

Ti微合金化对235 MPa级碳素结构钢 铸坯质量、性能的影响

康旭¹, 宿成¹, 刘妍¹, 董磊¹, 韩玉龙², 李彬³

- (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;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂, 内蒙古包头 014010)

摘要:针对常规中碳与低锰成分系设计的碳素结构钢连铸坯常出现角裂的质量缺陷,严重影响产品热装率,在原有设备工况的条件下,开展成分优化设计,利用微合金化元素Ti置换部分C元素,通过细晶强化和析出强化替代固溶强化,保证产品的机械性能。同时,利用Ti微合金化的高温液析TiN第二相粒子固定钢液中游离的N原子,提高铸坯高温塑性,改善铸坯角裂。经批量化生产应用评价,采用新成分设计的碳素结构钢Q235B角裂率得到了有效控制。

关键词:碳素结构钢 Q235B; Ti微合金化; 铸坯质量; 力学性能

中图分类号: TF777

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)05-0046-04

Effects of Ti Microalloying on Quality and Properties of Casting Blank of 235 MPa Grade Carbon Structural Steel

Kang Xu¹, Su Cheng¹, Liu Yan¹, Dong Lei¹, Han Yu-long², Li Bin³

(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;

3. Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The frequent quality defect of corner crack for casting blank of carbon structural steel with conventional composition design of medium carbon and low manganese seriously affects the hot charge rate of products. With the original equipment and working conditions, composition optimization design is carried out. The mechanical properties of products are ensured through replacing part of C with microalloying element Ti as well as replacing solution strengthening with fine-grain strengthening and precipitation strengthening. Meanwhile, the high temperature plasticity and corner crack of casting blank are improved through liquation of second phase particle for TiN with the high temperature of Ti microalloying to fix free nitrogen atom in liquid steel. The rate of corner crack for carbon structural steel Q235B with new composition design is

收稿日期: 2023-08-12

作者简介: 康旭(1997-),男,内蒙古包头市人,硕士,助理工程师,现从事新产品开发工作。

controlled effectively through the evaluations of mass production and applications.

Key words: carbon structural steel Q235B; Ti microalloying; quality of casting blank; mechanical property

碳素结构钢中以中碳低锰成分设计为代表的 Q235B 钢是目前钢铁企业生产量最大、市场应用最广的钢铁产品之一,由于其良好的性价比,Q235B 钢板成为工程机械行业主要材料。随着生产厂 1 650 mm 和 2 150 mm 连铸机长期高负荷的连续服役,其设备精度不断降低,对于生产中碳低锰的碳素钢 Q235B 铸坯易发生角裂缺陷,加大了人工火焰清理角部缺陷的工作量,一方面,降低了成材率;另一方面,下线处理铸坯缺陷,严重影响热装组产,增加了加热能耗,一度成为钢厂迫切需要攻关解决的难题。2023 年初,生产厂生产的 Q235B 产品频繁出现角裂问题。本文立足于现状,通过调整 Q235B 产品成分,用“低碳 + Ti”的成分设计理念代替当前产品的“中碳 + Mn”成分系,利用 Ti 微合金化的高温液析 TiN 第二相粒子固定钢中游离的 N 原子,减少或避免低温奥氏体向铁素体转变时沿一次铁素体晶界 AlN 第二相粒子析出,提高钢材的高温第三脆性区的韧性^[1-2],以此提高铸坯矫直区材料韧性,消除 Q235B 结构钢为代表的碳锰钢铸坯角裂缺陷。

1 成分工艺控制

1.1 铸坯质量问题

铸坯在连铸过程中出现的缺陷很多,尤其表面

缺陷最为严重,如表面裂纹、气孔、表面夹渣等等。据统计^[3],铸坯中最常见和数量最多的表面质量缺陷就是裂纹,其比例约占各类缺陷的 50% 以上。图 1 为铸坯横裂纹实物图。



图 1 铸坯横裂纹实物图

1.2 成分优化

针对铸坯角裂问题,调整 Q235B 产品成分设计,用“低碳 + Ti”的成分设计理念代替当前产品的“中碳 + Mn”成分系。2023 年 6 月,稀土钢板材厂试制首批厚度为 12.70 ~ 25.40 mm 的厚规格 Q235B (B155C) 产品,采用高炉铁水→KR 脱硫→转炉冶炼→LF 精炼→板坯连铸工艺,得到 230 mm 厚度的连铸板坯,其设计成分如表 1 所示。

表 1 Q235B (B155C) 产品新旧成分对比

成分	C	Si	Mn	P	S	N	Ti
旧成分	0.17 ~ 0.19	≤0.15	0.35 ~ 0.45	≤0.020	≤0.020		
新成分	0.06 ~ 0.08	0.10 ~ 0.20	0.35 ~ 0.45	≤0.020	≤0.015	≤0.006 0	0.030 ~ 0.040

统计首批试制产品性能与标准要求对比如表 2 所示。

表 2 Q235B (B155C) 试制产品性能及标准要求

卷号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	冲击功/J
标准	≥235	370 ~ 500	≥26	≥27
236103573	314	435	36.0	277
236103578	328	433	31.5	243
236103581	300	420	30.5	180
236103583	310	416	33.0	216

试制产品各项性能均符合预期指标,以同样思路试制厚度为 5.0 ~ 12.7 mm 薄规格 Q235B

(B155B)产品,其设计成分如表 3 所示。

表 3 薄规格 Q235B(B155B)产品新旧成分对比

成分	C	Si	Mn	P	S	N	Ti
旧成分	0.16 ~ 0.18	≤0.15	0.2 ~ 0.3	≤0.025	≤0.020		
新成分	0.06 ~ 0.08	0.10 ~ 0.20	0.2 ~ 0.3	≤0.020	≤0.015	≤0.006 0	0.025 ~ 0.035

统计试制薄规格产品性能与标准要求对比如表 4 所示。

表 4 Q235B(B155C)试制产品性能及标准要求

卷号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 /%	冲击功 /J
标准	≥235	370 ~ 500	≥26	≥27
236112295	437	443	32.0	109
236115813	357	424	36.5	238
236112285	409	458	35.0	
236112271	365	429	31.0	112
236112331	332	420	33.0	223
236115814	353	437	35.0	221

Q235B 试制产品各项性能均符合预期指标,可开展批量生产。

1.3 热轧工艺设计

根据产品订单厚度要求,制定热轧工艺如表 5 所示。

表 5 产品热轧工艺参数

厚度 /mm	出炉温度 /℃	精轧终轧温度 /℃	卷取温度 /℃
5.0 ~ 6.0	1 245 ± 20	885 ± 15	670 ± 20
6.0 ~ 10.0	1 225 ± 20	875 ± 15	670 ± 20
10.0 ~ 12.7	1 205 ± 20	865 ± 15	650 ± 20
12.7 ~ 20.0	1 205 ± 20	850 ± 15	650 ± 20
20.0 ~ 25.4	1 205 ± 20	850 ± 15	640 ± 20

2 产品性能分析

2.1 生产情况

截至 10 月,2023 年共生产 5.0 ~ 25.40 mm 厚度 Q235B 产品 554 炉,其中厚度 12.70 ~ 25.40 mm 厚规格 Q235B 旧成分系(中碳 + Mn)产品 149 炉,新成分系(低碳 + Ti)产品 140 炉;厚度 5.0 ~ 12.7 mm 薄规格 Q235B 旧成分系(中碳 + Mn)产品 215 炉,新成分系(低碳 + Ti)产品 50 炉。

2.2 性能对比

图 2 为厚度为 5.0 ~ 12.7 mm 薄规格 Q235B (B155B)新旧成分系下拉伸性能对比。数据显示,同一成分系下,随着产品厚度的增加,热轧总压缩比减小,强度富余量下降;同厚度不同成分系下,“低碳 + Ti”成分系下产品屈服强度高于旧成分系约 50 MPa。对于抗拉强度,含 Ti 成分系下产品波动较大,整体数据取均值比较,两者相差 8 MPa。两种成分系下,产品延伸率均值相差 0.1 个百分点,屈强比相差 0.14。综合分析,新成分系下含 Ti 产品屈服强度富余量较大,抗拉强度与延伸率变化不明显。

图 3 为厚度 12.70 ~ 25.40 mm 厚规格 Q235B (B155C)新旧成分系下拉伸性能对比。数据显示,对于厚规格 Q235B,新成分系下产品屈服强度高于旧成分约 57 MPa,抗拉强度降低 20 MPa,延伸率两者相差不明显,20 °C 冲击功新成分系高旧成分系约 90 J。

2.3 铸坯质量

与现场连铸作业部联系,取新旧成分系下的 Q235B 产品各 200 块板坯统计角裂率如表 6 所示,旧成分系铸坯角裂率高达 25%,严重影响热装率,新成分系下的 Q235B 铸坯暂未出现角裂现象。

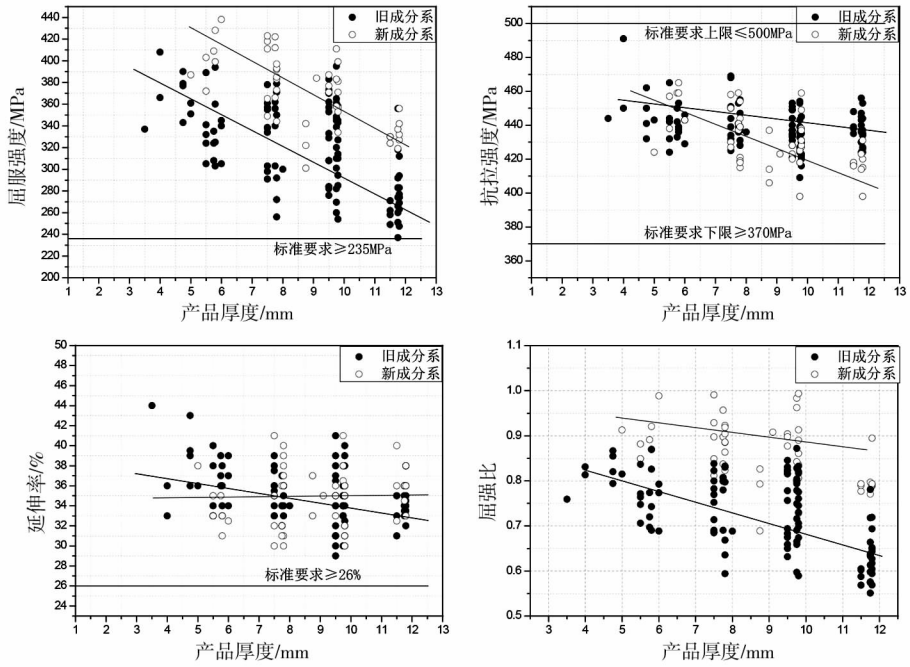


图 2 新旧成分系下薄规格 Q235B 性能对比

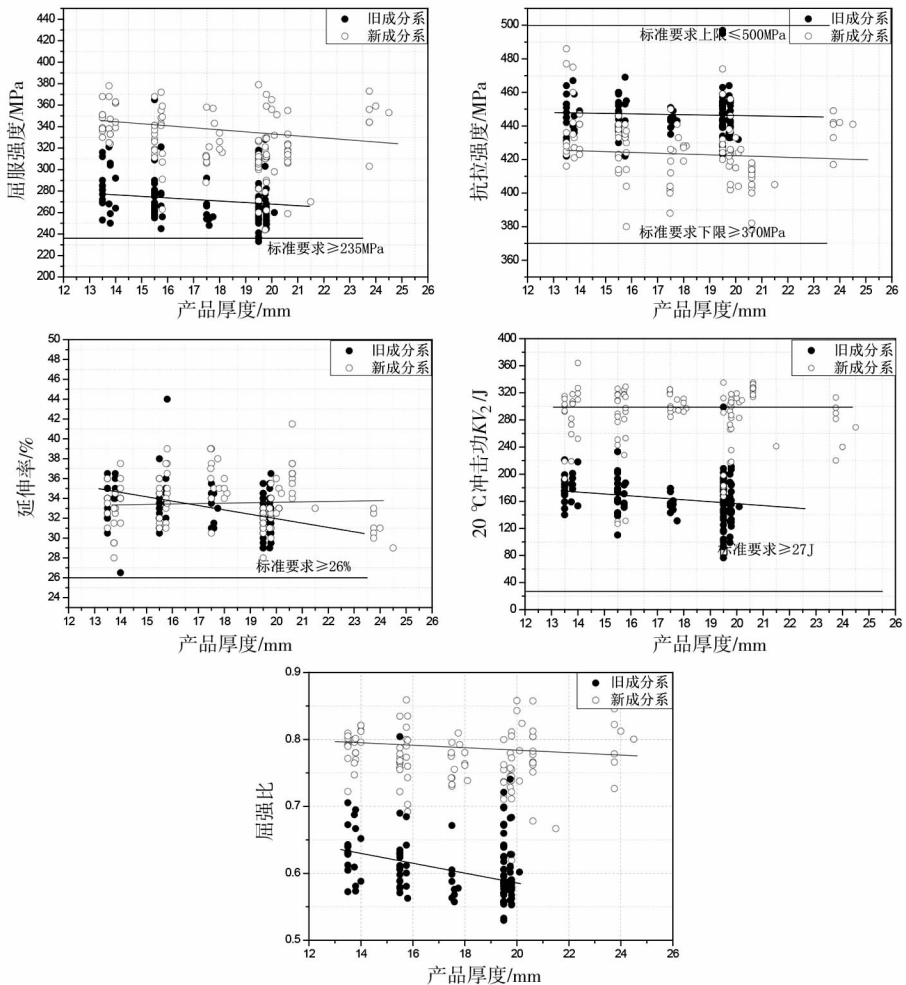


图 3 新旧成分系下厚规格 Q235B 性能对比

(下转第 93 页)