

HRB500E 抗震盘螺钢最大力总延伸率影响研究

李洪增

(吉林鑫达钢铁有限公司 吉林 辽源 136313)

摘要: HRB500E 抗震盘螺钢因强度高, 焊接性能和韧性好等质量特点, 近年来被广泛应用于建筑行业。但受现场冷却工艺及风冷节奏的影响, 基质内极易产生大量贝氏体组织, 导致拉伸检测时最大力总延伸率(A_{gt})无法达到标准要求。本文从 HRB500E 性能的稳定性入手, 对现行冷却工艺中的操作要点进行跟踪, 通过钒合金化路线实现对晶粒组织和性能的稳定性。同时, 将散冷风机冷却节奏进行调整, 减少了对贝氏体含量增加形成的影响。最终, 成分和风冷工艺获得优化, 并得到符合标准要求的高强抗震盘螺钢新品。

关键词: 高强度抗震盘螺钢; 钒合金化; 屈服稳定性; 晶粒度

0 引言

近年来, 随着国家对高强度抗震钢用量需求的增加, 高线生产受到越来越多的企业重视。但盘螺钢生产因速度快等问题, 质量稳定性有所下降。吉林鑫达轧钢厂在前期试产 HRB500E、 $\phi 10$ 盘螺钢期间, 为满足屈服强度 515MPa 的控制要求, 对当时的冶炼和轧制工艺进行了优化, 但生产过程中出现了最大力总延伸率(A_{gt})不合格问题。后来, 通过在轧制坯料中增加钒铁合金实现钒微合金化组织细化作用, 通过适当调整预精轧及精轧后设置水冷段和回火恢复段的设计, 实现了不同的工艺参数下的控轧控冷工艺参数设定, 得到稳定的进精温度和吐丝温度, 并采用风冷线冷却风量快速调整手段, 达到稳定盘螺钢温降速率, 实现了性能组织的稳定。本文借鉴前期 HRB400E 盘螺钢生产经验的基础上, 成功开发和轧制出 HRB500E 材质 $\phi 8$ 盘螺钢、 $\phi 10$ 盘螺钢新品, 产品性能及尺寸质量等均符合国标要求, 高线生产线已具备量产轧制 HRB500E 高强度抗震盘螺钢的能力。

1 工艺控制及成分设计

1.1 工艺路线

铁水 + 废钢—氧气顶吹转炉冶炼—脱氧合金化(加入 VFe 微合金化元)—连铸(150 方坯)—坯料成分验

证—加热炉加热—除磷辊道—轧制(粗轧 + 中轧 + 预精轧 + 冷却水箱 + 精轧 + 冷却水箱)—散冷辊道风冷冷却(斯太尔摩风冷线)—性能取样—理化性能检测。上述工艺路线主要保障生产过程中的稳定性, 通过冷却强化实现风冷及控轧控冷操作, 减少对贝氏体组织的形成影响, 实现性能结果的稳定合格。

1.2 钒氮(VN-Fe)合金化成分设计

如表 1 所示的上述成分设计及生产, 主要考虑到利用钒铁或钒氮合金增加其对应含量设计的要求。即在满足盘螺钢在纯热轧状态下的无风冷冷却条件下, VN 合金微合金化工艺中的 V 含量与屈服抗拉强度指标可建立如下正比例关系:

$$\text{抗拉强度} = 1700 \times [V] \% + 690 \text{ (系数 } 0.405 \text{)}$$

$$\text{屈服强度} = 2650 \times [V] \% + 405 \text{ (系数 } 0.152 \text{)}$$

屈服及抗拉强度指标均随着钒含量的增加而升高。

2 坯料生产及轧制工艺准备

(1) 依据 HRB500E+V ($\phi 8$ 、 $\phi 10$) 盘螺钢的技术要点冶炼 HRB500E+V 钢 2 炉, 坯料下线后做好分钢确认、标识和坯料成分验证。入轧前完成在 3 板坯料头部的成分验证取样, 取样后的钢头整板入炉前确认, 取样位置放置在轧制尾部进行入炉, 防止堆卡钢事故发生。在二线坯料入炉和轧制 HRB500E+V、 $\phi 10$ 盘螺钢时, 以先入轧 3 板、12 支, 作为 1 个炉批号(其余坯料待生

表 1 HRB500E 热轧 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 用坯料化学成分设计(VN 微合金化)/wt%

元素	C	Si	Mn	P	S	V	Ceq
国标成分	≤ 0.25	≤ 0.80	≤ 1.60	≤ 0.045	≤ 0.045	—	≤ 0.55
设计成分	0.22 ~ 0.25	0.45 ~ 0.60	1.35 ~ 1.50	≤ 0.045	≤ 0.045	0.040 ~ 0.050	≤ 0.55
实测成分	0.25	0.50	1.47	0.034	0.018	0.047	0.51

产合格和做好参数确认后，再另行安排入炉轧制事宜），并在其第 1 支、第 12 支后的第 1 支坯料的尾部进行压砖来区分批次及钢种。试轧品的取样及编号按出炉顺序，第 1、2、3…10、11、12 进行编号（成品标识采用标识笔在标牌上记录，该 12 支坯料全轧制采用两端各挂 1 牌的方式进行与 HRB400E 材质的区分标记），其中第 4、8、12 支组坯时以出炉性能验证取样作为标识，该 12 支坯料分为 3 组进行工艺调整和确认（每组 4 支，每组最后 1 支为验证坯料取样以及相应各段的组织取样对比）。

（2）对第 1 组下线后，可立即安排快样分析（生产及工艺调整后第 2 支上的头、尾第 3 圈位置处取快样，可先取下通圈后再截取快样），快样送检时停留 20min 以内，等待性能确认工艺，以便工艺的优化调整，如第 1 阶段头、尾的快样性能合格，后续可连续生产，直至 12 支坯料全部结束；如出现第 1 阶段的快样性能不合格，则调整工艺后，继续出钢 4 支后，再在第 5 支试样上进行快样性能检测（要求同上），跟踪性能情况，再调整后确认。

（3）轧制过程按照生产要求，做好相应生产工艺的调整。每 4 支坯料作为 1 组，最多进行 3 次工艺调整和确认，尺寸内径按中上线 9.7 ~ 9.8mm 控制（国标 $9.6\pm0.4\text{mm}$ ），头、尾及中间盘螺钢的内径及纵肋肋高要求逐包确认，风机风量调整由 6 座风机全部 30% 开始根据性能情况进行风量调整。

（4）为保证轧制工序的连续性和稳定性，轧制该品规盘螺钢前 30 支 HRB400E 坯料，轧线组织对成品辊进行倒槽换辊，确保试轧品一次性顺利出钢和提升性能合格稳定性保障。具体工艺参数设定：加热炉，预热段 950 ~ 1000℃，加热段 1050 ~ 1180℃，均热段 1080 ~ 1150℃，开轧温度保证 980 ~ 1050℃；入精温度 900 ~ 950℃，吐丝 900 ~ 960℃。

3 HRB500E 最大力总延伸率（Agt）的影响评价

3.1 风冷线冷却速率对 Agt 的影响

本文在总结前期 HRB400E 盘螺钢生产的基础上，

因风冷线风机设置和跌落段的差异，一般跌落段 4 ~ 6 段，吉林鑫达 4 条高线跌落段均为 2 段设置，冷却的节奏在搭接点处性能影响较大，对同一工艺环境下的风机控制方式监测优化。表 2 为不同风冷条件下的性能跟踪对比。

从表 2 及图 1、图 2 的 500 倍下的金相显微组织对比可知，不同风冷条件下的性能（尤其最大力总延伸率 Agt）与上贝氏体组织的含量存在密切的对应变化关系。在风机风量控制和优化下，随着风量的逐渐升高，组织中的铁素体、珠光体含量逐渐减少，上贝氏体含量积聚和增加，抗拉强度上升明显，最高达 35MPa，且最大力总延伸率逐渐降低，最低仅 2.5 ~ 5.0。

3.2 对晶体晶粒度细化的影响评价

实验中，在生产 $\phi 10$ 盘螺钢时，以稳定 1 ~ 6 架全部按 30Hz 风量的相同风冷节奏下，对钒合金化及未进行钒微合金化的晶粒组织进行性能和组织跟踪，结果显示（如表 3）。加钒合金化的组织晶粒更加质密，晶粒度可达到 9.0 级，而未经合金化的组织晶粒度仅仅 6.5 ~ 8.0 级，且物理性能的稳定性保证得到巩固和加强。

4 结语

（1）钒合金化对细化晶粒组织和稳定性能有积极促进作用，轧制 HRB500E、 $\phi 10$ 盘螺钢的晶粒细化保持在 9.0 级以上最佳，钢中钒元素含量宜控制在 0.045% ~ 0.055%。

（2）散冷辊道风冷节奏的控制对盘螺钢性能的影响极大，尤其盘螺钢 350 ~ 550℃ 区间进行高速快冷时造成冷却节奏过快而形成大量上贝氏体组织。当贝氏体组织含量达到 50% 以上时，最大力总延伸率明显降低，盘螺钢性能不合格概率上升。轧制 HRB500E+V($\phi 8.0$ 、 $\phi 10.0$) 盘螺钢时，宜采用分 1# ~ 6# 风机全部 35Hz 以下的风冷冷却工艺操作。

（3）对各温度控制工序进行管控，提升温降操作水平，对涉及性能稳定性的温控环节，保持入精温度 900 ~ 950℃，吐丝温度 900 ~ 960℃ 最佳。这也有利

表 2 不同风冷条件下的性能跟踪对比

风冷条件（风机开启量）/Hz						物理性能指标			组织构成
1#	2#	3#	4#	5#	6#	屈服强度 R/ MPa	抗拉强度 R / MPa	最大力总延伸率 Agt	—
0	0	0	0	0	0	525	760	13.0	P+F
30	30	30	30	30	30	530	750	11.5	P+F+ 上贝 30%
40	40	40	35	35	35	525	760	9.0	P+F+ 上贝 40%
40	40	40	40	40	40	536	780	8.0	P+F+ 上贝 50%
50	50	50	50	50	50	539	776	5.0	P+F+ 上贝 70%

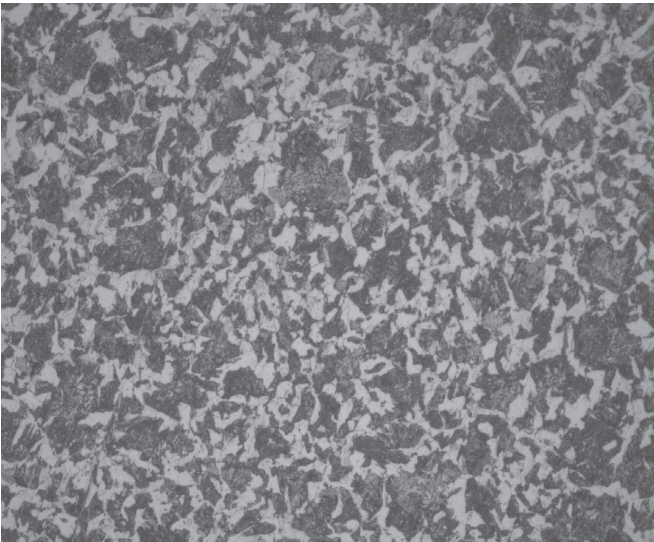


图 1 风机 0Hz P+F 500X

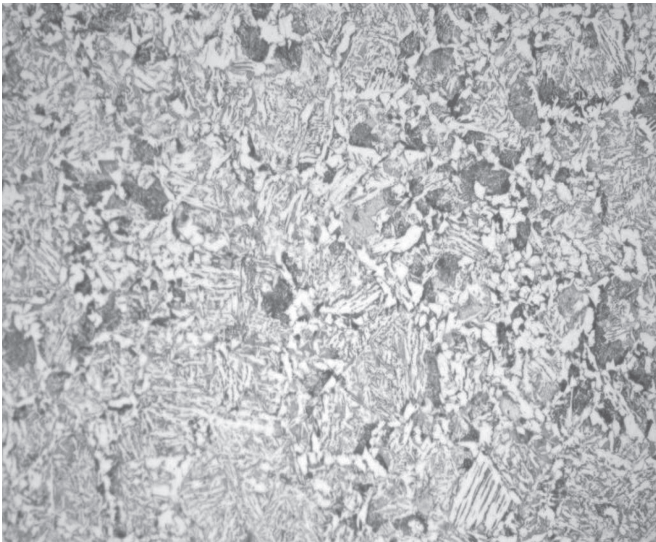


图 2 风机 35/40Hz P+F+30%B 500X

表 3 相同冷却工艺条件下的微合金化组织的性能跟踪对比

化学成分								物理性能指标			晶粒度
工艺	C	Si	Mn	P	S	Ceq	V	屈服强度 R_f /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	最大力总延伸率 Agt	—
无 V	0.25	0.60	1.55	0.025	0.010	0.51	0.000	490	690	10.2	6.5
无 V	0.25	0.39	1.49	0.037	0.040	0.50	0.000	493	775	9.5	8.0
含 V	0.25	0.60	1.55	0.025	0.010	0.50	0.053	515	780	10.5	9.0
含 V	0.25	0.57	1.59	0.028	0.014	0.53	0.062	512	780	10.0	9.0

于轧制过程中的钢材内部组织细化和宏观力学性能的强化。

参考文献:

[1] 马杰,王超,张朝辉,等.500MPa 级热轧带肋盘条力学性能不足原因分析[J]. 新技术新工艺,2016(06):86-89.

[2] 习晓峰,韩若洲,辛向明,等. HRB500 热轧带肋钢筋延伸率偏低原因分析[J]. 天津冶金,2015(01):40-42.

作者简介: 李洪增(1983.04-),男,汉族,河北沧县人,本科,工程师,研究方向:高线型材金属压延及控轧控冷工艺。