

# 民用住宅建筑用 420 MPa 级高强耐候 H 型钢的开发

刘丽娟, 卜向东, 宋振东, 惠治国

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:** 文章根据民用住宅建筑用 420 MPa 级高强耐候 H 型钢技术要求进行了化学成分和生产工艺设计, 并采用金相显微镜、透射电子显微镜 (TEM) 观察微观组织, 通过室温力学性能测试、周期浸润腐蚀试验等对试验钢进行了性能研究。结果表明: 试验钢在室温下冲击韧性波动较小, 表现出良好的韧性。3 种不同规格的试验钢的屈服强度均高于 420 MPa, 耐腐蚀性指数 ( $I$ ) 在 6.15 ~ 6.45 之间, 表现出良好的耐大气腐蚀性能。试验钢的显微组织主要由铁素体和珠光体组成, 铁素体平均晶粒尺寸为 25.73  $\mu\text{m}$ , 晶粒内存在纳米级 (Cu, Cr) C 析出相。

**关键词:** H 型钢; 耐候钢; 性能

中图分类号: TG142.7

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)02-0045-05

## Development of 420 MPa Grade High - strength Weather - resistant H Beam for Residential Building

*Liu Li - juan, Bu Xiang - dong, Song Zhen - dong, Hui Zhi - guo*

*(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)*

**Abstract:** In this paper, the chemical composition and production process are designed according to the technical requirements of 420 MPa grade high - strength weather - resistant H beam for residential building as well as the performances of test steel are studied by observing the microstructure with metalloscope and transmission electron microscopy (TEM), room temperature mechanical properties and periodic immersion corrosion tests. The results showed that the fluctuation of impact toughness at room temperature for test steel was small and its toughness was good. The yield strength of three test steels with different specifications was higher than 420 MPa and corrosion resistance index ( $I$ ) was 6.15 ~ 6.45, which showed good resistance to atmospheric corrosion. The microstructure of test steels was mainly consisted of ferrite and pearlite as well as the average grain size of ferrite was 25.73  $\mu\text{m}$  and there was nanoscale (Cu, Cr) C precipitated phases in grain.

**Key words:** H beam; weather - resistant steel; performance

在建筑工程中利用 H 型钢作为建筑的骨架, 在此基础上包裹钢筋混凝土, 共同组成钢筋混凝土梁、

柱, 这样的应用形式能够让建筑具有更高的承载力、更好的抗震性能, 同时采用耐候钢作为建筑结构用

钢,可以有效的降低建筑成本,有减轻污染、降低建筑重量、提高建筑安全性等优点<sup>[1-2]</sup>。

针对建筑用热轧 H 型钢进行了大量研究。李建中等人<sup>[3]</sup>通过控制化学成分中碳含量、Ni/Cr 的当量比,配合弱冷及缓冷的连铸工艺,优化 LF 精炼工艺,同时缩短轧钢时的加热时间,采用铌微合金化开发了高强度 Q355NHE 耐候 H 型钢。徐正彪等人<sup>[4]</sup>研究了控冷工艺对 Q355B 热轧 H 型钢强度和组织的影响,结果发现在冷却温度为 570 ℃时,材料的综合性能较好,可以为减少合金元素的添加量提供参考。夏勳等人<sup>[5]</sup>研究了在耐候热轧 H 型钢中添加铌元素与钒元素对其力学性能的影响,他们认为,采用铌微合金化与钒微合金化相比,铌微合金化不仅能够细化显微组织,提高材料的塑性和强度,同时对低温韧性也有明显的改善。李雄杰、何博<sup>[6]</sup>采用铌钒微合金化工艺开发了厚度为 6 mm、屈服强度为 550 MPa 级高强耐候钢板。

高强耐候 H 型钢中的主要合金元素是 Cu 元

素,在进行时效热处理时 Cu 在钢中能产生非常好的沉淀硬化效果,同时对耐腐蚀性能的提高有着非常重要的作用。钢中含 Cu 含量大于 0.20% 容易产生裂纹,韩北方等人<sup>[7]</sup>通过调整化学成分、优化炼钢、轧钢工艺的方式,改善了钢坯表面因 Cu 导致的裂纹问题。杨才福等人<sup>[8]</sup>发现添加 Ni 可明显改善 Cu 在奥氏体中的溶解度,并且通过阻止 Cu 向基体内部渗透,达到改变钢表面氧化层中富 Cu 相的结构,改善了含 Cu 钢出现的热脆问题。

本文开发了民用建筑用 420 MPa 级高强耐候 H 型钢,并对试验钢的显微组织、力学性能和耐腐蚀性能等进行了研究,旨在为规模化生产提供依据。

## 1 Q420NHB H 型钢的技术要求及方法

### 1.1 技术要求

高强耐候 Q420NHB 钢是通过添加 Cu、Cr、Ni 元素来增加 H 型钢的耐候性,化学成分、性能要求如表 1、表 2 所示。

表 1 Q420NHB 钢的化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
≤0.15	≤0.70	≤1.50	≤0.030	≤0.025	0.20~0.55	0.12~0.65	0.30~1.25

表 2 Q420NHB 钢的性能要求

屈服强度 $R_{eL}$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	延伸率 $A$ /%	屈强比	冲击功 $KV_2$ /J	碳当量 CEN /%	耐腐蚀性指数 $I$
≥410	≥520	≥20	≤0.85	≥34	0.36	≥6.0

### 1.2 实验室试验

实验室试验按照上述成分采用 25 kg 中频冶炼

炉进行冶炼,轧制成 25 mm、35 mm 厚的板材后进行力学性能检验,结果如表 3 所示。

表 3 Q420NHB 钢的力学性能

轧制厚度/mm	屈服强度 $R_{eL}$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	延伸率 $A$ /%	屈强比	室温冲击功 $KV_2$ /J
25	432	562	27.93	0.77	203
35	424	557	24.72	0.76	185

试验室试验结果显示屈服强度略高于标准要求,富余量不大,对成分优化后进行工业生产。

### 1.3 生产工艺

高强耐候 Q420NHB 钢的具体生产工艺流程为:高炉铁水→KR 脱硫铁水预处理→100 t 顶底复吹转炉→100 t LF 精炼炉→异形坯连铸→上料→步

进加热炉→高压水除鳞→BD 开坯→CCS 串列式万能轧制→热锯→步进冷床冷却→矫直→锯切。其中铸坯尺寸为 350 mm×290 mm×100 mm、555 mm×440 mm×105 mm,轧制规格为 HW428×407×20×35、H508×350×16×25、HW200×200×8×12。

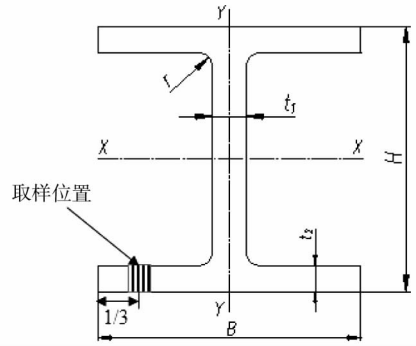
Q420NHB 钢 Cu 含量较高,由于 Cu 的熔点较

低(1 083 ℃),所以在钢液凝固过程中会有少量的 Cu 富集在晶界处,如果在加热炉中保温时间过长,含 Cu 相就会沿着奥氏体晶界向晶体内部扩散,进入基体中形成网状的富 Cu 相,影响晶粒之间的结合力,导致裂纹萌生<sup>[9]</sup>。因此加热温度控制在 1 200 ℃左右,保温时间为 3 h 左右,开轧温度为 1 100 ℃左右,终轧温度为 980 ℃左右。

#### 1.4 检测方法

图 1 是试验钢的断面尺寸图,在试验钢的翼缘 1/3 处截取 10 mm × 10 mm × 10 mm 的金相样,用砂纸逐级打磨后,用 4% 硝酸酒精溶液对试样进行腐蚀,使用金相显微镜对试验钢的显微组织进行观察。试样首先加工为 1.2 mm 厚薄片,然后用砂纸打磨至 50 ~ 60 μm 左右,再制成直径为 3 mm 的小圆片,最后在浓度为 6% 的高氯酸酒精溶液中(温度为 -18 ~ 25 ℃)进行减薄,采用透射电子显微镜对试验钢微小析出相进行观察。使用 Image - Pro Plus 软件对光学显微组织进行分析测量,统计铁素体的体积分数以及平均晶粒尺寸。

在试验钢的翼缘 1/3 处取样,加工成标准的拉伸试样。在拉伸试验机下进行拉伸试验,拉伸速率为 2 mm/min。在试验钢的翼缘 1/3 处取样做 V 型冲击试验,在 N1750 750J 冲击试验机下进行常温的冲击试验。周期浸润腐蚀试验的试验周期为 72 h,腐蚀试样的大小为 60 mm × 40 mm × 3 mm,用于计算试验钢的腐蚀失重速率。试验前将试样用酒精进行处理,然后放入干燥箱进行干燥。腐蚀试验结束后,用刷子除去试验钢表面的锈层,然后用清水和酒精清洗后在干燥箱中烘干,最后称重计算腐蚀失重速率。



$H$ -高度; $B$ -宽度; $t_1$ -腹板宽度; $t_2$ -翼缘宽度; $r$ -圆角半径

图 1 试验钢的断面尺寸及取样位置

## 2 试验结果及分析

### 2.1 试验钢力学性能

Q420NHB 高强耐候 H 型钢轧制规格为 HW428 × 407 × 20 × 35、H508 × 350 × 16 × 25、HW200 × 200 × 8 × 12,试验钢力学性能如表 4 所示。从表 4 可以看出,随着试验钢翼缘厚度的增加,屈服强度、抗拉强度和延伸率均表现出降低的趋势,室温下冲击功值均在 100 J 以上,表现出良好的韧性。不同规格的试验钢都表现出较高的强度,而且拥有良好的塑性,不同规格的试验钢的延伸率均达到 24% 以上。

### 2.2 耐腐蚀性能

耐腐蚀性指数是判定钢材是否具有较优良的耐大气腐蚀性能的依据,当算出的耐候指数大于等于 6.0 时,钢材的耐大气腐蚀性能较好<sup>[9]</sup>。根据 Q420NHB 厚规格高强耐候抗震 H 型钢的化学成分,耐腐蚀性指数( $I$ )的计算结果在 6.15 ~ 6.45 之间,表明试验钢具有优良的耐大气腐蚀性能,满足技术要求。

表 4 Q420NHB 钢的力学性能

规格	屈服强度 $R_{eL}$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	延伸率 $A$ /%	屈强比	室温冲击功 $KV_2$ /J
HW200 × 200 × 8 × 12	531	670	26.0	0.79	143
H508 × 350 × 16 × 25	492	645	24.2	0.76	124
HW428 × 407 × 20 × 35	443	592	25.7	0.75	113

图 2 为试验钢和 Q345B 经过 72 h 周期浸润腐蚀试验后的腐蚀速率和相对腐蚀率图。表 5 为 Q345B 的实测成分。由图 2 可知,经过测试后计算出试验钢在常温下的腐蚀速率为 1.85 g/(m<sup>2</sup> · h),而

Q345B 的腐蚀速率为 3.93 g/(m<sup>2</sup> · h),与 Q345B 相比,试验钢的耐大气腐蚀性能提高约 53%,表现出优良的耐大气腐蚀性能。

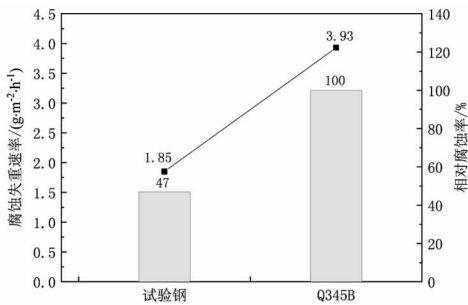


图 2 试验钢与 Q345B 耐腐蚀性能对比

### 2.3 显微组织分析

图 3 为试验钢的金相组织。从图中可以看出,试验钢的组织是由铁素体和珠光体组成,通过

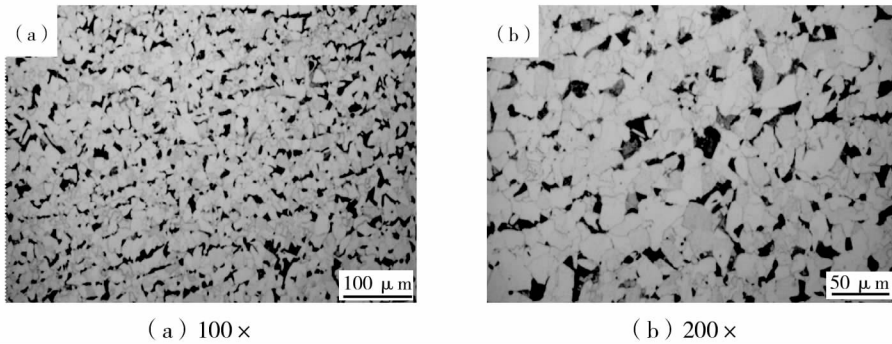


图 3 试验钢的显微组织图

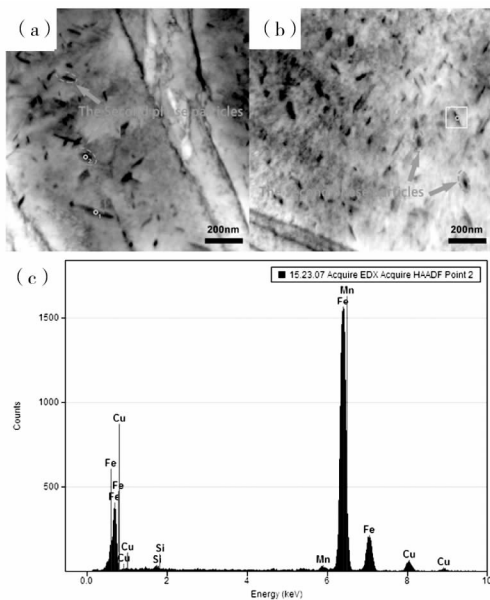


图 4 第二相析出颗粒形貌及其能谱结果

Image-Pro Plus 软件统计得到铁素体平均晶粒尺寸为  $25.73 \mu\text{m}$ , 其体积分数占比为 74.5%。利用霍尔佩奇公式可以得出细晶强化对试验钢屈服强度的贡献值为 108.47 MPa。

通过透射电镜对基体中的析出相进行观察,基体中分布的第二相析出粒子形貌及其能谱分析结果如图 4 所示,其中晶体内部黑色颗粒(红色椭圆标注)为第二相析出粒子。析出相形状为棒状,长度约为  $55 \sim 100 \text{ nm}$ ,直径约为  $20 \sim 30 \text{ nm}$ ,经能谱分析为  $(\text{Cu}, \text{Cr})\text{C}$ 。

表 5 Q345B 钢的化学成分(质量分数) %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
Q345B	0.202	0.485	1.29	0.020	0.012	0.017	0.036

## 3 结论

(1) 通过添加 Cu、Cr、Ni 等元素,结合轧制工艺开发出屈服强度 420 MPa 级高强耐候抗震 H 型钢,室温下冲击功值均在 100 J 以上,表现出良好的韧性。耐腐蚀性指数 ( $I$ ) 在 6.15 ~ 6.45 之间,表现出良好的耐大气腐蚀性能。

(2) 试验钢的显微组织是由铁素体和珠光体构成,其中铁素体平均晶粒尺寸为  $25.73 \mu\text{m}$ ,细晶强化对屈服强度贡献为 108.47 MPa。在晶粒内部有纳米级  $(\text{Cu}, \text{Cr})\text{C}$  析出相,这些析出相起到钉扎位错作用,从而提高试验钢力学性能。

### 参 考 文 献

- [1] 曹杰,郝晓祖,姚嘉. 浅析我国装配式钢结构住宅产业化发展趋势[J]. 建材发展导向(下),2016,14(5):24-24.
- [2] 李庆伟,岳清瑞,冯鹏,等. 双碳目标下钢结构

- 行业发展现状及展望[J]. 建筑钢结构进展, 2022, 24(4): 1-6, 23.
- [3] 李建中, 叶高旗, 张玉峰. 高强度 Q355NHE 耐候 H 型钢的开发[J]. 特殊钢, 2019, 40(6): 5.
- [4] 徐正彪, 王延革, 刘瑞刚, 等. 提高 Q355B 热轧 H 型钢强度的控冷工艺研究[J]. 特殊钢, 2022, 43(2): 51-54.
- [5] 夏勤, 陈辉, 汪杰, 等. 铌钒微合金化对大规格耐候热轧 H 型钢力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2022, 51(5): 80-83.
- [6] 李雄杰, 何博. 铌钒微合金化 550 MPa 级高强耐候钢的开发[J]. 江西冶金, 2022, 42(2): 24-29.
- [7] 韩北方, 高红星, 秦延庆. Q355NHD 耐候 H 型钢生产实践[J]. 工业技术创新, 2016, 3(6): 1107-1109.
- [8] 杨才福, 苏航, 李丽, 等. Cu、Ni 在含铜时效钢表面氧化层中的富集[J]. 钢铁, 2007, 42(4): 57-60.
- [9] 吴耀华, 何文汇, 王厚昕. 耐候 H 型钢的材料性能和设计强度取值研究[J]. 钢结构, 2019, 34(2): 15-25.

---

## 欢迎订阅《包钢科技》杂志

邮发代号: 16-151

定价: 90 元/年

地 址: 内蒙古包头市昆区河西工业区包钢技术中心《包钢科技》编辑部

邮 编: 014010

联系电话: 0472-2666065

联 系 人: 王影

《包钢科技》编辑部