低成本含 Nb 热轧 H 型钢的生产工艺研究

冯岩青[1],卢雄慧[2],刘 舵[3],卜向东[1],郝振宇[2]

(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炼钢厂,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 为了提高包钢低合金高强度热轧 H 型钢产品的性能,降低生产成本,增强产品的竞争力,提高企业的经济效益和生产效率,文章对包钢生产的低合金高强度 H 型钢的生产工艺、组织、性能等特点进行了分析。通过以铌替代钒同时降低 Mn 的合金设计思想,达到降低钢中合金含量、增加产品利润的目的,并保证了低合金高强度 H 型钢力学性能符合产品标准。

关键词: 低成本; 低合金高强度钢; 微合金化; H 型钢

中图分类号: TG335.4 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009 - 5438(2020)04 - 0052 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.014

Study on Production Technology of Low Cost Hot Rolled H Beam Containing Nb

Feng Yan - qing[1], *Lu Xiong - hui*[2], *Liu Duo*[3], *Bu Xiang - dong*[1], *Hao Zhen - yu*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Steel - making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Rail and Beam Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In order to improve the performances of low - alloy high - strength hot rolled H beam product of Baotou Steel, reduce its production costs, enhance its product competitiveness as well as improve the economic benefits and production efficiency of enterprise, its characteristics such as the production technology, microstructure and performance are analyzed in this paper. The cost of alloy in steel is reduced and product profit is increased through the design idea of replacing vanadium with niobium and reducing Mn so that its mechanical properties are ensured to meet product standards.

Key words: low cost; low - alloy high - strength steel; microalloying; H beam

收稿日期: 2020 - 03 - 10

作者简介: 冯岩青(1977 -),女,山东省莱州市人,博士,高级工程师,现从事型钢领域新产品研发工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

近几年,包钢轨梁厂热轧 H 型钢产量 60 ~ 70 万 t/a,其中普碳钢占比约为 65%,低合金高强度钢占比约为 33%,并主要采用钒微合金化方式达到产品性能,其它特殊热轧 H 型钢占比约为 2%。低合金高强度钢是在碳含量低于 0.20% 的普通碳素钢的基础上,通过添加一种或多种少量合金元素,通过固溶强化、细晶强化、沉淀强化、形变强化和相变强化等强化方式,使强度高于普通碳素钢的一类钢。包钢生产的低合金高强度 H 型钢广泛用于建筑结构等领域,同普通的碳素结构钢相比,低合金高强度 H 型钢具有优良的力学性能和突出的经济优势。

2018 年 9 月国内市场铌铁合金的采购价为 17 万元/t,钒铁合金的采购价为 31 万元/t,钒氮合金的采购价为 32 万元/t,2019 年 9 月钒氮合金的采购价回调至为 21 万元/t,铌铁合金的采购价为 18 万元/t。包钢自 2013 年起生产的 345 MPa 钢中通过添加微量钒氮合金以达到产品技术性能,2018 年国内铌铁市场价格平稳,但钒铁合金及钒氮合金的价格持续攀升,2019 年钒氮合金价格回落,本文在于以铌代钒的方式降低钢中锰含量,达到降低钢中合金含量、增加包钢热轧 H 型钢产品利润的目的,至此,可根据市场合金价格的波动随时对钒铌合金进行切换使用。

1　工业试制情况

包钢从 2012 年起生产的低合金高强度热轧 H 型钢全部采用钒氮合金,2018 年起开始逐步采用铌铁合金生产该产品,2018 年至 2019 年包钢炼钢厂规模化生产了 224 炉低成本含铌异型坯,共计 1.992 4 万 t,轨梁厂轧制了 H150 mm—H500 mm 的小中规格,产品性能均符合技术要求,发往用户使用,成品表面质量良好。低成本含铌热轧 H 型钢化学成分的设计,通过铌微合金,调整碳及降低锰含量的合理匹配达到型钢的技术性能。

2　工业试制方案设计

2.1　生产过程控制

为对比钒氮合金与铌铁对热轧 H 型钢产品性能的影响,工业试制过程一个浇次连浇的前半部分采用钒氮合金在精炼处加入,后半部分改换为铌铁在精炼处加入,两种方式的微合金化的铸坯化学成分见表 1。两种设计成分中的碳、硅、硫、磷含量相同,成品钒及铌含量相同,但含 Nb 钢中锰含量较之含 V 钢中锰含量降低幅度明显。

生产过程中 Nb 微合金化的热轧 H 型钢由于降低锰含量,为确保产品性能,冶炼过程碳含量按设计成分上限进行控制;为对比两种成分的性能差异性,冶炼过程保证了异形坯含 V 及含 Nb 同浇次进行,轧制过程采用相同的加热温度、开轧温度及终轧温度。加热温度的关键是促进微合金化元素在钢中的充分溶解,开坯温度控制在 1 080 ~ 1 200 ℃,终轧温度控制在 950 ℃以下,保证低合金 H 型钢产品性能[1-3]。

表 1　低成本热轧 H 型钢化学成分(质量分数)　%

钢种	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	N
含钒 H 型钢	≤0.20	≤0.5	≤1.55	≤0.025	≤0.025	≤0.020		≤0.012
含铌 H 型钢	≤0.20	≤0.5	≤1.30	≤0.025	≤0.025		≤0.020	≤0.012

2.2　不同微合金化产品性能对比

分别统计工业试制的含 V 及含 Nb 热轧 H 型钢的力学性能数据,见表 2 及表 3。其中含 V 热轧 H 型钢统计了 1 150 炉,含 Nb 热轧 H 型钢统计了 221 炉,从统计数据可以看出两种微合金化方式下的小中规格产品性能都满足技术要求,从表 2 及表 3的平均值可以看出,含 V 热轧 H 型钢的屈服强度略低于含 Nb 热轧 H 型钢屈服强度 5 ~ 10 MPa,抗拉强度没有明显趋势性,室温冲击韧性基本相同,冲击值稳定无波动。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 含V热轧H型钢性能统计

规格/(mm×mm)	R_{el}/MPa			R_m/MPa			KV_2/J		
	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均
H150×150	426	401	400	560	536	534	182	132	154
H200×200	423	423	403	567	550	552	176	136	160
H250×250	395	370	387	580	536	562	181	152	165
H300×150	428	388	406	575	545	545	189	146	162
H300×300	392	369	372	568	535	547	187	150	166
H244×175	421	377	388	610	546	562	176	132	153
H350×350	389	366	383	572	530	555	165	159	160
H298×149	422	386	389	602	553	570	171	149	165
H400×400	377	358	359	553	518	527	180	165	170

表3 含Nb热轧H型钢性能统计

规格(mm×mm)	R_{el}/MPa			R_m/MPa			KV_2/J		
	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	平均
H150×150	431	399	412	590	570	581	165	156	161
H200×200	409	392	400	584	537	549	173	168	170
H250×250	394	387	390	567	550	557	165	149	156
H300×150	418	408	411	597	575	575	169	158	165
H300×300	398	359	377	569	513	539	174	138	154
H244×175	399	387	396	573	553	566	156	137	142
H350×350	368	366	367	528	526	525	180	172	175
H298×149	422	386	393	582	556	569	168	157	163
H400×400	387	368	369	553	508	517	189	165	179

对比含V及含Nb产品当中P、S元素均值相对稳定,且标准差较小,说明设计成分中这两元素对屈服强度无影响,但Mn、V、Nb标准差较大,而最终产品性能又趋于一致,说明Mn、V、Nb对屈服强度有较大影响。影响低合金H型钢屈服强度的主要元素是C、Si、Mn、V、Nb,且随着C、Mn、Si含量的增加强度增加,但是C元素影响最为显著。实际生产内控成分C含量一致,且C含量的增多直接影响钢的焊接性能,随着Si含量增加,同样会降低钢的焊接性能、使钢的韧性和塑性降低;且含Mn较高时,有较明显的回火脆性现象及条带组织,增加钢的过热敏感性(粗晶)及低温冲击韧性。因此,原设计成分下通过降低钢中Mn含量,并且以Nb代替V,来保证钢材的性能。一方面Mn含量降低0.25%,铌铁低于钒氮合金的市场价格,降低了合金成本。

2.3 不同微合金化组织对比

含V及含Nb产品的成分设计上主要体现在Mn含量不同以及添加的微合金化合金元素不同,含Nb产品优化后成分中Mn含量均值降低约0.25%,但屈服强度提高了5~10 MPa,抗拉强度、伸长率及室温冲击韧性没有明显变化趋势,且各项性能均符合标准要求,未有因性能不合降判的产品。成本核算,以当时的市场合金价格计算包钢试制的221炉低成本含Nb热轧H型钢,共计降本100余万元。

图1及图2分别是含V及含Nb产品翼缘试样的金相组织图,基体组织均为铁素体+珠光体组织,根据规格的不同,晶粒度均在8.0~10级,且伴有带状组织,但高Mn含V产品中的带状组织更加明显,带状组织3.0级,而低Mn含Nb产品纵向带状组织较轻仅1.0级。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

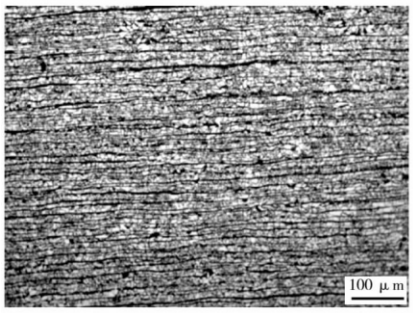


图 1　含 V 成品翼缘组织

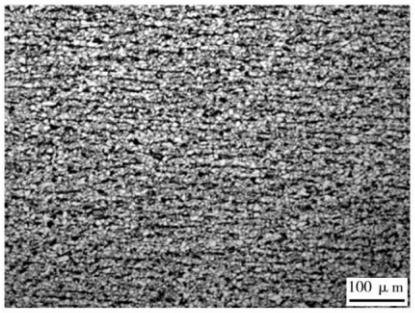


图 2　含 Nb 成品翼缘组织

3　结论

(1) 通过对低成本含 Nb 热轧 H 型钢的冶炼工艺、加热制度、开轧温度、终轧温度等关键工艺控制与优化，保证了性能稳定波动小；实现了产品批量化生产及供货。

(2) 影响包钢低合金高强度 H 型钢屈服强度的主要元素是 C、Si、Mn、V、Nb，在低合金高强度 H 型钢的成分设计中，通过添加适当的 V 元素可以起到强化作用，满足产品力学性能的效果。通过成分优化，以 Nb 替代 V，适当降低 Mn，可以降低产品的生产成本，提高公司的经济效益，各项性能符合标准要求，优化后未产生因性能不合的降级品，提高了产品的市场竞争力。

参　考　文　献

[1] 王建军，张盼荣. 提高 Q345B 钢板屈服强度的 TMCP 工艺 [J]. 山西冶金，2011，(4)：57－59.

[2] 齐俊杰，黄运华，张跃. 微合金化钢 [M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[3] 苏世怀，孙维，潘国平. 热轧 H 型钢 [M]. 北京：冶金工业出版社，2009.

(上接第 40 页)

(3) 通过对炼钢工艺优化，降低中心碳偏析指数，盘条拉拔断裂得到有效抑制，拉拔性能显著改善。

参　考　文　献

[1] 何丽珠，王宁，喻爱喜. 高碳硬线 70 钢的生产实践 [J]. 工艺装备，2010，(2)：50－52.

[2] 王晓峰，马杰. 浅谈高碳硬线钢中非金属夹杂物 [J]. 冶金丛刊，2006，(4)：4－7.

[3] 邵主彪. 转炉生产高碳硬线钢的工艺实践 [J]. 河南冶金，2006，4(2)：155－157.

[4] GB/T 699—2015，优质碳素结构钢 [S].

[5] 张卫强，陈伟，李金柱. 昆钢 70 高碳钢炼钢工艺优化及铸坯质量分析 [J]. 炼钢，2012，28(5)：38－42.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net