



耐候特种焊接用钢 TH550-NQ-II 盘条双相区轧制

崔贵博¹, 侯建伟¹, 孔祥伟², 苏永泽¹

(1 青岛特殊钢铁有限公司线材研究所, 青岛 266409; 2 兴澄特种钢铁有限公司线材研究所, 江阴 214400)

摘要: TH550-NQ-II 耐候特种焊接用钢盘条中添加 Ni、Cr、Cu 等合金元素, 热轧盘条组织中存在较多淬火组织, 淬火组织占比 40% 左右, 盘条的通条力学性能波动大, 通条抗拉强度波动在 80 MPa 以上, 下游客户在直接拉拔时易发生断裂, 断丝比例在 3% 左右, 部分盘条需要退火拉拔才可拉拔。为减少盘条组织中淬火组织, 解决盘条力学性能波动大问题, 采用热膨胀仪测量 TH550-NQ-II 盘条的 CCT 曲线分析后, 进行 $\phi 5.5$ mm 规格 TH550-NQ-II 盘条双相区轧制试验, 试验盘条进减定径温度控制在 820 °C, 吐丝温度控制在 810 °C, 配合保温罩的开启, 盘条向 F 和 P 组织转变速率加快, 完成相变的时间减少, 盘条淬火组织所占比例降低至 27% 左右, 盘条通条抗拉强度波动降低至 40 MPa 以内, 客户拉拔时断丝率降低至 0.5% 以内, 满足了客户少退火或免退火拉拔需求。

关键词: 耐候特种焊接用钢; TH550-NQ-II 盘条; 双相区轧制; 金相组织; 拉拔性能

DOI: 10. 20057/j. 1003-8620. 2024-00207 **中图分类号:** TG335. 1

Duplex-phase Rolling of TH550-NQ-II Wire Rod for Weather-resistant Special Welding Steel

Cui Guibo¹, Hou Jianwei¹, Kong Xiangwei², Su Yongze¹

(1 Wire Rod Research Institute, Qingdao Special Steel Co., Ltd., Qingdao 266409, China; 2 Wire Rod Research Institute, Xingcheng Special Steel Co., Ltd., Jiangyin 214400, China)

Abstract: TH550-NQ-II weather-resistant special welding steel wire rod added Ni, Cr, Cu and other alloying elements, there are more quenching structures in the hot-rolled wire rod structure, the quenching structure accounts for about 40%, the mechanical properties of the full length wire rod fluctuate greatly, the tensile strength of the full length wire rod fluctuates above 80 MPa, downstream customers are prone to fracture when directly drawing, and the proportion of broken wires is about 3%. Part of the wire rod needs to be annealed and drawn before it can be used. In order to reduce the quenching structure in the wire structure and solve the problem of the large fluctuation of mechanical properties of the wire rod, the CCT curve of the TH550-NQ-II wire rod is measured by thermal dilatation instrument. After analyzing the CCT curve of the TH550-NQ-II wire rod, the duplex-phase rolling test of the TH550-NQ-II wire rod is carried out. The reducing and sizing temperature of the test wire rod was controlled at 820 °C, and the spinning temperature was controlled at 810 °C. With the opening of the insulation cover, the conversion rate of wire rod to F or P is accelerated, the time to complete the phase transition of F and P is reduced, the proportion of hardened structure of wire rod is reduced to about 27%, the tensile strength fluctuation of full length wire rod is reduced to less than 40 MPa, and the proportion of broken wire is reduced to less than 0.5% during customer drawing, which meets the customer's demand for less annealing or non-annealing drawing.

Key Words: Weather Resistant Special Welding Steel; TH550-NQ-II Wire Rod; Two-phase Zone Rolling; Metallographic Structure; Drawing Performance

TH550-NQ-II 耐候特种焊接用钢盘条用来制作铁道车辆用耐大气腐蚀焊丝, 制成的焊丝具有良好的抗大气腐蚀性能、抗裂性能及良好的塑性和韧性, 主要用来焊接列车转向架^[1]。为保证其制成焊丝焊接后焊缝的耐候性, 需添加一定量的 Ni、Cr、Cu 等耐腐蚀合金元素^[2]。合金元素的加入提高了钢的淬透性, 使得 CCT 转变曲线向右下方移动, 盘条组织中出现淬火组织可能性大幅增加^[3]。在拉拔变形过程中, 淬火组织与铁素体基体变形不一致, 在二

相分界处萌生裂纹^[4], 随着后续拉拔进行极易产生断裂。

常规工艺生产的 $\phi 5.5$ mm 规格 TH550-NQ-II 盘条盘条的热轧态组织不均匀, 如图 1 所示, F+P+大量 M+大量 B 组织占比 40% 左右, 降低了产品塑性和拉拔变形能力同时导致盘条通条力学性能波动大, 通条抗拉强度波动在 80 MPa 以上, 下游客户在直接拉拔时易发生断裂, 断丝比例在 3% 左右, 部分盘条需要退火后才能拉拔至 $\phi 1.2$ mm。近年来,

随着绿色低碳、节能降耗和低成本的需求,市场对于减少退火或免退火拉拔用 TH550-NQ-II 产品需求愈发紧迫,为增强产品的市场竞争力,在现有 TH550-NQ-II 钢的成分基础上,使用热膨胀仪测量了 TH550-NQ- II 盘条的 CCT 曲线后,通过双相区轧制来减少盘条淬火组织,提升盘条组织均匀性,减轻了淬火组织无法同步变形而产生的心部空洞或拉拔断裂,提高了产品的拉拔性能^[5]。

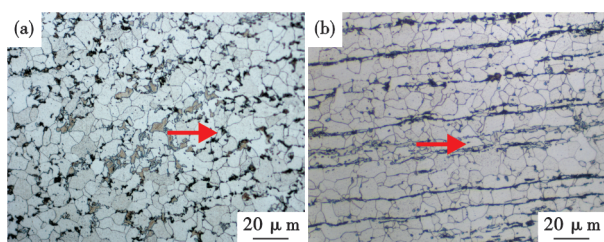


图1 TH550-NQ- II 钢盘条金相组织:(a)横向,(b)纵向
Fig. 1 Metallographic structure of TH550-NQ- II steel wire rod (a) transverse; (b) longitudinal

1 试验材料及方法

试验材料选用工业生产 180 mm×240 mm 矩形 TH550-NQ- II 钢坯轧制,其冶炼工艺流程为:铁水脱硫→100 t BOF→100 t LF→CCM, TH550-NQ- II 耐候特种焊接用钢化学成分是根据现行《TB/T 2374—2008 铁道车辆用耐大气腐蚀钢及不锈钢焊接材料》中牌号 TH550-NQ- II 设计,其成分见表 1。Mn 提高钢的淬透性,Mn 含量高会降低钢的塑性以及焊接性能,Ni、Cr、Cu 加入可改善钢的耐大气腐蚀性能,过高会增加钢淬透性,影响后续轧制盘条组织,TH550-NQ- II 钢冶炼时 Mn、Ni、Cr、Cu 按照中下限控制,在保证产品焊接性能和耐腐蚀性能同时降低产品淬透性能,减少后续轧制时的淬火组织。

TH550-NQ- II 耐候特种焊接用钢盘条轧制工艺流程为:钢坯精整→加热炉加热→摩根六代轧机轧制→斯太尔摩风冷,Mn、Ni、Cr、Cu 等合金元素加入,使得 CCT 转变曲线向右下方移动,推迟和延长转变时间,在轧制后冷却时极易产生淬火组织,通过双相区轧制,使钢中的奥氏体晶粒细化,形变诱导铁

素体大量析出^[6-8],使得 CCT 转变曲线向左移,减少转变时间,使盘条组织中的淬火组织比例减少,改善组织和通条抗拉强度均匀性。目前,常规生产工艺的盘条的奥氏体晶粒度大约在 8.5 级左右,组织中 F+P+大量 M+大量 B 组织占比 40% 左右,无法满足下游客户的拉拔需求。

利用热膨胀仪测定 TH550-NQ- II 钢的相变点 A_{c1} 、 A_{c3} ,试样加工尺寸为 4 mm×10 mm,以 10 °C/s 的加热速度升温至 1 000 °C,保温 5 min,试样完全奥氏体化,然后分别以 0.01、0.02、0.05、0.1、1、2、5、10、20、30 °C/s 的冷冷冷却至 200 °C,根据试验结果得到 TH550-NQ- II 钢盘条的 CCT 曲线,如图 2 所示。

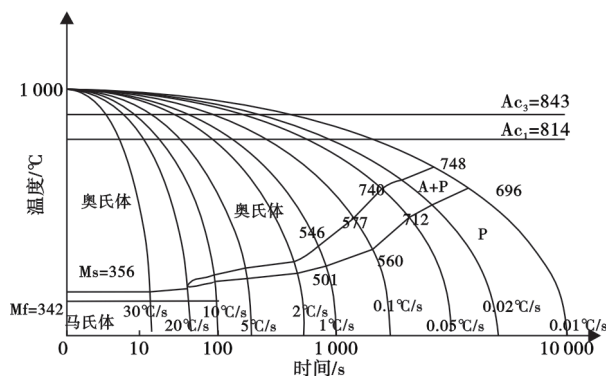


图2 TH550-NQ- II 钢盘条的 CCT 曲线
Fig. 2 CCT curve of TH550-NQ- II steel wire rod

通过现场测温,TH550-NQ- II 钢盘条在吐圈后,初始的冷却速度比较快,盘条在进保温罩前的冷却速度 >0.7 °C/s。从测定的 CCT 曲线可以看出,0.7 °C/s 冷却速度对应的相变温度 A_{r3} 在 558 °C 左右,因此,需控制盘条的进保温罩温度 ≥ 560 °C,可以保证盘条在进保温罩前不发生 M 或 B 转变。

根据测定 CCT 曲线,制定 TH550-NQ- II 钢试验工艺参数,轧制温度控制及风冷线保温罩开启见表 2,其中风冷线共 18 个保温罩,通过不同保温罩开启个数控制进保温罩前温度,原工艺开启第 1、2 个保温罩,其余全关,试验工艺增加开启第 4 个保温罩,其余全关。生产时对过程温度进行记录,见表 3。

通过对现场温度测定,试验盘条与原工艺盘条

表 1 TH550-NQ- II 钢盘条化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical composition of TH550-NQ- II steel wire rod

项目	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
标准	≤ 0.10	≤ 0.60	1.20 ~ 1.60	≤ 0.025	≤ 0.020	0.20 ~ 0.60	0.30 ~ 0.90	0.20 ~ 0.50
目标值	0.07	0.45	1.40	≤ 0.015	≤ 0.015	0.30	0.35	0.25

表 2 TH550-NQ-II 钢盘条轧制温度控制及风冷辊道参数

Table 2 Rolling temperature control and air-cooled roller table parameters of TH550-NQ-II steel wire rod

工艺方案	入减定径温度/°C	吐丝温度/°C	轧制速度/(m·s ⁻¹)	保温罩开启方式
原工艺	900±10	850±10	103±2	开 1、2
试验工艺	820±10	810±10	103±2	开 1、2、4

表 3 TH550-NQ-II 钢盘条轧制过程温度

Table 3 Rolling process temperature of TH550-NQ-II steel wire rod

工艺方案	入减定径	吐丝	进 3#保温罩		进 5#保温罩		出保温罩	
			搭接点	非搭接点	搭接点	非搭接点	搭接点	非搭接点
原工艺	905	848	731	683	-	-	628	511
试验工艺	828	809	715	700	682	631	620	507

相比过程温度和吐丝温度的降低,盘条进出保温罩时边缘位置与中间位置的温度差减少。

2 试验结果与讨论

2.1 金相检验

对每个方案取 2 个通圈 20 个横向试样进行金相检验,试验盘条晶粒度较原工艺提升至 9.5 级,试验盘条组织状况得到较好改善,盘条中 M 和 B 所占比例明显降低,F+P 或 F+P+极少量 B+极少量 M 的组织比例提高至 73%。对每个方案取 2 个通圈 20 个纵向试样进行纵向截面带状组织进行对比原工艺盘条的心部大部分存在一条或多条马氏体带,试验工艺盘条的心部金相组织大部分为珠光体组织,仅零星分布有少量的马氏体块,贝氏体和马氏体属于硬质相,塑性与铁素体差异较大,淬火组织比例减少,可减少在拉拔过程中两种组织变形不一致导致的拉拔断裂^[5],金相检验结果如图 3 所示。

分析认为通过双相区轧制,使钢中的奥氏体晶粒细化,形变诱导铁素体大量析出,同时盘条进保温罩温度降低,盘条可快速冷却至 F 和 P 相变温度

区间,盘条向 F 和 P 转变速率加快,完成相变的时间减少,在相同转变时间内,F 和 P 转变增多,淬火组织比例减少。

2.2 力学性能测试

对每个方案取 2 个通圈共 20 个样品进行抗拉强度测试对比,试验工艺盘条的抗拉强度均值为 518 MPa,通圈强度波动 38 MPa,原工艺盘条的抗拉强度均值为 514 MPa,通圈强度波动 82 MPa,原工艺盘条存在抗拉强度 > 560 MPa 情况,试验工艺盘条较原工艺面缩均值提升 1.1% 左右。

分析原工艺通圈波动大为盘条进出保温罩的温度差大,盘条通圈组织不均匀,造成性能波动大,试验工艺减少了中间与边缘的温度差,随着温度差的降低,得到的组织基本一致,从而盘条通圈均匀性提升^[9]。

TH550-NQ-II 耐候特种焊接用钢经双相区轧制工艺优化,盘条淬火组织比例降低至 27% 左右,盘条通条抗拉强度波动减少至 40 MPa 以内,将试验工艺和原工艺的盘条发客户对比使用,经客户使用后反馈试验工艺盘条的拉拔断丝率减少至 0.5% 以内,满足其目前使用要求,改善工艺后多次发客户使用,拉拔断丝率均在 0.5% 以内。

3 结语

1) 通过双相区轧制,TH550-NQ-II 耐候特种焊接用钢盘条晶粒细化,有利于铁素体大量析出,进保温罩温度降低,盘条向 F 和 P 转变速率加快,完成相变的时间减少,特种焊接用钢 TH550-NQ-II

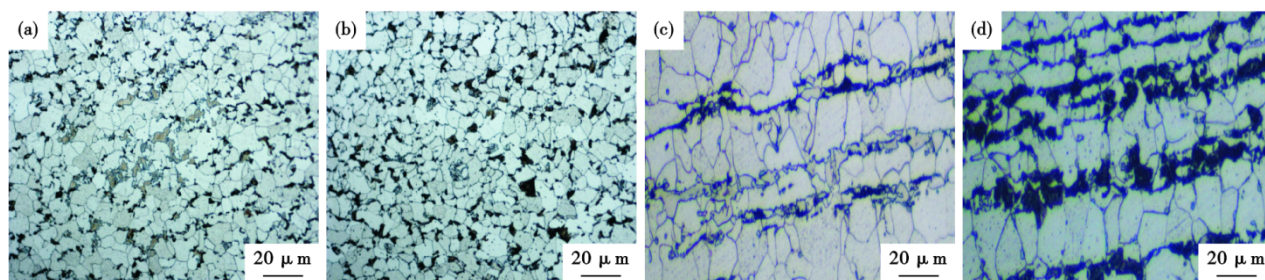


图 3 φ5.5 mm 规格盘条组织对比:(a)原工艺横向,(b)试验工艺横向,(c)原工艺带状组织,(d)试验工艺带状组织

Fig. 3 Microstructure comparison of φ5.5 mm wire rod : (a) transverse direction of original process, (b) transverse direction of test process, (c) banded structure of the original process, (d) banded structure of test process

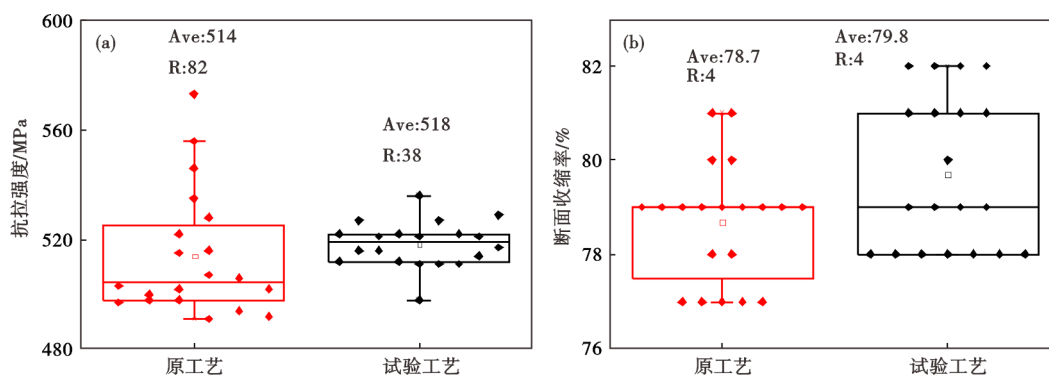


图4 抗拉强度和面缩对比:(a)抗拉强度,(b)断面收缩率

Fig. 4 Comparison of tensile strength and surface shrinkage : (a) tensile strength, (b) section shrinkage rate

钢盘条组织中的淬火组织的比例降低至 27% 左右。

2) TH550-NQ-II 耐候特种焊接用钢盘条轧制时降低轧制过程温度和吐丝温度,可降低盘条进保温罩时中间与边缘的温度差,盘条组织更加均

匀,盘条的通条抗拉强度波动降低至 40 MPa 以内。

3) 通过试验对比来看,TH550-NQ-II 耐候特种焊接用钢盘条在经双相区轧制后,组织和通圈强度得到优化,客户使用时拉拔断丝率降低至 0.5% 以内。

参考文献

- [1] 张瑞琦,刘志伟,孙傲,等. 国内高速列车转向架用钢的发展[J]. 特殊钢, 2022, 43(2): 1-5.
- [2] 姜鹏飞. 组织及合金元素对高性能铁路车辆用钢耐蚀性影响的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2009.
- [3] 刘云旭. 金属热处理原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980. 176-178.
- [4] 郭泽尧. ER70S-6 盘条拉拔断裂原因分析[J]. 全国金属制品信息网第22届年会论文集 2010.
- [5] 屈小波,熊鑫,王鲁义,等. 气保焊丝用 ER70S-6 盘条拉拔

断裂原因分析及改进[J]. 金属制品, 2021, 47(6): 52-55.

- [6] 孙毅,郑沁园,胡宝佳,等. 3Mn-0.2C 中锰钢形变诱导铁素体动态相变机理[J]. 金属学报, 2022, 58(5): 649-659.
- [7] 杨斌. 高速线材生产中的控轧控冷技术探究[J]. 冶金与材料, 2018, 38(5): 66-68.
- [8] 李拔,刘清友,贾书君,等. 临界区变形致低碳微合金钢晶粒的超细化[J]. 金属热处理, 2018, 43(5): 133-138.
- [9] 吕建勋,田伟阳,邓国光,等. 优化冷却工艺降低含钛焊丝盘条同圈强度差[J]. 金属制品, 2017, 43(2): 28-31.