

基于 MAZAK E670H 车铣复合加工 转子工艺方法

陈健

(中化集团益阳橡胶塑料机械集团有限公司, 湖南 益阳 413000)

摘要: 在以往, 密炼机转子工序分散, 车、铣、钻、划线等多工序多完成; 加工高洛铸铁高硬材料、深孔加工, 效率较低, 使转子的生产效率受到设备、刀具、加工方式等制约。本文是以剪切型密炼机 GN400-4 棱转子为例, 介绍了如何利用马扎克 E670H-4000U 或者 6000U 车铣复合设备的加工过程, 设计车铣复合工艺, 工艺设计系统的阐述了转子的零件结构、机床结构、装夹方案、刀具方案、零件的材料特性和刀具材料、加工参数以及各个工序的工步设计。将过去的多工序变为现在的集车、铣、钻的集成加工方式, 使用陶瓷、立方氮化硼、可转位枪钻等刀具, 经验证, 可以有效提升转子生产效率。

关键词: 转子; 车铣复合; 陶瓷; 高洛铸铁; 深孔

中图分类号: TQ330.41

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)04-0033-06

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.04.008

0 序言

转子作为密炼机设备最为核心的零件, 由转子体、转子轴组成, 零件单独加工好后, 还要热装穿轴, 在以往的生产过程中, 工艺分散, 工艺链较长, 造成加工工期较久。

转子体的表面是焊接合金, 硬度较高, 有裂纹存在, 转子体的端面合金粗加工是在普车上进行的, 车削高洛铸铁合金, 使用的是 YG8 刀具, 加工线速度是很低的, 一分钟只有几转, 加工效率是非常低的; 转子的加工分为多道工序, 需要在车床、镗铣等机床上完成, 车床上精车合金、架子口、密封槽, 精车完后, 又要人工抛光, 加工完, 还要划线, 铣键槽、钻深孔和螺纹孔等, 整个加工效率非常低。

在使用 MAZAK E670H-4000U 和 6000U 加工转子后, 根据新设备、新刀具、新方法, 重新设计了工艺流程, 包含装夹方案、刀具、加工参数, 使得软件、硬件、调试、质量控制形成一个工艺系统。可以将车、铣、钻集中到一个工序, 缩短了整个工艺链, 加工精度和质量得到了提高; 使用了 CBN 和陶瓷、深孔钻等刀具, 使加工高硬材料和深孔, 效率得到了大幅度提升。

试验表面, 粗车合金层, 可以提高效率 4~5 倍, 精车提高效率 2 倍, 深孔加工配合高压冷却技术, 使

得在转子加工, 生产效率和质量都大幅度提高。

1 零件结构

1.1 转子体

转子分整体式和穿轴式, 以 GN400-4 棱穿轴式为例。转子体为铸钢件如图 1, 外部分为中间曲面、两端面和工艺止口, 内部为配合孔和直水道, 左、右两端面焊接高洛铸铁材料, HRC55-60, 有裂纹。

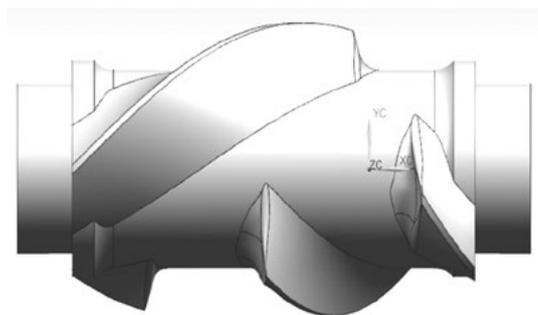


图 1 转子体

1.2 转子轴

转子轴如图 2, 45 钢, 调质 HB220-250, 轴分布键槽、注油孔、螺纹孔等。

作者简介: 陈健 (1985-), 男, 高级主任工程师, 本科, 主要从事数字化制造和工艺研究。

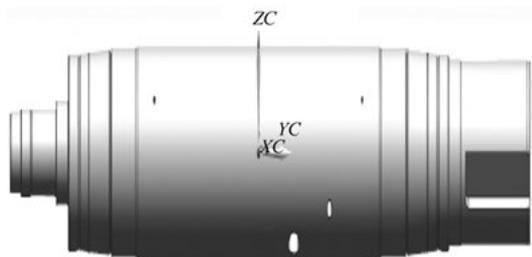


图2 转子轴

1.3 转子

两零件独立加工,穿轴组装,成为转子部件如图3,组装后的零件,工序为车端面合金、架子口、密封槽,铣键槽,钻深孔等。

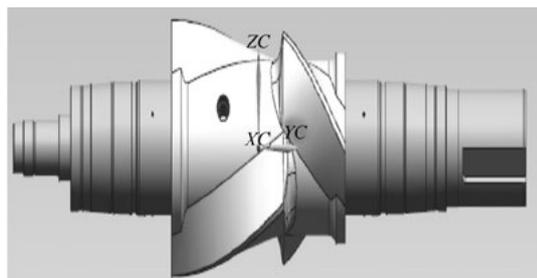


图3 转子

2 机床结构

该设备 MAZAK E670H-6000U 如图4,拥有7轴, X、Y、Z、B、C、W、V,具备五轴联动功能, X1 025 mm、Y670 mm、Z6 170 mm, 24" 液压卡盘,中心架 350~700,大推力顶尖,承重可达7 t,大扭矩高性能主轴,车主轴 45 kW,铣削主轴 37 kW。



图4 MAZAK 机床结构

配备 LBB 长镗杆系统如图5,采用山特维克减震镗杆,长度 1.8 m,内装长度 0.5 m,可镗长度 1.3 m。



图5 LBB 长镗杆

3 装夹方案

采用的是一夹、一顶、一架,夹小头,顶大头,中心架置于顶尖端,如图6。

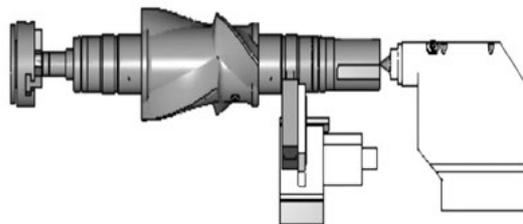


图6 装夹设置

(1) 堵板安装:按要求在转子轴右端安装工艺堵板。

(2) 设置参数:以5 t零件为例,包含24液压卡盘夹持力3 MPa、中心架夹紧力2 MPa、顶尖的推力5 MPa,该机顶尖推力最大为7 MPa,加工约7 t重零件,对应就是约1 MPa=1 t。

(3) 一夹:液压卡盘端,小头的槽需置于,任意两爪中间处。

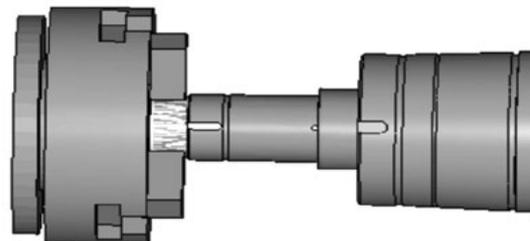


图7 卡盘角度

(4) 一顶:顶尖端,需配备工艺堵板,安装在转子轴堵板孔内。

(5) 安装技巧:小头的槽与转子体架子口,数铣毛坯,预留的工艺基准在同一角度,零件较重,吊装后,零件无法移动,将工件移动至机床内,观察基准平面与三爪卡盘空位在同一角度后,再安装零件。

4 材料

转子体焊接的是高洛铸铁,该材料硬度较高, HRC55-60,有1 mm的裂纹,架子口为铸钢,精车要车这种混合材料,对刀具提出了很高的要求。

4.1 高洛铸铁

因为转子体在炼胶时候,内部环境恶劣,不断的磨损,胶料发生各种化学反应,需要转子体表面材料需要耐磨,耐磨损等。高洛铸铁具有优良的抗磨性能

和高温塑性较高的硬度和较小的硬度梯度、高耐磨性、高回火稳定性和抗腐蚀性。通过焊接，用焊丝或者焊条，在转子体表面焊接合金，形成黑皮和裂纹，裂纹宽度在 1 mm，在车削会造成断续车削。

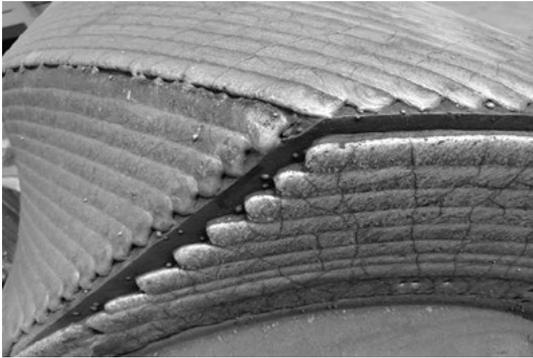


图 8 转子体表面

4.2 陶瓷

陶瓷刀具的特点是硬度高、耐磨性好、耐高温、耐热性好、化学稳定性好、摩擦系数低、原料丰富。

表 1 陶瓷的物力学性能

类型	硬度	抗弯强度	
	Al ₂ O ₃	93~94.5	400~700
氧化铝系	Al ₂ O ₃ -碳化物	93.5~95.3	700~1 000
	Al ₂ O ₃ -ZrO ₂	91~92	700
	复合 Al ₂ O ₃ -Zr	93.2	800
	Al ₂ O ₃ -TiB ₂	94	750
氮化硅系	Si ₃ N ₄	91~92	700~900
	组合 Si ₃ N ₄	93.5~93.6	740~950
氮化硅-氧化铝系		91~94	800~1 000

使用过多家金属陶瓷和陶瓷，京瓷、山特维克、森拉天时、伊斯卡、株洲钻石等，复合氮化硅-氧化铝系陶瓷更适合这种材料的车削如图 9。

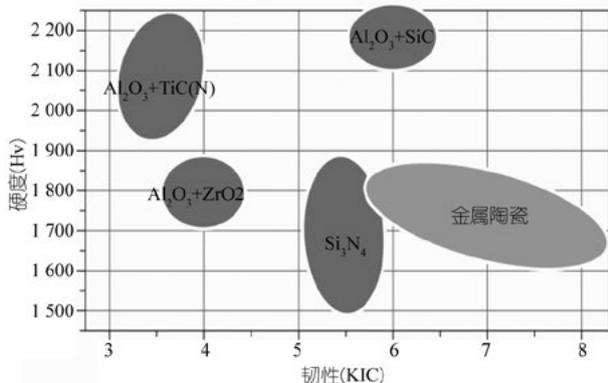


图 9 陶瓷材料

塞隆 (sialon) 陶瓷刀具是用氮化铝，氧化铝，和氮化硅的混合物在高温下进行热压烧结而得到的材料。塞隆 (sialon) 陶瓷刀具具有很高的强度和韧性，但是，

塞隆 (sialon) 陶瓷刀具的热膨胀系数较低，与钢的溶解磨损速度比 Al₂O₃ 基陶瓷刀具高很多，FE 向刀具中的扩散会造成比较严重的月牙洼磨损，故不适合加工钢料。

综上，塞隆 (sialon) 陶瓷刀具适合转子体端面的粗车，转子状态的半精车，因为端面的垂直度是 0.05，从上往下车，刀具易破损，从下往上车，先车到的是铸钢，易磨损，达不到该加工要求，所以只做半精车。

4.3 CBN

立方氮化硼虽然具有各项优异的性能，但是并不适合该零件的加工，尤其是精加工，精车后，台阶感明显，从下往上车，先接触的铸钢，会造成表面污浊，粗糙度和光洁度均达不到要求。可用于清补焊渣，加工效率比陶瓷要高如图 10。



图 10 CBN, R6 刀片车削, 台阶感, 黑色

5 刀具

零车削合金统一使用的 R6 刀片，无后角的，氮化硅系陶瓷适合粗车和半精车，断续加工易破损；清根使用 80 度的 CBN；精车选择带后角的合金刀片，微量车削，余量 0.05~0.1 左右，精车未测试带后角的陶瓷和 CBN 材质，无后角的圆刀片不满足，部分 CBN 类 80 度车刀片刀尖易破损如表 2。

6 工艺设计

6.1 粗车转子体合金

这个时候零件是热处理退火状态，表面有黑皮，很硬，我们采用的普通车床开粗如表 3，工况并不是很稳定，试验证明，陶瓷要比 CBN 合适，在清除圆刀片根部的时候，CNMG120408 的 CBN 要比陶瓷耐用。

表 2 刀具方案

号码	类型	名称	备注
工序 1-普通车床			
T1	外圆车刀	RNMN120700	粗车-陶瓷
T2	外圆车刀	CNMG120408	清根-CBN
工序 2-车铣复合-G54			
T1	外圆车刀	RNMN120700	粗车-CBN
T2	外圆车刀	RNMN120700	半精车-陶瓷
T3	外圆车刀	CNMG190612	车架子口
T4	外圆车刀	RDMW1204	精车端面
T5	端面槽刀	4R0.2	车端面槽
T6	面铣刀	D63R6	粗铣键槽
T7	端铣刀	D32 刀片	清角键槽
T8	端铣刀	D20 合金	精铣键槽
T9	钻孔	D15 合金钻头	预钻
T10	钻孔	D15 枪钻	枪钻
T11	钻孔	D24.5U 钻	钻底孔
T12	端铣刀	D10 合金	预钻铰平
T13	钻孔	D10 枪钻	枪钻
T14	攻螺纹	Rc3/4	攻螺纹
T15	钻孔	D15 合金钻头	预钻
工序 3-车铣复合-G55			
T16	钻孔	阶梯钻头	钻孔
T17	钻孔	D8.5 合金钻头	钻孔
T18	攻螺纹	M10 丝锥	攻螺纹

表 3 粗车转子体端面合金工步

工序 1-普通车床	
工步	内容
OP1	粗车
OP2	清根

从图 11 可以看出，陶瓷刀片在连续车削时候，粗糙度可以，进入到上面会断续切削，加速磨损，形成台阶，无法保证加工的垂直度。



图 11 陶瓷车削

6.2 精车端面合金和密封槽

(1) 因为焊接后，可能会造成合金熔覆在架子口，一定的深度，这个深度和宽度数值上具有不确定性，根据长期的经验，深度 5 mm 和宽度 10 mm 是个合理

的范围；如果没有增加 OP3，会造成硬质合金车架子口，刀具缺口很大，最后架子口会有薄片的存在，不易清理掉。

(2) 因为加工中使用的，无后角，陶瓷和 CBN 刀片，精车达不到粗糙度和垂直度要求，使用带后角 7 度的硬质合金圆刀片，车削时候，余量不能大，0.1 mm 以下，因为是使用的陶瓷半精车，有可能会造成该处余量不均匀，打表测量垂直度后，再重新车一刀即可。车削方向，要从小径到大径，因为前面是连续的，后面是断续的。

(3) 密封槽的粗车，径向余量不易过小，因为这个是穿轴式，易造成槽内形成薄片，非常难清理掉，有残留会使降低密封圈的密封效果，所以，要保证车后断屑，余量留 0.5 mm，从上和下往中间精车，不要随形如表 4，图 12。

表 4 精车转子体工步

工序 2-车铣复合-G54	
工步	内容
OP1	清补焊，端面余量 0.3 mm，架子口避空余量 1 mm。
OP2	粗车架子口，端面余量 10 mm。
OP3	粗车合金熔覆层，5 mm 深。
OP4	粗车剩余架子口
OP5	精车架子口，去除铁皮。
OP6	检查是否有铁皮
OP7	半精车端面，端面余量 0.05~0.1 mm。
OP8	精车端面。
OP9	雷尼绍测量端面尺寸，百分表打垂直度。
OP10	粗车密封槽，径向余量 0.5 mm，轴向余量 0.1 mm。
OP11	精车密封槽

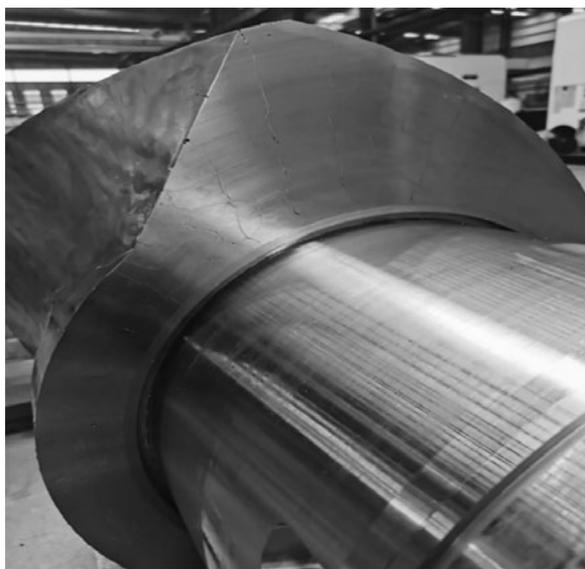


图 12 精车合金端面和密封槽。

6.3 铣键槽和钻孔

铣轴上键和钻孔工步见表 5。

表 5 铣轴上键和钻孔工步

工序 2-车铣复合-G55	
工步	内容
OP1	粗铣键槽
OP2	键槽清根
OP3	精铣键槽
OP4	移动顶尖至原点 M841
OP5	预钻 D15 底孔, 引导孔深度 1.5D。
OP6	枪钻 D15 孔, 深度 800 mm。
OP7	钻 D24.5 孔。
OP8	攻螺纹 Rc3/4。
OP9	铰平 D10 孔, 保证导引深度。
OP10	枪钻 D10 孔
OP11	回退顶尖至 M842 处
OP12	松开中心架
OP13	吊装卸活

表 6 小头端加工工步

工序 2-车铣复合-G56	
工步	内容
OP1	阶梯钻, Rc3/4 底孔和 D15 枪钻底孔。
OP2	钻 D15 孔。
OP3	铰平 D10 孔。
OP3	枪钻 D10 孔。
OP4	钻 M10 底孔至 D8.5
OP5	攻螺纹 M10。

6.4 掉头加工

小头端加工工步见表 6。

7 加工参数

表 7 列出刀具的线速度和每转进给或者每齿进给量, 是基于转子轴材质为 45 号钢, 调质 HB220-250, 转子体架子口是铸钢, 转子体端面是高洛铸铁, HRC60, 裂纹状态, 因刀具和加工工况有可能存在不同, 加工参数仅供参考。

表 7 加工参数

号码	名称	Vc	F
T1	RNMN120700	50	0.3
T2	RNMN120700	50	0.1
T3	CNMG190612	150	0.3
T4	RDMW1204	40	0.1
T5	4R0.2	50	0.1
T7	D15 合金钻头	80	0.1
T7	D15 枪钻	80	0.05
T8	D24.5U 钻	120	0.1
T9	D10 合金	50	0.05
T10	D10 枪钻	50	0.05
T11	阶梯钻头	100	0.1
T12	D8.5 合金钻头	100	0.1
T13	M10 丝锥	100	1.5
T14	D63R6	200	0.5
T15	D32 刀片	200	0.3
T16	D20 合金	150	0.05

8 软硬件和 NC

8.1 刀具设置

车削刀具分为左手、右手、中置等, 我们的刀具统一为左手刀具, ID 代码 A 对应的是 T01.01, 分度角度标准是面向操作者, 实现从右往左车; B 对应的是 T01.02, 分度角度反转是背向操作者, 实现从左往右车。

8.2 冷却系统

高压冷却是把切屑液压力升至特定压力后, 通过内部切削液通道, 精准达到切削区域, 快速冷却, 车刀、U 钻、枪钻使用高压冷却, 都可以获得良好的效果。当然, 陶瓷铣刀、CBN, 并不适合使用冷却液见表 8。

(1) 从冷却效果来看。高压冷却技术是采用高压冷却精准足量地直喷至刀片切削区域, 从而可以最高限度地带走切削区域的热量, 达到快速冷却的目的。

(2) 从控屑能力来看。高压冷却除了有效降低切削热, 还使得切削脆性增加, 易于折断。

(3) 从刀具寿命来看。高压冷却, 减少刀具磨损, 延长刀具使用寿命。一般情况下, 加快切削速度会加剧刀具磨损, 但是采用高压冷却后增加进给量, 刀具寿命的缩短就没有那么明显。

(4) 可以在 ESPRIT 里面设置高压冷却的压力。使用 M131 M100 或者 M131 K650 控制压力, 一般情况下, 使用中段 M103 即可。

表 8 高压冷却控制

用户定义	M 代码
< 400	M100
< 500	M101
< 700	M102
< 800	M103
< 900	M104
< 1 000	M105
≥ 1 000	M106

9 结论

(1) 本文以 GN400-4 棱转子为例, 设计了完整的加工工艺路线, 制定了车铣复合工艺、装夹方案、刀具选型, 使用 ESPRIT 编程, MAZAK E670H 6000U 加工, 经过各项工艺参数和刀具的优化, 在批量生产中得到了很好的结果验证。

(2) 对于高硬材料的加工, 合理使用陶瓷、CBN、硬质合金刀具, 在经过大量试验的基础上, 该工艺技术成果的应用满足所有密炼机型号的转子加工, 对类似材料零件的加工, 有了很好的借鉴。

Process method for machining rotors based on MAZAK E670H turning milling composite machining

Chen Jian

(Yiyang Rubber & Plastics Machinery Group Co. LTD., Yiyang 413000, Hunan, China)

Abstract: In the traditional internal mixing machine rotor machining process, multiple processes such as dispersion, turning, milling, drilling, and marking are usually required. Due to the processing material being high hardness high chromium cast iron and involving deep hole machining, the overall efficiency is low, and the production efficiency of the rotor is constrained by equipment, cutting tools, and processing methods. This article takes the shearing type internal mixer GN400-4 angular rotor as an example to explore how to use Mazak E670H-4000U or 6000U turning and milling composite equipment for processing, and designs corresponding turning and milling composite processes. The process design system provides a detailed explanation of the rotor's component structure, machine tool structure, clamping scheme, tool scheme, material characteristics, tool material selection, machining parameter settings, and step design for each process. By integrating traditional multiple processes into an integrated machining method that combines turning, milling, and drilling, and using advanced tools such as ceramics, cubic boron nitride, and reversible gun drills, it has been verified that this method can significantly improve the production efficiency of rotors.

Key words: rotor; turn-milling combined machining; ceramics; high chromium cast iron; deep hole

(R-03)

郑杰：加快国产特种橡胶生产应用

Zheng Jie: Expediting the production and application of domestically produced specialty rubber

2025年3月5日，十四届全国人大三次会议，在北京人民大会堂开幕。来自广东农垦茂名垦区的全国人大代表郑杰，如期参会。作为茂名农垦集团公司科技生产部部长，他提交了五个方面的议案建议。其中，“加快国产特种天然橡胶生产应用”的建议，事关中国天然橡胶事业发展。

郑杰表示，随着中国高端制造领域的发展，对高性能特种天然橡胶的需求很大。如航空轮胎、高铁减振、探空气球等，都必须用到大量特种橡胶。然而，中国特种天然橡胶高度依赖进口。特别是航空轮胎领域，国产的普通标准胶，难以满足高性能的要求，全部依赖进口。这是航空轮胎材料中，唯一未实现国产化的关键材料，也是“卡脖子”的材料。

近年来，国产特种天然橡胶的研制、生产与应用，取得新突破。但在特种胶生产质量、供给能力，以及下游企业应用上，都有待加强。加快国产特种天然橡胶生产应用，是突破“卡脖子”困境的战略选择。

同时，也是保障国家战略资源安全的重要举措。

他建议，由国家发改委统筹协调相关部委，尽快制定政策，加快国产特种橡胶生产应用进程。包括特种胶园生产补助、加工设备更新改造、产业链上下游对接，以及橡新技术新产品应用推广等方面。

摘编自“轮胎世界网”

(R-03)

