



低真空变压热处理技术的特点及其发展

佛山市扬戈炉业有限公司 (广东 528000) 戈茂庆 杨志文

一、前言

热处理质量取决于热处理工艺,正确完成热处理工艺取决于热处理设备。先进的热处理设备不仅应正确完成热处理工艺,而且应兼有节能和防止污染的特点。

20世纪40~50年代的“老三炉”(老式箱式、井式和盐浴炉的简称),现在仍占领着我国大部分热处理领域,数量达5~6万台。在全国年产9000台热处理设备中,“老三炉”的结构仍占80%左右,先进的真空炉、可控气氛炉(包括保护气氛炉)的产量不超过10%。因此,为行业提供一种热处理质量好、节能、防止污染、经济效益高且投资较少并符合国情的热处理设备就显得十分迫切。

上世纪50年代中期,笔者在工具钢的试验研究过程中曾进行过真空加热(真空度为 1.33×10^{-6} Pa),80年代初又研制高速钢工具的低压氧氮共渗处理技术(包括设备和工艺),深知低真空加热的优越性。90年代结合我国实际情况,我们研制成功了低真空变压热处理技术(包括设备和配套工艺)。用此技术制造的热处理设备在1998、1999年北京国际热处理展览会上被誉为具有中国特色的热处理技术。

低真空变压热处理专利技术的本身是热处理行业“老三炉”的新陈代谢和常规热处理工艺的吐故纳新的结果,是把低真空热处理的优点和变压热处理的优点结合在一起的创新技术。实践表明,此项技术是质量型、节能型、环保型、安全型和经济型的热处理工艺装备,既符合国情又迎合更精、更洁、更省的发展潮流。

二、低真空变压热处理技术的特点

所谓真空热处理是把工件放在低于大气压力条件下加热到所需温度,然后以不同冷速进行冷却的方法。鉴于本公司研制的热处理炉的最高真空度为

10~20kPa,它较常用的真空炉的真空度 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ Pa相差了很多倍,为此把我公司生产的热处理炉称为低真空炉。用低真空变压原理制造的SLV型和WLV型炉,可克服“老三炉”存在的缺点,并拥有真空炉和可控气氛炉的一些优点,既可在一定程度上实现无氧化加热,又可实现可控气氛加热,而且兼有售价低、维修容易的优点。此外,此项技术还拥有自动改变炉压的功能,从而达到快速排气和提高渗碳、渗氮速度的目的。这种专利设备在工作原理、设备结构和热处理工艺三方面同“老三炉”不一样,现将其特点叙述如下。

1. 工作原理

80年代初,在研制高速钢工具氧氮共渗技术时,开始用低真空原理制造设备和试验配套工艺,当时称低压氧氮共渗技术。工件在设定的低真空上下限范围加热,炉气在设定的时间周期内自行反复吐故纳新,解决了工件在氮化、渗碳过程的密装生产、炉气老化、渗层不均匀等难题。而后适当增加炉压还可增加N、C原子渗速,从而开发出在低真空变压的基础上增加正压变压的工艺。这种先在低真空范围变压加热,接着进行正压变压加热的工艺及其设备称之为低真空变压热处理技术。此技术用在SLV型少无氧化加热炉也是有效的,炉膛在低真空至正压大范围变压加热,以中性气体迅速置换炉膛中的空气、水分等氧化物,而后充以工艺规定的渗剂使工件在设定的气氛中加热,加热后如果在炉内冷却可实现无氧化、无脱碳淬火。如果加热后在炉外冷却,则工件从炉中取出时和空气接触,产生少量氧化而实现少无氧化加热。

2. 设备结构特点

(1) SLV-I型低真空变压少无氧化加热炉

此炉采用无罐式结构,最高加热温度为1150℃(分箱式和井式两种炉型),耐火炉衬砌在炉壳内与侧壁脱离,这是一种特殊结构的冷壁式炉,而不必像真空炉那样整个炉壳通水冷却,而仅在炉门密封



处通水冷却,从而使水耗和电耗显著减少。安装自动换气装置,可实现自动进排气。炉门同炉体接触处用橡胶密封,炉衬采用装配式结构,多用陶瓷纤维,尽量少用耐火砖,并在其外表涂多晶矿化黑陶瓷涂料。增设内炉门,炉底中部安装布气盘,让中性、惰性气体自行定量、定时地进入炉膛,也可从炉顶滴入有关保护液,使工件加热后达到少、无氧化的要求。后墙和炉顶装配热电偶,分别用于控制和记录炉膛温度。采用智能化程序控温,具有超温报警、超温断电、自动复位及输出功率自动调整等功能。中温炉的电热元件为螺旋管形,高温炉用弓形丝或带,对于炉膛表面积小者采用低压供电。

同常规高温炉(RX3, RJ2)比较,SLV-I型炉有如下特点:

①在箱式炉后墙和炉顶安装电热丝,加上内炉门挡热,使炉温均匀度达到圆形炉膛的水平。井式炉的炉盖为双层,上层为密封盖,下层用来绝热。

②炉子不漏气,工件进炉后,高效率的低压变压排气充气系统可很快排除炉膛中的空气和水蒸气,而后自行注入适量有机液体,彻底消除炉膛中的残余氧和水份,工件即使长期加热也无氧化皮产生。

③炉衬采用特殊形状的轻质捆丝垛,尽可能少用耐火砖,陶瓷纤维占整个炉衬材料的1/2以上,炉子蓄热和散热少,升温快,保温好,热效率高。

④采用智能化仪表控温,输出功率自动调节,保温时的功率只需额定功率的1/3~1/4;具有超温报警、超温断电、自动复位等功能,控温精度达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。按用户要求对于大型模具可用电脑进行程序控温。

⑤用途广,柔性大。除了替代在空气中加热的箱式电阻炉外,可用来处理各类模具(指热处理后需要磨加工的模具),而不用真空炉和盐浴炉,显著降低生产成本(同真空炉比较产量提高一倍,处理成本降低1/2~2/3),降低电耗和防止污染(同盐浴炉比较,电耗降低50%左右)。

(2) SLV-II型低真空变压少无氧化加热炉

此炉型的外形和SLV-I型相似,是在SLV-I型基础上采用改进的一项新专利技术(炉用电阻发热体)制成,除保留SLV-I型原来的优点外,还具有以下新的特点:

①不用电阻丝或电阻带,采用电阻发热体。此

电阻发热体既作为炉膛壁,又是发热源。

②发热体的外壁直接用高质量陶瓷纤维包裹绝热,使炉的外形尺寸缩小,占地面积小,热损失小,重量轻。

③电阻发热体用36V以下的电压供电,安全性好。整个炉壁发热,升温快($10\sim 16^\circ\text{C}/\text{min}$),从室温升至 800°C 仅需1h左右。

④从炉底微孔布风装置通入一种或多种所需气氛,可进行无氧化加热及化学热处理,使炉具有多用性。

⑤此炉型是盐浴炉的理想代用品,把盐浴炉原有的变压器及温控装置稍加改动便可服役。电耗降低3/4,无污染,工作场地清洁,工件加热过程无氧化脱碳。

可替代流态粒子炉,既适于单件生产,又能进行批量生产,碳钢、合金钢及高合金钢(加热温度 $\leq 1100^\circ\text{C}$)工件均可进行无氧化、无脱碳加热。

大部分模具均可用此炉型进行加热淬火,而不必用真空炉或盐浴炉加热,降低了热处理成本(同真空炉比较,成本降低4/5左右),可实现绿色热处理。

(3) WLVI型低真空变压表面处理多用炉

此炉最高温度 650°C ,不漏气,靠大气压力压紧炉盖,无须机械锁紧装置。在负压下渗剂自动扩散到各处,无需风扇。深井炉从炉罐两端定时交替通气,可同时吸入二种气体和三种液体,实现多元共渗。温控方式采用智能化程序控制,多区控温,输出功率自动调整,超温报警,超温断电,自动复位,最高控温精度可达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。主回路采用过零和移相互换,对电网干扰较小。炉衬采用新的绝热材料,内壁涂红外辐射涂料,升温快,电耗少。真空泵抽出的废气经水处理后排出,从而可避免大气污染,属清洁热处理。采用陶瓷纤维捆丝垛炉衬,升温快,电耗少。炉气采用静态自动控制,其他工艺参数全部自动控制。对于渗层厚度和硬度要求严格的产品,可以安装密封电动机和氮势控制仪。

(4) WLVI型低真空变压渗碳炉

WLVI型炉是从WLVI型发展而成,外形及结构相似,不同处是加热温度较高(950°C),炉罐和装料管用耐热钢($\text{Cr}25\text{Ni}20\text{Si}2$)制造。此炉型主要用来对机械零件及某些模具配件进行渗碳和碳氮共渗处理,也可用作碳钢和合金钢工件的无氧化、无脱



碳加热（加热温度 $\leq 950^{\circ}\text{C}$ ）。

WLV-II型炉同常规渗碳炉比较，有如下不同：

①服役过程炉压是变化的。采用抽气量大的通水真空泵，迅速排除工件周围不利于渗碳的老化气氛，而后在设定的时间内自动注入设定数量的渗剂（气体或液体），进入炉膛（炉罐）的渗剂迅速变成过热气体，并自动扩散到各处，无死角，即使是工件上的小孔、盲孔及压紧面渗剂原子也能进入。

②当渗剂进入炉罐并自动扩散的同时，炉压自行升高，并在设定的压力范围保持规定的时间，加速碳原子的渗入。当炉气将要老化时，抽气阀自动开启，又迅速排除老化气氛，随后再自动注入规定数量的新鲜渗剂并保持在设定的炉压范围内。如此自行循环运行至工艺上规定的周期为止。

③工件可密装，可快速排除炉罐内的空气（排气时间缩短3/4）。由于炉子不漏气，防止了内氧化，不产生黑色组织，提高了渗层质量；碳氮共渗时无发黑，渗碳时发黑很少。

④若装炉量固定（按工件的表面积计算），只要按工艺规定，定时、定量自行吸（或注）入新鲜渗剂便可控制炉气成份。只要渗剂的成份固定并把碳势保持在高于 γ 区极限固溶碳量，便可控制渗层质量。这种简单易行的控制方法可以减少设备投资80%以上，而且控制系统经久耐用，维修费用极低。对于渗层质量要求高的产品，需安装碳势自控仪精控碳势。

⑤废气经真空泵抽出入循环水箱，由循环水箱中的化学物质（硫酸亚铁等）消除可能存在的氰根后排出，不污染大气和水源，无明火，工作场地清洁。

⑥除低真空变压使炉气自行流动外，炉盖上安装密封电动机带动炉罐中的风叶，进一步提高炉气及炉温的均匀度。采用装料筐不用导流筒，增加装炉量。

3. 热处理工艺上的特点

优良的热处理工艺，应在保证热处理质量前提下，具有清洁，节能，少无氧化，密封生产，及快速、高效和低耗等优点。同低真空变压炉配套的工艺具有如下优点：

①加热过程的低真空变压，可借助中性气体迅速排除炉膛中的空气，而后再以少量的有机液体或

液化气消除炉膛中残余氧和水蒸气，实现工件的少无氧化加热。辅料消耗比常规的可控气氛炉（或保护气氛炉）减少50%以上。

②化学热处理时借助低真空变压渗剂可定向流动的特点，在迅速排除工件周围的老化气氛后，新鲜渗剂立即迅速扩散到炉膛各处，工件上的小孔、盲孔孔壁及压紧面均可得到满意的渗层，从而实现工件密装生产。

③可将单一元素的炉气迅速改变为两类元素（强化型元素和润滑型元素）的多元素共渗气氛，并在质量和数量上予以精控（质量上控制就是控制炉气各成份的百分比，数量上控制就是控制炉气的总压力），从而很容易实现工件的少无氧化加热和可控气氛加热。由于几种元素同时渗入的互相促进作用，渗速加快，工艺周期明显缩短。

④按适当提高炉压可缩短氮化和渗碳时间的事实，低真空变压设备可随时迅速把炉压调至渗速最高的范围，从而缩短工艺周期，实现快速、高效和低耗的化学热处理。

⑤低真空变压处理过程，可随意改变炉气成份，实现可控气氛加热。

⑥处理过程可随时打开炉盖取出试样或工件检查其硬度和金相，合格出炉，不合格继续处理，从而保证每一炉的质量。

三、使用情况

根据低真空变压热处理的特点，结合我国热处理行业的现状，此项技术可能是迅速改变我国当前热处理设备和工艺落后状态的捷径，符合多快好省的精神。

本公司采用低真空变压热处理技术，已为国内兄弟企业解决了一些生产中的难题。

如山东丛林集团在解决万吨挤压机（挤压铝合金）模具的热处理设备（H13的淬火、回火和表面强化）的招标会上，扬戈公司的热处理工艺技术一举中标。

扬戈公司为贵阳西南工具厂提供了一台低真空变压表面处理多用炉及有关的热处理工艺，解决了量块的表面强化问题。

低真空变压热处理用在结构件上同样得到用户的青睐，实例如下。

（1）广东力源液压机械有限公司生产大、中型



打春机,其锤头重达 2500kg,用中碳合金钢制造,调质后的表面强化处理在低真空变压炉中进行,表面硬度高达 650~700HV。广东科达机电股份有限公司生产的 5000kg 重的活塞头也将在低真空变压炉中进行复合强化处理。

(2) 重庆犬盛金属制造有限公司生产大量为摩托车、轿车配套的薄壁零件,零件的表面强化处理在低真空变压炉中进行密装生产,并实现绿色热处理。

(3) 重庆长安汽车制造有限公司购买的低真空变压表面强化炉,用来生产轿车零件。

四、低真空变压热处理技术的发展

低真空变压热处理技术(包括设备和配套工艺)是综合主、客观的实践经验,并结合我国实际情况研制成功的,是处于发展阶段的新事物,尚在不断完善。这种专利技术发展的空间和潜力很大,我们还把热处理行业的“十五”规划和“2015”年发展设想的具体内容作为此项技术今后的发展方向。

(1) 在少无氧化加热方面,主要发展大型工件的少无氧化加热,例如超过 5t 重的模具和工程机械用的大型锤头的淬火和表面强化。这类产品采用低真空变压加热炉,可以使它不漏气。使用专利中采用的真空泵(加大容量或多台联合使用),可以使炉膛达到本公司规定的真空度要求而实现少无氧化加热。

我们的表面强化技术可以进行超大型模具、巨型工程机械要求耐磨的零件和船用大型曲轴等渗氮、氧氮共渗、氮碳共渗等处理。

(2) 研究进一步提高加热温度 提高低真空变压热处理炉加热温度的关键是炉用材料,它们在低真空条件下需具有足够的高温强度、抗腐蚀和抗渗碳能力,而且要廉价。

现在炉子的最高加热温度为 1100~1150℃,今后将逐步解决在 1200℃、1220℃、1250℃、1280℃温度下长期加热的炉用材料,这是个难题,我们将努力探索,力争尽快解决。

(3) 炉内冷却 现在的少无氧化加热炉是炉内加热炉外冷却,尽管加热过程不形成氧化皮,但在冷却时仍需和空气接触而产生少量氧化脱碳,这对于热处理后需磨加工的模具是适用的,但对于高精

度形状复杂的模具必须在无氧条件下冷却。制造炉内冷却的低真空变压热处理炉是我们的计划内容之一。

(4) 缩短渗碳时间 缩短渗碳时间是热处理工作者的普遍愿望,实践早已证明,渗碳温度提高到 1050℃,只需 45min。20CrMnTi 钢的后桥齿轮的渗碳层深度可达 0.8~1.2mm,而 20CrMnTi 钢的加热温度 $\leq 1050^\circ\text{C}$ 时晶粒不会长大。因此,提高 20CrMnTi 钢的渗碳温度,从而缩短渗碳时间是可能的。本公司用 20CrMnTi 钢在 1020℃渗碳 60min 后渗层深度为 0.75~0.8mm,这是在 SLV-II 型炉上所做的试验。研制适用于实际生产的炉子结构(最高加热温度 1050℃)是今后要做的难度很大的科研工作。

(5) 精控炉气、精控显微组织 众所周知,精控炉气是为了精控热处理工件的表层显微组织(氮化层、渗碳层、脱碳层等)。在这方面有国家标准和行业标准可遵循,标准有高、有低,标准的含义是产品生产厂家和使用者之间对产品质量要求的矛盾的统一,质量标准太低使用者不满意,质量标准太高,产品成本太贵或生产不出来,使用者也不会满意,所以能同时满足双方要求的标准才是最佳标准。

低真空变压热处理炉,在炉气控制方面可随时快速调整炉气成份,可按产品质量最佳标准来生产,可用静态控制法控制炉气,生产多数工模具和机械零件。对于质量要求高的产品可以安装碳势、氮势自控仪,以精控产品表层的显微组织。

五、结语

按现代热处理设备的发展方向——清洁、精密、节能和质量控制四个方面来衡量,低真空变压热处理设备是实现绿色热处理的清洁设备,是炉温均匀度 $\leq \pm 5^\circ\text{C}$ 、可精控炉气从而可精控氮势、碳势的精密热处理设备,属于热效率高的节能热处理设备,是可精控质量的热处理设备。此外,它又是既符合国情又符合发展方向的热处理设备。

发展是硬道理,不断完善和提高低真空变压热处理技术,使之不仅成为我国热处理行业“老三炉”的新陈代谢和常规热处理工艺的吐故纳新,而且成为能和国外设备争夺发展中国家市场的外销产品。

(20021218)