大型立式高压气淬真空炉的研制

宋景龙，刘文瑛，孟丽，刘晓伟，赵燕平

目前，真空淬火炉主要以真空油淬和真空气淬为主，它们各有其优缺点。从淬火后的表面质量看，真空油淬比真空气淬光亮度低20%~30%，而且要进行清洗；从淬火后工件力学性能看，高速钢工具经过真空油淬后在工件表面形成一个由残留奥氏体和碳化物组成的白亮层，经X射线结构分析证明：白亮层是由大量复合碳化物和残留奥氏体组成，形成碳化物的碳不是来自于炉内的残存气氛，而是来自淬火油。

1. 研制的原因

影响真空气淬冷却能力有三个因素：一是淬火气体的种类，冷却能力从高到低依次是H_2、He、N_2、Ar；二是淬火时充气的压力，充气压力越高，真空炉的冷却能力越强，但当压力增高到一定程度后其影响减弱；三是通过工件的传热介质的流量，通过工件的流量越大，真空炉的冷却能力越强。另外，通过炉料的气流分布以及流过工件加热气体的再冷却，也对高压气体淬火的冷却效果有影响。

在生产应用中，低合金钢淬火件、大尺寸的模具和轴类、高密集装载工件，5～6bar（1bar=10^5Pa）的真空高压气冷淬火仍显不足。由于生产大型模具的客户为了提高产品质量，需要更快冷却速度的淬火炉，为此我公司研发了10bar高压高流率的HZQL—450立式气淬真空炉，其中采用多项国家专利技术，装炉量能达到2500kg。

2. 真空炉组成及性能介绍

HZQL—450立式高压气淬真空炉主要由设备主体、升降机构、水冷系统、充气系统、真空机组、气动系统、电气系统及液压系统等组成。设备主体如图1所示。

（1）壳体　炉体由双层钢板构成套形的立式圆筒结构，套内通入冷却水，两端与法兰焊接而成。这种炉壳结构强度高、易加工、焊缝少、节省材料。炉体内壁刷有低放气率、防锈、耐高温的聚四氟乙烯涂层，能够适应温度及压力的急剧变化。

炉体上设有用于加热的水冷电极接口、热电偶接口（可根据客户要求配置相应数量的热电偶接口，以保证加热室炉温均匀度的控温精确和安全性），以及便于起吊安装用的吊耳。另外，还有真空管路、放气阀等接口以及用于观察室内情况的观察窗。各个部件的连接处都有可靠的真空密封。

（2）加热元件及隔热屏　加热室形状为圆筒形，由加热元件和隔热屏组成。加热元件为石墨板材，加热最高温度可达1320℃。采用三角形接法，沿加热区圆周均匀分布，以提供良好的炉温均匀度。多块石墨板材搭接不但保证了加温迅速，长期使用不易因高温产生变形，而且拆卸方便，易于维修。

目前，真空炉中绝缘装置的导电杆上多采用普通结构瓷垫，由于炉体内有很多粉尘，容易覆盖在瓷垫上，污染瓷垫，生产几炉产品后，瓷垫开始变得导电，瓷垫绝缘失效。笔者设计的陶瓷



图1　HZQL—450立式高压气淬真空炉

绝缘结构克服了瓷垫易变导电等不足。

水冷电极与炉室内电热元件相连，通过炉壳时采用真空橡胶圈密封。通水的目的是防止温度过高而烧坏密封圈。电极采用大面积纯铜制造，能够保证电流密度尽量小且拆卸方便。

隔热屏为两层石墨硬毡和三层软毡组成的圆形结构，保温效果好，使用寿命长。石墨硬毡分瓣搭接并用钼螺栓固定在加热室框架上。加热室框架作加固处理，保证工作时不变形。且设有观察孔便于观察炉内工作状态。

测温元件采用“S”偶和工件偶进行测温。在1000~1300℃用“S”偶，在1000℃以下用工件偶，以跟踪工作温度变化。

（3）气淬循环系统及充气系统　气淬循环系统位于壳体上方，由处于密封状态下的风机机组、热交换器、内置风道装置及喷嘴组成。风冷电动机功率315kW，连接离心叶轮，转速可达3000r/min，以实现快速起动。

内置风道上出口端布置有风向强制导流板，可保证气流均匀、高速喷吹料筐内的各个工件，设计速度达20m/s，高速气流将高温工件的热量强力吹出，并通过热交换器进行热量交换，冷却后的气体又被离心叶轮再次高速喷出，形成一个循环回路。

热交换器由带翅片的全铜管制作，换热面积大，冷却快，效率高，可以实现气体的快速冷却。24根通风管沿圆周均匀分布且每根上布有5个喷嘴，共计120个喷嘴对工件360°范围内喷射冷却。传统气淬结构由喷嘴直接吹出高压气体，易使工件变形大，笔者设计的喷嘴装置可使气体从四周喷出，有效防止了直接吹向工件引起变形大的问题。

高纯氮气储气罐连通的管路上装有压力传感器、安全控制阀、电磁气动蝶阀等，根据热处理工艺压力的要求完成工件淬火气体的快速充入及淬火完成后气体的排出。充气压强最高可达10bar。

真空炉中的充气冷却技术是决定热处理质量的关键技术，为了实现零件淬火时的快速充气，配备了2.5MPa、13.5m^{3}的储气罐、充气阀和管路组成的空气系统。炉体内的压力值由电接点真空压力表控制和指示，大口径充气装置可使真空炉在很短时间内获得工艺要求的充气压力，保证工件淬火时的冷却速度，大大提高了工件的淬火冷却能力，且拓宽了真空淬火工艺的应用领域。

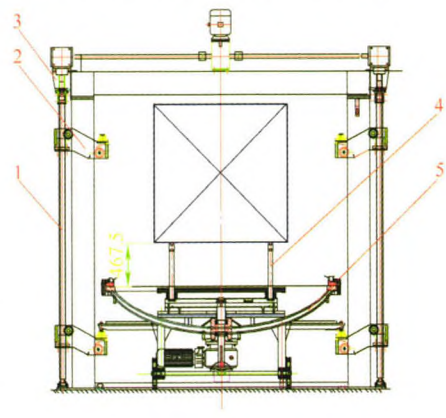
（4）炉台升降及旋转机构　炉台升降及旋转机构如图2所示，炉门位于炉体的下部，炉床及炉门的隔热屏均安装在炉门上。炉门采用电动机驱动丝杠进行升降；炉门的行走由电动机通过减速机进行驱动；相应的行程开关对炉盖小车的升降位置和水平运行位置进行控制。传统真空炉工件的加热方式是工件固定不动放在料盘上，料筐内工件容易受热不均匀而产生变形。

我们克服了现有技术中的缺点，提供了一种料盘旋转装置，把工件直接放在料盘上随之旋转，并附带对旋转工件测温装置。保证工件的加热均匀，防止受热不均产生变形，并且能实时监测、记录料筐内工件温度。

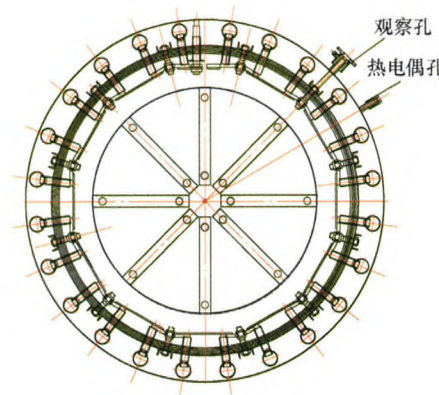
热处理实例：材料为H13钢，工件形状如图3所示，加热温度1030℃，5bar气冷。装炉垂直摆放，用料台旋转法处理的结果是工件圆度误差量平均为6.5μm，而料台不旋转法处理的圆度误差量平均为19.5μm，回火后此值变化不大，硬度均能达到48~52HRC。

炉体与炉盖之间的密封，采用橡胶密封圈，并用锁圈保证负压的密封及炉盖和工件的重量支撑。锁圈的的启闭采用液压方式。

炉床支撑在炉体上的炉床支座上，采用八爪式结构（见图2b），能够保证炉床支座转动时料筐的稳定。炉床上安有使之与工件绝缘隔离的氧化铝隔条，防止工件受污染。我们采用了一种



(a)



(b)

图2　炉台升降及旋转机构

1. 丝杠 2. 升降座 3. 支座 4. 支架 5. 炉门

炉床支柱可调节装置，克服了以往炉床支柱不可以进行精准调节等不足。

（5）真空系统 真空机组由两套罗茨泵和滑阀泵、真空管路、真空蝶阀、电磁阀、真空压力表、真空规管及真空继电器组成，确保极限真空度能达到4×10^{-1}Pa，工作真空度5Pa，压升率≤0.5Pa/h。在泵的选择上对容器的容积具有充分准备，保证了迅速抽空时间。即使其中一台真空泵出现故障，另一组真空泵也能照常工作，不影响生产。

所有阀由电/气自动程序实施控制且联动互锁，断电时阀门自动关闭以保持炉内压力状态。真空管路采用气流流态优化设计理论，阻力极小，管路短且紧凑。此外，在真空管路中还采用了传递扭动或摆动的不锈钢波纹管密封结构，能够有效减少振动。

目前，常规真空炉上真空规管直接与炉体接管相通，炉体内有粉尘或处于高压状态时对真空规管造成污染，使真空规管失灵或损坏。我们采用真空规管保护装置，能够有效地保护真空规管，防止其损坏。

（6）水冷系统 水冷却系统为封闭式进回水方式，由不锈钢截止阀、电接点压力表、管路、水流显示器等组成。用于对壳体、电动机罩、水冷电极等设备机构的冷却，保证设备温度正常，延长设备使用寿命。进水管预留消防水接口，增加三通和截止阀。外循环水管布置整齐美观，每根水管上皆有水路标识，便于维修。

为了保证标准的水流量，一个水流闭锁装置安设于明显位置，当开关正常工作时，电流施加于加热元件上，炉子工作，如果水流断流>5s，在工作温度下工作的炉子电源切断加热元件。

（7）供电及控制系统 电气控制系统由调压器、晶闸管和微处理机组成的温度可编程序控制和由PLC组成的机械动作可编程序控制两部分组成，可实现自动化程序操作，并兼有手动操作功能。

主、从表采用英国欧陆公司生产的2604智能化温度控制仪，控温精度±0.1%，可存储50条工艺曲线，每条曲线20段，多组PID参数，有PID参数自整定功能，并带有RS232接口，可与外部设备进行通信。

采用CP1E可编程序控制器（日本欧姆龙），实现操作过程自动控制。机械动作及热处理工艺所要求的充气、超压放气、水压、真空系统的各个阀门的控制信号全部由PLC完成，自动化程度高，并有故障自诊和监视功能。系统除了具备全部操作过程完全自动功能外，还具备手动操作功能，以便操作者逐步操作完成各个步骤。

采用大电流、低电压供电方式，使用晶闸管调压器与智能化控温仪表配合，可实现温度的连续调节。

记录仪采用32通道DPR250宽幅有纸记录仪（美国霍尼韦尔公司），具有温度、压强、时间和记录功能。其精度等级为0.05级，采样率20次/s，走纸速度和表格模式可选，具有报警功能。可通过U盘方便地转移数据，在计算机上观看和打印历史数据。

测温元件采用双芯偶，一芯用于控制温度，一芯用于记录和报警。

控制柜上设有大型控制模拟板。控制模拟板可直观地显示泵、阀门、风冷电动机、液压缸等工作状态信息，并可通过有关按钮进行手动操作。控制柜留有备用操作按钮，平时可锁闭，计算机控制系统出现故障时可启用备用控制单元，避免延误生产。

具有超温、过流、断水、误操作等联锁保护功能，并设有简单故障自诊断功能，能及时显示故障源并且有声光报警系统。

采用触摸屏控制系统，采用MCGS人机界面对整体设备的工况进行控制和记录。



图3 阶梯轴的形状及真空气淬后的变形量

扫描二维码，关注更多
华翔真空炉技术

作者简介：宋景龙、刘文瑛、孟丽、刘晓伟、赵燕平，北京华翔电炉技术责任有限公司。

MW 20140716