

# 新国标盘螺 HRB500E 钒氮微合金化热轧带肋钢筋开发

张金路 力晓奇

宁夏建龙特钢有限公司, 宁夏石嘴山, 753000;

**摘要:** 2024年6月25日螺纹钢标注由推荐性国家标准改为强制性国家标准 GB 1499.2-2024 代替标准 GB/T 1499.2-2018, 根据炼钢、LF 炉、连铸、轧钢等工艺装备情况, 主要以钒微合金化及控轧控冷技术对盘螺 HRB500E  $\phi 8$  规格进行产品开发。说明了盘螺 HRB500E  $\phi 8$  规格的成分设计和工艺设计机理, 阐明了详细的技术要求、化学成分设计和工艺路线, 并进行了生产试验, 同时对分析了化学成分、力学性能、显微组织等变化。结果表明, 此次生产的盘螺 HRB500E  $\phi 8$  规格具有较高的强度和塑形, 屈服强度最小值 550MPa、抗拉强度最小值 761MPa、实测强屈比最小值 1.31、最大力总延伸率最小值 13%; 基体组织为铁素体+珠光体, 晶粒度 10~11 级; P 含量 0.015%-0.040%, S 含量 0.017%-0.036%, 满足 GB 1499.2-2024 对的盘螺 HRB500E  $\phi 8$  规格成分性能要求。

**关键词:** 新国标; HRB500E; 盘螺; 钒微合金化; 控轧控冷; 风机冷却

**DOI:** 10.69979/3041-0673.26.04.036

## 引言

2024年6月25日螺纹钢标准由推荐性国家标准改为强制性国家标准 GB 1499.2-2024 代替标准 GB/T 1499.2-2018; 强制性标准要求生产单位对强制其履行义务, 对产品成分和性能的要求更加严格。

带肋钢筋作为建筑行业最主要的钢材, HRB500E 带肋钢筋是一种高效、抗震建筑钢材, 具有强度高、综合性能好、性价比高等优点, 更适用于大型建筑及有高强度结构要求的建筑。为适应建筑业及国标对其的性能的要求, 因此在 HRB500E 的产品开发过程中对产品的各项性能都进行考虑。

## 1 试验内容

我司热轧厂使用高速线材生产进行 HRB500E 的品种开发, 我司使用 120t 转炉匹配 165\*165mm 方坯连铸机为高线生产坯料。使采用了钒氮微合金化热轧方法制备, 该方法主要是通过采用钒氮合金的 V、N 等成分进行微合金化, 使 HRB500E 起到了钒氮合金微合金细晶强化和碳硫化物沉淀析出的效果, 从而增强了钢材的硬度, 并提高了其稳定性<sup>[1]</sup>。

## 2 生产工艺流程

我司高线生产工艺流程如下

120t 转炉→LF 精炼炉→165\*165 方坯连铸→合格钢坯→热送辊道→上料台架→步进式加热炉加热→出炉辊道→高压水除鳞装置→输送辊道(废钢剔除)→粗轧机组轧制(1-6架)→1#飞剪切头(碎断)→中轧机组轧制(7-12架)→2#飞剪切头、尾(碎断)→预精轧机组轧制(13-18架)→预穿水→3#飞剪切头→碎断剪→卡断剪→精轧机组轧制(19-28架)→穿水冷却→减径机(29-30架)→夹送辊→吐丝→余热回收风机→散卷运输冷却线→集卷装置→运卷挂钩→P&F 线运输→取样、检查→打包机压紧打捆→称重、挂牌→卸卷→成品入库

## 3 技术要求、化学成分及工艺路线

### 3.1 国标对 HRB500E 的产品要求

国标与 HRB500E 对应的国标为 GB/T 1499.2-2024<sup>[2]</sup>, 国标 GB/T 1499.2-2024 作为强制性标准, 与 GB/T 1499.2-2018 相对比具有法律效应, 国标 GB/T 1499.2-2024 对 HRB500E 的成分、性能要求如下:

表 1 HR500E 带肋钢筋成分要求

单位: %					
C	Si	Mn	P	S	Ceq
≤0.25	≤0.8	≤1.60	≤0.045	≤0.045	≤0.55

表2 HR500E 带肋钢筋性能要求

Rel/MPa	Rm/MPa	Agt/%	Rm <sup>o</sup> /Rel <sup>o</sup>	Rel <sup>o</sup> /Rel
≥500	≥630	≥9	≥1.25	≥1.30

### 3.2 化学成分设计

在这个实验中，V 主要用于微合金化。由于 Nb 偏析相对于 V 的波动较大，很难控制线材的均匀性。Ti 制备的碳化钛因其硬度较高的析出物而对 HRB500E 的塑性产生严重影响，使其难以达到 Agt 国标要求的标准。

因此，主要考虑的是采用钒氮微合金化设计。C 作为一种显著影响钢的强度、塑性、微观结构和冷弯性能的元素，随着 C 含量的增加，其强度和淬透性也会提高。然而，其塑性、可焊性和抗冲击性降低。考虑到所有因素，w (C) 的设计值在 0.23%和 0.25%之间。

Si 有利于提高钢的极限强度和屈服强度，以及强化铁素体相。考虑到盘螺较小的生产规格，w (Si) 的设计值在 0.6%至 0.7%之间。

Mn 元素在钢中形成固溶体，固溶体是强化相元素，同时 Mn 也是碳化物形成元素，影响碳化钒的沉淀。因此，w (Mn) 的设计范围为 1.45%至 1.55%；

根据 V 对钢筋抗拉强度和屈服强度的影响，当 w (V) 超过 0.12%时，抗拉强度和屈服强将随着其含量的增加而降低。因此，w (V) 的设计范围为 0.070%~0.080%；S、P 含量可以根据国标进行设计<sup>[3]</sup>。

### 3.3 LF 精炼工艺设计

LF 炉使用碳化硅、碳化钙(电石)进行扩散脱氧，加入量根据钢渣粘度确定，造渣料分批加入，等上批料熔化后再加入下一批渣料，渣碱度碱度 ≥3.5，渣中的 FeO+MnO < 2%，精炼化渣升温时间第一次为 ≤10 分钟，提电极，中吹搅拌 1-2 分钟，再将氩气调制软吹，测温，取样，取钢包顶渣样确定第二次精炼送电时顶渣脱氧物料的增加量；同时通过精炼小电流、大气量、多次下电极的方式来精炼增氮，增加钢水氮含量。

### 3.4 连铸工艺设计

浇注在 8 机 8 流的 165\*165 连铸机上进行，结晶器水量按 135~145m<sup>3</sup>/h 控制，二冷比水量按 2.0L/kg 控制，中间包温度 1525~1535℃,中间包过热度按 20~30℃控制，拉速按 1.9~2.1m/min 控制。

### 3.5 控轧控冷方案设计

#### 3.5.1 温度制度

加热炉加热温度设计加热段小于 950℃，均热段 1060±20℃轧制温度；开轧 950-1 000℃；入精轧小于 910℃，减定径机入口温度小于 880℃，吐丝温度小于 880℃。成品速度:53 m/s。

#### 3.5.2 控制控冷

我司采用 30 机架平立交替的短应力轧机轧制，分粗、中 1、精三个机组,粗轧 6 架，中轧 6 架、预精轧 6 架、精轧 10 架,减定径机 2 架；

精轧前后设有快速水冷装置，精轧后采用快速控冷工艺。快速控冷工艺的关键在于控制冷却强度，使得温度达到相变的温度<sup>[4]</sup>。

开轧温度设定在 950-1000℃，这主要目的是在奥氏体变形过程中和变形后自发产生奥氏体再结晶的区域中轧制。在这一温度区间奥氏体晶粒因重复发生静态再结晶而细化，奥氏体细化导致铁素体细化，晶粒细化。

入精轧温度设定 910℃，主要目的对微合金钢要求在 900C-950℃以下的总变形量大于 50%，对于普通碳钢通过 10 道次变形累计达到奥氏体发生再结晶，细化晶粒。

减定径机入口温度设定小于 880℃,HRB500E 新国标对性能的要求较为严格，对屈服强度的要求 Rel > 500MPa，对生产厂来看为避免时效对产品性能的影响，我司内部要求 Rel ≥520MPa；因此减定径机要求小于 880℃，在这个温度奥氏体铁素体和碳化物析出的相变，转变后产物为晶粒较细的珠光体和铁素体。

吐丝温度设定为 910-950℃，吐丝温度主要取决于减定径机后的穿水冷却强度，主要目的确保盘螺 HRB500E 在减定径机加工后的冷却过程更加均匀，避免出现局部过热或过冷的情况，减少魏氏组织的产生，从而提高产品的均匀性和一致性。

相变区冷却速度决定着奥氏体的分解转变温度和时间，它对盘螺 HRB500E 的最终组织形成起着决定性的作用。在控制冷却相变过程中，冷却速度的控制主要取决于运输机的速度调节、风机的组合状态、风量的大小及保温罩盖的开闭情况，这些参数的确定依赖于“C”曲线或“CCT”曲线。相变区冷却速度的控制是控制冷却

中的难点。在选择理想曲线的基础上对工艺参数进行适当的调整，并予以修正，以确定最佳优化参数。

#### 4 生产试验结果

##### 4.1 HRB500E 盘螺生产试验成分

于8月25日HRB500E盘螺 $\phi$ 10规格进行试验，试验共9批次，具体冶炼成分见表4：

表3 HRB500E 盘螺 $\phi$ 8规格试验成分

试样号	牌号	C	Si	Mn	P	S	V	Ceq
试样-1	HRB500E	0.245	0.68	1.48	0.015	0.035	0.073	0.522
试样-2	HRB500E	0.248	0.69	1.49	0.016	0.027	0.072	0.506
试样-3	HRB500E	0.233	0.68	1.51	0.017	0.029	0.072	0.495
试样-4	HRB500E	0.232	0.67	1.48	0.025	0.025	0.069	0.489
试样-5	HRB500E	0.241	0.68	1.51	0.032	0.024	0.08	0.503
试样-6	HRB500E	0.234	0.61	1.49	0.025	0.015	0.076	0.492
试样-7	HRB500E	0.234	0.62	1.5	0.019	0.025	0.074	0.494
试样-8	HRB500E	0.247	0.62	1.52	0.019	0.031	0.073	0.51
试样-9	HRB500E	0.246	0.60	1.49	0.024	0.025	0.07	0.504

单位：%

试验成分均在设计范围内，且符合新国标对成分的要求范围内。

##### 4.2 HRB500E 盘螺生产连铸试验工艺

盘螺HRB500E试验生产过程中中包过热度正常，连铸拉速平稳，具体试验数据见表5：

表4 HRB500E 盘螺 $\phi$ 8规格试验连铸过热度及拉速

单位： $^{\circ}\text{C}/(\text{m}/\text{min})$

试样号	牌号	过热度	连铸拉速
试样-1	HRB500E	15	1.97
试样-2	HRB500E	16	2.10
试样-3	HRB500E	18	2.15
试样-4	HRB500E	21	2.14
试样-5	HRB500E	20	2.07
试样-6	HRB500E	16	2.13
试样-7	HRB500E	17	1.99
试样-8	HRB500E	19	2.23
试样-9	HRB500E	22	2.05

##### 4.3 HRB500E 盘螺生产热轧试验工艺

HRB500E热轧生产过程中加热炉在炉时间58-112分钟，加热炉加热段温度856-970 $^{\circ}\text{C}$ ，加热炉均热段温度1032-1069 $^{\circ}\text{C}$ ，粗轧温度入口921-944 $^{\circ}\text{C}$ ，精轧入口温度978-1000 $^{\circ}\text{C}$ ，吐丝温度950-975 $^{\circ}\text{C}$ ，精轧速度50-60m/s。

#### 5 结语

2024年6月25日由国家市场监督管理总局和国家标准化委员会联合发布了螺纹钢新版国标

GB1499.1-2024和GB1499.2-2024的强制性国家标准公告，其中对盘螺HRB500E的产品和性能有了更为严格的要求，根据新国标对盘螺HRB500E的成分及工艺进行重新设计。

新的HRB500E盘螺成分要求更加严格，HRB500E盘螺使用钒微合金化的控轧控冷工艺，同时通过优化风机工艺，发挥钒微合金采的细晶强化作用，显微组织为细小铁素体+珠光体，晶粒度10-11级，无异常组织，钢筋具有较好的强度和韧性。

最终产品本次生产的HRB500E钢筋强度指标较新国标的要求高出很多，抗拉强度最小值761MPa，屈服强度最小值550MPa，后期对合金的优化还有很大的空间。

#### 参考文献

- [1]倪晓东,王利.HRB500E细晶粒热轧抗震钢筋生产工艺及品种开发[J].山西冶金,2024(03).
- [2]GB 1499.2-2024《钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋》.
- [3]陈情华. $\Phi$ 6 mm盘螺HRB500E热轧带肋螺纹钢的开发[J].山西冶金,2024,46(05).
- [4]谭成楠,周民,白亚斌等.HRB500E抗震钢筋动态CT曲线的测定与分析.轧钢.2023,40(03).

作者简介:力晓奇(1997-),男,毕业于内蒙古科技大学材料与冶金学院金属材料工程专业,本科,现就职在宁夏建龙特钢有限公司,主要从事炼轧工艺研究工作。