

机械制造工艺

2012年5月1日出版

2012年第2期·总第200期

主办：中国机械制造工艺协会
协办：先进成形技术与装备国家重点实验室
准印证号：京内资准字2011-L0059
出版：中国机械制造工艺协会
网站：www.cammt.org.cn
www.camtc.com.cn
电话：010-82415063
010-82415108
传真：010-82415078
邮件：cammt_bjb@163.com

《机械制造工艺》编委会

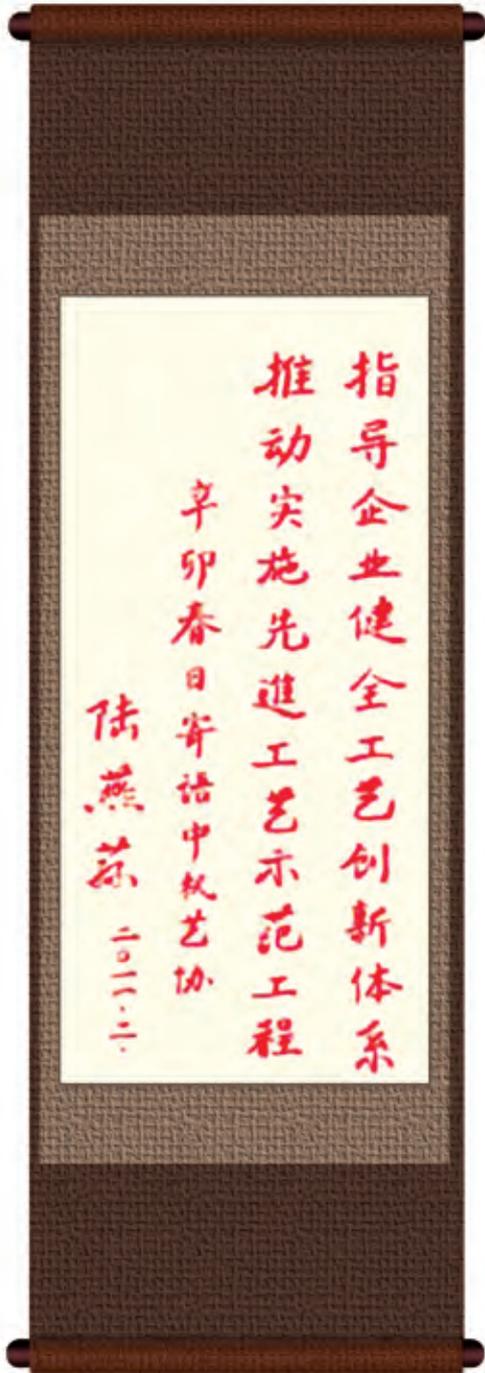
主任委员：王西峰
名誉主编：卢秉恒
副主任委员：单忠德 祝宪民 李郁华
主 编：单忠德
责任编辑：徐先宜 田 媛

委员（按姓氏笔画排序）

王至尧 王绍川 龙友松 史苏存 刘泽林
李成刚 李敏贤 李维谦 朱均麟 杨 彬
杨尔庄 谷九如 张 科 张伯明 张金明
邵泽林 陈祖蕃 陈维璋 罗志健 周志春
郭志强 战 丽 费书国 秦治庚 夏怀仁
聂玉珍 徐先宜 蒋宝华 蔺桂枝 谭笑颖

中国机械制造工艺协会第四届理事会

名誉理事长：倪志福 何光远 陆燕荪
高级顾问：张伯明 郭志坚 张德邻 曾宪林
朱森第 李 冶
顾 问：刘明忠 田东强 刘 红 史建平
郭恩明 徐域栋 周清和 庞士信
依英奇 朱 鹏 刘仪舜
理 事 长：王西峰
副 理 事 长：（排名不分先后）
刘泽林 单忠德 祝宪民 李成刚
张 科 卢秉恒 费书国 杨 彬
周永军 陈又专 李维谦 董春波
郭志强 史苏存 王 政 龙友松
张金明 王至尧 陈队范 秦治庚
秘 书 长：战 丽



Contents

目录

Members News P03

CAMMT News

The Fourth Session of the Third Members Meeting of China Machinery Industry Federation Held in Beijing P08

The Chairman Wang Ruixiang's Speech in the Fourth Session of the Third Members Meeting of China Machinery Industry Federation P09

Experts View

Bio-Manufacturing—A New Paradigm of Modern Design and Manufacturing P11

Technology Innovation

Study on Machining Process of Guide Blade Carrier of F-grade Gas Turbine P12

The Processing & Measuring Technique for the Precise Hole of Ram P15

Research on Processing Technology of F-grade Gas Turbine Rotor P18

Rapid Casting Method of SLA Resin Investment Mold Precision Casting P21

Study on Straddle Holes Drilling Characteristics of High-Temperature Alloy and Heat Resistant Steel P25

CAMMT Notice

Notice on 2012 Relevant Reward and Selection of Machinery Manufacturing Craftsman P30

Notice on 2012 National Mechanical and Electrical Enterprise Organization Process Convention and Process Essay Activities (No.1) P32

会员传真 P03

协会动态

中机联三届四次会员大会在京胜利召开 P08

王瑞祥会长在中机联三届四次会员大会上的报告 P09

专家视点

生物制造—现代设计制造的新典范 P11

工艺创新

F级燃机透平持环立车加工工艺研究 P12

滑枕深腔精密孔加工及测量技术 P15

F级燃气轮机转子加工工艺研究 P18

SLA树脂模熔模精铸的快速铸造方法 P21

高温合金和耐热钢骑缝孔钻削特性研究 P25

协会通知

关于组织2012年机械制造工艺师相关奖励评选活动通知 P30

关于组织2012年全国机电企业工艺年会和工艺征文活动的通知（第一号） P32

齐轨道一技术专利获澳授权

近日，齐齐哈尔轨道交通装备公司发明的“车钩缓冲装置、双侧作用车钩及其下锁销转轴总成”技术获澳大利亚专利授权。这是继齐齐哈尔轨道交通装备公司“中交叉支撑技术”获得

澳大利亚发明专利10年后的第二件专利，对于构筑公司核心技术专利保护网、提升国际市场品牌形象和竞争力具有重要意义。

从2009年起，齐齐哈尔轨道装备

公司致力于加强知识产权创造、保护和管理，有计划地进行国际专利布局，2011年，专利申请数量与质量纷纷刷新历史记录。支撑国际市场开拓的海外专利申请27件，累计申请已达65件，覆盖澳大利亚、巴西、加拿大、美国、俄罗斯等10个主要产品销售市场。

(文章来源：黑龙江日报)

龙象共舞 三一重工收购德国普茨迈斯特

2012年1月21日，德国Aichtal - 普茨迈斯特控股有限公司（“普茨迈斯特”）与三一重工股份有限公司（“三一”），以及中信产业投资基金（香港）顾问有限公司（“中信产业基金”）签订合并协议。三一与作为少数股东的中信产业基金共同收购普茨迈斯特100%股权。此次交易仍需获得相关部门审批并满足一定成交条件，交易预计在2012年第一季度完成。美银美林在本次交易中担任三一重工独家财务顾问，谢尔曼·思特灵和竞天公诚律师事务所担任三一重工法律顾问，摩根士丹利担任普茨迈斯特独家财务顾问。整个交易得到了中信产业基金

的专业指导和大力支持。

普茨迈斯特在全世界范围内开发、生产、销售建筑设备机械，尤其是用于建筑、采矿、隧道建设及大型工业项目的混凝土泵。三一总部位于中国长沙，是中国的建筑机械大型生产商，也是中国混凝土泵行业的领军企业。中国是全球最大、增长最快的混凝土及其它工业设备市场。此次交易标志着德国著名中型企业与中国企业的首次合并。

三一重工创始人和董事长梁稳根表示：“在此次合并后，普茨迈斯特和三一将共同创造一个新的全球混凝土泵设备行业的领导者。普茨迈斯特在

三一重工内将保持为独立的品牌并拥有自己的管理团队。我们非常期待能和将普茨迈斯特运营得如此成功的高管团队紧密合作。

(文章来源：上海三一科技有限公司网站)



© 梁稳根（左）与Karl Schlecht展示交换后的手表

玉柴船动首台智能 船用低速发动机 W-6X35正式发运

3月23日，玉柴船舶动力股份有限公司生产的首台智能船用低速发动机W-6X35正式交付客户，当天该发动机发运仪式在珠海市富山工业园举行。玉柴船动董事长蒋世宏郑重向船东代表颁发了发动机产品合格证书，并宣布W-6X35发动机正式起运。

珠海市委委员、副市长王庆利，珠海市投资促进局局长陈广俊，珠海市斗门区副书记周成，斗门区区委常委、常务副区长、富山管委会常务副主任阳化冰，玉柴集团公司总工程师沈捷、副总裁周孙海等共同见证了这一历史性时刻。

据悉，W-6X35柴油机拥有先进的节能技术，采用三种调整模式，在不改变主机机械部件与主机可靠性的前提下，通过主机的软件控制系统，灵活选择喷油和排气阀的控制参数，实现燃油低消耗。同时，该主机供油单元采用燃油供油系统和伺服油供油系统分开设计的特点，使主机的稳定性更强。

(文章来源：玉柴集团网)

新密电厂2X1000MW工程3号机组通过168小时满负荷试运行



2012年3月15日八点，新密电厂3号1000MW发电机组顺利完成168小时满负荷试运行。

2010年9月上海自动化仪表股份有限公司承接了新密电厂二期2×1000MW超超临界机组，分散控制系统工程项目。这是自仪股份历史上分散控制系统工程项目中的首次1000MW级项目。这次3号机组的顺利通过168小时试运行考核，并即将转入商业运行，证明了自仪股份在1000MW级分散控制系统工程项目中的工程能力和现场运行能力，并为自仪股份的能力提升打下了良好的基础。标志着自仪股份首台百万级机组DCS工程业绩和运行业绩的诞生。

新密电厂由北京三吉利集团公司投资，一期装机容量2×300MW，二期工程建设2×1000MW国产超超临界凝汽式燃煤发电机组，其中锅炉设备由上海锅炉厂提供，汽机和发电机设备由东方电气提供，上海自动化仪表股份有限公司还承接了二期的脱硫工程和仪表成套项目。

（文章来源：上海自动化仪表股份有限公司网站）

500台世界单机功率最大货运电力机车装备中国铁路

由中国北车大连机车公司制造的和谐3B0499号电力机车20日抵达沈阳铁路局机务段，经整備后上线运行。至此，大连机车公司自主设计研制的500台全球单机功率最大的和谐3B型9600kW大功率交流传动货运电力机车全部交付。

据悉，这款大功率电力机车，是在和谐3型7200kW大功率交流传动电力机车技术平台上，深度消化吸收国外先进技术，以我为主进行自主设计研制出的拥



◎ 图为“毛泽东号”机车“客串”春运，牵引临客列车驰骋在京九铁路上

有完全自主知识产权的中国品牌机车。机车可牵引5000吨货物，最高时速可达

120公里。

2007年2月，中国北车大连机车公司与铁道部签订500台机车的采购协议。2008年12月29日，首台机车正式下线。

此外，和谐3B型电力机车不仅平时可以担负货物运输，还能在铁路客运繁忙时承担客运任务。据统计，今年春运期间共有62台和谐3B型电力机车担当了

临客列车牵引任务。

（文章来源：新华网）

数字化无模铸造：引领铸造技术革命

中国机械制造工艺协会副理事长、机械科学研究总院先进制造技术研究中心主任单忠德及其科研团队开发了“数字化无模铸造精密成形机”，《科技日报》2012年第444期以《数字化无模铸造：引领铸造技术革命》为题大篇幅详细介绍该研究成果。

2012年春季的一天，机械科学研究总院先进制造技术研究中心主任单忠德教授告诉记者，“数字化无模铸造精密成形机”今年预计推广应用30台，亚洲、欧洲亦有橄榄枝抛来，这种装备可在两天内制作出以前需要1—2个月才能完成的砂型，在单件小批量铸件及铸造模具开发生产中彻底将铸造工艺中的木模抛弃，在铸造行业中推广应用，将会节约大量木材和金属，挽救成千上万棵树。

2008年的一个周五，上述技术的发明者单忠德收到中国一汽的一个铸件图纸，对方希望能够采用数字化无模铸造技术进行砂型制造的测试，表示如果能在两天后的周一，依据图纸制出该铸件的合格砂型，中国一汽将启动购置设备谈判。两天后？按照传统铸造工艺，通常需要30—45天甚至更长时间！结果是，周一单忠德带领的研发团队把砂型摆在了谈判客户面前。

这是一场革命，这是科技的力量。

铸造 不得不说的话

更好的综合性能，更高的精度，更少的余量，更好的表面质量，更复杂的结构，同时，节能降耗、减少污染也是现代制造业的迫切要求



图1 数字化无模铸造精密成形机



图2 数字化无模铸造精密成形图

铸造有着数千年的历史，“干将莫邪”、“铸钟娘娘”的传说里都有着对铸造工艺的描述；去年热映的电影《钢的琴》里那架“钢琴”的琴体也是由铁水铸成。

在几千年历史河水的冲刷中，铸造工艺几乎从未被改变过。以应用最广泛的砂型铸造为例，先根据图样做出木模（或金属模），再放入砂箱填型做出砂型，后将熔化的金属浇灌入砂型空腔，冷却凝固获得铸件。从祖辈手中的烟袋锅子，到现代汽车的发动机缸体，铸件几乎都是出自这种工艺。

整个过程环节较多，需预留工艺补正量，并且尺寸精度差，人为影响因素很大，因为大部分都是以二维图纸为基础进行设计、制造。

随着汽车、机床等现今制造业技术的高速进步，以及核电、航空航天、国防军工等重大装备和重大工程的实施，铸造产品发展的趋势要求更好的

综合性能，更高的精度，更少的余量，更好的表面质量，更复杂的结构。同时，节能降耗、减少污染也是现代制造业的迫切要求。

反观传统铸造工艺，为了达到要求，木模、金属模等的制作过程耗时耗力，动辄以月为单位的开发周期，拖了制造后腿。

另外，单忠德告诉记者：“铸造生产中，砂型铸造应用最广泛，世界上大约80%的铸件都采用木模、金属模等进行砂型铸造。”目前，我国有3万多家的铸造企业，2011年我国铸件年产量超过了4000万吨，消耗了大量木材和金属。

革命 从不要木模开始

其实就是复杂金属件制造的“无模化、柔性化、数字化、精密化、绿色化和智能化”

在提高产品开发效率和降低能耗的呼声中，铸造工艺应该做出怎样的改变？

单忠德及其团队开发的数字化无模铸造精密成形技术及装备，直接从砂型加工入手。记者在现场见到了一座白色小房子——“数字化无模铸造精密成形机”。“小房子”内部，有一个类似龙门铣床的架构，一把刀头垂直地对着一块待切削的砂型。

技术人员所需要做的很简单，先用电脑将所需铸件的三维CAD模型做出来，自动规划路径后输入到无模铸造精密成形机，然后，就等着看刀头的“机器舞”吧。

刀头会按照程序设定的轨迹移动，或上或下，或左或右，或浅或深——这是一种精密机械独有的运动美感。经过一番切削后，一个完美的砂型得以呈现。这个过程，最快只需要几个小时，这点时间比起动辄以月为单位的开发周期，几乎可以忽略不计。

看过数控机床的刀头上下翻飞雕琢一个金属件的朋友，也许会在无模铸造精密成形机前体味到异曲同工之妙。

但你所不知道的是，由于是对型砂直接切削加工，因此存在着复杂薄壁砂型加工易出现坍塌且表面粗糙、高速旋转的刀具加工砂型易磨损或崩刃，加工的废砂如何及时清除及刀具冷却等诸多问题。

单忠德举例说，型砂质地粗糙，高速旋转的刀具与坚硬的型砂颗粒碰撞，普通刀头岂有不坏不崩之理？所以无模成形系列技术中，有一项就是专门的长寿命刀具研制。再有，切削型砂不可能用切削液给刀头降温，而产生粉尘又该如何处置？他们想到了在刀头周围创造出一个正负压环境，这样

既解决了降温问题，又不至于让刀头起舞时“黄沙滚滚”。

据单忠德介绍，该项目创新提出铸型数控加工方法、复杂薄壁件砂型配方、刀具冷却和废砂排除一体化方法、金属件自适应铸型制造及铸型坎合组装方法，创新地开发出具有自主知识产权的长寿命高速砂型加工刀具、固化砂型加工工艺参数的专用高速高效开放式数控系统和数据接口管理软件、刀具冷却和废砂排除一体化系统和系列化的无模铸造精密成形机。

以上这些成果总结起来，其实就是复杂金属件制造的“无模化、柔性化、数字化、精密化、绿色化和智能化”。

成效 用数字说话

不仅享受到时间节省和成本降低，重要的是使用该技术抢占了市场先机，由此所带来的收获更让人心潮澎湃

由于三维CAD模型直接驱动铸型制造，抛弃了传统的木模或金属模等模具，大大缩短了铸造流程，并实现了铸造行业的数字化，因此数字化无模铸造精密成形技术被称作是“铸造技术的革命”。

技术革命的效果就是，加工费用仅为有模方法的1/10左右，开发时间缩短了50%—80%，相应地制造成本降低了30%—50%。

如果你是一个铸造行业的从业人员，你应该可以体会到，不仅享受到时间节省和成本降低，重要的是使用该技术抢占了市场先机，由此所带来的收获更让人心潮澎湃。

如果你是一个铸造行业的从业人

员，你还会注意到，型芯数字化加工，取消了拔模斜度，提高了零件的成形精度，同时减少了设计中的加工余量；型芯柔性化的设计和灵活多样组合，为设计和制造提供了充分自由度；另外，多种类、激冷效果各异的型砂可构造自适应复合砂型。

如果在铸件开发及小批量生产中应用数字化无模铸造成形技术，将减少大量木材和金属的消耗，挽救成千上万棵树，成片的森林。同时，由于减少拔模斜度和加工余量，每吨铸件可平均减重3%，还将会节约大量金属和煤电，利于行业节能减排。

截止到2011年年底，单忠德团队先后在北京、吉林长春、山东烟台、河南洛阳、江苏常州和广西玉林等建立了7个数字化无模铸造精密成形技术与装备的应用示范基地。中国一汽、中国一拖、广西玉柴等企业已经采用该方法及装备，成功完成了轮毂、齿轮壳体、变速箱体、进排气管、发动机缸体等复杂铸件的开发，产生经济效益上亿元。

根据《中国铸造行业发展规划》，2015年中国的铸件总产量将达到5000万吨以上，年产值达到7500亿元以上，数字化无模铸造技术及装备将在汽车、模具、机床、工程机械、航空航天等领域应用前景广阔。

权威认定： “技术水平达到国际领先”

2011年3月中国机械工业联合会组织同行专家成果鉴定结论为“开发的数字化无模铸造精密成形方法、关键技术及装备创新显著，技术水平达到国际领先”。目前申请了20多项国内

外专利, 获得10多项授权专利及软件登记, 其中发明专利5项。2011年获得了北京市发明专利一等奖。

中国机械工程学会出版的《中国机械工程技术路线图》指出, “铸造过程数字化、信息化和智能化技术是铸造技术发展的重要方向, 其目标是到2020年快速、直接成形技术用于无模造型、制芯、铸造工具, 直到无模铸件直接制造。”

数字化无模铸造精密成形方法、关键技术和设备, 提高装备制造业关键零部件自主创新设计及其技术制造水平, 推动传统行业数字化、精密化、智能化、绿色化制造。对推进战略性新兴产业发展, 提升企业的核心竞争

力, 促进机械装备制造业节能减排、清洁生产、大幅提升铸造行业技术水平具有重要战略意义。

经典案例

1. 中国一汽汽车零部件开发缸盖铸件开发

中国一汽采用CAMTC-SMM数字化无模铸造技术及装备, 完成了多种汽车零部件的快速开发试制。

图1、图2为齿轮壳体、前轮毂体件开发过程。其中轮毂铸轮廓尺寸 $560\text{mm} \times 370\text{mm} \times 185\text{mm}$, 齿轮外壳铸件轮廓尺寸 $560\text{mm} \times 370\text{mm} \times 185\text{mm}$, 从CAD模型到铸件, 5天内均可全部完成。

2. 中国一拖缸盖铸件开发

中国一拖采用CAMTC-SMM数字化无模铸造技术及装备进行了多种复杂缸盖的快速开发。其中采用多块砂芯与外模组合方式, 可以实现小尺寸高精度形状结构的型芯的快速加工成形。图5为某缸盖的开发过程图。

3. 广西玉柴柴油机缸体开发

广西玉柴采用CAMTC-SMM数字化无模铸造技术及装备, 进行了柴油机复杂零部件开发。先后成功开发出1M曲轴箱、1M机体、1.35M机体等系列化柴油机部件, 如图6~图8所示。砂模加工时间仅用70小时左右, 从CAD模型到铸件时间10天左右, 产品开发周期缩短2/3以上。

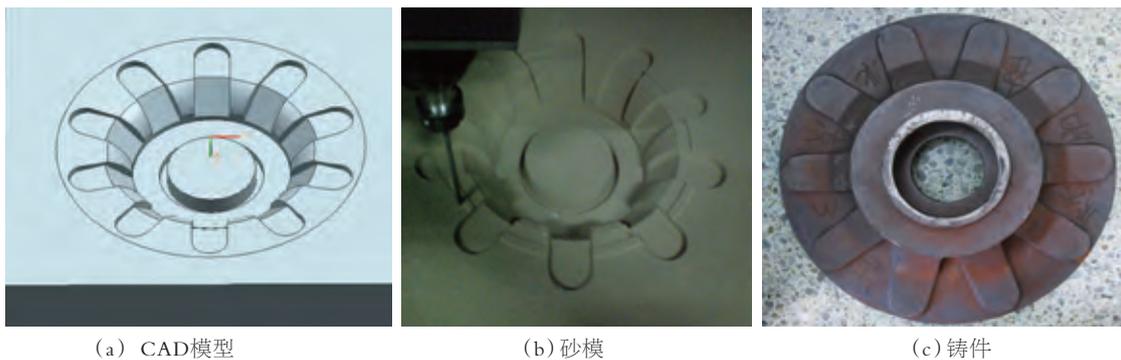


图1 轮毂铸件无模铸造

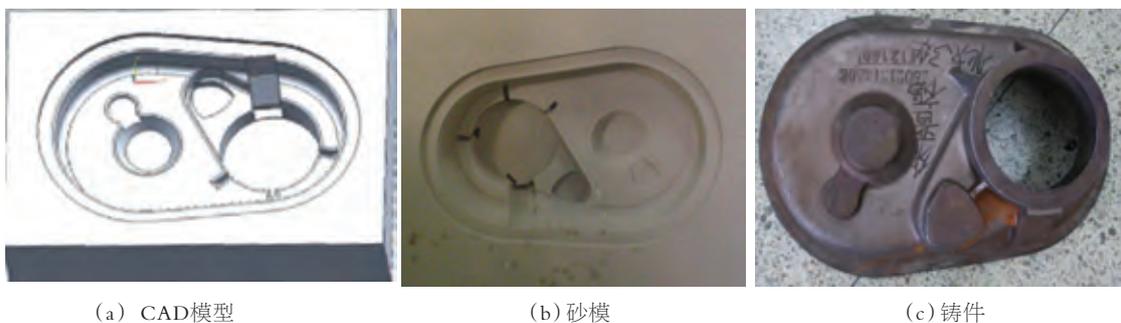
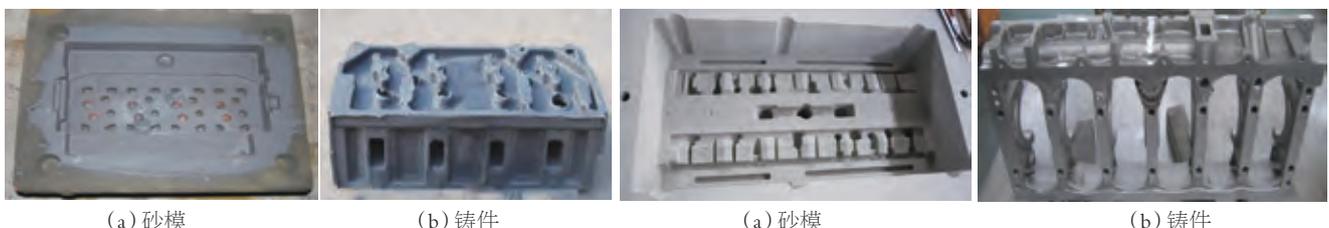


图2 齿轮外壳铸件无模铸造



(a) 砂模 (b) 铸件

图3 缸盖铸件无模铸造

(a) 砂模 (b) 铸件

图4 1M柴油机曲轴箱体无模铸造

中机联三届四次会员大会在京胜利召开



◎ 大会现场

中国机械工业联合会（简称中机联）三届四次会员大会2012年2月16-17日在北京召开。中共中央政治局常委、全国政协主席贾庆林为会议作重要指示。工业和信息化部总经济师周子学及民政部、国务院国资委等相关部门领导出席会议。来自中机联系统各专业协会、学会、事业单位和各省、市、机械工业协会（行办）及企业会员单位负责人约300人出席会议。中国机械制造工艺协会相关负责人参加本次

会议。

贾庆林在为会议作的重要批示中，对机械工业“十二五”开局之年取得的成绩和中机联发挥的作用给予高度评价，并对机械工业和中机联下一步发展与工作提出了要求。

工信部周子学在大会上发表重要讲话，分析了“十二五”推进工业转型升级的思路和任务，总结了当前工业通信业面临的形势和重点任务，提出要扎实推进装备制造业由大变强。

全国政协提案委员会副主任、中机联会长王瑞祥在会上作题为《深入贯彻“十二五”规划、大力推进转型升级，为实现机械工业又好又快发展而努力》的工作报告。

随后中国机械工业联合会会员单位代表作大会交流发言，分别介绍其单位所处行业的发展现状、目标及本单位在促进行业发展中所做的工作及未来发展的计划等内容。

中国机械工业联合会执行副会长蔡惟慈在大会上作《机械工业2011年运行形势述评和2012年展望》主题报告。最后由中国机械工业联合会执行副会长薛一平主持会议并发表总结讲话。

为期两天的大会在紧张有序的安排中圆满结束，中国机械制造工艺协会参会人员会后向协会秘书处工作人员及相关负责人传达了会议精神，并认真组织学习大会报告。

单忠德副理事长应邀访问山东康平纳集团

4月7-8日，应我会副理事长单位山东康平纳集团董事长、我会副理事长陈队范邀请，单忠德主任访问了山东康平纳集团有限公司。

山东康平纳集团董事长陈队范、总经理刘琳、副总经理鹿庆福等给予热情的接待。双方结合纺织机械行业运行情况和 trends，及机械行业的发展现状与趋势，探讨了未来的战略合作方案及计划，并达成了共识。

此次访问，对于推动双方开展更深层次的合作具有重要的指导作用。

王瑞祥会长在中机联三届四次会员大会上的报告



全国政协提案委员会副主任、中国机械工业联合会会长王瑞祥

全国政协提案委员会副主任、中机联会长王瑞祥在会上作题为《深入贯彻“十二五”规划、大力推进转型升级，为实现机械工业又好又快发展而努力》的工作报告。

首先，王瑞祥会长宣读了中共中央政治局常委、全国政协主席贾庆林同志的贺信。贾主席对中机联及全行业取得的成绩给予充分肯定，再一次强调了机械工业重要的地位和作用，对如何把握稳中求进的总基调，加快转型升级，推动机械工业振兴发展，实现由大到强，提出了殷切希望。对于工信部周子学总经济师代表工信部作的重要讲话，王瑞祥会长认为具有重大意义，分析了当前面临的形势，强调了要重点抓好的八项工作、实施的六项工程与活动，以及扎实推进装备制造业由大到强的工作重点和主要重点任务，对中机联的工作提出了希望。

同时，王瑞祥会长明确中国机械工业联合会三届四次会员大会的主题是，深入学习贯彻党的十七大及历次中央全会和中央经济工作会议精神，

认真贯彻国务院《工业转型升级规划》，以贯彻落实机械工业“十二五”规划为抓手，总结工作，分析形势，研究对策，部署任务，大力推进转型升级，实现机械工业平稳较快发展。

随后，王瑞祥会长从三个方面提出自己的意见。

1 2011年工作回顾

在介绍2011年行业经济运行总体情况时，王瑞祥会长通过统计数据说明，面对着“十二五”开局的全面起步，以及国内外环境约束因素增多等诸多困难和挑战，机械行业职工在党的方针政策指引下，紧密围绕行业“十二五”规划的贯彻落实，全力推进装备制造业、汽车产业调整振兴规划（以下简称“两个规划”）的实施，凝心聚力，奋力拼搏，继续保持了行业经济运行的较好态势。2011年行业经济运行有以下四大特点：

- (1) 主要产品产量稳定增长
- (2) 结构调整取得积极成效
- (3) 自主创新能力逐步增强
- (4) 经济效益质量保持稳定

在对2011年主要工作回顾中，王瑞祥会长表示在2011年，中机联及各会员单位按照三届三次会员大会提出的行业工作指导思想和七项重点工作，围绕推进“两个规划”和总体规划的贯彻落实，做了大量卓有成效的工作。主要表现在以下几个方面：

(1) 全力构建“十二五”规划体系，为新一轮发展奠定基础。

(2) 深入推进“十二五”规划贯彻落实，努力做好“三个服务”。

(3) 充分发挥党建工作优势，自身建设水平有了新提高。

在介绍“两个规划”实施的主要成果时，王瑞祥会长提出，2011年是国务院颁布实施“两个规划”的收官之年。在过去的三年中，中机联与各专业协（学）会、各地机械行业组织及广大企业，举全力抢机遇、抓落实。先后组织召开了行业大会学习宣传、专题部署；组织行业力量分解任务、落实责任；组织调研咨询、交流研讨，服务政府，反映诉求，全力推进贯彻落实，经过行业的共同努力，取得了重要成果。

2 机械工业面临的形势和挑战

王瑞祥会长说国务院颁发的《工业转型升级规划（2011—2015年）》，是指导今后五年我国工业发展方式转变的行动纲领，是落实我国“十二五”规划纲要的具体部署。规划对“十二五”工业转型升级面临的形势进行了全面分析，我们要认真学习，科学认识发展的内外部环境，未雨绸缪，积极应对，结合机械行业实际，做好各项工作。要认识到，机械工业要建成机械强国，就要具有科学合理的产业规模、产业布局和产业结构，具有较强的科技创新能力和科技研发水平，拥有一批具有国际竞争力的企业集团和世界知名品牌，主要产品的技术水平、质量性能、经济附加值具领先水平并占有相当的市场份额。距离强国目标，我

们还有相当的差距，需要我们以百折不挠的精神，付出艰辛的努力去实现。

“十二五”是机械工业调结构、转方式、上水平的攻坚期，全行业务必深刻认清形势，增强危机意识与忧患意识，切不可盲目乐观，更不能错失机遇。

3 2012年重点工作与总体要求

2012年是贯彻落实“十二五”规划承上启下的关键一年，也是机械工业全力推进转型升级、为建设机械强国奠定基础的关键一年。机械工业作为工业转变发展方式的主战场，要认真贯彻党中央的决策部署，抓机遇迎挑战，转压力为动力，站在新的起点上，为推进转型升级、实现“十二五”目标做出新贡献。

2012年行业发展的总体思路是：深入学习贯彻党的十七大和历次中央全会精神，认真落实中央经济工作会议和国务院工业转型升级规划的部署要求，坚持以科学发展为主题，以加快转变经济发展方式为主线，以推进落实“十二五”机械工业总体规划为抓手，稳增长、夯基础、攻高端、强管理，加快转型升级，提高产业技术水平、产品质量和经济附加值；提高服务政府、促进行业发展能力，全力推进

“十二五”目标任务贯彻落实，促进机械工业又好又快发展，以优异成绩向党的十八大献礼。

根据总体思路和目标要求及当前行业现状，围绕提高发展质量效益的中心任务，王瑞祥会长提出今年行业发展的六项重点工作：

(1) 把握稳中求进的总基调，实现机械工业平稳较快发展。

(2) 围绕转变发展方式的主线，深入推进产业结构调整。

(3) 抓住提高自主创新能力的中心环节，为行业转型升级提供支撑。

(4) 继续把节能减排摆在突出位置，为创建“两型”社会履职尽责。

(5) 坚持对外开放的基本方略，进一步提高机械工业国际化水平。

(6) 加强自身能力建设，适应和满足行业发展的新需求。

同时，王瑞祥会长提出行业转型升级涉及理念的转变、模式的转型和路径的创新，是一个战略性、全局性、系统性的变革过程，必须坚持在发展中促转变，在转变中促发展，必须坚持上下同心打有准备之战。为确保任务目标完成，王瑞祥会长提出五点工作要求：

(1) 加强形势政策学习，把握方

向、统一思想、振奋精神。

(2) 加强调查研究，深入基层，改进作风，做好服务。

(3) 加强行业引导，以点带面，点面结合，力求实效。

(4) 加强基础性建设，夯实根基，提升素质，提高能力。

(5) 加强统筹协调，互通有无，携手共进，开创新绩

最后，王瑞祥会长总结说明机械工业转型升级是一项长期任务，也是一项系统工程，必须坚持全行业一盘棋，上下同心，携手共进。要进一步健全信息沟通传递机制，运用通讯网络等现代化手段，形成日常信息常态化传递、重大信息及时报告的工作制度，做到专业、地区、会员之间的信息互通有无，资源共享，做到重大问题有渠道、有反映、有受理，并能及时有研究、有回应、有对策。要进一步加强交流学习与资源力量的整合，强化全局意识与团结协作精神，促进好思路、好经验的广泛传播普及，促进行业力量的整合与资源的合理利用。要进一步加强工作创新，注重学习树立新理念、新思维，关注总结新做法、新方式，支持传扬新发明、新创造，共同为行业创新服务贡献一份力量。7

王至尧副理事长应邀访问机械科学研究总院 先进制造技术研究中心

2012年3月15日，应机械科学研究总院先进制造技术研究中心主任、我会副理事长单忠德的邀请，中国机械制造工艺协会副理事长、中国空间技术研究院产品质量总师王至尧到机械总院研究中心访问交流，单忠德副理事长、战丽秘书长等给予了热情的接待。

王至尧副理事长、单忠德副理事长等就共同感兴趣的技术领域和合作点及中国机械制造工艺协会的工作进行了深入交流，并达成了共识。

王至尧副理事长的此次访问交流，加深了对我会工作的了解，密切了副理事长单位间的关系，为双方未来开展更深层次的交流与合作奠定了基础。

生物制造—现代设计制造的新典范



孙伟 美国德雷塞尔大学机械工程博士，奥尔伯特·索法终身讲席教授，国际生物制造杂志主编（英国皇家物理学会主办），美国机械工程协会生物制造技术委员会主席，美国人造体内器官学杂志组织工程编辑及其它杂志的编委，同时还担任美国国家科学基金会、全国卫生研究所、中国自然科学基金委、香港、加拿大、西班牙等国家和地区的科学与工程研究委员会的年度评审专家。其研究领域包括生物制造、计算机辅助组织工程、生物工程、CAD/CAM等。曾获得国家自然科学基金委、美国国防部高级研究计划署、美国国家航空和宇宙航局、美国标准与技术研究院、美国研究图书馆协会等资助，发表学术论文200余篇。

生物制造，主要指生物体制造，是运用现代制造科学和生命科学的原理和方法，通过单个细胞或细胞团簇的直接和间接受控组装，完成具有新陈代谢特征的生命体成形和制造，经培养和训练，完成用以修复或替代人体病损组织和器官。

生物体制造不是制造生命，它并不涉及生命起源的问题，而是用有活性的单元和有生命的单元去“组装”成具有实用功能的组织、器官和仿生产品。生物制造技术涉及了包括新兴物理、化学、生物学以及工程学等在内的广泛领域。广泛的应用于组织科学与工程、疾病发病机理研究、药物检测和开发、生物传感器、细胞和器官打印。报告中孙伟教授回顾了生物制造领域的杰出成就，并举例说明生物制造在组织支架设计与构建、细胞构建以及用于药物代谢研究的组织模型的活细胞生物印片等研究中的应用。

报告中重点介绍组织工程学及其发展。组织工程学是由美国国家科学基金委员会于1987年正式提出和确定的，是应用细胞生物学、生物材料和工程学的基本原理、理论和技术，研

究开发用于修复或改善人体病损组织或器官的结构、功能的生物活性替代物的一门科学。组织工程学的三个基本要素是细胞、支架、生长信息。细胞是一切生物组织最基本的结构单位。干细胞是人体内一种有潜力能够分化为其他类型细胞的特别的细胞，也是生物工程广泛研究和利用的一种手段。支架是用于支撑细胞成长为一个完整的组织的框架材料。用于引导和协调组织内细胞活动的各种方法，目前已知的能够影响细胞活动的生长信息包括各种蛋白质因子和电信号。

同时，报告中介绍了生物制造领域存在的问题与挑战，主要体现在以下五个方面：

1. 组织结构学的仿生制造及制造工艺、生物材料、形态的集成模型：模拟多种细胞，构建高度仿生的组织结构学模型，并将制造工艺、生物材料和制造生物体的生物体复杂形状相结合，实现生物制造工艺、物理过程和信息过程的高度集成；

2. 制造过程中如何保持生物活性及保持制造后的生物体功能：研究具有高生物相容性、可靠性、可复制

生产的生物材料；开发先进制造工艺和制造设备以提高成形效率和保证生物活性，并对由制造工艺引起的细胞损伤和损伤后的生物性能变化作深入的科学机理研究；

3. 如何制造类人体的三维复杂组织结构：研发复杂工艺成形范围内的多种生物材料和细胞的复合成形，开发大尺寸多种细胞结构体和三维组织制造的先进制造工艺和设备，有效的构建复杂细胞结构体和织造类人体的三维组织结构；

4. 细胞结构体的血管化：为了能构建大尺寸细胞结构体和类人体三维组织结构，并保持制造后的生物体功能和组织重建，生物制造学科急需研发新颖的预血管化技术制造工艺；

5. 微/纳米技术和生物纳米材料在生物制造学中的应用：利用微/纳米技术和生物/纳米材料来构建并引导高级细胞结构体和类人体三维组织结构的功能和组织。

解决这些关键问题，生物制造工程将会得到大规模的实际应用，如同信息产业革命一样，生物制造工程必将为现代社会带来巨大、深刻的变化。**7**

F级燃机透平持环立车加工工艺研究

姚建芳 韩雷 王敏 董桔花

上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂

摘要: 本文介绍了上海汽轮机厂实现F级燃气轮机透平静叶持环的车削制造过程。通过采用先进刀具、优化程序、完善的工艺方案,对加工重点、工艺难点逐个攻关,顺利实现燃气轮机透平静叶持环的车削国产化制造。

关键词: 透平静叶持环; 结构; 斜槽; 外圆槽; 倒角

1 概述

266MW F级重型燃气轮机是上海汽轮机厂引进的SIEMENS V94.3A燃气轮机技术,主要由压气机缸、连接缸和透平缸组成,透平静叶持环是安装在透平缸内,起到固定透平静叶的作用。图1是成品后的透平静叶持环。



图1 成品后的透平静叶持环

透平静叶持环材料为G17CrMo55。该透平静叶持环是由上、下半结构组成,上半重11411kg,下半重11453kg,水平中分面由紧固件螺栓连接,组合上、下半后形似一个锥桶形,大端外圆直径 $\phi 4012\text{mm}$,小端外圆直径 $\phi 2717\text{mm}$,总高度1733mm。

透平静叶持环属于薄壁类零件,内腔结构型线复杂,槽型特殊,加工

要求、配合要求高,在车削加工方面存在一定的难度,首次加工燃气轮机透平静叶持环是对我们加工制造能力的一个挑战。

2 主要加工难点分析

根据透平静叶持环结构特点及内腔静叶槽加工要求,我们制定了5m数控立车车削加工的工艺方案。

2.1 装夹定位难度大

由于透平静叶持环外形类似锥桶形,壁薄,根据加工特性,第一次装夹采取静叶持环小头端朝下进行装夹,装夹比较困难,易变形。

综合分析透平静叶持环结构特性,结合车间现有的装夹设备,确定装夹方案(见图2),采用4个夹头,8块压板进行



图2 装夹方式

支撑,内圆校调控制在0.03mm之内,确保零件加工的可靠性和安全性。

2.2 内、外腔各类槽型的加工

内、外腔各类槽型特殊,加工难度大。

2.2.1 内腔带有斜度的静叶斜槽加工

透平静叶持环内腔带有斜度的4条宽为12mm、公差为0.076mm的静叶槽(见图3中U、X、Y、W所示),其加工精度、角度位置要求高。

透平静叶持环内腔静叶斜槽共有四种不同规格的角度(见表1,表格中A、B代表径向尺寸,C、D代表轴向尺寸),斜槽相对于静叶直槽的位置精度要求也很高,同时要保证定位点径向尺寸和轴向尺寸的要求,即需要同时满足表1中径向尺寸A、B和轴向尺寸C的要求(见图4)。

经过工艺分析后,设计、制造专用的斜槽刀排、刀具和量具,以满足图纸的加工制造精度要求。由于此种静叶斜槽结构的特殊性和加工要求高的特点,其加工方法有别于其他槽型的加工,先粗、精车斜槽的斜面,再粗、精割12mm宽的斜槽。

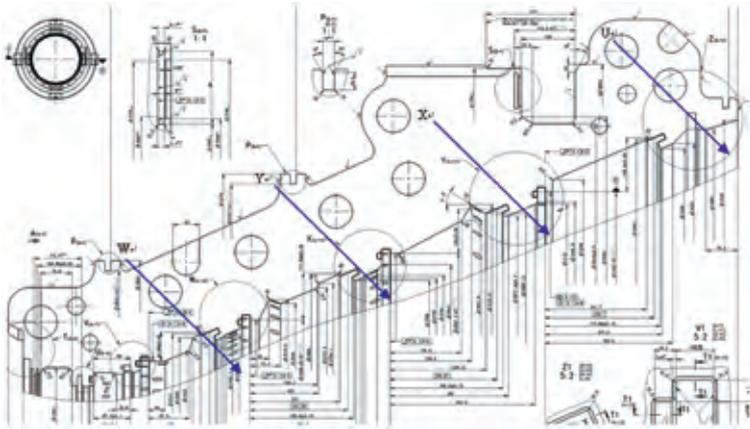


图3 4条静叶斜槽

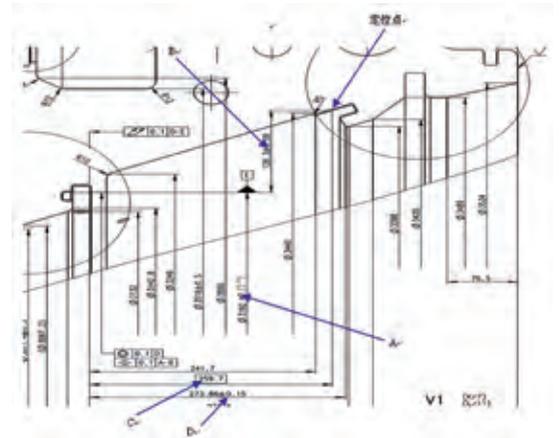


图4 斜槽位置示意图

表1 4条静叶斜槽规格

斜槽序号	斜槽深度/mm	斜槽角度/(°)	斜槽定位尺寸			斜槽轴向尺寸
			A	B	C	D
1	20.1±0.2	23.1±0.083	Φ3192H7+0.26	128.3±0.08	259.7	273.86±0.15
2	18±0.2	23.22±0.083	Φ2897.2H7+0.21	106±0.08	254.81	269.6±0.15
3	18.5±0.2	23.42±0.083	Φ2580.84H7+0.21	111.66±0.08	232.66	245.9±0.15
4	14.9±0.2	23.33±0.083	Φ2384.3H7+0.175	68.98±0.08	145.14	159.9±0.15

为了确保斜槽斜面处定位点满足图纸要求,刀具的选择和加工方法至关重要,由于受到斜面处凹槽的限制,需要设计制造专用的加工斜面的刀具。同时,为了保证表1中 A、B、C这三档尺寸,需要在精车斜面前,利用百分表和标准块测得斜面余量值,准确地计算出斜面的实际加工余量,修正刀补后进行车削,以确保斜槽斜面处定位点径向尺寸、轴向尺寸(表1中 A、B、C尺寸)的准确性。

斜面加工结束后,需要采用专用的斜槽刀排和刀具对斜槽(见图5)进行加工,为了确保斜槽的加工质量,编制最优化刀轨路径的加工程序,采用合理的加工工艺方案和对刀方式(见图6),做到斜槽和斜面能够很好地光滑过渡,很好地满足了图纸的设计要求。

2.2.2 内腔各弯槽加工

(1) 内腔宽7.2mm 弯槽加工。

加工内腔宽7.2+0.061 +0.025,深



图5 加工斜槽刀具

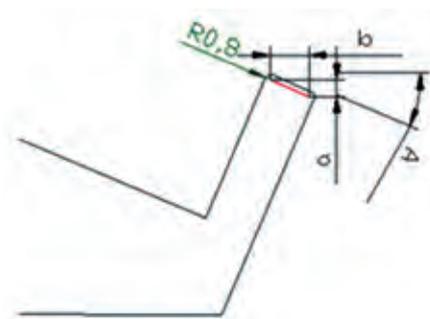


图6 对刀点的计算

6.3mm的弯槽,底部圆角为R0.6(见图7),其尺寸精度要求高,公差需要控制在0.036mm。同时,加工7.2mm 宽弯槽时对刀具也提出了很高的要求,刀具受槽宽16.2 mm的限制,最大宽度不

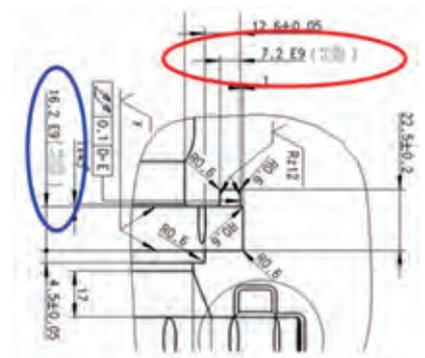


图7 7.2/16.2 mm弯槽

能超过15.7mm,若刀具宽度过窄,刀具的强度会影响槽子的加工精度。

加工时首先需要采用4 mm割刀粗割,再采用专用的6mm宽、厚15.2mm的割刀(见图8)精加工,并通过可靠的程序保证。

(2) 内腔宽12.9mm/1.2mm弯槽加工。

加工12.9mm弯槽,槽子肩胛部9f7这档尺寸,公差仅为0.015mm,还有12.9mm弯槽中镶嵌宽1.2mm、深2mm的弯槽,加工要求高,难度大(见

图9)。

加工12.9mm弯槽时,需要控制9f7(-0.013-0.028)尺寸的内圆,通过精确的对刀和可靠的程序,以保证将9mm肩膀控制在0.015mm之内。

加工弯槽中的宽1.2+0.2mm、深2mm弯槽,必须采用专用的成型刀具来完成(见图10),以满足图纸的设计要求。

2.2.3 外圆槽加工

加工持环宽为128mm的外圆槽,有一条深8mm的密封槽(见图11),底部轴向尺寸公差需要控制在+0.04之内,密封槽的内、外两侧各有深浅不一的凹槽,外侧是深为9.5mm的R3凹槽,直线部分仅为2mm,内侧是深为6.5mm弯槽,这种外圆槽,加工精度要求高、难度大。

为了将持环128mm外圆槽凹槽底径的轴向尺寸控制在+0.04之内,我们设计制造了45°小菱形平面刀具进行多次车削,最终外圆槽加工尺寸满足图纸设计要求。

对密封槽的内、外两侧槽深不一的凹槽,我们设计合理的加工工艺方法和完善的程序对其进行最优化的加工,内侧深为6.5mm弯槽,外侧是深为9.5mm的R3凹槽,分别采用6mm割刀(图12)和R3圆头刀进行车削(图13)。

2.3 缺少专用的检测手段

2.3.1 检测斜槽相对于静叶直槽的轴向尺寸

斜槽相对于静叶直槽的位置精度要求高,需要满足表1中轴向尺寸D的要求。我们机床无法检测其轴向尺寸D,因此,我们设计、制造了专用的量规进行测量(见图14),以保证D的尺寸,本持环设计并制造了4种规格的量规。

下转(24页)

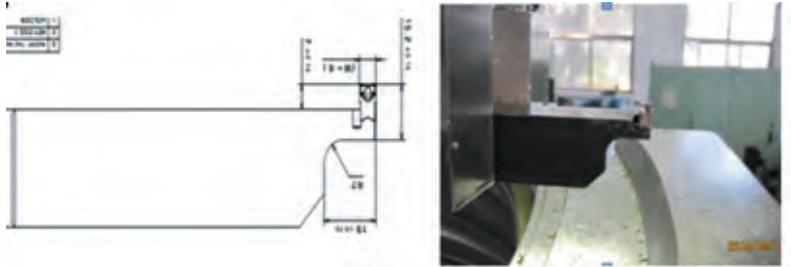


图8 加工7.2 mm弯槽刀具

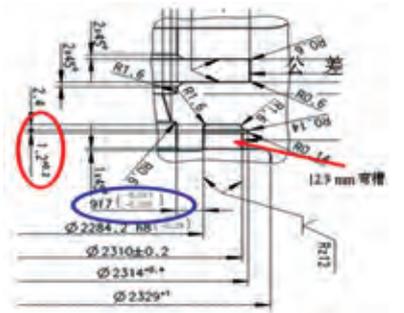


图9 加工12.9 mm / 1.2 mm弯槽

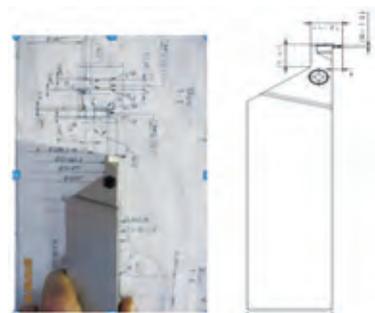


图10 加工1.2 mm 弯槽刀具

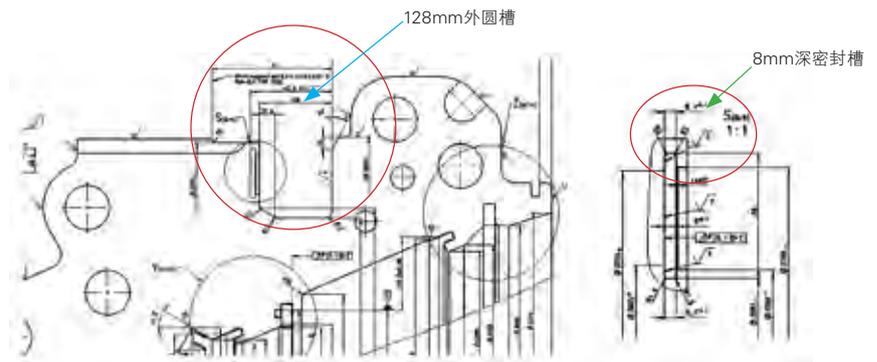


图11 128 mm外圆槽



图12 割内侧槽



图13 割外侧槽

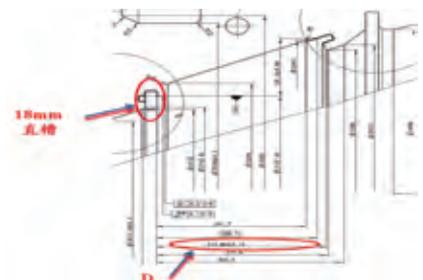


图14 检测D尺寸的方法



滑枕深腔精密孔加工及测量技术

王亚刚¹ 王秀平²

(1. 沈阳机床股份有限公司, 辽宁 沈阳 110142; 2. 中捷机床有限公司, 辽宁 沈阳 110142)

摘 要: 机械自动化是先进制造技术的重要组成部分其核心是数控技术。滑枕是数控落地式铣镗床中不可缺少的重要部件之一。本文阐述了采用特殊的镗具、刀具及夹压方法, 实现深腔精密孔的加工。

关键词: 深腔孔; 加工; 测量

1 概述

滑枕是数控落地镗系列产品中比较关键件之一, 它的结构特点是加工精度要求高, 内腔孔比较深, 前后两端孔同轴、圆柱度要求很高。

图1中所示是大型数控落地镗FBC200R上的滑枕, 前孔孔径 $\phi 380\text{MF}$, 后孔孔径 $\phi 360\text{MF}$, 前后孔都是安装精密轴承用的, 前后孔同轴精度要求 $\phi 0.01$, 圆柱度 0.008 , 前后孔间距 1727 。

这类零件已被我事业部广泛应用于落地系列、龙门系列, 零件规格越来越大, 精度要求越来越高, 现有的加工设备无法满足零件的要求, 因加工周期长, 精度满足不了装配要求而严重影响装配质量和进度。为解决这个制约生产的瓶颈问题, 通过细致的研究和试验, 采用专用镗具, 实现了用现有的小的加工设备加工大的、精度要求高的零件, 实现了数控落地镗系列滑枕深腔精密孔加工。

下面详细介绍一下这类滑枕深腔孔的加工过程及检测手段

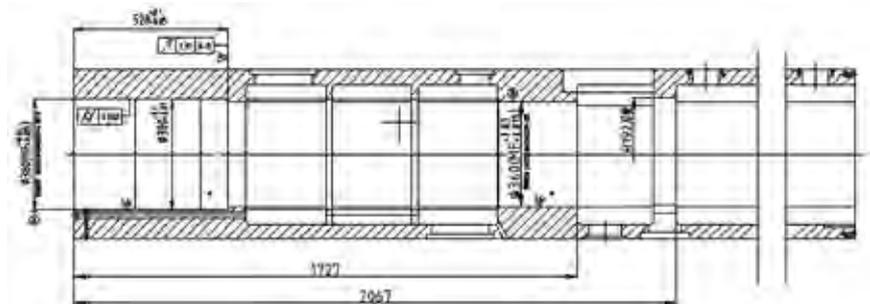


图1

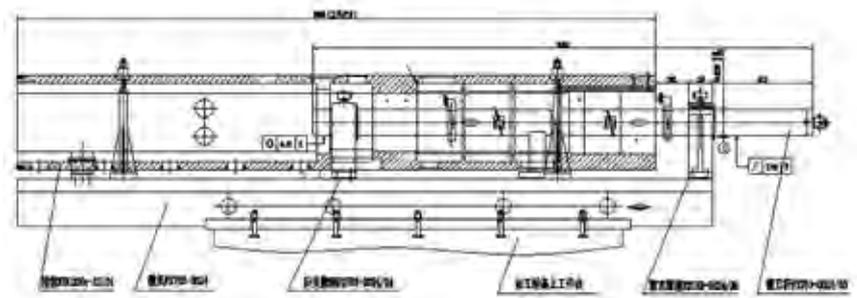


图2

2 加工方案的确定

为提高滑枕加工工艺水平及测量技术, 组织工艺攻关, 设计专用镗具F2763-0024(如图2), 采用固定式双向导向加工方法, 提高零件加工精度, 加工孔径精度可与轴承配制配合精度间隙达 $0.015\sim 0.02$, 最大可加工工件长度 $4\sim 5\text{m}$; 各孔同轴度 0.01mm ; 提高零

件加工效率2倍, 保证产品装配后主轴转速达到1200转以上。

3 加工设备的选用

选用数控落地铣镗床TK6913B, 工作台面积 2000×2500 。

4 镗具的设计

为保证前后孔的同轴, 采用前后

孔的加工工艺基准统一原则,实现一次装夹加工前端孔和后端孔,以确保前端孔和后端孔的同轴。

4.1 工件的定位方式

采用工件的其中一面为定位面,其中一侧面为导向面,通过螺杆和压板进行紧固,见图3。

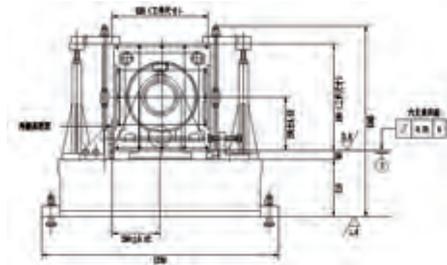


图3

(1) 前后支撑: 前支撑设在工件的前端,后支撑借助工件上的方窗孔设置在工件需要加工的后轴承孔的后端,前后支撑孔内架专用的镗刀杆,以实现一次装夹分别满足前后孔的加工,这样的加工方案对实现工件前后孔的同轴度提供了可靠的保证,见图2。

由于需要加工的前孔和后孔的间距太长,在前后支撑间增加辅助支撑,以克服镗杆的悬伸变形,在安装辅助支撑时,一定不要使镗杆变形,其中心可低于镗杆中心0.02~0.05 mm。

(2) 镗刀杆: 根据零件加工孔径的大小尺寸,选择镗杆直径尺寸为 $\phi 160$,根据零件所需加工孔的位置确定镗杆上镗刀装夹位置,根据选用的刀具刀体的形式,确定安装刀体处为方形孔,另外为今后不同孔位置零件能够通用该镗杆,多设几个镗刀装夹位置,以实现一杆多用(见图4)。刀体通过螺钉紧固的方式固定在刀杆上。

(3) 镗刀: 采用进口的镗刀装置(高迈特)进行镗孔,刀体采用方形形式,镗刀头处具有微调功能,能够实现0.01 mm的调整精度。镗削过程中,首

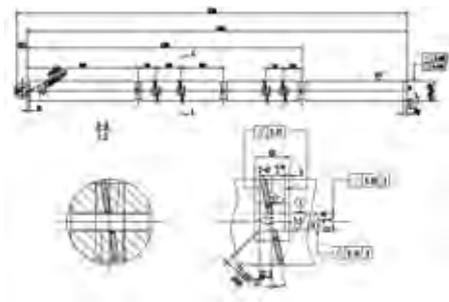


图4

先将刀具按预先需要粗镗孔的尺寸安装到镗杆的刀方孔内,固定加紧,边镗边调刀具的直径尺寸,当接近需要加工孔的要求尺寸时,再通过调刀装置(F2673-0008)进行调整所需要的刀具尺寸进行镗削(见图5、图6)。

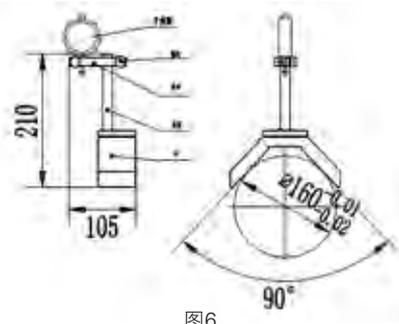


图6

4.2 零件的加工过程

(1) 将镗具放置在加工设备的工作台上,按镗具上的找正基准找正镗具不大于0.01后固定夹紧。

(2) 将滑枕以一面为装置面,以一侧面为导向,按预先确定好的轴向位置固定夹紧好。

(3) 将镗杆穿入镗具的前后支撑内,镗杆前端与主轴通过拨盘F2763-0005进行连接,以实现主轴旋转动力的传动(见图7)。

(4) 调整刀具的安装尺寸,镗刀固定夹紧后,通过主轴旋转带动镗杆旋转进行精镗孔,先镗前端孔,再镗



图7

后边孔,边镗孔边测量。当接近图纸要求尺寸时,按照实际测量的孔的加工尺寸,借助对刀装置(见图6)进行微调刀具,以确保加工后孔的尺寸要求。

用该镗具加工时切削参数:镗杆转速:15r/min,进给3mm/min,径向切深2mm。切削平稳,效率也很高,比原来的采用吊墙具加工方法效率提高3倍。图8中显示的是原来的采用吊墙具加工方法,其缺点是因吊墙(作镗杆的支撑用)是悬挂在滑枕上的,其支撑刚性差。这种镗具镗孔时切削参数:镗杆转速10r/min,进给2mm/min,切深径向1mm。切削效率较低。



图8

(5) 孔径尺寸的测量:

1) 测量工具: 单杠式内径千分尺,见图9。



图9

使用单杠式内径千分尺在线测量滑枕孔径,对加工操作者测量技能有一定要求,此测量方法能直接读数,测量值与实际值比较接近。可以在实

际加工中进行在线测量。在零件加工前24 h, 需要将与该滑枕孔配合的轴承预先拿到滑枕加工处, 以确保在同一环境下测量的数值, 加工孔前, 用外径千分尺测量出轴承的实际尺寸, 再根据实际加工孔的尺寸调整单杠式内径千分尺, 在线测量出加工孔的尺寸, 当实际零件加工的尺寸接近轴承的外径尺寸时, 再通过对刀装置(F2673-0008)进行调整所需要的刀具尺寸进行镗削(见图6)。然后再加工, 再测量, 直至满足与轴承配合的间隙要求为止。记录检测数值, 与所配轴承作成组标记, 成组入库。

2) 由于镗杆在加工孔内, 没有足够的空间用于测量, 采用单杠式内径千分尺根本测量不了, 用内径卡钳测量的话, 靠的是加工操作者测量技能, 不能直接读数, 测量值与实际比较值只能是较接近(见图10)。



图10

3) 通过在镗杆上增加测量用施工孔的方法, 将单杠式内径千分尺通过镗杆上的施工孔, 直接接触到加工孔内, 能够比较真实的测量出加工后孔的实际尺寸, 解决了检测难和检测数



图11

据不准确的问题(见图11)。

5 结果分析

随着产品的不断升级, 零件规格的不断增大, 深腔孔加工的同轴问题一直困扰着我们很长一段时间, 原始采用的加工方法——吊墙导向法, 在精密数控铣镗床上加工每件约8 d (160 h), 因前后端轴承孔同轴度加工检查无法检测, 故在装配穿主轴后拉表检测同轴度, 不合格后加修, 放孔镶套。使用镗具F2763-0024加工每件用时4 d (80 h), 加工后零件不需要加修, 可提高加工效率2倍以上, 每份缩短装配

周期约10 d, 此加工方法已经在我单位进行了实施验证, 并已广泛地应用在了生产中, 确保了零件精度, 为单位带来了可观的经济效益。^[7]

参考文献:

- [1] 杨叔子. 机械加工工艺师手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 徐莹. 新编机械设计师手册(下). 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] 艾兴, 肖诗颖. 切削刀具手册. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [4] 王奎奎. 机械制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [5] 刘先曙. 热处理工作者手册. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [6] 孟少农. 机械加工工艺手册. 北京: 机械工业出版社, 1987.

作者简介: 王亚刚, 工艺员, 工程师。

通讯地址: 沈阳经济技术开发区开发大路17甲1号沈阳机床股份有限公司生产管理部
邮编: 110142

电话: 024-25190449

传真: 024-25190480

E-mail: wyagang@126.com

·百科名片·

筒子纱数字化自动染色成套技术与装备



筒子纱数字化自动染色成套技术突破了中央控制系统单元、染料自动称量、元明粉纯碱自动称量、自动调湿、自动染色、自动脱水、微波烘干、热能回收等10余项关键技术。开发出筒子纱微波烘干机、元明粉自动称量系统、装卸纱机器人、中控软件系统等18台/套。创新地研制出中央控制的筒子纱数字化自动染色成套工艺, 开发了在线调湿、粉料计量输送与溢流溶解一体化、微波高效烘干等工艺, 解决了筒子纱内外一体化均匀烘干等技术瓶颈, 配料精度达到0.1%, 保证了染料配比的精准性, 抓卸纱机械手重复定位精度达到±0.05mm。创新地提出工艺设备需求驱动、物流设备队列优先的集中管理、分布控制方法, 开发出具有自主知识产权的筒子纱中央控制软硬件系统, 实现了筒子纱染色过程的集中控制和智能调度, 优化了染色工艺流程, 可实时连续监控漂染过程的工艺运行参数, 提高设备利用率10~15%。基于模块化设计的中央控制系统可应用于30~100吨/日筒子纱自动化染色。

技术咨询: 吴双峰 Email: wsf010@126.com Tel: 010-82415045

F级燃气轮机转子加工工艺研究

曹红波 李明超 葛春新 徐冬

上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂

摘要: 针对F级燃气轮机转子结构复杂、材料特殊、精度要求高以及零加工经验的难题,介绍了燃机转子的结构及加工工艺特点,分析了转子的加工挠度和精度,阐述了F级燃气轮机转子的车削及磨削加工方案。以燃气轮机转子加工过程中不可避免的加工挠度和高要求的加工精度为出发点,介绍了转子跳动量测量、叶顶激光测量方法,提出了车削加工时后静压托架的校调以及叶顶磨削时防止陶瓷涂层脱落的工艺方案,从而有效避免了加工挠度的影响,满足了图纸精度要求。针对各个加工瓶颈,提出了合理的解决方法,成功实现了我厂F级燃气轮机转子的国产化加工。

关键词: F级燃气轮机转子; 预车削; 最终车削; 预磨削; 最终磨削

1 燃气轮机转子结构及工艺特点

V94.3A重型燃气轮机机组为引进的新型联合循环燃气轮机机组,该机组转子为轮盘拉杆式结构,包括19级轮盘和三个中空轴,所有零部件用

一根中心拉杆拉紧,各零部件之间的力矩通过端面齿(赫斯齿)传递。整根转子重量达到100t左右,长度为10m左右,加工综合难度系数大,转子结构如图1所示。

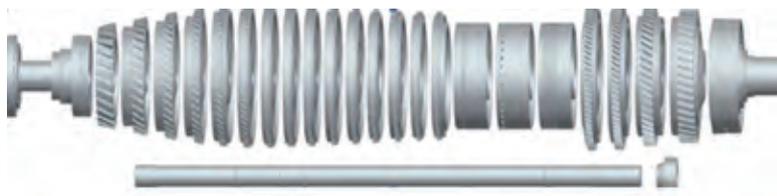


图1 F级燃气轮机转子结构简图

针对全新的转子设计结构、激光测量设备和磨削附件的首次使用、新工艺方案的技术准备,开展了一系列工艺攻关:技术准备阶段,针对该机组提前设计配备专用工装设备,对加工制造中使用的各种刀具、测量软件及机床硬件进行了大量的试验研究;工艺实施阶段,全程跟踪服务,及时了解

并解决各类问题;加工后期,进行了细致的分析和总结,进一步完善了加工方案,为我厂顺利完成F级燃气轮机转子的国产化制造任务奠定了坚实的基础。

2 燃气轮机转子加工概况及工艺分析

2.1 转子加工概况

F级燃气轮机转子主要加工工艺流程包括以下工序:(1)转子预加工-预磨削;(2)转子预加工-预车削;(3)转子最终车削加工;(4)转子最终磨削加工。

2.2 转子加工工艺分析

燃气轮机转子在装配以后,需要在车床上进行车削和磨削加工。燃气轮机转子的加工,工艺方面主要有两个难点,即加工挠度和加工精度,下面分别就这两个工艺难点进行研究。

2.2.1 加工挠度分析

V94.3A燃气轮机转子装好叶片后,最大回转直径为 $\phi 3208.2\text{mm}$,约100t,总长9742mm。加工过程中为了避免过定位损伤转子,采用的是车头卡盘与车尾轴瓦进行定位的方式,如图2所示。

同时,由于受切削力的影响,转子在加工过程中挠度的产生是不可避免



图2 F级燃气轮机转子装夹图

的, 挠度的存在会对加工过程造成如下影响:

(1) 导致装夹不紧而损坏机床主轴精度;

(2) 因自重而导致的转子挠度使得转子主轴轴心线偏离大车主轴回转轴心线, 产生几何形状加工误差。

(3) 因燃机转子的装夹采用一夹一托的方式, 故挠度的存在将使转子有向尾架方向轴向移位的趋势, 导致系统不稳定, 从而影响加工精度。

2.2.2 加工精度分析

燃气轮机转子的加工精度要求非常高, 形位公差基本均为0.01~0.02mm, 具体包括垂直度、圆柱度和平行度等。关键尺寸公差要求也非常高, 基本均为h6~h7。这就要求在选择刀具的时候, 应特别注意所选刀具能否达到所加工位置的尺寸精度要求。此外, 转子两端轴颈外圆的表面粗糙度为Ra0.8, 这就要求车削加工时要合理选择走刀量, 以满足表面精度要求。另外, 按要求, 所有加工表面在精加工以后都要进行抛光。

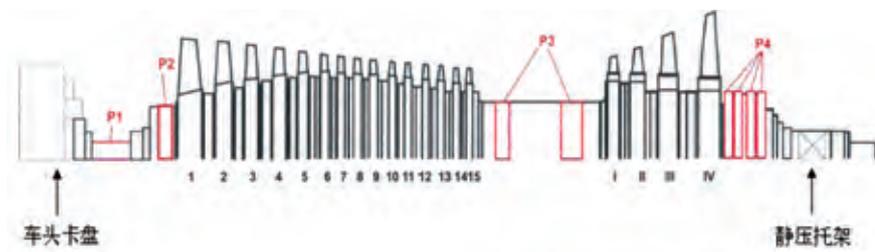


图3 F级燃气轮机转子预车削时装夹图

3 转子在大车上的车削加工

3.1 跳动量测量及计算

根据要求, F级燃机转子有一项非常重要的精度指标: 有26处径向位置的圆跳动量0.15mm, 且圆跳动量矢量叠加后, 其主矢量90°范围内的各矢量和2.25mm, 并且车头端轴颈跳动量的正弦回归量小于0.003。只有在满足以上要求的情况下, 车削和磨削加工方可进行。因此, 在加工之前, 我们需要利用机床附带的测量系统对转子进行跳动量测量。

由于该测量系统的使用在我厂尚属首次, 总体来说, 还是缺乏经验, 在测量过程中, 我们反复调整参数, 校调系统, 最终获取了正确的测量结果, 使接下来的加工得以顺利进行。

3.2 预车削与最终车削

在现场加工中, 转子的车削包括两次加工过程: 预车削与最终车削。预车削与最终车削加工过程基本相同, 两者区别在于预车削主要加工两端轴颈档, 切深比较大; 最终车削则加工要求更高。加工压气端时, 压气端靠车头, 透平端靠车尾, 静压托架托在转子透平端轴颈档处, 如图3所示。加工透平端时的装夹方式正好与之相反。

如前面分析, 该转子在加工过程中由于自身重量大、长度长以及装夹导致转子回转轴线与机床主轴不同轴, 使得转子沿机床主轴方向产生了挠

度。而挠度的存在对于精加工过程极其不利, 它将严重损害零件的加工精度。在实际装夹过程中, 通过恰当的校调来使得车削加工位置的挠度为零。

转子上车校调, 逐步调整后静压, 监测法兰端面的跳动量, 保证轴向不窜动逐步校准转子端面跳动 ≤ 0.01 , 轴颈跳动 ≤ 0.01 。图4为燃气轮机转子车削加工及抛光过程。



图4 F级燃气轮机转子车削加工

在转子加工过程中, 由于燃气轮机机组转子材料属于难加工材料, 因此必须时刻关注排屑状况, 注意切削参数的合理选择, 加强现场检测, 严格将尺寸控制在公差范围之内, 同时保证加工精度满足图纸要求。

4 转子在大车上的磨削加工

4.1 叶顶测量及激光测量系统

根据图纸要求, 在叶顶磨削加工之前, 需要将激光实测数据与图纸设计数据相比较, 最后确定需要磨削的磨削余量。

在实际测量过程中, 采用随机床配置的激光测量系统测量叶顶直径,

并记录相关数据。由于我厂是第一次采用这种设备测量转子叶片, 缺乏操作经验, 因此, 测量过程中, 只能边测量, 边摸索经验, 测量的同时, 不断对系统参数进行修正。激光Z轴的零位设定对测量结果有着决定性的影响, 因此, 测量之前, 需准确、合理地设定Z轴零位。

4.2 叶顶预磨削及最终磨削

燃气轮机转子在整个加工过程中



图5 F级燃气轮机转子叶顶磨削

需要进行两次磨削加工: 预磨削与最终磨削两个步骤。在这两个过程中, 除了磨削余量有所不同外, 其他设备, 如机床、砂轮、测量软件等均完全相同。转子的车间磨削加工如图5所示。

整个磨削过程的重点在于透平端陶瓷叶片的磨削, 陶瓷叶片成本极高, 在磨削过程中要求陶瓷不能脱落, 实际加工时采用了合理的磨削工艺, 使磨削加工任务圆满完成。

5 结束语

通过对F级燃气轮机转子加工工艺研究, 我们设计了满足F级燃气轮机转子加工的工艺技术方案, 通过详细的技术准备、生产实施阶段的现场技术服务, 以及操作人员的精细操作, 我厂首根燃机转子的各项技术指标完全满足图纸设计要求。

F级燃气轮机转子的加工完成, 是我厂燃气轮机机组国产化进程的一个重要里程碑, 为我厂的燃气轮机机组整台国产化加工制造打下了坚实的基础。T

参考文献

- [1] 桂启志. 汽轮机转子车削加工装夹支撑方式分析[C]. (2010年全国汽轮机行业金切与工艺技术联络网年会论文集), 2010.
- [2] 刘彦臣, 李战芬, 李彩霞. 数控机床测量功能的研究[J]. 机械制造, 2011, 04: 77-78.
- [3] 赵军. 汽轮机燃气轮机高温合金材料的机械加工[J]. 机械工程师, 2010, 02: 136-137.
- [4] 丁丽锋. 燃机压气机叶片涂层开发及应用[R]. (上海汽轮机厂科研课题报告), 2009.

作者简介: 曹红波 (1978-), 女, 上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂工程师, 从事汽轮机工艺工作。

通讯地址: 上海市闵行区江川路333号上海汽轮机厂工艺处

邮编: 200240

电话: 021-64358331-3467

传真: 021-64358331-3744

E-mail: caohb@shanghai-electric.com

· 百科名片 ·

超高强钢热冲压成套技术及自动化中试线



超高强钢热冲压成套技术及自动化中试线已建成国内首条具有完全自主知识产权的基于中央控制的28万件产能自动化中试线, 自主开发制造的高速高精坐标机械手可实现2件/分钟的生产节拍, 在线检具可实现实时检测零部件精度并进行在线分检。生产线厂房面积1000平米, 拥有10吨的桁吊以及完备的原料贮存、生产作业、加工检测、表面处理等功能区域, 可以完成设计开发、生产制造、模具加工、实验检测、喷砂处理、质量保障、生产储备等全生产环节。已为北汽福田批量生产供应200台迷迪新能源车型的超高强钢车门防撞梁, 并且为一汽等自主品牌开发制造电机支架、前保险杠等结构件, 产品尺寸精度达到 $\pm 0.5\text{mm}$, 硬度分布均匀, 零部件性能达到国际先进水平。

技术咨询: 姜超 Email: jiangchao@139.com Tel: 010-82415140

SLA树脂模熔模精铸的快速铸造方法

高飞¹ 谭威²

(1. 中航工业庆安集团有限公司; 2. 陕西恒通智能机器有限公司)

摘要: 利用激光光固化快速成型机 (SLA) 制作的六面立方体空心结构树脂模, 替代蜡模直接用于熔模铸造, 是目前唯一能满足熔模精密铸造尺寸精度和表面质量要求的快速铸造方法, 因其独特的六面立方体空心结构, 在铸造过程中能有效避免胀裂型壳, 具有较好的工艺适应性。结合实际生产对模组制作、型壳焙烧、树脂模烧蚀等工艺进行探索和改进, 使SLA树脂模直接铸造与现有的熔模精铸工艺相结合, 实现高效、高精度的快速铸造。

关键词: 熔模精密铸造; 快速成形; SLA树脂模; 快速铸造

快速成型技术是具有高柔性的先进制造技术, 由零件的CAD模型直接驱动设备完成零件或零件原形的成型制作。熔模精密铸造是一种近净形成形工艺, 其铸件尺寸精度高、结构复杂, 材料适应性强, 在高附加值的航空航天领域得到广泛应用, 但模具制造和定型周期长, 成本高。将快速成型技术与熔模精密铸造技术结合起来, 采用快速原型 (RP) 作为直接铸造模型——也就是作为一种熔模, 可以极大提高熔模精密铸造的柔性, 实现快速铸造, 满足新品试制和小批量生产的需求, 这也是快速成型技术的一个主要发展方向。SLA (立体光刻) 法能够适应熔模铸造工艺, 而且相对于其他用于熔模铸造的快速成型方法 (如 SLS、FDM), 在尺寸精度、表面质量方面具有很大优势, 在国外航空航天和军工部门的熔模铸造中应用广泛, 是美国航空航天领域快速铸造技术的

标准路线。

1 快速原型直接铸造的几个问题

1.1 尺寸精度

用快速原型作为直接铸造模型进行精密铸造, 铸件的尺寸精度主要取决于原型的精度。

我公司在熔模精密铸造新品毛坯试制和小批量生产中使用SLS (激光选区烧结) 原型已有十年左右, 这种快速原型表面较为粗糙, 需进行浸蜡和手工打磨修整处理, 总体来看变形量较大, 实际的尺寸波动较大, 较难满足航空精密铸件的尺寸精度要求。为了寻求适用于熔模铸造工艺且尺寸精度更高的方法, 我们对其他快速成型方法进行了试验, 如SLA、3DP (三维快速打印) 等。

对分别采用SLS和SLA工艺制作的铸件快速原型件进行测量, 实际的尺寸波动如表1。

表1

基本尺寸		尺寸波动幅度	
大于	至	SLS	SLA
16	25	0.2~0.9	0.2~0.3
25	40	0.1~0.5	0.06~0.2
40	63	0.2~1.7	0.04~0.2
63	100	0.2~1.3	0.06~0.2
100	160	1.7~2	0.06~0.3

可以看出, SLA法原型 (六面立方体空心结构树脂模) 的尺寸波动幅度远小于前者, 可以满足熔模铸造要求。利用3DP法制作的原型数量较少, 尚不具备普遍的代表性, 经测量其波动也较小, 尺寸精度可达熔模铸造要求。

1.2 制壳工艺性

快速原型用作直接铸造模型进行熔模铸造的基本工艺流程为: 制作快速原型—制作浇道蜡模—组合—涂挂干燥—脱除浇道蜡—型壳焙烧 (烧蚀原型)—融化浇注—脱壳—切割—修整。

由于快速成型所用的树脂等材料熔点高于铸造用蜡的熔点，所以快速原型在脱除浇道蜡和型壳焙烧两个阶段可能对型壳造成危害：在蒸汽脱除浇道蜡时原型不会象蜡一样熔化，从型壳中流出，而会发生膨胀，其膨胀变形量比型壳材料大，容易胀裂型壳。在型壳焙烧的开始阶段，快速原型受热膨胀也可能将型壳胀裂。

SLS原型采用聚苯乙烯(PS)或聚碳酸酯(PC)等热塑性粉末，模样疏松多孔(孔隙率达25%以上)，减轻了脱模时胀裂型壳的危险，我们在实际中，应用现有熔模铸造工艺，未发生过胀壳。应用专业软件制作的SLA树脂模，外表光滑细致，内部为独特的六面立方体空心结构，有助于防止胀壳。3DP原型内部只能做成实心结构，未见有直接用作精铸熔模的案例，试验中脱除浇道蜡时发生型壳胀裂破碎，不适合直接铸造。



图1 某铸件的SLA树脂模



图2 粘结通风孔细蜡棒



图3 型壳



图4 烫穿通风孔

1.3 灰分

如果成形材料燃烧后残留灰分多或形成不易去除的焦油状残渣，将导致铸件产生夹杂等缺陷，多年实践证明SLS原型烧蚀后的残留灰分完全满足熔模铸造的需要。

2 基于SLA树脂模的熔模铸造

2.1 制模

我们选取尺寸和结构比较有代表性的三种铸件，采用陕西恒通智能机器有限公司的SPS600B激光快速成型机制作了SLA六面立方体空心结构树脂模，所用树脂为DSM Somos@ ProtoCast AF 19120快速铸造专用树脂。

2.2 制壳

2.2.1 SLA树脂模的预处理

为了防止在脱蜡和焙烧过程出现型壳胀裂，对照国外工艺，我们对一部分树脂模在制壳前进行了以下两种或其中一种的预处理。

(1) 在模型上粘接 $\Phi 5$ 左右的细蜡棒，制壳完毕后去除蜡棒顶端的型壳，然后用烧烫的铁丝烫穿蜡棒和里面的树脂模表皮，形成与空心结构相通的通风孔(见图1~图4)，这就避免了SLA模型空心结构里的空气在蒸汽脱除浇道蜡时受热形成的膨胀压力使型壳胀裂，同时也为氧气进入型壳深处提供了通道，保证了树脂在型壳焙烧时能完全燃烧。

(2) 在树脂模粘接内浇口的部位钻孔，然后再粘接蜡质浇口，同样是避免空气膨胀的压力以及为氧气提供通道。

通风孔在型壳浇注前要堵上，这种设置通风口的做法使得工艺过程比较麻烦，为此，我们对部分SLA树脂模不采取上述预处理，按照现有的制模工艺进行。

2.2.2 型壳材料

制壳采用硅溶胶-硅酸乙酯复合型壳，面层、背层分别采用硅溶胶锆英粉涂料和硅酸乙酯上店粉涂料，用砂为锆英砂和上店砂。

2.2.3 脱蜡及焙烧工艺

(1) 脱蜡。使用蒸汽脱蜡釜来脱除组成浇注系统的低温蜡料，脱蜡蒸汽压力：0.35~0.45MPa，压力平衡时间：5~30s，脱蜡时间：5~15min。

(2) 焙烧。分别使用天然气炉(炉内鼓风能提供充足的氧气支持树脂完全燃烧)和箱式电阻炉对型壳进行焙烧和SLA树脂模的烧蚀。型壳装炉温度：400~950℃，焙烧温度：950~1100℃，保温时间：2h。

2.2.4 型壳脱蜡和焙烧情况

型壳脱蜡和焙烧的具体情况见表2。

表2

铸件名称		铸件1		铸件2		铸件3	
SLA树脂模的预处理	粘结通风用蜡棒	×	×	√	×	√	×
	内浇口设置处打孔	√	×	√	×	×	√
型壳脱蜡	脱蜡压力/MPa	0.35~0.45					
	压力平衡时间	短	短	短	短	长	长
	脱蜡时间/min	5~15					
	型壳情况	未出现胀裂					
	焙烧设备	电炉	天然气炉	天然气炉	电炉	天然气炉	天然气炉
型壳焙烧	装炉温度	低	高	高	低	低	低
	焙烧温度/°C	950~1100					
	保温时间/h	2					
	型壳情况	未出现胀裂					

从上述结果可见，SLA六面立方体空心结构树脂模作为熔模，按照常规的熔模铸造制壳工艺，在不预先设置通风孔、压力平衡时间较长（脱蜡升温慢）等不利的工艺条件下均未发生胀壳。

2.2.5 SLA六面立方体空心结构树脂模的工艺特点

制作SLA树脂模的树脂热膨胀系数比型壳材料大，在蒸汽脱蜡和焙烧过程中，树脂模会对型壳施加张力，做成空心的结构则减少了受热时对型壳造成的冲击力，有助于避免胀裂型壳。

我们制作了尺寸为120×60×30（mm）的SLA六面立方体空心结构树脂模试样进行测试，按照常规熔模

铸造工艺与低温蜡组树、制壳后的试样，经蒸汽脱蜡型壳未胀裂，将型壳去除后，观察到试样向内塌陷、破裂，而直接放在蒸汽脱蜡釜中加热的试样向外鼓胀破裂（图5、图6）。SLA空心结构树脂模受热时封闭在内部的空气受热膨胀，在不受约束的情况下，最终会向外胀裂树脂模，而在型壳内向外膨胀受阻，就会向内塌陷崩溃，从而避免胀壳。

2.3 铸件尺寸

对采用SLA树脂模小批量生产的铝合金壳体（图7~8）铸件进行尺寸划线检查，除因在做CAD模型时对铸件收阻收缩方向收缩率设定不当造成个别加工余量偏大超差外，其余尺寸均

符合图纸公差要求。测量铸件尺寸，波动情况如下表3。

可见用SLA树脂模直接制造的铸件尺寸波动比较小，考虑到收缩率和其他工艺因素的影响，铸件最终的尺寸公差应该可以满足HB6103-86中CT6~CT7级的要求。

表3

基本尺寸	铸件尺寸波动幅度	HB6103-86尺寸公差值		
		CT4	CT6	CT7
大于 10	至 16	0.06	0.28	0.54
40	63	0.06~0.2	0.36	0.7
63	100	0.2~0.4	0.4	0.78
100	160	0.3	0.44	0.88



图5 型壳脱蜡后的SLA树脂模试样（内塌陷）



图6 直接在蒸汽脱蜡釜中加热的SLA树脂模试样（外膨胀）



图7 铝壳体SLA树脂模



图8 铝壳体快速成型铸件（未设通风孔）

2.4 残余灰分

按照2.2.3节中的焙烧工艺, SLA树脂模无论是否设置通风口, 无论在天然气炉还是在电阻炉内烧蚀, 其型壳内均未见焦油状残渣或明显灰分, 浇注后铸件表面无由灰分引起的缺陷, 内部经X射线检查也无同样缺陷。

3 结论

(1) 快速原型件作为直接铸造模型用于熔模精铸时, 是否会造成型壳胀裂取决于原型自身的结构, SLA树脂模的六面立方体空心结构可大大减小胀壳的危险, 同时也使树脂模烧蚀后残

留在型壳空腔里的灰分少, 易排空。

(2) SLA六面立方体空心结构树脂模采用熔模铸造工艺直接铸造, 一般情况下, 不设置通风孔的工艺是可行的, 不会对型壳脱蜡和灰分残留产生不利影响, 当然, 如果在树脂模粘接蜡浇口的部位钻孔更好。对于大型、复杂的树脂模设置通风孔是必要的, 这样更为稳妥。

(3) 综合考虑尺寸精度、制壳工艺性和灰分残留, SLA六面立方体空心结构的树脂模是目前唯一能满足熔模精密铸造尺寸精度和表面质量要求的快速原型。 **T**

参考文献

- [1] 快速成型的未来发展—快速产品制造[J]. 机械工程学报. 2005;(09)
- [2] 屈银虎, 李涤尘, 邢建东, 胡刚 (2006) 基于SLA的快速精密铸造型壳制备工艺的研究. 特种铸造及有色合金 2006, 26; 654-656
- [3] 颜永年, 单忠德. 快速成形与铸造技术. 北京: 机械工业出版社, 2004.8
- [4] 姜不居. 熔模精密铸造. 北京: 机械工业出版社, 2004.4

联系作者: 谭威

电话: 13908458933

e-mail: twrpm@163.com

上接(14页)

2.3.2 检测18 mm直槽深度

由于受到直槽结构的限制, 目前的深度尺无法检测18mm直槽深度, 我们将现有的深度尺进行设计改进成单脚的深度卡尺(见图15), 以满足18mm直槽深度的测量。

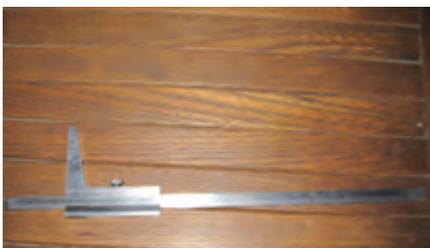
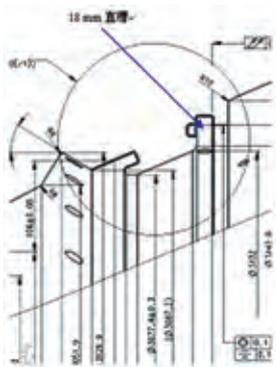


图15 检测18mm直槽深度尺

2.3.3 检测外圆槽外侧9.5mm的R3圆弧凹槽深度

检测128mm外圆槽外侧深为9.5mm的R3圆弧凹槽深度, 我们采用了改制检测工具进行测量(见图16)。

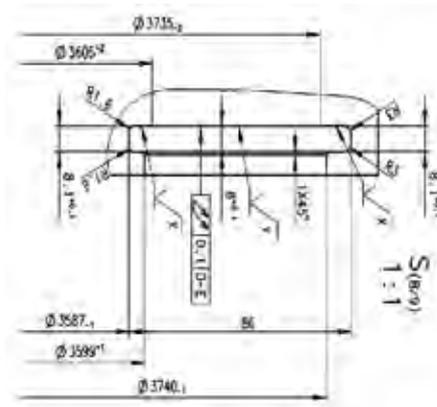


图16 检测外圆槽外侧深为9.5 mm的R3圆弧凹槽深度靠表

3 总结

我们从工艺技术准备开始, 成立科研攻关小组, 工艺实施前技术交底和沟通以及现场研究和讨论, 在车间技术组和操作师傅的共同努力下, 在质保部门的大力配合下, 圆满地完成了透平静叶持环车削的国产化制造任务。同时, 为实现透平静叶持环的国产化奠定了一定的基础, 给后续持环的批量加工积累了宝贵的实践经验, 取得了极明显的经济效益, 大大降低了制造生产成本。 **T**

作者简介: 姚建芳 (1970-), 女, 上海汽轮机厂高级工程师, 从事汽轮机工艺技术工作。

通讯地址: 上海市闵行区江川路333号上

海汽轮机厂工艺处

邮编: 200240

电话: 021-64358331-3467

传真: 021-64358331-3744

E-mail: yaojf@shanghai-electric.com

高温合金和耐热钢骑缝孔钻削特性研究

张国永^{1,2} 刘丽娟² 邵华² 申如国¹ 许雄国¹

(1.上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂; 2.上海交通大学机械与动力工程学院)

摘要: 在有切削液条件下,使用M42高速钢、粉末高速钢S390-PM和钨钢硬质合金GU20等三种材料的麻花钻,对高温合金NiCr20TiAl和耐热钢X12CrMoWVNbN10-1-1进行组合骑缝钻削试验。通过改变切削参数,研究了钻削过程中刀具的寿命和失效机理。结果表明,骑缝钻削时,高速钢刀具主要的失效方式是后刀面磨粒磨损、粘结磨损、扩散磨损和崩刃。而GU20麻花钻主要失效方式为折断。最合适的刀具材料是粉末高速钢S390-PM。

关键词: 高温合金; 耐热钢; 骑缝钻削; 刀具失效机理

上海汽轮机厂制造的1000MW超超临界汽轮机、135MW联合循环汽轮机等机组中,转子末叶片大都采用了骑缝螺钉锁紧结构。这种锁紧结构具有牢固可靠、安装和拆卸方便等优点。然而骑缝孔的加工难度很大,尤其是1000MW超超临界汽轮机高压及中压前几级的末叶片,因叶片采用了高温合金材料NiCr20TiAl,硬度极高,而转子的材料X12CrMoWVNbN10-1-1相对较软,两种材料的硬度不同使得加工骑缝螺孔时钻头极易磨损失效。

NiCr20TiAl是一种镍基高温合金,这类合金的导热性不好,加工硬化程度严重,切削时与刀具产生强烈的粘结,因此其可切削性极差,尤其是在与其他材料组合进行骑缝深孔钻削时,刀具很容易磨损甚至折断。国内外学者对类似材料的钻孔进行了大量研究,日本的Ken-ichiIshikawa、Hitoshi Suwabe^[1]等人于1998年提出了刀具超声振动和工件低频振动结合的钻削

方法,来获得硬脆材料钻削时更好的效率和更长的刀具寿命,但是这种方法必须配备昂贵的专用钻削设备,对于钻削转子末叶片骑缝孔而言并不实用。马来西亚工艺大学的S.Sharif^[2]通过用非涂层WC/Co钻和TiAlN涂层钻进行钻削试验研究后发现,涂层刀具寿命比非涂层刀具要长,孔的加工质量也是涂层刀具较好,然而目前涂层刀具的价格仍然较高,不利于企业降本。福建工程学院的许明三^[3]通过试验研究发现,不同刀具材料加工不同工件材料有不同的合理切削速度范围,切削力与切削速度之间有明显的“驼峰性”,低速时,轴向力随切削速度的增大而减小,当切削速度达到一定值后,轴向力则随切削速度的增大而提高,而对于两种不同材料组合骑缝钻削是否也有这种“驼峰性”,目前尚无相关论著。

本文基于试验,研究三种不同材料的钻头在加工高温合金NiCr20TiAl和耐热钢X12CrMoWVNbN10-1-1组

合件骑缝孔时的失效机理。

1 试验条件和方法

(1) 试验刀具: 高速钢M42、粉末高速钢S390-PM和钨钢硬质合金GU20非涂层麻花钻。

(2) 试验工件: 耐热钢X12CrMoWVNbN10-1-1和高温合金NiCr20TiAl,为便于试验,各试件均加工成长方体(NiCr20TiAl: 160mm×140mm×80mm; X12CrMoWVNbN10-1-1: 220mm×48mm×80mm)。

(3) 试验设备: 用德国DMC65V立式五轴加工中心进行钻削试验。利用Nikon显微镜来观测刀具的磨损量,用场发射扫描电子显微镜FEI SIRION200和能谱仪INCA OXFORD对刀具磨损区域进行微观形态和成分分析。

(4) 切削参数: 切削参数如表1所示,每孔切深为30mm。

表1 NiCr20TiAl和X12CrMoWVNbN10-1-1骑缝钻削试验参数

刀具材料	M42			S390-PM			GU20		
转速/(r/min)	100	150	75	100	125	150	100	150	
进给量/(mm/r)	0.06	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10	0.06	0.06	

2 试验结果与分析

2.1 刀具寿命

为了便于对比, 试验时只要刀具符合以下三种情况之一就认为失效:

1) 后刀面磨损量超过0.60mm; 2) 刀具严重崩刃或破损; 3) 发生严重振动、异响等不能继续加工。试验表明, 使用M42麻花钻加工, 进给量为0.06 mm/r时, 用转速100r/min和150r/min分别加工至刀具失效时, 加工总长度分别为39mm和92mm, 如图1所示。转速为150r/min时的刀具的寿命明显较长, 此时后刀面磨损的曲线如图2所示。

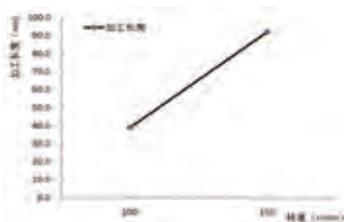


图1 转速与加工总长度的关系 (M42麻花钻, 进给量0.06 mm/r时)

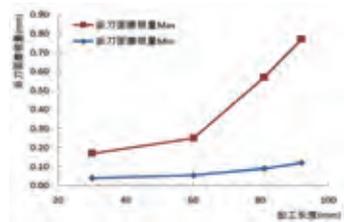


图2 后刀面磨损过程 (M42麻花钻, 进给量0.06 mm/r, 转速150r/min时)

使用S390-PM麻花钻, 进给量为0.10mm/r时, 用转速75r/min、100r/min、125r/min和150r/min分别加工至刀具失效时, 加工总长度如图3所示, 使用转速100r/min时加工总长度最长。使用转速100r/min、进给量

0.10mm/r时, 钻头后刀面磨损曲线如图4所示。

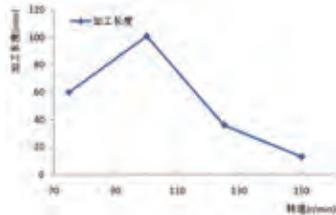


图3 转速与加工总长度的关系 (S390-PM麻花钻, 进给量0.10 mm/r时)

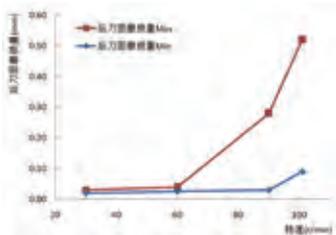


图4 后刀面磨损过程 (S390-PM麻花钻, 进给量0.10 mm/r, 转速100 r/min时)

使用GU20麻花钻试验时, 刀具严重破损、剥落, 不能继续加工。

2.2 刀具失效形态

NiCr20TiAl和X12CrMoWVNbN10-1-1材料骑缝钻削时, 对于M42高速钢和S390-PM粉末高速钢麻花钻, 其失效形式主要为后刀面磨损、切削刃崩刃、焊接、前刀面刮擦、粘结磨损、剥落和沟槽磨损。而对于GU20硬质合金麻花钻, 其主要失效形式是后刀面磨损、剥落和折断。

骑缝加工过程中, 麻花钻后刀面磨损严重 (图5(a)), 主要是磨料磨损造成的, 磨损量集中在靠近外转角处, 其他部分仅有微小磨损。因为外转角处线速度最大, 产生的切削热高于其他区域, 磨损相对较大。又因为高温合金的加工硬化严重, 导致切削力增大, 切削热增加, 刀具磨损比加工普通材

料要严重得多。骑缝加工时半圈断屑一次, 切屑呈C形丝状, 聚集在螺旋槽内, 不易排出, 在旋转过程中对前刀面进行刮擦, 前刀面出现明显的刮擦痕迹 (图5(h))。

骑缝钻削是在两种材料上交替进行切削, 刀具每半圈切削力和扭矩接近周期性变化, 这种交替性的载荷使得后刀面磨损不均, 加快刀具失效。

刀具受到的负荷太大, 切削力不均, 引起载荷波动, 加工振动较严重, 加工过程中刀具材料的强度下降, 如果韧性不足, 容易导致刀具崩刃和折断 (图5(d)和(e))。崩刃现象几乎出现在所有的麻花钻切削刃上。槽磨损可能导致后期切削刃崩刃, 刀具表面刮擦到一定程度后也会使刀刃大块崩损 (图5(b))。

硬质合金GU20麻花钻在所试验参数下均折断 (图5(e)), 这有可能是由于在交替载荷和振动条件下, 硬质合金刀具材料的韧性不够导致的。也有可能是骑缝加工过程中刀具在交替热应力和热冲击下产生内部裂纹而使得刀具断裂。

在切削速度偏低时, 高温合金中含有许多与刀具材料相同的合金元素, 两者间亲和性较强, 容易在麻花钻前刀面上产生粘屑, 加上麻花钻主切削刃部分是负前角, 特别是横刃处, 在前刀面上易产生积屑瘤 (图5(i))。脱落的积屑瘤在刀具表面形成粘结点, 粘结点因为刀具与工件的相互运动而破裂, 部分刀具材料被带走造成粘结磨损 (图5(c))。严重的粘结磨损会导

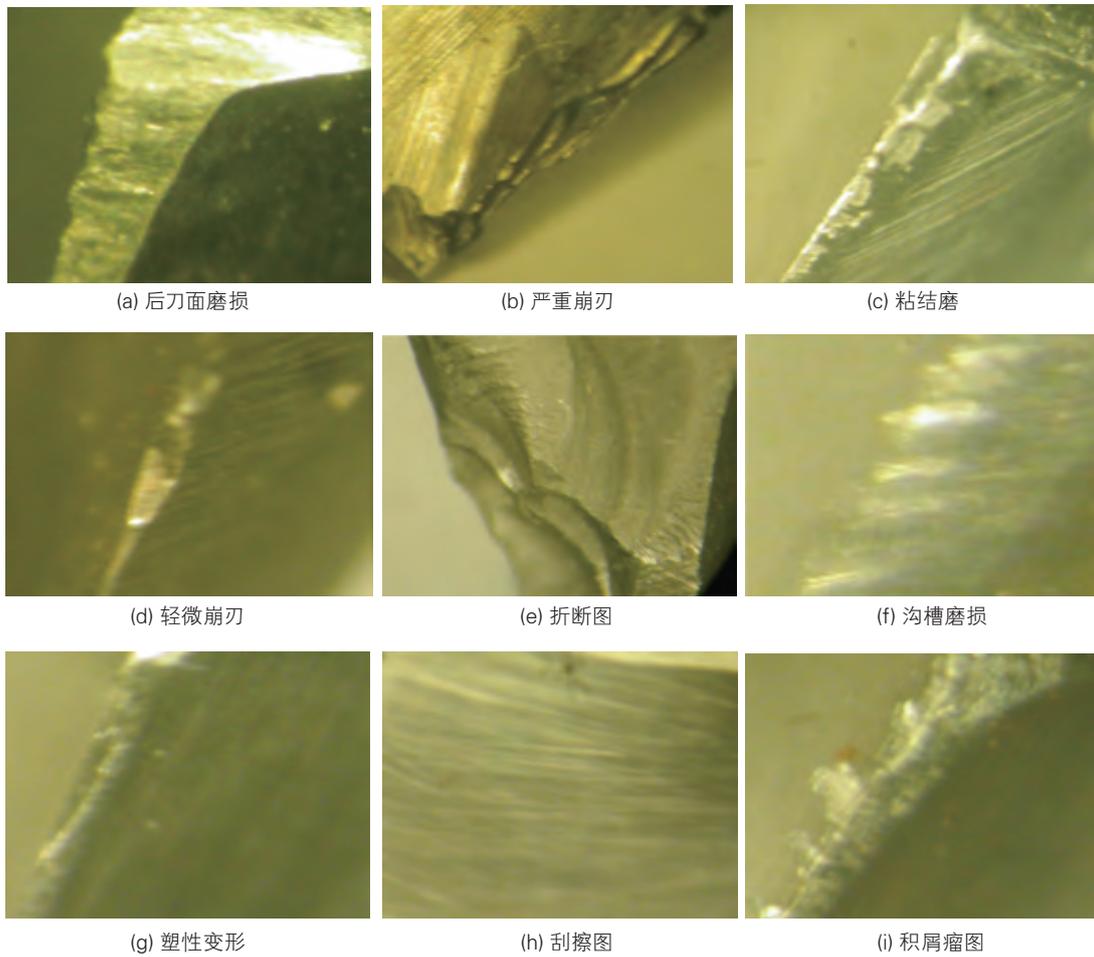


图5 骑缝孔加工时, 麻花钻各种失效形式

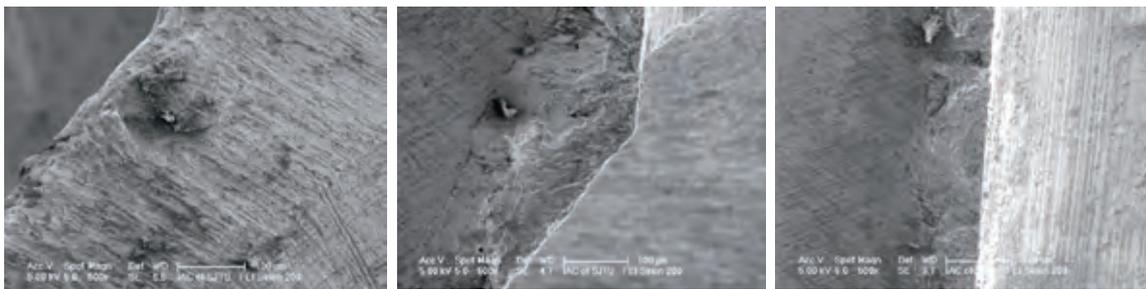


图6 M42麻花钻刀具微观磨损形貌
(转速150 r/min, 进给量0.06 mm/r)

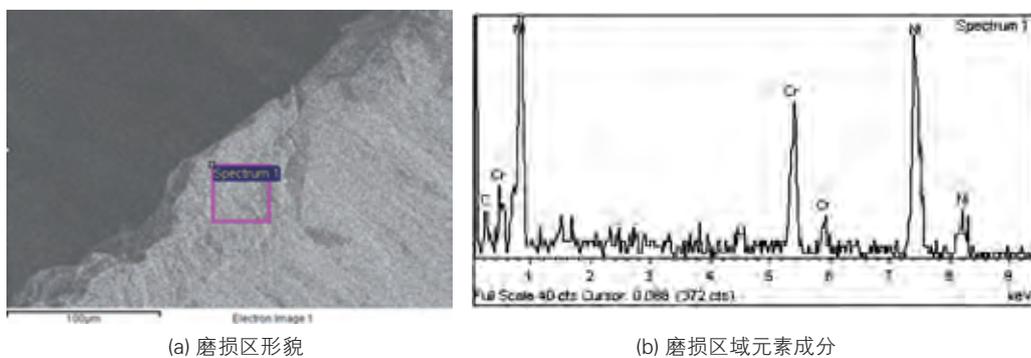


图7 M42麻花钻磨损区域的元素成分
(转速150 r/min, 进给量0.06 mm/r)

致麻花钻后刀面出现剥落。也有可能粘结点继续留在刀具上,最后粘结在刀具上,影响加工表面质量。

加工过程中切削区温度高,压力太大,刀具产生塑性变形,使得切削刃塌下或后刀面凹陷(图5(g))。由于高温合金的加工硬化严重,表面有一定厚度的硬皮,当刀具韧性不够时,高温合金加工过程常出现沟槽磨损现象(图5(f))。

2.3 麻花钻磨损区域SEM微观形貌和EDS成分分析

使用场发射扫描电子显微镜对M42高速钢、S390-PM粉末高速钢、GU20硬质合金麻花钻磨损区域进行微观形貌观测和EDS成分分析。

图6是M42麻花钻(转速150 r/min,进给量0.06 mm/r)的刀具微观磨损形貌。(a)图是麻花钻后刀面磨损形貌,在沿着切削方向有明显的刮痕。切削刃区域表面粗糙,有较严

重的积屑瘤,磨损部分有凹槽。(b)图是麻花钻切削刃微崩刃形貌,(c)图是切削刃上粘结磨损形貌。其磨损区域的元素成分(图7),与刀具材料成分对比,有大量镍和铬元素,是NiCr20TiAl材料粘结于刀具表面。

图8是S390-PM麻花钻(转速100 r/min,进给量0.1 mm/r)的刀具微观磨损形貌。图(a)是刀具上积屑瘤和沟槽磨损形貌,在麻花钻外转角处有较厚的积屑瘤,切削刃磨损区域表面粗糙,磨损处上有明显大范围的凹陷,是刀具塑性变形产生的,磨损部分长且深的凹槽是沟槽磨损的产物。图(b)是麻花钻主后刀面磨损微观形貌,磨损不均匀,前刀面上的交错刮擦痕迹也清晰可见。图(c)切削刃微崩形貌,切削刃附近还有明显的焊接物。其磨损区域的元素成分(图9),与刀具材料成分对比,有大量的镍元素、氧元素和铬元素,少量的Al元素和Ti

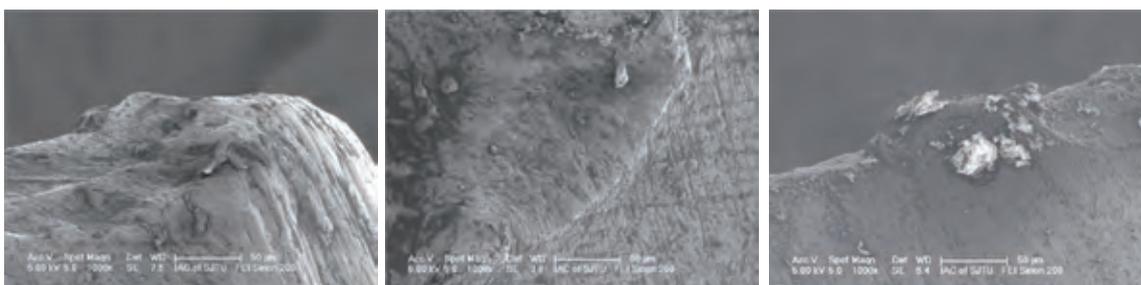
元素,为高温合金材料涂覆于刀具表面,而氧元素是高温下刀具发生了氧化磨损。

图10是GU20硬质合金麻花钻(转速150 r/min,进给量0.06 mm/r)的刀具微观磨损形貌。图(a)是麻花钻上后刀面磨损和焊接形貌,后刀面磨损量不是很大,但是磨损不均匀。磨损区域有成片连续性的剥落,磨损区域极不平整,磨损区域附近有加大范围的焊接异物。图(b)是麻花钻横刃修磨处微崩和磨损形貌。其磨损区域的元素成分(图11),与刀具成分对比,磨损区域含大量Ni元素,部分Cr元素和Fe元素,是加工过程中刀具发生扩散磨损的结果。

2.4 刀具失效机理的分析

从试验结果分析,造成刀具各种失效方式的主要原因如下:

(1)后刀面磨损:高温合金和耐热钢高温硬度和强度均较大,而刀具

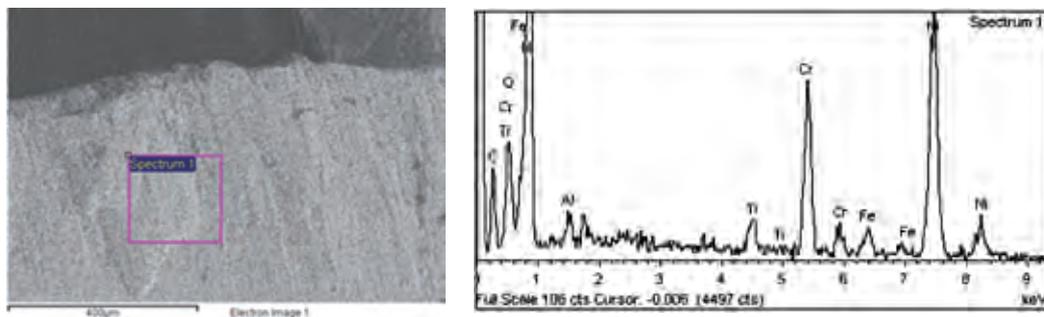


(a) 积屑瘤和沟槽磨损形貌

(b) 后刀面磨损形貌

(c) 横刃磨损形貌

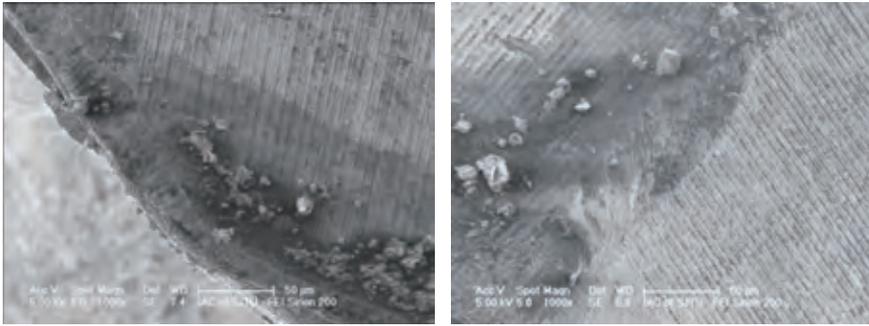
图8 S390-PM麻花钻刀具微观磨损形貌
(转速100 r/min,进给量0.10 mm/r)



(a) 磨损区形貌

(b) 磨损区域元素成分

图9 S390-PM麻花钻磨损区域元素成分
(转速100 r/min,进给量0.1 mm/r)



(a) 主切削刃后刀面磨损形貌 (b) 横刃微崩形貌

图10 GU20麻花钻刀具微观磨损形貌
(转速150 r/min, 进给量0.06 mm/r)

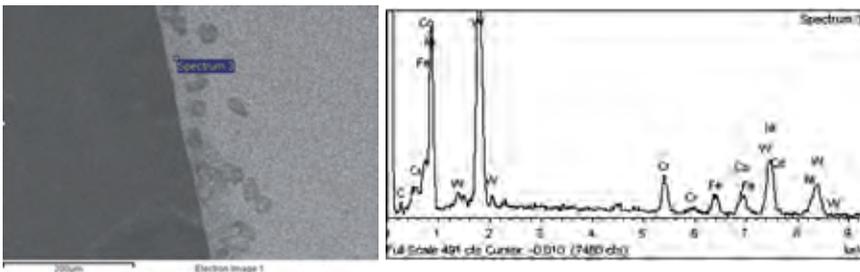


图11 GU20麻花钻磨损区域元素成分
(转速150 r/min, 进给量0.06 mm/r)

相对红硬性较差,且被加工材料中的大量的强化相和硬质点颗粒磨损,且被加工材料塑性大,低速和低进给量更易出现后刀面磨损。

(2) 崩刃: 切削轴向力和扭矩太大、载荷不均、工艺系统的刚性不够而造成的加工异常振动;加工中大量切削热和较大的切削力,使刀具中的碳和氮被工件材料中的钛和铝吸收,形成积屑瘤,刀具实际工作角度参数不断变化,加剧切削振动,刀具韧性不够,引发崩刃。沟槽磨损和过度刀面刮擦亦会引起崩刃。

(3) 粘结磨损: 骑缝加工时,粘性较强的高温合金材料容易涂覆或粘结在前刀面上而产生积屑瘤,其剥落后,形成刀具粘结磨损。

(4) 扩散磨损: 在较高的切削温度下,高温合金,耐热钢与刀具材料双方元素在固态下相互扩散。硬质合金刀具中Co迅速扩散到切屑、被加工工件中,Wc分解为钨和碳扩散到工件中。

高温合金中的Ni和Cr元素扩散至刀具中,使得刀具材料成分和结构发生改变,表层变得脆弱,加剧刀具磨损。

(5) 沟槽磨损: 因为存在变形高温合金材料,其外表面在切削刃上形成很高的应力梯度和温度梯度,引起很大的剪应力。又外径上速度较高及加工硬化层的作用,因而在后刀面上发生沟槽磨损。

(6) 折断: 主要发生于GU20硬质合金麻花钻,刀具在加工高温合金和耐热钢时载荷差距较大,韧性不够,在大扭矩下折断;刀具为焊接式,可能锥柄折断导致的;麻花钻径向受力不平衡,使得刀具偏离主轴中心线而折断。

3 结论

本文使用高速钢、粉末高速钢和硬质合金麻花钻对高温合金和耐热钢骑缝孔加工进行了试验,对切削加工过程中刀具的寿命和刀具失效机理进行了研究。得到的主要结论如下:

(1) 高温合金和耐热钢骑缝钻削时,使用S390-PM粉末高速钢钻头最佳,且在转速100r/min,进给量0.06mm/r时,刀具寿命最长;

(2) M42和S390-PM麻花钻主要失效形式为后刀面磨损、崩刃、前刀面刮擦、粘结磨损、扩散磨损和沟槽磨损。GU20麻花钻主要失效形式是后刀面磨损和折断。

(3) 骑缝加工过程中,刀具承受载荷波动性明显增大, GU20硬质合金麻花钻韧性不够,不适合高温合金和耐热钢骑缝孔加工。7

参考文献:

[1] Ken-ichi Ishikawa, Hitoshi Suwabe. A study on combined vibration drilling by ultrasonic and low-frequency vibrations for hard and brittle materials [J]. Precision Engineering, 1998, 22: 196-205.
[2] S. Sharif. Performance of coated- and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 185: 72-76.
[3] 许明三. 刀具材料对NM360材料钻削性能影响的研究[J]. 福建工程学院学报. 2008, 06-0671-03: 1672-4348.

作者简介: 张国永 (1980-), 男, 工程硕士, 工程师。在上海汽轮机厂长期从事工艺开发工作。

通讯地址: 上海市闵行区江川路333号上海汽轮机厂工艺处

邮编: 200240

电话: 021-64358331-3488, 13564521113

传真: 021-64358331-3744

E-mail: zhanggy2@shanghai-electric.com

关于组织2012年机械制造工艺师 相关奖励评选活动的通知

各专业分会(专业委员会)、各会员单位及有关单位:

为弘扬工艺人员敬业爱岗、创新奉献精神,加强企业工艺高技能人才队伍建设,鼓励和发挥工艺人员在推动工艺自主创新,提升企业的工艺水平和市场竞争能力中的重要作用,以顺应广大企业和工艺人员的愿望和要求,倾斜加强对工艺人才队伍的激励,中国机械制造工艺协会2012年将开展“中国机械制造工艺师奖”的推荐评审工作。现将有关事项通知如下:

一、奖励项目

“中国机械制造工艺师奖”下设的3个专项:

1. 中国机械制造工艺成就奖(5名);
2. 中国机械制造杰出青年工艺师奖(10名);
3. 中国机械制造优秀工艺师奖(50名)。

二、推荐范围

1. 中国机械制造工艺成就奖

符合《中国机械制造工艺协会“中国机械制造工艺师奖”评审条例》规定的相应条件的工艺人员。

2. 中国机械制造杰出青年工艺师奖

年龄在四十五周岁(含四十五周岁)以下,并符合《中国机械制造工艺协会“中国机械制造工艺师奖”评审条例》规定的相应条件的工艺人员。

3. 中国机械制造优秀工艺师奖

符合《中国机械制造工艺协会“中国机械制造工艺师奖”评审条例》规定的相应条件的工艺人员。

三、推荐方法及名额

“中国机械制造工艺成就奖”、“中国机械制造杰出青年工艺师奖”和“中国机械制造优秀工艺师奖”候选人由中国机械制造工艺协会理事(含)以上、各会员单位及分会(专业委员会)直接向协会推荐,推荐资格如下:

1. 常务理事推荐人最多可推荐“中国机械制造工艺成就奖”和“中国机械制造杰出青年工艺师奖”候选人各1人,“中国机械制造优秀工艺师”2人;

2. 理事推荐人最多可推荐“中国机械制造工艺成就奖”、“中国机械制造杰出青年工艺师奖”和“中国机械制造优秀工艺师”候选人各1人;

3. 一般会员单位最多可推荐“中国机械制造工艺成就奖”和“中国机械制造杰出青年工艺师奖”候选人各1人,“中国机械制造优秀工艺师”3人;

4. 分会(专业委员会)可推荐“中国机械制造工艺成就奖”、“中国机械制造杰出青年工艺师奖”候选人各2人,推荐“中国机械制造优秀工艺师”5人;

5. 理事(含)以上推荐名额不占用其所在理事单位、会员单位名额指标。原则上已经获得上述奖励者不再被推荐。鼓励长期从事工艺工作的协会副理事长、常务理事、理事积极申报“中国机械制造工艺成就奖”和“中国机械制造杰出青年工艺师奖”。

6. 企业在上述评选范围的人员中择优推荐,组织填写《中国机械制造工艺师奖推荐表》(见附件)一式6份,其中1份应为原件,附有关材料复印件1套和电子版1套,并附本人近期免冠一寸正面照片壹张(请在照片背面写清:姓名及出生年月日),由本企业工艺部门推荐,人事部门审核并经企业同意后报出。《中国机械制造工艺师奖推荐表》可由我会网站下载。

四、申报截止日期: 2012年5月31日。

五、评选活动组织办法

本项活动由中国机械制造工艺协会负责进行登记、组织评审、颁发证书(证书贴照片、盖钢印)等事项。对评选结果,由协会发布信息,供企业选拔人才或用人单位参用,对其中业绩突出的人物,协会负责向上级机关及有关媒体推荐、宣传。

若各地、各企业在推荐申报过程中有什么问题、建议和经等,请及时与协会沟通联系,以便使这项活动更适合企业的广泛需要。

六、联系方式

申报材料报送单位: 中国机械制造工艺协会

地 址: 北京市海淀区学清路18号317室

邮 编: 100083

网 址: www.cammt.org.cn

电子邮箱: cammt_jsb@163.com

传真电话: 010-82415078

电 话: 010-82415063

联系人: 朱宏 田媛 战丽

附 件: (可在中国机械制造工艺协会www.cammt.org.cn网站下载):

1. 中国机械制造工艺协会“中国机械制造工艺师奖”评审条例
2. 中国机械制造工艺师奖推荐表

·百科名片·

智能制造装备:

具有感知、分析、推理、决策、控制功能的制造装备,它是先进制造技术、信息技术和智能技术的集成和深度融合。

智能制造装备将成为我国高端装备制造业的重点方向之一。在《国家战略性新兴产业发展“十二五”规划》中明确提出,“十二五”期间,要实现重点领域制造过程智能化水平显著提升,智能制造装备国内市场占有率达到30%。



关于组织2012年全国机电企业工艺年会和 工艺征文活动的通知(第一号)

各会员单位、各有关单位:

为了贯彻落实《机械工业十二五规划》，推进装备制造业与战略性新兴产业，推动企业经济增长方式转变，提高企业竞争力，我协会拟定于2012年9月举办2012年全国机电企业工艺年会并组织工艺征文活动。现将会议和征文活动有关事项通知如下:

一、2012年工艺年会主要内容

1. 邀请有关部委与行业领导、院士、教授作专题技术报告。
2. 组织企业工艺创新经验交流，总结交流典型企业工艺改革创新工作经验。
3. 举行有奖工艺征文、优秀工艺师及工艺成果奖颁奖活动。
4. 参观知名机械装备工业企业制造工艺创新成果现场。

二、组织“有奖工艺征文”活动

出版论文集，并推荐优秀论文在《金属加工》杂志、《机械制造工艺》会刊上发表，征文截止日期2012年6月30日。论文要求如下:

1. 征文内容: 1) 铸造、锻造、焊接、热处理、表面处理、切削加工等工艺技术创新; 2) 工艺设计; 3) 工艺管理; 4) 技术改造; 5) 工装卡具; 6) 新工艺、新技术、新装备与新材料应用。
2. 应征文稿，应属于尚未公开发表。采用的事例、数据属实。
3. 应征文稿以附件形式将论文电子版(电子邮件)，发给会务组联系人。
4. 论文篇幅: 4000—5000字，论文须包含300字左右的中、英文摘要及3—4个关键词。论文格式要求详情见附件。

三、举办先进制造工艺与装备展览会

以实物或模型图片、资料等形式，展示各单位在先进制造工艺技术、加工设备、工装辅具、新型工艺材料、软件、检测技术与装备、安全环保、质量攻关与技术改造等工作中创造的创新成果。请有意参加展会的单位于2012年7月31日前与会务组联系布展。

四、联系方式

联系人: 田媛 朱宏 王金菊

邮箱: cammt_bjb@163.com

电话: 010-82415063 010-68595027

传真: 010-82415078

会议的具体召开时间、地点与报到事项等，将另文通知。

注: 论文模板(请登录www.cammt.org.cn网站下载)