

热处理节能新技术与展望

天津市鼎元工业炉新技术开发有限公司 (300191) 隋 轶

【摘要】 本文介绍了近年来国内外热处理行业的现状,从热处理工业用炉的设计、选料、热处理工艺以及实例等方面阐述了热处理节能新技术与展望。

近几年来,中国热处理行业得到了极大的发展,尤其是改革开放以来发展得更快。国外先进技术、先进设备的引进极大地推动了中国热处理技术的发展,使中国热处理技术向前迈进了一大步,缩短了与先进国家的差距。但中国的热处理行业目前的状况还远远落后于发达国家,中国热处理的发展还需热处理工作者继续努力奋斗,赶上和超过世界先进水平。

一、国外热处理行业现状

1. 燃气辐射管

目前,欧洲的热处理设备大部分已采用燃气辐射管,使用天然气加热。燃气加热技术和装备在欧洲已十分成熟,天然气烧嘴已有标准系列,由专业烧嘴厂制造供应,并将燃气辐射管的内管由不锈钢换成陶瓷,延长了使用寿命并提高了功率。天然气加热有利于提高能源利用率,降低生产成本。

2. 全自动控制的热处理生产线

为了使工件在生产线上自动地完成所要求的整个热处理工艺过程,被特定设计的连续炉相互连接沟通。炉膛内可多方位贯通,并可使工件料筐转 90°进入下道加热区或过渡保温箱,经传送机构抵达下一工序或进入冷却室冷却。这种炉体结构和传送装置都具有相当高的水平。以可控气氛箱式炉为例,为满足渗碳、碳氮共渗、氮碳共渗、淬火或光亮淬火、以及等温淬火等热处理工艺的実施,料盘和料架上的工件以冷链驱动的方式被自动送入、通过和送出炉膛,在各自的炉子中完成所要求的工艺。箱式炉与相应的计算机辅助测量、控制与调节系统连用,形成各个独立的模块单元,易于相互连接,构成完善、灵活、组合式自动热处理系统。

3. 高压气淬密封箱式炉和多室贯通式密封箱式炉

高压气淬密封箱式炉后室为密封箱式炉结构,前室进行高压气淬。工件在后室保护气氛中无氧化加热或在渗碳气氛中渗碳,在前室进行无氧化光亮淬火。后室炉衬为氧化铝和保温陶瓷纤维,发热元件为卧式并联电热辐射管,顶置炉内热风循环风机,保护气氛可采用甲醇或氮气;前室中部为工件气淬室,下部为进气管道,上部为冷却回风热交换器。前室外侧安装变频调速大功率风机,通过氮气或氦气的快速循环使工件冷却淬火,淬火冷却速度可通过调节风机速度控制。经高压气淬后的工件无氧化、表面呈银灰色、变形小,避免了油淬后所需的清洁等工序。

多室贯通式密封箱式炉由德国的 Ipsen 公司制造。在前室完成预热和渗碳后,工件送入后室淬火,然后直接从后面出炉,减少加热室的空闲时间,以提高工作效率,降低能源消耗。

二、我国热处理行业的现状

目前,国内热处理行业仍是一个能耗巨大的行业,具有“电老虎”之称。工业炉是耗能大户,其能耗占全国总能耗的 1/4,占工业总能耗的 60%。与发达国家相比,在相同的能耗条件下,其产量是我国产量的 5 倍以上。由于我国的能源短缺,所以挖掘热处理设备节能的潜力是节省能耗的必要措施。

1. 国内热处理行业的能源利用率低的原因

(1) 热处理设备陈旧,炉衬蓄热量大,炉壁温升高,散热多,保温性能差。

(2) 工艺保守,设备管理落后。据统计,沿袭传统工艺约占 90% 以上,而使用节能新技术的不到 10%。

另外在设备管理上,设备的负载率和设备的利用低,也是能源利用率低的主要原因。

(3) 热处理工艺装备笨重,消耗大量的能源,大量的废热不能回收利用,且热处理返修率和废品率较高。

(4) 水资源的浪费,国内热处理设备的冷却系统大多采用水进行冷却。

2. 改进的措施

(1) 改造热处理设备,降低炉衬的蓄热能力,减少炉壁的温升,提高工业炉保温性能。例如:天津市鼎元新技术开发有限公司制造的连续式等温正火炉,炉衬为全纤维结构,保证了炉子的保温性能,降低了炉衬的蓄热能力,减少了能耗。

其生产的连续式渗碳生产线的前室是由一个方形且开口向下的前室和一个带有沙封槽的升降台构成。工件由升降台的上升动作提入前室内,同时前室沙封刀插入升降台上的沙封槽,形成可靠的迷宫式沙封结构。

生产线应用了上述结构的专利技术前室(见图1),依靠前室的特殊结构和可靠的密封性能,以及炉内高温气氛向上运动的规律,有效地控制了渗碳炉一区和前室的工艺气氛的外溢,提高了渗碳炉一区内气氛的稳定性,降低了生产线的能耗,提高了生产线的产量和品质。

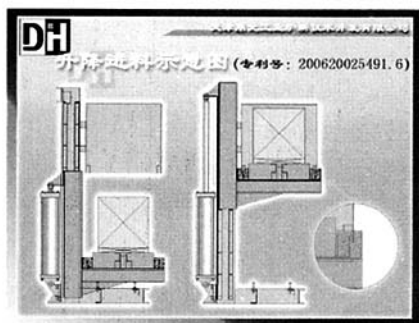


图1 升降进料示意图

(天津市鼎元新技术开发有限公司专利)

(2) 使用先进的热处理工艺,并使设备能够得到充分的利用。例如:天津市鼎元新技术开发有限公司制造的连续式等温正火炉,可以利用工件锻造后余热进行正火处理,这样做不但减少能耗,还提高生产率,同时也使锻后余热得到充分的利用。急冷室的先进设计(专利)是为了利用工件的高温让急冷室内的空气达到一定

范围,使工件的表面和内部的冷却速度均匀,即对冷却速度限制较严格,它要使工件表面和内部的组织转变均在等温炉内完成。这样做的好处是获得理想等轴晶状铁素体与珠光体,晶粒度均匀。

其工作的过程如图2所示:当工件进入急冷室后,该设备的鼓风机与引风机同时工作,引风机把室内的一部分热风引入排风口处(阀门1),另一部分引入混风室;鼓风机引入冷风,一部分冷风通过手动阀(阀门3)直接进入混风室2降低室内空气温度,另一部分通过电动阀(阀门2)进入混风室与混风室的热风混合降低热风温度,再由混风室进入室内对工件进行冷却。在鼓风机风道上设置了两个阀门,即图2中的阀门2(电动阀)与阀门3(手动阀门)。阀门2的作用是对急冷室内温度进行微调,以确保急冷室的温度在一定的温度范围内。引风机的作用是加快急冷室内空气流动的速度;阀门1的作用是控制急冷室内空气的流量。

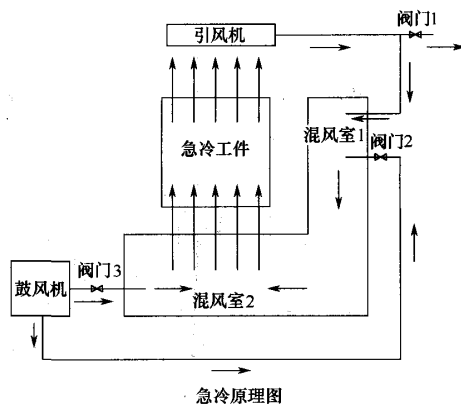


图2 等温正火生产线急冷室示意图

(天津市鼎元新技术开发有限公司专利)

由以上叙述可知,急冷室的冷却能力可以有3个阀门共同控制,在工艺允许的范围内任意调节急冷室的温度范围,因此可以更好地提高产品的质量。

(3) 热处理设备采用油冷。风机冷却、热交换器冷却、淬火油槽冷却等所有需冷却的装置,全部采用油封式自冷,全面取代水冷循环系统,整个热处理炉不用任何冷却水。例如,热风循环风机冷却:将原水冷套进水管改用油管引出,接近风机处放一个 $\phi 102\text{mm}$ 的小油箱,油冷却系统全封闭,当风机轴承有热量增加时,被加热的油比重小,自然向上浮起,引起油自然循环。在

小油箱存油量和自然散热的情况下,热油被冷却后又加入循环,达到在不耗油又不需要动力的条件下完全取代水冷。淬火油槽板式换热器中的水换成冷却油,冷却油受到热油的热交换而被升温,油比重的变化引起冷却油的自身循环,在炉顶的油箱外加上散热片,配合风扇的作,达到全油冷的效果,节约大量的冷却水。

3. 改善工业炉节能工作的几种途径

(1) 改善燃料燃烧状况 燃烧装置是燃料炉的“心脏”,要求高效、节能和高性能。从20世纪80年代至今,我国已自行开发、研制了多种适合国情的燃烧装置,如:平焰烧嘴、高速烧嘴、自身预热烧嘴、低氧化氮烧嘴及蓄热式烧嘴等。它们既能达到高效节能,又能实现低污染,并能适应多种工艺要求,保证炉内温度均匀,满足加热温度曲线,控制炉内气氛,从而保证了产品质量。因此,推广使用这些高性能烧嘴可以取得良好的节能效果。

平焰烧嘴:火焰呈圆盘形状,利用火焰的大面积直接辐射,升温速度快,炉温高,炉子热惰性小,特别适合在高(中)温炉上使用,在周期炉上使用更有特殊意义。

高速烧嘴:利用出口气流的高速($>100\text{m/s}$)搅动,升温快,炉温均匀,排烟口对炉内温度场影响很小,炉膛结构简单,适合中低温炉。

自身预热烧嘴:是一种把燃烧器、换热器和排烟装置合为一体的燃烧装置;它不但供给炉子热量,而且利用了烟气余热,从而达到节能的目的。

蓄热式烧嘴:它由一对烧嘴、一对蓄热体、切换阀和相关控制系统组成;一个烧嘴和一个蓄热体为一组,两组轮换使用,空气预热温度高、节能。

高效余热回收技术及其装置的应用。工业炉在完成工艺任务时,产生大量余热,如不即时回收利用,马上“烟消热散”,不可再利用。燃料炉中烟气带走的热量占总供热量的30%~70%,充分回收余热,节约燃料,是炉子节能的重要途径。一般助燃空气温度每提高 100°C ,可节约燃料5%。

(2) 使用管式换热器 管式换热器是以对流换热为主的换热器,适用于烟气温度在 1000°C 以下的炉子。管子材质根据不同烟气温度和空气预热温度,可选用耐热钢、不锈钢、渗铝钢管和普通钢管。管式换热器形式很多,现有一种“附壁流管式换热器”,预热介质流股与

管壁平行流动,中心流速低,管壁附近流速高,将附面层大面积清扫掉,大大提高了气流对流传热系数,降低了换热管管壁温度,延长了其使用寿命,而且气流阻力损失小,是一种综合性能较好的换热器。

(3) BH技术 它是一项适用于在各种设备和气氛下进行低温快速渗碳或碳氮共渗的节能新技术,使用该技术时只需利用催渗剂进行适当的工艺调整即可。

BH技术与传统催渗技术(如稀土催渗等)有着本质性的不同。BH的核心是通过在渗碳气氛中添加微量的催渗剂,使渗碳介质(丙烷、RX气、丙酮、煤油等)在气氛中产生部分正四价碳离子——正四价碳离子($\phi 0.15\text{nm}$)体积只有碳离子($\phi 0.77\text{nm}$)体积的1/135,因而活性高,在奥氏体中扩散阻力小、扩散速度快。

BH技术的主要特点:

第一,在工艺温度降低 40°C 以上条件下($\geq 810^{\circ}\text{C}$)可保持工件在原工艺温度下的渗速不减。可减少变形(某厂采用BH技术后产品热处理变形精度损失减少了0.5~1.0级),减少产品晶粒粗化倾向,使本质晶粒钢(如:20Gr等)渗碳直接淬火后的马氏体级别得到一定控制,并显著延长设备及其耐热元件寿命。

第二,在同样工艺温度下比常规渗碳或碳氮共渗速率快20%以上,可显著减少工件在高温阶段的保持时间,节约电费,提高生产效率,减少变形。BH-2、BH-3分别适用于 $\leq 4.6\text{mm}$ 和 0.4mm 的渗层;BH-1以稀土为主,因设备腐蚀、滴注孔堵塞以及生产稳定性等问题难以有效地从根本上解决,我们现已将其淘汰。

第三,BH技术可提高气氛中碳的活性,减少炭黑,显著缓解富化剂加空气直生式气氛渗碳中炭黑相对较多的难题,延长了氧探头寿命。

催渗技术是我国学者独立自主开发成功的一项具有国际领先水平的高新技术,国内许多单位都对此进行过多年的研究和探索,但很少能将其实现工业化。

三、展望

目前热处理发展的方向有以下几点:

(1) 少无污染。先进的热处理技术首先应该是对环境没有污染的技术,其中包括清洁工艺、清洁设备和清洁材料等。可控气氛、真空、具有良好的屏蔽的感应热处理是广泛应用的典型清洁工艺。

(2) 少无质量分散和畸变。采用科学的管理和先进的技术可以使工件重量分散降到最低程度。金属制件在

热处理时的形状和尺寸变化是不可避免的, 过大和不均匀的畸变会增加加工余量或使之报废, 所以尽量减小质量分散和畸变是许多热处理工作者终生努力的目标。

(3) 少无浪费。节能的热处理工艺是最有效的节能措施。比如把渗碳温度从 930℃ 提高到 1050℃ 可减少 40% 的工艺周期。在一般电阻炉中这种温度的提高受到发热体和耐热材料的限制而很难实现, 而真空炉中低压渗碳在 1050℃ 施行是轻而易举的事。以氮碳共渗、硫氮碳共渗和氧氮共渗代替渗碳和碳氮共渗, 可把工艺温度从 850~930℃ 降到 550~580℃, 代替一般气体渗氮可把渗氮时间从 30~70h 减少到 1.5~3h。利用锻后余热施行锻坯的调质淬火, 可节约重新加热所需的热能, 而且还能获得改善组织和性能的形变热处理功效。钢件热处理加热时间过于保守的计算必须改变。碳钢和低合金钢施行零保温加热、不均匀奥氏体淬火和加热到 F + A 两相区的不完全淬火都是可行的。

(4) 少无氧化脱碳。绝大多数金属在空气中加热时的氧化会造成金属的大量损耗, 也会破坏制件的表面状态和加工精度。少无氧化加热也是近代先进热处理技术发展的主要标志之一。属于少无氧化热处理范畴的技术包括气氛、真空、感应、流态床、盐浴、激光、电子束和涂层, 包装热处理和燃烧炉火焰的还原性调节。钢件在空气和氧化性气体 (CO_2 、 H_2O) 中加热时, 氧化的同时还伴随着表面含碳量的降低, 即表层脱碳。脱碳的

工件淬火后表面硬度低, 不耐磨, 且表面易形成张应力, 对抗疲劳性不利。少无脱碳加热的工艺方法与少无氧化基本相同, 但对工艺条件的要求比少无氧化严格。因此少无脱碳保护气体只具有还原性还不够, 尚应有一定碳势。

(5) 少无废品。从零件的设计、材料的选择、材料质量的保证、加工过程和工艺路线的确定, 用数据库和专家决策系统优选工艺和设备, 设备可靠性的保证、工艺参数和产品质量的在线控制, 无损自动质量检测系统来完成全部加工和热处理生产过程, 实现产品质量的全面质量控制, 使产品 100% 合格已不是一种梦想。严格的管理、先进的工艺、可靠的设备、精确的传感器及精密控制的成套系统工程, 是实现无废品生产的充分保证。

(6) 少无人工。热处理的人工操作是一种恶劣环境下的繁重体力劳动。人工操作还会造成因人而异的产品质量波动。

全球经济、资源和环境逐渐趋于一体化, 国内金属热处理节能技术在工艺、设备、材料和生产管理等方面都取得巨大的进步, 但与国际先进水平相比还有较大的差距, 而且我国能源、环保都面临很大的压力, 工业炉加热技术及装备水平也面临极大的挑战。让我们为工业炉发展, 走科技含量高、经济效益好、能源消耗低、环境污染少的可持续发展道路而共同努力。热

(20061208)

(上接第 40 页)

(4) 冷却均匀性好 快速风冷中, 工件放置的远近、迎风和背风的不同, 都会影响到冷却的快慢。而在匀速冷却液中冷却, 浸没在其中的工件和工件的不同部位, 都容易获得基本相同的冷却效果。因此, 冷却的均匀性都会更好。

三、匀速冷却液的应用举例

(1) 某厂一组 20CrMnTi 的齿圈锻件, 经过 930℃ 正火加热后, 在匀速冷却液今禹 S2 中冷却 25s 后, 转入 630℃ 的箱式炉中等温 1.5h, 随后空冷。测得该组工件的金相组织为少量铁素体加珠光体; 硬度值在 186~196HBW 之间。

(2) 长期以来, 某厂生产的 8620 齿轮锻件中, 尺寸稍大的, 在等温正火生产线上做等温正火后, 硬度通

常在 140HBW 附近, 很难达到 160HBW。但是, 改在匀速冷却液今禹 S2 中冷却 30s, 装入箱式炉中 620℃ 等温 2h, 获得的正火硬度为 180~190HBW, 组织为均匀的较细珠光体, 只有极少量的先共析铁素体。

(3) 某厂一组齿坯锻件经正火加热后, 在匀速冷却液中冷却 30s, 随后 620℃ 等温 2h。检查结果: 硬度在 191~198HBW 范围, 金相组织为少量铁素体加珠光体。

四、结语

匀速冷却液是我公司经多年研究而开发成功的新产品。匀速冷却液在钢件正火等场合的应用技术也是我公司开发的新技术方法。匀速冷却液产品与上述应用技术都已申请了国家发明专利。热

(20061201)