

# 大型轴类零件盲孔芯棒切断技术

何彦杰, 孙熙钊

中钢集团邢台机械轧辊有限公司; 轧辊复合材料国家重点实验室

**摘要:** 对汽轮机等大型设备主轴盲孔套料芯棒切断技术进行研究, 根据切断工作原理确定切断刀机构和刀片结构形状, 设计了一种盲孔棒料自动切断刀。对切断过程、运动轨迹进行分析, 制定适宜的变参数切削工艺, 通过试验验证了切断刀能够高效自动切断芯棒。

**关键词:** 盲孔芯棒; 切断刀; 刀背; 自动切断

**中图分类号:** TG729; TH162

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-7008.2020.05.012

## Cutting Technology of Blind Hole Mandrel for Large Shaft Parts

He Yanjie, Sun Xizhao

**Abstract:** The cutting technology of blind hole sleeve core rod for main shaft of large-scale equipment such as steam turbine is studied. Through the research of cutting working principle, the cutting knife mechanism and blade structure shape are determined, and an automatic cutting knife for blind hole bar is designed. The cutting process and motion trajectory are analyzed, and the appropriate variable parameter cutting process is formulated. The test proves that the cutting knife can cut the mandrel efficiently and automatically.

**Keywords:** blind hole mandrel; cutting knife; back of knife; automatic release

### 1 引言

巨型船舶汽轮机、水利发电机等大型设备的主轴作为其重要部件, 不允许存在质量隐患, 因此对轴体材料机械性能要求极其严格, 大多要求中心部位取试样进行机械性能检测。其中某种主轴要求在轴心部位  $\Phi 120 \sim 130\text{mm}$  范围制取长度  $600 \sim 4000\text{mm}$

的  $\Phi 60\text{mm}$  芯棒用以制备试样。采用盲孔套料的方法取得芯棒。图 1 为主轴的取样位置。

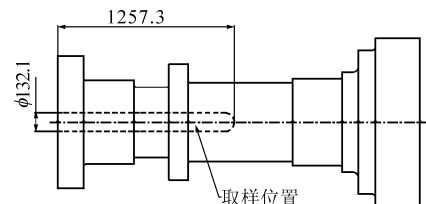


图 1 主轴心部取样位置

收稿日期: 2019 年 10 月

作用。国外曾采用莫来石高铝材料作为炉衬, 选用不锈钢做电极, 在采用 3% 的氟化镁校正剂时, 炉膛的使用寿命由 40 天延长至 6 个月, 电极的使用寿命由 15 天延长到 1 个月。

为适应 5%  $\text{MgF}_2$  和其它带有腐蚀性的添加剂对炉膛的浸蚀, 国外曾试验了不同成分的耐火材料。试验结果认为: 含有 72%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的耐火材料在添加 5%  $\text{MgF}_2$  的盐浴中加热时, 炉膛寿命比硅铁脱氧的炉膛寿命高 12 ~ 15 倍。利用高铝耐火材料可大幅提高盐浴槽的使用寿命, 减少维修次数, 降低能耗和氯化钡的消耗。

### 参考文献

[1] M A Grossmann. 川口寅之辅, 译. 高速度钢[M]. 东京: 科学主义工业出版社, 1935.

- [2] 小川喜代一. 鋼の化學熱處理[M]. 東京: 養賢堂, 1963.
- [3] Е А Смоликов. Новые обезуглероживающие смеси солей для средне и высокотемпературных соляных ванн [J]. МИТОМ, 1981, 9: 2-6.
- [4] Е А Смоликов. Средства контроля обезуглероживающей активности высоко-температурных соляных ванн для термической обработки инструмента [J]. МИТОМ, 1987 (3): 34-36.
- [5] 刘如伟. 热处理盐浴用校正剂及混和盐的发展情况[J]. 金属热处理, 1991(8): 8-12.
- [6] 李惠友. 工具热处理技术与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.

作者: 李惠友, 教授级高级工程师, 成都工具研究所有限公司, 611000 成都市

Author: Li Huiyou, Professorate Senior Engineer, Chengdu Tool Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610500, China

在试样制取过程中,首先用套料刀套料到要求深度,留大于 $\Phi 60\text{mm}$ 芯棒,再将芯棒从盲孔底部切断并取出,最终在要求位置切取各种性能试样进行性能检测。与通孔套料制取芯棒相比,难点是从较深的盲孔底部将芯棒切断,很难采用直接径向进给切断方法,即使通过复杂机构实现径向进给,但因空间狭小,行程极短,不能自动切断,还需借助外力将芯棒扭断。要完成这类大型轴类零件的生产,盲孔芯棒切断成为必须掌握的关键技术。

本文对盲孔芯棒切断原理、切断刀机构进行研究,对切断刀刀片结构、切断过程、刀片运动轨迹、切削参数等进行分析,设计了自动切断刀,用试验验证了盲孔芯棒自动切断技术的可行性。

## 2 盲孔芯棒切断原理

由于套料后形成的径向空间仅为 $30\text{mm}$ 左右,切断处位于远离轴端面的深孔底部,需采用简单的切断刀机构,且不能从深孔外部远距离单独传输动力,因此切断刀必须采用独特的结构,利用有限的条件实现切断功能。

一般在专用深孔钻床上进行深孔套料,芯棒切断也需在深孔钻床上完成。深孔钻床只提供钻杆的轴向直线运动和旋转运动<sup>[1]</sup>。芯棒切断需要主切削旋转运动和径向进给运动,其中钻杆的旋转运动可为切断刀提供主切削运动,而深孔钻不能直接提供径向进给运动,必须由切断刀本身来实现。由于切断位置处于深孔底部和空间限制,切断刀不可能通过复杂的机构从外界获得径向进给运动。由此可见,切断刀的设计关键是将钻杆的轴向直线运动转化为切断刀的径向进给运动。

杠杆是一种可以将直线运动转换为旋转运动的简单机构(见图2a),用以解决切断刀的轴向直线运动和径向进给运动的转换问题。将切断刀视为一种特殊形状的杠杆,将支点固定在刀片的一端(见图2b),并通过可旋转的销轴与刀体(安装在钻杆上)联接。切断刀的支点在钻杆的轴向力 $F$ 作用下作轴向直线运动,孔底对切断刀产生轴向反作用力 $F_1$ ,比轴向力 $F$ 距芯棒轴线更近。切断刀受到两个方向相反且平行的作用力绕旋转轴向心旋转,实现对芯棒的径向切削,切断刀持续旋转最终将芯棒切断。

## 3 切断刀结构设计

根据在限定空间范围内提取芯棒这一特定条件

确定切断刀刀体结构和刀片切削刃角度和切断时的切削几何参数,保证切断刀自动向心旋转和切削,并最终实现自动切断。虽然切断刀结构尺寸受到限制,但必须保持足够的强度和刚性<sup>[2]</sup>。

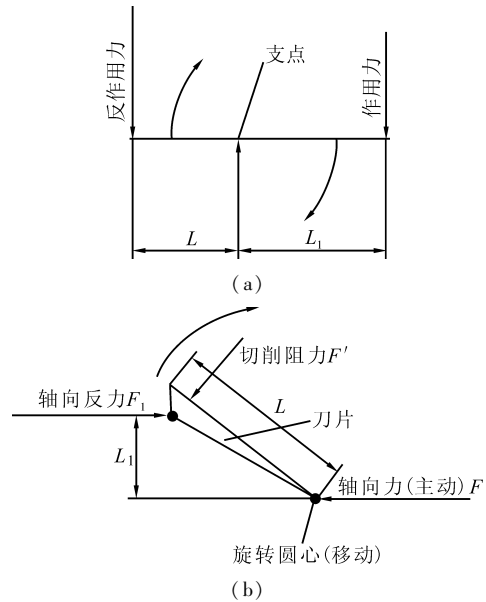


图2 切断刀切断原理

切断刀主要结构包括刀片、刀体、销轴(见图3)。刀片形状和结构见图4,由切削刃(主切削刃和副切削刃)、销轴孔、刀背(副切削刃后面延伸部分)构成。刀片通过销轴孔铰接在刀体的安装槽内,刀片绕销轴作径向旋转。芯棒切断过程如图5所示,切断刀片随刀体向孔底轴向移动,刀尖接触到孔底时产生轴向反推力,使刀片向心旋转,刀片上的切削刃对芯棒进行切削,最终将芯棒切断。

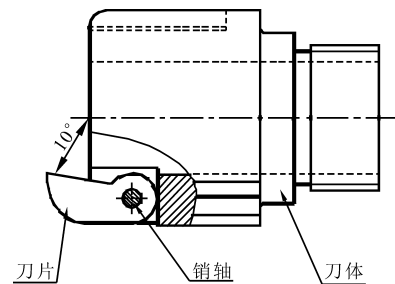


图3 切断刀结构

### 3.1 自动旋转设计

从图2b和图5可看出,切断刀是一种费力杠杆(初始时力臂长度 $L_1$ 最大为 $30\text{mm}$ ,考虑到实际刀片固定强度,销轴孔壁需有足够的厚度,杠杆的力臂最大总长度仅为 $15\text{mm}$ ,为获得最大转动力矩 $M_1$ ,刀尖应抵近芯棒根部,使力臂 $L_1$ 接近 $15\text{mm}$ 。确定切断刀的主切削刃长度使力臂长度固定,其长度一定大于或接近芯棒的半径值 $30\text{mm}$ 。

若要使其旋转,需使主动力矩  $M_1(F_1L_1)$  大于切削阻力矩  $M'(F'L)$ ,应设法增大  $M_1$  或减小  $M'$ 。如果采用主动力  $F_1$  大于切削阻力  $F'$  的 2 倍,这时刀尖与孔底小面积接触,对孔底形成切削,切断刀不能旋转。因此只能从减小切削阻力矩  $M'$  方面考虑,即设法减小切削阻力  $F'$ 。为此主切削刃与芯棒母线间应设计一个夹角(图 3 中  $10^\circ$ ),初始时只让刀尖参与切削,切削阻力  $F'$  很小,从而实现  $M_1 > M'$ ,使切断刀顺利旋转。

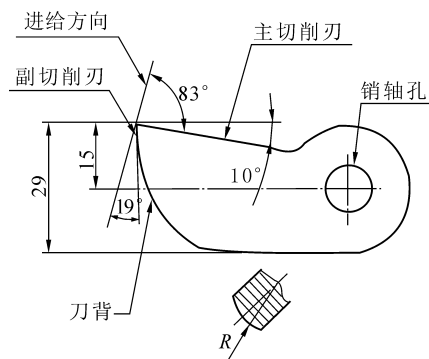


图4 切断刀刀片

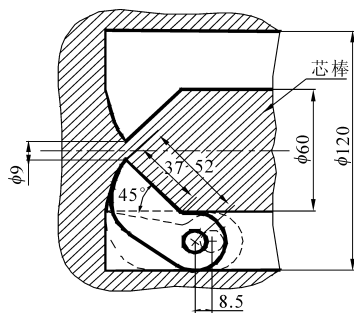


图5 切断过程

随着切断刀的旋转,主动力臂  $L_1$  逐渐增大,刀背与孔底接触面积增大,孔底对切断刀的轴向反力  $F_1$  增大,主动力矩  $M_1$  快速增大,切断刀的旋转顺利。由此可见,通过以上设计,实现了主动力矩  $M_1$  大于切削阻力矩  $M'$ ,从而使切断刀顺利旋转。

### 3.2 自动切断设计

如果要求实现自动切断芯棒,需使刀尖到达芯棒的轴心处。刀尖的径向行程需接近芯棒的半径值,由于通过旋转切断,则主切削刃长度需大于半径值。由图 5 可见,主切削刃越长,所需旋转角越小,切断时间越短,但切削力较大,对刀片夹紧强度要求较高,可能将销轴掰断。而主切削刃越短则需要的旋转角越大,轴向进刀路径变长,切断时间延长,因此选择主切削刃长度要综合考虑旋转角。设计的主切削刃长度为 37mm,当切削角度为  $45^\circ$  时,芯棒留心直径仅为 9mm,此时主切削刃全刃参与切削,切

削力最大,易于将芯棒扭断。

### 3.3 刀背设计

深孔加工的空间相对封闭,极易造成温度急增的状况,必须实现冷却与润滑,延长刀具使用寿命<sup>[3]</sup>,曲面刀背<sup>[4]</sup>的设计是从优化切断刀自身结构提高该效果。由图 4 可见,刀背为曲面,由副切削刃后面延伸部分构成。刀背纵轮廓曲线曲率越小,刀背与切削成形面接触面越大,到切断中后期刀背与切削成形面接触面间的摩擦阻力越大,切削液不易进入,刀尖的冷却效果差,温度急增,加剧刀背和芯棒切过部分磨损,刀片的轴向反力减小使刀片旋转变慢,延长轴向进刀距离,造成始终不能切断的现象。刀背纵轮廓曲线曲率越大,则造成刀片细长,整体刚度过低,刀片容易变弯、振动,使主切削刃不在芯棒的母线上,切削效率降低,甚至不能切断。而采用曲率逐渐变大的刀背纵轮廓曲线,在切断过程中刀尖始终与芯棒切过部分存在间隙,则冷却与润滑效果增强,磨损和切断问题得到解决。刀背横轮廓是圆弧状,既保证有一定的接触面积,又不会由于过尖、过窄形成实际的切削现象,同时切削液容易进入,及时带走切削热,降低了摩擦系数,减少摩擦热。

### 3.4 切削刃几何参数设计

主偏角主要根据刀具—工件—机床系统的刚度和被加工材料的性质选择。由于切断刀在深孔底部进行切削,切断刀工艺刚性较差,所以主偏角取较大值  $65^\circ \sim 90^\circ$ 。副偏角主要根据已加工表面质量要求选择<sup>[5]</sup>,芯棒切断对表面质量要求不高,所以副偏角可以取较大值  $15^\circ \sim 20^\circ$ 。由于切断芯棒要求切削刃较长,轴体为强度较高难加工材料,为减小切削力和振动,应使切削刃锋利,并保证一定的刀刃强度,所以前角取  $5^\circ \sim 10^\circ$ ,后角取  $5^\circ \sim 8^\circ$ ,前面开 R3 圆弧断屑槽。另外安装到刀柄上后主切削刃的刃倾角应为  $0^\circ$ ,且与芯棒母线对齐。

## 4 切断过程参数及试验验证

### (1) 切断过程

假设最终留芯  $\Phi 9\text{mm}$  可实现自动切断,刀片旋转角度为  $35^\circ$ ,刀尖圆周行程约 28mm,钻杆轴向总行程 8.5mm。为简化分析,将切断过程分解为 7 个  $5^\circ$ ,每个  $5^\circ$  内轴向进刀量平均为 1.22mm;刀尖圆周进刀距离平均为 4mm,总平均圆周进刀是轴向进刀的 3 倍,总切削过程刀尖圆周进刀与轴向进刀基本成线性比例(见图 6a)。由图 5 切断过程可知,主切削刃吃刀长度在开始时快速增大(见图 6b),切削阻

力也快速增大,所以为保证切削平稳,钻杆每转的轴向走刀量也应快速递减(见图6c),或者钻杆进给速度不变,转速提高。

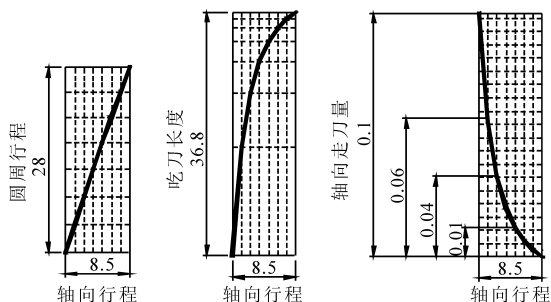


图6 切断过程分析

由于刀片形状复杂,主切削刃较长,且作旋转运动,固定强度低,只能采用高强度、低硬度的高速钢材质制作,因此需选用较低的切削参数<sup>[6]</sup>。钻杆转速30~40r/min,轴向进给量0.06~0.01mm/r,刀尖进给量保持在0.02mm/r以下,主切削刃上最大切削速度从刀尖的5.5m/min转换到刀根的7.3m/min。

#### (2) 试验验证

按上述设计方案进行试验验证。试验刀片选用高速钢材质,硬度HRC62~70;试验件为 $\Phi 200 \times 250$ 调质棒料,材质42CrMo,硬度约35~40HSD;切削参数:试件转速30~40r/min,钻杆轴向进给速度0.015mm/r。由试验结果可知,钻杆实际轴向总行程约10mm,总计用时约20min,芯棒剩余 $\Phi 11$ mm被自动扭断。切屑为细碎的针状卷屑,切削刃、刀背基本无磨损,与预先分析基本符合。图7为试验刀体和刀片,图8为切断后的孔底,图9为芯棒切断断面。



图7 试验刀体和刀片

图8 切断后的孔底



图9 芯棒切断断面

## 5 结语

(1)通过对切断原理、机构研究以及试验验证,利用深孔钻钻杆的轴向直径运动和切断刀的可旋转功能转换成切断刀的径向切削。

(2)当切断刀片主切削刃长度大于芯棒半径值,旋转到45°时能够将芯棒扭断,从而实现自动切断的目的。

(3)曲率逐渐变大的曲面刀背和初始夹角设计,减小了切削阻力使切断刀能够旋转顺利。

(4)经过验证,合理的切削刃几何参数使切削流畅,断屑顺利,为排屑创造了条件,减小了对孔壁和芯棒表面的划伤,保证了芯棒尺寸和表面质量要求。

(5)通过对切断过程分析和试验验证,采用较低的变参数切削工艺,可稳定、快速地切断芯棒。

## 参考文献

- [1]王世清.深孔加工技术[M].西安:西北工业大学出版社,2003.
- [2]朱艳芳,王立新,权瑞霞.大直径深盲孔难加工材料加工方法研究[J].制造技术与机床,2008(10):110-112.
- [3]陈蓉.基于机械加工的深孔加工技术探析[J].江苏科技信息,2017(18):36-37.
- [4]巴鹏.小直径深盲孔中套料芯棒切断刀的研制和应用[J].工具技术,1993(1):19.
- [5]范忠仁,陈世忠.刀具工程师手册[K].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1985.
- [6]陆剑中,周志明.金属切削原理与刀具[M].北京:机械工业出版社,2010.

第一作者:何彦杰,主任工程师,中钢集团邢台机械轧辊有限公司技术中心,轧辊复合材料国家重点实验室,054025河北省邢台市

First Author: He Yanjie, Chief Engineer, Sinosteel Xingtai Machinery & Mill Roll Co., Ltd., State Key Laboratory of Roll Composite Materials, Xingtai, Hebei 054025, China