

我国热处理装备技术战略发展初探

——学习《美国热处理技术发展路线图》后的启示

吴光治

南京摄炉(集团)有限公司, 南京 210033

摘要: 在当前全球性的金融危机和我国拉动内需保经济发展的形势之下, 面对挑战和机遇, 作者学习了《美国热处理技术发展路线图》以后, 从中得到了许多重要的启示, 针对我国热处理装备技术发展和自主创新的若干战略发展问题作了认真思考和初步探讨, 主要包括热处理的节能环保和滴注式气氛密封箱式多用炉的技术创新等。

关键词: 战略发展; 路线图; 热处理装备; 节能环保; 密封箱式多用炉

当前, 面对全球性金融危机, 我国经济不可避免地受到一定的冲击, 近期国家相继出台了十多个行业的振兴计划, 投入巨资拉动内需, 保增长。如何面对当前挑战和机遇, 本人认为应当十分重视我国热处理技术的战略发展问题的研讨, 以推动我国热处理装备的技术的进步和行业的科学发展。

学习了美国《热处理技术路线发展图》和樊东黎先生在《金属热处理》(北京)和《热处理》(上海)发表的“美国热处理技术发展路线图概况”和“美国热处理技术发展路线图在行动”及“我国热处理行业‘十一五’发展规划纲要和2020年设想”等文章之后, 从中得到了许多重要的启示, 感触颇深, 引发了关于热处理节能环保和密封箱式多用炉的技术发展问题的思考和探讨。

世界工业发展表明, 制造技术的先进性是产品竞争能力的保证, 而热处理技术的先进程度, 则是保证机械产品质量的关键性因素。

美国是世界上头号工业化大国, 其政府和业界对热处理行业都非常重视, 历经数年时间制订了“美国热处理技术发展路线图”, 它确是国际热处理界的一个重大事件。美国热处理2020年设想目标是能源消耗减少80%, 工艺周期缩短50%, 生产成本降低75%, 热处理实现零畸变和最低的质量分散度, 加热炉使用提高到原先的10倍(增加9倍), 加热炉价格降低50%, 实现生产零污染。该路线图的技术跨度大、目标明确、内容全面、措施落实、难能可贵, 值得学习和借鉴。

随着机械产品市场的激烈竞争, 热处理技术发展十分迅速, 如今我国机械产品和世界先进水平之间存在的差距达20年, 热处理装备与技术还十分落后, 和美国的水平存在着很大的差距, 显然, 我国热处理技术赶超世界先进水平任重而道远。本文拟对我国热处理装备中的两个有关技术进步和自主创新问题作了初步探讨。

1. 热处理节能环保

我国是世界上第二能源消费大国及资源消耗第一大国。目前我国创造的GDP(1美元)所消耗的能源是日本的11.5倍、德国和法国的7.7倍、美国的4.3倍, 远高于印度、巴西等发展中国家。我国的能源利用率低下, 已造成每年1200多亿美元的损失。

众所周知, 钢件热处理的奥氏体化(或固溶处理)过程通常在900~1100℃之间进行(高速钢淬火加热需1250~1280℃), 铝合金的固溶化处理在500℃以上的温度, 所以热处理过程中的耗能是非常巨大的。

我国热处理企业的工艺装备陈旧落后, 众多的加热炉系炉龄达三、四十年的箱式、井式、盐浴炉(俗称老三炉)。设备老化, 能耗很高。而高效、优质、低污染、环保型的气氛炉和真空炉等占不到热处理设备总数的5%。美国等发达国家对热处理工艺过程的控制已向自动化、智能化和柔性化发展, 而我国不少企业仍凭借经验, 人工操作。由于历史的原因, 许多企业大而全、小而全, 热处理的社会化、产业化及规模生产尚未形成。因而, 生产效率低下, 比美国差26倍, 设备利用率和负荷率不到30%, 而能耗却比美国高出40%以上。

热处理是制造业的耗能大户。通常, 热处理用电占企业用电总量的25%~30%, 工具、轴承厂等约占60%左右。我国热处理的单位能耗一般在800kW·h/t以上, 而美国、日本、欧盟等工业发达国家都在400kW·h/t以下, 两者相差十分悬殊。

美国热处理技术路线发展图2020年目标之一是能耗要降低80%。我国的能源资源有限, 节能降耗应当成为热处理行业的头等大事, 而且是今后热处理发展一贯坚持的重要方向。

热处理又是制造业的环境污染大户之一, 热处理对环境的污染十分严重。主要的污染形式有空气污染、水污染、固体废弃物污染、辐射污染和噪声污染等。据不完全统计, 全行业每年大约有5000t淬火油由于蒸发或局部燃烧, 产生对人体有害的CmHn(碳氢化合物)、CO及烟尘等; 大约有近万t的废淬火油因排放不当而污染江湖河海; 每年盐浴炉要生成盐蒸气7000多t和近万t的有害的废渣; 燃煤加热炉要排放SO₂1.5万t, 灰分8.5万t; 喷丸(砂)机要产生SiO₂和有害粉尘1万多t。近年来, 由于热处理厂点的改制, 市政动迁, 污染正逐步

从中心城区向郊区农村蔓延。

节能减排将是我国较长时间的一项基本国策，又是我国经济可持续发展战略的主要部分和重要保证。

我国热处理的能耗很高，污染环境严重，所以加强热处理的节能和环保已是行业的当务之急，解决问题的途径主要有：

1.1 推广采用高效节能先进的热处理设备

先进的热处理设备如多用炉、网带炉、离子氮化炉、真空炉等，这些设备在保证零件热处理质量的同时，也取得了节能环保的效果。对热处理炉，可以采取的措施主要有：合理选择能源，合理选择炉型，连续式炉比周期式炉好，圆型炉膛比方型炉膛好；充分利用余热（如钟罩式炉的一炉罩多炉台就是一种充分利用炉罩余热的节能炉型）；优化炉体结构设计，减少热损失，提高热效率；尽可能采用蓄热少、绝热性好的轻质耐火材料炉衬，如用耐火纤维对炉衬进行节能设计，采用密封炉体结构，防止漏气和吸入空气；燃烧过程的优化，合理选择和控制在燃烧系数；采用红外辐射涂料涂层，用于轻质砖和纤维的复合炉衬可节能50%左右，用于燃料炉可节能10%~30%，升温时间减少20%~40%；减少热处理工卡具所造成的热量损失等。

1.2 采用高效节能的热处理工艺

可以采取的措施主要有：严格控制铸锻成形工艺改善显微组织，减少或取消某些预备热处理；充分利用铸、锻工序后的余热进行处理；采用表面或局部热处理取代整体热处理；加速化学热处理过程：提高渗碳温度、直生式气氛、金属表面活化催渗技术、离子轰击（离子渗C、N）、化学催渗技术（稀土催渗法）；合理规定表面有效硬化层深度；用碳氮共渗代替渗碳，用铁素体状态下的化学热处理代替奥氏体状态下的化学热处理；亚共析钢的两相区加热淬火；在罩式退火炉中采用H₂代替氨分解气氛，改善热传递过程，提高生产率；缩短结构钢的加热保温时间；轴承钢、工具钢、高速钢采用高温短时快速退火；应用计算机模拟技术和计算机动态控制技术，优化热处理工艺过程，以实现优质、高效、清洁和精确热处理。

随着经济的发展，我们要依靠科技进步、自主创新，不断研究热处理的新工艺、新设备，研究开发各种节能、高效、环保型的热处理设备。如利用高频和超高频脉冲及激光热处理设备，电子束处理，离子轰击化学热处理及计算机的应用等都为提高我国热处理水平开拓了广阔的技术创新空间。

现代制造业中，热处理必须走社会化、专业化之路。要运用材料科学工程，更换传统材料，采用新钢种材料。要采用高新工艺技术，不断研发新型设备。特别要转变观念，不断增强环保与节能意识，通过节能降耗减排，实现零污染，取得与环境友好的效果和低成本的良好性循环，实现和谐科学发展。

2. 滴注式气氛密封箱式多用炉及其机组的技术创新

随着科学技术的进步，使我国的热处理生产技术发生了深刻的变化，当前，可控气氛热处理是热处理生产技术发展的重点之一。在少无氧化热处理技术的发展趋势中，首推可控气氛热处理，它仍然是先进热处理技术的主要组成部分。

热处理现代化的关键是少无氧化。采用可控气氛热处理，可以实现少、无氧化和无增、脱碳加热，使工件表面光洁，没有化学成分变化，同时，可以控制各种化学热处理工件的表面成分和产品质量。实际上，在少品种、大批量生产中，尤其是碳素钢和一般合金结构钢件的光亮淬火、退火、渗碳、碳氮共渗及氮碳共渗等仍然以应用可控气氛为主要手段。

在各种热处理炉中，密封箱式多用炉的市场的需求量在不断增加，它的旺热乃缘于汽车、摩托车、采掘和工程机械、机车车辆以及战车制造业已经兴起的热处理技术改造。

先进的工艺装备既是先进的热处理生产技术的载体，又是优质、高效、节能、低成本和清洁生产的基本条件。依靠科技创新，不断研发制造高性能、高寿命、优质可靠的高端热处理设备，不断满足市场的需求，使企业本身获得了可持续发展，这永远是我们的目标追求。

南京摄山电炉总厂生产密封箱式多用炉已有20多年历史，依靠技术进步，通过分析对比、消化吸收国内外新技术新工艺，结合我国国情，自主创新，研发成功了NS88-900系列的滴注式气氛密封箱式多用炉（简称多用炉）和微机控制密封箱式多用炉机组（简称多用炉机组），产品荣获国家优秀新产品奖和优秀机械电子产品称号，已经进入国际市场。

多用炉是本机组的主要设备，可以单独使用。它由加热室、前室、淬火槽及推拉料机构等所组成。前室既是装料的过道，又是工件的淬火室，其下方是淬火槽。前室和加热室之间由密封良好的闸门隔开。

多用炉机组由多用炉、清洗机、回火炉、装卸料车、移动小车及计算机控制系统所组成。多用炉可以一炉多用，有着广泛的适应性，可以进行钢件的渗碳、碳氮共渗及光亮淬火等热处理，多用炉机组尤其适用于大批量生产的零部件、薄壁工件、实心工件以及表面碳浓度及渗层深度要求精确控制的各类工件。

多用炉机组的生产柔性大，可以单列或双列组合布置，以适应不同工艺和生产能力的需要。

对于同一炉次、炉膛内不同位置放置的工件及不同炉次处理的工件的质量（包括硬度、畸变、渗层、淬硬层等）的分散度也是一台热处理设备优劣的重要标志。美国2020年的热处理就有热处理质量分散度达到零（非常小）的目标。为此，就要求对热处理炉的测量控制精确度，有效加热区温度均匀度、生产节拍的稳定性、加热和冷却介质、炉气碳势、钢件碳浓度梯度等施行严格的限定、精确的计算机模拟和适时的自适应控制。

多用炉机组的微机控制系统由管理微机、控制微机及程控执行系统所组成，分别完成参数管理、气氛控制及动作执行等功能。三大系统通过通讯线路及协议软件构成一个完整的系统，从而实现多用炉机组的智能化控制。

众所周知，计算机能够解决热处理生产过程中的许多问题，在本多用炉机组中，全中文界面的计算机控制系统，可以进行工艺程序和工艺参数的优化、工艺的制定、编辑及存储调用以及过程的模拟和控制；可以对炉子进行监控，实现多用炉的群控，实现人机对话，确保炉子的正常运行；可对各种数据记录和分析，保证热处理质量；可以实现多用炉机组的无人自动化操作，并设有故障报警、记录和故障点指示等。

多用炉机组的温度控制含有“专家”PID调节，采用调功控制模式，可对加热炉温度、淬火油温度、回火炉温度、清洗液温度等进行精确的实时控制，其中以加热炉温度控制尤为重要。加热炉温度的控制要求精确，控制点能够代表工件加热的温度。

温度控制的准确性直接影响到工件渗碳的质量，如果渗碳温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 波动，将导致气氛碳势 $\pm 0.07\% \text{C}$ 波动。温度波动愈小，碳势的波动愈小，所以提高温度控制的精度，可以减小气氛碳势的波动，从而保证零件的渗碳质量。

气氛控制，可用红外仪和氧探头作为传感器进行多元控制，对气氛碳势、渗碳层深度做到精确控制。

对多用炉及其机组的技术创新，作如下的技术思考和探讨：

2.1 炉子的密封性和气氛均匀性

一台高水平、高质量的多用炉应当具备：(1)密封性能良好；(2)气氛稳定，成分波动小；(3)炉温控制精确，炉温均匀性好；(4)监控系统反映及时而准确。

无论是渗碳淬火还是光亮淬火，多用炉的密封性和气氛的均匀性都是非常重要的性能。只有均匀而良好的气氛才能保证工件表面渗层的均匀性、成分的一致性。炉子的密封性影响着气氛的均匀性，最终决定着工件的热处理质量。为了保证气氛的均匀性，炉内必须强制循环。

我们将多用炉的炉膛把方形结构改成圆形结构，圆形炉膛的炉壁表面积同比方形炉膛小14%~19%，成形焊缝减少60%，可减少因焊接不良或膨胀不一的漏气隐患。圆形炉膛无贮气死角，提高了炉内气氛的均匀性，同时也提高了热能的利用率，节省了电耗。

2.2 气氛碳势控制

前些年，使用滴注式气氛渗碳在国内已经达到相当普遍的程度，尤其是氧探头碳势控制仪的问世，使用密封箱式多用炉和密封井式炉进行渗碳已经成为一种趋势，并取得了明显的效果。

渗碳时需要精确控制的工艺参数是气氛碳势。在渗碳过程中气氛碳势过高，渗碳工件表面容易形成网状碳化物；气氛碳势过高，表面碳浓度梯度太陡，渗碳层表面容易疲劳剥落，都将降低零件的使用寿命。气氛碳势太低，渗速降低，渗碳时间延长，也影响工件的渗碳质量；在加热淬火，气氛碳势高于工件表面的含碳量，工件表面将增碳，反之工件表面将脱碳，改变了工件表面的性能。要保持工件在加热过程不增碳、不脱碳，气氛的控制必须准确而精确。

多用炉渗碳气氛控制，可使用氧探头、红外仪、露点仪及电阻探头等，使用较好的是氧探头和红外仪，而露点仪和电阻探头则使用较少。

氧探头系把所测得气氛的氧势值送到碳势控制仪，根据炉温和氧势值计算出气氛碳势值，将工艺设定碳势值与所测得碳势值进行比较，输出信号调整气氛碳势。

在滴注式气氛或直生式气氛渗碳，当渗碳气氛中甲烷含量较高时，单独使用氧探头控制，容易产生碳势失控，此时应采用联合控制的方法进行气氛碳势控制，即使用氧探头测得氧势，红外仪测得 CO_2 值并和炉膛温度一起传送给碳势控制仪进行运算，最终得出的碳势值才真实反映气氛碳势，这样才不会产生气氛碳势的失控。所以密封箱式多用炉的气氛碳势控制，选用氧探头和红外仪进行联合控制，从单参数控制，发展为氧势- CO_2 -温度三参数控制，从而保证控制的准确性和精确性。

3.3 关于滴注式气氛和密封箱式多用炉

众所周知，滴注式气氛是将滴注剂直接滴入炉内，经热分解产生的载体气，并可用富化气（剂）调节气氛的碳浓度，可以进行中小零件的渗碳、碳氮共渗、光亮淬火、球化退火及复碳等热处理工艺。

以甲醇基为主的滴注式气氛，因气氛碳势可控，渗速比较高，工艺操作简便，在渗碳、碳氮共渗以及奥氏体和铁素体氮碳共渗等化学热处理中获得了较为广泛的应用。

近年来，在汽车、航空、兵器、模具和基础件行业技改的拉动之下，其他行业热处理技术改造和设备更新高潮也会接踵而至。而设备更新是企业技术改造的有效途径，设备更新的主要出发点应当是节能环保、高效可靠、少无氧化、少无质量分散以及性价比合理。目前，企业技术改造的高度和深度已经开始出现明显的变化，大多数企业已经不满足于常规技术和设备的新旧交替，而是倾向于一步一个台阶，迈向更高的境界，优先选购技术水平高、优质可靠及节能环保热处理设备，以达到高水平的生产目标。

由于密封箱式多用炉有很大的工艺灵活性，其炉温、程序和气氛的控制精度高，能适应各种零件的批量生产，因此，它是各类可控气

氛炉中应用最广、产量最高的炉种。

密封箱式多用炉采用滴注式气氛热处理，与带有气体发生炉的吸热式气氛热处理相比，由于不需要发生炉，具有节能环保，设备投资及使用费用比较低，上马快，操作、维护及原料供应方便等优点，它是实现优质、高效、节能、低成本和清洁生产的先进热处理设备，所以是中小型热处理企业的技术改造与设备更新以及提高产品质量最为适用的炉型和品种。

密封多用炉改进方向之一是进一步促使多用。为了能处理模具和不锈钢件，许多用户要求将多用炉工作温度提高到1050~1100℃。其次，为提高生产效率，也有用户要求将一次装炉量提高到1500~2000kg。为了降低热处理件质量分散度，最好能使炉内有效加热区的温度被动保持在±5℃以内。为了降低生产成本，应将渗碳用载气从完全用甲醇裂解气改为氨基气氛或甲烷（燃气）制备的吸热式气，把氧探头的最高工作温度提高到1100℃，以满足高温渗碳、提高渗速的要求[5]。

参 考 文 献

- [1] 樊东黎. 美国热处理技术发展路线图概述[J]. 金属热处理, 2006, 31(1):1~3.
- [2] 樊东黎. 美国热处理技术发展路线图在行动[J]. 热处理, 2006, 21(3):1~3.
- [3] 樊东黎. 热处理行业“十五”规划执行情况和前景预测[J]. 金属热处理, 2005, 30(1):8~13.
- [4] 中国热处理行业协会. 热处理行业“十一五”发展规划纲要和2020年设想[J]. 北京: 金属热处理, 2005, 30(1):2~6.
- [5] 樊东黎. 设备更新—热处理技术改造的既定方针[J]. 热处理技术与装备, 2007, 28(1):1~2.
- [6] 吴光治. 热处理炉进展[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [7] 陈志远. 热处理节能[M]. 上海: 上海工程技术大学, 1988.
- [8] FAN Dong-Li. Present Situation and prospect of Heat Treatment in China [C]. Technical Report in First Asian Symposium for Heat Treatment, Beijing: 1998.