

钢结构用低温 Q355C 热轧 H 型钢生产实践

莫日格吉勒¹, 刘丽娟², 李静伟¹, 杜岳明¹, 李宇龙¹

1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司制造部, 内蒙古 包头 014010;
2. 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: 为满足碳当量及低温韧性的要求, 根据 Nb 元素在钢中的作用, 设计了钢结构用低温 Q355C 热轧 H 型钢的化学成分并制定合理的工艺路线, 依据工业生产数据分析了试验钢的力学性能。试验结果表明, 通过添加 Nb 元素, 试验钢的屈服强度在 355 ~ 465 MPa, 抗拉强度稳定在 525 ~ 620 MPa, 断后伸长率稳定在 22% 以上, 0 °C 低温冲击功稳定在 60 ~ 160 J, 最终获得以铁素体和珠光体为主的钢结构用低温 Q355C 热轧 H 型钢, 产品各项性能均满足标准要求。

关键词: H 型钢; 钢结构; 低温钢

中图分类号: TG335.4

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)06-0064-04

Production Practices on Low Temperature Q355C Hot Rolled H Beam for Steel Structure

Mo Ri Ge Ji Le¹, Liu Li-juan², Li Jing-wei¹, Du Yue-ming¹, Li Yu-long¹

1. Manufacturing Dept. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In order to meet the requirements of carbon equivalent and low temperature toughness, the chemical composition of low temperature Q355C hot rolled H beam for steel structure is designed and reasonable process route is formulated according to the functions of Nb element in steel as well as the mechanical properties of test steel are analyzed based on industrial production data. The test results showed that the yield strength of test steel was 355 ~ 465 MPa, tensile strength was stabilized at 525 ~ 620 MPa, elongation after fracture was stabilized at over 22% and low temperature impact energy at 0 °C was stabilized at 60 ~ 160 J by adding Nb element. Finally, the low temperature Q355C hot rolled H beam for steel structure mainly with ferrite and pearlite is obtained as well as all the properties of product could meet standard requirements.

Key words: H beam; steel structure; low temperature steel

随着 H 型钢的广泛应用, 国内 H 型钢呈多样化个性需求, 高强度、耐低温、耐腐蚀、抗震、耐火等特

殊用途热轧 H 型钢逐步开发问世^[1-2]。我国少数耐低温热轧 H 型钢产品未能实现国产化, 仍为国外

少数先进钢铁企业所垄断,究其原因,主要是低温韧性要求高的 H 型钢的制造存在技术瓶颈,相关的材料强韧化机制基础研究不够,超低温条件下 H 型钢组织和低温韧性的机理研究缺乏;复杂异型断面型钢的组织和性能均匀性控制困难,产品制造的技术支撑不足;H 型钢规格多,从薄壁到厚重产品尺寸差别大,温度、变形、表面质量的均匀性和稳定性问题特别突出。热轧 H 型钢产线大多不具备控轧控冷手段,强度及特殊性能的提高仅依靠合金含量的增加来实现^[3]。因此,与常规碳素结构热轧 H 型钢相比,具有低温韧性的热轧 H 型钢合金含量越来越高^[4]。因异型坯断面形状相对复杂,不同的位置,散热速度不同,且差异较大,温度梯度较常规铸坯大,均匀性差,裂纹敏感性较强。常规碳素结构钢生产过程中尚有 1% 左右的铸坯裂纹率,随着合金含量的增加,铸坯生产难度逐步增大^[5]。

一定量的 Nb 对奥氏体再结晶温度有提高的作用,使晶粒细化,使钢的性能有较大幅度的提高。Nb 含量的提高,会降低钢的高温塑性^[6]。本文通过采用 Nb 微合金化开发了 Q355C 低温热轧 H 型钢,最终实现 355 MPa 级耐低温热轧 H 型钢稳定批量

供货。

1 化学成分

由于碳的成本相对较低,可忽略不计,Q355C 热轧 H 型钢在保证碳当量满足标准要求的前提下,采用少量 Nb 微合金化细化晶粒,提高强度及 0 °C 冲击韧性,降低钢种合金成本,实现成本、性能最优控制。Si 作为脱氧剂加入到钢中,一部分溶于钢液中的 Si 可增加液态钢的流动性,冷却后溶于铁素体内,可有效提高钢中铁素体的强度。Si 的固溶强化作用较强,理论上,碳钢中 Si 含量提高 0.1%,抗拉强度可提高 8~9 MPa,屈服强度提高 4~5 MPa,伸长率下降约 0.5%,钢材的冲击性能与面缩率变化不明显,当 Si 含量达到 0.8%~1.0% 时,会导致面缩率与冲击性能急剧下降。根据产品的性能要求,Mn 的含量一般控制在 1.1%~2.0%。高的锰碳比对提高抗拉强度和冲击韧性是有益的,提高锰碳比有利于钢的抗拉强度及冲击韧性提高。Mn 在钢中容易形成偏析带,对钢材性能的稳定性影响较大,所以一般 Mn 含量不宜过高。Q355C 热轧 H 型钢的化学成分如表 1 所示。

表 1 Q355C 热轧 H 型钢化学成分及碳当量(质量分数)

标准	C	Si	Mn	P	S	Nb	CEV
GB/T 1591—2018	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.030	≤0.030	0.02~0.04	≤0.45

2 生产工艺

2.1 冶炼工艺

试验钢中 Nb 的加入量在 0.05% 以下,微量的 Nb 可使钢得到极好的综合性能。因为在低 Nb 含量下,屈服强度增加明显,在一定范围内与 Nb 含量成正比例关系,当 Nb 含量在 0.03% 以上时,强化增量减少;而在一定的溶解度和沉淀条件下,当 Nb 的含量在 0.06% 以上时,强化增量保持不变。

在钢包精炼期间加入铌铁是常用方法,钢包吹氩有利于 Nb 的均匀分布,块状铌铁在出钢时加入钢包,且应在加硅铁、铝和锰铁之后加入,必须注意无渣出钢,以防止块度小的铌铁进入钢渣,铌铁块度选择在 5~50 mm。

连铸过程采用保护浇注,开浇前做好中间包排空、密封工作,为防止浇注过程的二次氧化,需加入一定量的覆盖剂。连铸生产过程中稳定液位,采用

结晶器液面自动控制技术,保证生产时序稳定的前提下,恒定拉速。

2.2 轧制工艺

2.2.1 加热工艺

加热炉加热 I 段温度应不大于 900 °C,加热 II 段温度应不大于 1 100 °C,加热 III 段温度应控制在 1 180~1 260 °C,均热段温度应控制在 1 200~1 260 °C,铸坯出炉温度应控制在 1 180~1 220 °C,铸坯加热时间应控制在 2.3~4.5 h,炉内为还原性气氛。

2.2.2 轧制工艺

坯料加热后经过高压水除鳞,去除高温氧化铁皮,避免后续轧制过程中氧化铁皮压入表面,造成轧疤、麻面等缺陷,提高表面质量。除鳞后的坯料进入 BD 轧机经过若干孔型开坯轧制,目的是修正坯料形状,坯料经过 BD 轧机开坯轧制,轧制出与成品尺寸更匹配的粗轧坯料,开轧温度控制在 1 150~

1 200 ℃。

CCS 连轧机组使用万能工艺 X-H 轧制法轧制 H 型钢,坯料经过 CCS 连轧机组往复轧制多道次,最终轧制为成品 H 型钢。为了保证断面尺寸及成品 H 型钢外形符合标准要求,通过计算各道次的变形量,制定了每一道次的轧制规程,合理匹配各道次腹板、翼缘的变形量,保证的 H 型钢的成品尺寸和

外形质量,终轧温度控制在 880 ~ 930 ℃。

3 产品综合性能

3.1 力学性能

Q355C 热轧 H 型钢轧制规格为 H200 × 200、H428 × 407,按照标准要求取样及性能检测,成品性能均满足标准要求,力学性能检测结果如图 1 所示。

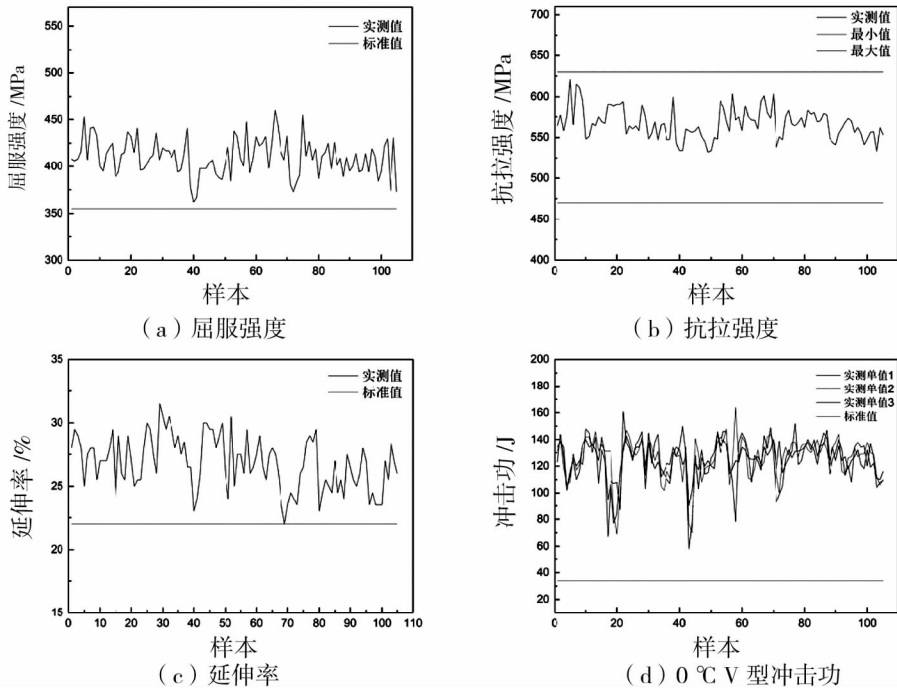


图 1 力学性能统计结果

由图 1 可以看出,该成分体系及工艺条件下,产品各项性能控制较为稳定,屈服强度在 355 ~ 465 MPa,抗拉强度稳定在 525 ~ 620 MPa,断后伸长率稳定在 22% 以上,0 ℃ 冲击功稳定在 60 ~ 160 J。冷弯试验合格率为 100%。

3.2 高倍组织

含铌钢当加热温度升至 1 200 ℃ 时,钢中主要起抑制晶粒长大作用的碳氮化物基本是都溶入奥氏体,Nb 原子的尺寸效应对晶格畸变作用比较明显,Nb 在钢中主要起抑制晶粒长大的作用。对试验钢进行了显微组织、晶粒度、夹杂物分析,显微组织如图 2 所示,组织为铁素体(F) + 珠光体(P)。非金属夹杂物及晶粒度检验结果如表 2 所示,试验钢晶粒度为 9 级以上,夹杂物为 1.5 级以下。

表 2 非金属夹杂物及晶粒度评级

牌号	夹杂物					晶粒度
	A	B	C	D	D _s	
Q355C	0.5	1.5	0.5	1.0	1.5	9.0
	0.5	0.5	1.5	1.5	1.0	9.5
	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	9.0

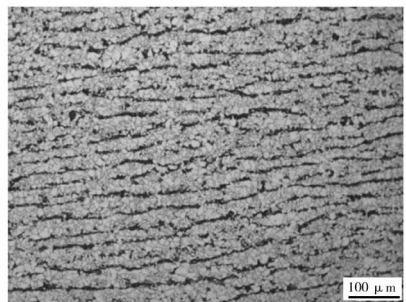


图 2 试验钢金相组织

4 结论

(1)采用 Nb 微合金化生产 Q355C 热轧 H 型钢产品思路可行,产品屈服强度在 355 ~ 465 MPa,抗拉强度稳定在 525 ~ 620 MPa,断后伸长率稳定在 22% 以上,0 °C 冲击功稳定在 60 ~ 160 J,冷弯试验合格率为 100%。

(2)控制 CCS 终轧温度在 880 ~ 930 °C,有效细化成品 H 型钢晶粒,保证成品 0 °C 冲击韧性。

参 考 文 献

- [1] 成平,卢文静. 多层 H 型钢钢结构住宅的性能分析[J]. 建筑技术,2005,36(7):546-547.
- [2] 李硕,徐树成,陈金龙. 国内热轧 H 型钢发展现状综述[J]. 科技创新与应用,2012(30):86-89.
- [3] 杜立权. H 型钢的轧制与发展[J]. 鞍钢技术,1998(4):21-27.
- [4] 李同敬. 热轧 H 型钢的轧制及其工程应用[J]. 冶金与材料,2018,38(5):130,132.
- [5] 胡春林,刘崇,吴坚,等. 钒微合金化异型坯 S355ML 的高温热塑性[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版),2021,38(1):11-17.
- [6] 张月新. 铌在钢中作用[J]. 钢铁研究,1988(4):3-9,14.

信息

关注设备精度保证值,提高产品质量稳定性

随着各行各业追求高质量发展,市场对产品质量的需求由符合性向稳定性转变。钢材产品广泛应用于汽车、家电、铁路、油气、建筑等行业,用户对产品质量稳定性也提出了更高的要求,而钢材产品质量除了化学成分、机械性能、金相组织和表面质量外,尺寸偏差也是一项重要的评价指标。

按照专业化质量管理理念,以“满足用户需求”为中心,从原料进厂到成品出厂实施全过程质量管理,而最终产品尺寸的稳定性与设备功能精度有必然关系,因此提高产品尺寸稳定性需要高度关注设备功能精度管理。从 2023 年 10 月份开始公司每周对一条产线产品尺寸进行测量、分析和评价,评价的标准是产品外形尺寸满足设计保证值,从产品尺寸稳定性和进限率两个维度反映生产线设备能力是否达到设计精度要求,生产厂根据产品尺寸评价结果恢复、提高设备功能精度。

为了高效开展产品尺寸测量、评价工作,结合前期产品尺寸测量、评价过程中积累的经验,包钢股份制造部举办了钢材产品尺寸测量、分析与评价专项培训活动,有利于各生产厂准确开展产品尺寸测量、评价工作。通过持续、深入开展产品尺寸稳定性评价工作,提高了工艺、设备、人员的产品质量意识,助力公司持续提高产品质量稳定性和用户满意度。