基于基准转换的盲孔零件车削工艺创新

李晓波，樊文渊，杨回国，贾娜娜
山西航天清华装备有限责任公司　山西长治　046000

摘要：以复杂盲孔零件的数控车削加工为例，介绍了利用互为基准原则重新规划其加工工艺路线，设计制作并改进高效自定心夹具，在保证加工精度的同时，提高加工效率。

关键词：基准不重合；定位误差；基准转换；自定心

1　序言

在航空航天行业，为了满足产品的特殊功能需求，很多零部件具有一些独特的结构特性，这些零部件大多具有形状结构复杂、精度要求高等特点，在加工过程中使用一般的加工方法难以加工或者达不到设计要求，必须采取一些创新的加工工艺，再配合特殊的工艺装备和工装才能顺利加工。

图1所示为一种形状结构比较复杂的盲孔零件，其整体为圆柱管状结构，内孔为盲孔形式，属于盲孔类结构零件。该零件的两端盲孔相对于同一基准具有较高的同轴度要求。在加工过程中，为了保证零件的精度要求，车削时需要多次装夹，由于重复装夹及定位基准的变化，易产生较大的加工误差，致使零件精度无法满足设计要求，且加工过程中的多次装夹定位、找正也影响加工效率。

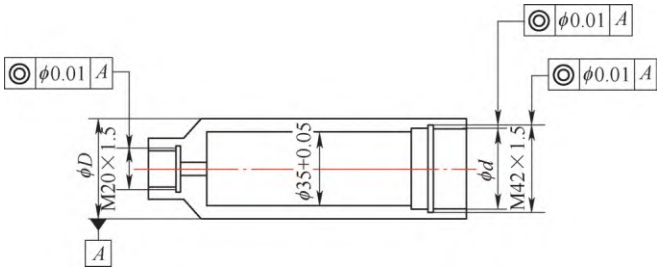


图 1　盲孔零件

2　加工现状及难点分析

由于该零件两侧内孔相对同一外圆基准有较高的同轴度要求（ϕ0.01mm），且两侧内孔均为阶梯孔，在现有的加工条件下，以外圆作为装夹基准无法实现一次装夹加工两端内孔成型，两端内孔在加工过程中需要分别进行装夹，此过程中存在重复定位、基准不重合等现象，造成零件的几何精度超差。同时，反复装夹过程中，每次装夹后都需要进行找正操作，极大地影响了加工效率，尤其是在批量加工的情况下，此种现象更加突出。

此零件在实际生产加工过程中，存在以下不足之处。

参考文献：

[1] 尚晓江，孟志华. ANSYS Workbench结构分析理论详解与高级应用[M]. 北京：中国水利水电出版社，2020.

[2] 周炬，苏金英. ANSYS Workbench有限元分析实例详解[M]. 北京：人民邮电出版社，2017.

[3] 刘猛，祖炳锋，徐玉梁，等. 基于Pro/E及ANSYS Workbench的柴油机油底壳设计[J]. 机械设计，2014，31（8）：52-56.

[4] 吕建法，闫兵，李柏林，等. 数控铣床滑枕有限元分析及试验研究[J]. 机械设计与制造，2010（5）：185-187.

MW 20241031

1）加工工序较繁琐。该零件采用常规加工方法，需要先粗、精加工外圆各部尺寸，然后以外圆为装夹定位基准，来加工两端内孔。一端内孔加工完成后，需对零件进行调头装夹再加工另一端内孔，加工过程中需进行多次装夹，必然存在基准不重合的定位误差，导致工件的加工精度，尤其是几何精度难以保证。

2）调头装夹定位的过程中，为了保证零件的加工精度，在重新装夹后，需要对工件进行找正操作。因为该零件两端内孔相对于基准的同轴度要求较高，达到ϕ0.01mm，所以需要将重复装夹后的工件找正到ϕ0.01mm之内，找正过程需要耗费较长的时间，不仅影响零件的加工效率，而且还加大了操作人员的劳动强度。

3　加工工艺措施

经过分析工件特点，根据互为基准原则[1]，决定采取先加工一端内孔，以此内孔为定位基准，加工另一端内孔，然后以两端内孔共同定位，来加工外圆各部尺寸，最终获得符合要求的零件。

3.1　重新规划加工路线

针对该零件在加工过程中存在的难点，采取逆向思维，克服常规加工方案存在的诸多弊端，利用互为基准原则，改变加工工艺路线，将外圆定位改为内孔定位，即先加工零件的内孔，然后以内孔为基准，最后一次将外圆的各部分尺寸加工完成，从而达到保证加工精度和提高加工效率的目的。

改进后的加工工艺路线（见图2）是先对零件毛坯的外圆进行粗加工，使其成为一个粗基准，利用外圆定位，粗、精加工一端内盲孔（应该为长度较大、结构较复杂的一端内孔），接着以此内盲孔为定位基准完成零件的后续加工。

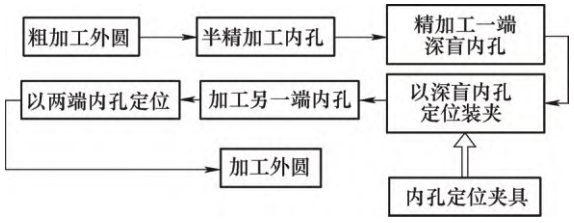


图2　改进后的加工工艺路线

虽然此加工方案可以很好地避免多次装夹的基准不重合、需要找正等弊端，但是因利用内孔无法直接在加工设备上进行装夹定位，所以还需要设计制作专用的定位夹具，作为设备与零件之间的接口，完成零件在设备上的定位和夹紧，以使加工顺利进行。

3.2　盲孔定位夹具设计

针对该零件的盲孔结构特点，设计了专用夹具[2]，如图3所示。该夹具主体分基体和伸出轴两部分。其中基体用于与加工设备连接，可以利用车床的自定心卡盘进行夹持，伸出轴部分是夹具的主体部分，用于零件的定位和夹紧。伸出轴分为光轴和螺纹两部分，光轴加工时要保证很高的尺寸精度和几何精度，其直径尺寸要根据零件内孔实际加工尺寸来配做，使两者之间的配合间隙在0.01mm之内，以限制零件的自由度，实现零件的内孔定位。因为该零件的内盲孔端部具有螺纹结构，所以在夹具的伸出轴根部设计了与之相配合的外螺纹，用于零件的夹紧。在实际生产中，可以根据所加工零件的具体结构来设计夹具的夹紧形式。零件安装在夹具上的情况如图4所示。利用该夹具实现零件盲孔定位夹紧后，可以继续进行另一端内孔的粗、精加工。

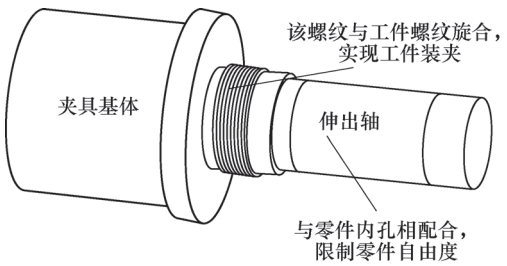


图3　盲孔零件车削夹具

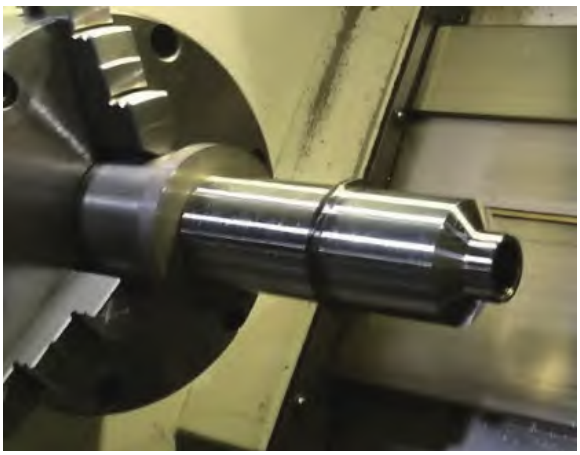


图4　盲孔零件与夹具的安装

另一端内孔精加工后，采取一夹一顶的装夹方

式，如图5所示。通过顶尖定位该内孔的装夹方式，实现两端内孔共同定位，进行零件的外圆整体加工，很好地保证了两端内孔与外圆的同轴度要求。因为省去了重复装夹及找正的工序，所以可以极大地提高加工效率。

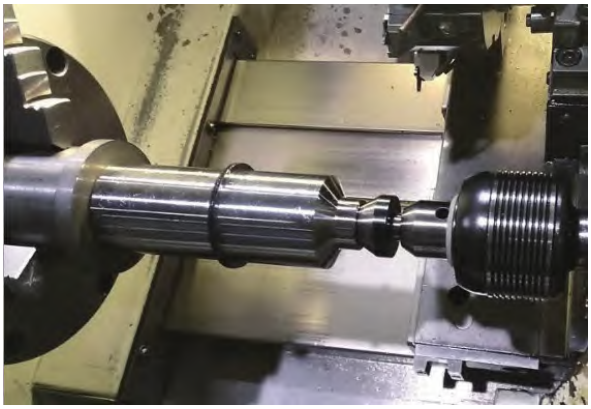


图5　一夹一顶装夹

3.3　高效自定心夹具创新

上述夹具虽然可以实现盲孔零件的高效加工，保证零件的加工精度，但仍有不足之处，如图6所示。主要体现在以下两点。

1）夹具定位部分与零件内孔为间隙配合，当零件内孔尺寸加工为最大极限尺寸时，此时配合间隙可能过大，超出定位误差范围，最终导致零件几何精度超差。

2）零件与夹具利用螺纹旋合固定，靠零件端面与夹具的摩擦力锁紧，由于其端面面积较小，所以锁紧力也较小。零件加工过程中，虽然理论上右旋螺纹在正常车削过程是旋紧状态，但是在产生振动等特殊情况下，还是可能出现松脱。

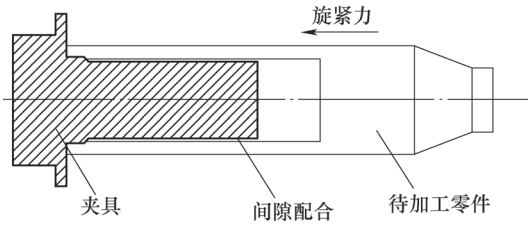


图6　盲孔夹具的缺点

针对以上缺点，对夹具进行了创新设计。重新设计的夹具如图7所示。重新设计的夹具可以利用零件和夹具的旋紧力自动完成定心和夹紧[3]。该夹具有效长度稍长于工件盲孔深度，夹具基体的定位部分被圆周分布的8条狭缝切割为8等份，如图8所示。

当工件利用螺纹与夹具旋合时，工件盲孔底部平面顶住夹具顶杆，通过弹性元件推动锥形块，使夹具基体胀开，以达到定位和夹紧的作用。弹性元件的作用是：夹具胀开夹紧后，工件能够继续旋紧，使其端面能够与夹具基体的定位面紧密贴合，如图9所示。自定心夹具实物及零件安装如图10所示。

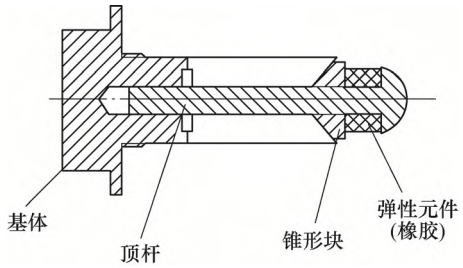


图7　重新设计的夹具

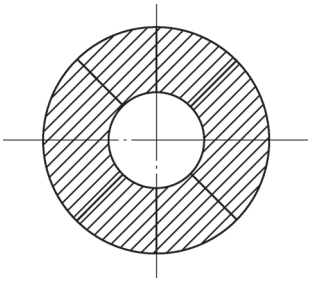


图8　夹具横截面

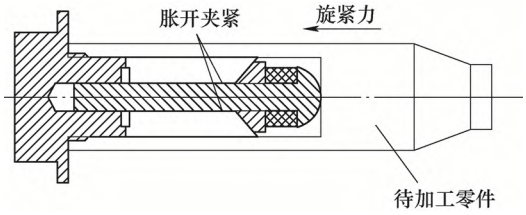
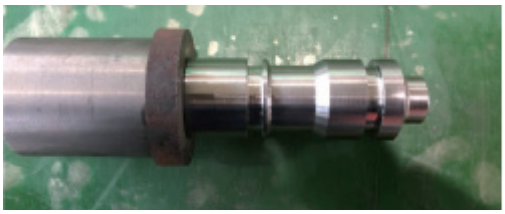


图9　利用自定心夹具装夹盲孔零件

a）实物



b）零件安装

图10　自定心夹具实物及零件安装

该夹具的基体需要在数控车床上车削完成，因为需要在夹具基体上线切割加工等分窄缝，所以要将其从车床上取下，等窄缝加工完成后，再次装夹到数控车床上用来加工零件，这样必然会造成重复装夹，夹具基体的定位部分会产生较大跳动误差。因此夹具基体车削时，其螺纹部分暂不加工，定位部分需要留适当的精修余量，待夹具基体窄缝加工完成再次装夹到车床上时，再加工螺纹部分，由于定位部分开有窄缝，无法使用车削加工，所以可采用车床配合外圆磨削头以磨削的方法进行精修。该夹具定位部分的直径尺寸应根据零件内孔实际尺寸确定，使其配合间隙在0.01～0.015mm。为了保持合适的胀紧力，夹具弹性元件采用较硬的橡胶板制成，其厚度尺寸应根据零件内孔深度尺寸确定，以保证夹具基体定位端面与顶杆头部的尺寸大于零件内孔深度1.5～2mm。

由于该夹具定位部分是可胀开结构，可以在一定范围内补偿其与零件内孔的间隙误差，所以该夹具经过微量修磨其定位部分，可以重复使用若干次。该夹具基体的螺纹部分与零件的螺纹采用中等配合精度，使其旋合时只具有轴向的紧固能力，而其径向定位则由夹具的定位部分完成。零件安装在夹具上时，螺纹旋紧后，定位杆部分与零件内孔壁处于贴紧状态，但由于弹性元件的存在，零件与夹具并非处于锁死的状态，待零件加工完成后，可以使用柔性的带状扳手等工具将其旋下。

该自定心夹具具有以下特点。

1）利用零件安装时的旋紧力，消除夹具与内孔的间隙，实现快速地夹紧和自定心定位。

2）夹具与零件内孔接触面积增大，摩擦力同时增大，保证零件与夹具的锁紧力。

3）利用夹具的弹性元件，补偿待加工零件的内孔深度误差，使零件实现内孔自定心定位的同时，能够继续旋合，实现端面的定位。

4）该装置的高效自定心特性，可应用于智能制造产线中盲孔零件的批量生产。

该夹具在实际生产中主要用于批量零件的加工，并且其结构较简单，加工也较为便捷，尽管其重复利用率较低，但是与保证批量零件的整体质量及提高加工效率产生的效益相比，还是具有一定经济性的。

4 结束语

针对复杂结构的盲孔类零件，根据互为基准原则，重新规划加工工艺路线，使得在整个加工过程中，加工余量均匀，保证零件的加工精度。另一方面通过高效率的自定心夹具，可以减少加工辅助时间，提高生产效率。此外，利用高效自定心夹具，可以方便将该零件的加工并入智能制造生产线，以实现高效率、高质量的大批量生产。

参考文献：

[1] 余诚英. 互换性与技术测量[M]. 2版. 北京：化学工业出版社，2014.

[2] 吴拓. 简明机床夹具设计手册[M]. 北京：化学工业出版社，2010.

[3] 朱耀祥，浦林祥. 现代夹具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2010.

MW 20241014

新闻记者证公示信息

根据国家新闻出版署颁布的《新闻记者证管理办法》《国家新闻出版署关于开展2025年度新闻记者证核验工作的通知》文件要求，我单位对《金属加工（冷加工）》新闻记者证持证人员进行了严格审核，持证人员遵规守法且符合法定许可条件。现将拟通过新闻记者证年度核验人员名单进行公示，并接受社会监督，公示期20天（2025年1月1日至1月20日）。

姓名 吕建新
记者证号 K11562666000003
工作岗位：编辑

姓名 李一帆
记者证号 K11562666000004
工作岗位：编辑

监督举报电话：010-88379790
国家新闻出版署监督举报电话：
010-83138953

《金属加工（冷加工）》