

铆螺钢 ML20 电炉冶炼、连铸及热处理工艺研究

Study on Smelting, Continuous Casting and Heat Treatment Process of Riveted Screw Steel ML20 Electric Furnace

供稿|李维华 / LI Weihua

内容导读

铆螺钢 ML20 电炉冶炼及热处理工艺为：废钢加入超高功率直流电炉中熔炼形成钢液，在钢液中加入钨和钨，对钢液进行球化处理，通过连铸机将钢液浇铸成钢坯，将成型的钢坯经过退火处理，退火钢坯温度降低过程中加入铝粉，最终获得产品。冶炼加入的钨和钨可中和钢液中的反球化元素，避免反球化元素影响钢液的球化效果，在球化剂中加入烧碱，去除钢液中的硫，避免钢坯形成之后内部气泡过多，影响铆螺钢的质量，同时设置两个退火炉，轮流冷却钢材，提高了钢材的退火效率，节省了工艺处理时间。

铆螺钢，又称冷顶锻钢、冷锻钢或冷锻铆螺钢，主要用来制造互换性较高的标准件用钢（比如螺栓、螺母、螺钉等各类紧固件），一般基于该钢种的可塑性，采用冷锻成型工艺来批量生产。冷锻生产工艺具有产品质量好、生产效率高、制造成本低、金属损耗少优点；缺点是对所加工的原材料性能和质量具有较高的要求，例如需要原材料具有良好的冷锻性能（特别是较大的变形量）和表面质量，才能具有尽可能小的阻力和高的变形能力以及更小的表面开裂几率^[1-6]。

铆螺钢按照热处理工艺类型主要分为：非热处理型、调质型、表面硬化型和非调质型，按照用途可以分为：轴承钢、优质碳钢、双相钢、合金结构

钢和不锈钢。铆螺钢 ML20 为高强度紧固件常用钢种之一，主要用于制造自攻螺钉和紧固螺钉，成品螺钉需经渗碳、渗氮等表面硬化处理。而现今铆螺钢 ML20 在冶炼的过程中，退火用时较长，影响冶炼的效率；原料钢液中含有很多反球化元素，导致铆螺钢球化不充分，破坏球化效果^[7-9]。因此，开展铆螺钢 ML20 电炉冶炼及热处理工艺研究，针对铆螺钢 ML20 球化技术问题进行深入探析，具有一定的指导意义。

研究概述

铆螺钢 ML20 电炉冶炼及热处理工艺研究基于 70 t 电炉冶炼工艺的基础上进行研发，该电炉匹配四

作者单位：福建三宝钢铁有限公司技术中心，福建 漳州 363000

机四流方坯连铸机，轧钢工序采用三切分高刚度短应力轧机轧制工艺。结合公司现有的生产技术和装备情况，本文按照工艺路线（如图 1 所示）主要从电炉冶炼、球化处理、退火热处理等几个方面来研究影响柳螺钢 ML20 性能的因素，确定合理的电炉冶炼、球化处理和退火热处理工艺等参数，最终获得合格的柳螺钢 ML20。

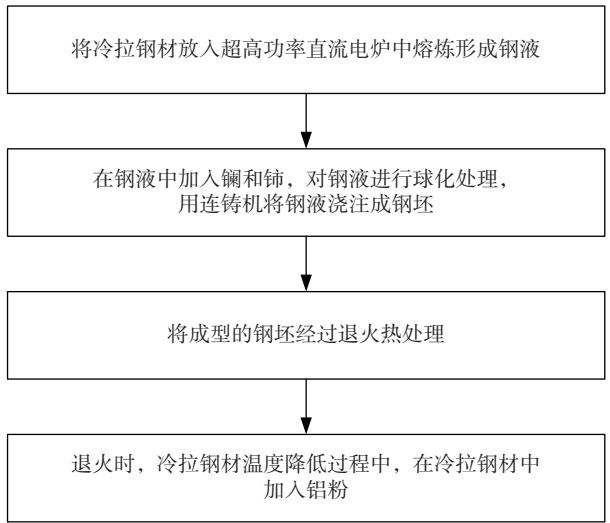


图 1 柳螺钢 ML20 生产工艺

主要工艺研究

化学成分设计

根据各元素在钢中的作用并参考柳螺钢 ML20 设计规范，柳螺钢 ML20 化学成分设计如表 1 所示，其中分别设计了试验样 1 和试验样 2 的化学成分，来研究化学成分对柳螺钢 ML20 性能的影响。

冶炼和球化工艺研究

将冷拉钢材废钢作为主要原料在超高功率电炉中进行初炼熔化，出钢温度控制在 1550~1600 ℃，钢液化学成分按照表 1 控制，初炼钢液在钢包精炼炉（LF）中进行成分微调 and 球化处理，之后将钢液浇铸成钢坯。精炼完毕后软吹一段时间，在钢液温度降到 1510~1540 ℃ 的时候，对钢液进行球化处理，球化剂采用球化粉料合金包芯线的形式装入喂丝机中，设置好喂丝机喂丝的速度、长度、模式、时间等参数，通过包盖上预留的喂丝孔持续将球化剂和铈钪包芯线喂入钢液中，球化处理操作过程中相关工艺参数控制如表 2~3 所示，1#试样使用球化剂 1，2#试样使用球化剂 2。

表 1 柳螺钢 ML20 化学成分（质量分数） %

试样	C	Si	Mn	P	S	Cr
1#	0.20	0.06	0.90	0.012	0.012	0.010
2#	0.17	0.05	0.75	0.010	0.010	0.006
内控	0.10~0.24	0.04~0.07	0.70~0.95	0.009~0.015	0.008~0.012	0.005~0.012

试样	Ni	Cu	Mo	V	Al
1#	0.12	0.10	0.5	0.10	0.040
2#	0.09	0.06	0.1	0.07	0.020
内控	0.05~0.15	0.05~0.13	0.1~0.7	0.06~0.11	0.019~0.045

表 2 球化工艺参数控制

试样	球化温度/℃	球化剂质量占比/%	包芯线直径/mm	La质量分数/%	Ce质量分数/%
1#	1540	1.80	9	0.004	0.002
2#	1530	1.50	9	0.004	0.002

表 3 球化剂成分（质量分数） %

编号	Mg	Si	Ba	NaOH	其它
1	4.70	39.00	17.00	6.00	33.30
2	4.50	40.00	20.00	7.00	28.50

钢坯退火工艺研究

将以上成型的连铸钢坯放入退火炉中，并缓慢加热到 750~800 ℃，在退火的过程中，当钢坯温度降低到 660~700 ℃ 的时候，往钢坯上面加入铝粉，控制铝粉的质量分数为 0.030%~0.050%。另外准备一个退火炉，并将退火炉加热到 430~450 ℃，等到第 1 个退火炉钢坯温度降到 650 ℃ 以下的时候，将钢坯放入准备好的第 2 个退火炉中，从钢坯底部开始吹氮气，控制氮气压力为 0.30~0.55 MPa，当钢坯

冷却至 60~70℃，保持温度 40~50 min，试样 1[#]和试样 2[#]具体控制工艺参数如表 4 所示。

表 4 退火工艺参数控制

试样	加热温度/℃		底吹氮气 压力/MPa	钢坯加入铝粉 温度/℃	铝粉占比钢坯 质量分数/%	钢坯退出第一退 火炉温度/℃	钢坯退出第二退 火炉温度/℃	钢坯在第二退火炉 (60~70℃) 保温时间/min
	第一退火炉	第二退火炉						
1 [#]	750	450	0.4	660	0.045	650	60	40
2 [#]	800	430	0.5	700	0.050	650	65	50

柳螺钢 ML20 性能检测

通过控制以上关键工艺参数制造出来的柳螺钢 ML20 性能检测如表 5 所示，由表 5 可以看出，1[#]试样的抗拉强度和延伸率较 2[#]试样好，而屈服强度和硬度较 2[#]试样差，说明 1[#]试样所代表的柳螺钢 ML20 塑性较好，具有良好的综合机械性能。2[#]试样所代表的柳螺钢 ML20 硬度较强具有较大的抵抗变形的能力，使用中抗变形能力较强。

表 5 柳螺钢 ML20 性能参数均值

试样	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	硬度, HB	延伸率/%
1 [#]	450	620	280	9.5
2 [#]	480	580	330	5.5

分析与讨论

(1) 球化剂的作用是使柳螺钢中形成细小、圆整、均匀的球状石墨形态。

(2) 通过控制钼和铈的加入量，将反球化元素含量控制在不影响球化处理的范围，适当的保留镍、钼、铬等金属元素，可以减小厚断面铸件中心的石墨畸变，使铸件中心石墨形状改善，镍、钼、铬等金属元素也可以提升柳螺钢中碳化物的稳定性，从而提升柳螺钢的强度，同时提升柳螺钢的抗氧化性和韧性。

(3) 将钢坯缓慢加热，然后以适应的速冷速度冷却至 60~70℃，保持温度 40~50 min，在钢坯内部形成晶粒较细、片层较厚、组织均匀的珠光体，退火的过程中，使内部形成的粒状珠光体分布均匀，增强钢坯的强度和韧性。

(4) 利用退火炉之间的温度差加速钢坯的退火，避免降温时间过长影响退火的质量，将钢坯进行热处理，使钢坯中的化学成分均匀化，经过退火消除网状碳化物，细化晶粒，形成强化析出碳化物，提高钢坯的塑性，便于机加工和冷变形加工。

结论

(1) 通过主要控制冶炼、球化和退火热处理工艺相关工艺参数，成功制备了 1[#]和 2[#]两种不同性能的柳螺钢 ML20 试样，其中前者具有良好的综合机械性能，后者具有较大的抵抗变形的能力，使用中抗变形能力较强。

(2) 球化剂和钼、铈可提升柳螺钢中碳化物的稳定性和柳螺钢的强度、抗氧化性和韧性。

(3) 退火热处理工艺可提高钢坯中粒状珠光体的比例，细化了晶粒，增强了钢坯的强度和韧性，便于机加工和冷变形加工。

参考文献

- [1] 康再兴, 张群, 袁野. 180 t 转炉+LF+RH+矩形坯连铸开发高级出口工具钢 S45C-Ti 工艺技术研究. 金属世界, 2022(6): 46
- [2] 叶玉奎, 王向红, 张超杰, 等. 120 t 钢包双孔底吹氩精炼工艺优化. 金属世界, 2020(4): 30
- [3] 刘明军, 李壮, 权纯逸, 等. 控轧控冷获得低成本高性能柳螺钢的研究. 金属加工(热加工), 2021(7): 74
- [4] 胡志远, 魏占山, 李壮, 等. 控轧控冷工艺对冷镦柳螺钢组织和力学性能的影响. 特殊钢, 2018, 39(3): 62
- [5] 曾春霖, 顾剑锋. 碳素柳螺钢 $\alpha+\gamma$ 双相区固溶碳活度的计算. 金属制品, 2017, 43(3): 26
- [6] 李壮, 吴迪, 张金明, 等. 低成本高性能低碳柳螺钢的试验研究. 沈阳航空航天大学学报, 2012, 29(5): 24
- [7] 李壮, 吴迪. 高强度低屈服比柳螺钢轧制工艺的研究. 材料科学与工艺, 2008, 16(6): 861
- [8] 李壮. 柳螺钢不变形和变形条件下连续冷却的相变行为. 塑性工程学报, 2009, 16(4): 142
- [9] 郑雨阳, 王大鹏. 柳螺钢冷镦裂纹形成与消除的研究. 材料与冶金学报, 2009, 8(1): 25

作者简介: 李维华(1983—), 男, 湖北天门人, 汉族, 硕士, 工程师, 从事炼钢工艺技术, 通信地址: 福建省漳州市芫城区浦南镇店仔圩福建三宝钢铁有限公司北门三宝公寓. E-mail: 15287301827@163.com.