

以“心”铸“芯” 沈阳仪表院七项 “应对疫情院管科研专项重大项目”进展顺利

来源：沈阳仪表科学研究院有限公司 发布时间：2020-4-09

自新冠肺炎蔓延以来，疫情防控是全国乃至全世界共同关注的焦点，保障人民群众的生命和安全成为第一要务。国机集团下属沈阳仪表科学研究院有限公司（以下简称：沈阳仪表院）在大疫面前勇于担当，迅速行动，依托国家传感器工程中心，充分发挥核“芯”优势，以促进公共医疗卫生体系不断完善为己任，立足传感技术、生物医疗光学研究方向，新立项“2020年度应对疫情院管科研专项重大项目”七项，其中，由管道技术公司电磁全息传感技术团队承担的“基于电磁辐射传感技术的红外额温仪开发”项目于近期取得阶段性进展。

电磁全息传感技术团队主攻方向是基于电磁无损检测技术开发相关检测仪器针对管道开展健康评价工作，其中红外热成像技术被用来检测管道保温、绝缘材料的完整性问题。在疫情防控的关键时刻，项目组积极响应防疫需求，主动请缨，排除万难，利用已有的红外技术和加工优势，从方案设计、电路绘制、元器件采购、组装调试，仅短短10天时间，打通所有技术关口，成功研制出首批手持额温仪，经验证符合各项检测标准，现已制成52个样品进入现场进行现场验证阶段。现阶段，项目组继续发挥技术、人才、加工优势，持续加大科技成果转化力度，开展门式红外测温系统的研制，以弥

补疫情防控测温产品的缺口，在疫情防控、保运行的关键时刻，做好防疫物资的保障工作。

针对疫情防控，沈阳仪表院依托国家传感器工程中心，充分发挥核“芯”优势，除以上项目外，还设立了“基于四寸硅基工艺的红外热电堆传感芯片研发、面向红外测温仪应用的红外光学干涉滤光片膜系设计研究、面向新冠病毒抗体检测技术应用的生物光学滤光器件研究开发、核酸检测用超高信噪比荧光滤光器件光谱特性测试技术研究、基于企业微信平台的

疫情防控信息化应用技术开发、红外热电堆传感器芯片团体标准”等一系列六个项目，作为2020年度应对疫情院管科研专项项目第一批。该系列项目顺利实施后，沈阳仪表院将打造额温枪生产的国产化全产业链条，实现完全自主的生产模式，为我国体外诊断仪器国产化发展做出重要贡献。

沈阳仪表科学研究院有限公司《精密干涉滤光片》产品，被收入中国仪器仪表学会《抗疫仪器仪表及系统产品》信息汇编中。

产品名称：精密干涉滤光片

沈阳仪表科学研究院有限公司

此次疫情中投入使用情况

(1) 使用地区、场景：湖北、广州、上海、浙江等省市

(2) 数量：6万片

(3) 效果：精度高、准确度高。





使用案例

沈阳仪表科学研究院汇博光学专业生产精密干涉滤光片，具有五十多年的光学薄膜技术研发制造经验，技术水平国际先进国内领先。我公司研发有应用于生化分析仪、凝血分析仪的生化滤光片，以及应用于实时荧光定量PCR仪、荧光显微镜、免疫荧光POCT设备的荧光滤光片。生化滤光片具有深截止、矩形化波形、超高信噪比等特点，最大光密度测试可达4ABS以上。荧光滤光片能够与检测试剂盒选用的常用标记荧光素（FAM、FITC、HEX、ROX、CY5、CY5.5）相匹配，通过抑制噪声信号，提高信噪比降低多重荧光各通道间相互影响。在截止背景大于OD6的同时可以做到透过率>90%。

产品（或系统）主要性能

典型波段：340、405、470、492、515、530、560、580、620、630、660、690、730nm波长精度：±/3nm（最佳可达±/1nm） 波长范围：300nm~1200nm 通带宽度：8nm~40nm 通带透射率：>90% 带外截止：>OD6 Typical

2020首届工业品在线交易节启幕 上海电气受邀并发出倡议

来源：上海电气集团股份有限公司 发布时间：2020-4-30

4月28日下午，2020首届中国（上海）工业品在线交易节正式拉开序幕。上海市委常委、副市长吴清宣布交易节开幕，市政府副秘书长陈鸣波主持启动仪式。上海电气集团党委副书记、总裁黄瓯受邀出席，并代表上海电气集团宣读《推动在线新经济发展倡议书》。

经济恢复，工业先行。为深入贯彻中央和本市推进新冠肺炎疫情防控期间经济社会发展工作的总体部署，努力弥补因疫情影响给生产制造型企业造成的损失，作为全市性消费活动的重要组成部分之一，本次交易节首创以线上联动线下的模式，推出工业品在线交易、在线金融、在线检测等应用场景，释放制造业消费潜力，催生与数字化相结合的MRO（维修与作业耗材）、JIT（准时制生产方式）、VMI（供应商管理库存）等供应链服务，以实现推动消费和生产的良性循环，形成刺激消费与扩大生产“双促进”，有效提振国内工业生产信心，全力推动制造业与互联网、制造业与生产性服务业融合创新发展，畅通各环节产业链和供应链，以促进传统产业数字化转型升级，在线上“重塑”全新的供需关系。

黄瓯表示，突如其来的新冠肺炎疫情对我国经济社会发展带来了前所未有的冲击，当前经济发展也正面临

着巨大的挑战。在复杂多变的新形势下，制造业的发展离不开在线新经济的有力推动。因此，各企业一定要危中寻机、化危为机，利用在线新经济作为疫情防控的支撑点、推动经济转型升级的着力点，以及构筑未来发展优势的发力点，坚定不移地贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念，牢牢抓住产业变革大机遇，打造在线新经济发展高地，推动制造业向更高质量、更高水平良性发展。

开幕式当天，上海电气还与华润电力现场签署了首个以“长期协议+电子商务”为特点的《上海电气“e站通”电商采购战略合作协议》。市委常委、副市长吴清，市政府副秘书长陈鸣波见证签约。

按照协议，双方将以上海电气最新上线的“e站通”电子商务平台为线上交易载体和枢纽，覆盖华润旗下5家电力企业，7000多件电厂所需备件检修产品，解决用户长期以来面临的采购流程繁杂、供应商众多、质量得不到保证、交货周期冗长等行业需求痛点。

协议中明确，上海电气和电厂用户将提前评估和确定未来一到两年的个性化机组维护服务需求，并基于战略集中采购伙伴关系，签订单一采购来源的长期协议，帮助电厂用户在未来两年内锁定采购清单产品的价格和货期。同时，上海电气将对双方协议约



定的产品和服务进行信息化加工和上线铺货销售，以确保电子交易的准确性和高效率。

本次交易节由上海市经济和信息化委员会指导、上海市电子商务行业协会联合上海生产性服务业促进会共同主办，以“打造线上新供需、激发数字新动能”为主题，吸引了国内外数千家企业参与，武汉、昆明、长三角及沪上相关园区和行业协会等设立十余个分会场。

为期两个月的活动，交易节将以“立足上海、辐射长三角、服务全国”为宗旨，借助智能交互技术与生产制造、商务金融等深度融合，畅通产业链和供应链，加快培育后疫情时代的经济新增长点。

上海电气作为制造业代表倡议如下：

积极参与中国（上海）工业品在线交易节，加快推动在线新经济大发展。积极推动企业采购活动和营销活动上平台、用平台，加快推动供应链的数字化转型。积极带动上下游的合

（下转24页）

聚变堆主机关键系统综合研究设施 先行件制造合同花落二重装备

来源：二重（德阳）重型装备有限公司 发布时间：2020-5-20

近日，二重装备市场开拓再传捷报，旗下重机公司与中国科学院合肥物质科学研究院成功签订CRAFT TF

线圈盒先行件AU3制造合同。

聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）是《国家重大科

技基础设施建设“十三五”规划》中优先部署的大科学装置，计划2030年建成。该装置将用于当今世界首个聚变实验电站，实现人类开发利用绿



色无污染的聚变能。TF线圈盒先行件AU3是超导磁体研制的关键件之一，需要研制新型材料，并考验公司全流程制造能力，项目的成功签订，为后续公司更广泛深入的参与项目建设奠定了坚实的基础。

在TF线圈盒项目开拓过程中，国机重装临时党委书记、董事长，二重装备党委书记、董事长韩晓军亲自带队访问中科院合肥物质科学研究院（等离子体物理研究所）为项目签订创造有利条件，二重装备党委副书记、总经理李骏骋具体指导，策划、确定技术路线，为项目签订奠定了基础。公司相关部门、市场营销人员和技术人员通力配合，克服疫情造成的不利影响，通过视频会议的形式参加网络远程开标，最终二重装备脱颖而出，成功中标。

玉柴率先攻克高牌号铸造核心技术 护航国六产品高质量供给

来源：玉柴集团网站 发布时间：2020-4-30

日前，玉柴首款自产蠕铁RuT450材质国六天然气发动机YCK13N气缸盖铸造技术取得重大突破，铸件综合废品率达到国内最先进水平。这标志着玉柴成为了国内行业唯一掌握稳定批量生产高牌号复杂发动机气缸盖铸造核心控制技术的厂家。

YCK13N重型燃气发动机作为玉柴国六新品中的高端拳头产品，采用的是目前国内技术水平最高的蠕铁

RuT450牌号的气缸盖。该牌号材质要求铸件本体抗拉强度达到450MPa以上，结构异常复杂，因此保证气缸盖铸造质量成为了产品稳产增产的主要瓶颈。

面对眼前的这只“拦路虎”，由玉

柴铸造、工艺、研发等领域的专家联合组成的技术团队，在铸造仿真模拟、浇注系统设计、排气系统设计、熔炼处理技术等方面尽心深入研究和反复实践验证，形成了独有的核心技术标准，在行业内率先实现了产品质量的稳定受控，为国六产品高质量产出奠定了基础。



1000kw-4超高速永磁同步发电机转子钛合金护环热套工艺的分析与研究

陈健康

上海电气集团上海电机厂有限公司, 上海, 200240

摘要: 介绍了1000kw-4超高速永磁同步发电机转子外置式磁钢外圆热套钛合金Tc4护环工艺, 针对钛合金Tc4护环壁厚、热容量小特点, 因我们对钛合金Tc4材料的技术性能了解比较少, 由此, 开展对钛合金Tc4材料热膨胀系数确认的工艺验证工作、钛合金Tc4护环的热套方案的工艺验证, 包括采用烘箱加热护环的热套方案的工艺验证和履带式电加热器加热护环的热套方案的工艺验证。通过工艺验证, 了解钛合金Tc4材料热膨胀特性, 根据护环的热套试验的结果, 确定钛合金Tc4护环的热套工艺, 确保护环热套成功。

关键词: 转子磁钢; 钛合金护环; 护环热套; 护环保温

1 引言

转子磁钢以表贴的外置形式安装在磁轭外圆上, 护环是套在转子磁钢外圆上的, 护环起着保护表贴式磁钢固定的作用, 护环内圆与磁钢的外圆为过盈配合, 过盈量0.45mm, 用于箍紧磁钢, 防止磁钢在高速旋转过程中飞离。护环材料为钛合金Tc4, 机械强度大, 不导磁, 不会引起磁钢磁路短路; 由于热膨胀系数比钢材小, 因此加热的温度要比一般的钢材高, 钛合金Tc4护环的壁很薄, 热容量非常小, 加热好的护环一旦脱离加热源, 温度会急剧下降。因此, 使用烘箱加热, 护环从烘箱取出, 再热套, 这个过程护环温度下降很多, 而且下降的速度非常快, 经试验, 根本无法热套。要解决护环的保温问题, 才能解决热套问题, 由此, 我们对护环的保温方法进行了研究, 首先我们考虑使用绝热材料包裹在钛合金护环外面进行保温, 试验后,

效果不理想; 然后, 我们再使用履带式电加热毯加热护环, 热套过程中电加热毯可继续通电加热保温, 满足护环热套要求。热套温度不能超过500℃, 不然会引起磁钢退磁, 护环钛合金Tc4表面氧化而产生微裂纹, 影响护环强度。这种护环热套方法在实际使用过程中效果非常好, 完全按照我们预设的工艺方案进行, 解决了护环壁厚热容量小, 易冷却, 无法套装的问题。有了这台电机制造的成功案例, 为以后制造类似的电机奠定了基础, 工艺技术获得新的突破。

2 外置式永磁同步发电机转子的结构形式

1000kW-4超高速外置式永磁同

步发电机转子的结构如图1所示, 转子的最外层是护环, 护环的材质为钛合金Tc4, 呈圆筒形, 其作用是用于紧固磁钢, 为便于护环热套, 护环轴向分成3段; 在护环的下方是磁钢, 磁钢呈圆弧瓦片状结构, 圆周均布4块磁钢, S极、N极磁钢间隔安放, 轴向安放9块磁钢, 同一极性的磁钢在轴向方向上排列在一起; 在磁钢的下方是磁轭, 磁轭是一个良好的导磁体, 是转子磁路的一部分; 磁钢通过螺栓通过楔块压紧固定, 楔块轴向也分成9块, 便于分别压紧磁钢, 为防止磁路短路, 楔块和螺钉都采用非导磁的不锈钢材料; 为防止转子运行时发生磁钢轴向窜动, 在磁轭的两端装有端板, 端板用螺栓固定在磁轭上, 端板压在圆周4

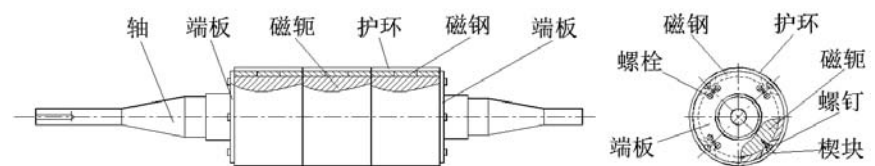


图1 转子结构

块磁钢的侧面；为防止磁路短路，端板也采用非导磁的不锈钢材料制成；磁轭热套在转轴的外圆上。

3 技术要求

3.1 磁钢外圆的技术要求

磁钢的材料为XG-30A，又硬又脆，因磁钢是单件充好磁再安装到磁轭上的，磁钢磁性非常强，各种磁性物质很容易被吸住，物件在吸碰磁钢时，甚至有可能敲碎磁钢，造成磁钢报废，因此，在加工磁钢外圆时，要清理工作场地，场地周围不能有顺磁性物质。车加工是无法加工磁钢，实际是采用磨削加工的方法加工磁钢外圆。

普通外圆磨床的床身、防护罩、冷却液喷嘴等都是由磁性材料加工而成的，稍微磨一下，磁钢磨削下来的磁粉都会吸附在磨床的床身、防护罩、冷却液喷嘴等上面，磨床将被磁化，转子与磨床间的磁场吸力增加，当磨削下来的磁粉堆积到一定程度时，转子开始跳跃式旋转（像步进电机转子运动），加工性能明显下降，甚至转子转不动，影响磁钢外圆的加工精度。因此，在加工磁钢外圆前，首先要对磨床进行改造，将防护罩、冷却液喷嘴改由非导磁性材料，同时应选择回转直径大的磨床，使转子能匀速旋转，保证磁钢外圆的加工精度。

加工后，磁钢外圆的直径尺寸 $\Phi 286js6(\pm 0.016)$ ，表面粗糙度Ra1.6，如图2所示。

3.2 钛合金Tc4护环的技术要求

护环是由钛合金Tc4材料加工而成的，呈圆筒状，薄壁结构，如图3所示。

护环是由高强度的钛合金Tc4材料加工而成的，抗拉强度 $\sigma_b \geq 895N/mm^2$ ；延

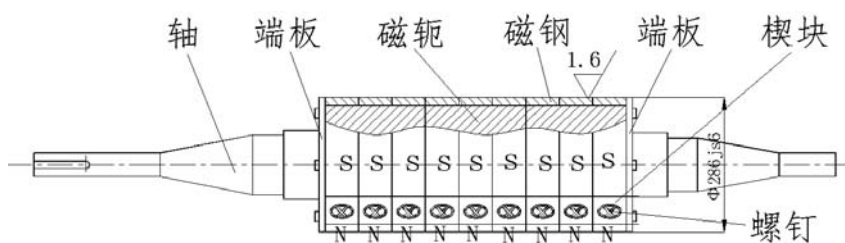


图2 磁钢外圆技术要求

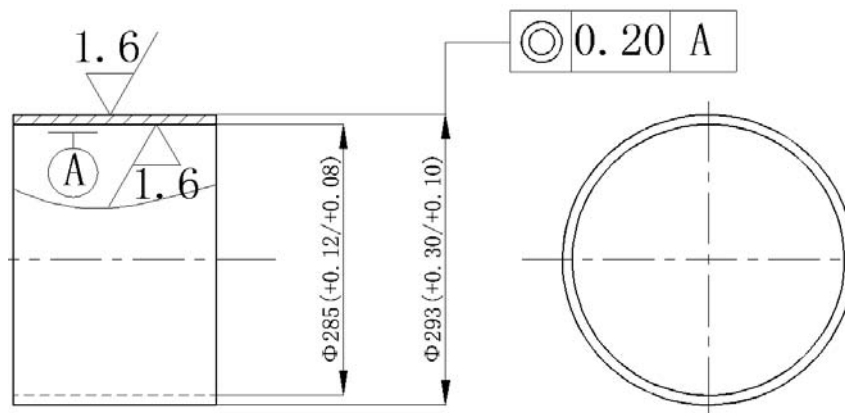


图3 护环的技术要求

伸率 $\delta \geq 10\%$ ；屈服强度 $\sigma_s \geq 830N/mm^2$ ，护环内圆直径 $\Phi 285^{+0.12}_{+0.08}$ ，护环外圆直径 $\Phi 293^{+0.30}_{+0.10}$ ，壁厚4mm，表面粗糙度Ra1.6，内外圆的同轴度 $< 0.20mm$ 。

根据图2磁钢外圆的直径尺寸 $\Phi 286js6(\pm 0.016)$ 和图3护环内圆直径的 $\Phi 285^{+0.12}_{+0.08}$ 尺寸计算，护环与磁钢外圆单边最大过盈量为0.468mm，单边最小过盈量为0.432mm，平均过盈量为0.45mm。

4 钛合金Tc4材料热膨胀系数的确认

钛合金Tc4材料对于我们来说是个陌生的材料，特别是热膨胀系数不了解，一般的机械手册查不到钛合金Tc4材料的热膨胀系数，网络查询的热膨胀系数正确性和可靠性有待验证和

确认，表1是网络查询的热膨胀系数。为此，我们专门作了工艺验证，目的是要了解钛合金Tc4材料的热膨胀实际情况，掌握第一手资料，为以后的钛合金Tc4护环热套作好技术准备。

工艺验证方案：受技术条件的限制，我们取来了一块 $295.40mm \times 200mm \times 4mm$ 钛合金Tc4板材作为试验用的材料，如图4所示，一把300规格的游标卡尺、一支接触式双金属温度计，一座 $300^\circ C$ 烘箱。

先把钛合金Tc4板材放入烘箱加热到 $300^\circ C$ ，然后从烘箱中取出并放在木板上，开始测量钛合金Tc4板材的温度和长度尺寸，并作记录数据，每间隔1分钟测量一次，环境温度： $28^\circ C$ ，数据见表2，根据下列公式(1)计算热膨胀系数：

表1 网络查询的钛合金Tc4热膨胀系数

温度 $^\circ C$	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600
膨胀系数	7.89	9.01	9.30	9.24	9.39	9.40



图4 试验用钛合金Tc4板材

$$K = \frac{(L_c - L_0)}{L_0(T_c - T_0)} \times 10^6 \quad (1)$$

式中:

K ……热膨胀系数

L_c ……加热后的长度尺寸

L_0 ……常温下的长度尺寸

T_c ……加热后的温度 $^{\circ}\text{C}$

T_0 ……环境温度 $^{\circ}\text{C}$

在工艺验证过程中,量具游标卡尺与被测钛合金Tc4板材接触时间长了也会发热,游标卡尺的读数将比实际的钛合金Tc4板长度尺寸小,因此,越到后面,计算出来的热膨胀系数也会越小,由表2最后三项计算获得的膨胀系数特别明显。前四项计算获得的膨胀系数比较接近,我们将前四项计算获得的膨胀系数的算术平均值 $(8.8157+8.7765+10.0303+9.0676)/4=9.172525$ 作为我们工艺验证的最终数据,再与网络查询的钛合金Tc4热膨胀系数作比较,确定膨胀系数取为9.172525,作为计算钛合金Tc4热膨胀量的参数。

5 钛合金Tc4护环的热套方案的工艺验证

5.1 烘房加热护环的热套方案的工艺验证

超高速永磁电机转子护环用于转子外圆固定磁钢,护环受定转子气隙的限制,护环壁的厚度只有4mm。护环与磁钢外圆为过盈配合,电机高速

表2 工艺验证的热膨胀系数

温度 $^{\circ}\text{C}$	300	220	190	163	140	122	106	97	90
长度尺寸mm		295.9	295.82	295.8	295.7	295.62	295.56	295.5	295.46
膨胀系数		8.8157	8.7765	10.0303	9.0676	7.9229	6.944	4.9061	3.276

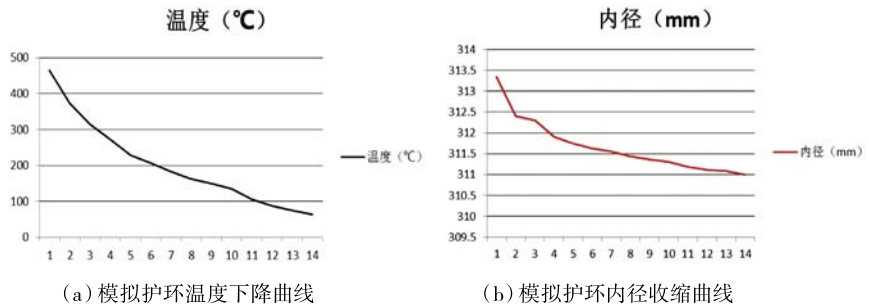


图5 模拟护环温度和内径尺寸曲线

旋转时要求能抵抗磁钢的离心力而不变形,同时为避免磁路短路,护环必须是非导磁材料。为满足上述这些技术要求条件,钛合金是一个比较好的选择,强度高、不导磁。但护环壁薄,热容量小,热套过程中,温度下降速度非常快,给热套带来非常大的难度,如何解决这个问题?

护环热套加工方面的主要内容如下:

- (1) 研究开发一套有效的护环热套工艺。
- (2) 制造试验用的护环和小轴(模拟磁钢)。
- (3) 测试护环的温度曲线、直径尺寸变化曲线。
- (4) 护环热套试验。

超高速永磁电机转子护环的材料为钛合金TC4,这个材料具有很强的机械性能,钛合金材料具有热胀冷缩的特性,利用这种特性将护环进行加热到一定的温度,使其直径尺寸达到热套要求的直径尺寸,然后进行热套到磁钢外圆上。因钛合金TC4材料价格非常贵,而且采购周期长,因此,为了解护环热套性能,先使用钢管按护

环的尺寸要求加工成模拟护环,然后再模拟护环的热套。模拟护环壁薄,热容量非常小,采用烘房加热护环的方法,模拟护环热套过程中温度下降非常快,与此同时,模拟护环内圆直径尺寸收缩也非常快,如图5所示,很容易套僵,设法保持护环的温度,或者说使护环的温度下降速度变慢以满足热套要求,具体方案就是要解决保温问题。

护环加热后,套到磁钢上是要有一个过程的,这个过程是:护环加热→热套→冷却。护环加热后到准备热套这一过程中护环的温度下降非常快,时间(15s~20s)节奏无法控制,很容易套僵,要避免套僵,最好的办法就是保持护环的温度。温度能保持,就可延长热套时间,热套的可靠性就越高。初步设想护环保温可采取包绝热材料的方法,经试验,实际保温效果不理想,故放弃这种保温方法。理论分析采用加热源连续对护环加热的方法比较可靠,具体方案如下:

5.2 履带式电加热器加热护环的热套方案的工艺验证

履带式电加热器通电加热模拟护

环,在通电加热模拟护环之前需做一些准备工作,以保证护环热套工作进行顺利。首先将保温用的玻璃纤维毯放在水平的平台上,再将模拟护环放在玻璃纤维毯的中间位置,用水平仪校正模拟护环上端面水平,将履带式电加热器包裹在模拟护环的外圆上,然后用吊车吊起模拟磁钢,校正模拟磁钢与模拟护环的同轴度,将模拟磁钢悬于模拟护环的上方,便于热套,缩短热套时间,将玻璃纤维毯密封盖住模拟护环,通电加热模拟护环。达到热套温度后,迅速揭开玻璃纤维毯,并同时快速放下模拟磁钢,模拟磁钢套入模拟护环内,切断电源,再自然冷却至室温。这种边加热护环边热套磁钢的方法,最大限度地减少热套过程中的温度下降,实现了对护环温度的有效控制,解决了热套过程中护环温度骤降的这一难点,成功完成了履带式电加热器加热护环的热套磁钢的工艺验证,证明了我们的这种工艺方案是行之有效的,而且是容易实现的,具有实际使用价值,这项技术能应用于产品的制造,下面我们就将产品护环热套到磁钢上的工艺作一介绍,如图6所示。

在热套过程中,使用专用的热套工装搁架将护环固定于热套场地,并在转子上安装配套的轴向定位工装,实现了护环与转子之间的轴向定位。通过使用该专用工装,将人为不确定因素降到了最低,大大提高了热套的可靠性与安全性。经工艺验证,我们确定采用履带式电加热器连续加热护环的方案进行产品护环的热套。

6 钛合金Tc4护环的热套

6.1 技术准备

要完成产品钛合金Tc4护环的热



(a)前期热套试验 (b)电加热装置 (c)热套成功

图6 带式电加热器加热护环的热套

套需做一些准备工作,热套一般采用垂直套装比较方便,因此,需做一个支架用于支撑转子,为缩短支架的制造周期和降低制造成本,采用木材制造支架,因木材不耐高温,因此在支架上端需安装一块耐高温的支撑板,而且还要具有保温较好的材料,耐高温的环氧玻璃布板是个理想的选择。支撑板,内圆略大于护环的内圆,在内圆的口上加工一个止口,止口直径略大于护环的外圆,如图7所示。

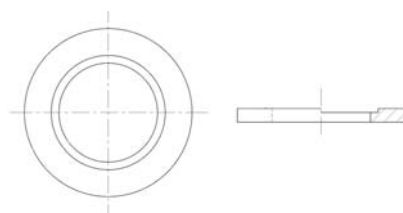


图7 支撑板

6.1.1 支架与支撑板组装

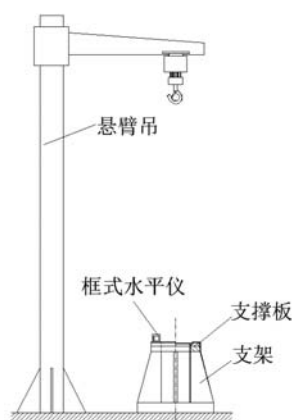


图8 支架与支撑板组装

在有吊车的工作平台上先安放好支

架,再在支架的上端面中间位置安放支撑板,支撑板内圆有止口的面朝上安放,用框式水平仪校正支撑板水平,如图8所示。

6.1.2 安放钛合金Tc4护环和加热器

在支撑板内圆止口平面上安放钛合金Tc4护环,护环内圆与支撑板内圆的同轴度,二内圆应互不干涉,在护环外圆包裹履带式电加热毯,用铁丝围在履带式电加热毯外侧并固定它,如图9所示。

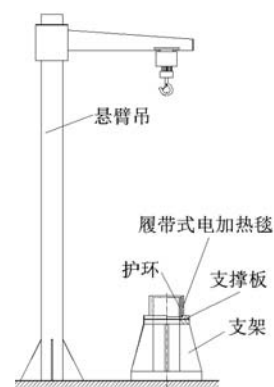


图9 安放钛合金Tc4护环和加热器

6.1.3 吊装转子

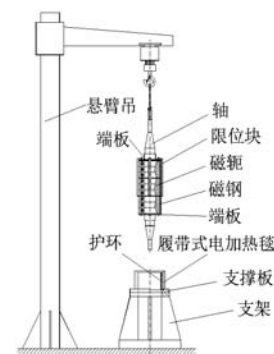


图10 吊装转子

在轴的一端装上吊攀，并穿入尼龙吊绳。由于在转子上须热套三个钛合金Tc4护环，如从一个方向热套，那么，第一个护环须经过前两段护环的位置才能到达最终的热套位置，因热套路径太长，给热套成功带来较大风险。因此，我们采用两端分别热套护环的方法，先在转子磁钢外圆均布4件限位工装，热套如图10所示下端的护环。用吊车将转子吊起，将转子对准护环内圆，缓慢下降转子，当转子下端磁钢端面靠近护环上端面时停止转子下降，此时，调整转子与护环的同轴度，锁定吊车的位置，然后再缓慢吊起转子，如图10所示。

6.1.4 护环保温加热

在护环内圆、电加热毯外侧分别用玻璃纤维毡填满包严实，电加热器通电，设置加热曲线，开始加热，如图11所示。为防止护环热套时产生空气对流，加快护环的冷却速度，因此，在支架的四周用环氧板封住。

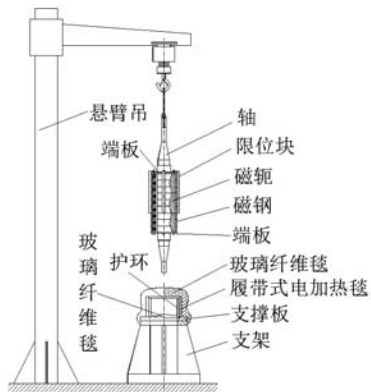


图11 护环保温加热

6.2 第一个护环热套

护环加热到预定的温度后，用预先校好的量棒检验护环内径，通过为合格。开始热套，揭开包裹在护环和电加热毯外侧的玻璃纤维毡，迅速将转子下降，当转子下端磁钢端面靠近护环上端面时停止转子下降，此时，

观察转子与护环的同轴度，如位置无误，迅速将转子下降，直至护环的上端面贴住限位工装的下端面为止，完成第一个护环热套工作，如图12所示。

6.3 第二个护环热套

第二个护环热套前在转子另一端

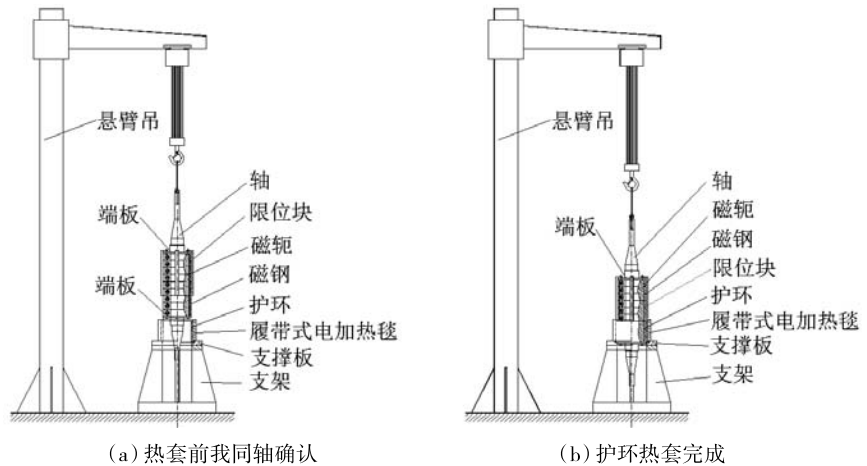


图12 护环热套

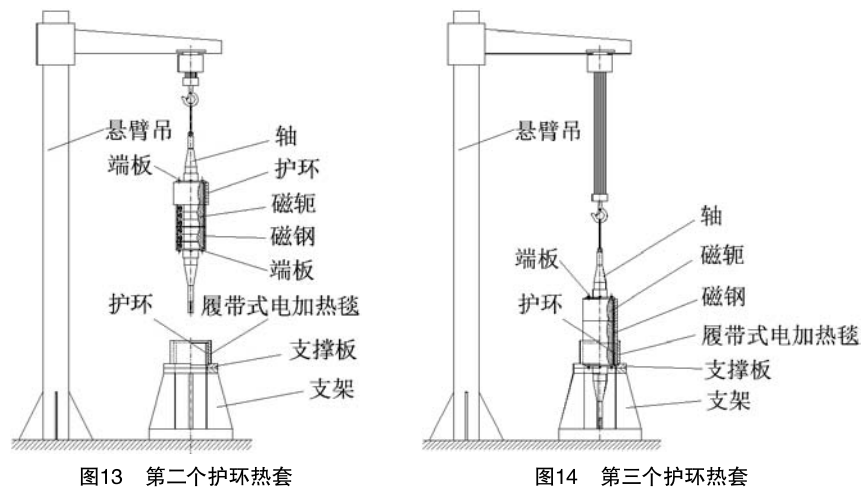


图13 第二个护环热套

图14 第三个护环热套

7 结语

钛合金Tc4护环热套到转子上难度是非常高的，通过对钛合金Tc4材料的热膨胀系数的测定，以及对护环热套工艺的验证，排除了其他的热套方案，采用边加热边热套的工艺，终于获得钛合金Tc4护环热套成功，获取正确的技术参数和详细的热套工艺是钛合

装上吊攀，并吊起，如图13所示。其他同上述第一个护环热套过程，这里不再赘述。

6.4 第三个护环热套

第三个护环热套如图14所示。同上述第一个和第二个护环热套过程，这里不再赘述。

金Tc4护环热套成功的基础。T

参考文献

- [1] 徐君贤.电机与电器制造工艺学[M].北京:机械工业出版社,2008.6.
- [2] 王先逵.机械加工工艺手册[M].北京:机械工业出版社,2007.9.
- [3] 赵如福.金属机械加工工艺设计手册

(下转26页)