

航空热处理发展的思考

北京航空材料研究院 王广生研究员

一、航空热处理现状

近年来,航空热处理有了较大发展和变化,概括起来有如下几方面:

(1) 热处理生产厂房增加了一倍以上。

(2) 全面实施了质量控制和炉温均匀性测量,提高了热处理质量控制和产品水平。

(3) 普通电炉全面改造或更新,结合设备大修、技改、搬迁及新厂房建设,实现了节能,提高炉温均匀性、双偶控温、仪表智能化,使普通电炉上了一个档次。

(4) 积极采用先进的热处理技术。真空热处理以每年30%左右速度递增,有近1000台真空炉,热处理加工量占1/3以上。氮基气氛热处理成为可控气氛首选,应用不断扩大;可控渗碳代替传统的滴注渗碳,已占80%左右,氢探头或氢分析仪(或氨分析仪)控制渗氮迅速发展,每年新增5~10台,铝合金空气循环电炉全面采用,已成为铝合金热处理的主力炉型。有机淬火介质在铝合金淬火中应用有突破性进展,在减少热处理畸变和环境污染方面显现了明显的效果。高能束热处理,如激光热处理、离子注入等已开始航空工业中应用。

(5) 航空热处理标准化体系更完整。以航标《航空热处理质量控制》为龙头,补充完善了各种航空材料热处理工艺标准和质量检验标准,建立热处理工艺材料标准系列,制定了真空热处理、氮基气氛保护热处理、铝合金电导率测定等新工艺标准。现有航空热处理标准45项,形成了完整体系。

(6) 航空热处理生产管理水平不断提高,技术文件和管理体系与世界先进国家接轨,形成了本国产品和转包生产国内外一体化。

二、航空热处理成熟的技术

1. 铝合金热处理

(1) 空气循环电炉代替硝盐炉 航空工业中使用大量铝合金,传统热处理采用硝盐炉加热,环境污染严重,能源消耗和浪费较大。空气循环电炉特点具有启动快、节能效果好,淬火转移时间快并可调,满足不同铝合金零件的要求;没有环境污染,可放在铝合金零件生产线上;空气循环电炉加热后固溶淬火对冷却介质无污染,有利于推广使用有机淬火介质,减少热处理畸变,提高生产效率。

空气循环电炉的第一个关键技术是如何保证炉温均匀性($\pm 3 \sim \pm 5^\circ\text{C}$),特别是大尺寸的炉子要求,如何满足较低温度($100 \sim 150^\circ\text{C}$)的炉温均匀性要求。第二个关键技术如何保证快的淬火转移时间,并且可以根据零件不同要求很方便地调整和控制。

(2) 有机淬火介质 铝合金淬火介质常用的是水或热水,但对于热处理变形较大或变形要求较严的情况,热水不能满足要求,必须选用有机淬火介质水溶液。在空气循环电炉上使用有机淬火介质水溶液代替水,可减少铝合金热处理变形和钣金件校正工时50%以上。

(3) 电导率检测 铝合金零件的状态检查是确保零件热处理质量的重要控制手段。电导率检测具有方便快捷,工作效率高,且基本不受被检件形状、重量等条件限制,对零件无损伤的独有优势。在GB/T 12966—1991《铝合金电导率涡流测试方法》标准中,给出了测试方法,GJB2894—1997《铝合金电导率和硬度要求》,明确了电导率和硬

度值要求。

2. 钛合金热处理

(1) 真空热处理 由于钛异常活泼, 很容易受碳、氧、氢、氮的污染, 使合金性能变差, 所以钛合金热处理时应采用真空炉或氩气保护; 如果在氧化性气氛中加热, 则应严格控制并去除工件表面氧化层。需要进行真空热处理的钛合金零件也越来越多, 除了通常进行的钛合金钣金件和铸件的去应力退火、钛合金紧固件标准件的固溶处理和时效处理、钛合金的除氢退火均需在真空炉中进行以外, 高强度钛合金钣金零件的约束时效处理也必须在真空炉中进行。

真空热处理的一个主要参数是真空工作压强, 航空工业标准规定: 在真空退火过程中, 为避免因真空压强过低而产生真空表面腐蚀, 一般应将真空工作压强控制在 $\geq 2 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 。也有采用高纯氩气进行分压控制的。

惰性气体可以作为保护性气氛的加热介质, 也可用于真空固溶处理时的淬火介质。由于钛的化学活性比较高, 所以对于氩气的纯度也有更高的要求。纯度 $\geq 99.99\%$ 的纯氩一般不适用于钛合金的热处理。国外标准中规定了对惰性气体(氮和氩)的露点要求为不高于 -54°C 。航标规定采用符合 GB/T10624 的高纯氩, 纯度 $\geq 99.999\%$ 。

航标规定了真空热处理后工件应在 200°C 以下出炉空冷。在惰性气体或真空中加热的钛件表面出现淡黄色氧化膜时可不清除; 若零件表面存在淡蓝色、蓝色或灰色氧化膜时必须按空气炉规定清除。

(2) 固溶处理淬火允许延迟时间 钛合金固溶处理加热完成后的冷却要严格按淬火要求进行, 如果冷速过低, 合金的相成分发生明显扩散, 将严重影响时效强化效果。通常钛合金工件淬火允许的延迟时间必须符合附表的要求。

钛合金最长淬火延迟时间表

最小截面厚度/mm	最长延迟时间/s
≤ 0.6	6
0.6~25	10
2.5~25	15
> 25	30

(3) 钛合金在空气电炉加热氧化层去除 钛合金半成品、零件、结构件的热处理可以在电炉中加热, 但不应在气体火焰炉或重油炉中加热。钛合金

件表面的氧化层必须清除, 其清除方法包括酸洗、化学铣切、喷砂或机加工等。钛合金精加工件表面的氧化层去除后, 还应根据规定清除一定厚度的基体金属。

3. 高温合金热处理

现代高温合金无论是哪种元素为基体都是复杂的合金化系统, 大多采用固溶强化、第二相强化和晶界强化三种手段对合金进行强化。高温合金采用的最基本热处理类型是固溶处理和时效处理。

(1) 固溶处理和时效处理 这两种热处理方式的配合使用可以得到各种组织状态和性能的组合, 以满足零件的使用性能要求。

固溶处理的温度、冷却速度和次数取决于所得到的性能。较高的固溶温度可使 γ' 相和碳化物固溶, 晶粒长大, 并获得最佳的持久蠕变强度。较低的固溶温度可溶解主要的强化相, 没有晶粒长大和高温碳化物固溶, 因而可获得高的瞬时拉伸强度。选择中等固溶处理温度可获得较好的综合性能。

固溶处理后快速冷却, 可使之在室温下保持高温时所获得的过饱和固溶体, 但一些合金化程度较高的合金, 经固溶处理后获得的还是多相组织。

高温合金的时效可以是单级的或多级的, 也可以是阶梯式的。时效温度和次数的选择取决于以下几个因素: ①预期的使用温度。②析出的有效沉淀相的类型和数量。③析出相的尺寸。④所要求的强度和塑性、韧性组合。在高温合金中使用较多的是两级时效, 即先后在两种不同的温度下进行时效, 可以产生不同尺寸和类型的第二相, 从而获得最佳的性能组合。合金的时效温度一般应稍高于合金的使用温度, 以获得较稳定的组织状态。常用的几种组合方式有: 一次固溶+一次时效工艺, 多用于简单合金化的时效合金; 二次固溶+一次时效工艺, 目的是控制晶界碳化物析出, 有的合金是为了调整 γ' 相尺寸; 二次固溶+二次时效后可获得较好的晶界组织和两种大小 γ' 相质点, 从而得到强度和塑性的良好配合。有时时效温度也可以先低温后高温; 复杂的固溶+时效工艺没有一定的格局, 视需要而定, 多级固溶和多级时效一般用于低塑性高合金化的镍基合金, 目的是为了改善塑性。

(2) 高温合金热处理设备及保护气氛要求 决定合金组织和性能的关键因素是固溶处理温度, 其

次是固溶温度下的保温时间。因此,对热处理设备的炉温均匀性要求较高。

时效温度的控制对合金的组织 and 性能有重要影响,国外对高温合金的时效处理,去应力处理的设备类别要求非常严格。我国航标对时效处理和去应力退火推荐采用 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 加热炉,保证设计或工艺前提下允许采用 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 加热炉。

热处理设备的气氛可以采用空气、保护气氛、惰性气体和氮气,以及真空炉。保护气氛应采用稀释的放热型保护气氛,比较安全和经济,不宜使用吸热式保护气氛,因为吸热式气氛有渗碳作用。采用惰性气体保护气氛时,炉子进口处的气氛露点均应低于 -50°C 。采用氮气作保护气氛时,应采用高纯氮($\geq 99.99\%$)。由于高温下氮气有增氮作用,使用氮气作保护气体时,仅允许在 $\leq 770^{\circ}\text{C}$ 下使用。采用真空炉加热时,要充分考虑合金的合金元素饱和蒸汽压,选择真空压强时要兼顾考虑既不产生氧化、脱碳,又不产生合金元素的贫化。

4. 钢的热处理

(1) 氨基气氛保护热处理 氨基保护气氛主体气氛是氮气,为了达到与处理工件相当的碳势,还应加入富化剂,一般选用甲醇或无水乙醇。

《可控氨基保护气氛热处理》(HB/Z 343-2001)规定了航空常用结构钢氨基保护热处理工艺,氨基气氛保护热处理后,脱碳层深度 $\leq 0.075\text{mm}$,满足航标HB5354《热处理工艺质量控制》要求。

在航空热处理生产中,为防止甲醇裂解气氛保护热处理氢脆,必须在热处理后增加长时间除氢。氨基气氛保护淬火时,炉气中氢含量在10%左右,对钢件不会产生增氢,淬火试样中氢含量有所下降。油淬和 225°C 等温淬火后未回火情况下,缓慢拉伸性能降低,延迟破坏试验的保持时间只有3min和4h,远低于要求200h的合格标准,有氢脆现象,但回火后,氢脆现象消失。对于 300°C 等温淬火,即使未经回火也没有氢脆现象。因此对于氨基气氛保护热处理淬火后应及时回火,不必专门进行除氢处理。

(2) 可控渗碳 要求在保证炉温均匀性和温度精确控制前提下,采用碳势传感器和碳控仪进行碳势控制。在滴注式气氛和直生式氧气条件下,还

需要用红外仪对 CH_4 和CO进行控制。可控渗碳采取的控制方案主要有氧探头控制、红外仪控制、电阻探头控制等。常用的是氧探头控制,从单一参数控制逐渐发展到氧势-CO-温度三参数控制,碳势控制精度 $\pm(0.025\sim 0.05)\% \text{C}$ 。

(3) 可控渗氮 提高渗氮控制精度,改善渗氮层质量和稳定性是当前化学热处理另一个重要方向。精密渗氮基本要求是炉子有良好密封,保证炉内正压,炉温均匀性 $\pm 3\sim \pm 5^{\circ}\text{C}$,气氛均匀达到渗氮层偏差 $0.05\sim 0.1\text{mm}$,渗氮层组织在1~4级,波动范围2级,白亮层 $\leq 0.01\text{mm}$,氨分解率波动 $\pm 1\%\sim \pm 1.5\%$ 。一种方案是采用氨分析仪或氨分析仪控制,另一种是采用氨探头控制。

精密气体渗氮技术:①采用氨高温裂解作为载气,有助于炉内氮势精确调整,又可以在少量工件渗氮时,不用添加陪衬料而实现可控渗氮。②实现氮势精确控制,通过传感器、精密流量阀和氮控仪实现闭路控制。③渗氮数据库和专家系统,可制定渗氮工艺和仿真控制。④去除不锈钢钝化膜的技术,较好解决了不锈钢渗氮工艺。

(4) 底装料立式多用炉 底装料立式多用炉技术是可控气氛热处理的重要发展,除具有少无氧化脱碳、控制精确特点之外,还可以选择各种不同淬火介质,以适应不同材料和零件对淬火冷却的不同要求,使热处理零件获得最佳的性能和质量,最大限度的减少热处理畸变。底装料立式多用炉具有温度和气氛恢复与转换快的特点,可以实现保护淬火、渗碳、渗氮等多种工艺快速转换,提高生产效率,降低成本;还可以实现少无内氧化渗碳、表面碳势可控的薄层与超薄层渗碳等高质量化学热处理。底装料立式多用炉采用加热炉和淬火槽独立的结构,可以灵活选用不同淬火介质,代替盐浴炉和铅浴炉热处理,减少环境污染,实现清洁热处理。

5. 真空热处理

真空热处理由早期的真空退火、真空除气,向真空淬火、真空回火、真空化学热处理和特种真空热处理方向发展;真空热处理炉设计制造、元器件性能不断提高,并发展了真空热处理生产线。

(1) 真空油淬 是真空热处理的主要工艺,近年解决了真空淬火油和真空油淬表面增碳等关键技术问题,除在工模具热处理方面应用外,已成功

用于重要结构件的精密热处理。

增碳问题：钢在真空高温加热时，渗碳现象随淬火温度上升而更加严重，且与淬火加热保温时间无关。为防止该现象的产生，应选择质量好的真空淬火油和改进热处理工艺。真空淬火油要求有低的饱和蒸气压，良好的化学稳定性，残碳和杂质少，酸值低。关键是要保证长期使用的稳定性，淬火后工件光亮，具有合适的淬火冷却性能。在真空淬火工艺方面，为防止增碳现象要选择合适的加热真空度，采取充气后入油或气—油两段冷却法等。

碳污染现象：用真空油淬炉固溶处理时碳污染（渗碳）是一个非常棘手的问题。在操作真空油淬时，附着在真空油淬炉料叉、料筐上的油，在操作过程带入加热室成为渗碳剂。奥氏体不锈钢、马氏体沉淀硬化不锈钢、高温合金、精密弹性合金，多属于低碳甚至超低碳的合金，含铬多，又是薄带制件，为渗碳提供了极好的条件，加热过程可以在基体上迅速增碳，不仅增大冷作硬化率，而且还会带来抗腐蚀性恶化、合金的强化机制改变等不利后果，这些都可能极大地影响正常生产甚至产品质量和性能。

解决方法：擦洗干净附着在真空油淬炉料叉、料筐上的油；包裹后再固溶加热，阻止碳与合金接触的机率，但都是事倍功半。最好的方法是改用其他炉子，如奥氏体不锈钢、沉淀硬化不锈钢、高温合金的固溶处理冷却速度要求都不快，完全可以采用真空气淬炉。

油面压强的选择：在低压强下，真空淬火油的冷却能力下降，对某些钢来说，可能达不到淬火的目的。为此，在淬火前，向淬火室内充入高纯的中性或惰性气体，在油面上造成一定的压强，就可以实现钢的充分淬火并获得光亮的表面。

对于淬硬性较差的钢，应选用先充气后入油的方式进行淬火。油面压强应高于其临界淬火压强。一般调节在 $5 \times 10^4 \text{Pa}$ 左右，但不宜低于 $1 \times 10^4 \text{Pa}$ 。对中等淬硬性的钢，也应采取先充气后入油的方式进行淬火。油面压强可调节在 $1 \times 10^4 \text{Pa}$ 左右，但不宜低于 $5 \times 10^3 \text{Pa}$ 。淬硬性很好的钢可以采取充气或不充气的方式进行淬火。采取充气方式时，可以先充气后入油，也可先入油后充气；采取先充气的方式时，充气压强可在 $2.5 \times 10^4 \text{Pa} \sim 5 \times 10^4 \text{Pa}$ 范围内选

定。为防止和减少油蒸气进入并污染加热室，宜选用较高的充气压强，所用的气体应为高纯的中性或惰性气体。采取后充气的方式，可以充纯度较低的气体，充气压强也可低一些。

另外，真空油淬比普通油淬的淬火冷却能力略低，其淬透性一般为普通油淬的75%左右。

(2) 真空加压气淬 真空加压气淬是近年来真空热处理重要和迅速发展领域，主要的问题是淬透性和淬硬性及与传统的气淬、油淬、分级淬火或等温淬火对比和衔接，应从冷速测定和临界直径测定去研究。目前，航空工业中真空加压气淬已成功用于不锈钢、高温合金、钛合金、精密合金和部分结构钢等零件的热处理，发挥了重要作用。

真空加压气淬的冷速测定：真空加压气冷，提高了冷却速度，可以代替传统的气冷、部分油冷或分级淬火，可以实现控制冷却，达到合理冷却的目的。因此，研究真空加压气冷的冷却特性，并与常规的炉冷、气冷、油冷、硝酸盐浴等冷却方式对比是制定真空加压气冷工艺的重要依据。

真空加压气淬的淬透性：真空气淬冷却速度受多种因素影响，如气体的种类、温度、流速、压力以及工件尺寸等，为提高真空气淬时的冷却速度，可采用大换热器，以降低淬火气体温度，或加大气体流速、流量，或改单向气流为 360° 周向高压喷射流或上下左右交替喷射，或选用热传导能力高的气体。从安全及成本方面考虑，具有最佳冷速、最低成本和安全性的 $80\% \text{He} + 20\% \text{N}_2$ 混合气体。而He及其他气淬气体的回收再生技术还需研究，以利气淬技术的推广使用。

目前，对于真空加压气淬技术的关键是对重要的合金结构钢、工模具钢和不锈钢等进行测试，确定不同淬火压强的临界淬透直径，以指导真空加压气淬热处理生产。

(3) 真空渗碳 传统的渗碳工艺炉采用低碳钢和低碳合金钢，近年航空工业发展提出了高合金钢和不锈钢渗碳要求，以提高使用温度和耐磨性，典型材料有2W10Cr3N:V、13Cr4Mo4VA (M50N: L)、1Cr11N:2W2MoV、1Cr12N:2WMoVN、1Cr17N:2、1Cr13、2Cr13等。高合金钢和不锈钢渗碳的技术关键有两个：第一，表面镀化膜的去除。高合金钢和不锈钢的镀化膜是合金元素氧化

膜,性质稳定,不易去除。金属表面形成的氧化膜及一定程度上的锈蚀层在真空加热状态下会产生分解,使金属表面得到还原和净化,即所说的对金属表面的清洁、活化作用。真空渗碳加热过程为无氧真空状态,可有效去除不锈钢表面的钝化膜,而且由于在渗碳过程中不产生氧化性气氛,不锈钢表面不会重新生成钝化膜。因此,采用真空渗碳可以圆满解决不锈钢钝化膜的去除问题,并且不需要添加任何化学物,没有任何操作上的困难和污染物的产生。第二,渗碳温度高。由于真空渗碳炉的加热元件和保温层是石墨和碳毡,真空下的耐温可高达1700℃,因此很容易实现高温渗碳。目前先进真空渗碳炉的最高温度可达1350℃,完全能够满足任何不锈钢渗碳的温度要求。

真空渗碳基于强渗-扩散原理,通常采用脉冲的工艺方式,这是一个充气→抽空→再充气→再抽空的循环往复过程,从而使渗碳炉内的渗碳压力形成一个高低循环的过程,故形象地称为脉冲式渗碳。充气过程相当于饱和渗碳,抽气过程相当于真空扩散,一个脉冲周期相当于一个子过程。

(4) 真空磁场热处理 磁场热处理可以提高磁性材料的电磁性能,也可以提高结构材料的力学性能。真空磁场热处理把真空热处理技术与电磁场技术结合起来,形成真空热处理的又一个分支。与普通真空热处理相比,真空磁场热处理在磁感应强度和屈服强度相同情况下,矫顽力明显降低。已成功用于航空工业生产。

(5) 真空热处理生产线 近年,随着真空热处理发展和应用的扩大,已不满足于单台或几台炉子的非连续生产,正向真空热处理生产线方向发展。国外已有很多真空淬回火生产线,真空渗碳高气压生产线,航空工业已建成真空淬回火生产线,由两台真空淬火炉,一台清洗机和两台回火炉组成,运行情况良好,提高了真空热处理生产水平和质量,减轻了工人劳动强度,改善了工作环境。

(6) 炉温均匀性检测新技术 近几年,发展应用的直插式测试方法,解决了高温炉、连续炉炉温均匀性测试问题。炉温追踪仪可以实现与测温架或工件一起入炉,随系统移动,记录炉子温度均匀性或工件热工艺过程。

直插式测试方法:传统测温架测试炉温均匀

性,对高温炉经常发生烧塌测温架和热电偶损坏现象,对连续炉经常发生拉断热电偶现象。直插式测试方法解决了上述困难,测试方便简捷。测试时将直插热电偶从测温孔按要求插入炉膛并固定,测试后取出热电偶,恢复炉子正常情况。

炉温追踪仪:该仪器由数据记录仪和隔热箱组成,相当于飞机的“黑匣子”。首先把热电偶按测温要求固定在测温架或工件上,然后将热电偶与数据记录仪联接,把数据记录仪放入隔热箱中。测试时把测温架、热电偶及装入隔热箱中的数据记录仪一起放入炉中,数据记录仪将自动跟踪并记录各点温度。测试后将数据记录仪与电脑联接,把各点温度自动打印或绘制曲线。

三、航空热处理发展趋势和建议

1. 航空热处理新技术

(1) 真空热处理新技术 真空加压气淬:提高冷却性能、控制加热和冷却、发展更好淬透性的材料、气体回收技术;真空渗碳等真空化学热处理:提高真空渗碳技术,发展其他真空化学热处理技术、真空化学热处理传感器;真空功能热处理:真空磁场热处理、真空氢气热处理、真空焊接与热处理结合;真空气氛热处理:针对高温真空热处理元素贫化和双性能零件的真空热处理问题,开展真空/气氛热处理的控制冷却技术研究;发展真空热处理生产线和柔性化技术,提高自动化和智能化水平,与各种冷热加工生产线配合,适应先进制造技术发展要求。

(2) 可控气氛热处理 推广精密渗碳和精密渗氮技术,重点推广底装料立式多用炉,代替盐炉,适应航空热处理高质量、少批量、多品种的特点。解决长杆形零件少无氧化脱碳等温淬火问题,发展大型立式底装料多用炉。氨基气氛热处理代替甲醇、乙醇裂解气氛保护热处理,解决超高强度钢等温淬火问题,防止氢脆。

(3) 多功能复合化学热处理技术 复合化学热处理技术与装备是使优化的复合化学热处理工艺技术在—台装备或—条生产线上实现,以达到对零件有最佳强化效果,提高零件使用性能,同时热处理畸变最小,降低成本,提高生产效率,适应新型武器装备和先进制造业发展要求。

采用离子-气体复合深层渗氮或渗碳加渗氮, 为防风沙影响, 还需采用离子渗硫, 提高磨损性能。采用先离子渗氮, 可以有效去除不锈钢、高合金钢表面钝化膜, 加快渗氮速度; 精密气体渗氮可以精确控制氮势, 提高硬度和氮势均匀性, 保证渗氮零件组织和性能的均一性与稳定性。航空直升机桨毂大型齿轮和齿圈、风力发电设备齿轮和齿圈等重要部件, 不但需求很高的表面硬度和耐磨性, 还要求热处理变形小。目前迫切需求研究开发离子-气体渗氮与离子渗硫多功能复合化学热处理技术与装备, 以满足航空航天装备大尺寸齿轮、齿圈提高耐磨性和尺寸精度的要求。

另外, 钛合金在航空航天等尖端工业中应用越来越广泛, 急需高温真空渗氮技术和设备。

(4) 热处理清洁生产技术 ①采用热处理清洁生产技术: 推行热处理清洁生产技术, 如真空热处理技术、可控气氛热处理技术、真空溶剂型清洗机、全纤维炉衬技术、高效节能型空气换热器、晶体管感应电源技术、化学热处理催渗技术、计算机控制技术, 以及多功能淬火冷却系统等。感应局部加热代替铅浴炉, 真空炉和底装料立式多用炉代替盐浴炉。淬火槽和淬火介质更新改造。②淘汰落后工艺设备, 如含氯化钡的盐浴炉、重质耐火砖炉衬的实验电阻炉、普通箱式/井式/台车炉、插入式盐浴炉, 以及中频感应电源等。③加强节能减排管理, 工艺安排合理化, 实现连续或长周期生产。

2. 航空热处理技术改造建议

航空热处理技术改造应贯彻热处理质量控制标准 (HB5354、GJB509B、AMS2750D) 的基本要求, 注意节能环保, 关注和采用先进热处理技术和信息化。如集散式控制或监控及计算机网络, 智能型冷却淬火槽和新型淬火介质, 空气换热器冷却循环水及热量再利用, 真空溶剂清洗技术, 液氮液氮应用及工艺材料质量控制, 以及热处理生产线等。

(1) 航空发动机厂热处理车间建议 毛坯热处理采用真空热处理生产线或空气高温箱式多用炉, 代替箱式炉、台车炉、井式炉; 取消盐浴炉, 高温热处理部分采用真空炉代替, 中温热处理部分采用底装料立式多用炉代替; 渗碳、渗氮采用精密渗碳、渗氮技术, 推广底装料立式多用炉, 采用预氧化法、三氯乙烯等去钝化膜技术代替氯化铵去钝化

膜法, 高合金钢和不锈钢等渗碳、小孔和盲孔及窄缝渗碳、无内氧化渗碳等推荐采用真空渗碳; 钛合金采用高真空或回充高质量氩气真空热处理, 发展真空热处理与真空热校形复合热处理, 发展钛合金真空渗氮等表面强化工艺; 高温合金热处理重点发展真空-气氛热处理, 选用高温真空热处理炉, 采用直插法或炉温跟踪仪测试炉温均匀性, 推广真空气相渗铝、渗铝硅等代替固体或粉末法, 研究发展叶片小孔渗铝和电子束气相沉积热障涂层技术。

(2) 飞机厂热处理车间建议 铝合金热处理推广空气循环电炉和有机淬火介质; 钛合金采用高真空或回充高质量氩气真空热处理, 发展真空热处理与真空热校形复合热处理, 发展钛合金真空渗氮等表面强化工艺; 黑色金属毛坯热处理采用底装料立式多用炉生产线和真空热处理生产线; 取消盐浴炉, 高温热处理部采用真空炉代替, 中温热处理部分采用底装料立式多用炉代替; 渗碳、渗氮采用精密渗碳、渗氮技术, 推广底装料立式多用炉, 采用预氧化法、三氯乙烯等去钝化膜技术代替氯化铵去钝化膜法, 高合金钢和不锈钢等渗碳、小孔和盲孔及窄缝渗碳、无内氧化渗碳等推荐采用真空渗碳。

(3) 机载设备厂热处理车间技术改造建议 精密零件热处理采用真空热处理, 包括真空高压气淬、真空油淬、真空水淬; 发展真空特种热处理, 如真空磁场热处理、真空氢气热处理等; 取消盐浴炉, 高温热处理部分采用真空炉代替, 中温热处理部分采用底装料立式多用炉代替; 渗碳、渗氮采用精密渗碳、渗氮技术, 推广底装料立式多用炉, 采用预氧化法、三氯乙烯等去钝化膜技术代替氯化铵去钝化膜法, 高合金钢和不锈钢等渗碳、小孔和盲孔及窄缝渗碳、无内氧化渗碳等推荐采用真空渗碳; 氨分解气氛和氢气保护热处理。

四、结语

航空热处理技术正处于迅速发展时期, 新技术、新工艺不断被研究和应用。技术改造全面展开, 航空工业与国际合作和接轨的形势又对热处理提出更多更新的要求, 我们应抓住大好时机, 精心运作, 通力协作, 抓紧热处理新技术应用研究, 借鉴国内外先进热处理技术, 把航空热处理技术水平推上新台阶。MW (20121125)