

*For citation:* Zhang Xi, Guriev A.M., Lygdenov B.D. Evolution and modern trends in chemical heat treatment // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (21)'2024 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2024.01) — EDN: <https://elibrary.ru/COODVY>

UDK 669

## EVOLUTION AND MODERN TRENDS IN CHEMICAL HEAT TREATMENT

Zhang Xi<sup>1</sup>, A.M. Guriev<sup>1,2</sup>, B.D. Lygdenov<sup>2,3</sup>

1 Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China;

2 Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

3 Zhejiang Xinchang Sanxiong Bearing Co., Ltd, Zhejiang Xinchang, 312500, China

E-mail: 1822169026@qq.com; gurievam@mail.ru; lygdenov59@mail.ru

**Abstract:** As an important means of material modification, chemical heat treatment has gone through several stages of development, from the initial exploration to the widespread application today, bringing remarkable progress to the industrial field. This article first sorts out the development history of chemical heat treatment, and then elaborates on its various classification methods, including carburizing, nitriding, etc. Chemical heat treatment has remarkable characteristics, such as effectively improving material performance, flexible operation, strong applicability, etc. These characteristics make chemical heat treatment have a broad application prospect in the field of material processing. Through the research in this article, it is hoped that it can provide a useful reference for the further development and application of chemical heat treatment technology.

**Keywords:** chemical heat treatment; development history; material processing

## 化学热处理的演变与现代趋势

张熙, 古里耶夫 亚历山大<sup>1,2</sup>, 雷格德诺夫 布利亚尔<sup>2,3</sup>

1 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 武汉纺织大学, 武汉, 430073, 中国

2 阿尔泰国立技术大学·波尔祖诺夫

3 浙江新昌三维轴承有限公司, 浙江新昌, 312500, 中国

E-mail: 1822169026@qq.com; gurievam@mail.ru; lygdenov59@mail.ru

**摘要:** 化学热处理作为一种重要的材料改性手段, 其发展历程历经了多个阶段, 从最初的探索到如今的广泛应用, 为工业领域带来了显著的进步. 本文首先梳理了化学热处理的发展历程, 接着详细阐述了其多种分类方式, 包括渗碳, 渗氮等. 化学热处理具有显著的特点, 如能有效提升材料性能, 操作灵活且适用性强等. 这些特点使得化学热处理在材料加工领域具有广泛的应用前景. 通过本文的研究, 期望能为化学热处理技术的进一步发展和应用提供有益的参考.

**关键字:** 化学热处理; 发展历程; 材料加工

## 0 前言

化学热处理是将金属或合金工件置于含有适当的活性介质中加热,保温,使一种或几种元素渗入它的表层,以改变其化学成分,组织和性能的热处理工艺 [1].

化学热处理亦称 «表面渗扩» 或 «热扩渗» 处理. 实际上,化学热处理是把金属材料或制件置于含有一种或多种化学元素的固体,液体或气体介质中,在炉中加热到一定温度,通过介质高温裂解物在金属材料表面的分解,吸附,固溶,化合反应使这些元素进入金属表面,并经过热扩散逐渐渗入金属材料,在金属表层形成富一种或多种合金元素的渗层 [2].

化学热处理技术在现代工业中占有很高的比重,它之所以被广泛应用,是因为其可在很大程度上提高工件 «表硬内韧» 的性能要求,如要求工件表面高强度,高硬度,高耐磨性等力学性能,抗咬合性能,抗疲劳性能以及特殊的耐蚀性,抗高温氧化性能等物理化学性能等,同时工件自身还应保持原有的良好的塑韧型等基本性能 [3],从而提高机器零件在各种复杂工况下的耐用度.

## 1 化学热处理的发展

金属化学热处理是一种通过控制金属的温度和气氛来改变其物理和化学性质的工艺. 起源于古代金属冶炼和加工的实践,金属热处理的发展经历了漫长的历史. 以下是金属化学热处理的起源与早期发展的概述:

(1) 古代金属冶炼: 早期人类首次接触金属是通过采集自然界中的金属矿石,然后加热矿石以提取金属. 这一过程是金属冶炼的起源,尽管当时人们对热处理的机制了解有限. 约在公元前 3000 年左右,人们开始使用火焰和高温炉来提炼金属,实际上这就是一种基本形式的金属热处理.

(2) 古代锻造技术: 随着对金属冶炼技术的改进,古代人们逐渐发展了锻造技术. 锻造涉及将金属加热到一定温度,然后通过锤击或压力改变其形状. 这种过程不仅改变了金属的形状,还可以改善其机械性能.

(3) 古代淬火技术: 古代冶金工匠发现,将热金属迅速冷却可以改变其硬度和强度. 这一技术被称为淬火,通常通过将热金属浸入冷水或油中实现. 古代中东和古罗马时期的冶金工匠在锻造后对武器和工具进行淬火,以获得更坚硬的表面.

(4) 古代调质处理: 一些古代文化,如印度和中国,发展了一些调质处理技术,通过在一定温度下保持金属一段时间,然后再冷却,以改善金属的晶体结构和性能.

(5) 中世纪工匠公会: 中世纪欧洲的金属工匠公会在金属热处理方面起到了关键作用. 工匠们通过经验和传统技术,不断改进金属冶炼和热处理的方法,形成了一些独特的技艺.

总之, 金属化学热处理的起源可以追溯到早期人类对金属冶炼和处理的实践. 这些实践为后来的科学研究和技术进步奠定了基础, 使金属热处理逐渐演变为一门系统而科学的工艺.

到了近现代, 随着科学技术的进步和材料工程的发展, 金属化学热处理经历了显著的变革和进步. 以下是金属化学热处理在近现代的主要发展方向:

(1) 科学理论的建立: 18 世纪末至 19 世纪初, 科学家们对热处理现象的理论开始有了更深刻的认识. 经典热力学的建立和热力学律的提出, 使人们对金属相变, 晶体结构等方面有了更深层次的理解, 为金属热处理的科学化提供了基础.

(2) 工业革命与金属工业的兴起: 工业革命时期, 机械制造和交通运输的快速发展对金属材料提出了更高的要求. 为了改善金属材料的性能, 人们对金属热处理工艺进行了深入研究和创新, 以提高金属的硬度, 强度, 耐腐蚀性等性能.

(3) 合金设计与热处理优化: 随着对合金理论的深入研究, 人们开始通过调整金属合金的成分, 设计新型合金以满足特定工业需求. 金属热处理被纳入合金设计的范畴, 通过精确控制热处理工艺, 优化合金的晶体结构, 以获得更优越的性能 [4].

(4) 表面处理技术的发展: 为改善金属材料的表面性能, 发展了许多先进的表面处理技术, 如渗碳, 氮化, 氧化等 [5]. 这些技术通过改变金属表面的化学组成和结构, 增强了金属材料的硬度, 耐磨性和耐腐蚀性.

(5) 先进淬火技术: 现代金属热处理中, 淬火技术得到了深入研究和改进. 高速淬火, 等离子淬火等先进淬火技术的引入, 使得金属材料的淬火效果更加可控, 提高了材料的强度和硬度 [6].

(6) 计算机模拟与数值模型: 随着计算机技术的飞速发展, 人们能够通过数值模型和计算机模拟更精确地预测金属热处理过程中的相变, 温度分布等参数. 这使得工程师和研究人员能够更准确地设计和优化金属热处理工艺 [7].

(7) 热处理设备的创新: 先进的热处理设备的出现, 如高温炉, 真空炉, 等离子炉等, 为实现更为精细的热处理工艺提供了可能, 使得金属材料在更宽的温度范围内得以控制处理.

简而言之, 近现代金属化学热处理的发展借助于科学理论的支持, 工业技术的创新以及计算机模拟的应用, 使得这一领域取得了显著的进步, 为多个工业领域提供了高性能材料.

## 2 化学热处理的分类

(1) 按渗入元素的类型分类:

- a. 渗非金属, 如渗碳, 渗氮, 渗硼, 渗硅, 渗硫等.
- b. 渗金属, 如渗铬, 渗铝, 渗钒等.
- c. 金属与非金属共渗, 如铝硅共渗, 钛氮共渗, 铝硼共渗等.

(2) 按渗入元素的种数和先后顺序分类:

- a. 单元渗. 渗入单一种元素, 如渗碳 (单元渗碳), 渗硼 (单元渗硼) 等.

b. 二元共渗. 同时渗入两种元素的称为二元共渗, 如同时渗入碳, 氮两种元素即称碳氮二元共渗, 同时渗入硼, 铝两种元素即称硼铝二元共渗等.

c. 多元共渗. 同时渗入两种以上元素的称为多元共渗 [8], 如同时渗入碳, 氮, 硼三种元素即称碳氮硼三元共渗等.

d. 二元复合渗. 先后渗入两种元素的称为二元复合渗 [9], 如先后渗入钨和碳两种元素即称钨碳二元复合渗等.

e. 多元复合渗. 先后渗入两种以上元素的称为多元复合渗 [10], 如氮碳硫三元复合渗等.

(3) 按渗入元素的活性介质所处状态的不同分类:

a. 固体法: 包括粉末填充法, 膏剂 (料浆) 法, 电热旋流法等.

b. 液体法: 包括盐浴法, 电解盐浴法, 水溶液电解法等.

c. 气体法: 包括真空法, 固体气体法, 间接气体法, 流动离子炉法等.

e. 离子法: 包括离子轰击渗碳, 离子轰击氮化, 离子轰击渗金属等.

(4) 按照渗入元素对钢件表面性能的作用进行分类:

a. 提高工件表面的硬度, 强度, 疲劳强度和耐磨性. 如渗碳, 氮化, 碳氮共渗等.

b. 提高工件表面的硬度, 耐磨性. 如渗硼, 渗钒, 渗铌等.

c. 减少摩擦系数, 提高抗咬合, 抗擦伤性. 如渗硫, 氧氮化, 硫氮共渗处理等.

d. 提高抗腐蚀性. 如渗硅, 渗铬, 渗氮等.

e. 提高抗高温氧化性. 如渗铝, 渗铬, 渗硅等.

### 3 化学热处理的特点

与表面淬火, 表面形变强化等表面强化方法相比, 其具有以下特点:

(1) 通过渗入不同的元素, 可有效地改变工件表面的化学成分和组织, 以获得各种不同的表面性能 [11], 从而满足不同工作条件对工件的性能要求.

(2) 一般化学热处理的渗层深度可根据工件的技术要求来调节, 而且渗层的成分, 组织和性能由表至里是逐渐变化的, 渗层与基体属于冶金结合, 结合牢固, 表层不易剥落 [12].

(3) 通常化学热处理不受工件几何形状的限制, 无论形状如何复制均可使外壳和内腔获得所要求的渗层或局部渗层, 不像表面淬火, 滚压, 冷压, 冷轧等冷作硬化处理那样, 要受到工件形状的限制.

(4) 绝大部分化学热处理具有工件变形小, 精度高, 尺寸稳定性好等特点. 如氮化, 软氮化, 离子氮化等工艺, 均使工件保持较高的精度, 较低的表面粗糙度和良好的尺寸稳定性.

(5) 所有化学热处理均可获得改善工件表面性能的综合效果, 大部分化学热处理在提高表面力学性能的同时, 还能提高工件表面层的耐蚀性, 抗氧化性, 减摩, 抗咬合性, 耐蚀性等多种性能 [13].

(6) 一般化学热处理对提高机械产品的质量, 挖掘材料潜力, 延长使用寿命具有更为显著的成效, 因此可节约较贵重的金属材料, 降低成本, 提高经济效益.

(7) 多数化学热处理既是一个复杂的物理化学过程, 也是一个复杂的冶金过程, 它需要在一定的活性介质中进行加热, 通过界面上的物理化学反应和由表及里的冶金扩散来完成. 因而其工艺较复杂, 处理周期长, 而且对设备的要求也较高.

#### 4 结论

化学热处理是一种通过控制材料的温度和气氛来改变其物理和化学性质的关键工艺. 其起源可以追溯到古代金属冶炼和加工的实践, 经历了漫长的历史发展. 在近现代, 随着科学技术的进步, 金属化学热处理经历了显著的变革.

古代的金属冶炼和锻造技术奠定了金属热处理的基础, 而古代冶炼工匠们的实践经验为后来的科学理论提供了启示. 工业革命的兴起推动了金属工业的发展, 对金属材料性能的要求促使了金属化学热处理工艺的深入研究和创新.

近现代金属化学热处理的发展方向包括科学理论的建立, 合金设计与热处理优化, 表面处理技术的创新, 先进淬火技术的引入等. 通过精确控制热处理工艺, 人们能够改善金属材料的硬度, 强度, 耐腐蚀性等性能, 满足不同工业领域对材料性能的需求.

先进的淬火技术, 表面处理技术以及计算机模拟等工具的应用, 使得金属热处理变得更为精细和可控. 热处理设备的创新进一步推动了热处理工艺的进步, 使金属材料能够在更广泛的温度范围内得到精确处理.

综合而言, 化学热处理在金属材料工程领域扮演着至关重要的角色, 为生产高性能, 高质量的金属材料提供了关键技术支持. 这一领域的发展受益于多学科的交叉融合, 不断推动着材料科学和工程的进步.

#### 参考文献 / References

- [1] Long haining, Tang Shijian. Analysis of common mold surface strengthening treatment technologies [J]. The Herald of Scientific and Technological Innovation, 2017,14 (11): 52-53.
- [2] Liu Wei. Metal material heat treatment process and technology analysis [J]. China Metals Bulletin, 2019, (12): 83-84.
- [3] Arai T, Harper S. Thermoreactive deposition/diffusion process, ASM handbook [J]. Heat Treatment, ASM International, 1991, 479: 448-53.
- [4] Yan M F. Study on absorption and transport of carbon in steel during gas carburizing with rare earth addition [J]. Materials Chemistry and Physics, 2001,70(2):241-246.
- [5] Tela sang G, Majumdar J D, Padmanabham G, et al. Wear and corrosion behavior of laser surface engineered AISI H13 hot working tool steel [J]. Surface and Coatings Technology, 2015, 261: 69-78.
- [6] Song Na, Qiang Wei, Yang Xiaoning, et al. Effect of rare earth elements on the plasma nitriding process of 38CrMoAl steel [J]. Equipment Engineering, 2019, 16 (09): 74-78.
- [7] Hang Yongzhen, Li Qiao, Hu Xiaoli, et al. Research Progress on Intelligent Heat Treatment Based on Computer Simulation [J]. Metal heat treatment, 2017, 42 (07): 194-199.

- [8] Jinkang H, Ying L, Xueyang Z, et al. Effects of TiC/CeO<sub>2</sub> addition on microstructure and wear resistance of Ni-based composite coatings fabricated by laser cladding on H13 steel [J]. Applied Physics A, 2019, 125(6):1-9.
- [9] Van Nghia Tran, Yang S, Phung T A. Microstructure and properties of Cu/TiB<sub>2</sub> wear resistance composite coating on H13 steel prepared by in-situ laser cladding [J]. Optics & Laser Technology, 2018, 108: 480-486.
- [10] Huseyin Cimenoglu, Erdem Atar, Amir Motallebzadeh. High temperature tribological behaviour of borided surfaces based on the phase structure of the boride layer [J]. Wear, 2014, 309(1/2): 152-158.
- [11] Liu Xiaoli. Analysis on the application and heat treatment technology of metal materials [J]. Internal combustion engines and parts, 2019, (11): 227-228.
- [12] Wang Yuxuan, Yang Hemei, Xiao Maohua, et al. Effect of heat treatment temperature on the properties of chemically composite Ni-P-CeO<sub>2</sub> coating [J]. Hot working process, 2018, 47 (10): 204-207.
- [13] Pang Shiliang, Bo Xingtao, Mao Biaoqiang, et al. Composite heat treatment of high-performance mechanical parts and components [J]. Heat treatment 2019, 34 (02): 1-6.