

机械制造工艺

2014年10月10日出版

2014年第3期·总第210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1114-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：010-88301523

传真：010-88301523

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

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 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：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

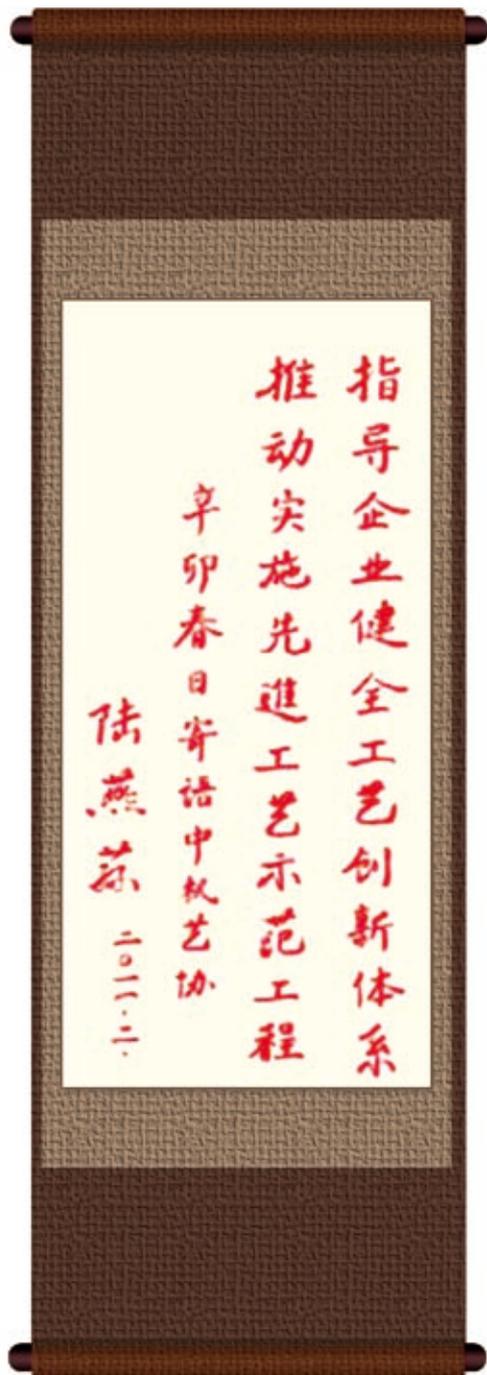
顾 问：刘明忠 田东强 刘 红 史建平
郭恩明 徐域栋 周清和 庞士信
依英奇 朱 鹏 刘仪舜

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 陈宏志
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 梁清延
左建民

秘 书 长：战 丽



会员传真	P01
协会动态	
2014年机械制造工艺成果奖评审会在京召开.....	P03
增材制造(3D打印)产业发展研讨会在西安召开.....	P03
政策法规	
工业和信息化部关于加快推进工业强基的指导意见.....	P04
2014年工业强基示范应用重点方向.....	P06
专家视点	
3D打印电路PCB板的应用研究	P10
等温淬火球墨铸铁(ADI)生产和技术的新进展	P15
工艺创新	
高性能一体化铸造桥壳开发.....	P21
中频淬火曲轴磨削裂纹产生原因及对策.....	P26
HXD3C型电力机车转向架轴箱体加工工艺分析	P30
基于无模铸型快速制造技术的四气门四缸盖铸件的试制.....	P34
优秀成果	
超高强钢热成形成套技术与生产线开发.....	P38
Φ711大容积气瓶及长管半挂车的研发与应用	P39
协会通知	
关于组织召开2014年全国机电企业工艺年会、中国机械制造工艺协会第五届会员代表大会 第一次会议的通知.....	P40
关于收取2014年度会员会费的通知.....	P41
关于开展机械制造工艺标准化现状及项目需求调查的通知.....	P42
关于征集“十三五”规划项目建议的通知.....	P42
中国机械制造工艺协会学术工作委员会《机械制造工艺》编委会招募通知.....	封三

东方电气签订印度 ENNORE 1×660MW 超临界燃煤主机供货合同

发布时间: 2014-08-01

文章来源: 中国东方电气集团有限公司网站

8月1日，东方电气与印度LITL公司签订印度ENNORE 1×660MW超临界燃煤主机供货合同。东方电气集团公司党组成员、股份公司总裁温枢刚与印度LITL公司CEO Manocha共同出席了签字仪式并致辞。Ennore项目是东方电气660MW超临界机组获取的首个印度政府项目订单，也是中国产超临界发电设备的首个印度政府项目订单。

东方电气国际工程分公司副总经理兰泽海与LITL公司副总监Ravi Kapoor分别代表双方签字。国际工程分公司相关部门人员出席仪式。

重庆机床集团4种产品被认 定为重庆市高新技术产品

发布时间: 2014-07-03

文章来源: 重庆机床(集团)有限责任公司网站

按照重庆市科学技术委员会《关于申报2014年重庆市第一批高新技术产品(服务)的通知》要求,重庆机床集团根据《重庆市高新技术产品(服务)认定管理办法》有关规定,积极组织申报。

近日,经重庆市科学技术委员会组织专家评审和公示,重庆机床集团所研发的Y3132CNC5数控滚齿机、Y3140CNC5数控滚齿机、YDZ4232CNC5数控自动剃齿机、YBS3120A滚齿机4种产品被认定为重庆市高新技术产品。高新技术产品的认定,不仅对重庆机床集团公司新产品开发具有积极的推动作用,还对公司高新技术企业复审及享受相关税收政策优惠具有重要意义。

国家技改项目“建设通用大型自走式玉米联合 收获机生产基地”通过验收

发布时间: 2014-07-15 文章来源: 中国农业机械化科学研究院网站



7月10日,由国机集团组织行业内相关专家,对中国农业机械化科学研究院所属洛阳中收机械装备有限公司实施的“建设通用大型自走式玉米联合收获机生产基地”项目进行竣工验收并顺利通过。

该项目达到了预期生产纲领和建设目标,形成了年产系列收获机6000台的生产能力。项目的建成投产,对全面提升洛阳中收机械装备有限公司产品质量,增强产品的市场竞争力,促进该公司的规模化发展具有重要意义。

自仪股份参展2014中国国际能源技术与装备展览会

发布时间: 2014-08-07 文章来源: 上海自动化仪表股份有限公司网站

随着核安全“十二五”规划的正式公布,中国核电的重启之路又迈进了一步。目前,国内核电依然保持着比较强劲的发展势头,为了进一步提升核电在中国电力中的比例,发掘我国核电装备和电力设备产业发展的巨大潜力,2014年7月29~31日在北京中国国际展览中心,举办“2014中国国际能源技术与装备展览会”。本届展会由中国机械工业联合会和中国能源协会主办,中国电工技术学会、中国动力工程学会、北京企发展览服务有限公司共同承办。

自仪股份参加了由上海电气(集团)总公司组织旗下8家涉核企业联合



参展的展团,在展会期间自仪股份展出了自仪三厂设计、生产的核级新品:反应堆压力壳贯穿件;WZPK系列核级(K1级)铂电阻传感器;WZPX系列核级(1E级)铂电阻传感器;WRNK-43122多对式热电偶。

这次展会有来自加拿大、芬兰、法国、德国、意大利、比利时、日本、俄罗斯、韩国、英国、美国及国内等20多个国家和地区的近500家企业和科研院所参加展览,集中、全面展示核电装备制造及核电技术应用等方面的最新技术和设备。展出范围:有核岛、常规岛、操作与维护设施、废物处理等。

国务院参事胡本钢到哈电机公司参观调研

发布时间: 2014-08-21 文章来源: 哈尔滨电机厂有限责任公司网站

8月20日,国务院参事胡本钢、国务院特邀研究员陶大为等一行7人,到哈电机公司参观调研。集团公司党委书记、董事长宫晶堃等领导陪同到来。哈电机公司董事长兼总经理邱希亮及相关人员热情接待了来访领导,并陪同参观了公司展馆和生产现场。

参观途中,邱希亮结合实物模型向领导们介绍了哈电机公司的发展历程、主导产品和研发能力。胡本钢、陶大为等领导驻足于展馆转轮模型前,详细了解了相关情况,并对哈电机公司在三峡项目中作出的贡献给予了肯定。参观结束后,胡本钢和陶大为分别为哈电机公司题字,祝愿哈电机公司越来越好。



2014年机械制造工艺成果奖评审会在京召开

8月28日，我会在北京组织召开了2014年机械制造工艺成果奖评审会，评审委员会由来自焊接、铸造、机械制造等多个领域的8名专家组成。2014年我会共征集到全国机电企事业单位优秀成果项目58项，经过评审专家对申报项目的认真分析和讨论，最终评选出机械制造工艺成果奖一等奖6项，二等奖10项，三等奖19项。

机械制造工艺成果奖评选活动每年组织一次，旨在为全国机械制造工艺领域的专家、学者和专业技术人员



提供一个交流和推广最新研究成果的机会，加强我国机械制造工艺技术的

合作交流，以推动机械制造工艺技术进步。

增材制造(3D打印)产业发展研讨会在西安召开

8月4日，为了集思广议、统一思路，向我国有关部委提出一份关于增材制造行业的立足长远、科学有序、重点突出的发展建议，增材制造(3D打印)产业发展研讨会在西安召开，我会副理事长卢秉恒院士和单忠德研究员出席本次会议并分别做主题发言和主持会议，中国机械制造工艺协会增材制造(3D打印)分会的20余名专家和企业代表出席会议。

会上，卢秉恒院士首先做会议主题发言，对本次会议的重要性、意义及增材制造产业的发展现状与科研现状

等进行了简要说明，并提出了《发展建议》的具体写作要求。中国航天科技集团总工程师杨海成对当前的增材制造行业规划进展情况进行了说明。

围绕着行为发展中的各个方面，西北工业大学黄卫东教授、天津大学天津市快速成形技术工程中心主任崔国起教授、清华大学林峰教授、西安交通大学李涤尘教授等与会专家从各自的领域与视角出发，进行了深入而热烈的分析与讨论。在杨海成总工和李涤尘教授等的提议下，参会代表们协商组成：必要性、国内外市场发展、

适用材料、工程应用、前沿技术和装备等6个编写小组，共同完成《发展建议》的编写工作，其中装备组由单忠德研究员担任组长，并约定9月初召集进行统稿会后向有关部委进行提交。

通过参加此次会议，对于我会在增材制造相关技术领域占据一席之地，不断跟踪增材制造的前沿技术领域，并发挥我会在增材制造领域的优势具有重要作用。

我会战丽秘书长参加了会议。

工业和信息化部关于加快推进工业强基的指导意见

工信部规〔2014〕67号

各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设兵团工业和信息化主管部门：

关键基础材料、核心基础零部件（元器件）、先进基础工艺、产业技术基础（简称工业“四基”）是提升工业核心竞争力的重要基础。经过多年的发展，我国工业总体实力迈上新台阶，成为具有重要影响力的工业大国，但一些关键基础材料、核心基础零部件（元器件）依赖进口，关键技术受制于人，先进基础工艺研究少、推广应用程度不高，产业技术基础薄弱、服务体系不健全等问题依然突出。工业基础能力不强已成为制约我国工业转型升级、提升工业发展质量和效益的瓶颈。加快提升工业基础能力，推进工业强基，是增强我国工业核心竞争力的迫切任务，是实现我国工业由大变强的客观要求。为推进工业强基，现提出如下意见：

1 总体要求

1.1 指导思想

深入贯彻党的十八大和十八届二中、三中全会精神，以邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观为指导，以提高工业核心竞争力为主攻方向，以企业为主体、市场为导向、创新为动力，促进开放合作，强化政府引导，加强顶层设计，完善政策措施，着

力解决工业基础领域的关键问题，加快推动创新成果产业化，积极构建生产和应用良性互动机制，夯实工业发展基础，促进工业转型升级，推进工业大国向工业强国转变。

1.2 基本原则

坚持市场主导与政府引导相结合。充分发挥市场配置资源的决定性作用，突出企业主体地位，以市场需求为导向，整合产学研用资源，推动产业发展与应用需求良性互动。加强政府在宏观调控、组织协调和政策促进等方面的积极作用，发挥政府投资的引导作用，加大对工业基础的支持力度。

坚持整体推进与重点突破相结合。围绕产业链整体升级，明确工业基础能力长远推进目标和分阶段实施方案，依托重点工程、重大项目和骨干企业，按照轻重缓急、以点带面有序推进，重点突破一批基础条件好、需求迫切、带动作用强的工业“四基”。

坚持技术创新与技术改造相结合。优化企业技术创新环境，支持企业技术创新体系建设，鼓励企业加大研发投入，增强企业自主创新能力。加快创新成果产业化，把技术改造作为技术创新成果实现产业化的重要途径，扩大创新产品的开发和应用，推动其尽快实现规模效益，形成技术改造与技术创新的良性互动。

坚持对外引进与对内联合相结合。支持企业引资、引技、引智，开展多种形式的交流与合作。鼓励企业与科研院所、高等院校、下游用户联合建立产业联盟，研发和推广应用工业基础领域新技术和新产品，建立合作共赢的开放式产学研用合作新模式。

1.3 发展目标

到2020年，我国工业基础领域创新能力明显增强，关键基础材料、核心基础零部件（元器件）保障能力大幅提升，先进基础工艺得到广泛应用，产业技术基础支撑服务体系较为完善，基本实现关键材料、核心部件、整机、系统的协调发展，工业基础能力跃上新台阶，为改造提升传统产业、加快培育发展新兴产业提供有力支撑，使我国工业核心竞争力得到明显提升，在全球价值链中的地位得到提高。

2 发展重点

2.1 关键基础材料

提高特种金属功能材料、高端金属结构材料、先进高分子材料、新型无机非金属材料、高性能纤维及复合材料、生物基材料等基础材料的性能和质量稳定性，降低材料综合成本，提高核心竞争力。提高国防军工、新能源、重大装备、电子等领域专用材料自给保障能力，提升制备技术水平。加快推进科技含量高、市场前景广、带动

作用强、保障程度低的关键基础材料产业化、规模化发展，推进关键基础材料升级换代。

2.2 核心基础零部件（元器件）

围绕重大装备、重点领域整机的配套需求，提高产品的性能、质量和可靠性，重点发展一批高性能、高可靠性、高强度、长寿命以及智能化的基础零部件（元器件），突破一批基础条件好、国内需求迫切、严重制约整机发展的关键技术，全面提升我国核心基础零部件（元器件）的保障能力。

2.3 先进基础工艺

以提高产品质量和生产效率、促进绿色发展为主攻方向，重点发展有利于提高产品可靠性、性能一致性和稳定性的先进制造工艺，有利于资源能源高效开发利用、节能减排、质量安全、安全生产的绿色制造工艺，有利于提升自动化、信息化、成套化水平的智能制造工艺，全面提升基础工艺水平，加快先进基础工艺在生产过程中的推广应用。

2.4 产业技术基础

重点围绕研发设计、检验检测、试验验证、标准制修订、技术成果转化、信息与知识产权运用服务等方面的共性需求，按照开放性、资源共享性原则，依托优势企业、科研院所、高等院校，建设和完善一批专业水平高、支撑作用强、布局合理的骨干技术基础服务平台。推动建立市场化运作机制，完善技术基础公共服务体系，为区域和行业内企业提供优质、高效服务。

3 主要任务

3.1 实施工业强基工程，持续提升产业链整体水平

围绕重点行业、关键领域的工业“四基”发展需求，坚持短期目标和长远规划结合，突出重点、创新模式，引导企业、科研院所编制基础能力发展推进计划，以重大工程和重点装备的关键技术和产品开发为突破口，组织实施一批工业强基示范工程，建设一批产业技术基础示范服务平台，实现关键技术和产品的产业化突破，提升重点行业、关键领域产业链整体水平。

3.2 加强基础领域研发创新，促进科技成果产业化

优化整合创新资源，引导企业与科研院所、高等院校、下游用户联合建立研发机构、产业技术联盟等技术创新组织，加大基础领域研发投入，共同开展基础领域产业共性技术、高端技术、前瞻性技术的研究攻关，形成一批研究成果。鼓励和支持企业与科研院所合作对接，促进科研成果转化应用。加大工业基础领域企业技术改造力度，推进信息技术应用，提升工艺装备水平，改善产品性能，提高产品质量，加快推进创新成果产业化。

3.3 推动产用互动，加快推广应用

推动基础材料企业、零部件企业与整机企业的战略合作，建立一批上下游紧密合作、分工明确、利益共享的产学研用一体化产业组织新模式，加快形成有效协调的产业链，提升工业基础产业发展的效率与效益。建立企业为主体、产学研用相结合的工业“四基”产需对接信息平台，完善中介服务体系，加强信息共享交流，推动工业“四基”产品、技术产用互动。鼓励工业“四基”产品、技术的试点示范，积极培育开拓市场，加快工业“四基”产品、技术推广应用。

3.4 提高产品质量，强化品牌建设

健全完善工业基础领域标准体系，加快制修订相关技术标准，促进上下游产品的标准对接，提高协调性和一致性，建立行业计量基标准，开展计量技术规范的制修订。深入推进对标和达标工作，提升基础产品的质量、可靠性和寿命。加强工业基础领域的知识产权布局与运用、自主品牌培育，鼓励企业实施品牌发展战略，支持有实力的企业收购海外品牌和在境外注册商标，促进品牌国际化，提高产品国内外市场竞争力。整顿规范市场秩序，加强知识产权保护。

3.5 深化军民结合，促进军民基础产业互动发展

调动军民各方面资源，开展联合攻关，破解关键基础材料、核心基础零部件、先进基础工艺等制约瓶颈。建设军民结合公共服务体系，支持军民技术相互有效利用，加快军民结合产业化发展。充分发挥军工技术、设备和人才优势，引导先进军工技术向民用领域渗透，改造提升传统产业。充分发挥地方优势，鼓励先进成熟民用技术和产品在国防科技工业领域的应用。

3.6 优化产业结构，促进产业集聚集聚

鼓励工业“四基”企业跨地区、跨所有制兼并重组，整合优势资源，形成一批具有国际竞争力的大型企业集团。发挥整机龙头企业的带动、辐射作用，培育发展专业化水平高、配套能力强、特色明显的“专、精、特”企业，引导中小企业按照产业链和技术链分工加强与整机企业的配套合作，形成大型企业集团与中小企业优势互补、协调发展的产业格局。引导工业“四基”企业向产业园区集聚，支持和鼓励

园区建立产业公共服务平台，形成一批专业特色明显、品牌形象突出、服务体系完善的产业集聚区。

4 保障措施

4.1 加强规划和产业政策引导

围绕工业转型升级规划和行业发展规划，进一步明确工业基础领域发展的重点和方向，制定发布《工业“四基”发展目录》并适时更新。研究出台支持工业“四基”发展的产业政策，健全完善工业基础领域技术标准和计量技术规范，引导各类要素向工业“四基”领域倾斜。各地区可根据本地区发展需要，加强规划与工业“四基”产业发展的衔接和协调，引导资源向本地区合理流动，打造区域特色，优化工业“四基”产业布局。

4.2 完善财政支持政策

充分发挥财政资金的引导作用，利用现有资金渠道持续加大对工业“四基”的支持力度。落实完善现行有关促进科技进步、自主创新以及促进高新技术企业发展的税收优惠政策，支持工业“四基”企业发展。支持工业“四基”产品推广，及时调整《国内投资项目不予免税的进口商品目录》和享受税收优惠的《重大技术装备和产品进口关键零部件、原材料商品清单》。

4.3 拓宽融资渠道

促进信贷政策和产业政策的协调配合，加强信息共享，搭建银企信息沟通平台，开展多种形式银企交流活动。引导金融机构发展适合企业资金需求特点的金融产品和服务模式，完

善中小企业融资性担保体系，加大对工业“四基”企业的信贷支持力度。鼓励工业“四基”企业通过发行债券、股票、风险投资、兼并重组、股权投资等方式多元化融资，拓宽企业直接融资渠道。

各级工业和信息化主管部门要深刻认识推进工业强基的重要性和紧迫性，进一步加强组织领导，切实加大工作力度。各地要结合实际，出台具体政策措施，并抓好落实。要加大宣传力度，发挥行业协会的桥梁纽带作用，调动各类企业的积极性和主动性，实现工业强基新突破，为工业由大变强奠定坚实基础。

工业和信息化部
2014年2月14日

2014年工业强基示范应用重点方向

为贯彻落实《工业和信息化部关于加快推进工业强基的指导意见》精神，根据《工业和信息化部关于开展2014年工业强基专项行动的通

知》要求，工业和信息化部办公厅近日印发《关于开展2014年工业强基示范应用工作的通知》（工信厅规[2014]154号），启动开展工业强基示

范应用工作。

《通知》提出了2014年工业强基示范应用重点方向，共20个。

2014年工业强基示范应用重点方向

序号	重点方向	实施目标	具体产品及技术指标	优选单位	负责联系司局
1	铬铁碱溶氧化制备铬化物无毒工艺示范应用	采用铬铁碱溶氧化法工艺，建成5万吨/年工业化示范装置，与上下游企业开展资源循环利用，在行业内逐步推广应用。	铬转化率>90%，副产含三价铬≤0.1%，烧碱利用率>95%，不生成含铬废渣，不产生铬酸钙，无需外部供热。铬酸钠采用电解铬酸钠技术生产，过程不产生铬芒硝和酸雾，母液纯度高，杂质少。	提供方：天津派森科技有限公司 应用方：青海省博鸿化工科技股份有限公司	规划司 原材料工业司
2	交通运输用铝材示范应用	推广铝材在汽车行业，尤其是载重车上的应用，推动国家节能减排目标的实现，拉动国内铝材消费，促进产业技术进步，增加运输物流业经济效益。	牌号：7075，状态：T6，抗拉强度≥540σ _b ，Mpa，伸长率≥7% 牌号：7N01，状态：T5，抗拉强度≥325σ _b ，Mpa，伸长率≥10% 牌号：7005，状态：T6，抗拉强度≥350σ _b ，Mpa，伸长率≥10%	提供方：山东丛林集团有限公司、湖南晟通天力汽车有限公司、中铝西南铝业集团有限公司 应用方：云南红河实业有限公司、湖南省新源石油股份有限公司、神华集团有限责任公司	规划司 原材料工业司 装备工业司

序号	重点方向	实施目标	具体产品及技术指标	优选单位	负责联系司局
3	柴油机高压共轨燃油喷射系统示范应用	推动柴油机燃油喷射系统开展整车配套试验,实现市场应用,推动产品技术进步,加快促进我国商用车节能减排和环境治理。	系统稳定工作压力 $\geq 1800\text{bar}$,实现每循环5次喷射,喷油器响应时间 $\leq 400\mu\text{s}$,B10寿命达到30万公里。 满足标定功率 ≤ 120 千瓦、标定转速 $\leq 4000\text{rpm}$ 的柴油机配套要求,满足柴油机或整车符合国四排放标准要求,实现降低燃油消耗和减少CO2排放8%左右。	提供方:辽宁新风企业集团有限公司 应用方:云内动力股份有限公司、山东华源莱动内燃机有限公司、一汽四环发动机制造有限公司、长城汽车股份有限公司	规划司 装备工业司
4	8AT自动变速器示范应用	推动8AT变速箱装车试验和推广应用,推动我国轿车自动变速器实现市场应用,推动节能减排,提高自方品牌整车价值和市场竞争能力。	8个前时挡和1个倒挡,最大输入扭矩300Nm,最大输入转速6500rpm,拖曳扭矩 $\leq 15\text{Nm}$,机械传动效率:前进挡 $\geq 90\%$;整机清洁度 $\leq 80\text{mg}$,空档和前进档最大声压级 $\leq 85\text{dB(A)}$,倒档最大声压级 $\leq 90\text{dB(A)}$,B10寿命达到20万公里。	提供方:盛瑞传动股份有限公司 应用方:江铃控股有限公司、一汽海马汽车有限公司	规划司 装备工业司
5	高端轴承与轴承用钢示范应用	促进轴承研发制造企业和钢材供应企业合作研发,影响高端车承及轴承钢寿命的关键指标技术达到国际领先水平,逐步在高端轿车、高速铁路、高速精密机床等重大工业装备企业推广应用。	三代轮毂轴承、高速铁路列车轴承、高速精密机床轴承、航空航天轴承等用高碳铬轴承钢委托定炉生产,内外套圈钢材全部采用优质人本C&U2材料,技术要求等同于德国先进水平,轴承法兰盘采用高耐冲击力的人本C&U3材料,技术要求等同于日本先进水平。高碳铬轴承钢关键量分别达到或接近国际先进水平,[氧含量] $\leq 5\text{ppm}$ 和[钛含量] $\leq 10\text{ppm}$,碳化物分布达到轴承接触疲劳寿命达到10L10。	提供方:江阴兴澄特种钢有限公司 应用方:人本集团有限公司、中航工业哈尔滨轴承有限公司	规划司 装备工业司 原材料工业司
6	造纸机用高速幅稀释放水水力式流浆箱示范应用	推动造纸机稀放水水力式流浆箱在高速宽幅智能化成套造纸设备上的应用,对传统流浆箱进行改造提升,降低成本,促进节能减排,实现产能提升约20%以上,降低水、电、气单耗约15%。	幅宽6m及以下;适用造纸车速1300m/min及以下。	提供方:河南江河纸业股份有限公司 应用方:浙江华宇纸业公司、山东天和纸业公司、河南银鸽纸业公司	规划司 消费品工业司
7	高温除尘先进技术示范应用	实现30万千瓦发电机组袋式除尘系统的稳定运行,排放标准达到重点地区特别排放限值要求,提高除尘系统性性价比。	采用新原料及先进加工成型滤料在30万千瓦发电机组除尘系统应用。烟尘出口排放浓度达到 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,能耗比现有袋式除尘系统降低15%以上,使用寿命延长20%左右。	提供方:厦门三维丝环保股份有限公司、3521特种装备股份有限公司 应用方:大唐国际张家口电厂、广东粤电集团湛江电厂、华电章丘电厂	规划司 消费品工业司
		实现袋式除尘系统在系列工业锅炉和钢铁厂高炉转炉的稳定运行,排放标准控制在重点地区特别排放限值范围。	采用聚苯硫醚、芳纶等原料制成的滤料在工业锅炉、高炉转炉除尘系统应用,烟尘排放浓度稳定达到国家标准要求,滤袋使用寿命大于3年。	提供方:海宁洁华控股有限公司、江苏蓝天环保集团有限公司 应用方:烟台泰和新材料股份有限公司、江西方大特钢科技股份有限公司	规划司 消费品工业司 原材料工业司
8	大功率微波技术在褐煤干燥方面的示范应用	推动大功率微波技术在褐煤干燥方面的试验应用,建成15万吨/年褐煤干燥提质装置,加快在相关行业的推广。	褐煤干燥:平均每耗电1kWh脱水1.60kg。	提供方:南京三乐电子信息产业集团有限公司 应用方:中国节能减排有限公司	规划司 电子工业司
9	高安全性动力电池复合隔膜材料示范应用	利用1-2年的努力,实现年推广应用高安全、长寿命复合隔膜5000万平米以上,国内高端动力电池及消费电子市场占有率达到25%左右。	产品为涂层复合隔膜,在大孔结构超高PE纳米微孔基膜的两面精密涂布凝胶/陶瓷复合材料功能涂层提高电池的安全性和使用寿命,复合隔膜的技术指标如下:超高PE基膜平均孔径介于100-200纳米、孔隙率介于46-58%、复合隔膜Gurley值小于200s/100cc;复合隔膜在210℃下热收缩率小于3%;在130-135℃具备热关断能力;复合隔膜耐4.4V高电压氧化;复合隔膜在95-105℃具备热压粘接功能。	提供方:天津东泉膜技术有限公司 应用方:天津力神电池股份有限公司、深圳市比克电池有限公司	原材料工业司 规划司

序号	重点方向	实施目标	具体产品及技术指标	优选单位	负责联系司局
10	发酵酒消减有害物质基础工艺示范应用	围绕我国白酒、啤酒、葡萄酒、黄酒等发酵酒中氨基甲酸酯、生特胺、赭曲霉毒素等潜在有害物质以及生产用菌种的安全性问题,采用现代生物、统计学、风险评估和预警等技术手段,研究解决方案形成整套工艺,完成我国发酵酒中有害物质和潜在有害物质的控制和消减技术,并进行工业化示范应用,以提高我国发酵酒食品安全控制能力和水平。	白酒:减少DBP、DEHP等邻苯二甲酸酯类物质生成,达到限量值规定。啤酒:氨基甲酸酯 $\leq 10\mu\text{g/L}$,赭曲霉毒素 $\leq 0.5\mu\text{g/L}$ 。葡萄酒:氨基甲酸酯 $\leq 20\mu\text{g/L}$,生物胺 $\leq 2\text{mg/L}$,赭曲霉毒素 $\leq 2\mu\text{g/L}$,完成生产用菌种的安全性评价。黄酒:氨基甲酸酯 $\leq 80\mu\text{g/L}$,生物胺 $\leq 5\text{mg/L}$,赭曲霉毒素 $\leq 2\mu\text{g/L}$ 。	提供方:中国食品发酵工业研究院、江南大学 应用方:茅台酒股份有限公司、五粮液集团有限公司、北京燕京啤酒股份有限公司、中粮华夏长城葡萄酒有限公司、古越龙山绍兴酒股份有限公司	消费品工业司
11	中高温太阳能真空集热管的关键技术示范作用	在工业蒸汽(替代或部分替代传统工业蒸汽锅炉)、城镇集中供暖工程、社区供暖、太阳能空调集热制冷、稠油热采、烟草、中药材、食品干燥等领域广泛推广中温太阳能应用,实现节能减排。	100万平方米中温太阳能集热器,每年可节约标煤约16万吨,减排约32万吨二氧化碳。产品为双陶瓷涂层结构,真空环境下工作温度为 800°C ,大气环境下工作温度为 450°C 。采用金属与玻璃匹配融封技术,两种材料的膨胀系数随温度的变化曲线完全一致,消除了金属-玻璃结合部位的应力。采用溶胶-凝胶技术制备SiO ₂ 抗反射涂层,太阳光谱平均透射率 $>96\%$ 。具有自主知识产权的大型非标准真空镀膜设备及工艺(PUD技术),镀膜长度可达4m。	提供方航天科技集团公司五院、北京天瑞星光热技术有限公司 应用方:中广核太阳能开发有限公司	军民结合推进司
12	垃圾高压挤压分离技术示范应用	在北京等垃圾产量大的城市推广应用垃圾分离技术。	垃圾处理量 >20 吨/小时,挤压压力 $>100\text{Mpa}$;干物质含水率 $<30\%$,干物质宜生化有机质含量 $<10\%$,湿物质中可燃组分 $<10\%$ 。	提供方:中国航空科技集团公司一院十八所 应用方:北京环卫集团	军民结合推进司
13	北斗卫星导航和位置信息综合示范应用	对接国家北斗导航卫星应用的总体规划,建设新疆导航与位置信息综合服务平台,初步形成新疆“位置云”的主要技术支撑系统。	合理规划整合、改造升级现有GPS连续运行参考站网(CORS)和高精度差分站点资源,建设以北斗为主体的GNSS多模导航与位置信息增强网络。建设GNSS/移动蜂窝定位/WLAN/INS等相互融合的全时空室内外定位系统。平台主要包括卫星导航与位置服务和多媒体通信服务一体化公共运营平台、卫星导航数据处理交换中心、卫星导航/通信应用资源协调等部分。重点推进在粮食安全、智能交通、城市安全、城市物流、社会服务、车联网等方面的应用示范。	提供方:新疆青鸟天宇科技有限公司 应用方:新疆维吾尔自治区卫星应用工程中心	军民结合推进司
14	国产卫星星群新疆区域产业化示范应用	开展军民多星遥感数据综合应用技术研究,解决军民卫星数据在联合应用中相互支撑、替代、互补等情况下综合处理的问题,提升我国遥感系统综合应用能力,提升军民卫星系统经济性。	1.定标精度:可见光多波段无场地定标精度均优于6%,近红外波段优于8%。 2.军民对地观测卫星载荷数量:CBERSO2B/C、HJ1A/B、TH1、BJ1、ZY3以及JB系列卫星等不少于10颗卫星; 3.军民对地观测卫星应用产品:多源光学与微波遥感数据协同的土地覆盖提取与变化检测精度优于85%;地表反射率反演精度优于90%;大气气溶胶光学厚度反演精度优于85%,大气水汽总含量精度70%;水体温度反演精度优于0.8K,地表温度反演精度优于1.5K;叶面积指数反演精度优于80%;地表含水量反演精度优于85%;几何校正精度平原地区优于2个像元; 4.系统处理速度不低于1景/10分钟。	提供方:中国科学院遥感与数字地球研究所 应用方:新疆维吾尔自治区卫星应用工程中心	军民结合推进司

序号	重点方向	实施目标	具体产品及技术指标	优选单位	负责联系司局
15	覆盖新疆范围适合GFCCD影像几何控制点影像库示范应用	建立能够覆盖全疆,能满足多种分辨率高分影像进行几何校正的几何控制点影像库。	作为控制点影像库的影像其水平几何精度的误差小于1个像元,高程误差小于1米,每一块影像的大小为128×128个像元,针对不同分辨率的高分影像有与之对应的控制点影像,总体控制点覆盖全新疆行政区范围,控制点密度不小于每景影像20个控制点。针对该控制点影像库及高分影像编写相应的自动几何校正软件模块。对高分影像自动校正的控制精度水平误差小于两个像元。	提供方:中国科学院遥感与数字地球研究所 应用方:新疆维吾尔自治区卫星应用工程中心	军民结合推进司
16	超薄高密度印制电子路板在移动智能终端中的示范应用	推动超薄高密度印制电路板在通信基站和智能手机上的应用,促进产品技术进步,推动国内移动终端向高端发展。	精细线路线宽/线距25μm;微孔最小孔径50μm;多阶积层5层;超薄介质层厚30μm;微孔厚径比1:1等。	提供方:深南电路有限公司 应用方:华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、宇龙计算机通信科技(深圳)有限公司	电子信息司规划司
17	高纯靶材在新型显示器件中的示范应用	推动高纯靶材在平板显示器件上加快应用,提升我国平板显示整体竞争力。	晶粒度和原子排列均匀一致;钼靶,纯度:99.95%,连续金属形态,薄膜均匀性7%;铝靶纯度:99.999%,金属组织均匀。	提供方:宁波江丰电子材料有限公司、常州苏晶电子材料有限公司 应用方:京东方科技集团股份有限公司、华星光电技术有限公司	电子信息司规划司
18	新型片式元件在智能手机中的示范应用	逐步实现片式元件在智能手机中的应用,并在行业内规模推广,提升智能终端产品的国际竞争力。	01005(0.4×0.2mm)容量范围:1-47pF(COG)、100-1000pF(X7R)、1200pF-0.01μF(X5R)。0201(0.6×0.3mm)容量范围:1pF-1μF。	提供方:深圳市宇阳科技发展有限公司 应用方:中兴通讯股份有限公司、联想集团有限公司、TCL集团股份有限公司	电子信息司规划司
19	工业集成控制先进技术示范应用	推动我国工业控制技术智能化取得突破,逐步在我国能源、制造、化工等重要行业推广应用。	研发包括人机界面(含CCTV和MES)、常规控制算法、先进控制算法、传感器检测、执行器驱动和工艺设备及过程仿真在内的多种组态元件。IAP平台可支持60万点数据标签,人机界面数量最大可达到60块(含多屏显示单元),分布式设备信息库,双重及三重冗余控制站,最小控组态执行周期小于20毫秒,控制算法计算精度可达到万分之一,控制组态动态重构无扰动,历史数据存储量不少于1年,组态元件数量可无限扩充。	提供方:福建中海创集团 应用方:神华集团有限责任公司、福建汽车集团	软件服务行业司规划司
20	面向流程工厂应用的三维协同设计平台示范应用	推动三维协同设计平台的技术创新,逐步在流程工厂推广应用。	研发面向流程工厂应用的三维协同设计平台。1.显示性能(大规模数据的处理能力):能处理6000条管线的三维渲染模型,旋转时达到10帧/秒以上。2.三维协同设计的粒度为对象级,以保证流程工厂全生命周期数据在设计、施工、运营、改扩建等阶段的共享和管理。3.数据类型可扩充,并支持自动存储和管理。4.数据模型具有对象级别的权限控制。5.能在多种操作系统上运行,支持多种终端设备。6.支持Undo/Redo。	提供方:山东山大华天软件有限公司、北京鸿业同行科技有限公司 应用方:中国石化扬子石油化工有限公司、中国石化齐鲁石油化工有限公司	软件服务业司规划司

3D打印电路PCB板的应用研究

来新泉^{1,2} 杜含笑^{1,2} 何惠森^{1,2} 刘从^{1,2}

1. 西安电子科技大学电路CAD研究所, 陕西西安710071;
2. 超高速电路设计与电磁兼容教育部重点实验室, 陕西西安710071

摘要: 针对目前传统PCB制造领域遇到的可靠性低、环境危害大、制造过程复杂、高频噪声影响太大的诸多问题, 3D打印先进制造技术在板级电子电路制造的应用方面逐渐变得越来越广泛。3D打印技术本身的发展将成为3D打印PCB技术研究的重要基础, 本文主要介绍了3D打印技术的类型、不同的3D打印技术应用的设备、3D打印的材料、3D打印PCB的过程模型以及3D灌封技术等有关3D打印电路PCB板的研究内容。此外, 本文还提出了几种有关于3D打印PCB板方法的设想, 取得了一定成果, 并展望了该领域未来的发展趋势。

关键词: 3D打印技术; 3D打印PCB板; 3D灌封; PCB板3维模型

Research on 3D printing of PCB circuit

LAI Xinquan^{1,2}, DU Hanxiaol^{1,2}, HE Huisen^{1,2}, LIU Cong^{1,2}

1. Institute of Electronic CAD, Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071

2. Key Lab of High-Speed Circuit Design and EMC, Ministry of Education, Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071

Abstract: Since more issues such as low reliability, huge environment harassment, complex generation procedure, affect of high frequency noise and so on should be solved in the conventional PCB making field, Using 3D printing technology in the PCB making process has become widely used. Based on the development of 3D printing technology, the PCB making with 3D printing will become more and more convenient. In this paper, the author mainly presents several research aspect such as the type of 3D printing technology, different 3D printer, 3D printing materials, the procedure of PCB making with 3D printing, the 3D embedment and so on. Besides, several ideas about PCB making with 3D printing technology are proposed, and the prospect of the future development trend in this field is also presented in this paper.

Keywords: 3D printing technology; PCB making with 3D printing; 3D embedment; 3D model of PCB print

1 引言

3D打印先进制造技术是世界范围内今后在航天、航空、快速制造业等各个重要方面将要发展的重点。它具有快速制造、批量制造的优势, 可以广泛

应用于各个领域之内, 普通的制造技术无法达到如先进制造技术一般的高度。同时, 3D打印先进制造技术还可以大大减小各类产品的生产成本, 在快速提供大量产品的同时, 将其生产消耗、生产成本降至最低。

目前, 大部分电子设备, 都面临着在不影响电气性能的前提下, 实现微型化、数字化、智能化的问题^[1-3], 并且应该满足其可靠性、实用性、可维护性等需求, 这就需要在电子电路的加工制造及组装中采用3D打印先进技术。

本文在第5、6部分提出的3D打印PCB的过程模型及方案设想将主要采用选择性激光烧结技术,这是3D打印先进制造技术的其中一个重要组成部分。采用选择性激光烧结技术实现电子电路的基板打印制造及立体组装,相比普通的制造方法,具有如下优点^[6,7]:具有更好的高频特性和高速传输特性;提高组装密度;易于实现多层布线与封装一体化结构,进一步减小体积和重量,提高可靠性等。

2 国内外现状

2.1 国外现状

为了保护环境,减小危害,世界各国对电子电路基板的清洁生产都极为重视,其中美国的“国际电子工业联接协会”在1988年8月,发布了IPC-CS-70标准——印制板制造化学处理安全准则,并且在1990年12月,发布了IPC-CH-65标准——印制板及其组件清洗导则。这两个标准及其它一些PCB制造相关IPC标准,已被许多发达国家采用。

2012年8月,美国总统奥巴马就曾宣布在美国俄亥俄州的扬斯敦设立一所制造业创新研究所——国家3D制造创新研究院(NAMII),专门研发3D制造技术。现如今,美国除了拥有NAMII研究院之外,还拥有美国桑迪亚国家实验室专门用于对3D先进制造

技术进行研究^[4,5]。同时,德克萨斯大学和宾夕法尼亚大学制造的3D电路,已经被证明可以实现传统印制电路板的类似功能,这种环绕在电子产品轮廓外围的3D电路结构,不需要再像传统印制电路板那样为了适应产品的外观而在形状和大小上受限。

同时,日本也正在着力推动3D打印技术的推广应用。日本大部分IT企业正将他们的电路板订单从本国转移到泰国、越南等第三世界国家,其中日本名幸株式会社在越南河西省建立PCB线路板生产与装配工厂,而日本名幸电子也将80%的PCB产能转移到了其在武汉的工厂。另外,澳大利亚在2013年制定了金属3D打印技术路线,南非也正在扶持基于激光的大型3D打印机器的开发与研制^[8-11]。

2.2 国内现状

从2006年开始,中国就超过日本成为全球第一大PCB制造基地,中国是全球PCB产值最大、增长最快的地区,并已成为推动全球PCB行业发展的主要增长动力。2010年中国大陆PCB产值达到185亿美元,占全球PCB总产值的36.3%,预计到2014年将提高到41.92%。

而在国家大力发展电子电路PCB板制造的同时,为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国清洁生产促进法》,保护环境,印制

电路板制造业开展清洁生产提供技术支持和导向,由中国印制电路行业协会和中国环境科学研究院共同制定了《清洁生产标准印制电路板制造业》(HJ 450—2008 2009-02-01实施)^[14]。这就意味着PCB的发展越来越需要重视环境保护在制造过程中的因素,于是针对于3D打印技术,国内也出现了多家单位在着手研究。

3 3D打印技术类型

3.1 选择性激光烧结技术

选择性激光烧结技术是板级电子电路基板的3D打印制造过程中最可靠的一种制造技术,因为它的打印原材料包括金属粉末和非金属粉末(陶瓷粉末),十分契合板级电子电路板制造的材料需求。

选择性激光烧结技术是通过预先在工作台上铺一层粉末材料(金属粉末或非金属粉末),然后让激光在计算机控制下按照界面轮廓信息对实心部分粉末进行烧结,然后不断循环,层层堆积成型。该方法制造工艺简单,材料选择范围广,成本较低,成型速度快,适合应用于电路基板的制造领域。

3.2 3DP打印技术

3DP打印技术也是板级电子电路基板的3D打印制造过程中比较可靠的一种制造技术,其可使用的打印材料也包括金属粉末和非金属粉末(陶瓷粉末),适用于板级电子电路板制造的材料需求。

3DP打印技术主要使用标准喷墨打印技术^[12],通过将液态连结体铺放在粉末薄层上,以打印横截面数据的方式逐层创建各部件,创建三维实体模型。采用这种技术打印成型的样品

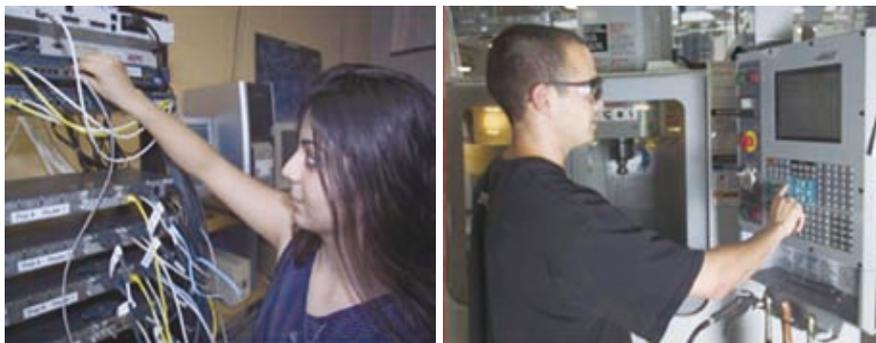


图1 美国宾夕法尼亚大学3D打印实验

模型与实际产品具有同样的色彩,还可以将彩色分析结果直接描绘在模型上,模型样品所传递的信息较大。3DP技术的优势在于其产品成型速度快、无需支撑结构,且能够输出彩色打印产品。由于该技术多采用塑料粉末进行产品制造,所以如何利用该技术达到更多地采用金属粉末和非金属粉末进行电路板的3D打印制造将会是该技术需要突破的重点。

3.3 熔融层积成型技术

熔融层积成型技术是在一些特定的情况下可以采用的一种板级电子电路板3D打印的制造技术,其可使用的打印材料包括热塑性塑料盒共晶系统金属等[13],在一定程度上适用于板级电子电路板制造的材料需求。

熔融层积成型技术主要是将丝状的热塑性材料加热融化,通过带有一个微细喷嘴的喷头挤喷出来。热熔材料融化后从喷嘴喷出,沉积在制作面板或者前一层已固化的材料上,温度低于固化温度后开始固化,通过材料的层层堆积形成最终成品。该技术的机械结构简单,设计容易,制造成本、维护成本和材料成本也较低。但由于其打印原材料的限制,如何将其开发为更加适用于板级电子电路板的3D打印制造的主要技术将成为该技术需要突破的方向和重心。

4 不同的3D打印技术应用的设备

4.1 EOS系列

EOS是德国企业,主要技术以选择性激光烧结(SLS)为主。SLS技术虽然复杂、成本高昂,但是能够制作金属、陶瓷等特殊材质作品,所以在工业制造领域应用非常广。

4.2 3D Systems Zprinter系列

Zprinter是3DS旗下Zcorp的代表机型,采用三维粉末粘接技术(3DP),该机型最大的特色是能够支持彩色打印,Zprinter650最高支持39万种色彩输出,构建物品尺寸(254×381×203毫米),层厚0.09~0.1毫米,Zprinter650也是3D照相馆中常出现的设备。

4.3 Photonic Professional GT

本设备是基于全新的激光印刷术,其工作原理为通过反射镜的旋转将一个激光束快速和精确的聚焦在预设位置。每秒超过5太位的速度来打印聚合物波导,精度可以在一根头发上打印出一个10个字母的公司名称。

4.4 小结

以上介绍的三种打印设备分别采用了三种不同的3D打印技术,具体分类如一览表1所示。

表1 3D打印技术分类一览表

技术分类	基本材料	精密度
SLS选择性激光烧结技术 (Selective Laser Sintering)	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末	0.06-0.12mm 代表产品: EOS系列
3DP技术(Three Dimensional Printing and Gluing)	陶瓷粉末、金属粉末、陶瓷粉末	0.1mm 代表产品: Zprinter
FDM熔融层积成型技术 (Fused Deposition Modeling)	热塑性塑料、共晶系统金属、可食用材料	0.1-0.3mm 代表产品: GT系列

5 3D打印PCB的过程模型

5.1 3D打印PCB的工艺流程

在作者进行3D打印PCB的研究过程中,总结了如下工艺流程,具体技术路线如图2所示。首先在电脑上使用CAD软件进行三维设计,确定PCB板的空层叠放顺序及相互连接关系,做出CAD模型;第二步是生成STL文件;第三步是对三维CAD模型进行切片并生成二位层面数据;然后生成加工路径;最后进行打印组装。

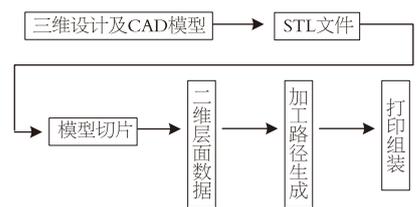


图2 3D打印PCB的工艺流程

(1) 三维设计及CAD模型

在运用CAD工具建立各个组装部件的三维模型的过程中,需要对各个组件进行立体方向上的互联关系设计,以生成组装整体的三维模型图。在生成三维模型过程中,要把各个PCB板的实际参数准确地反映在三维模型中,这些参数不仅包括各个元器件的尺寸,而且包括各个元器件的位置及互联关系等信息。

扫描过程可以通过手持式高分辨率3D扫描仪来进行辅助设计,在扫描完成之后,扫描仪上的图像源数据会被软件转换成高保真的3D彩色几何数据。生成的3D彩色数据可以从各个角度查看和编辑,并能输出支持3D打印的格式。

(2) STL文件

STL文件是1987年美国3D Systems公司制定的一种文件格式,它以小三角面为基本单位,离散地近似



图3 3D打印三维模型

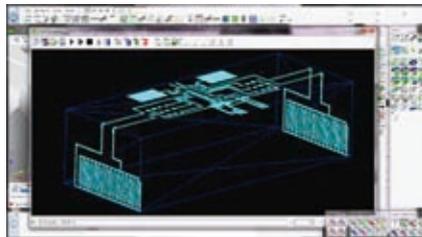


图4 STL文件界面展示

描述三维实体模型的表面, 现已成为三维实体模型和快速成型领域的工业标准 (Rapid Prototyping, RP)。生成的STL文件给出了各个小三角面片的几何属性。由于STL文件参数的选取将直接反映到打印结果的精度, 因此必须合理设置STL文件的相关参数。

(3) 模型切片

该过程是将三维实体模型中PCB板间的连接部分的模型分割为一系列单元, 在Z轴向将其按照一定厚度切割成一系列一定厚度的二维层面, 并在层片信息中区分实体和支撑材料信息。在前三步的基础上生成3D打印所需的路径信息。该过程示意图将以水杯模型切片来进行展示, 如图5所示。

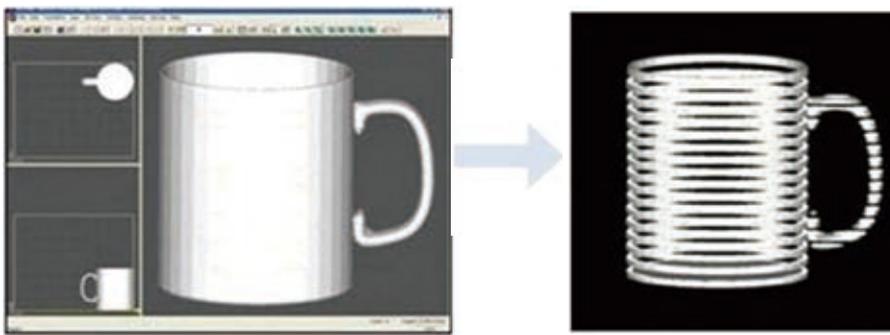


图5 水杯模型切片示意图举例

焊接至已经打印好的PCB线路上。具体示意图如图8所示。

6 3D灌封技术

本文同时 will 介绍给读者一种在3D打印PCB研究中的后端制成工艺, 也是有关于3D打印的技术研究, 该项技术称为3D灌封技术。传统的PCB封胶技术只能采用某种单一的封胶材料, 并且工艺过程复杂、环境污染较大。本文提出的这种3D灌封技术是基于3D打印的基础上提出来的, 它将采用3D灌封作业箱, 主要针对电源或电源管理类产品进行灌封, 且工艺流程简单、环境污染处于可控状态, 主要取决于3D灌封过程中所采用的材料。具

(4) 二维层面数据

第四步就是需要建立详细的二维层面的数据, 可使用的软件一般有PROTEL、CADANCE、ALTIUM DESIGNER等等, 具体示意图如下图6所示。

(5) 加工路径生成

第五步就是在已经生成的3D打印模型的基础上, 使用3D打印机将电路板打印出来, 即称作加工路径的生成过程, 如图7所示。

(6) 打印组装

最后一步是对已经打印出来的PCB板进行最后的打印组装, 具体到PCB电路3D打印制造上即为将三维模型中设计所需要的分立式元器件组装

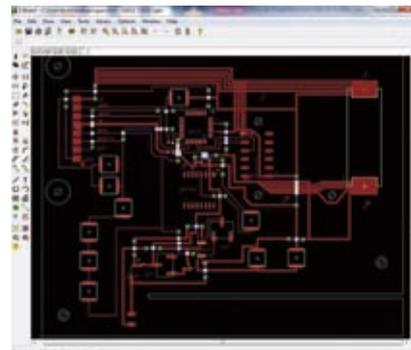


图6 建立二维原理图

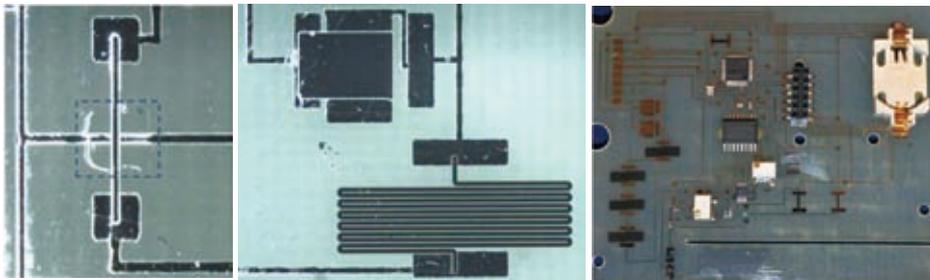


图7 加工路径的生成过程

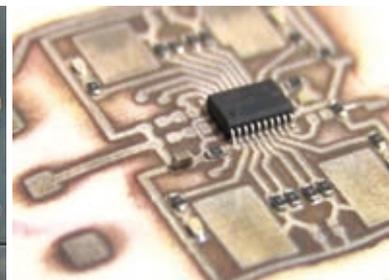


图8 3D打印PCB的实体组装图

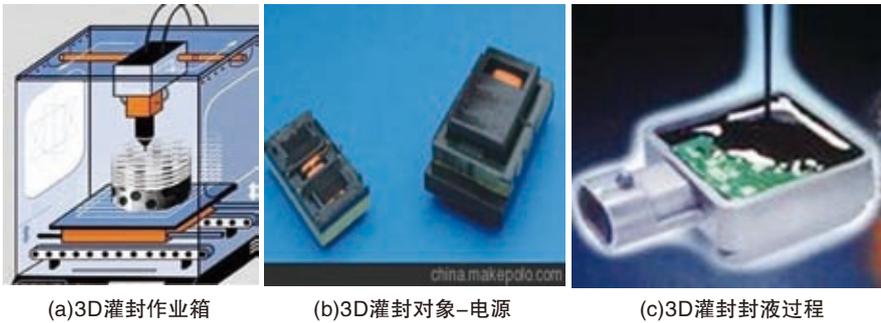


图9 电源的3D灌封技术研究

体过程如图9所示:

7 总结与展望

本文共介绍了有关3D打印PCB技术的三种技术方法, SLS选择性激光烧结技术、3DP打印技术和FDM熔融层积成型技术。除这三种技术之外, 3D打印的技术还有很多种, 但是这三种方法是最适用于3D打印PCB的研究, 它们的打印材料决定了可以将金属粉末和非金属粉末共同作用制造于电路板上, 从而打印出我们想要的PCB电路板, 并使其能够正常化的工作。目前世界性范围内3D打印PCB电路的技术研究还处于一个刚刚开始阶段, 未来的3D打印PCB的领域必然会从单层电路向多层电路发展, 同时

复杂性也会逐渐递增, 如下图所示。但是3D打印PCB的研究领域的核心不会改变, 仍然将会围绕3D打印的模型建立、3D打印设备的深度开发以及3D灌封技术等等相关3D打印研究技术进行发展。 **T**

参考文献

[1] Ebert, D., Bedwell, E., Maher, S., Smoliar, L., and Downing, E., "Realizing 3d visualization using crossed-beam volumetric displays", *Commun. ACM* 42, 8, August, 1999, pp: 100-107.

[2] Hayes, D. J., and Cox, W. R., "Micro-jet printing of polymers for electronics manufacturing", In *ADHES*, IEEE, 1998, pp: 168-173.

[3] Sanny He, Zhang, E, Jeng-I Chen, "New Halogen free & Low Loss Material for High Frequency PCB Application", *Micro systems, Packaging, Assembly & Circuits Technology Conference, IMPACT 2008. 3rd International*, pp: 329-331, Oct, 2008.

[4] Rivera-Ramos, A.R., Jimenez, M. "Analytical models for estimating parasitic components in power electronics PCBs", *Circuits and Systems, 48th Midwest Symposium on*, pp: 1235-1238, vol. 2, 7, Aug, 2005.

[5] J. Jainschigg, "Just Build It: 3D Fabrication for Every Budget", *Smarter Technology*, 22, Nov. 2010.

[6] Raymond C. Rumpf, Javier Pazos, Cesar R. Gacia, Luis Ocha and Ryan Wicker, "3D Printed Spatially Variant All-Dielectric Meta-materials", *Phys. Rev.* Oct. 2012.

[7] C. R. Garcia, J. Correa, D. Espalin, J. H. Barton, R. C. Rumpf, R. Wicker, and V. Gonzalez, "3D printing of anisotropic meta-materials," *Progress In Electro-magnetics Research Letters*, Vol. 34, 75-82, 2012.

[8] Sukeshini A. M. , Gardner P., Meisenkothen F., T. Jenkins T., "Aerosol Jet Printing and Microstructure of SOFC Electrolyte and Cathode Layers", *ECS Transactions*, 35, 1, pp: 2151-2160, 2011.

[9] Chua CK, Leong KF, Lim, "CS in Rapid Prototyping: Principles and Applications" 3rd Edition, World Scientific, 2005.

[10] Adams, J. J. et al. "Conformal printing of electrically small antennas on three dimensional surfaces", *Adv.*

(下转20页)

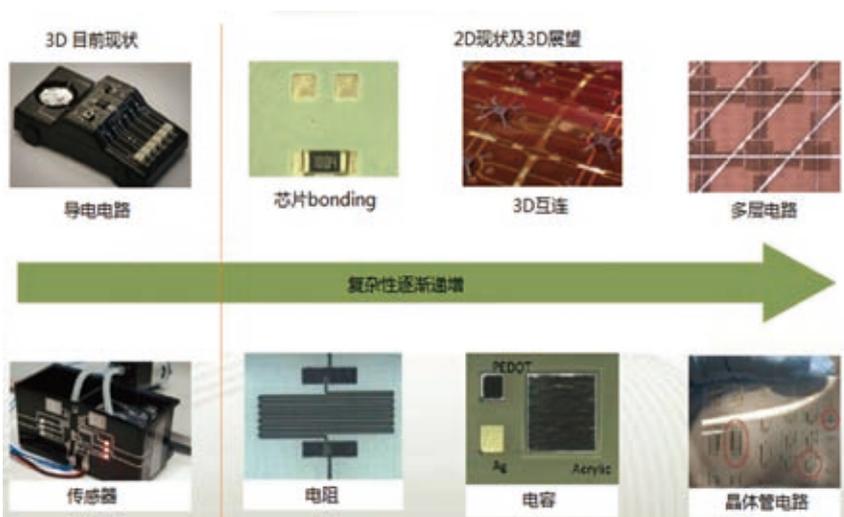


图10 3D打印PCB的前景与展望

等温淬火球墨铸铁 (ADI) 生产和技术的新进展

曾艺成¹ 张忠仇² 李克锐²

1. 机械科学研究总院, 北京 100044; 2. 郑州机械研究所, 河南 郑州 450052

1 概况

ADI从系统研究、开发至今已有一四十年了。ADI的发展经历了试验研究、开发应用和产业化生产三个阶段。由于它具有强度高 ($R_m > 1600\text{MPa}$)、塑性好 ($A\% > 11\%$)、动载性能高 (弯曲疲劳强度达 $420 \sim 500\text{MPa}$, 接触疲劳强度达 $1600 \sim 2100\text{MPa}$)、耐磨性及吸震性好等许多优点, 发展很快, 应用范围逐步扩大。

国外ADI应用市场中, 汽车占了主要位置, 约为ADI总产量的45%以上, 特别是重型卡车的底盘零件, 应用很多。据介绍, 美国每辆重型卡车中至少有500公斤以上的ADI零件。

经过几十年的生产、应用, 积累了丰富的生产经验和数据。ADI的应用已由一般代用发展到按ADI的性能特点及服役条件利用有限元分析等现代设计技术优化产品结构, 达到减小零件壁厚、减轻重量、节能节材的目的。

我国ADI应用中, 还是以抗磨、耐磨件为主, 特别是磨球, CADI磨球和奥贝磨球仍占我国ADI产量的很大部分。粗略统计, 我国ADI (包括CADI) 年产量约13万吨, 其中磨球约7万吨, 占50%以上; 工程结构件 (包括齿

板、衬板) 约占50%以下。工程结构件中, 重型卡车悬挂件、支架占50%, 抗磨、耐磨件占25~30%, 齿轮、曲轴占5~10%, 其它占10%。

ADI的生产由球铁坯件、热处理和机加工等三个主要环节组成, 而提供健全、质量稳定的球铁坯件是基础。没有质量好且稳定的球铁坯件, 就不可能生产合格的ADI件。不少生产实例说明, 许多实验期间证明使用效果显著且经济效益良好的ADI零件, 往往因批量生产时废品率高、质量不稳定而败下阵来。

近年来, 我国球铁生产技术取得很大进展, 球铁的性能和质量水平有很大提高, 质量稳定性逐年增长, 原、辅材料供应和质量有了很大改善, 特别是高纯生铁的大量供应, 由于杂质元素含量很低, 铁液纯净度高, 使我国球铁生产长期存在的塑 (韧) 性指标比国外同牌号低的情况得以改变; 发展和改善各种处理技术, 使石墨球的圆整度、大小、数量得到有效控制; 生产工序每一过程的严格控制, 使球铁质量的稳定性大为提高; 超声波、表面磁粉、射线等无损检测技术的应用, 特别是在批量生产时实现在线检测, 保证了每一件产品的质量。以上情况说明, 为ADI生产提供的球铁毛坯

质量及其稳定性已基本得到解决, 可以预料未来几年内, ADI的推广、应用会得到更大的发展。

2 近年来我国ADI生产技术的进展

2.1 CADI磨球取得较大进展

CADI磨球从研发至今已有6~7年的历史, 由河北工业大学和迁西奥帝爱机械铸造有限公司共同开发, 已分别于2011年7月和2012年2月由河北省科技厅主持在天津和北京召开科研成果技术鉴定会和磨球产品鉴定会, 得到较高评价。多年使用结果证明, CADI磨球与高铬球、低铬球相比, 具有磨耗低、破碎率低和节电、噪音低等优点 (见表1)。

目前迁西奥帝爱公司有4条铁模和铁模覆砂磨球线, 四条热处理生产线 (其中一条为磨球专用连续热处理生产线), 可生产 $\phi 40$ 、 $\phi 50$ 、 $\phi 60$ 、 $\phi 80$ 、 $\phi 100$ 、 $\phi 120$ 、 $\phi 130$ 和 $\phi 150\text{mm}$ 甚至 $\phi 180\text{mm}$ 等CADI磨球, 具有年产CADI磨球5万吨的生产能力, 是目前我国最大的CADI磨球生产厂。河北承德求业钒钛抗磨科技材料有限公司利用钒、钛与C、N化合物等硬质点生产的CADI磨球, 在使用中也取得很好的效果。由于CADI磨球使用效果明显,

许多磨球厂都争先生产。但由于生产工艺、装备不规范，技术要领未掌握，一些“CADI磨球”出现质量波动大，使用效果不理想的问题，必须加以重

视，如不对他们进行引导、改进、提高质量，业内人士担心会严重损害CADI磨球的声誉。

零件，现已发展为几十种零件，产品也大幅上升。如河南欧迪艾公司，目前支座类产品只有30万件/年，现要扩大到100万件/年，生产能力也从目前的7000~8000吨/年扩大到15000吨/年。产品种类也增加，如一汽军车左右羊角、越野车左右前控制臂、左右后控制臂，二汽的钢板弹簧导向座、越野车悬挂系统零件八种零件等。目前正在研发、小批试用的产品有60吨自卸车前轴(图1)，60吨载重车后桥总成的前轴(图2)，重型车托架(图3)，转向节(图4)及重型矿用后桥等。据统计，一汽、东风汽车重卡每年ADI底盘零件约为5000吨左右，随着开发力度加大，产量会有较大的增长。

表1 CADI、高铬、低铬磨球性能对比^[1]

	CADI球	高铬球	低铬球
表面硬度/HRC	使用前56~58 使用后>62	56~60	45~50
冲击韧度/J/cm ²	>10	≥2.5	≥1.6
磨耗(铁矿)/g/t	250~300	400	600~800
破碎率/%	<0.2	<0.8	1.0~5.5
节电率/%	10~20	不节电	不节电

根据国内外市场情况，CADI磨球主要在以下几方面发展：

(1) 规范生产工艺，形成CADI磨球成套生产技术(包括设备)，保证磨球质量，逐步扩大市场。

(2) 由于目前铁矿精粉需求减缓，生铁市场状况不好，CADI磨球回款困难，其应用范围应由铁矿逐步向铜矿、金矿、水泥、煤炭等方面扩展。

(3) 由国内市场转向国外市场。

(4) 为保证质量，降低成本，在球铁毛坯质量解决之后，热处理工艺与装备便成为关键。

近几年来，围绕年产1万吨的磨球专用热处理生产线的建立，中国铸协耐磨铸件分会与ADI技术委员会曾先后组织七家热处理设备厂进行讨论，提出各种方案，作了不少工作，对热处理生产线的要求是：

生产能力：1万吨/年；硬度：>56HRC；圆周方向硬度差<2HRC；边缘和心部硬度差<3HRC；连续生产；符合环保要求。

通过几年努力，迁西奥帝爱、河北承德求业、开封电炉厂等都建立了不同类型的磨球专业生产线，在生产中发挥良好作用，使CADI磨球逐步走向质量稳定、规模化的生产。

2.2 重型卡车底盘零件应用逐步扩大，产量逐年提高，随着运输装备轻量化政策的实施，有可能成为我国ADI产量新的增长点

一汽铸造有限公司、东风汽车公司、河南欧迪艾铸造有限公司、河北清河恒基机械铸造有限公司、大连三明重型车制造有限公司等都是国内目前ADI卡车底盘零件生产或使用厂，以往多为板簧支座、支架、拖钩等几种

2.3 ADI(CADI)在抗磨耐磨零件上应用取得突破

据统计，2012年我国耐磨件总消耗量为300多万吨，占铸件总产量8%，其中抗磨件占70%，即每年要消耗100多万吨磨球，几十万吨衬板、齿板，市场是很大的。ADI不但强度高，韧性好，且具有很好的耐磨性。一些资料报导，HB300的ADI零件其耐磨性能比HB500的钢件都好，但所指的耐磨性能一般是有润滑条件下的耐磨性，如曲轴、齿轮等。最近的研究结果还表明，ADI也具有很好的抗磨性，是高锰钢、合金钢很好的代用材料。迁西奥帝爱机械铸造有限公司四年前就开始用ADI齿板和衬板代替高锰钢齿板、衬板工作(见图5、图6)。几年使用结果表明，ADI衬板在φ4米以下球磨机上应用，其使用寿命比高锰钢高1~3倍，φ1200×900mm以下破碎机ADI齿板，也比高锰钢寿命高2倍以上，目前已大量使用，去年产量在2000吨以上。至于φ6米以上大型球磨机ADI衬



图1 60吨自卸车前轴



图2 60吨载重车后桥总成的前轴



图3 重型车托架



图4 转向节



图5 ADI齿板



图6 ADI衬板



图7 CADI渣浆泵

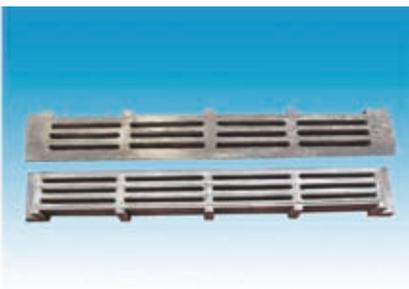


图8 CADI篦子板

板,使用效果也不错,但稍逊于贝氏体钢衬板。因此推荐 $\phi 4$ 米以下球磨机采用ADI衬板, $\phi 4$ 米以上球磨机衬板采用贝氏体钢。

除衬板、齿板外,像渣浆泵壳体(图7),水泥输送管、弯头、篦子板(图8)等零件采用CADI、ADI都取得很好效果,已小批量生产。

2.4 等温淬火热处理中心的建立为我国ADI的发展作出很大贡献,在市场激烈竞争的情况下,质量稳定、价格合理的热处理装备,又重新成为大家关注的问题。

自从美国AFC引进的可控气氛密封箱式多用炉(见图9)生产线安装在



图9 美国AFC公司的ADI热处理设备

苏州艾普零件制造有限公司[A.P.(苏州)]并于2007年上半年调试成功后,我国开始有了专业化热处理中心。

美国和欧洲的经验证明,等温淬火热处理中心是促进ADI产业化发展的办法,由于热处理中心装备有先进的等温淬火生产线,对ADI的化学

成分、牌号、标准、铸件结构、热处理工艺等都有较深入的了解,因此能保证产品的质量及环保友好,费用又合理,使得许多中、小球铁生产厂利用它的协作也能生产ADI件。

据介绍,目前美国ADI零件的等温淬火处理有70%以上是由ADI热处理中心完成的。A.P.苏州建厂后,开始承接以ADI为主的各类钢铁金属材料的等温淬火处理。几年来,A.P.公司积极配合我国企业ADI产品开发、试验工作,发挥巨大作用,促进了我国ADI的发展。

除苏州外,河北迁西奥帝爱机械铸造有限公司也于2007年从上海宝华威热处理设备有限公司购买了2条美国AFC生产的可控气氛密封箱式多用炉等温淬火生产线,并于2010年6月投入生产,在我国华北建成一个等温淬火热处理中心。看好我国ADI应用前景,CADI磨球和ADI衬板、齿板试验成功投产后,该公司于2012年、2013年又增加一条4吨大型等温热处理生产线和年产1万吨CADI磨球专用等温淬火热处理生产线,成为目前国内最大的等温淬火热处理中心。

艾普公司还在长春建立吉林艾普等温热处理有限公司,安装了两条生产线,其中一条炉膛尺寸为 $2000 \times 2000 \times 1500$ mm,可以一次装载处理4.5吨的铸件,也于2011年投入生产,成为东北地区等温热处理中心。

用硝酸盐进行等温淬火热处理有很多优点,但设备投资较大,运行成本较高,特别是CADI磨球,本身价值不高,对表面质量和尺寸公差要求也不严,因此国内有些单位提出分级等温淬火工艺。

和国外发表的“用二步法等温热

处理工艺得到高强度和断裂韧性”不同^[2]，国外等淬介质不管高温（400℃）抑或低温（300℃）都是硝盐。根据第一段等淬时间长短来确定其组织和性能，目的是细化铁素体针，使其具有高R_m的同时具有高的K_{IC}。国内分级淬火第一级用油或淬火介质，温度为80~110℃，第二级为恒温空气炉（300℃~400℃），目的是细化针状铁素体的同时取消硝盐，降低投资成本和运行成本。

已有一些单位用此种方法小批生产5吨解放卡车后桥螺旋伞齿轮及泵壳体等零件，与硝盐等淬相比质量稳定性较差。

关于能否用分级等淬代替硝盐等淬，学术观点上存在分歧，北京农业大学周世康教授进行的试验表明^[3]：分级等淬可提高ADI性能和生产效率；而河北工业大学刘金海教授经过对比试验，对CADI磨球而言，硝盐等淬的性能和质量稳定性是最好的^[4]。

2.5 球铁生产原辅材料质量的改善以及球铁坯件质量的提高，为齿轮、曲轴等零件重新采用ADI增强信心。

齿轮是ADI最早用于工业化生产的产品，美国、芬兰、中国最早开发的都是ADI齿轮。ADI齿轮具有抗弯曲疲劳强度高、抗点蚀能力强、噪音小、重量比同尺寸钢齿轮减轻10%、热处理变形小、加工性能好、刀具寿命长和成本低等一系列优点。在我国汽车、拖拉机行业中有较多的开发应用，最早用于轻型、中型载重汽车的后桥伞齿轮的配件上，但批量均不大。批量生产用于正式产品上为大功率柴油发动机上的正时齿轮。东风汽车公司生产的康明斯发动机正时齿轮、一汽集团解放汽车有限公司锡柴分公司生产

的6DF1柴油机曲轴正时齿轮，齿轮弯曲疲劳强度安全系数可达3.56倍。

实践证明，用ADI齿轮代替氮化正时齿轮和部分渗碳淬火齿轮在使用中是完全没有问题的，妨碍ADI正时齿轮应用的主要原因是价格问题。由于我国钢铁工业发展很快，大容量高炉+纯氧顶吹+连续轧制的钢材生产工艺大幅度地降低钢材的成本，上世纪90年代东风汽车公司用ADI代替ANST1022渗碳钢时，Φ80大截面低合金钢价格为8000元/吨，优质生铁价格为700元/吨，每套（六个齿轮）ADI齿轮较钢齿轮制造费降低17%，约124元。目前钢材价格降至4000元/吨左右，而优质铸造生铁则升至3000多元/吨，因此，如何降低ADI齿轮成本便成为扩大ADI齿轮应用的关键之一。

ADI齿轮成本高除了生铁价格高外，铸件废品率高、质量不稳定也是一个重要原因。现在原辅材料质量有保证，球铁生产各环节控制加强，因此球铁件质量稳定，废品率大幅度降低，这为降低球铁坯件成本创造了条件。近来一些单位试图通过提高球铁毛坯件质量降低废品率、控制热处理质量，降低机加工成本（如减小变形，取消昂贵的磨齿工序）等措施来降低ADI齿轮的成本。

SEW公司收购了芬兰的Kymi Kymmene厂，在它的产品中，一直坚持采用ADI齿轮。自在中国天津建厂后一直积极参加中国ADI行业的各项活动，2013年ADI产量900吨，预计今年可超过1000吨。其产品主要为齿轮和轴，据他们介绍，用ADI制造带齿的结构件（图10）是最合适的，其它材料无法与它竞争^[5]。

ADI曲轴的试验开发工作，很多



图10 带内齿圈的构件

单位都进行并取得较满意的结果，如南京理工大学与淮海机器厂联合试制的368Q三缸曲轴，大连柴油机厂、滨州海得曲轴有限责任公司、朝阳柴油机厂联合试验的4110和6110柴油发动机曲轴，安全系数分别在1.7、2.0和1.8以上，但都没有正式投产。江苏万力机械股份有限公司多年来也一直进行多缸柴油机ADI曲轴试验工作，也取得较好效果。一汽也进行了1.8T和2.0T奔腾轿车增压发动机ADI曲轴的开发，性能试验和疲劳试验均已完成，现正等待台架试验结果。

上述试验情况说明，用ADI来制造增压发动机曲轴，是能满足爆发压力提高后对曲轴弯曲疲劳提出的性能要求的。目前的主要问题是经受大批量生产和使用的考验，没有突出ADI曲轴的特点，例如高强度高塑性球墨铸铁（QT800-6，QT900-6），同样具有高的弯曲疲劳强度。玉柴、天润等厂生产的曲轴均已用于大马力增压柴油机，ADI曲轴与其相比究竟有哪些优缺点，只有弄清楚这些情况，才能确定各自的适用范围。

据苏州艾普公司介绍，江苏万力机械股份有限公司近来也在他们公司处理了2000多根ADI曲轴，供出口，说明国内ADI曲轴也在不断发展。

3 存在问题及发展方向

3.1 质量的稳定性、一致性仍是目前需

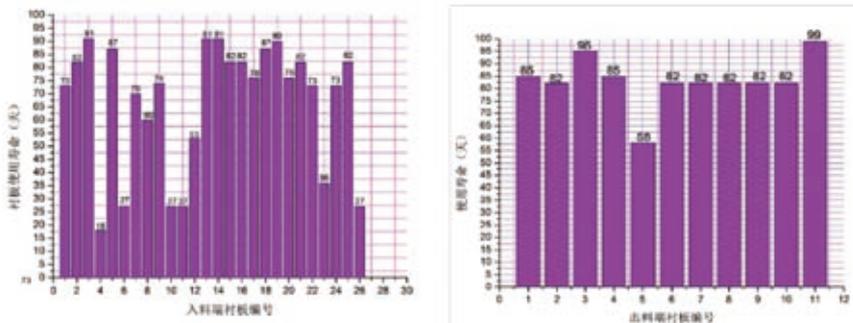


图11 A厂入料端和出料端衬板使用情况

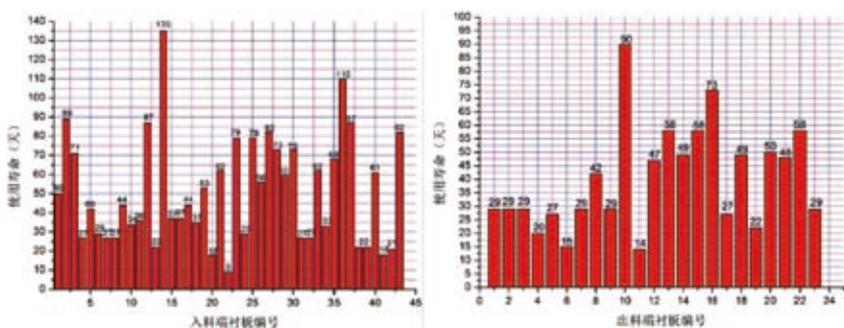


图12 B厂入料端和出料端衬板使用情况

要解决的突出问题

铸件质量的稳定性、一致性，不仅是ADI生产的关键问题，也是整个铸件生产的关键问题，铸件越重要、要求越高、稳定性也要求越严。图11、图12为两家工厂生产质量不稳定的典型情况，这样的质量波动情况，用户能放心吗？

要想质量稳定，首先必须要树立质量第一的理念，排除一切影响质量的因素，在技术问题解决之后，就靠管理了。只有严格控制生产过程每一工艺环节，才能最终保证产品的质量，常州华德机械有限公司的经验值得大家学习。

3.2 如何充分利用ADI性能特点，改进设计，节材减重，降低成本，是ADI发展的主要途径

经过几十年的生产、应用，积累了丰富的生产经验和数据。ADI的应用已由一般代用发展到按ADI的性能特

点及服役条件利用有限元分析等现代设计技术优化产品结构，达到减小零件壁厚、减轻重量、节能节材的目的。如美国AP公司是世界最大的等温淬火热处理专业厂，年处理量5万多吨。据介绍，它处理的产品中95%是经改进设计的零件。

近几年来国内这方面的试验工作取得不小进展，如东风汽车有限公司在5吨高机动性越野车试制中，采用ADI替代传统的铸钢件，并结合球铁优良的铸造性能和力学性能优化结构设计，在CAE模拟分析的指导下，对零件关键受力部位减重后仍比减重前有所增强的条件下，尽量减薄、减重，使14件零件采用ADI后，总重量由630.62kg减为380.66kg，减轻了249.96kg，减重率达39.6%，并在后续改进中进一步增加ADI件数量，使整车ADI件重量达到了550.4kg；又如一汽技术中心积极开展ADI在重型、矿

用车底盘零件研发工作，前梁、仰角、后桥、轮毂等都在试验，如何利用ADI优异的力学性能改进设计，减薄、减轻零件重量，降低成本是他们的主要目的。

除汽车铸件外，其它如抗磨、耐磨件、轨道交通件，工程结构件等，都存在着适合采用ADI并能充分发挥ADI性能特点的构件。

3.3 如何提高淬透性，解决厚大断面ADI件的生产，是今后ADI发展中另一技术难题

随着装备工业向大型化及高性能发展，大型ADI铸件需求也在增加，例如风力发电机组中的行星齿轮架和齿轮就有用ADI生产的，图13为一件风电行星齿轮架正装在等温淬火炉中进行热处理。这台安装在英国北海、转轮直径126m、发电量4.2MW的行星齿轮架，经有限元分析，工作时承受很高的应力和扭矩，ADI和调质合金铸钢是规定的候选材料。ADI采用牌号800-500-10，含Ni>2%、Mo>0.3%，硬度280~310HB，铸件重4.3t，经加工后净重2.4t。通常这些零件直径达1200mm，但随着透平机继续向大型化、高效化发展，生产者预测铸件直径要达到3000mm。目前处理厂已装备了商业用的最大等温淬火炉，能处理重7t、直径1840mm、高1430mm的大型铸件。除行星齿轮架外，1500千瓦、3000千瓦的传动齿轮也有用ADI生产的。

ADI零件受壁厚的限制，一般来说壁厚25mm以下，不需加合金元素也能淬透。根据目前所掌握的工艺、技术，采用最有效的各项提高淬透性的措施，稳定获得的淬透效果的最大壁厚为150mm，壁厚超过150mm如何



图13 齿轮行星架



图14 安装于美国威斯康新州AP公司的UBQA 849654 (装载量9t) 等温热处理设备

办? 也就是ADI铸件的壁厚、尺寸、重量等的范围究竟是多少? 大家都非常关心。2012年美国AFC-HOLCROFT公司与APPLIED PROCESS公司合作, 共同开发出UBQA 84X96X54 (装载量20,000磅/9,072公斤) 目前世界上最大的等温热处理设备, 2013年顺利完成。该设备安装于威斯康新州的AP公司(图14), 调试成功后顺利投产。国内ADI零件最大的还是SEW(天津)公司, 已生产ADI铸件尺寸最大2.9m, 最重4~5吨。如何进一步提高淬透性, 一些铸铁工作者把希望寄托于:

- (1) 复合合金化;
 - (2) 双液淬火(分级淬火)。
- 效果如何有待于实践。7

参考文献

- [1] 周平安, “高性价比抗磨铸铁生产的关键技术和应用”, “铸铁生产技术与质量控制培训班”培训讲义, 2013.8 郑州, P35~44.
- [2] 陈明志译, “应用二步法等温热处理工艺得到高抗拉韧性及高断裂韧性的ADI”, 第五届全国等温淬火球铁(ADI)技术研讨会, 长春, 2011年, P235~239.
- [3] 徐扬等, “抗磨贝氏体球墨铸铁的研究与应用”, 第四届全国等温淬火球铁(ADI)技术研讨会, 2006.12 苏州, P60~63.
- [4] 刘金海等, “三种热处理工艺制备的球铁磨球组织与性能”, 中国耐磨铸件, 2013.No7-8, P121~125.

[5] 巩济民、徐明君, “我国ADI齿轮现状及应注意的问题”, 第九届全国铸铁及熔炼学术会议暨机床铸件技术研讨会论文集, 玉林, 2014年.

作者简介:

曾艺成教授, 男, 1934年生。1958年毕业于清华大学机械系。北京机械科学研究所教授级高级工程师, 国家有突出贡献中青年专家。曾任机械科学研究院副室主任, 机械工业生产力促进中心副总工程师。全国铸造学会铸造及熔炼专业委员会主任委员, 稀土学会铸造合金专业委员会委员。长期从事铸造合金及铸造成型技术研究, 特别是球墨铸铁、等温淬火球墨铸铁(ADI)及稀土在铸造中应用等研发生产和推广工作, 并于1985年获国家科技进步二等奖, 1987年被人部评为中青年有特殊贡献的专家, 1991年享受国务院特殊津贴。现任全国铸造协会顾问、专家委员会委员、铸造学会铸造及熔炼支委会顾问, ADI技术委员会主任委员等。



(上接14页)

Mater, 23, pp: 1335-1340, 2011.

[11] Siegel, A. C. et al. "Foldable printed circuit boards on paper substrates", Adv Funct. Mater, 20, pp: 28-35, 2010.

[12] Russo, A. et al. "Pen-on-paper flexible electronics", Adv. Mater, 23, pp: 3426-3430, 2011.

[13] Bollstro. m, R. et al. "A multilayer coated fiber-based substrate suitable for printed functionality", Org. Electron, 10, pp: 1020-1023, 2009.

[14] Wohlers, Terry T. Wohlers,

"Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress", Fort Collins, Col., Wohlers Associates, 2011.

作者简介:



来新泉, 男, 博士, 教授, 博士生导师。先后于微电子、电路、计算机三个不同学科获学士、硕士、博士学位。国家超高速电路设计

与电磁兼容教育部重点实验室主任, 西安电子科技大学电路CAD研究所所长、电路与系统学科学术带头人。长期从事集成电路科研与教学工作, 研究方向为数模混合专用集成电路设计, 光电集成电路设计, 电路的3D打印技术研究, 功率电子集成与SOC设计相关理论研究。已培养博士20名, 硕士200名, 成功设计并投入实际应用集成电路100多个, 获国家发明专利70项, 获省部级科研成果奖7项, 主持完成国家各类重点科研项目12项, 出版学术专著和国家标准9部, 先后在国内外核心期刊发表学术论文150篇, 被SCI/EI/ISTP三大系统检索120篇。

高性能一体化铸造桥壳开发

王建东 王成刚 高广阔 王东旭

一汽铸造有限公司, 长春, 130062

摘要: 本文综合论述了驱动桥壳的组成及桥壳的各种分类; 介绍高性能一体化铸造桥壳生产工艺的开发; 并通过工艺改进解决生产一体化铸造桥壳过程中存在的铸件疏松、冷铁多、铸件变形及偏芯等问题, 其中重点研究了发热冒口对铸件性能的影响规律。

关键词: 一体化铸造桥壳, 发热冒口, 疏松, 冷铁, 机械性能

Development Of High Performance Cast Rigid Axle Housing

Jiandong WANG, Chenggang WANG, Guangkuo GAO, Dongxu WANG

Faw Foundry Co., LTD, Changchun, 130061

Abstract: The structure and classification of axle housing were discussed in this paper. The process of high performance cast rigid axle housing was also introduced. The solution of casting process problems including shrinkage porosity, too many densener application, casting distortion and core distortion were put forward, and the effects of exothermic riser on casting microstructure and property were detailed investigated.

Keywords: Cast Rigid Axle Housing, Exothermic Riser, Shrinkage Porosity, Densener, Mechanical Property

1 概述

驱动桥壳是中重型商用汽车的重要零件之一。驱动桥壳起着支承汽车荷重的作用, 并将载荷传给车轮。作用在驱动车轮上的牵引力, 制动力, 侧向力和法向力通过桥壳传到悬挂, 车架和车厢上。因此桥壳既是承载零件, 也是传力部件, 同时它又是主减速器、差速器及驱动车轮传动装置(如半轴)的外壳。

桥壳的结构型式大致分为可分

式、整体式和组合式三种。其中整体式桥壳按其制造工艺的不同又可分为铸造整体式, 钢板冲压焊接式, 钢管扩张成形式, 和液胀四种制造工艺。本文重点介绍的铸造整体式桥壳可采用球墨铸铁, 可锻铸铁或铸钢铸造。为进一步提高铸造整体式桥壳的强度和刚度, 铸造整体式桥壳的两端压入较长的无缝钢管作为半轴套管, 并用销钉固定, 如图2所示, 每边半轴套管与桥壳的压配表面共四处, 由里向外逐渐加大配合表面的直径, 以得到

较好的压配效果。钢板弹簧座与桥壳铸成一体, 所以在钢板弹簧座附近的桥壳截面可根据强度要求铸成适当形状。桥壳中部前端的平面和安装孔用于主减速器及差速器总成安装, 后端平面及孔用于上后盖安装。

在重型汽车上, 为了进一步提高桥壳的强度和刚度, 则将后盖与桥壳铸成一体, 目前一些汽车制造企业开发出了直接在桥壳上铸出半轴套管的一体化桥壳, 其特点是减少加工难度, 成本降低较多, 桥壳结构趋于简

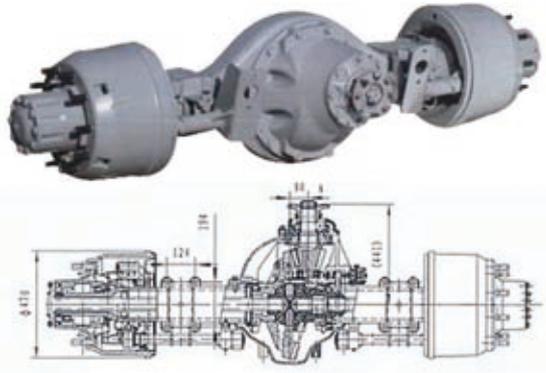


图1 驱动桥壳

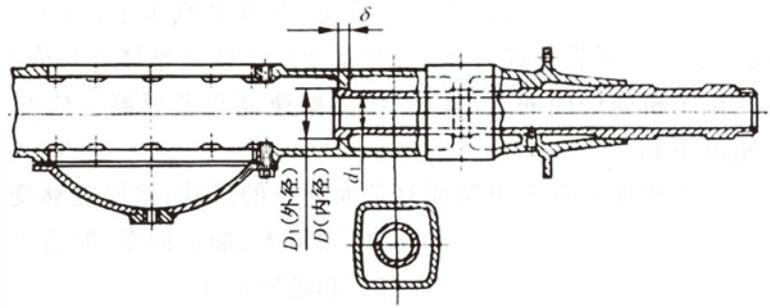


图2 铸造整体式桥壳

单，且桥壳刚性较好。铸造整体式桥壳的主要优点在于可制成复杂而理想的形状，壁厚能够变化，可得到理想的应力分布，其强度及刚度均较大，工作可靠。但质量大、加工面多，制造工艺复杂。综合上述论述以及中重型商用车驱动桥壳的应用现状，铸造一体化桥壳在中重型车的应用上具有极大的优势，本文将只重点介绍铸造桥壳中一体化桥壳的生产工艺。

A0E、290、776、85B是一汽集团公司开发出来的代替焊接桥壳及带半轴套管铸造桥壳的新产品，可以降低驱动桥的成本，铸件长2220-2658mm，重量240-350Kg，主壁厚18-25mm。材质是一汽集团公司自主开发出来的QT600-5。因桥壳比一般的桥壳长，热节多，桥腿部位砂芯较长较细，铸造难度相当大。在工艺设计阶段有针对性的采取措施，并在开发阶段逐步解决。

(2) 铸件热节多，使用多处冷铁解决铸件缩松问题，具体见图5：

(3) 铸件材质为QT600-5，金相组织及机械性能符合下表1要求，本体取样位置见图6：

2 高强度球铁一体化铸造桥壳铸件生产工艺综述

铸造公司开发的一体化桥壳

2.1 生产工艺介绍

(1) 树脂砂造型，制芯，一型二件，具体浇注系统见图4。



图3 高性能一体化桥壳铸件

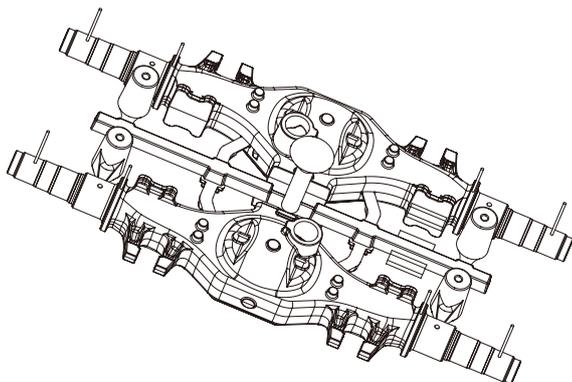


图4 浇注系统示意图

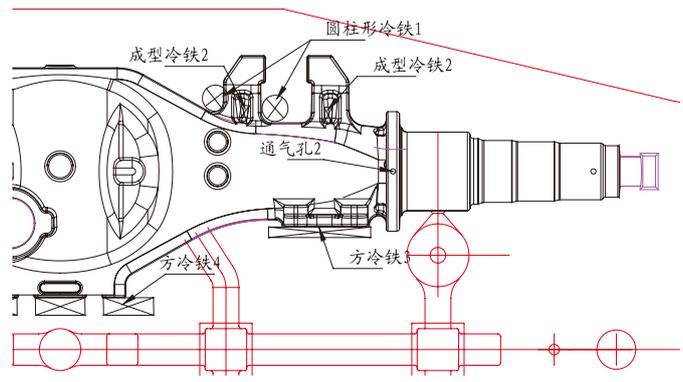


图5 冷铁分布示意图

表1 桥壳材质要求

样品名称	基体组织	球化率	石墨大小	碳化物加二元磷共晶	抗拉强度 (Mpa)	延伸率 (%)	硬度 (HB)
单铸试棒	珠光体加铁素体，珠光体数量≥85%	1-3级	6-8级	≤3%	≥700	≥5	225-305
桥壳本体	珠光体加铁素体，珠光体数量≥85%	1-3级	6-8级	≤3%	≥600	≥5	190-240

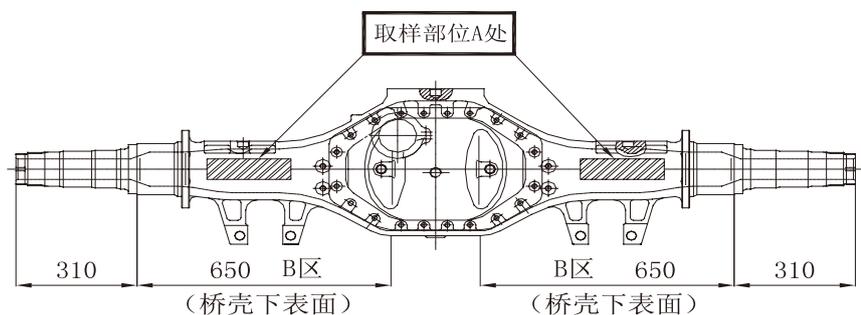


图6 本体取样示意图

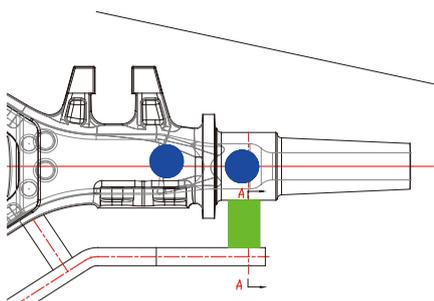


图7 取消边冒口工艺更改示意图

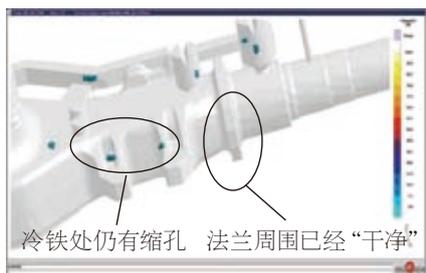


图8 模拟结果



图9 法兰处切口法兰处已经无收缩倾向



图10 支架处切口冷铁处仍有缩孔有待解决

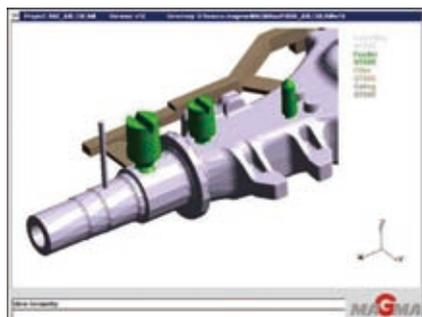


图11 取消冷铁工艺更改示意图



图12 富士科模拟结果示意图



图13 支架处横向切口



图14 支架处纵向切口

2.2 生产中存在问题及解决方式

(1) 工艺出品率低及冷铁多问题
解决

原始的操作工艺为大边冒口补缩，工艺出品率仅60-68%，且每件力反馈支架处圆柱形冷铁8处、成型冷铁8处，其余法兰处5处。该种生产工艺操作较为复杂，不适合大批量生产。为了简化操作工艺，并提高铸件可靠性，试验使用发热冒口代替边冒口及力反馈支架处冷铁的工艺。

● 开始首轮方案采用4个发热冒口，代替边冒口工艺。工艺简图如下，工艺制定之后，发送富士科公司给进行计算机模拟后进行试验。结果如下（图7、8、9、10）。

● 为了解决支架处缩孔，更好的适应车间的生产工艺，我们在冷铁处上方，又增加了强发热点补缩冒口。发送富士科公司给进行计算机模拟后进行试验。结果如下（图11、12、13、14）。

● 尽管上述工艺能很好的解决铸件收缩的问题，但是由于该工艺使用了大量发热冒口，需确认发热冒口使用的发热材料是否影响铸件本体性能。

- ① 取上箱非发热冒口根处本体试棒一组（上1、上2）
- ② 取上箱发热冒口根处本体试棒一组（上3、上4）
- ③ 取下箱本体试棒一组（下1、下2）

从结果上看，发热冒口根部和非冒口根部的铸件材质基本相同，大概强度约为550-560Mpa。而对于铸件下箱，平均强度在617Mpa，则明显强度优于上箱表面约50-60Mpa。这一数据略高于我们以往工艺生产的上、下箱试

棒强度差值。具体见表2。

同时取边冒口上下箱部位本体试样，测量结果见表3；边冒口上下箱之间相差30-40Mpa左右，而发热冒口上下箱之间强度相差50-60 Mpa左右；相比之下，两者相差20Mpa左右，相对与600Mpa的强度，影响值约为3.3%。此外，从金相图片上看，上、下箱的图片无论从球化率、石墨大小、石墨数量、珠光体含量上看，均没发现有明显差异，造成上箱、下箱材质差异的原因主要在于上箱的铸造缺陷（如芯撑、渣眼、气孔）多于下箱，凝固顺序对两者的影响不大。

● 结论：发热冒口工艺优于边冒口+冷铁工艺，且降低了造型难度。使用发热冒口，可以每型取消力反馈支架处圆柱形冷铁、方形冷铁各16处。而取消边冒口，使工艺出品率由原来的60-68%上升到80%以上，生产成本有所下降。无论是发热冒口工艺、还是边冒口工艺，上箱材质均比下箱材质要差。发热冒口对铸件金相、组织的影响微乎其微。从目前强度数据上看，发热冒口强度略逊于边冒口。但通过用户实际使用情况反馈，发热冒口对铸件的使用性能没有影响。

(2) 铸件变形问题解决

原来生产工艺没有确定起模几小时后，方可浇注，浇注后几小时后打箱，铸件几乎全部变形，最大达到7mm，加工后报废率达到10%。为了确定合理的生产工艺我们做了如下工艺测试和工艺改进：

● 测量浇注完成后桥壳铸件不同部位的凝固情况用以确定打箱时间，铸铁桥壳温度场测试示意图如图24所示，测试结果4小时后铸件温度达到打箱工艺要求。

表2 上下箱机械性能对比

来样编号	抗拉强度 (N/mm ²)	强度平均值 (N/mm ²)	延伸率 (%)	硬度 (HB)	球化率	珠光体含量 (%)
上1	580	555	4.5	241	3	90
上2	530		3.5	231	3	85
上3	570		标外	211	3	85
上4	555		5	228	3	85
下1	625	617	标外	241	3	90
下2	610		5	241	3	90

表3 边冒口上下箱机械性能对比

来样编号	抗拉强度 (N/mm ²)	强度平均值 (N/mm ²)	延伸率 (%)	硬度 (HB)	球化率	珠光体含量 (%)
1-1 (上箱)	645	622	6	209	3	90
1-2 (上箱)	600		标外	204	3	85
1-3 (下箱)	655	647	6.5	213	3	85
1-4 (下箱)	640		7.5	215	3	85

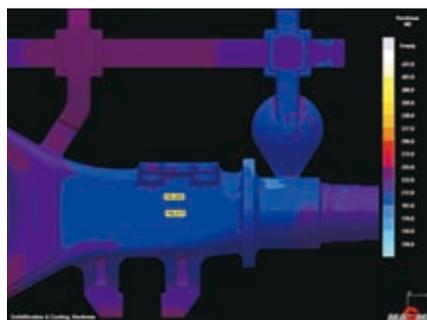


图15 边冒口上箱模拟值603、605Mpa

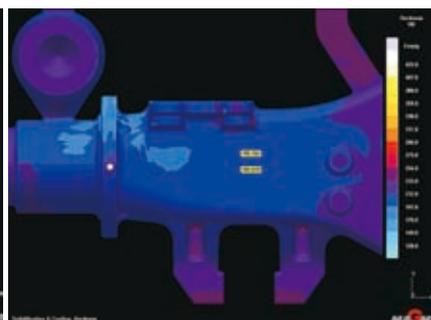


图16 边冒口下箱模拟值597、596Mpa

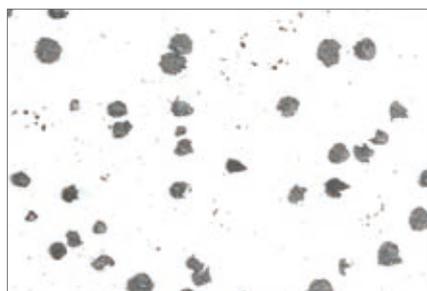


图17 发热冒口根部试棒金相



图18 边冒口下箱试棒金相



图19 发热冒口上箱取样部位，实测 555、570Mpa

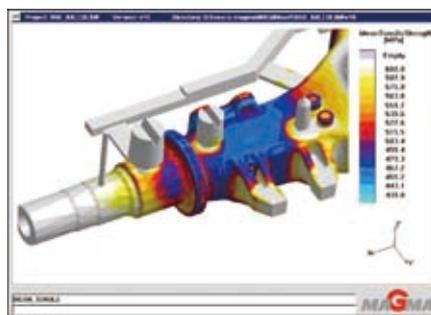


图20 发热冒口工艺模拟强度值550-580Mpa



图21 发热冒口下箱取样部位, 实测580、530Mpa

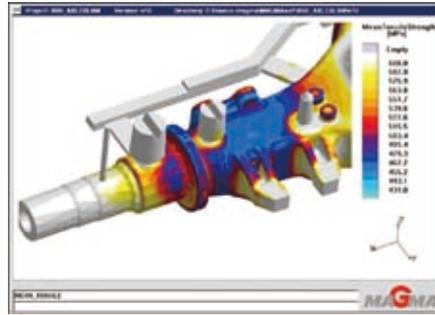


图22 发热冒口工艺模拟强度值500~530Mpa

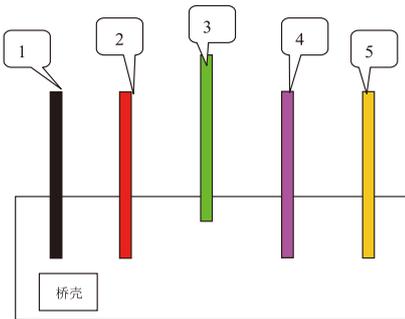


图23 温度场测试热电偶分布示意图

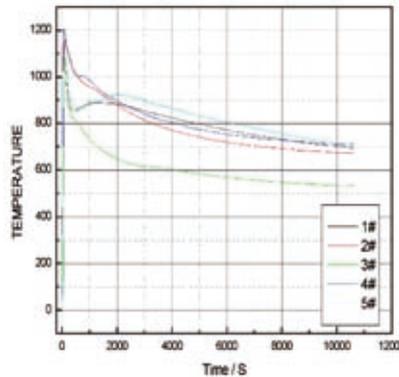


图24 铸件不同部位温度冷却曲线

表3 树脂砂强度变化曲线

项目	30min强度 (MPa)	1h强度 (MPa)	2h强度 (MPa)	8h强度 (MPa)	透气性	发气量 (ml/g)
1# 新砂100%	0.3	0.9	1.3	1.8	210	9
2#新砂75%旧砂25%	0.1	0.6	0.9	1.2	225	10
3#新砂50%旧砂50%	无	0.2	0.4	0.8	245	11.5
4#新砂25%旧砂75%	/	/	/	/	270	13
5# 旧砂100%	无	0.1	0.2	0.4	295	14.5



图25 改进前使用M5单体芯撑铸件偏芯3~5mm

● 再次测量树脂砂强度变化曲线, 确定起模3个小时后, 砂型达到可以浇注的强度(如表3)。

● 根据测试结果, 确定起模3小时后, 方可浇注, 浇注后4小时后打箱, 经生产验证铸件变形量小于1mm。达到工艺要求。铸件变形问题解决。

(3) 铸件偏芯问题解决

● 改进前使用自行设计制造的M5、M10芯撑铸件偏芯严重, 将近5mm(如图25)。

● 改进后使用自行设计制造的3联M10芯撑的方法进行浇注试验, 偏芯不超过1mm。偏芯问题解决(如图26)。

3 结束语

桥壳是为驱动各种零部件提供定位连接和支承包容的基础件。桥壳的成本, 约占驱动桥总成的30%。因此桥壳的合理设计和经济制造, 对确保驱动桥性能和降低生产成本, 具有十分重要的意义。轻型载货车中后桥壳体很薄, 钢板冲压桥壳具有绝对的优势, 但是在中型载重车方面, 铸造桥壳和冲压-焊接各有优势, 在重型载重车方面, 高强度一体化铸造桥壳具有较大的优势, 高强度一体化桥壳的开发成功, 材质方面达到国际先进水平, 树脂砂工艺一体化桥壳生产桥壳为国内首创, 高性能球墨铸铁桥壳及相应铸造材料的开发成功, 提高解放卡车了市场份额, 市场竞争优势明显。**7**

参考文献:

- [1] 刘唯信.汽车车桥设计.北京: 清华大学出版社: 2004.
- [2] 洪晓先.汽车工业的发展及汽车铸件生产的方向. 现代铸铁[J], 2006.04.
- [3] 整体铸造载货车驱动桥桥壳, 汽车零部件[J], 1988, (03).

(下转29页)

中频淬火曲轴磨削裂纹产生原因及对策

李勇强 刘浩宇

广西玉柴机器股份有限公司, 广西玉林, 537005

摘要: 磨削表面烧伤是磨削过程的瞬时高温使工件金属表面产生一层很薄的氧化层, 对于已淬硬件来说可能会造成表面磨削回火软化, 严重的甚至产生裂纹, 影响工件的耐磨性和使用寿命。本文以某型号发动机的球墨铸铁曲轴中频淬火后在磨削加工时轴颈表面产生裂纹现象为实例, 分析轴颈表面由于磨削烧伤而产生裂纹的原因, 并从热处理工艺及磨削工艺两个方面介绍了消除磨削裂纹的方法。

关键词: 球墨铸铁曲轴; 磨削热; 表面烧伤; 磨削裂纹

The Causes and Countermeasures of Grinding Crack of Intermediate Frequency Quenching Crankshaft

Yongqiang LI, Haoyu LIU

Guangxi Yuchai Machinery Co., Ltd., Yulin Guangxi 537005, China

Abstract: The surface grinding burn is what the metal surface of the work piece creates a very thin oxide with the instantaneous high temperature in grinding process. This may cause the surface grinding temper softening to the work piece of quenching hardware, serious and even crack, impact wear resistance and service life of the work piece. Based on the shaft neck surface crack of nodular cast iron crankshaft of a certain type of engine when grinding after medium frequency quenching as an example, the reason of grinding burn and cracks on the shaft neck surface was studied and analyzed, and the method to eliminate grinding cracks was introduced from two aspects of the heat treatment process and grinding process.

Key words: Nodular Cast Iron Crankshaft; Grinding Heat; Surface Burn; Grinding Crack

1 引言

笔者所在的工厂主要生产某型号柴油发动机曲轴, 该曲轴材料为球墨铸铁(牌号为QT800-6), 毛坯铸造后正火处理, 珠光体组织含量90%以上, 基体硬度要求280-320HB, 球化率1-3级, 球径大小5-8级。在加工时采用表面轴颈淬火加小圆角滚压强化工

艺。轴颈淬火有效硬化层深度为2.5-3.5mm, 曲轴轴颈中频淬火后进行中温回火, 表面硬度48-55HRC。这种经圆角滚压强化加轴颈中频淬火的球铁曲轴由于成本低廉且强度水平能与钢曲轴媲美, 因此在中小型柴油机上得到广泛应用。但球墨铸铁曲轴在生产过程中, 经精磨后流转到探伤工序时, 发现轴颈表面出现细小的网状裂

纹而造成报废, 由于原因不明且反复出现, 一直困扰影响着本厂球铁曲轴的生产。

2 曲轴表面磨削裂纹的宏观形态

曲轴轴颈表面经磁粉探伤后出现裂纹的宏观形貌见图1, 裂纹多数呈网状或半网状, 其最长的裂纹长约7mm, 常见分布于轴颈圆周的局部的

表面上,严重时整个轴颈表面都呈龟裂状。



图1 裂纹宏观形貌

3 试验内容与方法

3.1 金相分析

表面裂纹显微形貌见图2,再对有裂纹的磨削面作径向取样解剖检验,在显微镜下观察到裂纹表现为穿晶或沿开裂,裂纹深度为0.1~0.2mm,而且深度基本一致,从表面向基体延伸扩展由粗到细逐渐消失(见图3)。检验石墨形态为球化率2级,球径6级;基体组织为96%珠光体+少量分散分布的铁素体,按图纸要求为合格组织。

检得有效淬硬层深1.8~2.2 mm,金相组织是均匀的回火屈氏体,在最表层没有发现存在二次淬火组织。

3.2 回火工艺试验

为了进一步了解回火温度与磨削烧伤关系,我们做了相应的工艺试验,即对所试验的3根曲轴,采用现行的生产淬火工艺进行中频淬火,再经200℃×2.5h的低温回火,再用按现行的磨削工艺进行加工,精磨完各个轴

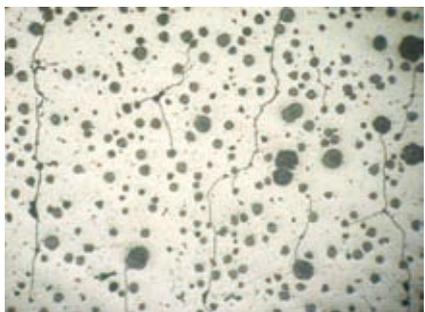


图2 表面裂纹形貌 100×

颈后再探伤,结果发现3根曲轴都有几个轴颈产生表面网状裂纹,抽取其中5个轴颈解剖理化检验结果见表1。可见经低温回火的球铁曲轴,在磨削时几乎都产生了表面烧伤,有的轴颈表面磁粉探伤出现网状裂文,且裂纹的严重程度跟表层烧伤程度成正比关系,烧伤层越深,就越容易产生裂纹。

3.2 回火工艺试验

为了进一步了解回火温度与磨削烧伤关系,我们做了相应的工艺试验,即对所试验的3根曲轴,采用现行的生产淬火工艺进行中频淬火,再经200℃×2.5h的低温回火,再用按现行的磨削工艺进行加工,精磨完各个轴颈后再探伤,结果发现3根曲轴都有几个轴颈产生表面网状裂纹,抽取其中5个轴颈解剖理化检验结果见表1。可见经低温回火的球铁曲轴,在磨削时几乎都产生了表面烧伤,有的轴颈表面磁粉探伤出现网状裂文,且裂纹的严重程度跟表层烧伤程度成正比关系,烧伤层越深,就越容易产生裂纹。

3.3 磨削表面层显微硬度检测

磨削作为精加工,在加工时必须具有较高的切削速度,才能使工件达到较高的尺寸精度、粗糙度等项要求,因此被磨削的金属在磨削力的作用下机械能转化为热能,在磨削区短时间地、大量地发热,瞬时温度可达400~1000℃。磨削过程的瞬时高温引

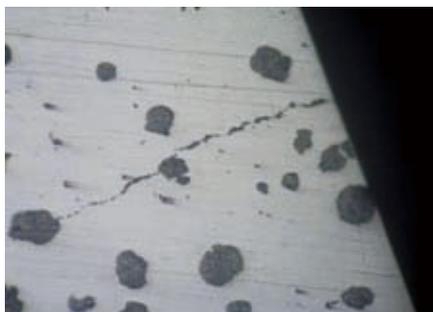


图3 剖面裂纹形貌 100×

起被磨削金属表面产生一层很薄的表面烧伤。磨削烧伤会破坏工件表层组织,严重时会产生裂纹,使工件表面质量恶化,严重影响工件的耐磨性和使用寿命^[1]。由于球铁曲轴正常生产工艺为轴颈中频淬火再经340℃中温回火,此时淬火马氏体已转变为回火屈氏体,因此往往很难根据表层金相组织变化情况来判断是否磨削烧伤产生。但我们可从其它方面也能获得到相应的信息,如回火后的工件表面若在磨削时产生的温度比生产时回火温度高,那表面薄层会进一步被回火软化,其表面显微硬度会出现下降。分别对送来检测的5个样件,在磨削表面有裂纹及没裂纹的地方打维氏硬度,结果见表2。

4 结果分析与讨论

(1)从本文的工艺试验可知,低温回火的球墨铸铁曲轴容易产生磨削烧伤,其磨削后表面几乎都出现了网状裂纹,而较高温度回火的曲轴,在相同磨削条件下却没出现磨削烧伤。这是因为淬硬层的低温回火组织为回火马氏体和残余奥氏体,这种亚稳定的组织在磨削加工时受磨削热的影响很容易分解转变成回火屈氏体组织,而次表层的基体组织由于温升小得多,没有发生组织转变,表层由于回火屈氏体组织比容小而产生体积收缩,导致表层承受拉应力,这类应力属组织应力;另外,被磨削热加热而使体积膨胀了的表层金属,在随后的冷却期间,由于体积迅速收缩却受到内层金属的阻碍,也在表层内产生了拉应力,它是磨削拉应力的另一构成部分,属于热应力性质的应力^[2]。两者叠加,使浅表层产生极大的拉应力,当残余

表1 经200°C×2.5h回火的曲轴磨削后检验结果

位置	项目	探伤情况	烧伤层深 (mm)	裂纹深度 (mm)
1号试样		密集网状裂纹	0.11-0.15	0.08-0.17
2号试样		网状裂纹	0.06-0.09	0.04-0.10
3号试样		无裂纹	0.03-0.05	
4号试样		无裂纹	0.03-0.05	
5号试样		网状裂纹	0.07-0.10	0.06-0.12

表2 不同状态试样的表面显微硬度

位置	项目	试样情况		表面显微硬度 (HV0.2)	
				裂纹附近区域	无裂纹区域
1号样	圆周局部裂纹	340°C回火	429	512	
2号样	圆周局部裂纹	340°C回火	413	508	
3号样	无裂纹	340°C回火		518	
4号样	无裂纹	400°C回火		452	
5号样	无裂纹	400°C回火		461	

拉应力超过材料的脆断强度时,则形成裂纹。一般来说,工件材料的强度越高、导热性越差、塑性越低,在磨削时表面层产生残余拉应力的倾向就越大,就越容易产生磨削裂纹,球墨铸铁曲轴经中频淬火后,表面硬而脆的特性使它不太适宜磨削加工。

(2)由表2数据可知,曲轴轴颈表面有裂纹的地方显微硬度较低,说明出现曲轴轴颈局部产生了严重磨削烧伤,该处磨削热所产生的温度已超过曲轴的先前的生产回火工艺温度,表层被继续回火,硬度出现下降。我们

知道,工件磨削时表面吸收能量越多,温度就越高,磨削表面形成的残余组织应力及热应力就越大,不同磨削条件下所得到表面残余应力分布见图4^[3]。在整个磨削过程中,曲轴轴颈表面(或浅表层)的应力在粗磨阶段随着磨削进行,拉应力不断上升,到粗磨结束时拉应力达到最大值。进入精光磨后,在砂轮的挤压作用下,表面和浅表层应力不断降低直至转变为压应力,因此磨削裂纹是在粗磨阶段,当拉应力超过材料的脆断强度的某一时刻形成的,而不是精光磨阶段,也不在磨削

终止以后。我们可以通过改进优化磨削参数及磨削砂轮冷却条件来降低磨削热量的产生,来控制磨削表面残余应力的性质和大小。

(3)由表2数据还可知,提高了曲轴的生产回火温度会带来两个好处,一是能降低了表层淬硬层硬度及材料脆性,提高表层材料的断裂韧性;二是使曲轴淬硬层在磨削前得到充分回火及组织转变,经较高温度回火的组织较稳定不容易发生转变,从而提高曲材料抗深度回火的能力,有效抑制磨削时可能产生的组织转变,消除磨削裂纹。

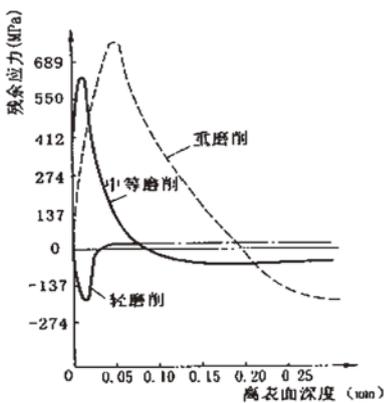


图4 三类磨削条件下产生的表面残余应力

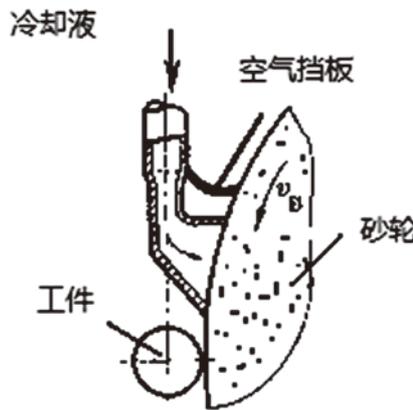


图5 加装空气挡板的冷却液喷嘴

5 改进措施及效果

确定了中频淬火球铁曲轴表面裂纹的产生原因后,经多次试验和反复摸索比较,我们采取了以下措施来消除球铁曲轴轴表面的磨削裂纹现象。

(1)为了最大限度带磨削区的热量,保证对砂轮表面进行冲洗,使其空隙不易被磨屑堵塞,可采用高压大流量冷却液,并在冷却液喷嘴加装空气

挡板,见图5,在冷却液喷嘴加装空气挡板可减轻砂轮圆周表面的高压气流作用使冷却液易进入磨削区获得良好的冷却效果。同时要注意控制冷却液温度在35℃以下;保持冷却液清洁无油污。

(2) 选用硬度较软、粒度较粗的砂轮,可以提高砂轮自锐性,同时砂轮也不易堵塞,可以降低磨削热。通过试用后情况轴颈表面烧伤情况明显好转,但工件表面粗糙度受到一定影响。

(3) 磨削加工分粗磨和精磨,即粗磨选用粒度较粗的软砂轮磨削,便于强力磨削,提高效率,然后再用粒度细的砂轮进行精磨(背吃刀量较浅),即分粗磨和精磨两道工序进行加工。

(4) 严格控制好粗磨的进给量,因为磨削裂纹往往是在进给量大的粗磨阶段产生的,而且磨削裂纹一旦发生,它会随着下次的磨削进给向下延伸,要想在随后的精磨或光磨除掉几

乎不可能了。

(5) 降低砂轮的线速度,过高的砂轮线速度也是导致淬硬度曲轴磨削裂纹的原因,我们把线速度由原来的45米/秒降到40米/秒,能有效消除裂纹。

(6) 防止球铁曲轴在磨削时产生深度回火出现烧伤现象,最直接有效的措施就是在满足使用的前提下尽可能降低球铁曲轴的硬度要求,以便生产时能采用更高的温度来回火,来提高材料抗深度回火的能力。经验证,球墨铸铁曲轴的中淬火硬度要求由原来的48-55HRC降低至44-51HRC,回火温度则由原来的340℃可提高至400℃后,此时球铁曲轴轴颈的耐磨性对于柴油机来说仍可以满足使用要求。

在实施了上述整改措施后,球墨铸铁曲轴磨削表面开裂现象明显下降,经两年多的加工验证,效果稳定满意。

6 结束语

本文依据热处理及磨削加工原理,对于生产现场易出现的球墨铸铁曲轴磨削表面存在网状裂纹的原因进行了分析,并探讨了控制和消除磨削裂纹的方法,并采取了相应措施有效地保证了曲轴轴颈磨削加工的表面质量及球墨铸铁曲轴的正常生产。**T**

参考文献

- [1] 华南工学院,甘肃工业大学. 金属切削原理及刀具设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979. 184~221.
- [2] 周泽华. 金属切削原理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1993. 234~263.
- [3] 刘浩. 机械工程师简明手册[S]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1989. 1421~1436.

作者信息

李勇强: 男, 工程师, 长期从事热处理工艺研究及改进, 电话: 13087756521, 邮箱: yc4855@126.com

(上接25页)



图26 改进后使用3联M10芯撑铸件偏芯不足1mm

- [4] 王连东. 回转壳体正负成形理论及汽车桥壳胀形工艺的研究. 燕山大学博士学位论文, 2001.

作者信息:

姓名: 王建东, 工作单位: 一汽铸造有限公司技术中心, 职务: 铸造工艺员, 职称: 高级工程师, 通讯地址: 长春市和平大街1281号, 邮编: 130061, 电话: 13943179096, 传真: 0431-85751116, 邮箱: WJD_FC@FAW.COM.CN

HXD3C型电力机车转向架轴箱体加工工艺分析

刘昌崇 韦江

中国北车集团大连机车车辆有限公司, 辽宁大连, 邮编: 116022

摘要: 本文针对HXD3C型电力机车转向架轴箱体的加工质量问题(主要是A尺寸超差的问题),进行了详细的加工工艺分析和部件现场检测,找出了轴箱体加工产生尺寸超差问题的根源,采取了合理有效的工艺措施和检测手段,解决了轴箱体加工A尺寸超差的问题,进一步提升了转向架轴箱体的加工质量和生产效率,为我公司高质量的大批生产制造HXD3C型电力机车提供了有力的保障。

关键词: 转向架轴箱体 加工质量 工艺分析 有效措施

Analysis on HXD3C Electrical Locomotive Bogie Axle Box Body Machining Procedure

LiuChangChong Weijing

Dalian Locomotive and Rolling Stock CO.,LTD.CNR GROUP, Dalian, Liaoning, Post code: 116022

Abstract:This thesis focuses on the machining quality problem, mainly refers to the oversize of dimension A, of HXD3C electrical locomotive bogie axle box body. Based on a detailed analysis about the machining procedure and inspection of components on spot, the deep reason of oversize machining of axle box body was found. With an efficient method and inspection ways, this oversized problem of machining dimension A was solved. Therefore, the bogie axle box body machining quality and efficiency was improved further, which provides a powerful guarantee for the mass production of high quality HXD3C electrical locomotives.

Key words: Bogie axle box body, Machining quality, Procedure analysis, Efficient method

1 问题的提出

中国北车集团大连机车车辆公司生产制造的HXD3C型电力机车,目前在我国既有铁路上承担着很大比重的客货运输量。由于该机车走行部的制造质量将会直接影响到该机车的安全行驶和可靠运用问题,所以我们对机车走行部的生产制造进行了严格的

工艺规范和质量控制,尤其是对转向架的构架、轴箱体、轴箱拉杆、牵引杆等关键部件的加工制造都在生产工艺和加工质量两方面加以严格控制,否则,将对该机车的组装质量和运用性能产生很大的影响。例如:构架三条轴线的加工偏差,轴箱体与拉杆体结座面的加工偏差等都可能引起转向架组装后的轴距超差现象,同时出现转

向架三条轮对轴线,Ⅰ轴、Ⅱ轴、Ⅲ轴的不平行问题(见图1所示),从而使机车在运行时,产生多余的横向分力,造成车轮的偏磨现象,影响机车的使用寿命。

由上述可知,我们要对走行部的关键部件进行全面复查,特别是要加大对转向架轴箱体加工质量的检查力度,确保机车的行驶安全和运用性能。

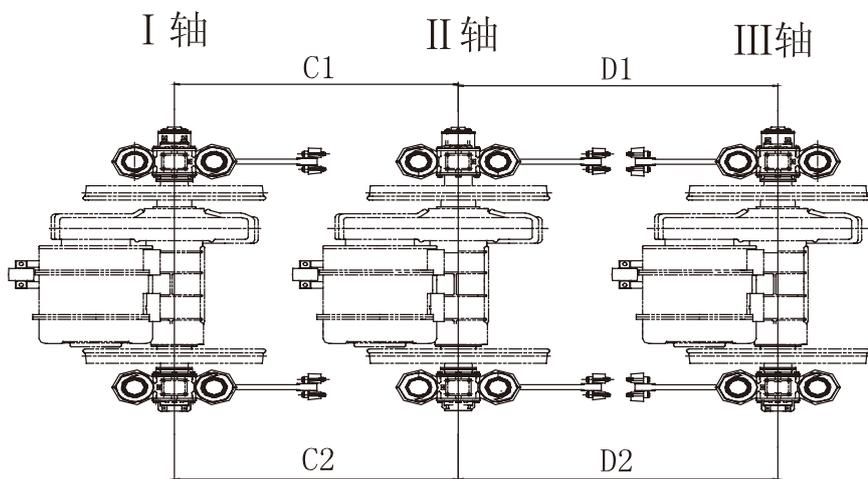


图1 轮对三条轴线不平行 ($C1 \neq C2, D1 \neq D2$)

2 轴箱体加工存在的问题

据统计:凡是出现车轮严重偏磨的机车,轴箱体与轴箱拉杆的组装尺寸链都有超差现象,由此可见,轴箱体的加工存在有加工误差问题。针对HXD3C型机车轴箱体出现有加工质量问题,我们对已加工完成的轴箱体进行了各项主要尺寸精度的检测,经查轴箱体内孔中心到拉杆座面的距离A尺寸(见图2,标准公差值为 ± 0.1)确实存在有超差问题,而且超差情况占有很大比例。

HXD3C型电力机车转向架的组装质量,完全取决于各零部件的加工质量。轴箱体内孔中心到拉杆座面的距离A尺寸是很重要的尺寸,该尺寸出现超差会直接影响到转向架组装后轮对轴线的平行度和车轮的偏磨现象,并对机

车的运用寿命造成不利因素。

对此,我们必须对HXD3C型电力机车轴箱体的加工工艺和生产质量进行全面的分析检查,从轴箱体的加工工艺上查找问题,分析产生尺寸偏差的原因所在,并彻底解决A尺寸的超差问题,从根本上解决轴箱体的加工质量问题。为进一步提高轴箱体的生产质量、转向架的组装质量和HXD3C型电力机车的产品质量打下坚实的基础。

3 轴箱体加工的工艺分析

为什么HXD3C型机车轴箱体在加工中会出现轴箱体内孔中心到拉杆座面间距A尺寸的超差问题呢?这是摆在我们面前急需解决的问题,对此,我们先来分析解剖原有的轴箱体加工工艺,以便于查找存在问题的根源,确

定新的工艺方案,彻底解决轴箱体的加工质量问题。

3.1 原有的加工工艺状况

HXD3C型机车轴箱体的原有加工工艺共分7个工艺过程,具体的加工工艺如下:

① 因轴箱体是C级钢材质的铸件,铸造毛坯首先要在平台上划线,确定各加工部位要有足够的加工余量,并检查铸件是否有砂眼、气孔等铸造缺陷。

② 以毛坯面定位,半精车内孔和一端的端面,内孔的加工尺寸需留有0.5mm的精加工余量,粗糙度为 $Ra6.3\mu m$ 。所需设备为普通立车。

③ 以内孔和一端端面定位,精加工另一个端面,保证轴箱体的厚度L尺寸要求,所需设备为普通立车。

④ 以轴箱体内孔和端面定位,铣两弹簧盘相关尺寸、铣弹簧盘槽口、铣拉杆座面(A尺寸)。铣拉杆座相关尺寸、钻吊钩座面孔,所需生产设备为卧式加工中心或镗铣机床。

⑤ 以弹簧座孔定位,镗拉杆孔、铣顶面、铣顶面浅孔、反刮拉杆孔座盘,所需设备为普通镗床或钻床。

⑥ 以轴箱体内孔和端面定位,钻、铰两端面 $12-\phi 24$ 螺纹孔、钻攻轴温传感线螺纹孔,所需设备为摇臂钻床。

⑦ 磨内孔(精加工),所需设备为

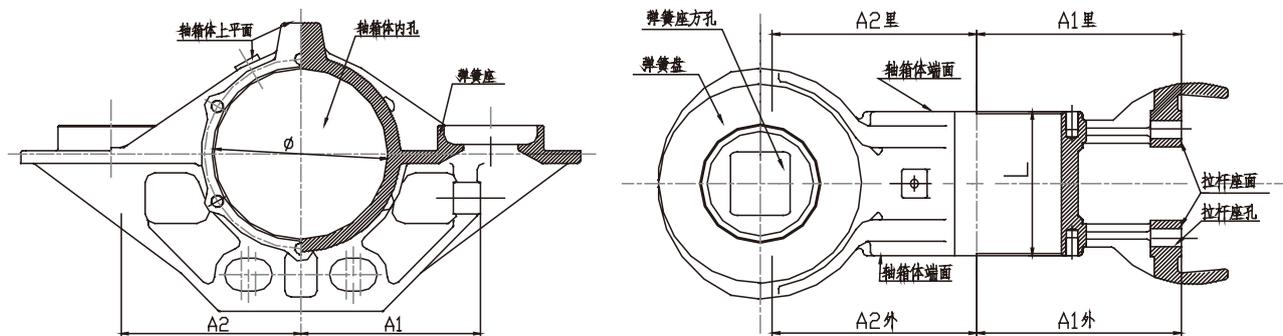


图2 轴箱体A尺寸示意图

“无心磨床”。

3.2 原加工工艺存在问题

从以上工艺过程来看，轴箱体的加工存在以下主要问题：

(1) 该轴箱体的加工过程重复定位次数太多，共分6次定位，与内孔中心线有关联的位置尺寸（例如弹簧盘、拉杆座面等），这些与转向架组装精度有直接关联的部位，都是以半精加工的内孔定位来完成最终的加工尺寸的。由此可见，这样的加工工艺很难保证轴箱体各加工面位置的尺寸精度，特别是拉杆座面（ $A \pm 0.1$ ）的尺寸精度。

(2) 从现场的实际加工过程观察，用来定位的半精加工内孔的表面粗糙度仅为 $Ra6.3\mu m$ ，可以说用 $Ra6.3\mu m$ 的表面粗糙度作为定位基准来加工有位置精度要求的装配尺寸是不可靠的。

(3) 轴箱体内孔的精加工是安排在轴箱体的所有加工尺寸全部加工完成后（包括轴箱体内孔到拉杆座面的（ $A \pm 0.1$ ）的尺寸），再去精加工轴箱体的内孔尺寸，而且是用无心磨床加工完成的，加工过程完全是靠磨床自动定心，没有其它定位基准。这样的加工工艺，对已加工完成的轴箱体各加工面位置的尺寸精度（特别是 $A \pm 0.1$ 的尺寸）很难保证稳定的尺寸状态。



图3 轴箱体（ $A \pm 0.1$ ）尺寸检测量具

(4) 加工轴箱体的设备陈旧，大多都是几十年前的老设备，尤其是那些卧式镗铣设备都是上世纪末的落后设备，经常出故障，设备精度很不稳定。最后完成精加工的无心磨床也是上世纪六十年代的老设备。这些设备的使用也是造成轴箱体加工精度不稳定的因素之一。

(5) 由于轴箱体内孔中心到拉杆座面间距 A 尺寸的测量，存在着孔中心是一个虚测量点的问题，无法对 A 尺寸进行实测，所以过去在轴箱体加工完成后都不对 A 尺寸进行检测，这也是造成 A 尺寸精度失控，出现大量超差现象的一个主要原因。

4 解决措施

为改进轴箱体的加工工艺，提高HXD3C型机车转向架轴箱体的加工质量和生产效率，我们决定采取以下解决措施：

4.1 确定合理的轴箱体加工工艺

(1) 轴箱体的加工工艺要以精加工后的轴箱体内孔定位（取消用无心磨床精加工内孔工序），一次装夹后，完成其它所有与内孔中心有关联部位的加工任务，包括轴箱体内孔中心到拉杆座面 $A \pm 0.1$ 的尺寸加工。这样的生产工艺即可减少因多次重复定位产生的累计误差，又能提高轴箱体的

加工精度和生产效率。

(2) 除上述生产工艺外，也可以先用半精加工的内孔定位，加工出弹簧座面，再以弹簧座面定位，同样采取一次装夹的方式，同时加工出轴箱体内孔和拉杆座面的距离尺寸（ $A \pm 0.1$ ）等关键尺寸。

4.2 更新或检修轴箱体加工设备

对现有加工轴箱体的设备进行全面的精度检测和检修，使加工设备始终处于加工精度检测合格的状态。只有高精度的加工设备，才能加工出高质量的产品，才能确保轴箱体上各位置尺寸的加工精度。

4.3 增加轴箱体加工后的检查工序

轴箱体加工完成后，必须要做三坐标测量机的测量工作，检查轴箱体的各主要位置尺寸都在合格范围内。由于轴箱体内孔中心到拉杆座面间距 A 尺寸的测量很困难，直接检测很难找到轴箱体内孔的中心点，因此，在没有三坐标检测机的情况下，为了实现每一个轴箱体的测量任务和检测效率，我们专门制做了一套测量（ $A \pm 0.1$ ）的检测量具（见图3），该量具是用轴箱体的内孔（用涨胎定位）做为测量基准，来完成测量轴箱体内孔中心到拉杆座面（ $A \pm 0.1$ ）尺寸精度的工作。这样就能够对今后生产的轴箱体进行逐个检查，发现尺寸超差，立即返修，直到尺寸合格为止。

4.4 改进后的工艺过程

(1) 平台上划线，确定各加工部位要有足够的加工余量。

(2) 以毛坯面定位并夹紧工件，半精车、精车轴箱体内孔和两端的端面，精车内孔的粗糙度需达到 $Ra3.2\mu m$ 以下，并保证轴箱体的厚度 L 尺寸。所需加工设备为镗铣床。

(3) 以精加工后的轴箱内孔定位, 一次装夹完成与内孔中心线有关联部位所有尺寸的加工任务, (如铣两弹簧盘相关尺寸、铣弹簧盘槽口、铣拉杆座面‘A尺寸’及相关尺寸, 钻拉杆座孔、吊钩座面孔, 钻、铰两端面12- ϕ 24螺纹孔、钻攻轴温传感线螺纹孔等加工部位), 确保轴箱体各加工面的位置尺寸精度, 特别是要保证拉杆座面(A \pm 0.1)的尺寸精度要求, 所需加工设备为卧式加工中心。

(4) 完成加工任务, 进行清整、检测工作, 并做好检查记录。

5 改进后的加工效果

通过上述工艺改进, 并采用自制的检测工装对轴箱体内孔中心到拉杆座面的距离(A \pm 0.1)的尺寸精度进行实测, 列表《工艺改进后的轴箱体A尺寸公差检测表》如下。

由《工艺改进后的轴箱体A尺寸公差检测表》)可以清楚的看出: 拉杆

座面(A \pm 0.1)的尺寸精度的合格率达到到了95%以上, 检测数字显示说明, 新工艺的改造和采用, 从根本上解决了轴箱体的加工质量和生产效率问题, 同时也使得转向架的组装质量和生产效率得到了明显的提高。

6 结束语

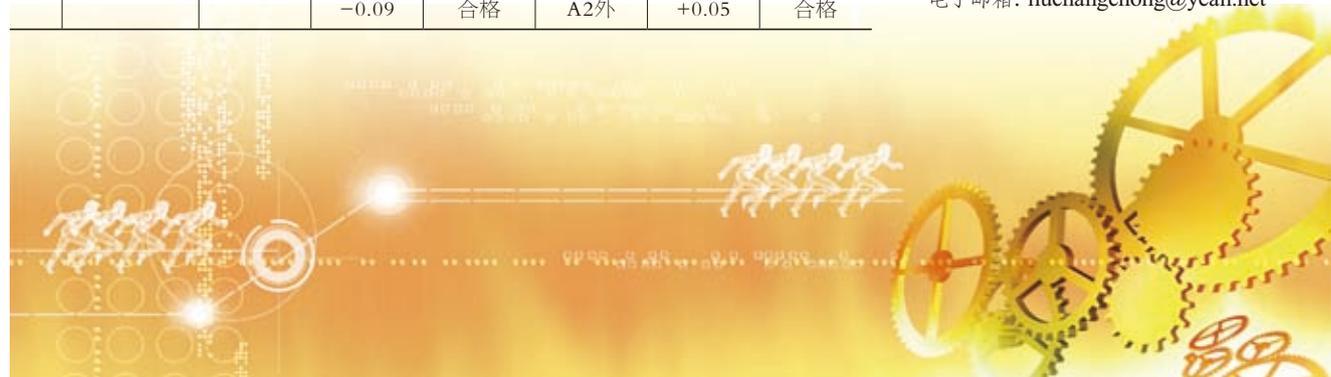
生产实践证明: 通过对HXD3C型机车转向架轴箱体机加工的工艺分析和现场检测, 找出了影响轴箱体加工质量的问题所在, 采取了有效可行的工艺措施和检测手段, 使得HXD3C型机车轴箱体的加工质量和生产效率得到了很大的提高, 轴箱体各部位的关键尺寸, 尤其是拉杆座面(A \pm 0.1)的尺寸精度都达到了很高的合格率, 促使HXD3C型机车转向架轴箱体的制造水平上升了一个新的台阶, 为确保机车走行部的安全运行和使用性能, 制造出更多、更好的‘和谐’型电力机车, 做出了应有的贡献。T

工艺改进后的轴箱体A尺寸公差检测表

序号	轴箱体号	A1实测公差值		偏差值	A2实测公差值		偏差值
1	DL-0219	A1里	-0.06	合格	A2里	+0.04	合格
		A1外	-0.06	合格	A2外	+0.05	合格
2	DL-1282	A1里	-0.08	合格	A2里	+0.05	合格
		A1外	-0.05	合格	A2外	+0.04	合格
3	DL-1273	A1里	+0.05	合格	A2里	+0.06	合格
		A1外	+0.06	合格	A2外	+0.07	合格
4	DL-0430	A1里	+0.07	合格	A2里	+0.05	合格
		A1外	-0.08	合格	A2外	+0.04	合格
5	DL-0589	A1里	+0.10	合格	A2里	+0.06	合格
		A1外	+0.08	合格	A2外	+0.03	合格
6	DL-0688	A1里	+0.10	合格	A2里	-0.10	合格
		A1外	+0.07	合格	A2外	+0.06	合格
7	DL-0866	A1里	-0.06	合格	A2里	-0.08	合格
		A1外	-0.10	合格	A2外	-0.10	合格
8	DL-1122	A1里	+0.09	合格	A2里	-0.10	合格
		A1外	+0.10	合格	A2外	-0.12	超差
9	DL-0936	A1里	-0.08	合格	A2里	-0.05	合格
		A1外	+0.12	超差	A2外	-0.06	合格
10	DL-1380	A1里	+0.10	合格	A2里	-0.09	合格
			-0.09	合格	A2外	+0.05	合格

作者信息

工作单位: 中国北车集团大连机车车辆有限公司工艺技术部
 职务: 机车制造主管工艺师
 职称: 教授级高级工程师
 通讯地址: 大连市沙河口区中长街51号
 邮编: 116022
 联系电话: (0411) 84198266
 手机: 13009439462
 电子邮箱: liuchangchong@yeah.net



基于无模铸型快速制造技术的 四气门四缸盖铸件的试制

蔡安克

中国一拖集团公司工艺材料研究所, 河南洛阳, 471003

摘要: 采用Pr/oE三维造型软件将设计单位提供的四气门四缸盖零件三维造型转化为铸件三维造型, 并添加浇冒系统等铸造系统设计; 对该缸盖铸造系统进行分模设计, 完成缸盖的底座芯、上下水套芯、进排气道芯、盖板芯等6种砂型(芯)的三维设计; 上、下水套芯和进、排气道芯运用激光烧结快速制造设备对宝珠覆膜砂进行烧结制造, 底座芯、盖板芯运用铸型数控加工设备对树脂砂坯进行加工制造; 对加工后的6种砂型(芯)进行刷涂料、组芯组、合箱, 最后完成浇注。通过综合运用上述铸型快速制造有关方法, 实现了4气门四缸盖铸件的无模快速生产试制, 既节约了模具费用, 缩短了铸件试制周期。

关键词: 四气门四缸盖铸件; 无模铸型快速制造; 试制

The Trial Manufacture of Four Cylinder Head of Four Value Casting Through Rapid Manufacture Technology of Mould

Anke CAI

Technology and Materials Research Institute, China Yituo Group Corporation Limited, Luoyang Henan ,471003

Abstract: By using Pr/oE three-dimensional modeling software, The Three-dimensional drawing of four cylinder head casting was designed from four cylinder Head of four value product model of design department offered, and added on the gating and riser systems, the parting design of mould of four cylinder head casting systems was designed , The six sand casting models of the base sand casting, the Intake Port and Exhaust Way cores, the top water jacket core and the bottom water jacket core and the cover plate casting were finished, the Intake Port and Exhaust Way cores, the top water jacket core and the bottom water jacket core were manufactured by using the Selected Laser Beam Sintering technology. The base sand casting and the cover plate casting were manufactured by using Numerical control processing molding equipment. Then six kinds of cores of processing were assembled after brush coated and core grouped, closed, Finally iron was poured. Through the integrated use of the rapid manufacturing related method, the realization of the four valve four cylinder head without mould fast production manufacture, saved the mold cost, shortened the casting trial production cycle.

Keywords: Four Cylinder Head of Four Value Casting;Rapid Manufacture Technology Of Mould;Trial Manufacture

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAD20B01)、一拖集团项目(10KYJX—001)

1 引言

随着市场全球化以及制造行业的竞争不断加剧,产品更新换代的速度不断加快,新产品的开发、研制、生产周期短已经成为制造业必然发展趋势,市场对于个性化产品的需求日益增加。传统的零件铸造依赖模样、型芯以及铸型制造的精度低,成本高,生产周期长,难以满足单件小批量零件的快速制造和产品试制^[1]。尤其是像缸盖这种高精度复杂铸件,使用传统铸造方法进行试制,模具费用高、制造周期长。

我所利用基于离散堆积成形原理的激光烧结快速制造技术的激光快速成形系统和基于去除加工成形原理的铸型数控加工设备,对四气门四缸盖铸件进行了快速试制,极大地缩短了试制周期,节约了模具费用。

2 缸盖铸件

该铸件是集团公司的新开发的1种四气门四缸盖,其三维造型见图1,其轮廓尺寸为449mm×175mm×103mm,最小壁厚5mm,材质HT250,重量40kg,按照传统的试制方法,需要制作4套芯盒和1套外模模具,成本高、周期比较长,通过综合运用铸型快速制造技术对该缸盖进行无模铸型(芯)的快速制造,接着对砂型、砂芯进行组合,形成砂芯组,再在砂芯组上放上盖板芯,完成合型,最后浇注。从接到铸件三维造型到铸件交付,实现了1个月完成缸盖试制的目标。

2.1 铸造工艺设计

根据缸盖的产品结构特点,按照水平分型造型工艺,一型1件,及采用侧面底部注入全封闭浇注系统^[2],结

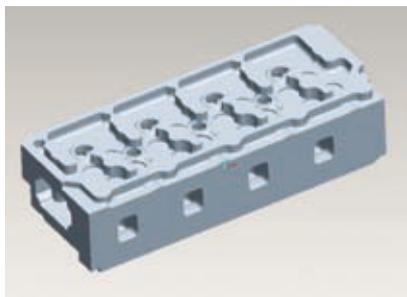


图1 铸件三维造型

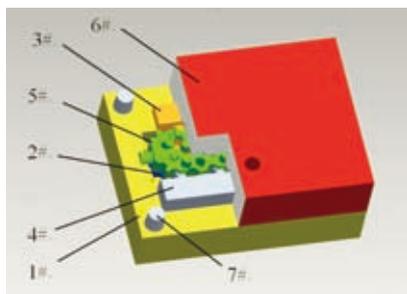
合现场生产经验,确定 浇口总截面积:5.96cm²,横浇口面积:6.24cm²,直浇道面积:12.56cm²;顶面加工余量5mm,其余加工面的加工余量5mm,铸造缩尺1%,其铸造系统的三维造型见图2。



图2 铸件系统三维造型

2.2 砂型(芯)设计

根据铸造工艺图,使用Pro/E三维设计软件在其模具设计模块对铸造系统进行分模设计,完成分模设计后的底座芯、上水套芯、下水套芯、进气道芯、排气道芯及盖板芯等1#~6#砂芯三维造型见图3。



1#.底座芯 2#.下水套芯 3#.进气道芯
4#.排气道芯 5#.上水套芯
6#.盖板芯 7#.合箱锥

图3 铸型装配图

对缸盖的6种砂型(芯)完成设计后,并对其进行装配仿真,检查其芯头配合间隙,铸型装配后的型腔壁厚情况,满足设计要求后,进入铸型砂型(芯)快速加工制造。

3 砂型(芯)快速制造

3.1 快速制造工艺规划

我所目前拥有激光烧结制造系统(HRPS-IV)和铸型数字化快速成型机(CAMTC-SMM1500)两种铸型快速制造设备。对于形状比较复杂的砂型(芯),采用激光烧结制造系统,依据其三维模型对覆膜砂进行烧结堆积加工获得;对形状简单、规则的砂型(芯),对其三维造型进行数控编程后,通过使用铸型数字化快速成型机直接加工砂坯而获得。

根据四气门四缸盖砂型、砂芯的尺寸大小和形状复杂程度,结合快速制造设备的工作参数,采取以下加工工艺规划:形状复杂的2#下水套砂芯、3#进气道砂芯、4#排气道砂芯、5#上水套砂芯采用激光烧结快速成型系统进行烧结加工,而1#、6#形状比较简单、规则的砂型,采用铸型数字化快速成型机进行直接加工。

3.2 快速加工

(1)2#、3#、4#、5#砂芯的制造在Pro/E软件中,分别把2#下水套芯、3#进气道芯、4#排气道芯、5#盖板芯的砂芯的三维造型分别保存为*.stl通用接口数据文件,读入武汉华中滨湖机电公司制造的激光烧结系统(HRPS-IV)设备上,根据其使用手册,规划其烧结工艺为,激光功率为35~38%,扫描速度1800~2000mm/s,烧结层高0.25mm,主关键层温度100~105°,次关键层温度90~95°,结

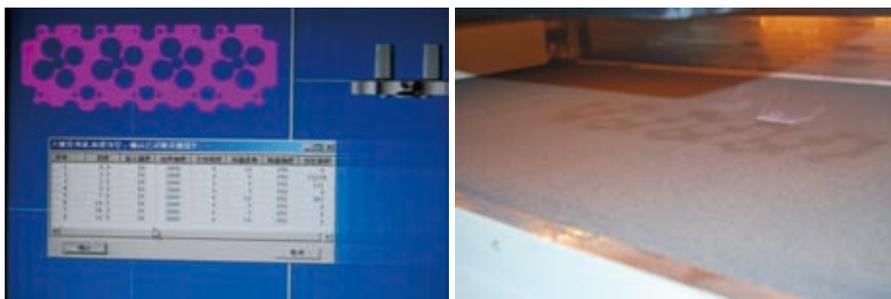
烧结工作缸工作温度75°，砂粉送料缸工作温度55°等主要参数进行设置^[1]，其余参数为系统默认参数。把70/140目的宝珠覆膜砂粉放入设备的粉缸中，开启烧结系统，送粉压实机构中的送料辊把砂粉送料缸中的砂粉送入烧结工作缸中，并通过自身的旋转对砂粉进行压实，激光烧结机构按照每个砂芯的当前层截面轮廓信息及填充数据等数据控制信息文件，对该层覆膜砂粉进行激光扫描，完成该层烧结。此后，烧结工作缸下降一个烧结层高，送粉压实机构中的送料辊继续进行送砂粉、压实，激光烧结机构对新一层砂粉再次进行扫描，完成新的烧结层面，如此循环直至完成整个砂芯的烧结成形等工作，并使砂芯具有了初始强度，其主要加工示意过程见图4。待工作缸温度降至室温时，并对具有初始强度的砂芯进行浮砂清理，然后将其放入烘干箱，加热到150℃进行保温2~3小时，使其固化，达到要求的砂芯最终强度。为防止砂芯在烘干

时受热、变形，常常将玻璃微珠或干砂（原砂）作为支撑材料，待砂芯固化、降至室温后，清除砂芯表面的支撑材料，进而完成砂芯的烧结制造工作。按照上述过程制造的进气道芯、排气道芯、上水套芯盒下水套芯等4种砂芯实物如图5所示。

(2) 1#、6#砂芯的加工

在Pro/E软件中，把1#底座芯及6#盖板芯的砂芯的三维造型分别保存为*.stp通用接口数据文件，后将其导入UG软件的加工模块中，根据铸型数字化快速成型机(CAMTC-SMM1500)的设备资料手册和工作参数要求，规划铸型的粗加工、精加工工艺，并根据粗加工、精加工的要求，对主轴转速、不同刀具的加工层深等参数进行设置^[1]，主轴最高转速15000rpm，直径16mm铣刀每层加工深度为2mm，粗加工时，直径8mm平头刀具每层加工深度2~4mm；精加工时，直径6mm球头刀具精加工每层加工深度0.2~0.5mm，刀具的进给速度

1200~1500mmpm，其余参数为系统默认。工艺参数选择示意图6a，生成其数控加工程序文件*.php文件，最后再把每个砂型的*.php文件导入铸型数字化快速成型机，驱动加工设备对砂坯进行加工。砂坯由70/140石英砂加入喃树脂砂混制而成。加工时，将砂坯上放到设备工作台上，先用直径16mm刀具将砂坯加工面铣平，接着换上直径8mm平头刀，将刀头对到设计好的刀具起始点位置，按照规划好的数控加工程序文件对砂坯进行粗加工，粗加工结束后，再换上直径6mm球头刀具进行精加工，直到加工结束。在加工过程中，每次换刀具时，刀具的起始点位置应保持一致，防止砂型形状出现加工错误；对于加工时不断产生碎砂粉尘，为避免影响刀具的运行和延长刀具的使用寿命，需用压缩空气将其吹掉。其数控加工示意图6b。按照上述过程，加工后的1#底座砂芯和6#盖板砂芯实物见图7。



(a) 工艺参数设置示意 (b) 激光烧结加工示意
图4 烧结过程示意



图5 烧结后的砂芯



(a) 工艺参数设置示意 (b) 数控加工示意
图6 砂芯数控加工示意



(a) 1#底座砂芯 (b) 6#盖板砂芯
图7 加工后的砂型

4 组芯与合箱

底座芯、盖板芯加工完成后,用人工方法,使用手电钻在1#底座芯、6#盖板芯上的上、下水套芯芯头窝座及进、排气道砂芯芯头窝座钻排气孔,在5#上水套砂芯头、2#下水套砂芯头、3#进气道砂芯头、4#排气道砂芯头分别钻 $\Phi 6$ 排气孔,保证砂芯在铁液充型完成后产生的气体顺利排出;在6#盖板芯中形成缸盖顶面凸台的较大盲深孔处开设溢流口见图8a,利于腔内气体排出和较冷铁液的排出。6种砂芯完成开设排气、溢流措施后,对其进行刷涂料:底座芯和盖板芯刷缸盖专用涂料,进行烘干;2#下水套芯、3#进气道芯、4#排气道芯和5#上水套芯等4种砂芯刷缸盖砂芯专用涂料,并进行烘干,然后下入1#底座砂芯组合成砂芯组见图8 b,最后,合上6#盖板芯,并在盖板芯浇口处放置浇口杯,完成合箱过程见图8。在此过程中,除应注意在砂芯芯头与芯头座结合面处、底



(a) 盖板芯

(b) 砂芯组

(c) 放压铁和浇口杯

图8 组芯合箱过程

表1 HT250的化学成分 wB(%)

元素	C	Si	Mn	P	S
成分	3.1~3.3	1.8~2.1	0.8~1.1	≤0.06	≤0.07

座芯与盖板芯结合面处涂刷缸盖专用胶,使其粘结牢靠外,还应在盖板芯上部出气通道口部外放一圈封箱泥条,防止溢流出的铁液堵塞排气通道。合箱并放上压铁后的铸型见图8c,进入浇注工序。

5 熔化、浇注

按照HT250的化学成分进行配料,其化学成分见表1,

采用250kg无芯中频感应电炉炼制铁液,每炉炼制120kg铁液,每轮试验浇注2型,出炉温度控制在 $1430^{\circ}\text{C}\sim 1450^{\circ}\text{C}$,浇注温度控制在 $1390^{\circ}\text{C}\sim 1420^{\circ}\text{C}$,FeSi75孕育剂随流孕育。浇注时间根据现场经验定为每箱14~18秒。经过4轮的试验,终于浇注出合格的铸件,毛坯见图9,毛坯经解剖、检验,壁厚均匀,未发现缩孔或疏松铸造缺陷,材质符合要求。并经加工单位加工鉴定,鉴定合格,满足使用要求。



图9 铸件

6 结语

(1)通过对4气门缸盖的试制,实现了缸盖无模快速制造,大大缩短了铸件制造周期。

(2)综合铸型快速制造技术,并结合CAD/CAM,实现了从铸件三维数字模型,到铸件铸造系统工艺设计、铸型(芯)的数模设计与铸型加工制造的无纸化、数字化精益制造。**T**

参考文献

- [1] 颜永年,单忠德.快速成形与铸造技术[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 康宽滋.缸盖铸造工艺的讨论.现代铸铁 2008.1.
- [3] HRPS-IV快速成型系统操作手册.华中科技大学滨湖机电公司.
- [4] 铸型数字化快速成型机(CAMTC-SMM1500)操作手册.北京机械研究总院

作者信息

蔡安克,中国一拖集团公司工艺材料研究所,所长,博士,教授级高工。通讯地址:河南省洛阳市建设路154号中国一拖公司工艺材料研究所,邮编:471003,电话:037964967845,电子邮箱:anke_c@163.com

超高强钢热形成套技术与生产线开发

汽车是能源消耗和废气排放的大户，轻量化是实现汽车节能减排的有效方法，车重减轻10%，可减少油耗3%~5%，减少排放7%。超高强度钢结构件可通过减小壁厚或优化结构设计等方式减轻汽车车体重量，其热冲压件强度高达1500MPa以上，是铝合金的5倍，而密度只有铝合金的3倍，减重效果相对铝镁等轻质合金更为突出，而且能够同时满足轻量化和安全性能的双重要求，目前市场需求紧迫，需求量大，迫切需要自主技术支撑。

超高强度钢板变形范围很窄，所需的冲压力大，易开裂，回弹严重，冷冲压工艺已经不能有效满足制造要求。热冲压作为高强度钢板成形的最新技术，可以有效防治上述缺陷，制造高强度、高精度的车身结构件。目前国内近10条热冲压生产线全部为德国和瑞典引进，并且模具全部进口，极大限制了该技术的应用与发展。

本项目在热冲压关键技术研究基础上，针对实际批量生产工艺及整线装备全部依赖进口的现状，结合国内自主品牌汽车的紧迫需求，进行热冲压成套技术研究、经济模具制造技术开发与整线装备系统集成，建造基于中央控制的设计产能10万件/年的自动化中试线，全面掌握超高强钢热冲压技术的自主知识产权，并实现装备国产化，有效提升国内汽车制造水平和竞争力。

本课题主要研究任务如下：针对超高强钢汽车结构件的工程应用要求，开发出超高强钢板热冲压批量生产工艺和基于熔铸设计的模具经济制造技术；开发适用于抓取及搬运

高温钢板的高速高精度坐标机械手；设计建造基于中央控制的自动化热冲压生产线，设计能力10万件/年；实现超高强钢热冲压件在线批量焊接，获得成熟稳定的焊接工艺；开发制造2种以上超高强钢热冲压典型件，满足产品的多样化和系列化需求，并完成工程实验验证。

目前国内车型热冲压件的成形工艺与模具都是从国外直接引进，每套模具引进价格都在300万元以上，运用本课题成果进行自主开发、设计与制造，每套模具可减少投资60%~70%，节约资金200万元。课题自主开发的热冲压自动化生产线成本可控制在国外进口的三分之一左右，有利的推动了项目成果的国产化应用。随着卡车、客车以及轨道列车节能减排力度加大，轻量化及安全要求更加严格，超高强钢产品潜在市场巨大，由此带来的载重和减排社会意义更大。



本项目研究成果之一——超高强钢车门防撞梁已在北汽福田500台新能源车型上实现批量配套应用，在延庆、怀柔及昌平实现出租车商业化运营，为一汽自主开发的威志车型电机支架实现减重62.5%，轻量化效果显著。未来的成果推广应用，为国内汽车制造业带来巨大经济效益的同时，有力提升国内汽车产业的国际竞争力。超高强钢热冲压结构件的推广应用，有效减轻了车身重量，促进了汽车行业节能减排，改善环境，具有显著的社会效益。7

作者信息

主要完成单位：机械科学研究总院先进制造技术研究中心，北京工业大学，北汽福田汽车股份有限公司

主要完成人：单忠德，卢振洋，姜超，周昆兵，谷铮巍，陈树君，郑勇，戎文娟，刘萌，张密兰，庄百亮，许应，周永松，闫沁太，张振，叶永盛，贾瑞鹏

Φ711大容积气瓶及长管半挂车的研发与应用

《国家能源科技“十二五”规划》指出“通过重大能源技术研发、装备研制、示范工程实施以及技术创新平台建设，形成较为完善的能源科技创新体系，突破能源发展的技术瓶颈，提高能源生产和利用效率，部分技术和装备达到国际先进水平，提升国际竞争力。”是今后我国能源领域面临的主要任务之一。

“十二五”规划对优化能源结构提出了新目标，天然气的使用比例由3.8%提升到10%，其中国产气1700亿立方米、净进口900亿立方米；煤层气产量2015年将达到200亿立方米，而煤制天然气产量亦将达到300亿立方米，天然气市场将迎来爆发式的增长，对天然气储运装备的需求将大幅增加。

目前世界上长管拖车气瓶最大口径为Φ559，存在整车运气量小，泄漏隐患多，维护费用高等缺点。公司针对以上情况自主研发了超大口径Φ711长管拖车及站用瓶组装备，填补了国际空白，增大了单瓶容积，提高了整车运输量，减少了泄漏隐患，降低了运输费用。公司是目前国际上唯一生产Φ711高压气体长管拖车及站用瓶组装备的企业。

公司自主研发的核心装备“高压无缝气瓶旋压机”以及“钢瓶自旋转节能型热处理工艺及技术”、“长管气瓶内壁喷丸清理工艺及装置技术”通过了河北省科技厅组织的省部级科技成果鉴定，鉴定结论为“高压无缝气瓶旋压机”、“钢瓶自旋转节能型热处理工艺及技术”达到了国际先进，“长

管气瓶内壁喷丸清理工艺及装置技术”达到了国内领先。

为了积极响应国家发展战略，为国家能源结构的调整、低碳经济和节能减排做出贡献，充分发挥新兴际华集团在国家绿色低碳经济中的历史作用和社会责任，利用本公司的技术、人才、特有的设计制造资质，公司在成功研发了Φ711长管拖车及站用瓶组的基础上，全面启动超大口径高压气体长管拖车及站用瓶组装备系列产品建设项目。**T**

作者信息

主要完成单位：新兴能源装备股份有限公司
主要完成人：王国强，武常生，宋富强，杨利芬，李方威，李亮亮，李桂苓，杨琛，陈宝健，韩红娟



关于组织召开2014年全国机电企业工艺年会、 中国机械制造工艺协会第五届会员代表大会 第一次会议的通知

各会员单位、各有关单位：

2014年是中国机械制造工艺协会成立20周年，为了贯彻党的十八届三中全会精神，全面落实国务院关于工业转型升级和机械工业“十二五”规划，展示全国机电企业转型升级、创新增效的新成果，共同见证中国机械制造工艺协会成立20周年成长历程，我会将于11月5-8日在浙江杭州举办

2014年全国机电企业工艺年会暨中国机械制造工艺协会第五届会员代表大会第一次会议，会议主题“工艺创新强企，智能制造未来”。现将会议有关事项通知如下：

- 一、会议时间：2014年11月5-8日
- 二、会议报到地点：杭州市三台山路200号杭州三台山庄
- 三、会议主要内容及议程

	全 天	报 到
5日	14:00-15:40	机械装备工业节能减排产业技术创新战略联盟换届会议
	16:00-18:00	中国工艺协会第四届理事会第七次会议
6日	上午	1. 大会开幕式 2. 全国机电企业工艺年会工艺征文、中国机械制造工艺成就奖、杰出青年奖、优秀工艺师、科技成果奖、百强制造工艺创新基地等颁奖活动。 3. 邀请有关部委与行业领导、专家作特邀报告
	下午	1. 中国工艺协会第五届会员代表大会第一次会议，投票选举第五届理事会及协会负责人，审议换届相关事项，表彰优秀会员单位。 2. 中国工艺协会第五届理事会第一次会议
7日	上午	技术报告，组织企业工艺创新经验交流，总结工艺改革创新工作经验。
7日下午及8日全天		参观杭州当地机电行业企业等。

四、会务安排

会议费用：会议费2600元/人，学生(非在职) 1500元/人，10月15日前交纳会议费将享受9折优惠。

请参会单位或个人将上述费用按下列地址汇出并在“用途”或“附言”栏中注明：“会议费”，在会议回执中说明发票抬头及邮寄地址，或在会议现场领取。

开户银行：中国工商银行北京礼士路支行

户 名：中国机械制造工艺协会

帐 号：0200003609014456387

会议期间，代表食宿由大会统一安排，住宿费自理。具体住宿房型及价格请参见附件1(会议注意事项)，请会议代表于10月15日前回执(会议回执参见附件2)，以便会务组统一安排食宿。

五、会议代表

请各会员单位、各理事单位高度重视，选派企业主管工艺技术的领导、工艺部门负责人，出席年会。(下转41页)

关于收取2014年度会员会费的通知

各会员单位：

根据第四届会员大会通过的《中国机械制造工艺协会章程》、《中国机械制造工艺协会会费交纳标准》和秘书处工作安排，自通知下发之日起开始收取2014年度会员会费和补收以往年度会员会费，现将有关事项通知如下：

一、会费收取标准

社会团体、事业单位会员：500元/年；
一般企业会员：800元/年；
理事单位会员：1500元/年；
常务理事单位会员：2000元/年。

二、会费交纳时间

2014年7月15日之前

三、会费交纳办法

缴纳会费按银行汇款方式或邮政汇款方式均可。

缴纳会费，汇款时请注明“会费”字样和汇款单位名称、经办人姓名、工作部门、联系电话等信息；汇款后请通知协会秘书处；

我会秘书处收到会费后，将及时开具社会团体会费收据并挂号邮寄给汇款单位，敬请注意查收。

户名：中国机械制造工艺协会
开户银行：中国工商银行北京礼士路支行
帐号：0200003609014456387
通讯地址：北京市海淀区首体南路2号1209室
邮编：100044
电话：010-88301523, 010-68595027
传真：010-88301523
联系人：杨娟 王金菊 战丽

四、其他事项

1. 请接到通知后按会费标准和规定时间交纳会费。
2. 对于未能按时交纳会费的单位，将取消当年参与我会组织的机械制造工艺科技成果奖、机械制造工艺师奖等评选活动的资格。

感谢各会员单位对我会各项工作的关心和支持。如有对我会工作的希望和要求，以及对我会活动的意见和建议，请随时与我们联系，我们将努力提供相关服务。

.....
(上接40页)

请各单位推荐的候选理事和获奖代表准时到会，如工作原因不能到会，请务必委托代表参加。

六、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，展示贵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取得的创新成果。请有意参加展会的单位于2014年9月20日前与会务组联系布展。

七、联系方式

联系人：田媛 杨娟 王金菊

邮箱：cammt_bjb@163.com
电话：010-88301523, 68595027
传真：010-88301523
地址：北京市海淀区首体南路2号院1209房间
(100044)

附件：1. 会议注意事项 2. 会议回执
附件可从www.cammt.org.cn网站下载

2014年6月19日

关于开展机械制造工艺标准化现状及项目 需求调查的通知

各有关单位：

为了全面了解我国机械制造工艺技术发展、应用及工艺标准现状，进一步做好机械制造工艺标准化工作。受中国国家标准化管理委员会的委托，中国机械制造工艺协会、全国绿色制造技术标准化技术委员会和机械装备工业节能减排产业技术创新战略联盟现联合开展中国机械制造工艺标准化现状及项目需求调查工作。

希望各有关单位积极配合，根据企业生产过程的实际情况，按附件要求认真填写，调查表请于2014年10月20日前发送到以下邮箱。

联系人：战丽 杨娟 宋文清 **联系电话：**010-88301523（传真） **电子邮箱：**cammt_jsb@163.com

附件一：机械制造工艺及标准化现状调查表

附件二：强基工程、技术改造、智能制造项目需求调查表

附件可从www.cammt.org.cn网站下载

中国机械制造工艺协会

2014年9月18日

关于征集“十三五”规划项目建议的通知

各会员单位及有关单位：

结合国家已经启动的“十三五”规划编制工作，我会现面向各单位征集“十三五”规划项目建议，请各单位围绕“示范应用、核心装备的验证和创新开发、核心工艺研究、持续开展创新能力建设、加强成果应用工艺研究”等方向提出项目建议，填写项目建议书，建议书格式及要求详见附件，请于10月15日前将有关材料电子版报送至我会秘书处，以便我会统一整理，上报国家有关部委。

联系人：杨娟 宋文清 战丽 **电 话：**010-88301523

邮 箱：cammt_jsb@163.com **附 件：**项目建议书格式及要求

附件可从www.cammt.org.cn网站下载

中国机械制造工艺协会

2014年9月23日