活塞杆本体精加工难点分析与解决方案

陈刚[1]，张高媛[2]，宁丹[3]

1．上海电气风电集团股份有限公司西安分公司　陕西西安　710076
2．西安益翔航电科技有限公司　陕西西安　710065
3．宁波日星铸业有限公司　浙江宁波　315700

摘要：对活塞杆本体的精加工难点进行原因剖析，制定组合式加工方案，利用现有工装，配套一体化成形铣刀和螺纹铣刀，完成堆焊层等径孔和圆周面阶梯孔的加工，为类似产品的精加工提供了理论支持与实践经验。

关键词：活塞杆本体；精加工；工装；刀具；等径孔；阶梯孔

1　序言

活塞杆本体作为水下装备的核心部件，设计时考虑其使用环境和功能要求，采用局部堆焊镍基合金的方法来提升防腐性能。对密封区域的表面粗糙度要求极高，以此来保证金属密封的可靠性。提高了加工过程的难度系数，增加了产品的报废风险。活塞杆本体精加工方案的合理性将直接影响产品的加工效率与成品合格率。

2　加工难点分析

采用头脑风暴分析策略，结合采油树活塞杆本体工程图样中的加工内容，对造成活塞杆本体精加工难度大的原因进行剖析，从设备、人员、测量、材料和加工方法5个方面进行归纳整理，构建鱼骨图[1，2]将相关因素一一列出，活塞杆本体精加工难点分析如图1所示。

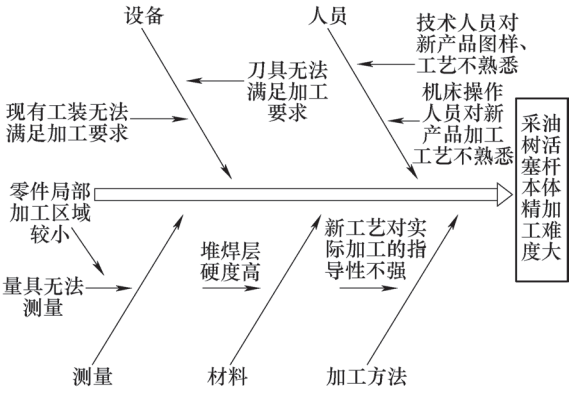


图1　活塞杆本体精加工难点分析

（1）现有工装无法满足工件加工要求　考虑到工件的加工位置和加工内容与现有设备的匹配性，选择在落地镗铣床上进行加工。但由于该工件外形结构尺寸较小，若采用常规V形铁工装装夹，则在执行某些加工内容的过程中，将存在超出机床加工范围的风险。

根据活塞杆本体外形尺寸和现有工装，运用CAD模拟装夹，并对可能存在干涉的区域进行放样。采油树活塞杆本体装夹模拟如图2所示，端面加工干涉区域放样如图3所示，外圆柱面电接头安装孔加工干涉区域放样如图4所示。

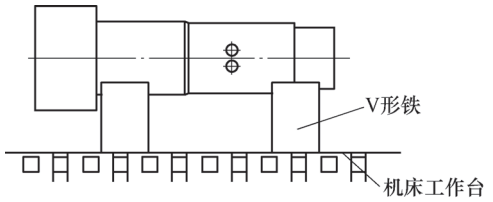


图2　采油树活塞杆本体装夹模拟

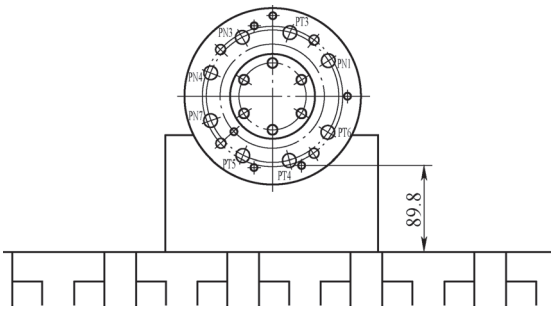


图3　端面加工干涉区域放样

图2中活塞杆本体外圆周上侧向孔加工基本可以完成；图3中工件端面堆焊层最低加工位距工作台为

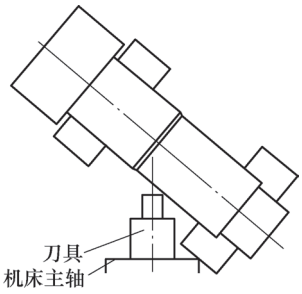


图4　外圆柱面电接头安装孔加工干涉区域放样

89.8mm，接近机床90mm的低位加工极限，该加工内容存在无法实现的风险；图4中机床主轴与常规V形铁工装出现了干涉情况，加工过程中存在因刀具悬空过长而产生振刀，以及因机床主轴与工装安全间隙过小而引起撞击的风险。

（2）工件精加工区域堆焊层可加工性差　为了提高采油树活塞杆本体局部区域的防腐蚀性能，对该区域进行镍基合金堆焊，堆焊层的加工内容主要是等径孔和阶梯孔的加工。

1）堆焊层等径孔的加工。查阅文献可知，耐腐蚀镍基合金的硬度较高，且堆焊后局部存在硬点，常使用具有表面镀层的高钴钻头实现等径孔的加工[3, 4]。

2）圆周上阶梯孔的加工。圆周上阶梯孔加工要求如图5所示，阶梯孔主要包括主体等径段和过渡锥孔段，要求两段顺滑过渡，不能有接刀痕迹。对于锥孔段的加工，需要利用机床配套的平旋盘完成，无形中增加了累积误差，对加工精度有直接影响，需要考虑优化加工工艺。

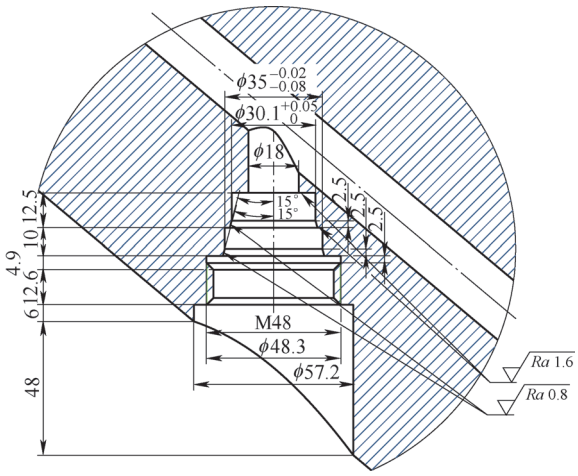


图5　圆周上阶梯孔加工要求

（3）工件精加工区域表面质量要求高　该工件为水下装备的核心部件，长期处于水下工作状态，需要具备可靠性较高的密封方案保证其正常运行，为此，其配合接口应具有良好的密封特性，多组金属密封锥面的设计要求表面粗糙度值Ra=0.8μm，如何制定加工方案成为关键。

（4）工件的检测难度大　由于工件加工部位外形尺寸较小，常规量具无法完成检测，需要通过对刀具切削刃外形尺寸、机床加工精度等因素进行控制，实现等效检测。

（5）操作人员对工艺不熟悉　工件作为新产品中的核心部件，其加工工艺也是首次执行，操作人员对于工艺文件的解读差异，也会成为工件加工过程中的风险点。

3　解决方案

（1）设计配套工装　机床的加工能力范围已经无法改变，只能通过设计新工装，将工件装夹在机床的加工范围内。结合待加工工件的基本状态，从以下两方面入手。

1）对已加工区域的保护。考虑到工件端部为已经完成加工的外螺纹结构，设计了定位保护套对螺纹进行防护，同时保证了装夹外圆尺寸的一致性。

2）对现有V形铁工装进行改造。结合现有支撑工装V形铁，新设计圆形垫块，垫块表面采用磨床加工，表面平面度、表面粗糙度按照基准垫块的要求来执行。新设计的工装如图6所示，新工装的应用如图7所示。



图6　新设计的工装

（2）采用定制刀具　对于硬质合金堆焊层的钻削加工，采用定制的带有涂层的高钴钻头进行加工。

对于阶梯孔的加工，落地镗铣床一般采用平旋盘刀头来完成。考虑到加工区域尺寸较小和平旋盘

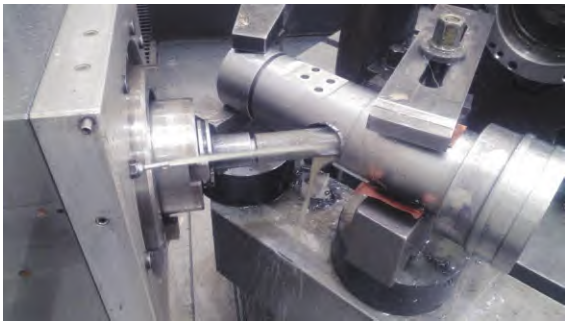
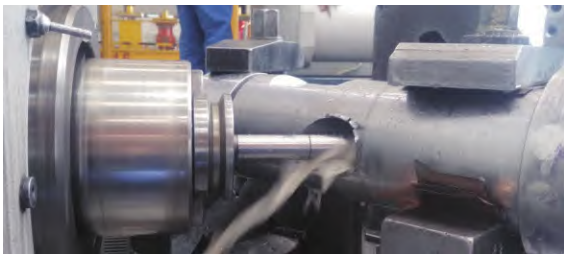


图7　新工装的应用

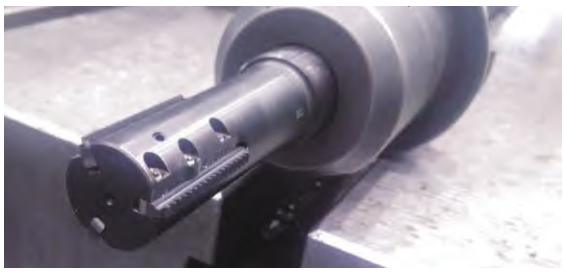
的加工精度问题，调整工艺后，采用一体式复合铰刀、内冷可调式精镗刀和螺纹铣刀等刀具进行组合式加工[5, 6]。定制刀具如图8所示。



a）一体式复合铰刀



b）内冷可调式精镗刀



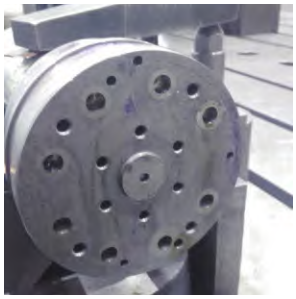
c）螺纹铣刀

图8　定制刀具

（3）解决加工检测问题　通过合理选取加工刀具和制定完备的加工工艺，实现等效检测来解决检测问题。

（4）有效执行工艺方案　结合生产进度安排，工艺工程师开展技术交底工作，并全程参与加工，保证工艺方案得到有效的执行。

（5）方案实施与成果展示　全程推动解决方案实施，加工结果如图9所示。



a）堆焊层等径孔



b）阶梯孔整体

图9　加工结果

4　结束语

本文针对活塞杆本体的精加工难点进行原因剖析和工艺改进，制定组合式加工方案，改造现有工装，配套一体化成形铣刀和螺纹铣刀，解决了端面堆焊层等径孔和圆周面阶梯孔的加工难题，为类似产品的加工提供了理论与实践支撑。若后期有大批量生产，刀具磨损带来的质量、效率和成本问题将会凸显，为此，该产品的工艺优化需要在数控机床升级和一体成形铰刀的应用方面持续推进。

参考文献：

[1] 曾雪莲. 机械传动齿轮失效模式分析[J]. 宁夏师范学院学报，2024（1）：61-65.

[2] 黄辉，曹蕊蕊，张文浩. 锂电池事故诱发因素分析及风险等级评估[J]. 科技创新与应用，2022（32）：100-102，107.

[3] 汪东明，单以才. 718镍基合金切削加工过程刀具磨损影响研究[J]. 组合机床与自动化加工技术，2024（4）：159-163.

[4] 张好强，张傲，吴昱鑫，等. 镍基合金微钻削加工现状与分析[J]. 制造技术与机床，2022（11）：71-77.

[5] 孔维森，徐兴硕，陈文成，等. 高精度钛合金锥孔铣削加工工艺与测量技术研究[J]. 组合机床与自动化加工技术，2020（6）：142-144，149.

[6] 谭德宁，张书华. 锥度深孔数控镗刀加工方法[J]. 工具技术，2021（9）：101-104.

MW 20250121