

基于 ESPRIT 和 MAZAK E670H 车铣复合加工转子轴工艺方法

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: 以 GE1000T 密炼机转子轴为例, 分析零件外部结构, 加工特征、尺寸、几何要素, 开展整体工艺流程设计; 重点对车铣复合设备上的精加工工序设计, 全面分析半精车预留毛坯、定位装夹、刀具选型、加工参数、刀路走法、中心架和顶尖附件的使用、NC 代码等; 对车铣复合精加工工序中的各个工步进行优化设计, 尤其是加工中遇见的难点, 诸如精车尺寸和粗糙度控制、深孔钻削方法等进行重点分析; 以及 MAZAK E670H 6000U 设备和 ESPRIT 软件, 软件和硬件结合使用的方法进行摸索。

关键词: 转子轴; 车铣复合; MAZAK; ESPRIT; 车削; 深孔钻削

中图分类号: TQ330.41

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)12-0029-09

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.12.007

0 前言

目前, 国内车铣复合设备还未普及, 尤其是大型的车铣复合设备, 在橡塑设备领域, 本公司是首家使用车铣复合的企业, 所使用的 MAZAK E670H 6000U-6 m 和 4000U-4 m, 7 轴 5 联动车铣复合机床, 集成了车、铣、钻、镗、长镗杆等功能, 缩短产品制造工艺链, 提高了生产效率; 减少装夹次数, 提高加工精度, 同时, 具备在线检测功能, 可以实现, 尺寸的精确控制, 主要用于加工转子轴、转子体和锥形螺杆等盘类、轴类, 以及具有复杂外形曲面的零部件加工。

转子轴是密炼机的核心零件, 是密炼机设备中最大和精度要求最高的轴类零件, 目前, 我公司研制的国内最大密炼机型号 GE1000T 啮合型密炼机, 其转子轴长度 4 m, 直径 520 mm, 毛重约 5 t, 属于大型轴类零件。在以往, 转子轴的制造是经过车、磨、划线、钻等多道工序加工完成, 工序比较分散、制造工艺链周期较长。

大型车铣复合在国内应用很少, 尤其是密炼机行业, 并无可以借鉴的加工经验。本文是以国内最大的密炼机 GE1000T 转子轴为例, 研究了车铣精加工工序的加工流程, MAZAK 与 ESPRIT, 硬件与软件的结合使用, 对加工大型轴类的车铣复合工艺进行了探索和分析。

1 机床结构

该设备 MAZAK E670H-6000U, 拥有 7 轴, X 、 Y 、 Z 、 B 、 C 、 W 、 V , 具备五轴联动功能, X 1 025 mm、 Y 670 mm、 Z 6 170 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 1 MAZAK 机床结构

配备 LBB 长镗杆系统如图 2, 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。

2 零件结构

GE1000T 转子轴如图 3, 材质 45 钢, 调质硬度 HB220-260, 长度 4 000 mm, 最大直径 520 mm, 零件主要构成要素特征为径向: 外圆、方槽、退刀槽、

作者简介: 陈健 (1985-), 男, 高级主任工程师, 技师, 中国机械工程学会高级会员, 主要从事数字化制造和工艺研究, 曾获国家专利 8 项, 在国家级科技期刊发表论文多篇。



图2 LBB 长镗杆

圆弧槽、梯形外螺纹左旋和右旋、公制外螺纹、D10 注油孔、D60 出水孔、双键槽，轴向：D15 注油孔、RC3/4 螺纹、D95—1.5 m 和 D80—2.5 m 深孔、两端堵板孔 D110、M48 吊装孔、M10 螺纹孔等，粗糙度 Ra1.6。

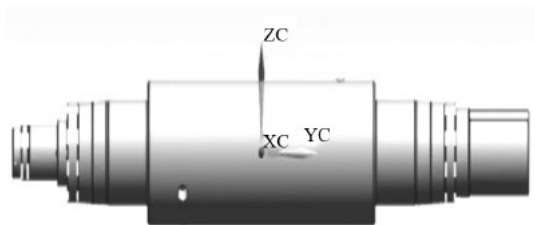


图3 零件结构三维模型

3 加工难点

3.1 尺寸控制

外圆尺寸公差 0.03，形位公差同轴度 0.03，圆度 0.02，跳动 0.02，如何良好的控制各项尺寸和形位公差，需要一次性除装夹端的全部车削工步。

3.2 粗糙度控制

整轴粗糙度 Ra1.6，保证粗糙度的均匀性、稳定性、一致性。

3.3 刀具选型

与转子体的配合部位，长度 2 000 mm，直径 520 mm，因为是配合尺寸，需要一次性车削完成，按照 VC250 的高速车削需要 1.5~2 h，磨损量要控制在 0.01~0.02，对刀具提出极其高要求。

3.4 深孔加工

D15，深度 800 mm，55 倍的深孔加工。

4 工艺设计

工艺设计见表 6。

工序 6 的半精车工序，在普车上完成，主要去除调质后的黑皮，平两头端面尺寸 4 000 mm 到位，预留准确的加工余量用于精车，车两端堵板工艺孔，M48 吊装孔。

这里我们重点说明，工序 6 在普车上的优势，说明，虽然车铣拥有的加工能力比较强大，但是在应用上，还是要根据产品的要求来综合考虑，避免工序的过度集中。

(1) 机床方面

以中型转子轴来说明，长度 3.5 m，直径 350，调质后，轴中间段可能会出现弯曲现象，多的可达 3~5 mm。车铣采用的是 24" 液压三爪卡盘，无法调校，普车上使用的是 4 爪卡盘，更加容易调整。

(2) 生产成本

普车做半精车加工，去掉调质后的黑皮，更有利于车铣复合上的加工，减少机床和刀具损耗；一些不重要的尺寸可以在这里加工，减少车铣复合上的操作，避免工步过度集中。

(3) 半精车后，钻深孔，优于精车后钻深孔，避免零件转移过程中，对零件表面刮蹭。

(4) 工序 9，可以在落地镗上加工，只是效率会低一些，这个属于产能平衡问题。

表1 工艺设计

工序	工序内容	工艺资源
1	锻造	自由锻
2	正火	台车炉,380 度。
3	粗车	普车
4	调质	井式炉, 840 度, HB220~250。
5	超声波探伤	超声波探伤仪
6	半精车	普车
7	钻深孔	钻孔钻床
8	精车	车铣
9	钻孔	落地镗

5 半精车毛坯

半精车后的毛坯如图 4，平端面尺寸到位，车两端堵板孔，M48 吊装孔；因为我们采用的是山特维克 CNMG120408-PR 4425，虽然是 12HP 高压内冷，需要单边切深 3 mm 才能保证良好的断屑能力，所以在工序 6，保证单边预留 3 mm 的余量，这个主要是考虑所使用的刀具，保证良好断屑。

6 定位安装

对定位安装中需要设置如图 5，如卡盘、中心架、顶尖做简单介绍。



图4 半精车后毛坯

6.1 软爪

软爪能最大程度的保证工件的重复定位精度，使加工工件的中心线能和主轴的中心线完全重合，最重要的是，软件能和工件的表面最大程度的贴合，既能保证传递更大的扭矩，也能避免工件夹伤。在车要求高的轴零件使用软爪，在铣转子体零件可以使用硬爪。

6.2 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。

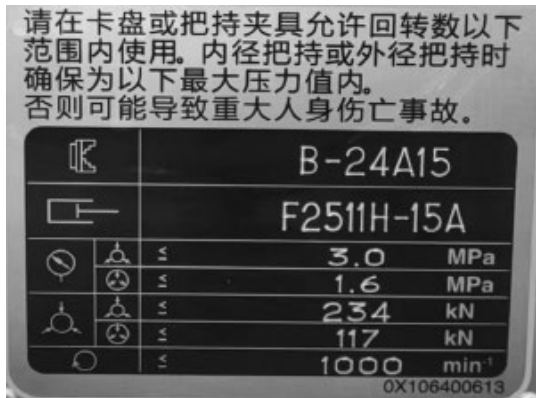


图5 设置图

6.3 堵板安装

按要求在转子轴右端安装工艺堵板。

6.4 零件吊装

按照要求吊装，因为零件较重，需注意安全。

6.5 记录顶尖位

使用 M841 记录顶尖零位，工件安装好后，顶尖顶好，该位置使用 M842 记录。

7 刀具

仅对精车刀、梯形螺纹车刀、枪钻做简单说明。精车刀具测试了多个厂家（见表2），要综合考虑车削质量和稳定性、断屑能力、成本等综合因素，本文仅以山特维克 4415 硬质合金和京瓷 PV720 陶瓷，只是

在特定环境下的测试，仅供参考。

7.1 精车刀

加工参数：试验条件均统一在 $V_c=200$ 和 250 ， $F_n=0.12$ mm/r， $A_p=0.3$ mm。山特维克线速度要 250 m/min，至少要保持 200 m/min 以上，京瓷线速度 200 和 250 均可。

（1）刀具几何角度：C 型 80° 的，只能选择 04 圆角的， 08 会产生振纹，山特维克 CNMG120404-WF4415 和 CNMG120404-WP PV720 均可，但是对于长时间切削，山特维克可以达到寿命的要求，总体来说，选择 D 型 55° 的也可以，车削更轻快。

（2）刀具的圆角： $R0.4$ 或者 $R0.8$ ，如果使用 $C80^\circ$ 的， $R0.4$ 合适些， $R0.8$ 易产生振纹，山特维克的 CNMG120404-WF 4415，4415 材质加工寿命较长；在车配合端，连续车削 $1.5\sim2$ h，尺寸稳定；D 系列 55° 的，可以使用 04 圆角的，山特维克的 DNMX150604-WF 4415。

（3）断屑能力：在高压 M103 状态下，京瓷的 WP 槽型，断屑能力很强，为片状，铁屑很短。

（4）加工寿命：山特维克 4415 的材质加工寿命更长，能车 $4\sim5$ m，山特维克是车碳钢首选。

表2 粗车和精车刀具

粗车		
刀柄	C8-391.02-63080B	山特维克
刀杆	C6-PCLNL-45065-12HP	山特维克
刀片	CNMG120408-PR 4425	山特维克
精车		
刀柄	C8-391.02-63080B	山特维克
刀杆	C6-PCLNL-45065-12HP	山特维克
刀片	CNMG120404-WF 4415	山特维克
刀片	CNMG120404-WP PV720	京瓷
刀柄	C8-391.02-63080B	山特维克
刀杆	C6-PDJNL-45065-15HP	山特维克
刀片	DNMX150604-WF 4415	山特维克

7.2 枪钻

推荐使用可转位枪钻见表3，适用于高进给加工，进给量比钎焊枪钻高；可转位式刀片系统大幅度降低了工具管理成本，无需再钻头再修磨，采用可转位枪钻，方便工人的使用和操作。

（1）梯形螺纹：使用 VARGUS 的 VRX 系列，可以实现较高线速度，提高加工效率，在车削 P6 螺纹，使用径向切入，可以实现高质量的螺纹。

表4 列出各个工步所需要的刀具类型、刀具的自定义名称和各个刀具加工内容的简要信息，因为牌号信息众多，并不涉及具体的牌号。

表 3 枪钻和梯形螺纹

枪钻		
刀柄	CA80-XP16-80.0R	伊斯卡
刀杆	GD-DH 15.00-800-23	伊斯卡
刀片	TOGT 070304-DT IC908	伊斯卡
导条	GPS-05-18-060-DC IC908	伊斯卡
梯形螺纹		
刀柄	CA80-SEL-55080-22T	森泰英格
刀片	4EL 6.0 TR VTX	VARQUS

表 4 工步刀具

号码	类型	名称	备注
T1	外圆车刀	CNMG120408	粗车
T2	外圆车刀	DNMX150604	精车
T3	外圆槽刀	6R0.2	车外圆槽
T4	外圆槽刀	R2.5	车外圆槽
T5	螺纹车刀	梯形螺纹 P6	车螺纹
T6	钻孔	D60U 钻	钻水孔
T7	钻孔	D15 合金钻头	预钻
T8	钻孔	D15 枪钻	枪钻
T9	钻孔	D24.5U 钻	钻底孔
T10	端铣刀	D10 合金	预钻铰平
T11	钻孔	D10 枪钻	枪钻
T12	螺纹刀	Rc3/4	攻螺纹
T13	螺纹车刀	M3	车螺纹
T14	钻孔	阶梯钻头	钻孔
T15	钻孔	D8.5 合金钻头	钻孔
T16	攻螺纹	M10 丝锥	攻螺纹
T17	面铣刀	D63R6	粗铣键槽
T18	端铣刀	D32 刀片	清角键槽
T19	端铣刀	D20 合金	精铣键槽
T20	钻孔	D20-60 度	修中心孔

8 工艺设计

表 5 列出车铣复合精加工各个工步的工艺顺序和各个工序的内容简要说明,从整个工艺路线的设计上,可以看出,车铣复合加工,在一次装夹中已经完成 90% 的加工内容,不仅加工效率很高,而且各个尺寸和形状位置精度得到了有效的保证,充分发挥了车铣复合的优势,可以根据实际需求进行灵活调整工艺和相关工艺资源,本文仅供参考。

下面,对加工中某些工序应该注意到的一些问题做简单的工艺分解。

8.1 OP1 安装

如图 6,安装好零件后,设置 M842 位置,G54 设置在零件右端面,用雷尼绍探头,测量零件的加工原点,并在机床上设置各坐标轴。

8.2 OP3 中心架位置

中心架的位置要置于轴的中间处如图 7,架位粗糙度 Ra1.6 为好,中心架上面要加软料做防护如图 8,因为在粗车的时候,铁削是块状,无论从左到右还是从右到左,铁屑流向都是朝向中间。易蹦到中心架滚轮里面,对中心架和零件都有损伤,并配以吸铁石,

表 5 工步设计

工步	内容
第一次装夹	
OP1	一夹一顶,夹小头顶大头,坐标系 G54 在右端面。
OP2	粗车最大外圆至 D520.6, Ra1.6,为中心架架位。
OP3	移动中心架置于 D520 中间。
OP4	粗车外圆各部,径向余量 0.3,端面余量 0.1。
OP5	精车外圆和 1:12 锥面各部, Ra1.6。
OP6	精车方槽、退刀槽。
OP7	动态精车 R6 圆弧槽。
OP8	车梯形螺纹 P6,左旋和右旋。
OP9	移动中心架到 D380。
OP10	精车最大外圆至 D520。
OP11	退顶尖至原点 M841 处。
OP12	预钻 D15 底孔,引导孔深度 1.5D。
OP13	枪钻 D15 孔,深度 800 mm。
OP14	钻 D24.5 孔。
OP15	攻螺纹 Rc3/4。
OP16	铰平 D10 孔,保证导引深度。
OP17	枪钻 D10 孔。
OP18	回退顶尖至 M842 处。
OP19	移动中心架置于 D520 中间。
OP20	钻水道孔 D60,深度 250 mm。
OP21	松开中心架。
OP22	吊装、顶尖回零点、卸活。
第二次装夹	
OP23	一夹一顶,夹大头顶小头,坐标系 G54 在右端面。
OP24	打表,跳动小于 0.02,跳动不合格,修顶尖孔。
OP25	移动中心架到 D380。
OP26	粗车外圆各部,径向余量 0.3,端面余量 0.1。
OP27	车退刀槽。
OP28	精车各外圆, Ra1.6。
OP29	车螺纹 M200×3。
OP30	阶梯钻, Rc3/4 底孔和 D15 枪钻底孔。
OP31	钻 D15 孔。
OP32	攻螺纹 Rc3/4。
OP33	铰平 D10 孔,保证导引深度。
OP34	枪钻 D10 孔。
OP35	钻 M10 底孔至 D8.5
OP36	攻螺纹 M10。
OP37	松开中心架。
OP38	吊装、顶尖回零点、卸活。

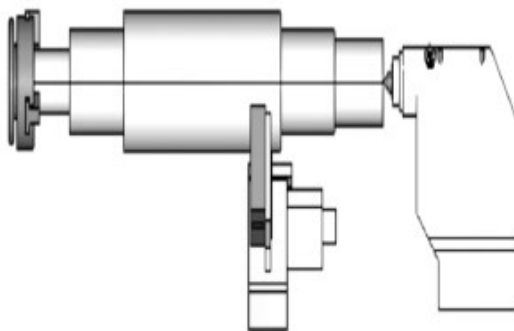


图 6 安装

吸附在中心架左右表面,可以有效解决该问题。

8.3 OP4 粗车

粗车的径向余量 0.3,端面余量 0.1,端面余量

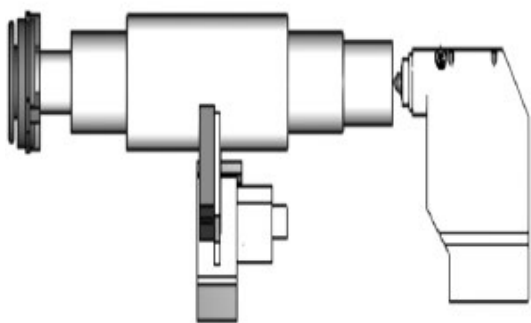


图 7 中心架位置



图 8 防护现场实拍，精铣转子体。

不宜留多，0.1 较合适；因为我们采用的是山特维克 CNMG120408，Ap3 mm 以上，可以保证良好的断屑，在 CAM 软件里面，加工深度要保证是优化等距的，粗车要保证良好的断屑。

8.4 OP5 精车

精车各个外圆，转速设置成 CCS，因为转子轴型号众多，设置成线速度和最高转速，可以节约编程时间，不需要很多计算，当然了，现在都是自动化编程，尤其是对于这种高端设备，每个部位去自动计算速度也可以的，看自己的需求和习惯。

G92 S250 R1

G96 S200 P1 R1 M204

精车各个锥面，转速度设置成 RPM，保持恒定转速。

G97 S200 R1 M204

因为车铣小直径，需要比较高的转速，MAZAK 设备转速有两个档位，小于 S320 使用 M238，大于 S320 使用 M239 控制其转速档位。

8.5 OP6 动态车削

使用 ESPRIT 里面的 Profit 动态车削，摆线车削方式，车削槽可以节约 50% 的时间，加工曲线运动更加顺畅，减少了刀具的磨损。

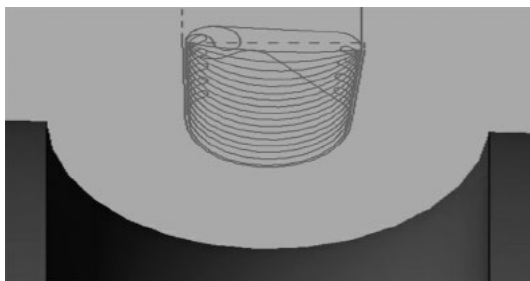


图 9 动态车削刀具路线

8.6 枪钻

过去的加工，对于枪钻的引导是使用导套，现在，在加工中心的应用上，用一个引导孔来代替导套如图 10，预钻的引导孔直径略大于枪钻的基本尺寸，长度约为 1.5 倍的直径，这样使后续进入加工状态的枪钻能将引导孔作为导套来使用，以枪钻上导条与引导孔导条的配合保证枪钻的直线进给。

引导孔长度不足易造成枪钻扰曲、震动甚至折断，引导孔过大或过小都难以在导条和引导孔间生成油膜，易造成导条磨损。

本文中的 D15，长度 800 mm 的孔，预钻孔为 D15 合金钻头，D15(+0.015 至 0.04)，钻孔深度为 $1.5D=22.5$ 。

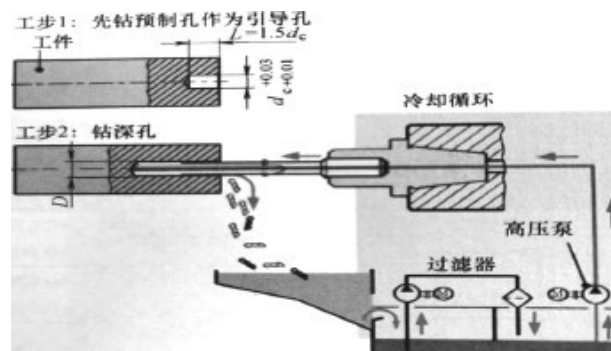


图 10 在车铣复合上使用枪钻

在枪钻进入引导孔之前，先关掉切削液，以较低的转速和进给进入到引导孔，在距离孔底部 1~2 mm，把转速和进给设置到正常值加工，打开高压内冷，钻完之后，关闭切屑液，退刀。基本动作代码见图 11。

枪钻预钻孔的一些标准要求如图 12，可以据此表，按照实际的需要进行自行调整。

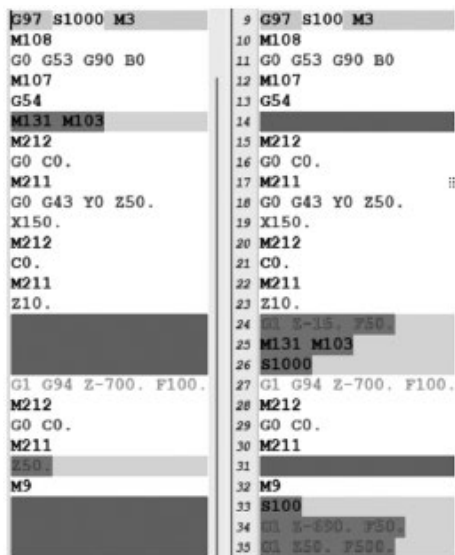


图 11 在车铣复合上使用枪钻原循环和枪钻循环的需求区别

直径范围 D /mm	引导孔 极限偏差 /mm	孔深的 10D	孔深的 20D	孔深的 25D	孔深的 30D	孔深的 35D	孔深的 40D
1.85~4.00	+0.010 +0.005	2D	3D	4D	6D	30mm	
>4.00~8.50	+0.020	1D	1.5D	2D	3D	35mm	
>8.50~12.00	+0.010	1D	1.5D	2D	3D		
>12.00~21.00		1D	1.5D				
21.00~31.00	+0.040	1D					
31.00~41.00	+0.015	1D					
41.00~51.00		1D					

图 12 枪钻预钻孔

9 加工参数

表 6 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，最大外径 D520 mm，长度 4 000 mm，因刀具和加工工况有可能存在不同，加工参数仅供参考。

因为转子分为穿轴式和整体式，加工整体式转子，车轴时候，因为转子体是异形曲面，车的时候会产生很大的离心力，根据实际情况，要适当降低线速度至 $V_c150-200$ 左右。

10 软硬件和 NC

10.1 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。

表 6 加工参数

号码	名称	Vc	F
T1	CNMG120408-PR	200	0.3
T2	DNMX150608-WF	250	0.12
T2	DNMG150608-PP	250	0.12
T3	6R0.2	100	0.3
T4	R2.5	100	0.1
T5	梯形螺纹 P6	100	6
T6	D60U 钻	150	0.15
T7	D15 合金钻头	80	0.1
T8	D15 枪钻	80	0.05
T9	D24.5U 钻	120	0.1
T10	D10 合金	50	0.05
T11	D10 枪钻	50	0.05
T12	Re3/4		
T13	M3	100	3
T14	阶梯钻头	100	0.1
T15	D8.5 合金钻头	100	0.1
T16	M10 丝锥	100	1.5
T17	D63R6	200	0.5
T18	D32 刀片	200	0.3
T19	D20 合金	150	0.05
T20	D20-60 度	50	0.05



图 13 T01.01



图 14 T01.02

10.2 螺纹加工

以下代码为 MAZAK 的螺纹循环的基本格式，表格内为加工梯形和公制外螺纹的刀柄手式和方向的控制方法，以下代码是同一把刀加工右旋螺纹的代码，可以推导出获得左旋、右旋和右手刀加工左右旋螺纹的方向。

T28.01
G97 S80 R1

G0 G43 P1 Z-200.
G276 P020030 Q.1 R.1
G276 X300. Z-100. P3.5 Q.3 F6.
T28.02
G97 S80 R1
G0 G43 P1 Z-100.
G276 P020030 Q.1 R.05
G276 X300. Z-200. P3.5 Q.3 F6.

表 7 螺纹

刀柄手式	方向	右旋 -R	左旋 -L
左	T28.01	> →	> ←
左	T28.02	> ←	> →
梯形螺纹		公制螺纹	
螺纹牙距 F	螺牙深度 P	螺纹牙距 F	螺牙深度 P
4	2.25	2	1.3
5	2.75	3	1.95
6	3.5		

梯形螺纹：螺牙深度 $P=0.5F+ac$ ； $P=1.5\sim 5ac=0.25$ ； $P=6\sim 12$ $ac=0.5$ $P=14\sim 44$ $ac=1$

公制螺纹：螺牙深度 $P=0.65F$ 。

10.3 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，都可以获得良好效果如表 8。当然，陶瓷铣刀、CBN 等刀具材料，并不适合使用冷却液。

(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，从而可以最大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。高压冷却除有效降低切削热，还使切削脆性增加，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

10.4 尺寸控制

(1) 在 ESPRIT 等 CAM 软件里面设置，将具有精度尺寸要求的，均取中差值，不带精度尺寸的对 0 即可。

(2) 实际加工过程中，取不带公差的、要求较低的尺寸，加工后，测量尺寸，编程尺寸减去测量尺寸得到的数值，在机床内进行补偿；如果试切部位有精度要求，应修改 CNC 程序或者在机床内补偿后试切，试切后，再进行磨损补偿，如图 15。

(3) 在加工完两端后，加工中间段之前，换刀片，重复第二步骤。

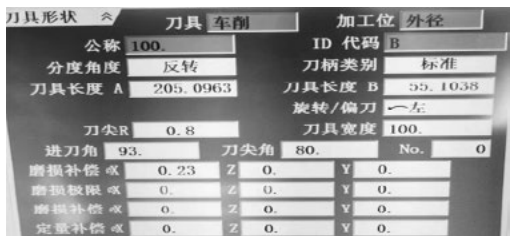


图 15 补偿设置

10.5 加工现场

图 16 是 GE1000T 在加工现场。

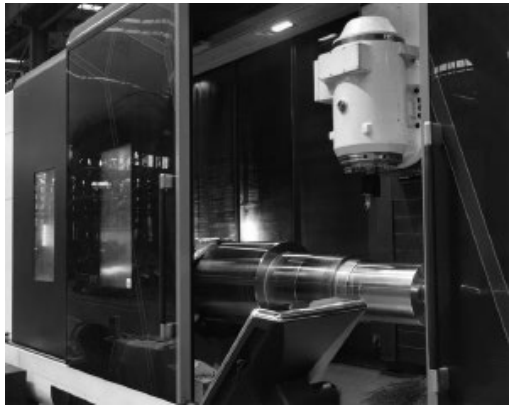


图 16 加工现场

图 17 是 GE1000T 轴的部分测量，外径尺寸稳定，手持式粗糙度测量仪测量，用标准样板校正，测量转子轴，粗糙度可达到 Ra0.8~1.0。

10.6 中心架和尾座控制

(1) 中心架

MAZAK E670H-4000U 中心架夹持范围 D135-D460，MAZAK E670H-6000U 中心架夹持范围 D350-D700，根据夹持范围合理安排零件加工，如图 18。

N1 (实体车削 - 中心架)

G90



图 17 加工现场

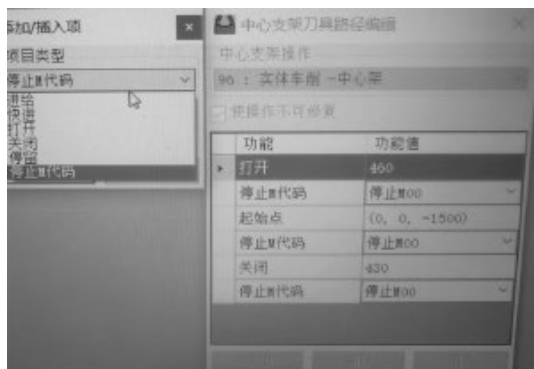


图 18 中心架指令设置

M286	中心架切削液断开
M292	中心架松开
M0	
V-1500.	中心架位置 V-1500
M0	
M285	中心架切削液接通
M293	中心架夹紧
M0	

(2) 尾座

尾座推力控制见表 9。

M841 尾座定位“位置 1”向设定数据中输入的“尾架位置 1”定位。

M842 尾座定位“位置 2”向设定数据中输入的“尾架位置 2”定位。

M831 尾座推力指令，指定尾座推力。

表 9 尾座推力控制

尾座推力 /KN	尾座推力 M-Code
2.0	M831
3.0	M832
4.0	M833
5.0	M834
6.0	M835
7.0	M836

10.7 滚压工艺的使用

虽然我们通过车削的方式，实现了大型轴类“以车代磨”，但是为了对粗糙度控制的更加稳妥，增加了滚压工序，进一步强化粗糙度。

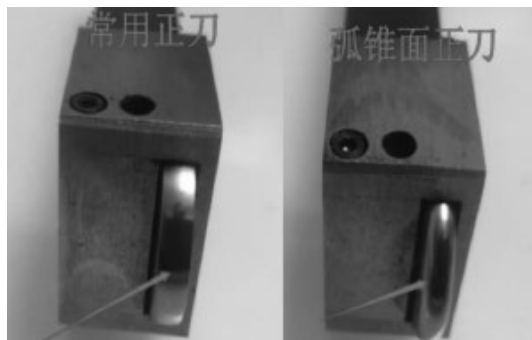


图 19 滚压刀形式

(1) 滚压刀具的选用

滚压刀具有很多种类型如图 19，常见的金刚石和硬质合金滚轮，那么对于这种大型零件如何选择？对于滚压时间非常久的，例如转子轴，金刚石滚压这么久容易发生碳化，所以推荐合金滚轮的。

(2) 滚压的参数

经过一些试验和厂家推荐，当然了，这里为了考虑经济成本，选用国产品牌，3 000 元左右，进口的要 1.5~2 W，工艺参数参照国产的滚压刀产品，针对该材料，经过多次试验，对 HB220-260 调制钢，线速度 50 m/min，压缩量 0.2~0.3 mm，进给速度每转 0.3 mm。

11 结论

本文以 GE1000T 转子轴为例，设计完整加工工艺路线，制定车铣复合工艺、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优化，在批量生产中得到很好的结果验证，将过去由车、铣、钻、镗、划线的多道工序，在一个工位加工完成，实现以车代磨，深孔钻削等难加工工序，节省大量人力、物力，提高生产效率，降低制造成本，转子轴加工效率提升 1 倍，深孔钻削提高了 5 倍，满足转子轴批量化生产要求，说明车铣复合加工可以缩短工艺链，减少加工周期，减少设备占用，是未来数控加工趋势。

车铣复合设备还很少，对于细分领域或者产品加工的资料和可借鉴经验非常少，必须从 0 开始研究探索，解决加工中遇见各种各样问题，在经过大量试验基础上，该工艺技术成果应用满足所有密炼机型号转子轴加工，对未来类似轴类零件加工，有很好借鉴。

Process method for machining rotor shafts using ESPRIT and MAZAK E670H turning and milling combined machining

Chen Jian

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

Abstract: This article takes the rotor shaft of the GE1000T internal mixer as an example, dissecting the external structure, machining characteristics, dimensions, and geometric elements of the part, and carrying out the design of the overall process flow. It focuses on the design of the finishing process on the turning and milling compound equipment, comprehensively analyzing the semi-finishing turning reserved blank, positioning clamping, tool selection, machining parameters, tool path trajectory, the use of center frame and tip attachment, NC code, and other contents. The optimization design of each step in the turning and milling compound finishing process is carried out, especially focusing on the difficulties encountered during the machining process, such as the control of finishing turning dimensions and roughness, deep hole drilling methods, etc. At the same time, the exploration of the MAZAK E670H 6000U equipment and ESPRIT software, as well as the method of combining software and hardware, is conducted.

Key words: rotor shaft; turning and milling; MAZAK; ESPRIT; turning; deep hole drilling

(R-03)

大橡塑深耕非轮胎橡胶领域 新制密炼机助客户实现性能升级

DXS deepens focus on the Non-Tire rubber sector, with its new internal mixer empowering customers' performance upgrades

近日，大橡塑为国内某知名客户研制的，用于管路内衬防腐产线的切线型下落式 80 L 密炼机顺利投用。客户现场反馈，该新机组在混炼效率、出胶质量及能耗控制方面均显著优于原有设备，为其产能提升、能耗降低提供了重要保障。该机组的成功应用，标志着大橡塑在非轮胎橡胶细分市场的战略深耕再结硕果。

随着国内基础设施建设及配套需求持续攀升，带动防腐工程行业进入快速发展期，作为具备国际技术背景和经验的防腐工程服务商，客户原有设备难以满足其技术更新与产能升级的迫切需要，为精准匹配客户需求，大橡塑项目团队充分利用客户现有基础生产条件，从产品布局优化与技术迭代升级两方面进行系统调整，量身打造定制化解决方案。该方案采用的多项创新技术成为满足客户迫切需要的关键支撑，应用独家专利的密炼机永磁半直驱系统，小功率设备年降耗可达 10% 以上，能效水平在同行业首屈一指；液压上顶栓与变频主电机的技术创新，赋予设备高工艺灵活性，能精准控制混炼各环节，有效保障生产过程与混炼质量的稳定性；高耐磨动、定圈合金技术应用，大幅延长设备在线运行时长，减少客户非计划停机等待，保障连续生产。多项新技术的集成应用让机组具备“效率高、品质优、能耗降、运维成本低”的综合优势，有效助力客户生产效益与市场竞争力提升。

近年来，大橡塑在扩大巩固轮胎市场优势的同时，瞄准橡套电缆、混炼胶、汽车 / 火车刹车片、胶管等非轮胎橡胶领域持续发力，通过为细分领域重点企业量身打造啮合型 90 E、135 E、190 E 及切线型 110 L、160 L 等系列化、定制化密炼机产品，精准响应不同细分领域客户的性能升级与生产优化需求，不仅赢得了广泛好评，更进一步提升了企业在非轮胎橡胶市场的品牌影响力与核心竞争力。

摘编自“大橡塑”

(R-03)

