确保展开过程尽可能地与实际工况相吻合;

[0059] 步骤2、利用中性层原理,将铝合金空间曲面防护板三维设计模型展开为二维平面模型,为数控单点塑性成形加强筋做准备。中性层展开的原理是采用包络算法的逆向工程方法,展开过程中需要选择待展开曲面,基准平面及待展开曲线,通过控制展开精度,完成空间三维曲面的精确展开。中性层示意图如图2所示。

[0060] 在CAD软件中建立防护板三维几何模型,通过CAD软件内部的展开命令对三维曲面展开,确定防护板中性层所在曲面,选择中性层相切平面作为基准面,对空间三维曲面的边界线进行展开,此时在基准面上将生成展开后的边界,通过拉伸操作构建出展开后的防护板平面模型,在平面模型上完成加强筋的建模,为后续的加强筋生产建立实体化模型,防护板按中性层精确展开后生成的二维平面图可以直接用于防护板外形的激光切割加工。展开过程如图3所示。

[0061] 步骤3、将空间三维曲面板材展开后的模型进行整理、检查、校对,根据成形的工艺性,对空间曲面防护板展开后的平板板材进行尺寸方面的修正,在步骤2展开后平板板材上面预留工艺余量,然后布置定位工艺孔,以确保其满足定位及装夹要求。

[0062] 空间曲面防护板展开成平板板材进行尺寸方面修正的要求:

[0063] 修正后的平板板材与空间曲面防护板在步骤2展开后的平板板材的位置关系如图4所示,修正后的平板板材尺寸应比空间曲面防护板在步骤2展开后的平板板材尺寸在横向尺寸方面大一个安全尺寸 C_1 ,在纵向尺寸方面大一个安全尺寸 C_2 ($C_1 \geq 30\text{mm}$, $C_2 \geq 30\text{mm}$);

[0064] 修正后的平板板材的布置定位工艺孔的要求:为了保证零件加工定位方便,一般在修正后的步骤2展开后的平板板材的对角处加工6~8个 $\Phi 20 \sim \Phi 30\text{mm}$ 的销钉孔,该销钉孔主要用于成形过程中,安装定位销进行平板板材的定位。

[0065] 步骤4、将步骤3修正完的平板板材的CAD模型导入到激光切割机系统里,在激光切割机编程系统里进行编程,编程完成后利用激光切割机对板材进行加工,得步骤3空间防护板展开且修正后的平板板材,加工完成后对所有的加工面去毛刺处理;

[0066] 步骤5、根据复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板单面的加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成形凹模,同时根据加强筋的形状设计并制造成形工具头;

[0067] 成形凹模的要求:成形凹模材料可采用优质碳素结构钢如45号钢,并进行淬火及回火处理,硬度要求HRC32~42,成形凹模设计时,需要在成形凹模上面设置相应的连接接口,可利用该接口将其固定在铣床工作台上。成形凹模外形尺寸比步骤(3)空间防护板展开且修正后的平板板材在横向尺寸方面大一个安全尺寸 B_1 ,在纵向尺寸方面大一个安全尺寸

B2 ($B1 \geq 30\text{mm}$, $B2 \geq 30\text{mm}$), 确保待成形的平板材可完全放置在凹模上, 并可直接固定在凹模上面, 如图4所示。成形凹模的凹槽深度H、加强筋深度h和待成形的平板材的厚度t尺寸关系满足 $H=h+t$ (mm); 成形凹模的凹槽宽度D、加强筋宽度d和待成形的平板材的厚度t尺寸关系满足 $D=d+2t$ (mm), 成形凹模凹槽的圆角半径r根据空间防护板的加强筋的圆角来设计确定, 圆角半径r等于空间防护板的加强筋的外圆角R1, 如图5所示;

[0068] 成形工具头的要求: 成形工具头形状如图6所示, 材料选用合金工具钢, 并进行淬火处理, 硬度要求在HRC60以上, 成形工具头需要设计与铣床铣刀固定座的接口, 接口的直径为 $\phi 1$, $\phi 1$ 的尺寸根据铣床的固定座接口来确定, 确保成形时, 成形工具头可以牢牢固定到铣床铣刀固定座中; 成形工具头的伸出长度H满足成形深度即可, 一般伸出长度H为15~25mm, 伸出不要过长, 可以有效的避免成形过程产生颤动。成形工具头的成形部分的直径 ($\phi 2$) 根据空间防护板的加强筋的宽度 (d) 来设计确定, 直径 $\phi 2$ 满足 $\frac{3d}{4} \geq \phi \geq \frac{d}{2}$, 成形工具

头的圆角半径R根据空间防护板的加强筋的圆角来设计确定, 圆角半径R等于空间防护板的加强筋的内圆角R2, 如图5所示;

[0069] 步骤6、将成形工具头代替铣刀, 将其安装到铣床铣刀固定座上, 利用压板将步骤(5)制造完成的成形凹模固定在铣床加工平台上, 然后将步骤4制造并处理后的平板材放置到成形凹模上, 并利用定位销进行定位, 然后利用高强磁性压块 (如图7所示) 进行固定, 所加的高强磁性压块的数量保证平板材在成形过程中不会产生流动;

[0070] 步骤7、对步骤(6)采用高强磁性压块固定在成形凹模上的平板材采用MoS₂进行润滑;

[0071] 润滑的要求: 为了防止成形过程中的摩擦, 将MoS₂均匀的涂在采用高强磁性压块固定在成形凹模上的平板材上, 成形完一层后, 及时对待成形的部位的MoS₂进行补充。

[0072] 步骤8、在CAM软件中根据复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维设计模型, 编制单面的单点塑性加工程序。

[0073] 单点塑性加工程序的要求为: 根据复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的加强筋的形状设置成形加工的单点塑性加工轨迹, 然后按照设置好的单点塑性加工轨迹进行编程。在程序编制过程中, 要求进刀与退刀不要在一个位置; 成形工具头按照其实际尺寸进行建模, 并且可依据成形形状对成形工具头的轨迹进行优化和控制, 可以采用在数控编程系统中进行自动编程, 也可采用手工参数编程。

[0074] 1) 自动编程采用螺旋线方式对刀具轨迹进行编排, 避免刀具直接沿零件表面的进刀, 保证每层刀具轨迹的步距沿曲面的切向方向是均匀的, 刀具以恒定的速度和加工参数对成形表面进行单点塑性加工。

[0075] 2) 采用参数法进行刀具轨迹编程, 该方式优点在于程序容量小, 编程方法简易, 适用面广。参数法编制程序过程中, 依据工具头的参数方程结合成形曲面参数方程进行参数建模。

[0076] 单点塑性加工轨迹的要求: 利用CAM软件建立数字模型, 生成成形工具头的运动轨迹, 其运动轨迹按以下过程进行的: 成形工具头从单面的加强筋起始点接触平板材, 然后根据加强筋的形状设置加工轨迹, 沿加工轨迹行走, 每一层分两次成形, 成形速度为800/min~1600mm/min, 如图8所示; 加工完成第一层后设定一个压下量进入下一层的加工轨迹,

深度方向要求每周期进给一般为(0.1~0.3) tmm。

[0077] 步骤9、在数控机床上,用成形工具头代替铣刀,采用合理的成形工艺规范,利用步骤(8)编制完成的加工程序对步骤(6)装配好的平板板材进行单点塑性加工成形;

[0078] 合理的成形工艺规范要求:按照步骤(8)编制完成的单点塑性加工程序,成形工具头首先接触平板板材然后到达程序要求的起始点,然后从起始位置开始进入步骤(8)编制完成的单点塑性加工轨迹,并对板材压下一个设定的压下量,每周期压入量根据板材的厚度来设定,一般为(0.1~0.3) tmm,然后根据控制系统的指令,按照第一层加强筋轮廓的要求,以走等高线的方式,对板材进行单点渐进塑性加工,成形速度设为800/min~1600mm/min。在成形出所需的第一层加强筋截面轮廓后,成形工具头又压下一个设定的压下量,进入下一层的加强筋加工轨迹,再按第二层加强筋截面轮廓要求运动,并形成第二层加强筋轮廓。如此不断重复,成形工具头重复不断在深度方向上压入平板板材,对其进行累积性的挤压而成形出不同形状的加强筋,直到加强筋成形完成。

[0079] 步骤10、在加强筋的成形过程中,通过激光测量仪进行实时测量,测量数据与目标数据进行对比,测量仪将测得的误差反馈给数控铣床,数控铣床根据误差大小调整程序进行第二次塑性成形,成形完成后对成形后的加强筋再次检测,直至成形出合格的加强筋。

[0080] 通过实施闭环成形技术、自动测量技术与数控单点塑性成形技术的配合使用,实现了闭环成形,较好的解决防护板单点塑性成形过程中的回弹问题,降低防护板成形的残余应力,进一步提高了成形件精度。

[0081] 步骤11、将步骤(10)成形完单面加强筋的平板板材取下,然后根据复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板另一面的加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成型凹模,同时根据加强筋的形状设计并制造成形工具头;成形工具头和成形凹模的要求如步骤(5)一致。

[0082] 步骤12、将步骤(10)成形完单面加强筋的平板板材翻转,然后将其放置到步骤(11)加工完成的成形凹模上,根据提前步骤(10)加工好的加强筋的位置进行放置,并利用定位销定位,然后利用高强磁性压块(如图7所示)进行固定,所加的高强磁性压块的数量保证防护板在成形过程中不会产生流动;

[0083] 步骤13、放置完成后,重复步骤(9)对防护板另一面的加强筋进行单点塑性成形,然后重复步骤(10)对成形后的加强筋进行检测,直至成形出合格的加强筋。

[0084] 步骤14、双面加强筋成形完成后,在数控铣床上,将成形工具头更换为划线工具头,将划线工具头安装到铣床铣刀固定座上,编制好数控程序,利用数控程序刻划出空间曲面板材的外形线。

[0085] 步骤15、根据复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的加强筋的形状制造不同形状的橡胶板填充料,然后将橡胶板填充到步骤(10)、步骤(13)成形好的加强筋内外进行等厚度处理,如图9所示,然后用胶带将橡胶板固封在加强筋内,保证橡胶板成形过程中不会脱落,从而实现复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的双面填充等刚度处理,从而避免成形过程中的加强筋失稳变形。

[0086] 柔性橡胶板填充料要求:加强筋槽采用柔性橡胶材料填充,这种材料强度低、刚性弱、易于加工,该材料还具有弹性好、柔性强的优点,不会对加强筋槽造成损伤;填充料与凸起的加强筋留有足够间隙,并加以固定,避免成形过程中损伤防护板及加强筋。

[0087] 橡胶板填充到加强筋中的方法为:根据加强筋的深度尺寸,选择合适厚度的橡胶板,要求橡胶板厚度 H_1 与加强筋深度 H_2 之间满足 $H_1 \approx H_2 + 0.1$ (mm),如图9所示,以防止加强筋在滚弯过程中产生扭曲和凹陷;

[0088] 步骤16、将步骤(15)填充完好的复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的加强筋的平板板材放置到三轴滚弯机中,然后调整三轴滚弯机的滚轮和工艺参数,将平板板材滚弯到合适的曲率尺寸,最后利用检测样板测量滚弯后的曲率半径,如果曲率半径不满足设计图纸的尺寸要求,再重复一次滚弯,直到曲率半径满足要求为止;

[0089] 步骤17、将步骤(16)滚弯合格的空间曲面板材,沿步骤(14)刻划好的外形线进行切边,切边后进行打磨,最后完成零件的制造,下面结合具体实施例对本发明进行更详细的解释和说明。

[0090] 步骤1、读取复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维设计模型,进行结构分析,提取既能够反映零件结构又可以进行展开计算的展开要素,同时充分考虑具体成形工艺参数例如空间曲面的曲率、空间防护板的尺寸、成形板材的厚度等因素,以确保展开过程尽可能地与实际工况相吻合;

[0091] 步骤2、利用中性层原理,将三维曲面展开为二维平面,为数控单点塑性成形加强筋做准备。

[0092] 锥形带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的形状如图10和图11所示,加强筋的深度为2.5mm,宽度为20mm,根据平板板材的尺寸要求将其沿中性层将其展开,获得零件的平板板材形状。

[0093] 步骤3、将空间三维曲面板材展开后的模型进行整理、检查、校对,根据成形的工艺性,对空间曲面防护板展开后的平板板材进行尺寸方面的修正,在步骤2展开后平板板材上面预留工艺余量,然后布置定位工艺孔,以确保其满足定位及装夹要求。

[0094] 修正后的平板板材尺寸应比空间曲面防护板展开后的平板板材尺寸在横向尺寸方面和纵向尺寸方面均大30mm,即: $C_1 = 30\text{mm}$, $C_2 = 30\text{mm}$,并根据平板板材的定位装夹要求在矩形板材的对角处各设计1个 $\Phi 20\text{mm}$ 的销钉孔进行定位。

[0095] 步骤4、将步骤3修正完的平板板材的CAD模型导入到激光切割机系统里,在激光切割机编程系统里进行编程,编程完成后利用激光切割机对板材进行加工,得步骤3空间防护板展开且修正后的平板板材,加工完成后对所有的加工面去毛刺处理;

[0096] 步骤5、根据待成形防护板的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成形凹模,同时根据加强筋的形状设计并制造成形工具头;

[0097] 成形凹模外形尺寸取2200mmX1500mm,凹槽深度为3.5mm,宽度为22mm,材料采用聚氨酯橡胶板,厚度为20mm;成形工具头的安装部位直径 Φ 取12mm,安装部位长度为15mm,成形部位直径 Φ 取15mm,成形部位长度为20mm,材料选用Cr12MoV,淬火硬度为HRC62;

[0098] 步骤6、将成形工具头代替铣刀,将其安装到铣床铣刀固定座上,利用压板将制造完成的成形凹模固定在铣床加工平台上,然后将步骤4制造并处理后的平板板材放置到成形凹模上,并利用直径为 $\Phi 20\text{mm}$ 的定位销进行定位,然后利用高强磁性压块进行固定,所加的高强磁性压块的数量保证平板板材在成形过程中不会产生流动;

[0099] 步骤7、对采用高强磁性压块固定在成形凹模上的平板板材采用 MoS_2 进行润滑;

[0100] 步骤8、在CAM软件中根据复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板三维

设计模型,编制单面的单点塑性加工程序。然后在数控机床上,用成形工具头代替铣刀,采用合理的成形工艺规范,利用编制完成的加工程序对装配好的平面板材进行单点塑性加工成形;成形工具头从单面的加强筋起始点接触平面板材,然后根据加强筋的形状设置加工轨迹,沿加工轨迹行走,每一层分两次成形,成形速度为1000mm/min,加工完成第一层后设定一个压下量进入下一层的加工轨迹,深度方向要求每周进给0.1mm。在加强筋的成形过程中,通过激光测量仪进行实时测量,测量数据与目标数据进行对比,测量仪将测得的误差反馈给数控铣床,数控铣床根据误差大小调整程序进行第二次塑性成形,成形完成后对成形后的加强筋再次检测,直至成形出合格的加强筋。

[0101] 步骤9、将成形完单面加强筋的平面板材取下,然后根据空间曲面防护板另一面的加强筋的形状设计并制造成形凹模,利用三轴数控铣床铣加工成型凹模,同时根据加强筋的形状设计并制造成形工具头;

[0102] 步骤10、将成形完单面加强筋的平面板材翻转,然后将其放置到加工完成的成形凹模上,根据提前加工好的加强筋的位置进行放置,并利用定位销定位,然后利用高强磁性压块进行固定;

[0103] 步骤11、放置完成后,对防护板另一面的加强筋进行单点塑性成形,然后对成形后的加强筋进行检测,直至成形出合格的加强筋。

[0104] 步骤12、双面加强筋成形完成后,在数控铣床上,将成形工具头更换为划线工具头,将划线工具头安装到铣床铣刀固定座上,编制好数控程序,利用数控程序刻划出空间曲面板材的外形线。

[0105] 步骤13、根据空间曲面防护板的加强筋的形状制造不同形状的橡胶板填充料,然后将橡胶板填充到成形好的加强筋内外进行等厚度处理,然后用胶带将橡胶板固封在加强筋内,保证橡胶板成形过程中不会脱落。

[0106] 步骤14、将填充完好的复杂的带内外双向加强筋的铝合金空间曲面防护板的加强筋的平面板材放置到三轴滚弯机中,然后调整三轴滚弯机的滚轮和工艺参数,将平面板材滚弯到合适的曲率尺寸,最后利用检测样板测量滚弯后的曲率半径,如果曲率半径不满足设计图纸的尺寸要求,再重复一次滚弯,直到曲率半径满足要求为止;

[0107] 步骤15、将滚弯合格的空间曲面板材,沿刻划好的外形线进行切边,切边后进行打磨,最后完成零件的制造。

[0108] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

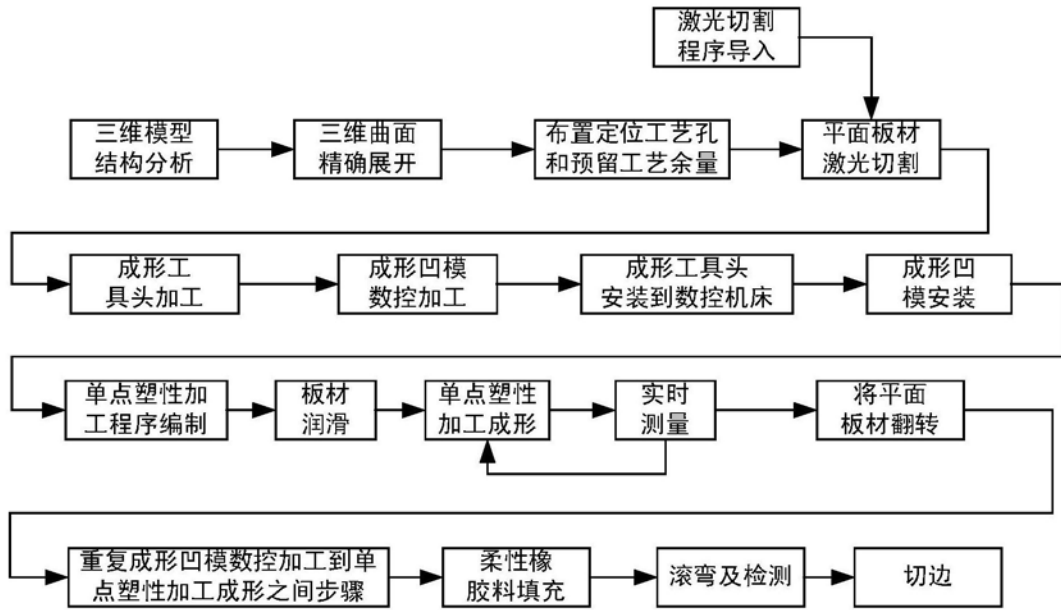


图1

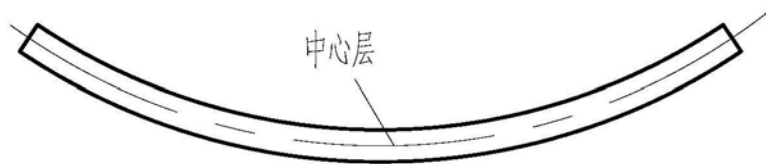


图2

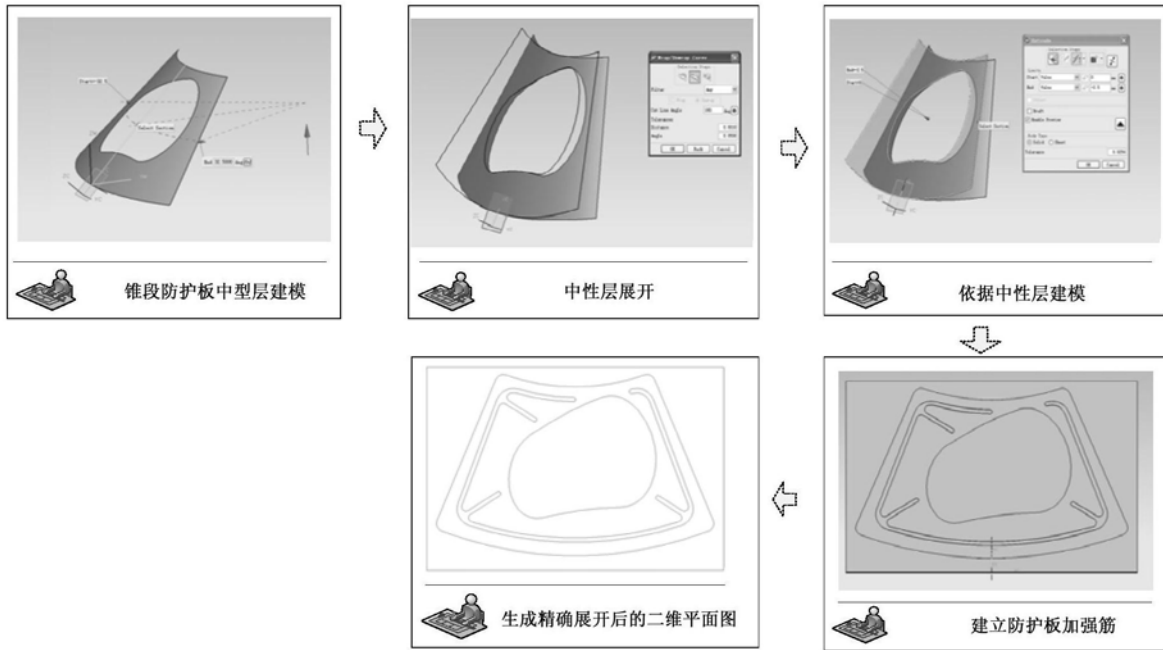


图3

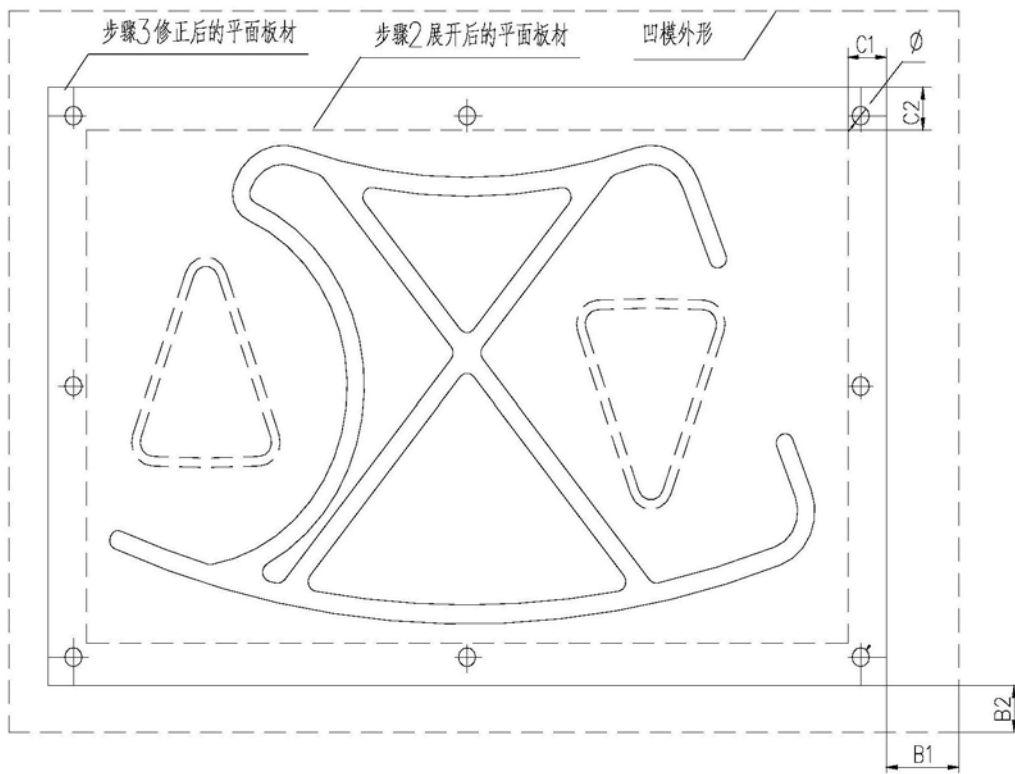


图4

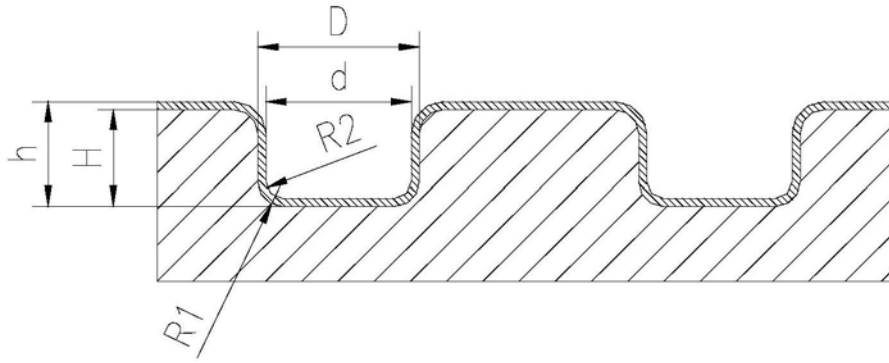


图5

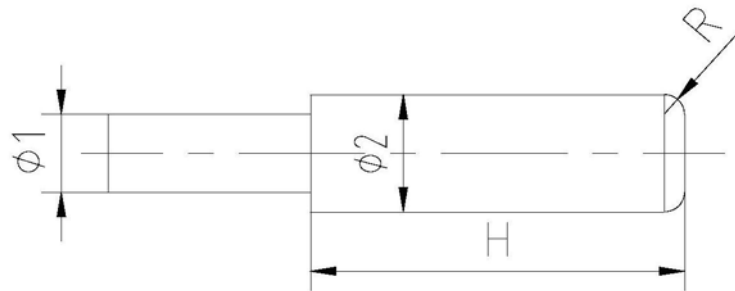


图6

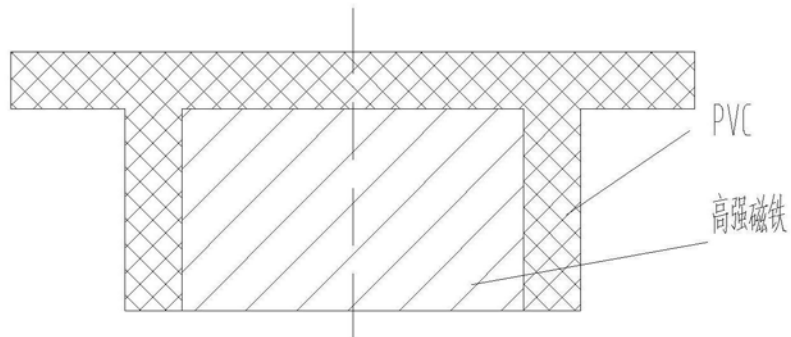


图7

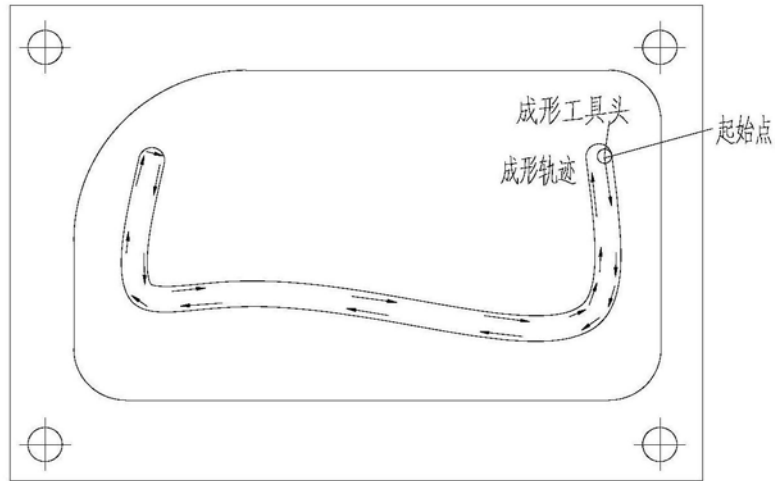


图8

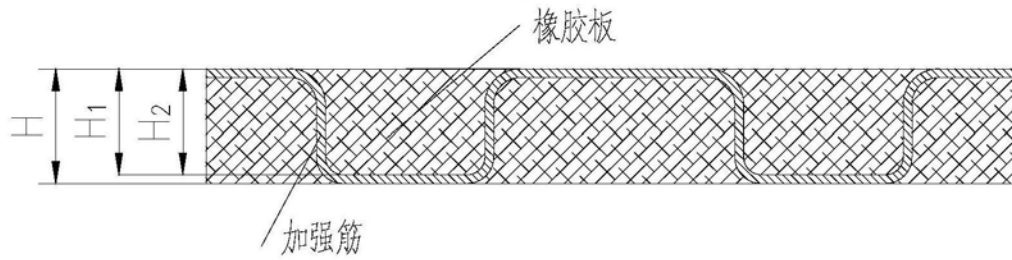


图9

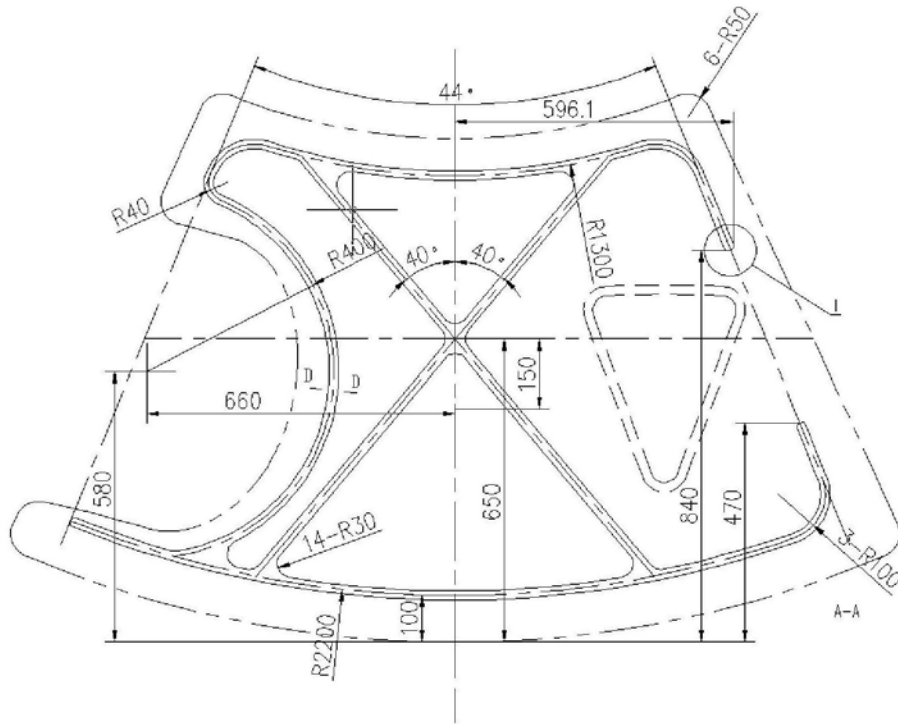


图10

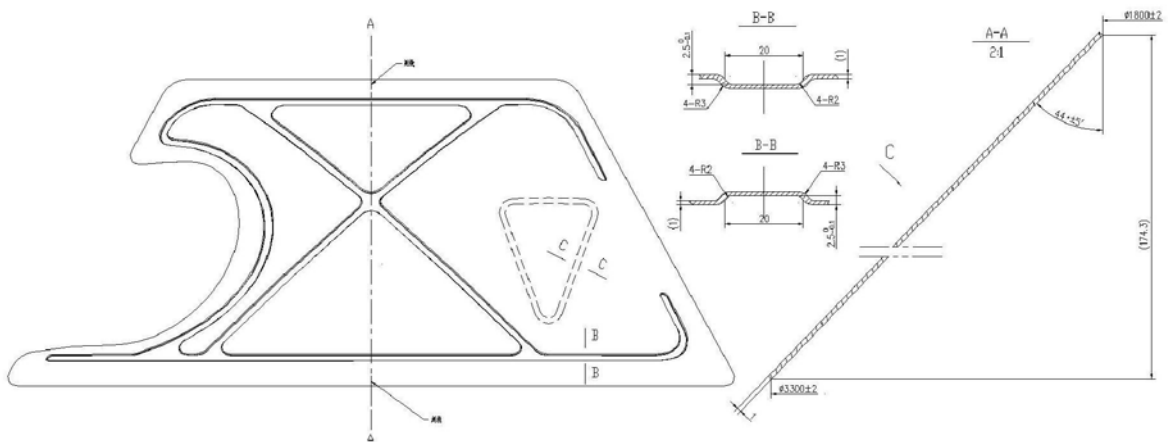


图11