

# Discussion on the Heat Treatment Problem of Petroleum Machinery Manufacturing

Xiangyu Zhao

Jingzhou District Siji Factory, Jingzhou City, Jingzhou, Hubei, 434000, China

## Abstract

Heat treatment in petroleum machinery manufacturing plays a vital role, which is directly related to the quality and performance of products. With the development of petroleum industry, the requirements for petroleum machinery and equipment are increasing, and heat treatment is also facing more challenges and opportunities. However, there are still some problems in the current heat treatment process of petroleum machinery manufacturing, which not only affects the quality and performance of products, but also restricts the sustainable development of petroleum machinery manufacturing industry. Therefore, it is of great significance to deeply discuss the heat treatment problem of petroleum machinery manufacturing and its optimization countermeasures to improve the level of petroleum machinery manufacturing and promote the transformation and upgrading of the industry.

## Keywords

petroleum machinery; manufacturing; heat treatment problems; optimization measures; discussion

# 石油机械制造热处理问题的探讨

赵祥雨

荆州市荆州区四机厂, 中国·湖北荆州 434000

## 摘要

石油机械制造中的热处理扮演着至关重要的角色,它直接关系到产品的质量和性能。随着石油工业的发展,对石油机械设备的性能要求日益提高,热处理也面临着更多的挑战和机遇。然而,当前石油机械制造热处理过程中由于多种因素所致仍存在着一定问题,这不仅影响了产品的质量和性能,还制约了石油机械制造业的可持续发展。因此,深入探讨石油机械制造热处理问题及其优化对策,对于提升我国石油机械制造水平、推动行业转型升级具有重要意义。

## 关键词

石油机械; 制造; 热处理问题; 优化措施; 探讨

## 1 引言

石油机械制造涉及高强度、耐磨损、抗腐蚀等特殊性能要求,而热处理工艺在保证这些机械零部件性能方面起着决定性作用。通过适当的热处理,可提升材料的力学性能,增强零部件的使用寿命及可靠性。然而,在石油机械制造过程中,热处理工艺仍然存在诸多问题,如组织缺陷、硬度不均、残余应力等,这些问题直接影响设备的使用寿命及安全性。因此,深入探讨石油机械制造热处理问题及其优化措施十分必要。

## 2 石油机械制造热处理必要性

首先,热处理可以使材料的强度和硬度得到有效的提高。材料的组织结构可以通过淬火、回火等技术进行改变,

这样一来所生产的石油机械硬度和耐磨性也会有所提高。如核心部件油井钻杆、钻头等,为避免钻探过程中易于发生断裂或磨损过度,就需要对它们进行热处理以获取较高的强度和耐磨性。其次,热处理对石油机械的抗腐蚀性有很好的改善作用。含硫化氢、二氧化碳等介质容易造成材料腐蚀,而恰恰石油开采环境具有很强的腐蚀性,这就要求机械具有较高的抗腐蚀性<sup>[1]</sup>。而在石油机械制造中通过渗碳、氮化等热处理,使零部件表面形成一层耐腐蚀层,从而使其抗腐蚀能力得到提高,使用寿命也大大增加。此外,热处理可以使石油机械的韧性和抗冲击能力得到优化。如井口装置、油泵部件等通常是处于较大应力环境下工作且承受着冲击负荷。通过调质处理、奥氏体化等适当的热处理工艺,使它们的韧性得到提高,这样也可以让冲击负荷造成的损伤也得以降低。最后,热处理还能降低残余应力,提高零部件的尺寸稳定性。石油机械制造过程中不可避免地会引入残余应力,导致零部件变形甚至开裂。通过正火、回火等热处理工艺,可以有效释放残余应力,提高零部件的尺寸精度和稳定性。

【作者简介】赵祥雨(1986-),男,中国山东菏泽人,本科,工程师,从事金属热加工研究。

### 3 石油机械制造热处理问题

#### 3.1 热处理过程中材料组织缺陷

在石油机械制造热处理中,材料组织缺陷主要表现为晶粒粗大、成分偏析及碳化物析出不均。缺陷形成原因与热处理工艺参数波动密切相关,其中热处理温度控制失准、保温时效不当及冷却速率设置异常均为主要诱因。高温淬火过程中,若保温时间延长或局部温度异常升高,易致奥氏体晶粒长大,降低材料韧性及抗冲击性能;而热传导过程中温度梯度分布不均与相变速率差异则可能引起合金元素局部富集或贫化,诱发组织偏析。碳化物在奥氏体基体内析出时,冷却曲线若偏离热平衡条件,则易形成尺寸分布不一及界面形态异常,进一步削弱零部件耐磨性能及服役稳定性。

#### 3.2 热处理硬度不均及表面质量问题

在石油机械制造过程中,热处理阶段存在硬度分布不均及表面质量下降等问题,主要体现在表面强化处理工艺中。渗碳、氮化等工艺参数控制不精确易致渗层深度分布偏差,炉内温度波动及冷却介质传热不均匀使得零部件局部硬度异常;渗层过厚则诱发脆性开裂现象,而渗层不足又无法满足耐磨要求。此外,工艺过程中氧化皮生成、脱碳现象普遍出现,其机理与高温氧化反应和局部环境控制失调密切相关<sup>[2]</sup>。上述问题均源于工艺参数调控不严和设备稳定性不足,导致零部件表面微观组织不均,进而影响抗腐蚀及抗疲劳性能。该类现象反映出热处理工艺中热力学和传热控制不当所引发的材料性能退化现象。

#### 3.3 热处理残余应力及变形问题

热处理过程中温度场分布不均导致局部相变失衡,产生显著残余应力与局部塑性变形。石油机械关键零部件在加热及冷却阶段,由于几何形状复杂及材料热物性各向异性,局部冷却速率不一致,从而引发热应力集中并伴随相应组织应力。不同部位间热流传递存在明显差异,使得高温区与低温区同时出现不均匀膨胀和收缩,致使整体及局部残余应力累积。装夹条件不合理以及介质冷却参数不匹配亦会加剧温度梯度效应,使应力分布更趋复杂。上述因素共同作用,使零部件在热处理过程中易产生微裂纹及结构畸变,影响加工精度及后续装配,形成较为严峻的热处理缺陷问题。

#### 3.4 热处理设备及工艺控制问题

石油机械制造热处理工艺中,设备与工艺参数控制不精确常致使温度场分布异常及冷却速率不均。热处理炉内部热传递紊乱主要源于设备老化、加热元件性能衰退及温控系统校准偏差,导致零部件局部组织演变存在明显差异。与此同时,冷却介质流动状态受制于结构设计局限及流量调控不足,致使局部冷却速率偏离预设参数,从而形成硬度分布不均及残余应力集聚。此外,炉体密封性能下降及传感器响应延迟亦会引起保温阶段温度偏差,其根源在于设备维护不及时和工艺参数设定失调,最终影响零部件热处理效果。

### 4 石油机械制造热处理问题的优化措施

#### 4.1 优化热处理工艺以改善材料组织

企业可针对工艺参数进行精细调控以解决石油机械制造热处理工艺过程中材料组织缺陷问题。充分利用热力学平衡模型,在高温奥氏体化阶段确定适宜的温度范围,同时再应用快速温控系统,一方面能防止晶界能量聚集而导致晶粒粗化,另一方面则达到精确调节保温时间。为解决碳化物分布不均问题,企业可采取等温退火和球化退火两种方法,经由对等保温保持时间与降温速率的有效控制促使碳化物得以细化均匀<sup>[3]</sup>。同时,石油机械制造中要采取先进的气氛控制技术、真空炉或高纯惰性气体开展零部件的热处理,在这种环境下抑制氧化、脱碳反应,从而保证基体成分稳定。另外石油机械热处理中还须采用在线温度场监测与反馈控制系统,这样能够实时调控温度梯度与相变动态,并且实现工艺参数高效控制,最终提升石油机械制造质量。最后,石油机械热处理中为减少内应力风险和保证组织平稳过渡,退火过程要以扩散动力学理论设计适宜的冷却曲线。以上措施一方面必须严格遵循工艺标准,另一方面则依托于精密仪器监测数据为基础,只有这样才能保证石油机械零部件材料组织各关键参数均控制在预定范围中实现高均匀性与高稳定性。

#### 4.2 优化渗碳及氮化工艺以提高硬度均匀性

首先在渗碳工艺上,为避免渗层过厚或不足,利用高精度温控装置对炉内温度分布进行实时监测,同时合理设定渗碳温度、保温时间和碳源浓度,这需要结合数值模拟来确定最优的工艺参数。同时,为保证反应介质充分混合,消除局部温差,须构建流场调节系统以优化气体流动特性。其次,针对氮化过程为实现氮气浓度和活化气体配比进行精确调节须采取多级调节技术,同时添加反应催化剂促使氮扩散加快,这样一来才能促使氮化层厚度和成分均一。同时为使炉内反应气氛稳定应根据相关操作规范对气流分布和更新频率进行适时调节。在石油机械零部件冷却环节严格遵循分级降温原则,冷却参数设定要以零部件截面厚度为依据,同时通过在线监控系统对冷却速率进行实时调控,这样一来可以避免由于热应力集中导致工具出现相变不均、表面脱碳等情况。最后,出于促使工艺精度进一步提升目的,企业可利用激光测温技术构建炉内实时温度三维影像,并借助于流体动力学模拟内部气体分布状态,这样可实现热处理参数动态调整。另外对石油机械零部件表面温度场的变化,企业须采用红外热力成像监控,确保各部位温度曲线同步,并对工艺过程中的相变演变行为进行精细调控。

#### 4.3 优化冷却及消除残余应力以减少变形降低

首先,企业须采取预应力热处理技术,简单而言热处理前给予诸如扭转负荷、均匀拉应力等反向应力,这样能够抵消部分石油机械所累积的热应力,达到最终残留应力水平有效减少目的。在热应力梯度降低上可采取分级冷却工艺,且可确保零部件冷却均匀。比如石油机械合金钢零部件先作

高温缓冷,以降低马氏体相变应力,随后在中低温区进行控温冷却,这样一来能防止其内部组织不均而出现畸变现象;而石油机械大型复杂构件或者是高合金材质零部件,为了降低相变膨胀速率以及减少热应力集中,企业应当采取热浴冷却技术,即在恒定熔盐或金属液进行缓慢冷却<sup>[4]</sup>。其次,作为石油机械热处理中消除应力的重要举措,回火处理必须充分结合零部件材料特性及其形状对回火温度、保温时间进行调节。如采用多次回火工艺处理高强度钢,为优化组织均匀性,减少尺寸变化,先将大部分残余应力在高温回火中消除,接着在中温区做短时回火处理;而针对石油机械大尺寸零部件,可进行去应力退火处理,即长期在低于相变点的温度范围内保温,这样一来能够让内部残余应力松弛达到应力均衡目的。配合缓慢冷却的等温退火工艺,使内应力分布得到进一步改善,零部件热稳定性得到提高。另外,减少变形的手段还有热处理时的装夹方式优化。企业可采取诸如弹性支撑夹具的使用减少了局部束缚或者自重对称悬挂方式降低了零部件的变形倾向等夹具调整,从而让石油机械零部件不管加热还是冷却环节受力均实现均匀状态。对于薄壁易变形结构件,企业须利用反变形预置技术后再进行热处理,即反向弯曲或预应力装夹,使最终变形量降到最小。

#### 4.4 优化热处理设备及智能控制系统

首先,在维持炉温波动、提高加热均匀性方面,企业须采取高精度计算机控制的自动化热处理炉。为此,选择感应加热设备或是能多区控温高精度电阻炉,随后在热处理过程中借助于温度实时监测、反馈调节系统以及自适应PID算法对设备加热功率分布开展动态修正,从而使零部件温度场达到均匀。同时企业还可利用非接触式光学测温系统和嵌入式热电偶阵列等先进的温度测控技术,以增强温度测量精准性,随后再通过有限元热模拟对加热路径进行优化,以避免石油机械零部件因梯度过大而产生的组织不均现象。其次,针对冷却系统优化上,为实现良好的冷却速率与均匀

性,企业可采用智能冷却介质控制,即采用可调速喷淋散热、分区流量调节及冷却介质成分智能配比系统。简单而言,安装高速数据采集系统到喷淋冷却系统或是淬火槽中,接着运用SFD数值模拟对冷却流场进行优化以达到冷却介质均匀分布目的<sup>[5]</sup>。与此同时对包括喷嘴角度、喷淋压力和流量等进行闭环控制,从而促使石油机械零部件内外硬度梯度下降。最后,石油机械制造企业还可整合基于物联网的智能控制系统,构建数据驱动的制程优化模型,这将有助于增强设备稳定性和控制精度。另外在热处理过程数据分析环节采用机器学习算法构建出工艺参数和材料性能二者的关联模型,随后借助于其对加热和冷却参数进行实时调整,使组织转化和残余应力分布达到最优目的。

## 5 结语

石油机械制造中的热处理工艺对零部件的性能有重要影响,合理的热处理方案可提高材料的强度、硬度、耐磨性及抗腐蚀性。针对目前存在的组织缺陷、硬度不均、残余应力及设备控制等问题,应通过优化热处理工艺、改进表面处理技术、优化冷却方式及提升设备自动化水平等措施,提高石油机械热处理的质量及稳定性,以满足现代石油机械制造的高要求。

### 参考文献

- [1] 丁康,曹金龙,张正盛.提高石油机械热处理技术的几点思考[J]. 户外装备, 2023(7):382-384.
- [2] 代雪松,陈士海,宋华彬,等.关于石油机械制造热处理问题的探讨[J].现代工业经济和信息化, 2022(008):012.
- [3] 钱伟峰,倪欣,曹道坤.提高石油机械热处理技术的几点思考[J]. 中国设备工程, 2021, 000(018):166-167.
- [4] 刘海成,肖超,厉彦亮.石油机械制造工艺与机械加工工艺研究[J]. 2020.
- [5] 张中健,连爱梅.石油机械制造中热处理技术的现状与技术改造对策探析[J].石油石化物资采购, 2022(2):22-24.