

· 设 备 ·

硝酸盐等温淬火设备的设计与发展

朱 星

(爱协林工业炉工程(北京)有限公司,北京 102200)

摘 要:硝酸盐淬火与传统油淬火相比有淬冷温度高,工件变形小、硝酸盐不易老化、安全性高,并可回收利用等特点。本文介绍硝酸盐淬火设备的构成和类型,重点阐述硝酸盐淬火槽结构和设计,涉及槽体、盐搅拌器、导流装置、淬火升降台、冷却等的设计要点。简述了等温槽、盐清洗机、储盐溶盐罐等的设计,并对等温淬火设备的发展进行了展望。

关键词:硝酸盐淬火;淬火槽

中图分类号: TG155.3⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 4971(2006)02 - 0040 - 04

Design and Development of Nitrate Isothermal Quenching Equipment

ZHU Xing

(Aichelin Industrial Furnace Engineering Beijing Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: Comparing with traditional oil quenching, nitrate quenching has some advantages, including high quenching temperature, small deformation of the work pieces, safety and that the nitrate is not easy to aging and can be recovered. This article introduced the structure and type of nitrate quenching equipment, and mainly introduced the structure and design of nitrate quenching tank. It also introduced the designing essential of the tank, agitator, flow guiding device, lifting table and cooling. And this article briefly stated the design of isothermal tank, washing machine, storing tank and melting tank. And it prospected the development of isothermal quenching equipment.

Key words: nitrate quenching; quenching tank

0 前言

热处理中利用熔盐为介质进行淬火得到广泛应用。目前我国大部份盐淬火设备,技术陈旧落后,生产方式多采用人工和半自动化生产。热处理炉的发展趋势要求自动化、高质量、低成本、环境保护。本文将重点介绍硝酸盐等温淬火设备的设计与发展。

1 硝酸盐淬火介绍

传统淬火介质一般采用油淬火,使用温度 30 ~ 160 °C,使用中要严格控制淬火油温度不超过其闪点以防油着火。淬火过程易产生油蒸气、油老化和

分解。为了延缓油的老化、减少分解及损耗,通常需将淬火油密封并通保护气,鉴于油的特性,在淬火温度超过 160 °C 时不宜使用。

淬冷温度超过 160 °C 时,就显现出了使用熔盐作为冷却介质的优点。淬火用熔盐一般是硝酸盐和亚硝酸盐按一定比例配成的混合盐,使用温度 160 ~ 500 °C。盐被加热后有很好的流动性、化学稳定性、不老化等特点。在 160 ~ 250 °C 使用安全性极高,不存在着火问题。熔盐较油粘度小、冷却均匀,在马氏体等温分级淬火时,使用 50% ~ 60% KNO₃ + 37 ~ 50% NaNO₂ + 0 ~ 10% NaNO₃ 溶盐。添加 1.25% 水的

205℃的熔盐,具有与油同样的冷速。熔盐淬火可实现马氏体分级淬火、马氏体+贝氏体分级淬火及贝氏体淬火。另外,零件熔盐淬火清洗后,进行盐水分离,被带出的盐可100%回收利用,做到零排放,适应现代环保要求。等温淬火不仅省略一次回火再加热过程,且使零件具有很好的韧性。实践证明,盐浴淬火具有广泛的优越性。其一、盐浴中淬火较淬火油中淬火工件变形更小。实验证明随着淬火介质温度的提高工件变形趋小;其二、具有较高的经济性。硝盐没有老化、分解问题,也不存在介质使用一定时间后的废弃问题,可以永远反复使用。另外,硝盐的价格比淬火油要便宜,所以生产成本低;其三、环保。如前所述,因没有使用后的废弃问题,工件带出的残盐经清洗后分离可以达到零排放,所以是一种很好的环保工艺。目前,国外一些发达国家使用盐浴淬火工艺已经很普遍。在国内,上世纪末爱协林工业炉(北京)有限公司推出了具有多项专利的自动化盐浴淬火生产线,在瓦轴、哈轴等轴承行业的一些大企业使用,效果很好,但总的看应用还不广泛。笔者认为,还不普及的原因是大家对盐浴淬火的优点还没有足够的了解和认识。为使更多的工程技术人员了解和研究盐浴淬火工艺,使这一既经济又环保的技术在国内得到广泛应用。下面拟就盐浴设备作一介绍。

2 硝盐淬火设备的构成

熔盐淬火设备现阶段要求与可控气氛加热炉结合,实现批量化自动化生产。设备按产品类型、产量可分为周期式和连续式两大类。

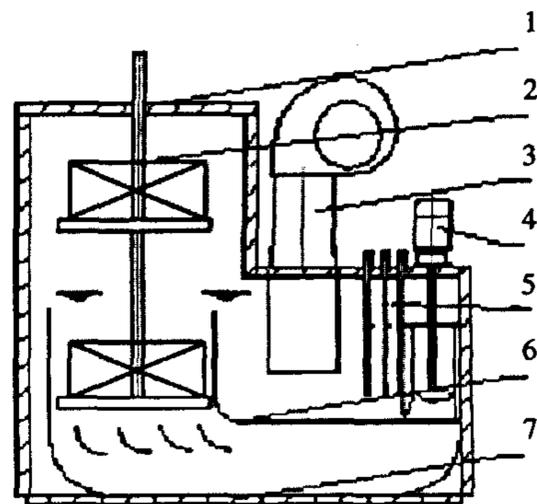
周期式生产线由可控气氛箱式加热炉+固定熔盐淬火槽+等温槽+清洗机+运移小车+回火炉等组成。周期式生产线的另一种形式为箱式加热炉+多个盐淬火槽,熔盐淬火槽可移动,淬火槽一般放在箱式加热炉后边,该配置投资少,适用性强,但劳动强度大,安全性差。周期式炉生产线适用于小批量多品种和不同工艺零件的处理。

连续式生产线主要由保护气氛加热炉+等温淬火槽+等温槽+清洗机等组成。其中等温淬火部分所用设备按运送工件的动作又可分为四类:转底、滚棒、推盘及输送带。此类型适合大批量自动化生产要求。

3 硝盐淬火槽的发展与组成

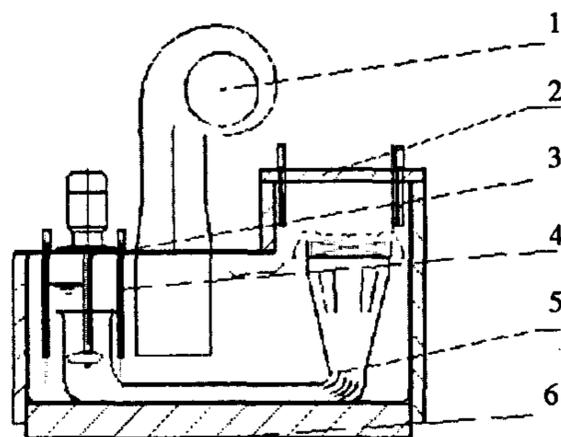
熔盐淬火槽淬火形式从单件手工淬火发展到批量化自动化生产。淬火槽结构从简单坩埚到大容量盐槽。盐槽形式按淬火方式不同分为浸入式和泉涌式。

浸入式为将工件浸入盐槽中进行淬火,典型结构见图1。这种方式使用广泛。从手工钳夹工件、吊车吊装工件淬火,到网带炉生产,其方式为淬火时工件自由落进盐槽,淬火后网带提出。这些方式生产的产品,质量会出现不均匀现象。现今对产品性能指标要求高,并要求与气氛加热炉结合生产,故盐淬火槽现多采用升降台装载工件平稳淬火,在淬火过程中升降台可上下串动,采用变频调速搅盐器控制熔盐流动,并采用微机自动化控制,使工艺人员能方便地进行工艺参数调整以生产合格产品。淬火过程还可实现自动化无氧化工件转移(在保护气氛下)。



1) 保湿室 2) 升降台 3) 冷却器 4) 搅油器
5) 加热器 6) 导流板 7) 盐槽

图1 浸入式淬火槽



1) 冷却器 2) 保湿室 3) 搅油器 4) 加热器 5) 导流板 6) 盐槽

图2 泉涌式淬火槽

泉涌式淬火槽为爱协林工业炉公司专利,结构见图2。这种装置改变了传统工件浸入式淬火,工件只进行水平方向移动,盐液通过搅盐器和导流通道形成泉涌。盐液由下向上流过工件,大大减缓工件

入盐液瞬间的冲击造成工件冷却不均而产生的淬火变形,这种淬火方式已在轴承套圈淬火中得到应用。

4 硝盐淬火槽设计

1)槽体设计。一般槽体大小根据淬火重量,淬火温度,淬火周期进行设计。体积 $V(\text{m}^3)$ 计算公式如下:

$$V = \frac{kGc(t_1 - t_2)}{P_y C_y (t_{y1} - t_{y2})}$$

G 为工件、料盘、夹具的总重量(kg); c 为金属平均比热容($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$); t_1 为金属淬火前温度($^\circ\text{C}$); t_2 为金属淬火后温度($^\circ\text{C}$); P_y 为盐在液态的密度(kg/m^3)(硝盐一般液态 1830 ~ 1880); C_y 为盐的平均比热容($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)(55% KNO_3 + 45% NaNO_2 混合盐为 1.63); T_{y1} 为盐淬火前温度($^\circ\text{C}$); T_{y2} 为盐淬火后温度($^\circ\text{C}$); K 为储备系数(考虑淬火周期、加热冷却等因素,系数大可减少盐液温度变化)。

槽体设计,特别是对贝氏体等温淬火槽,要求盐淬火前后温度变化尽可能小,以保证贝氏体转化,应加大盐槽体积。

槽体为组合钢板焊接结构。设计上要考虑装盐后的钢板氧化及盐的比重大等特点而相应增加钢板厚度,减少焊接。条件许可时,尽可能使槽底及四边呈圆弧形以减少应力集中,同时避免熔盐循环死角内盐的冷却结晶。保温层要有足够的厚度,设计时按盐使用温度计算。

2)盐搅拌器和导流装置

盐搅拌器的作用是使熔盐在槽体内流动以均匀熔盐温度,防止盐结晶,保证工件淬火时冷却均匀,并能提高冷却能力,以达到减小变形提高淬火件质量的目的。盐搅拌器的搅拌方式过去多采用压缩空气搅拌,即将一定压力的压缩空气通入盐槽使熔盐剧烈搅动,其方法简单,但流动方向不易控制,热损失大。现多用叶轮搅拌,对于不同的工件应有不同的冷却速度,可采用变频调速电机控制搅盐器转速以改变熔盐流速。按搅拌能力和槽体结构,盐搅拌器可用单台或多台。

导流装置为安装修理方便,叶轮搅拌器多采用垂直方式,熔盐从顶部向下流动通过导流管道,由分配导流板使其流向具有严格的方向性,均匀分布流向工件。保证淬火冷却过程所有零件都得到均匀一致的冷却。导流设计还应注意盐结晶特点,不产生盐液流动死角。

3)淬火升降台

以前硝盐淬火多采用提篮式,现设计一般采用升降台进行淬火。按出料方式分,一种为盐上出料,另一种为盐下转移出料。对周期箱式炉盐淬多采用双层升降台,利用下层升降台进行淬火,同时利用上层升降台装料,淬火后升降台升起前门出料。这种方式结构简单,工件在盐中冷却时间最多只能一个操作周期,如果操作周期短,工件可能淬不透。盐下出料是工件淬火后经盐下转移后升起出料,多用在连续炉,这种方式结构复杂,根据热处理工艺的要求,可以设计在盐下同时停几盘工件可解决工件淬透的问题。

设计上应根据不同的炉型,不同的工艺,选择合适的结构。由于盐具有腐蚀性,故材料选择要正确。根据盐易结晶的特点,传动机构运动零部件尽量避免进入盐槽内,最好布置在不与盐接触的部位,以防止盐结晶影响机构运行。因盐槽停炉降温盐结晶后再熔盐时间长且过程复杂,故应尽量减少停炉维修。机构设计上,最好在盐槽不降温的情况下,可进行修理。另外,注意一些细节设计,如工件在盐内淬火时,为保证淬火均匀,升降台可以上下串动或往复摆动,以提高产品质量。

4)加热冷却设计

加热淬火盐槽是为了保证工艺要求的盐浴温度,并补偿槽体散热损失。加热元件一般采用管状电热元件,外管的材料为不锈钢。管状加热器根据盐槽形状尺寸、盐的体积、工艺温度等进行热平衡计算后确定总功率和数量,并应尽可能均匀分布在盐槽中且与搅拌器配合使盐槽内温度均匀。因电热元件属易损件,安装位置要有利于更换,一般装在槽体上部,且安装部位应密封,以防硝盐蒸气扩散进入引起电短路。

以前盐槽由于产量低,多无冷却系统。现在连续生产盐槽因工件淬火量大常常导致温度升高,为缩短工作周期,保证工艺温度而设置冷却系统。由于盐结晶温度高,无法采用常规引出法冷却,只能直接冷却盐。水冷却效率高,但因盐液温度高于水的气化温度,故一般不用水冷而多用风机鼓入冷风通过在盐槽内管路循环进行冷却,为保证管路附近盐不结晶,要注意盐的循环流动。冷却功率按盐淬火温升及淬火周期计算。

5)控制系统

现盐淬火槽控制已不是独立的系统,多与可控

气氛炉等整条生产线协调,整体控制。温度控制多选用三支热电偶,一支为主控兼记录,一支为低温报警以保证盐不结晶,另一支为高温报警以防加热失控。液位控制采用液位计或液位开关。动作由行程开关控制。所有信号传到控制PC机,按相关工艺、运行程序,PC机发出动作指令。

6) 淬火介质熔盐可长期使用,一般无需排放。只有在槽体维修保养和长时期停炉情况下方将熔盐抽出。现多采用特殊抽盐泵将盐抽到带加热的储盐槽。淬火槽上部设置加盐口,正常生产时补盐可通过此装置加入固体盐块在槽体内直接熔化。

7) 盐淬火槽上应加手动或自动补水装置,按不同工件及工艺要求改变盐的淬火冷却速度,补水量一般按具体情况实验得出。

8) 盐淬火槽上部一般设计带加热器和门的保护罩,相当于多用箱式炉前室。保护罩内加热器的作用是保证工件淬火后转移到等温槽前这段时间不降温。对大批量工件,淬火保护罩应设计排放口以排出淬火产生的盐蒸气。对不允许氧化的工件可向槽内通入保护气氛以防止氧化。这种设计的保护罩和加热炉连接部位应密封,在保护罩和加热炉间加密封门,防止盐蒸气进入加热炉;对采用可燃气体保护的应增加安全措施如前门火帘等,防止可燃气体与空气混合在保护罩内发生爆炸。

5 等温槽

贝氏体转变要求工件淬火后在没有降温的情况下进行等温转变,等温槽温度均匀性必须保证在 ± 6 ℃范围内或更高。盐槽内等温转变为传统工艺,方法是工件淬火后放入硝盐槽内进行贝氏体等温转变,优点是温度均匀,控制容易。因等温转变时间较长,传统工艺一般是在小容量硝盐槽内进行周期式单件和小批量生产。近年来,为适应大批量生产要求,开始使用大容量硝盐槽进行连续生产。设计上基本同盐淬火槽:由盐搅拌器、加热器、冷却系统、工件升降转移机构组成。工件升降转移机构一般比硝盐淬火槽升降台复杂,增加了工件在盐内连续运转的动作。为方便维修一般设置储盐槽。温度控制可采用分区控制。

6 盐清洗机

工件等温转变后经过冷却降温,进入清洗机清洗。清洗过程一般是热水浸入清洗、清水喷淋清洗、

热风烘干或真空干燥。清洗机采用加热器加热水,并有循环发泡系统以提高清洗效果。设有液位控制及补水装置。盐清洗机设计上可增加清洗区以提高盐的洗净率。当前设备要求环保,零污染排放,对清洗后的有害盐液应回收再利用。一般附带盐分离器,进行盐水分离,其方式为盐液中水份被加热蒸发并经冷凝后流回清洗机,盐则在结晶后继续使用。清洗机带有盐份检测装置,检测水中盐含量,当达到一定浓度时即抽出盐液进行分离。

7 储盐溶盐罐

目前盐槽设备大多结构复杂,为保障出现故障时维修方便,大多设置备盐槽。一般在淬火盐槽中有复杂机构且熔化盐时需增大加热功率设置,因此应避免直接熔盐,并与储盐罐合并而设计专门的储盐熔盐罐。抽盐采用特殊抽盐泵,一般熔盐槽和淬火盐槽共同使用,需要抽盐时才放入盐槽。

8 生产线控制

现阶段生产线控制由工业控制PC机、可编程逻辑控制器(PLC)、操作执行系统几大部分组成。实现了整个系统多项目操作控制和管理功能,如控制装料量、运行速度、温度、碳势、时间等;可实现多台群控,自动监视及报警,控制分批进料等;能编制工艺程序,可储存若干个工艺;能完全记录设备运行过程中所检测到的工艺参数(零件号、材料、温度、气氛等),送计算机进行处理并存储记录,并可随时调阅和打印。可贮存多年的记录。未来的设备发展将运用最新程序和热处理数据库,采用计算机模拟仿真技术和控制技术,采用高度柔性化、智能化的综合控制和管理系统。操作者仅需将待处理的工件数量、图样输入计算机,整套设备将自行处理出高质量的产品。

9 结语

随硝盐淬火工艺的开发利用,硝盐等温淬火设备将得到更大发展。设计中应结合具体产品特点与产量,选择适合的炉型,根据硝盐特点和具体工艺参数,设计合理结构。结构设计上要求运行稳定和便于维修。要做好硝盐的回收利用。以提高产品质量满足生产要求为原则,向自动化、低成本、环保型发展。

(下转第47页)

表7 一区温度下限数据

周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
设定值	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
翻转一区 温度变化	881	883	885	880	881	859	881	883	885	881	879.9
升降一区 温度变化	897	898	899	897	897	886	897	898	899	897	896.5

$$Q_1 = V \times (T_2 - T_{\Delta}) \times J_c \quad (1)$$

其中: V 为区气氛总量; T_2 为区温度设定值; T_{Δ} 为区温度变化; J_c 为炉内气氛比热容。

分别计算出 2、3 号线提升一区气氛温度所需热量 Q_2 和 Q_3 分别为 7880.6 kJ 和 2860.5 kJ。二者之差值

$$\Delta Q_1 = Q_2 - Q_3 = 5020.1 \text{ kJ} \quad (2)$$

最后结果两炉在开启前门后, 恢复温度需要的热量差 ΔQ 为 5020.1 kJ

2) 根据热平衡定律:

$$W = \sum(Q_1, Q_2, Q_3) \times K \quad (3)$$

其中: W 为输入能量; Q_1 为工件有效热; Q_2 为炉墙热损; Q_3 为开门热损; K 为元件热效率, 1.1。

输入能量 W 计算公式如下:

$$W = H \times 3600 \quad (4)$$

H 为每周期耗电量; 工件有效热 Q_1 计算方式如下:

$$Q_1 = G \times (T_2 - T_1) \times J \quad (5)$$

其中: G 为工件装炉量; J 为工件比热容, 0.61 kJ/kg·°C; T_2 为渗碳炉温度设定值; T_1 为预处理温度设定值。炉墙热损 Q_2 计算公式如下:

$$Q_2 = T \times 0.06 \times A \times \frac{(T_2 - T_0)}{\frac{S}{\lambda} + 0.1} \quad (6)$$

其中: T 为周期时间; A 为炉体计算面积, 140 m²; T_0 为炉外温度, 30 °C; T_2 为炉内温度, 900 °C; S 为炉墙计算厚度, 0.38 m; λ 为炉墙导热系数, 0.365 J/s·m·°C。

将式④⑤⑥代入式③, 可以计算出 2、3 号线每天的开门热损耗, 并根据实际生产周期 $T_2 = 35\text{min}$, $T_3 = 27\text{min}$, 算出每周期的开门热损耗, 分别为 9058.2 kJ 和 3488.4 kJ。二者之差值:

$$\Delta Q_3 = Q_{32} - Q_{33} = 5569.8 \text{ kJ} \quad (7)$$

对比 ΔQ_1 及 ΔQ_3 可以看出, 两个数值基本相等。

在热平衡计算过程中, 没有考虑甲醇和丙酮裂解所需要吸收的能量, 因为 3 号线丙酮耗量更小, 所以 ΔQ_1 值偏小, 而 ΔQ_3 值偏大。

(上接第 39 页)

3) Cr12MoV、GCr15 钢高温固溶处理明显改善了碳化物的形态和分布, 为模具的最终淬火、回火处理进行了良好的显微组织准备, 为获得优质模具提供了保证。

参 考 文 献

- [1] 戚正风. 新型高速钢及刀具的开发应用. 2002, 8.
- [2] 德国 J. Grosch, B. Kocjancic 钢的短时间淬火研究, 1983, 11.
- [3] 陈再良, 阎承沛. 先进热处理制造技术. (国外机械工业基本情况) 2002, 3.
- [4] (美国) G. A 罗伯茨工具钢. 1987, 3.

(上接第 43 页)

参 考 文 献

- [1] 机械工业部设计研究院编. 工业炉设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996, 822(2): 901.
- [2] 全国热处理标准化技术委员会编. 金属热处理标准应用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996, 822(2): 901.
- [3] 爱协林工业炉工程(北京)有限公司. 泉涌式淬火装置. 中国专利号 01201950. X.