

提高海洋工程用H型钢横向冲击性能稳定性研究

杨静¹, 陈慧阳², 惠治国¹, 王敏¹, 王璐¹, 孙梦晨¹

1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司制造部, 内蒙古包头 014010)

摘要: 针对海洋工程用H型钢SM490YB横向冲击性能波动大、低温韧性不稳定问题, 系统分析了带状组织、非金属夹杂物及晶粒度对横向冲击韧性的影响机制。通过采取成分优化、钙处理变性夹杂物、低过热度连铸及控轧控冷等综合措施, 有效抑制Mn偏析、球化夹杂物并细化晶粒, 实现组织均匀化。经优化工艺处理后, H300×300规格H型钢在-20℃下横向冲击功提高, 波动减小, 带状组织改善, 夹杂物球化效果明显, 组织晶粒细化。

关键词: 海洋工程; H型钢; 横向冲击韧性; 组织控制; Ca处理; 控轧控冷

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2026)02-0035-04

Research on Improving Stability of Transverse Impact Property of H Beam for Ocean Engineering

Yang Jing¹, Chen Huiyang², Hui Zhiguo¹, Wang Min¹, Wang Lu¹, Sun Mengchen¹

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

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

Abstract: The influencing mechanisms of banded structure, nonmetallic inclusions and grain size on transverse impact toughness are systematically analyzed aiming at such problems as great fluctuation of transverse impact property and unstable low-temperature toughness of H beam SM490YB for ocean engineering. The Mn segregation and spheroidized inclusions are effectively inhibited, grains are refined as well as microstructure homogenization is realized through adopting such comprehensive measures as composition optimization, modified inclusions with Ca treatment, low superheat continuous casting as well as controlled rolling and cooling. The transverse impact energy at -20℃ is improved, fluctuation is reduced, banded structure is improved, spheroidization effect of inclusions are obvious and grains are refined for H beam with specification of H300×300 with treatment of optimum technology.

Key words: ocean engineering; H beam; transverse impact toughness; microstructure control; Ca treatment; controlled rolling and cooling

随着海洋资源开发逐步向深远海推进, 海洋工程装备结构的安全性与可靠性要求显著提高。H型

钢作为一种具有优良截面特性的建筑结构用钢,已广泛应用于海洋平台甲板、导管架、桁架等关键承载部位。在服役场景下受低温、盐雾和交变载荷影响,H型钢除需具备高强度外,更要求在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 甚至更低温度下具备稳定的横向冲击韧性^[1]。

然而,国内H型钢产品在横向冲击性能方面仍存在明显不足。研究表明,主要原因在于Mn元素偏析形成的带状组织和夹杂物形态不合理,造成组织各向异性程度加剧,导致横向韧性指标明显下降^[2-4]。此外,由于H型钢多采用异型连铸坯,组织均匀性和枝晶细化效果有限,加剧了性能波动^[5]。

近年来,研究者在钢种设计、微合金控制、钙处理、连铸及控轧控冷工艺等方面进行了大量探索。例如,董春宇通过终轧温度与冷却速率耦合优化,有

效提高H型钢的细晶强化效果,并提高贝氏体组织的占比,从而显著增强H型钢低温冲击性能^[6];姚慧琴等系统梳理了当前海工用钢的成分演化与工艺演进,提出合金化与组织调控协同优化是未来的发展方向^[7]。

本文以SM490YB钢为基础,针对H300×300规格H型钢横向冲击性能波动大的问题,围绕成分控制、钙处理、连铸与轧制工艺多路径开展试验与分析,探究其对H型钢组织演化与冲击性能的影响机制,旨在提出一套可稳定提高H型钢横向韧性的综合技术方案。

1 技术要求与现状剖析

SM490YB钢化学成分见表1,性能要求见表2。

表1 化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Nb	V	CEV
0.12	0.25	1.40	0.015	0.008	0.025	0.04	≤0.36

表2 力学性能要求

R_{eH} /MPa	R_m /MPa	A /%	$KV_2(-20\text{ }^{\circ}\text{C},$ 横向)/J
≥355	490~630	≥21	≥24

表3为产品性能指标。由表3可知,SM490YB钢屈服强度、抗拉强度、断后伸长率均满足要求,但试样的横向冲击功却频繁出现超差或稳定性不足的情况,部分批次甚至低于行业推荐值24J。

表3 产品性能指标

钢种	R_{eH} /MPa	R_m /MPa	A /%	$KV_2(-20\text{ }^{\circ}\text{C},$ 横向)/J
	413	519	23.0	31,26,30
SM490YB	425	527	24.0	38,21,22
	418	515	23.5	33,17,29

2 冲击不稳定的原因分析

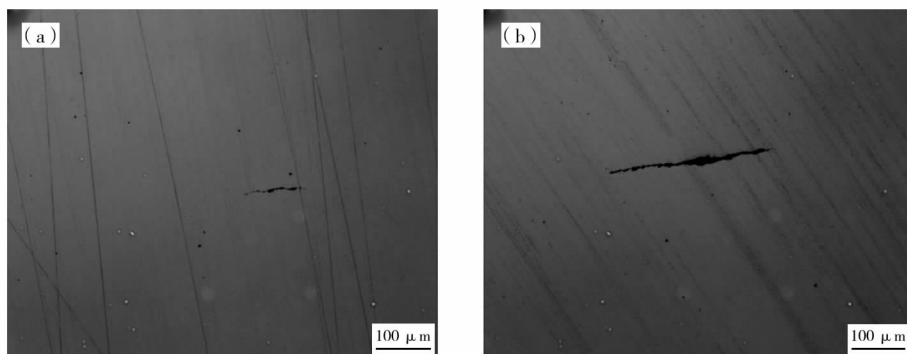
选取冲击值合格与冲击值未达标的试样分别进行非金属夹杂物及显微组织分析。

分别磨制试样的纵向轧制面,抛光后在金相显

微镜下观察,试样的非金属夹杂物均呈长条状形貌,见图1。其中冲击值未达标试样的夹杂物较大,长度为 $385\text{ }\mu\text{m}$,评级为粗系B类2级,见图1(b)。由于夹杂物大多沿轧制方向分布于晶界或带状区域,降低了与基体的结合力,低温冲击作用时,极易在夹杂物部位萌生裂纹,并进一步发生裂纹聚合扩展现象,使材料的低温冲击值降低。

抛光的试样经4%硝酸酒精试剂腐蚀后在金相显微镜下观察,试样的显微组织为铁素体+珠光体,晶粒度为6~7级,试样的显微组织表现出明显的带状分布,见图2。带状组织通常由Mn元素在连铸凝固过程中的微偏析引起,形成在轧制方向上呈条带状分布的珠光体与铁素体交替区带。由于横向冲击试样的缺口垂直于轧制方向,条带成为裂纹扩展的“快捷通道”,导致裂纹沿条带方向迅速扩展,显著降低了吸收能量,进而造成冲击性能衰退。

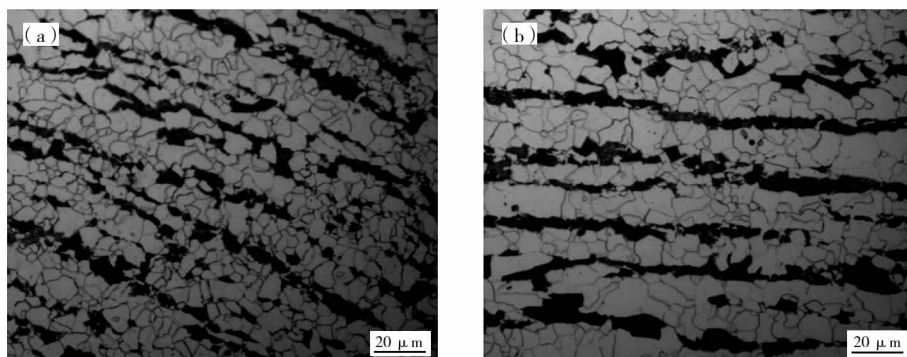
细小均匀的晶粒结构对金属韧性具有显著的增强作用,核心机制为提高裂纹扩展路径的弯折复杂度,以此强化裂纹扩展阶段的耗能过程。由此可见,轧制后晶粒度控制对实现横向冲击性能稳定性具有重要意义。



(a) 冲击值合格试样

(b) 冲击值未达标试样

图1 非金属夹杂物形貌



(a) 冲击值合格试样

(b) 冲击值未达标试样

图2 显微组织

3 工艺优化

3.1 钙处理改善夹杂形貌提高裂纹抗力

针对非金属夹杂物经轧制变形形成拉长形态、诱发裂纹的问题,采用喂钙线变性处理。通过优化加钙的时机和数量,使夹杂物由条状转变为球形 (Al, Ca)O 或球化 MnS ,此外,钙还能有效脱硫并促进 Al_2O_3 的液态复合,有助于减少夹杂物的数量和尺寸^[8],为冲击载荷下提供更高的抗裂稳定性。优化后的夹杂物形貌见图3。

3.2 降低 Mn 偏析抑制带状组织形成及晶粒细化

为削弱带状组织形成倾向,从成分设计和凝固过程两方面进行优化。一方面,控制 Mn 含量在 1.40% ~ 1.50%,同时引入适量 Nb、Ti 形成稳定碳氮化物析出物以促进晶粒细化;另一方面,连铸工艺中通过降低钢水过热度 ($\leq 20\text{ }^\circ\text{C}$)、优化二冷段水量分布,使铸坯表层形成更高比例的等轴晶区,降低偏

析程度。在轧制环节,采用 $850\text{ }^\circ\text{C}$ 终轧温度结合快冷处理,打破 Mn 偏析带,形成均匀组织^[9],显著降低带状组织等级至 1 级以下,并细化了晶粒。优化后的晶粒度为 7 ~ 8 级,见图4。



图3 优化后的夹杂物形貌

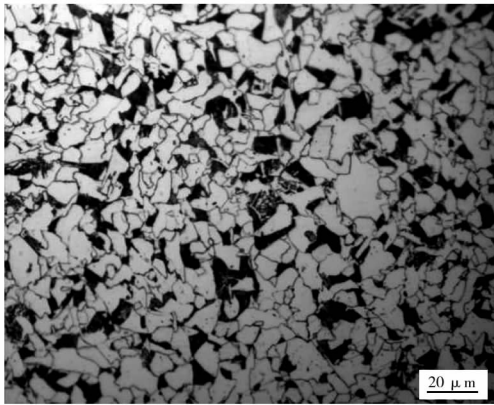


图4 优化后的显微组织

采用优化后的低硫成分、钙处理、低过热度连铸与控轧控冷工艺进行 H300 × 300 规格 SM490YB 钢生产,结果表明,经工艺优化, -20 ℃ 横向冲击功提高,波动减小,带状组织改善,夹杂物球化效果明显,组织晶粒细化。

4 结论

(1) 带状组织、夹杂物形貌不合理和晶粒粗大是导致海洋工程用 H 型钢 SM490YB 横向冲击性能不稳定的主要原因。

(2) 通过降低硫含量、钙处理夹杂、控制连铸与轧制工艺,可有效改善组织结构,细化晶粒,钢材在 -20 ℃ 下的横向冲击功提高,波动减小,带状组织改善,夹杂物球化效果明显。

参 考 文 献

- [1] 李超,张蕾,方金林,等.海洋工程用 H 型钢横向冲击韧性提升研究[J].甘肃冶金,2014,36(1):68-70,73.
- [2] 彭飞,惠治国,李洪芳.提高海洋石油平台用 SM490YB 热轧 H 型钢低温冲击韧性[J].包钢科技,2022,48(6):53-57.
- [3] 赵培林,韩文习,杨志杰,等.夹杂物对海工用 H 型钢冲击韧性影响及分析[J].中国冶金,2020,30(2):74-78,83.
- [4] 张志慧,金涛,马立新,等.Q355C 热轧 H 型钢低温冲击性能不合格的原因分析与对策[J].热加工工艺,2020,49(13):156-158,162.
- [5] 武玉利,方金林,李超.改善热轧 H 型钢 SM490YB 冲击性能的研究[J].钢铁研究,2016,44(4):27-29,33.
- [6] 董春宇.高强度海洋工程用 H 型钢组织性能研究[D].沈阳:东北大学,2017.
- [7] 姚慧琴,王敬忠,赵培林,等.海洋工程用钢成分和组织及其 H 型钢生产工艺的研究进展[J].金属热处理,2024,49(3):293-301.
- [8] 顾建国.海洋石油平台用 H 型钢的开发研究[J].钢铁,2001,36(2):29-33.
- [9] 孙维,汪开忠.海洋石油平台用热轧 H 型钢生产工艺的优化[J].中国冶金,2004(5):17-20,23.