

无机淬火液在螺旋道钉热处理工艺的应用

吕明奎¹, 刘瑞德¹, 张保耀¹, 夏 添¹, 隗永旺²

(1. 铁科(天津)科技有限公司, 天津 301700; 2. 北京铁科首钢轨道技术股份有限公司, 北京 102206)

摘要: 采用水溶性无机淬火液作为螺旋道钉淬火时的淬火介质,对螺旋道钉分别进行了淬火、不同回火时间和不同回火温度的回火,分析了不同工艺处理后螺旋道钉的显微组织、硬度和最小实物拉力。结果表明,在淬火温度 850 ℃、保温时间 80 min 条件下淬火,螺旋道钉表面未发现淬火裂纹,整体淬透性良好、硬度和淬火显微组织无明显差异;同回火温度下,随着回火时间的增加,螺旋道钉硬度降低,最小实物拉力降低;同回火时间下,随着回火温度的增加,螺旋道钉硬度降低,最小实物拉力降低;采用水溶性无机淬火液(浓度 12%)作为淬火介质时,对螺旋道钉而言,合适的热处理工艺为淬火温度 850 ℃、保温时间 80 min、回火温度 460 ℃、回火时间 120 min。

关键词: 淬火液; 螺旋道钉; 热处理; 显微组织; 硬度; 最小实物拉力

中图分类号: TG156.1; U215 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)14-0227-04

近年来我国高速铁路建设得到迅猛发展,2022年,新增高铁里程 2 082 km,年末里程达到 4.2 万 km,稳居世界首位;且中国高速铁路运营里程也高居世界第一^[1-2]。铁路扣件作为钢轨和轨下基础结构的连接件,对保证铁路的整体稳定运行起着重要作用。铁路扣件通常由弹条、螺旋道钉、轨下垫板等多个零部件组成,在使用过程中任一零部件的失效或断都会影响扣件的正常工作甚至影响列车运行的安全^[3-7]。螺旋道钉作为铁路扣件的关键零部件之一,在使用过程中承受着列车运行带来的横向水平力,因此要求螺旋道钉应具有较好的性能^[8]。

根据螺旋道钉力学性能要求,热处理通常采用淬火+回火工艺,目的是获得淬火后的马氏体,从而使得回火后具有较好的力学性能。而马氏体的转变程度可通过淬透性展现,淬透性以钢材淬火后能够得到的淬硬层深度表示,同时钢材的淬透程度往往与淬火介质有关。良好的淬火介质不仅能保证钢材的淬透性,还应保证钢材不应出现淬火裂纹。本文采用一种水溶性无机淬火液(简称淬火液)作为淬火介质,该淬火液在使用过程中无烟尘,无有害气体,既环保又安全;使用淬火温度范围-5~40 ℃,生产时浓度变化小,控制简单。

ML20MnTiB 作为一种冷镦用钢,以其良好的

综合力学性能常作为高强度螺栓产品的原材料^[9]。为此,本文采用 ML20MnTiB 钢作为螺旋道钉的原材料,对淬火后螺旋道钉进行淬透性试验,按相关技术要求对淬火+回火后的螺旋道钉各项性能进行试验测试,以期获得当淬火液作为淬火介质时适合于螺旋道钉的热处理工艺参数。

1 试样制备与试验方法

1.1 试样制备

螺旋道钉原材料为 ML20MnTiB 冷镦用钢,化学成分如表 1 所示。

试验用加热设备为马弗炉,保温精度±5℃;淬火时采用的淬火介质为淬火液,浓度 12%。为得到合适的热处理工艺参数,采用同一淬火温度、不同回火时间和不同回火温度进行了螺旋道钉的制备,制备工艺如表 2 所示。其中工艺 1 为验证螺旋道钉淬火后的淬透性和淬火裂纹;工艺 2~工艺 4 为验证回火时间对螺旋道钉性能的影响;工艺 5~工艺 8 为验证回火温度对螺旋道钉性能的影响。

表 1 ML20MnTiB 冷镦用钢的化学成分

化学成分	质量分数/%				
	C	Si	Mn	P	S
技术要求	0.56~0.64	1.60~2.00	0.70~1.00	≤0.025	≤0.025
测量值	0.58	1.66	0.77	0.018	0.004 1

收稿日期: 2024-03-01

作者简介: 吕明奎(1993—),男,贵州遵义人,工程师,研究方向为轨道交通;刘瑞德(1983—),男,河北唐山人,工程师,研究方向为轨道交通;张保耀(1974—),男,河北南宫人,硕士,高级工程师,研究方向为轨道交通;夏添(1981—),男,湖北金门人,工程师,研究方向为轨道交通;隗永旺(1988—),男,北京人,工程师,研究方向为轨道交通。

表 2 制备工艺

序号	制备条件
工艺 1	淬火:850 ℃,80 min
工艺 2	淬火:850 ℃,80 min;回火:470 ℃,80 min
工艺 3	淬火:850 ℃,80 min;回火:470 ℃,120 min
工艺 4	淬火:850 ℃,80 min;回火:470 ℃,200 min
工艺 5	淬火:850 ℃,80 min;回火:420 ℃,120 min
工艺 6	淬火:850 ℃,80 min;回火:440 ℃,120 min
工艺 7	淬火:850 ℃,80 min;回火:460 ℃,120 min
工艺 8	淬火:850 ℃,80 min;回火:500 ℃,120 min

1.2 试验方法

(1)对于工艺 1 制备的淬火螺旋道钉,分别进行裂纹、硬度、显微组织的测试和观察。对于裂纹:将制备的螺旋道钉采用磁粉探伤方法并按 GB/T 15822.1—2006^[10]进行裂纹测试,磁粉探伤设备为微机控制荧光磁粉探伤机,退磁后在荧光灯下观察螺旋道钉表面是否存在裂纹;对于硬度:取样部位为螺旋道钉光杆中部处,取样后按 GB/T 230.1—2018^[11]进行样品的处理和硬度测试,设备采用 KH3200A 型洛氏硬度计,精度为 0.1 HRC,载荷为 1.471 kN,保载时间 5 s,测试位置为所取试样的 3/4 半径处、1/2 半径处和心部;对于显微组织:取样部位同硬度,取样后分别进行粗磨、细磨及抛光处理,抛光后采用 4%硝酸酒精侵蚀,侵蚀后的显微组织采用 Axio Vert A1 型光学显微镜放大 500 倍进行观察,观察位置为试样磨面的 3/4 半径处、1/2 半径处和心部。

(2)对于工艺 2~工艺 8 制备的淬火+回火螺旋道钉,按 TB/T 3395.3—2015^[12]分别进行最小实物拉力和硬度的测试。对于实物拉力(要求不低于 190 kN):将各工艺制备的螺旋道钉放置于专用工装上,通过电子万能试验机进行加载,加载条件为,加载速率为 12.5 mm/min,直至拉断,拉断时的力值即为最小实物拉力;对于硬度(要求不大于 34 HRC):取样部位和测试方法同淬火硬度。

2 试验结果与分析

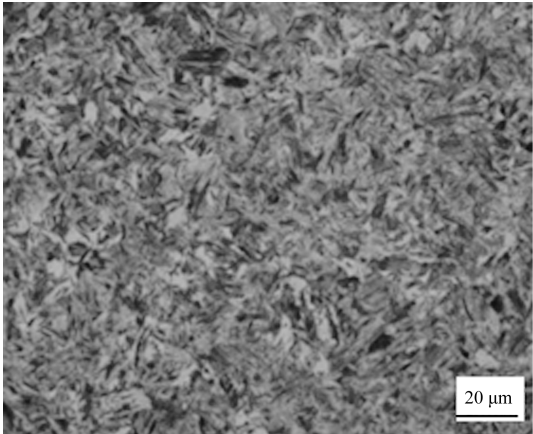
2.1 淬火后螺旋道钉性能

经试验,工艺 1 制备的螺旋道钉表面未发现淬火裂纹;得到工艺 1 条件下螺旋道钉取样部位 3/4 半径处、1/2 半径处和心部的硬度,如表 3 所示;得到工艺 1 条件下螺旋道钉所取试样磨面 3/4 半径处、1/2 半径处和心部显微组织,如图 1 所示。

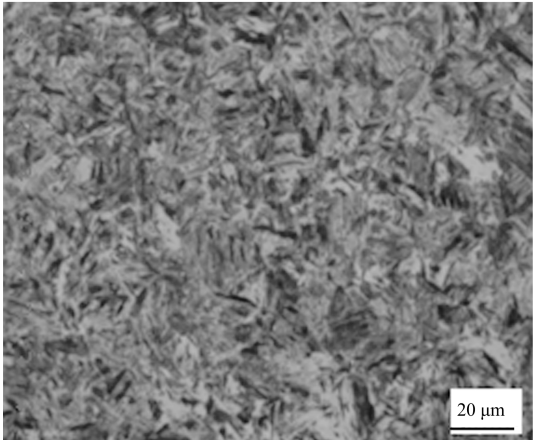
由表 3 和图 1 可知,螺旋道钉采用工艺 1 淬火后,所取试样 3/4 半径处、1/2 半径处和心部硬度基本一致,约为 46 HRC;螺旋道钉采用工艺 1 淬火后,

表 3 工艺 1 螺旋道钉硬度及裂纹

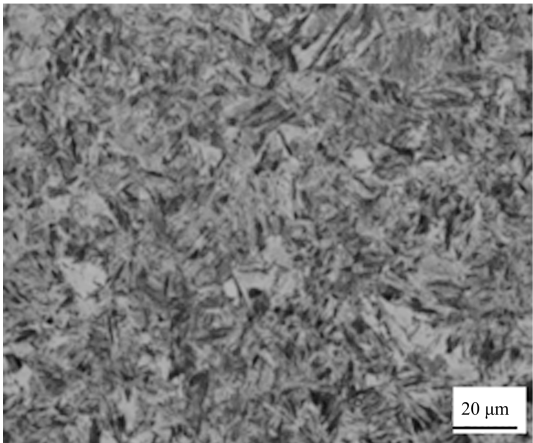
工艺	硬度/HRC		
	3/4 半径处	1/2 半径处	心部
1	45.9	45.6	45.7



(a) 3/4半径处



(b) 1/2半径处



(c) 心部

图 1 淬火后不同位置显微组织

所取试样 3/4 半径处、1/2 半径处和心部的显微组织基本为细小马氏体。这表明,在使用淬火液作为淬火介质,工艺 1 条件下,螺旋道钉淬火过程未出现淬裂现象,淬火后马氏体转化充分,获得的淬

火硬度和显微组织无明显差异,基本实现了螺旋道钉的整体淬透。同时螺旋道钉淬火后的显微组织整体表现为细小马氏体,达到了淬火的预期目的。

2.2 回火时间对螺旋道钉性能的影响

各选取 5 件工艺 2~工艺 4 制备的螺旋道钉进行最小实物拉力和硬度测试,测试结果取平均值,具体如表 4 所示,并得出如图 2 所示螺旋道钉硬度平均值随回火时间增加变化。

由表 4 和图 2 可知,对于螺旋道钉最小实物拉力:工艺 2>工艺 3>工艺 4,这表明随着回火时间的增加(工艺 2~工艺 4),最小实物拉力呈逐步降低趋势;对于硬度:工艺 2>工艺 3>工艺 4,且同工艺下 3/4 半径处、1/2 半径处和心部硬度无明显差异。这表明随着回火时间的增加,螺旋道钉整体的硬度逐渐降低。这是由于螺旋道钉淬火后的组织为马氏体组织,在后续的回火处理过程中,随着回火时间的增加,马氏体中的过饱和碳以碳化物的方式不断析出,随着马氏体中碳含量逐渐降低,碳的固溶强化效果逐渐降低,这就使得硬度逐渐降低^[13]。

在工艺 2(回火时间为 80 min)条件下,螺旋道钉硬度约为 34 HRC,为技术要求(≤ 34 HRC)上限值;在工艺 4(回火时间 200 min)条件下,虽然最小实物拉力和硬度均满足技术要求,但考虑回火时间较长,考虑生产效率,生产时合适的回火时间为 120 min。

2.3 回火温度对螺旋道钉性能的影响

各选取 5 件工艺 5~工艺 8 制备的螺旋道钉进

表 4 工艺 2~工艺 4 螺旋道钉最小实物拉力与硬度

工艺	回火时间/ min	最小实物 拉力/kN	硬度/HRC		
			3/4 半径处	1/2 半径处	心部
2	80	212	33.5	33.7	33.7
3	120	207	31.5	31.5	31.6
4	200	205	29.9	30.3	30.1

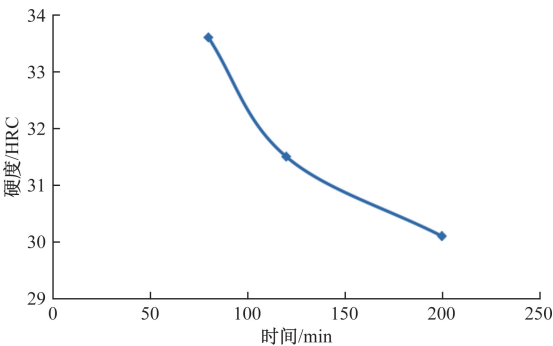


图 2 螺旋道钉硬度随回火时间变化情况

行最小实物拉力和硬度测试,测试结果取平均值,具体如表 5 所示,并得出如图 3(a)所示螺旋道钉最小实物拉力随回火温度增加变化、图 3(b)所示螺旋道钉整体硬度平均值随回火温度增加变化。

由表 5 和图 3 可知,对于螺旋道钉最小实物拉力:工艺 5>工艺 6>工艺 7>工艺 8,这表明随着回火温度的增加(工艺 5~工艺 8),最小实物拉力逐步降低;对于硬度:工艺 5>工艺 6>工艺 7>工艺 8,且同工艺下 3/4 半径处、1/2 半径处和心部硬度无明显差异。这表明随着回火时间的增加,螺旋道钉整体的硬度逐渐降低。这是由于螺旋道钉淬火后马氏体组织,在后续的回火处理过程中,随着回火温度的增加,马氏体中的过饱和碳以碳化物的方式析出,随着马氏体基体中碳含量逐渐降低,碳的固溶强化效果逐渐降低,这就使得硬度和强度逐渐降低^[14],而强度的降低,也使得螺旋道钉最小实物拉力降低。

表 5 工艺 5~工艺 8 螺旋道钉最小实物拉力与硬度

工艺	回火 温度/℃	最小实物 拉力/kN	硬度/HRC		
			3/4 半径处	1/2 半径处	心部
5	420	238	35.6	35.5	35.9
6	440	220	33.6	33.7	33.5
7	460	207	31.2	30.9	31.3
8	500	190	27.4	27.3	26.7

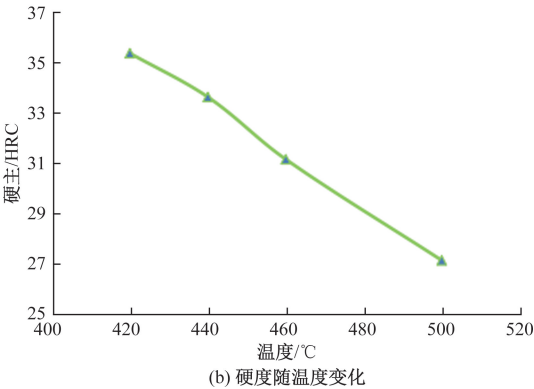
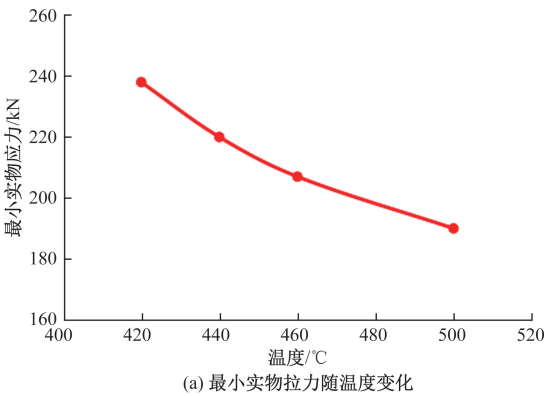


图 3 螺旋道钉最小实物拉力与硬度随回火温度变化

在工艺5(回火温度为420℃)条件下,螺旋道钉硬度约36 HRC,大于技术要求(≤ 34 HRC)上限值;在工艺6(回火温度为440℃)条件下,螺旋道钉硬度约34 HRC,为技术要求上限值;在工艺7(回火温度为460℃)条件下,最小实物拉力和硬度均满足技术要求;在工艺8(回火温度为500℃)条件下,虽然硬度满足技术要求,但实物拉力为190 kN,为技术要求(≥ 190 kN)下限值。因此,生产时合适的回火温度为460℃。

3 结论

(1)采用淬火液作为淬火介质,在淬火温度850℃,保温时间80 min条件下,螺旋道钉表面未发现淬火裂纹,淬火后显微组织以细小马氏体为主,3/4半径处、1/2半径处和心部硬度无明显差异,实现了螺旋道钉的整体淬透。

(2)采用淬火液作为淬火介质,淬火螺旋道钉经不同回火温度、不同回火时间处理后,最小实物拉力和硬度均表现为随回火时间的增加而降低、随回火温度的增加而降低。合适的热处理工艺参数为淬火温度850℃,保温时间80 min,回火温度460℃,保温时间120 min。

(3)采用淬火液作为淬火介质,生产过程控制简单;淬火液稳定性高,成本低,螺旋道钉热淬火后未发现淬火裂纹,整体淬透性良好。

参考文献

- [1] 韩鑫. 我国综合立体交通网持续完善[N]. 人民日报, 2023-07-07(007).
- [2] 唐先习, 吕闻起, 甘海龙, 等. 冻胀变形下高速铁路车辆-

轨道-路基耦合系统的动力效应[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(11): 4801-4809.

- [3] 卢祖文. 我国铁路的钢轨扣件[J]. 中国铁路, 2005(7): 25-27.
- [4] 肖宏, 李启航. 地铁扣件螺旋道钉断裂过程分析及改进措施[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016, 44(6): 892-898.
- [5] 孙林林, 方杭玮, 冉蕾, 等. 弹条Ⅱ型扣件螺旋道钉受力分析[J]. 铁道建筑, 2019, 9(12): 129-133.
- [6] 张馨艺, 伍曾, 余剑, 等. 无砟轨道W1型弹条疲劳性能的试验研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(17): 7527-7532.
- [7] 余剑, 伍曾, 张景坤, 等. W1型弹条扣压力与疲劳性能的试验研究[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(21): 9088-9093.
- [8] 肖志玲, 刘百宣, 刘华, 等. 螺旋道钉多工位冷锻成形工艺优化及数值模拟[J]. 锻压技术, 2014, 39(2): 79-83.
- [9] 张先鸣. 我国冷锻钢的现状和发展[J]. 金属制品, 2009, 35(2): 43-47.
- [10] 全国无损检测标准化技术委员会. 无损检测 磁粉检测 第1部分: 总则: GB/T 15822.1-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [11] 全国钢铁标准化技术委员会. 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分: 试验方法: GB/T 230.1-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [12] 中国铁路经济规划研究院. 高速铁路扣件 第3部分: 弹条V型扣件: TB/T 3395.3-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [13] 杨德振, 熊志平, 张超, 等. 回火时间对Fe-0.39C-3.69Mn中锰钢的组织 and 力学性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 2021, 33(11): 1161-1170.
- [14] 程石, 胡锋, 王亚超, 等. 回火热处理对低碳高强度钢低温冲击韧性的影响[J]. 材料热处理学报, 2020, 41(12): 80-89.

Application of Inorganic Quenching Liquid in Heat Treatment of Screw Spike

LÜ Mingkui¹, LIU Ruide¹, ZHANG Baoyao¹, XIA Tian¹, WEI Yongwang²

(1. Tiek (Tianjin) Technology Co. LTD., Tianjin 301700, China;

2. Beijing Tiek Shougang Technology Co. Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: The water-soluble inorganic quenching liquid was used as the quenching medium of the spiral spike. The spiral spike was quenched, tempered at different tempering time and temperature respectively. The microstructure, hardness and minimum physical tension of the spiral spike after different processing were analyzed. The results show that no quenching crack is found on the surface of spiral spike under the condition of quenching temperature 850℃ and holding time 80 min, and the overall hardenability is good, and the hardness and quenching microstructure have no obvious difference. At the same tempering temperature, with the increase of tempering time, the hardness of spiral spike decreases, and the minimum physical tension decreases. Under the same tempering time, with the increase of tempering temperature, the hardness of spiral spike decreases, and the minimum physical tension decreases. When water-soluble inorganic quenching liquid (concentration 12%) is used as the quenching medium, the appropriate heat treatment process for spiral spike is quenching temperature 850℃, holding time 80 min, tempering temperature 460℃, and tempering time 120 min.

Keywords: quenching liquid; screw spike; heat treatment; microstructure; hardness; minimum physical pull