

低合金高强度 30CrMnTi 盘条钢的开发实践

赵满堂 陈永峰 陶群南 林作津 史 杨
(芜湖新兴铸管有限责任公司研究院, 芜湖 241002)

摘 要 采用 120 t BOF-LF-180 mm × 180 mm 连铸坯-线材轧制工艺, 成功开发 30CrMnTi 钢盘条(/% : 0.26 ~ 0.27C, 0.84 ~ 0.86Mn, 1.07 ~ 1.08Cr, 0.055 ~ 0.066Ti)。通过采用 LF 精炼前期喂铝线, 后期喂钙线, 精炼渣碱度 5 ~ 6, 中间包钢水过热度 20 ~ 40 °C, 控冷控轧精轧后温度 890 °C 等工艺措施, 结果表明, Φ6.5 mm 盘条 [O] (15 ~ 19) × 10⁻⁶, [N] (45 ~ 58) × 10⁻⁶, D 细 0.5 ~ 1.0 级, 其余 0 ~ 0.5 级, 平均抗拉强度 706 MPa, 断面收缩率 72%, HRB 硬度值 ≤ 90; 总脱碳层 < 1.0% D, 各项指标均满足客户要求。

关键词 30CrMnTi 钢 产品开发 工艺控制

Development and Practice of Low Alloy High Strength 30CrMnTi Steel Wire Rod

Zhao Mantang, Chen Yongfeng, Tao Qunnan, Lin Zuojin and Shi Yang
(Research Institute, Wuhu Xinxing Pipe Casting Co. Ltd., Wuhu 241002)

Abstract By 120 t BOF-LF-180 mm × 180 mm continuous casting billet-wire rod rolling process, 30CrMnTi steel wire rod (/% : 0.26 ~ 0.27C, 0.84 ~ 0.86Mn, 1.07 ~ 1.08Cr, 0.055 ~ 0.066Ti) is successfully developed. By using the process measures including feeding aluminum wire in LF earlier period and calcium wire in later period, controlling refining slag basicity 5 ~ 6, and superheat degree of molten steel in tundish 20 ~ 40 °C, and control rolling-cooling process with finishing temperature 890 °C, the results show that the Φ6.5 mm wire rod [O] (15 ~ 16) × 10⁻⁶, [N] (45 ~ 58) × 10⁻⁶, D fine rating 0.5 ~ 1.0, others rating 0 ~ 0.5, average tensile strength 706 MPa and reduction of area 72%, HRB hardness value ≤ 90 and depth of decarburization < 1.0% D, the indicators fully meet customer requirements.

Material Index 30CrMnTi Steel, Product Development, Process Control

30CrMnTi 钢是一种低合金高强度结构钢, 具有高强度、高韧性和较高淬透性, 可用于制作高强度、高负荷、高耐磨的销轴、齿轮、螺栓和发动机转子等重要零件^[1-6]。对于 30CrMnTi 钢线材来说, 拉拔性能是影响其后续深加工的重要质量指标, 而控制合适的组织和力学性能有利于提高盘条的拉拔性能。本文主要介绍了 30CrMnTi 钢冶炼、轧制生产过程中各工序的控制情况及轧材性能。

1 产品技术要求

技术协议要求的产品化学成分及力学性能要求如表 1、表 2 所示。产品对力学性能及硬度能要求较高。为了确保 30CrMnTi 钢成品盘条强度与韧性的有机结合, 在冶炼过程中加入 Cr、Mn 元素, 可以有效产生固溶强化, 提高产品的淬透性; Ti 元素是强碳化物形成元素, 有利于提高半成品淬火加热温度, 细化晶粒效果; 同时控制 Al 含量 0.015% ~ 0.040%, 而钢中的 Al 主要用于固定钢中的游离 N, 减少冷加工过程中的加工硬化, 另一方面也可以起到细化晶粒的作用^[7]。

表 1 30CrMnTi 钢化学成分 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al
0.24 ~ 0.32	0.17 ~ 0.37	0.80 ~ 1.10	≤ 0.020	≤ 0.010	1.0 ~ 1.3	0.04 ~ 0.10	0.01 ~ 0.050

表 2 30CrMnTi 钢力学性能要求

R _m / MPa	R _{el} / MPa	Z / %	HRB 硬度值
≤ 800	≤ 650	≥ 70	≤ 90

2 开发工艺控制

2.1 工艺路线

120 t BOF → LF 精炼 → 180 mm × 180 mm 方坯 → 加热 → 轧制 → 产品检验。

2.2 转炉冶炼

转炉冶炼严格控制终点成分 C ≥ 0.08%、P ≤ 0.012%, 出钢挡渣操作, 避免下渣回 P, 出钢过程加入硅锰 6.0 kg/t、高碳锰铁 4.0 kg/t、高碳铬铁 15.0 kg/t, 合金及低氮增碳剂, 增碳剂用量酌情调整。确

出炉后钢包钢水成分在以下范围内(%) : 0.17 ~ 0.23C、0.75 ~ 0.80Mn、0.95 ~ 1.05Cr、 $P \leq 0.012$, 有效控制好出钢完的钢水成分及终点温度, 同时通过转炉冶炼过程的脱磷、出钢过程深脱氧, 为 LF 精炼过程创造良好工艺条件。

2.3 LF 精炼

为获得纯净的钢液, 同时严格控制钢中 N 和 O 含量, 稳定钛的收得率、提高淬透性, 精炼过程采取的主要措施如下。

(1) 精炼全程进行底吹氩操作, 控制全程底吹强度“高→中→低”的模式, 确保夹杂物的全程上浮。

(2) 精炼前期应根据进站钢水 Al 含量喂入铝线 100 ~ 150 m 进行深脱氧, 加入石灰 300 ~ 500 kg、化渣剂 120 kg, 及时调整渣况, 并保证精炼渣良好的流动性和碱度, 快速生成白渣, 精炼过程中, 加入适量 0.5 kg/t 硅碳粉强化渣面脱氧, 保证白渣时间 > 15 min。

(3) 适当提高渣料加入量, 控制升温过程中的底吹强度, 确保埋弧效果, 减少在升温过程中的增氮量。合理调整精炼炉渣控氧、渣量控制在 1.0% ~ 1.5%, 渣量适中, 碱度控制在 4.0 ~ 6.0, 精炼渣成分见表 3, 精炼后期采用 Ca 处理工艺、改性 Al_2O_3 夹杂, 精炼过程主要起到脱硫、脱气、升温、去除夹杂物以及微调合金成分等作用, 出站前钢水中 $Al \geq 0.020\%$, 酸铝比大于 85%, 软吹时间 > 15 min, 有效促进小颗粒夹杂的上浮, 提高钢水的纯净度。

2.4 连铸

(1) 连铸机开浇保证中间包烘烤时间 ≥ 180 min, 开浇前做好中间包及包盖密封, 钢包套管密封、中间包气体置换、浸入式水口密封等, 连铸保护浇注防止二次氧化等工艺措施。

(2) 为确保铸坯质量, 浸入式水口应对中良好, 结晶器液面、中间包过热度及拉速应平稳。其中结晶器液面波动控制在 ± 5 mm 内, 中间包过热度控制在 20 ~ 40 °C, 结晶器电磁搅拌参数 $I = 300$ A, $f = 4$ Hz; 拉速控制在 1.3 m/min, 二冷采取弱冷方式, 比水量控制在 0.7 L/kg; 铸坯表面温度高可以避开高温脆性区, 材料的高温塑性较好, 矫直变形时不会产生表面裂纹, 可以获得良好的表面质量。

2.5 轧制控制

(1) 30CrMnTi 钢盘条对脱碳层要求为不大于公称直径的 1.0%, 因此, 应控制铸坯在加热炉内的温度和时间, 加热炉内均热段温度控制在 980 ~ 1 100 °C、

表 3 精炼渣成分和碱度

Table 3 Composition and basicity of refining slag

炉次	渣成分 / %							碱度 (R)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	FeO	MgO	TFe	
3921	9.37	21.57	0.23	51.24	0.89	8.25	1.32	5.5
3922	9.88	20.46	0.17	52.63	0.4	6.53	0.50	5.3
4162	8.89	21.30	0.22	50.36	0.73	7.48	0.90	5.6

加热时间控制在 90 ~ 120 min。铸坯在加热炉内高温下加热时间过长会导致铸坯过烧影响最终成品脱碳层指标超要求, 对此如在生产过程中遇到生产事故影响时应及时通过关闭烧嘴阀降低均热段温度或坯料退炉处理, 同时加热炉内应保证中性偏还原的炉内气氛, 炉内残氧 < 2%, 减少脱碳倾向。

(2) 对入炉坯料进行逐支检验, 及时剔除缺陷坯料。轧制前进行轧前确认, 检查轧辊、轧槽、导卫质量, 对轧制通道进行清理, 保证通道无氧化铁皮及铁屑堆积, 确认轧线对中(轧制线对中包括进口导卫、出口导卫、轧槽三者之间的对中), 并确保轧制过程中轧线处于对中状态, 杜绝盘条产生折叠、发纹及划伤等表面缺陷。

(3) 轧制采用控轧控冷工艺, 严格控制各段温度: 开轧温度控制 (1000 ± 20) °C, 精轧入口温度 (930 ± 20) °C, 减定径入口 (920 ± 10) °C, 吐丝温度 (890 ± 10) °C, 风冷线通过延迟缓冷工艺。充分利用在线酸洗设备的优势, 对下线轧材及时进行表面质量检验, 产品表面不得出现裂纹、折叠、耳子等缺陷, 发现问题及时进行停机检查。

3 试验结果

3.1 化学成分

试制的 30CrMnTi 钢盘条的化学成分如表 4 所示, 满足客户需求, 冶炼过程控制 $[N] < 60 \times 10^{-6}$ 以下。

3.2 力学性能

对试制的 30CrMnTi 钢 $\Phi 6.5$ mm 盘条进行力学性能检验, 其中平均屈服强度为 416 MPa, 平均抗拉强度为 706 MPa, 屈强比 0.58, 平均断面收缩率 72%, HRB 硬度值满足小于 90, 性能指标良好, 检验结果满足客户要求, 盘条的力学性能要求及检测结果见表 2、表 5 所示。

3.3 高倍检验

表 4 30CrMnTi 钢 $\Phi 6.5$ mm 盘条化学成分 / %

Table 4 Chemical composition of 30CrMnTi steel $\Phi 6.5$ mm wire rod / %

炉次	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al	O	N
3921	0.26	0.26	0.85	0.008	0.001	1.07	0.055	0.025	0.001 5	0.005 3
3922	0.27	0.27	0.86	0.010	0.003	1.08	0.065	0.024	0.001 6	0.004 5
4162	0.27	0.26	0.84	0.012	0.001	1.07	0.066	0.028	0.001 9	0.005 8

表 5 30CrMnTi 钢 Φ6.5 mm 盘条力学性能

Table 5 Mechanical Properties of 30CrMnTi steel Φ6.5 mm wire rod

编号	R_m /MPa	R_{el} /MPa	Z/%	HRB 硬度值
1	693	416	73	88.6
2	697	406	70	85.5
3	706	412	76	89.0
4	703	406	71	87.2
5	732	441	70	88.3
标准	≤800	≤650	≥70	≤90

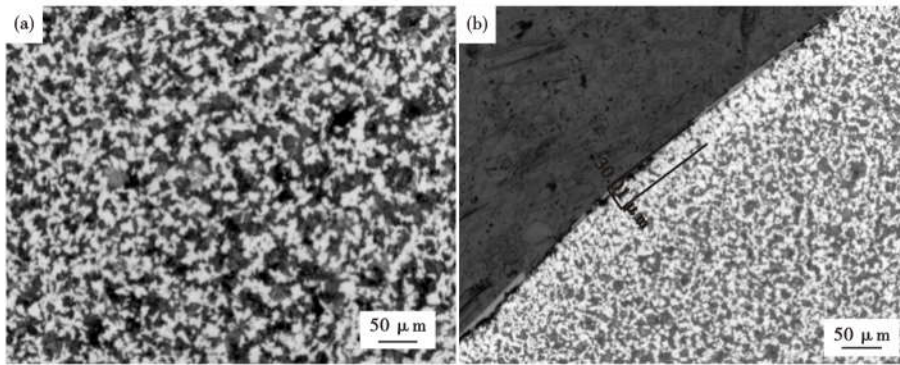


图 1 30CrMnTi 钢热轧盘条组织(a)和脱碳层(b)的形貌

Fig. 1 Morphology of structure (a) and decarburization layer (b) of hot rolled wire rod of 30CrMnTi steel

金相检验结果表明,热轧材氧化铁皮厚度均匀,边部脱碳层深度 20 ~ 50 μm,盘条表面质量良好,热轧态盘条金相组织为铁素体 + 珠光体组织,晶粒度 9 级左右,表明盘条具有良好的塑性变形能力,客户可以不经球化退火直接进行拉拔加工。显微组织脱碳层见图 1。

3.4 夹杂物检验

钢中夹杂物能破坏钢基体的连续一致性,在客户加工变形过程中因为应力的集中而成为裂纹源,对加工变形能力产生危害,为避免客户加工过程中拉拔断裂。对试制盘条进行夹杂物检测,评级结果为 A 类细系 0.5 级, B 类细系 1.0 级, D 类 1.0 级,夹杂物控制在要求范围内。夹杂物检测结果如表 6 所示。

表 6 30CrMnTi 钢盘条夹杂物检测结果/级

Table 6 30CrMnTi steel wire rod inclusion test results / rating

炉次	A		B		C		D		Ds
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
3921	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0
3922	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5 ~ 1.0	0.5	0
4162	0 ~ 0.5	0	0.5	0	0	0	0 ~ 0.5	0 ~ 0.5	0

3.5 用户使用情况

试制产品发往温州、杭州等地的客户使用,并制成销轴、螺栓等产品,经酸洗、磷化、皂化、拉丝、切定尺、热处理等工序,检测产品各项性能指标合格,满足客户要求。

4 结论

(1)通过合理的成分设计,冶炼过程控制以及控轧控冷工艺:炼钢结晶器电磁搅拌参数 $I = 300$ A,

$f = 4$ Hz;拉速控制在 1.3 m/min,二冷采取弱冷方式,比水量控制在 0.7 L/kg,轧钢开轧温度控制 (1000 ± 20) °C,精轧入口温度 (930 ± 20) °C,减定径入口 (920 ± 10) °C,吐丝温度 (890 ± 10) °C 工艺,生产的 30CrMnTi 钢盘条质量满足用户需求。

(2)通过加强炼、轧工序工艺过程控制,可以获得表面质量优良的 30CrMnTi 钢盘条。连铸过程中间包采取双层覆盖剂保护,中间包与浸入水口进行浇铸,能有效控制钢水二次氧化及增氮。

(3)30CrMnTi 盘条热轧态平均屈服强度 416 MPa,平均抗拉强度 706 MPa,屈强比 0.58,平均断面收缩率 72%,可以使 30CrMnTi 钢获得良好的强韧性配合及良好的加工性能,并达到降低成本,节约能源和提高经济效益的目的。

参考文献

[1] 程俊萍. 30CrMnTi 销轴类零件的实用热处理工艺[J]. 机械管理开发, 2011(3): 104-107.
 [2] 南红颜, 马彪, 郑喜平, 等. 超声波淬火在 30CrMnTi 钢耳轴热处理中的应用[J]. 金属热处理, 2015, 40(2): 159-160.
 [3] 郭利朋, 高婷婷, 杨飞. 30CrMnTi 销轴亚温水淬[J]. 金属加工, 2013(13): 39-40.
 [4] 肖家幸. 30CrMnTi 钢轴管热处理装夹改进[J]. 金属热处理, 2006, 31(12): 89-90.
 [5] 张红霞, 赵红利, 吴观虎. 30CrMnTi 合金钢热处理工艺研究[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2011, 25(1): 50-51.
 [6] 景延峰, 杨莉, 葛进国, 等. 循环淬火工艺对 30CrMnTi 组织和性能的影响[J]. 热加工工艺, 2015, 44(6): 229-230.
 [7] 宋锡锡. 金属学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008: 276-281.

赵满堂(1987-),男,室主任,2012年兰州理工大学(本科)毕业,钢铁产品研究。E-mail: zhaomt68@126.com