



热处理工装的轻量化及其材料优化

■ 金荣植

热处理生产离不开工装夹具，但各种类型加热炉用夹具、料盘、料筐、料架等都要随同工件一起加热，有时其所带走的热量等于或大于工件的热量，占总热量的18%~29%，这无疑增加了热处理生产成本。

日本统计的各种类型电炉连续运转时的热效率如表1所示。从表1中的数据可以看出，井式炉吊具热能消耗量最大，箱式炉和输送带式炉次之，输送带式炉的输送带很长，加热后冷却又重新入炉加热，无效热能损失大。而振底式炉的炉底板一直在炉膛做往复运动，因炉内不使用料盘，故没有这方面损失。因此，尽可能用振底式炉、辊底式炉和网带炉代替链板炉或铸链炉，免除料盘的热损失，降低成本。

热处理用料盘、夹具等耐热构件与工件一起在炉内加热，随工件冷却后，重新装上工件再次加热。这是必须付出的能量消耗，但在保证其强度和寿命的前提下，如能最大程度地减轻其重量，就可以减少用于料盘、夹具上的能源消耗，可多装工件，提高效率，显著降低能源。从这个角度，采用高级、较昂贵的耐热

合金钢，甚至金属间化合物材料、碳/碳复合材料、石墨材料使料盘、夹具轻量化还是经济的。有采用高级合金减轻料盘、夹具重量有节电20%的记录。

通过精心设计，选用多功能、轻质的工装夹具，不仅可以减少工装夹具费用支出，还可以节约加热用能源，缩短生产周期，特别是批量生产的间歇式炉，整个炉子要经过加热和冷却的循环周期，因此炉子热区工装夹具的设计对于减少热量损失是十分重要的，最典型的例子就是真空淬火炉。真空炉用钼棒代替耐热钢可减少2/3的工装重量，使加热时间缩短25%。目前已有

一些真空炉用碳/碳复合材料、石墨材料代替耐热钢制造工装。

一、减轻工装夹具重量的途径

减轻工装夹具重量的途径，一是改善结构，二是选用优质材料。在对工装夹具减重而不缩短寿命的条件下进行轻量化设计与制造，其具体措施与途径如表2所示。

尽量减少热处理工装夹具（料盘、料钩等）在炉外停留的时间或设置防止过度降温的保护措施，以减少其自炉内带出的热量损失。目前，市场上推广了一种料筐不出炉膛的往返式推

表1 各种类型电炉连续运转时的热效率

炉型 规格与参数	箱式周期炉	井式炉	输送带式炉	振底式炉
正常处理量/(kg·h ⁻¹)	160 (装炉量400kg)	220 (装炉量400kg)	200	200
电炉功率/kW	63	90	110	80
实际用电/kW·h	56	62	78	50
热效率(%)	39	43	35	54
炉壁散热(%)	31	23	37	36
夹具料盘余热消耗(%)	19	29	18	0
被处理件热消耗(%)	39	43	35	54
可控气氛带走热量(%)	6	4	4	10
其他热损失(%)	5	1	4	—
加热温度/℃	850	850	850	850
全加热时间/min	90	90	40	40

杆炉。这些炉子的所有加料、出料都在密封状态下进行，因此具有减少热能损耗、节约气氛等优点。由于密封性好、炉气稳定、单位面积生产率大幅提高，两排或三排导轨上可进行不同周期的热处理，炉子加热区外的机构得以简化。

日本日立建筑机械厂改进密封箱式炉的料盘结构，减小了重量，从原来每盘装200个轴类件增加到300件，把以前的3台炉子一个月开动20天改为2台炉子每月开动24天，即可节电20%，每月少用电14800kW·h，节约丙烷气约500kg。

二、优化工装夹具设计

对各种类型的加热炉，用在加热工装夹具所需的热能比重为18%~29%。因此减轻工装夹具重量对提高加热效率有重要意义。减少重量的途径之一是改善工装夹具的结构。采用计算机软件进行三维、模块化设计，配以优质工装夹具（新）材料，使工装夹具获得理想的结构与高温强度，以减少热量损失，增加装炉量。用组合式结构取代传统整体式结构，不仅可通过合理组合满足多种产品的热处理生产，而且减少了工装夹具用量，如图1所示。

三、Ni3Al金属间化合物材料的应用

1. Ni3Al材料

美国新型炉内抗渗碳耐热构件材料——Ni3Al金属间化合物（IM），其材料成分为8%~11%Al，81%~88%Ni（质

量分数）以及添加成分Cr、Zr、Mo、B，是一种陶瓷材料，具有出色的热强性、抗蠕变、抗渗碳能力。

2. 应用

可用于制造夹具、料盘、料筐、料架等（见图2），Ni3Al构件寿命比耐热钢高一倍以上。采用Ni3Al构件还可以减少炉子维修次数，缩短工艺周期，提高渗碳温度，节能效果显著。

Ni3Al材料作为耐火、绝热炉衬材料的陶瓷纤维板（块）已

获得广泛应用，产生了巨大的节能效果。

例如，汽车动力转向系统零件的渗碳热处理采用推杆式渗碳炉，将Ni3Al材料代替HP铸造合金（质量分数为35%Ni、26%Cr）料盘、支撑座和夹具，虽然比Ni-Cr合金贵1.5~2倍，但寿命要长得多。Ni-Cr合金料盘只能用12~15个月，而Ni3Al料盘使用42个月未损坏。

新材料Ni3Al制造的料盘由于使用寿命的延长和质量的减轻，还可以提高10%的热处理生



图1 热处理用工装夹具

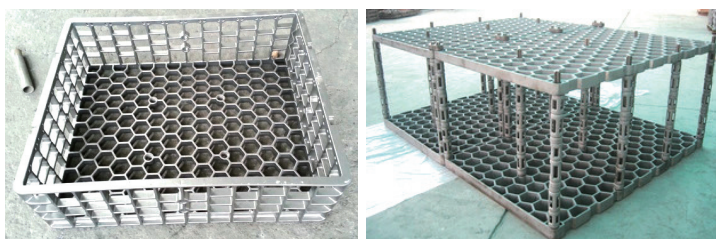


图2 Ni3Al材料制作的工装夹具

表2 工装夹具的轻量化及其材料优化措施与途径

序号	措施与途径
1	采取板状焊接结构比铸造结构有利，采取组合结构优于整体结构，并对工装夹具结构进行充分的力学优化计算
2	设计通用的工装夹具，避免对不同的工件制备两三套夹具
3	改进工装夹具设计，可使很多技术要求相近工件一起装入工装夹具同时进行热处理
4	工装夹具的设计与制造应有空气、水、淬火油的进出通道，避免工装夹具存留淬火油、水等
5	工装夹具的设计应有利于提高料区温度的均匀性、炉内气氛的合理流动
6	当在750℃温度下，可使用加工状态的低碳钢或奥氏体不锈钢工装夹具
7	当温度超过750℃，最常用的两种耐热合金（质量分数）分别是37%Ni-18%Cr（最高使用温度1000℃）和80%Ni-20%Cr（最高使用温度1280℃）。这两种合金比不锈钢有明显的优势。热强性高，高温抗蠕变性好，热疲劳性能好，使用寿命长，而且它们还能经受不同的热处理气氛（如氧化、渗碳、渗氮等）造成的脆化和其他因素的影响
8	用网带代替链板节能效果显著

产效率，使每台炉子每年节约1.5万~2.0万美元。

四、碳/碳复合材料及其应用

1. 金属料盘缺陷

由于金属制作的料盘笨重（如真空渗碳淬火炉用料盘）、热容量大，导致淬火液温度升高而降低其冷却能力，且料盘反复加热、渗碳淬火使用，其内部也会产生相变，引起组织应力，加上热疲劳影响，使料盘出现裂纹，使用寿命大幅降低。同时，金属料盘重量大、热容量大，增加了额外能源。

2. 碳/碳复合材料及特点

（1）碳/碳（C/C）复合材料构成 其由两个主要部分构成，即碳纤维和碳基体（或粘合剂）。碳纤维的碳原子组成的极细的丝，直径通常仅为0.005~0.01mm。它们交织在一起，具有出色的力学强度、硬度和导热性。将其封入其中的碳基体能够均匀地减轻重量和耐受化学作用。

碳/碳复合材料热容量小、高温强度大，热变形可忽略不计，净重/皮重比对于料架的制作非常合适，能够加快升温 and 冷却速度，增大承载部件的能力，减轻部件的变形。碳/碳复合材料还具有出色的抗热疲劳性能，裂纹扩展情况大幅度减少。

（2）碳/碳复合材料特点 由于该材料具有耐高温、抗烧蚀、重量轻、耐磨、耐蚀等特点。料架和炉内部件使用碳/碳

复合材料制造，可提高工艺温度，增大装料量，提高生产能力，节约能源，降低总成本。

3. 用碳/碳复合制作真空炉渗碳淬火料盘的特点

特点见表3。

4. 国内外碳/碳复合材料的应用

（1）美国使用碳/碳复合材料代替耐热钢制作料架，不仅减轻了料架的重量，而且降低了能耗。料架和栅格的常用制作方法包括结构组合（见图3）和压接（见图4）。碳/碳材料和合金料筐或丝网混合使用也常见。

测试用真空高压气淬炉，

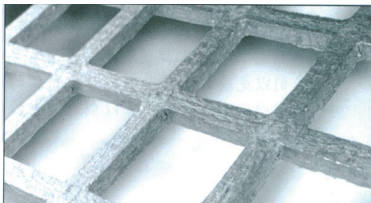


图3 碳/碳复合材料栅格

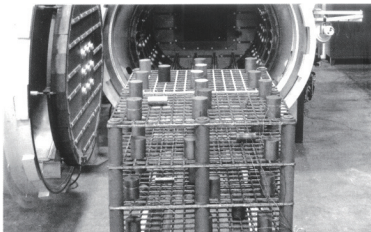


图5 碳/碳测试料架组件和测试样品

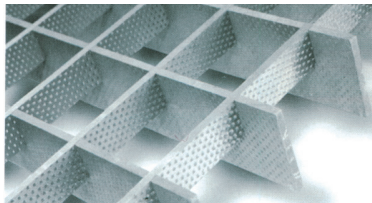


图4 压接式“蛋婆型”碳/碳栅格



图6 合金料件组件和测试样品

表3 用碳/碳复合制作真空炉渗碳淬火料盘的特点

序号	特点
1	用碳绳编织成网格状结构，然后用化学气相渗工艺制成碳/碳材料，其具有重量轻、透气性好、抗烧蚀、抗腐蚀、耐磨损、高温强度大、承载能力强、不变形、保证工件尺寸稳定等特点
2	料盘重量轻，蓄热量小，对淬火冷却介质温度影响不大，保证了淬火冷却介质的冷却能力。同时，大大减轻劳动强度
3	料盘热容量小，升温快，降温快，大大缩短工艺周期
4	碳/碳材料没有组织转变，在急冷急热过程中不会因相变应力而变形，料盘寿命长
5	无污染，无任何气体放出
6	产品性价比优于金属材料制造的料盘

(2) 德国西格里碳素集团 (SGL CARBON GROUP) 西格里特种石墨 (上海) 有限公司使用碳/碳复合材料代替耐热钢制作料架, 不仅减轻了料架的重量, 节省了能源消耗, 而且提高了使用寿命。图7为用碳/碳复合材料代替耐热钢制作的真空炉料架。

(3) 中国科学院金属研究所生产的碳/碳材料制真空渗碳淬火炉用料盘 (见图8) 已用于生产, 因其重量轻, 节省了额外能源消耗。

5. 用碳/碳复合材料代替耐热钢制造真空钎焊炉料盘减轻重量方法

中国科学院金属研究所生产900mm (长) × 650mm (宽)、厚度10~30mm的各种碳/碳材料制真空钎焊炉用料架, 已经大量用于生产, 因其重量轻, 减少了额外能源消耗。其特点如表5所示。

五、石墨材料及其应用

在高温下 (1200℃) 使用合金材料制作的真空炉用工装夹具, 其使用寿命较短。石墨材料具有耐高温、抗氧化、耐腐蚀、高温强度大等特点, 对此可采用石墨材料制造。例如, 使用易普森真空炉 (工作区尺寸: 1200mm × 1200mm × 1800mm) 在高温下进行涡轮叶片固溶、退火处理时, 设计、制造一种组合式结构石墨材料真空炉料盘 (见图9), 每层可放置200个叶片, 共有5层, 各层间距

100mm, 共可放置1000个叶片, 不仅增加了产量, 而且获得了理想的使用寿命。

六、钼棒材料及其应用

钼棒是用钼金属制成的棒状产品, 钼棒在高温下, 具有耐高温氧化、高温强度好、耐腐蚀、热传导率大、热膨胀系数小等优点。美国TRW公司, 在真空热处理时的工件 (喷气式发动机叶片, 单件重量56kg) 和料盘的重量比, 经改进后达到300%。该厂过去用耐热钢制作的真空炉用料盘和立柱共重630kg, 改用钼棒制造后仅重225kg, 重量减轻60%以上, 使整盘料的加热时间由8h减为6h。料盘使用寿命较耐热钢显著提高。

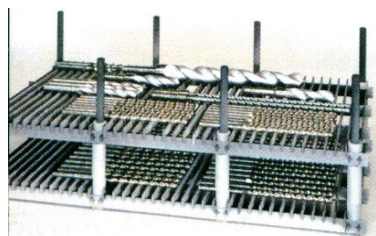


图7 德国用碳/碳复合材料代替耐热钢制作的料架

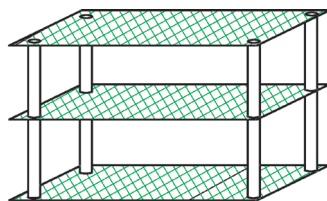


图8 碳/碳材料制真空渗碳淬火炉用料架

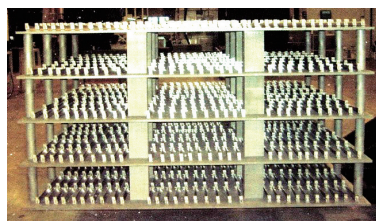


图9 组合式结构石墨材料真空炉料盘

表4 合金料架和碳/碳料架电耗和成本的比较

材料	电耗/kW			成本/美元
	加热	均热	合计	
碳/碳	101	50	151	10.57
合金	123	47	170	11.90

注: 电价为0.07美元/kW·h。

表5 用碳/碳复合材料代替耐热钢制造真空钎焊炉料盘的特点

序号	特点
1	强度高、性能稳定, 经1200℃长时间反复使用料盘不变形, 保证了钎焊产品形状稳定, 提高了产品质量
2	料盘使用寿命达两年以上不用更换, 产品性能价格比远优于目前所用的一切金属材料
3	料盘重量轻, 每块料盘重量仅4kg左右, 操作十分方便, 大大减轻劳动强度
4	料盘热容量小, 升温快, 降温快, 随炉温变化不滞后, 大大缩短工艺周期, 节省了能源, 便于自动控制, 提高了生产率
5	无污染, 无任何气体放出, 提高了处理产品的质量
6	料盘尺寸可根据用户需求订做

作者简介: 金荣植, 哈尔滨汇隆汽车箱桥有限公司, 高级工程师, 副总工程师, 已在专业杂志上发表论文100余篇, 其中有5篇被美国工程索引 (Ei) 收录, 1篇获中国热处理行业协会优秀论文奖, 已出版8部热处理著作, 获省、市科技成果各一项, 获4项发明专利和2项实用新型专利。

MW 20161108