

转子加工

精密 CNC 增压器转子加工 提供更大的动力

Whipple 成功研发出了一套适配螺旋转子的精准加工工艺,提高了增压器将空气压入发动机的效率,从而获得了更大的马力。

文 | Derek Korn



更多精彩请扫描二维码

Whipple Superchargers 公司更先进的转子加工工艺使它的功率加法器变得更强大。

1987 年,前车队队长兼车主 Art Whipple 在 California 的 Fresno 创办了这家公司,主要为赛车、赛艇选手以及所有希望提高发动机性能的人们生产双螺杆增压器。作为几种不同类型的“功率加法器”中的一种,增压器将额外的发动机自身所不能吸入的空气压入到发动机中。输送到发动机的空气越多,成比例添加的燃料越多,这意味着发动机的排量变得比固有排量“更大”,马力也就更大。

定制夹紧工件和成型工具确保 Whipple 的增压机可以在 B 轴车铣机上通过一次设置就可以精准打磨增压器转子。

机壳内螺旋转子的精确、非接触啮合是保证双螺杆增压器正常工作的关键。增压器设计师 Garrett Bright 解释说,在 Whipple 增压器的设计中,凸转子有三个螺旋叶,凹转子有四个螺旋叶,它们紧密贴合,相对分布。每当螺旋叶经过进气孔时,空气就会被困在转子和壳



图 1 定制和成型工具确保 Whipple 的增压机可以在 B 轴车铣机上通过一次设置就可以精准打磨增压器转子

体之间。转子的旋转会逐渐压缩空气所占据的空间,压缩一直持续到空气暴露在一个出口,通过这个出口,空气以高于大气压力的压力排入位于发动机顶部的进气歧管。

在坐标测量机 (CMM) 上进行的测量,可确保 Whipple 生产的转子以及室内机上转子的准确性。目标是将配对转子之间的间隙控制在 $125\ \mu\text{m}$ 。

增压器的效率取决于配套转子

和外壳之间的密封效果。直到最近，Whipple 还只使用一家欧洲公司生产和供应的转子，此类转子仍用于某些增压器模型。但是，自从引入新技术后，Whipple 开始自行设计和加工转子。并且由公司自行研发的加工工艺所生产出来的转子的圆柱形状和准确度优于供应商提供的转子。事实上，更精确的加工意味着新的增压器比供应商提供转子的增压器效率高 5%。

若想实现更精确的加工过程，需要花费大量的时间。但是借助先进的测量、机床、工件夹具和刀具技术，Whipple 找到了一种不仅可以精确加工转子，还可以最大程度缩短更换时间并提高切割性能的方法，从而缩短了加工周期。

过去工件夹紧一直是重要环节

Bright 先生说，在使用 Zeiss Accura 坐标测量机（CMM）对供应商提供的转子进行精确测量后，Whipple 对结果不是很满意，于是促使公司开始制造属于自己的转子。回旋工作台是这种坐标测量机（CMM）的特点之一，除此之外，它的 Calypso 测量软件

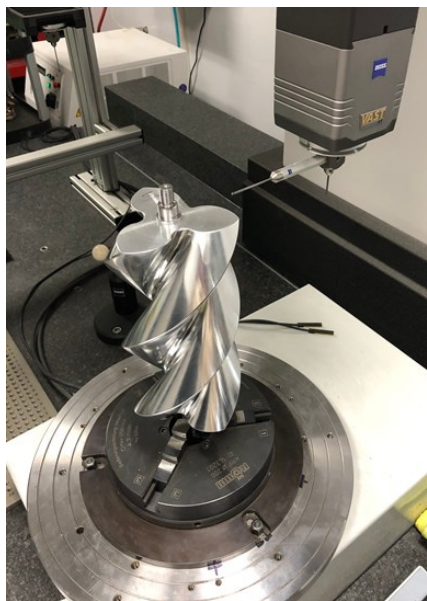


图 2 在坐标测量机（CMM）上进行的测量，可确保 Whipple 生产的转子以及室内机上转子的准确性。目标是将配对转子之间的间隙控制在 125 μm



图 3 与以前使用的 ER 夹头不同，定长夹头不会向后拉动工件，也不会向主轴施加任何负载。这使得设置时间从 10 min 缩短到了 2 min

还集成了蔡司的 Vast 扫描技术和 Gear Pro 选项。Bright 先生说，这种软件对于测量配对转子特别有效，因为他可以在凸形和凹形转子螺旋剖面上指定特定的控制点，以确定两者之间的间隙。Bright 先生认为每个转子的侧面轮廓应为 $\pm 63 \mu\text{m}$ ，以达到约 125 μm 的间隙，但是供应商供应的转子未达到这项标准。

Whipple 的转子加工工艺与供应商的相似，不过在其基础上进行了改进，提高了刚性。Whipple 于 2016 年 10 月购买了一台带有 B 轴铣头的 Mazak Integrex e-420H-S II 车铣床。首先是在另一台机器上对圆柱形 6061 铝制转子毛坯进行纵向中心钻孔，将钢轴压入其中。操作员将毛坯装载到 Integrex（机床的主轴）中，然后将副主轴夹在轴的突出轴颈上，接下来，机床的 B 轴倾斜，标定定制成形刀的方向。成形刀将在该角度（如图 1）与预期的齿形啮合；最终，随着转子缓慢旋转，旋转成型工具沿 Z 轴移动，在多个道次上形成凹槽。“就这一点来看，我们采用的是高端的两轴车床，” Bright 先生调侃道。

起初，Whipple 使用加长型回拉式 ER 夹头来夹紧轴颈。加长长度的目的是确保毛坯与副主轴之间的距离，为 B 轴主轴提供足够的间隙，使其能够根据

需要在副主轴的卡盘上尽量倾斜。然而，这些夹头的回拉功能使得加载转子毛坯既困难又耗时，夹头拧紧（导致回拉）也使主轴承受了过大的负载，这意味着必须将 W 轴的副主轴拉入才能减轻主轴负载，否则，可能会导致抖动或表面光洁度变差。因此，像 Chris Jensen 这样的操作人员会不断地进行夹紧和再夹紧的操作，直到大部分负载被消除，这个过程通常需要 10 min。此外，因为多次拧紧和松开而被严重磨损，Whipple



图 4 先对铝转子坯料进行钻孔，以便刚轴可以压入其中

不得不经常更换夹头。

与以前使用的 ER 夹头不同，定长夹头不会向后拉动工件，也不会向主轴施加任何负载。这使得设置时间从 10 min 缩短到了 2 min。

Mazak 的应用工程师 Kellen Bush 参与了 Whipple 的这个项目，根据他的建议，Whipple 联系了 Hainbuch，希望 Hainbuch 能够设计出另一种工件夹紧方式。Hainbuch 销售经理 Tom Chambers 解释说，他们的定制工件夹持解决方案不仅能确保机器的 B 轴能够倾斜到所需的角度而不受干扰，而且还提供了更高的刚性，同时简化了转换。这在很大程度上是可能的，因为使用的是定长夹头，而不是回拉式夹头。Chambers 先生说到，定长夹头可以实现“空间夹紧”，这意味着当夹头被夹紧时，转子上的毛坯不会移动，因此不会对主轴产生额外的负载。现在，只需 2 min 便可完成更换。

Chris Jensen 是这台机器的主要操作员。凸转子的循环周期为 14 min，凹转子的循环周期为 20 min。

Whipple 用于加工转子的 Kyocera Unimerco 成形刀实际上并不常用于切割金属。Kyocera Unimerco 的销售经理



图 6 涂上专用涂层后（左），转子制作完成

Anders Varga 说，这种刀具通常用于切割木材、复合材料和其他纤维材料。主要是因为金属工件与长镶刀刀刃之间的接触面积较大，大量的压力将会施加在工件上。这些刀具可用于本文介绍的转子加工应用，进一步证明了自带 Capto 主轴接口及定制工件夹紧功能机床的坚固性。

使用与转子的螺旋凹槽轮廓（经过 Bright 先生改进）相匹配的成形刀可以

避免使用多个立铣刀雕刻凹槽后的抛光作业需求。转子被加工到凸角尽可能大，但又刚好不影响后续专用图层的添加。Whipple 通常使用两个粗加工刀具和三个精加工刀具进行凸凹转子加工，这些刀具使用无涂层的微晶粒硬质合金做成，粗加工刀具的镶块通过螺钉固定在刀体上，而精加工刀具则被钎焊到刀体上。

之前使用端铣刀创建转子槽仍需进行二次精加工，现在通过使用成型刀具则不必进行二次精加工。

达到所需精度

Whipple 的加工工艺不仅实现了配对转子之间间隙被控制在 $125\ \mu\text{m}$ 的目标，而且还提高了端对端转子圆柱度的一致性。Bright 先生表示，采用原始的工件夹紧方式会导致转子一端与另一端的圆柱度差异达到 $10\ \mu\text{m}$ ，而现在，这种差异已经缩小到了 $1\ \mu\text{m}$ 。转子的周期速度也有了些许提高，凸转子的循环周期为 14 min，凹转子为 20 min。这些对于 Whipple 而言已经很满意了，因为公司的主要目标是提高转子加工精度和更换速度，目前两个目标均已实现。MM



图 5 Chris Jensen 是这台机器的主要操作人员。凸转子的循环周期为 14 min，凹转子的循环周期为 20 min