

# Discussion on the Effect of Normalizing Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of Steel Plate of Cryogenic Pressure Vessel

Baozhi Lv

Jinxi Industrial School, Huludao, Liaoning, 125000, China

## Abstract

Low temperature pressure vessels are widely used in important industrial fields such as petroleum, chemical, and natural gas, and require stable operation at extremely low temperatures. The performance of such containers is closely related to the microstructure and mechanical properties of the material, among which the normalizing temperature is an important factor affecting the performance of the steel plate. In-depth study of the influence of normalizing temperature change on the microstructure and mechanical properties of materials is helpful to deepen the understanding of the low-temperature behavior of materials, which can not only optimize the heat treatment process, obtain more ideal microstructure and performance, but also significantly improve the performance of pressure vessels. More importantly, the precise control of normalizing temperature is the fundamental guarantee to ensure the safe and stable operation of cryogenic pressure vessels, therefore, in-depth study of the influence of normalizing temperature on the performance of pressure vessels is an important way to promote the technological progress of cryogenic pressure vessels.

## Keywords

normalizing temperature; steel plate structure of cryogenic pressure vessel; mechanical properties

# 浅谈正火温度对低温压力容器钢板组织与力学性能的影响

吕宝志

锦西工业学校, 中国·辽宁 葫芦岛 125000

## 摘要

低温压力容器广泛应用于石油、化工和天然气等重要工业领域,需要在极低温度下稳定运行。这类容器的性能与材料的微观结构和力学性能密切相关,其中,正火温度是影响钢板性能的重要因素。深入研究正火温度变化对材料微观组织和力学性能的影响规律,有助于加深对材料低温行为的认识,不仅可以优化热处理工艺,获得更理想的组织状态与性能,而且可以显著提高压力容器的使用性能。更重要的是,正火温度的精确控制是保证低温压力容器安全稳定运行的根本保证,因此,深入研究正火温度对压力容器性能的影响规律,是促进低温压力容器技术进步的重要途径。

## 关键词

正火温度;低温压力容器钢板组织;力学性能

## 1 引言

近几年来,随着低温压力容器技术的发展,对钢板的低温韧性及强度提出了更高的要求。然而,传统的热处理方法很难同时满足这两方面的需求,因此,开展正火温度对钢板组织及力学性能的影响规律研究,可为开发新型热处理工艺提供理论基础与技术支持,故而浅谈正火温度对低温压力容器钢板组织与力学性能的影响具有重要意义。

## 2 正火温度对低温压力容器钢板组织与力学性能的影响

【作者简介】吕宝志(1973-),男,中国辽宁连山人,本科,实验师,从事机械设计及材料性能研究。

### 2.1 组织变化的影响

正火温度的选取直接影响到钢板的组织演化。在合适的正火温度范围内,可以有效地促进钢中晶粒的细化和均匀分布。在高温条件下,原子扩散加速,使晶界迁移更加活跃,有利于破坏原本粗大的晶粒结构,形成更加致密的晶向。这一微观结构的细化,既可提高材料致密度,又可显著改善组织均匀性,为后续性能的提高奠定基础。正火温度越高,相变行为越明显,奥氏相在合适的温度范围内转变为铁素体、珠光体,对消除残余应力和提高组织均匀性具有重要意义。但是,过高的正火温度会引起晶粒异常长大,形成过粗的组织,从而降低钢板的强度,同时也降低了钢板的韧塑性<sup>[1]</sup>。而正火温度过低,则不能充分激发相变过程,导致过热组织残留,进而影响钢板综合性能。

## 2.2 力学性能的改变

正火温度是影响低温压力容器钢板力学性能的重要因素,通过对正火温度的精确控制,可实现钢板的强度、硬度、塑性和韧性等性能的精确调控。适当的正火温度可以使钢板内部晶粒细化和组织均匀化,从而显著提高钢板的强度,通过细化晶粒,增加晶界,抑制裂纹扩展,可提高材料的抗拉强度及屈服强度。同时,正火处理也可以改善材料的硬度分布,正火温度适宜时,可减小钢板与心部硬度之差,使全断面硬度更均匀,这种硬度均匀化对提高钢板的耐磨、抗疲劳性能有重要作用。

## 2.3 冲击韧性的优化

冲击韧度是衡量材料低温抗冲击性能的一个重要指标,正火条件下,通过对温度的精确控制,可使钢板的冲击韧性得到明显的优化。正火温度控制在合适的范围内,可以细化钢中的晶粒,并使组织更均匀。通过对材料微观结构的优化,可有效分散并吸收冲击载荷下的冲击能,避免裂纹快速扩展及脆性断裂。此外,正火法还能改善钢中夹杂物的分布及形貌,通过合理的控温,可使夹杂物更细、更均匀地分布,从而降低应力集中,进一步提高材料的冲击韧性。且正火温度对冲击韧度的影响不是单调递增的,也不是递减的,火温度过高会引起晶粒的粗化,使其冲击韧性下降;但正火温度过低,又不能充分激发相变过程,导致有害组织残留,影响冲击韧性,因此,为获得最佳冲击韧性,需要对正火温度范围进行试验研究。

## 2.4 工艺控制与实际应用

正火温度是低温压力容器钢板热处理工艺的重要参数,其精确控制是保证钢板性能稳定可靠的关键。在生产过程控制中,必须使用先进的温度检测与控制系统,对正火温度进行实时监控与调整,保证正火温度在最优范围内。在此基础上,可通过控制正火时间、冷却模式等工艺参数,实现钢板组织与性能的精确调控。且正火温度的优化是改善低温压力容器钢板综合性能的关键,通过对正火温度的精确控制,使其在强、硬、塑、韧四个维度上获得最优的平衡,以满足复杂应力状态及苛刻工作环境下的应用需求。

# 3 基于低温压力容器钢板组织与力学性能影响的正火温度工艺研究

## 3.1 精确控制正火温度范围

正火是低温压力容器钢板生产过程中的一个重要工艺环节,直接影响着钢板的组织结构及力学性能,其中正火温度的选取是保证钢板综合性能优良的一个重要因素。如P355NL2钢板为例,正火温度为880℃~910℃之间,可获得最佳的力学性能;在此温度区间内,铁素体晶粒细化、带状组织明显改善,可显著提高钢板的低温冲击性能。其中正火温度对铁素体晶粒的影响尤为明显,在880℃~910℃温度区间,铁素体晶内原子扩散加速,有利于晶界迁移,有利

于细化晶粒。同时,正火温度对带状组织的改善也是一个重要的影响因素,带状组织是钢板中普遍存在的组织缺陷,严重影响其强韧性。通过对正火温度的精确控制,可有效地消除或缓解带状组织,改善板材综合性能<sup>[2]</sup>。但是,正火的温度并不一定是最佳的,在910℃以上,铁素体晶粒逐渐变粗,并向等轴化方向发展。由于晶粒粗大,晶粒尺寸较大,导致其低温冲击性能下降。反之,若正火温度过低(如880℃以下),则不能完全消除钢板内部魏氏组织等过热组织,而这类组织也会对钢板力学性能产生不利影响。因此,正火温度范围必须严格控制,要达到这一目的,就必须借助先进的温控设备与技术,如使用高精度的温控仪表、红外测温仪等。同时,要根据不同材料、不同厚度的钢板,适当调整正火温度,保证钢板具有最好的组织及力学性能。

## 3.2 合理控制正火保温时间

正火温度对钢板的组织结构及力学性能有较大影响,热处理时间与板材内部组织转变完成程度、晶粒尺寸及形貌直接相关,因此,正火保温时间的合理控制对保证钢板力学性能的稳定性至关重要。以16MnDR钢板为例,正火保温时间的确定,应从钢板厚度及材料特点等方面综合考虑,920℃热处理40min后,16MnDR钢的力学性能可达到国家标准规定的要求。在此保温时间内,钢中的组织转变得以充分进行,铁素体晶粒细化,并有效地改善带状组织。如果保温时间过短,材料的微观结构发生了不完全的转变,对其力学性能有很大的影响。如果保温时间过短,部分奥氏体不能完全转变成铁素体、珠光体等平衡组织,而留有残余奥氏体,这些残余奥氏体可在较低温度下向马氏体转变,从而提高钢的脆性,降低其低温冲击性能。而热处理时间过长,晶粒长大,也会降低钢板的低温韧性,晶界迁移阻力(如晶界能)则随保温时间的增加而降低,所以,在一定时间内,晶粒长大将不再受到约束,晶粒变粗,晶粒粗大使材料韧性下降,极易发生低温脆断。因此,在实际生产中,正火的保温时间要根据具体的材料、厚度和正火温度来确定。这往往需要大量的试验与数据分析才能确定最佳保温时间,并在生产中严格控制,应重点研究保温过程中温度波动及保温均匀性,以保证钢板获得均匀、稳定的组织结构及力学性能。

## 3.3 优化正火冷却方式

正火的冷却方式对钢板的组织结构及力学性能有重要影响,冷却模式的选择,不仅与板材内部组织的转变过程有关,也与板材的最终性能密切相关,因此,对正火冷却模式进行优化是提高钢板韧性的一个重要途径。空冷是正火冷却方式中应用最为广泛的一种,该方法操作简便,成本低,能够满足生产需要。但是,对于一些特殊材料和性能要求的钢板,空气冷却未必是最好的选择。如一些对高韧性要求较高的低温压力容器钢板,空冷会使其冷却速率过快,从而产生较大的组织应力,从而影响其韧性。为优化正火冷却模式,可考虑采用炉冷风冷等其他冷却方式,炉冷指用正火温度对

钢板进行一定时间的保温,然后随着炉子慢慢冷却到室温的过程。该冷却模式可有效避免因快速冷却而引起的组织应力过大,从而获得更细的组织,提高韧性。而风冷是介于风冷与炉冷之间的一种制冷方式,该系统通过控制送风速度、送风速度,实现对钢板冷却过程的精确控制。风冷法可避免空冷引起的组织应力过大,提高生产效率,是一种比较理想的正火冷却方法。在选择正火冷却模式时,除要考虑钢板材料的性能要求,还要注意冷却速率的控制。过快的冷却速度会造成过高的组织应力,甚至出现裂纹;但如果冷却速率过慢,则会产生粗化,从而降低钢板的韧性。因此,在实际生产中,需对正火冷却模式及冷却速率范围进行试验与数据分析,并对其进行严格控制。如对某一特定材料的低温压力容器钢板进行了试验研究,发现风冷后以一定速度冷却到室温可以获得最好的韧性。因此,在实际生产过程中,应对冷却速度、冷却时间等参数进行严格控制,保证钢板获得最好的组织与力学性能。

### 3.4 严格控制正火前处理工艺

正火预处理技术是低温压力容器钢板生产工艺中必不可少的一个环节,对保证钢板质量起着重要作用。正火前的热处理、除锈、清洁等工艺,不仅对正火效果有重要的影响,而且对钢板的使用寿命也有很大的影响,因此,对正火前处理工艺进行严格控制,是保证低温压力容器钢板质量的基础。加热是正火预处理可为保证钢板内部温度分布均匀,为后续正火打下良好的基础,要达到这一目的,通常要使用感应加热、电阻加热等先进的加热设备与技术,这三种加热方式加热速率快,控温精度高,能有效防止局部过热或过冷<sup>[1]</sup>。在正火预处理过程中,除锈、清洁也是必不可少的,钢板在生产、运输过程中不可避免地会沾染上油垢、铁锈等杂质,如果不及时清除,不仅会影响正火效果,还会造成钢板开裂、夹渣等缺陷,因此,钢板在正火前必须进行除锈、清洁,目前常用的除锈方法有机械除锈和化学除锈等。正火前处理除加热、除锈、清洁外,还应采取预热和保温等辅助措施,预处理可降低钢板加热时的温度梯度,减少产生热应力的可能;保温可保证正火前钢板的温度分布均匀,有利于获得更细的组织,提高其性能。正火前处理工艺的严格控制,离不开先进的设备与技术支撑,如采用自动生产线及智能化控制系统,可实现对加热、除锈、清洗等各个环节的自动、准确控制;利用先进的检测设备,实现正火前处理过程中的温度、表面质量等参数的实时监控与反馈,保证了正火前处理过程的稳定可靠。在正火前处理过程中,必须建立健全的质量控

制体系,加强正火前处理过程的监督检查。通过制订详细的操作规程及质量标准,对操作人员进行培训与评估,保证各道工序符合要求,保证低温压力容器钢板的质量与安全性。

### 3.5 采用先进的热处理设备和技术

随着科学技术的进步,热处理设备与工艺水平的不断提高,对低温压力容器钢板的性能提出了新的要求。采用先进的热处理设备与工艺,不仅可提高正火效果的稳定性与可靠性,而且可进一步优化其组织与力学性能,以适应日趋苛刻的服役环境与性能需求。真空热处理炉具有加热均匀,控温准确,无污染等优点,是目前世界上最先进的热处理设备之一。采用真空正火处理,可有效防止钢板在加热过程中与氧、氮等气体发生化学反应,减少氧化、脱碳现象。正火后正火效果更加稳定、可靠,同时,它还具有快速升温、降温的功能,可缩短正火时间,提高生产效率。而气氛热处理炉是又一先进的热处理设备。该技术通过在炉中填充特定气氛(如惰性气体、还原性气体)来实现对钢板加热冷却过程的精确控制。采用气氛热处理炉,既可避免钢板受热时发生氧化脱碳现象,又可通过调节气氛组成及流速,实现对钢板冷却速率与冷却模式的调控,进而获得更理想的组织与力学性能。如在特定条件下,正火处理可使铁素体晶粒细化,提高低温冲击性能。

除了先进的热处理设备之外,计算机仿真与数据分析技术也成为促进低温压力容器钢板性能提高的主要动力。

## 4 结语

综上所述,探究正火温度对低温压力容器钢板组织与力学性能的影响,不仅可以加深人们对热处理过程中组织结构及力学性能变化规律的认识,而且可以为热处理工艺的优化和性能的提高提供重要的理论基础和技术支撑,随着低温压力容器技术的进步,对其性能提出了更高的要求。未来,今后需进一步加强正火温度及其它热处理工艺的研究,探索更高效、环境友好的热处理工艺,以满足我国低温压力容器行业对高性能钢板的需求,以促进相关产业的发展,推动科技进步,促进经济的发展。

### 参考文献

- [1] 谢章龙,陈家辉,张丙军,等.正火温度对低温压力容器钢板组织与力学性能的影响[J].金属热处理,2023,48(9):110-115.
- [2] 郭潇,王智聪,陈建超.低温压力容器用SA537 CL2钢板的开发[J].轧钢,2021,38(4):108-111.
- [3] 王健,田洪根,展西国.浅谈低温压力容器制造监督检验问题[J].低温与特气,2018,36(5):47-50.