DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.09.008

宝钢 5 000 mm 宽厚板工作辊国产化研究

刘　娣[1],彭　辉[2],胡　兵[1],戴德文[2],王延青[1]

(1.中钢集团邢台机械轧辊有限公司 轧辊复合材料国家重点实验室,河北 邢台 054000; 2.宝山钢铁股份有限公司,上海 201900)

摘　要:探讨了厚板常规高镍铬工作辊制备过程中易出现的问题,对外层材质、铸造难点、热处理工艺等进行了分析,研究了适用于厚板轧机工作辊材质及制造工艺。结果表明,工作辊的外层石墨形态呈球形,组织细小;芯部为牛眼状铁素体,组织与性能超过了常规高镍铬工作辊的要求。耐磨性、抗热冲击及抗冷热疲劳性能优于传统高镍铬工作辊,组织与性能均达到预期。经宝钢 5 000 mm 厚板轧线实际使用验证,达到或超过进口轧辊的技术指标。

关键词:高镍铬铸铁;孕育剂;耐磨性;厚板工作辊

中图分类号:TG143　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)09-0835-04

Study on Localization of Working Roll for 5 000 mm Width Thick Plate

LIU Di[1], PENG Hui[2], HU Bing[1], DAI Dewen[2], WANG Yanqing[1]

(1. State Key Laboratory of Roll Composite Materials Sinosteel Xingtai Machinery & Mill Roll Co., Ltd., Xingtai 054000, China; 2. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: The problems that often appear in the preparation process of conventional high nickel-chromium working roll for thick plate were discussed, the external layer materials, casting difficulties and heat treatment technology were analyzed, and the materials and manufacturing technology of working roll for thick plate mill were studied. The results show that the outer graphite shape of the roller is spherical and the structure is fine. The core is bovine eye ferrite, and its structure and properties exceed the requirements of conventional high Ni-Cr working rolls. The abrasion resistance, thermal shock resistance and cold and hot fatigue resistance of the traditional high Ni-Cr working roll are better than that of the traditional high Ni-Cr working roll. The actual application of 5 000 mm thick plate rolling line at Baosteel shows that the technical specifications of imported rolls are reached or exceeded.

Key words: high nickel chromium cast iron; inoculant; wear resistance; thick plate working roll

特宽厚板是国民经济建设中必不可少的特种钢板,其制造水平代表着国家的钢铁实力,尤其在军工特厚板轧机生产线发挥着重要作用。目前,X70以上的管线钢、屈服强度 400 MPa 及 500 MPa 的高强度船板以及航空母舰、潜艇等高性能、高质量及有特殊要求的中厚板仍依靠进口,研制适用性好的宽厚板轧机工作辊对于军工宽厚板产品的国产化及技术基础储备都是重要的。

宝钢 5 000 mm 宽厚板轧机的建造是宝钢股份公司调整产品结构,满足国内市场对大口径输油气管线、高强度船板、高强度建筑结构板、压力容器板需求的重大举措。宽厚板作为我国第一套特宽幅现代化厚板轧机,它的建设将带动我国厚板生产技术的跳跃式发展,对提升我国厚板产品档次,增强我国的综合国力,将发挥积极作用[1-3]。

轧辊是厚板轧机的重要配件，厚板轧机用工作辊规格更大，工作层材质设计及产品制造工艺制定均为研发过程中的难点问题,工作层孕育不良、夹杂及芯部铁液的孕育、球化衰退均易造成工作辊的裂纹剥落等失效问题。目前,主要从日本采购,价格昂贵,且发生质量异议时处理不及时。针对国外市场对大型轧辊的技术垄断，中钢邢机积极与宝钢联合立项,以期通过对厚板轧机用辊进行专项攻关,替代进口。

1　制造工艺

1.1　外层材料

宽厚板轧机为双机架四辊形式布置，粗轧机架轧制时轧制温度高,压下量大,要求粗轧工作辊具备良好的抗热裂性、抗冲击、抗事故性及耐磨性。精轧机架为成品机架，精轧工作辊的性能直接影响板面质量，要求精轧工作辊具有良好的辊型保持能力和

收稿日期:2020-06-03

作者简介:刘　娣(1960-),河北保定人,高工.主要从事轧辊复合材料前沿制造技术研究方面的工作.

电话:15603199519,E-mail:jszxyiys@xt-zhagun.com

组织均匀性，同时需要一定的耐磨性，以保证使用效果。

目前，高镍铬仍是中厚板轧机工作辊的主要材质。随着轧线产能的不断提高，轧线配套设施的不断完善，某些钢厂已开始逐渐向耐磨性更好的高铬钢、高铬铁材质升级改进。受高铬材质价格影响，且部分轧机在使用高铬材质过程中出现打滑情况，高铬材质工作辊仅在少量钢厂得以应用。中钢集团邢台机械轧辊有限公司（中钢邢机）拥有雄厚的不同轧机、不同机架用辊材质的研发能力及配套检测设备，针对轧机的不同使用环境设计了高镍铬半冷硬、无限冷硬及改进型无限冷硬工作辊。同时，中钢邢机与宝钢联合立项，针对性的设计了宽厚板轧机的粗、精轧高镍铬材质工作辊。

总碳含量的提高，有利于提高基体硬度，但会降低基体抗冲击性能。因此，单一增加 C 含量提高耐磨性并不能提高产品整体使用效果[1]。通过加入特殊合金元素可以改善碳化物形态，细化晶粒组织。合金元素 V、Nb、Ti 等可以有效细化基体晶粒，并形成细小的 MC 型碳化物。碳化物形成元素 Cr 能提高基体强度，改善材料性能；元素 Ni 能有效强化基体，提高基体的淬透性；元素 Mo 可以获得共晶碳化物，促使碳化物由粗鱼骨状向细小颗粒转变，减小碳化物不均匀性。通过对不同合金元素作用的分析，在常规高镍铬基础上添加新的合金元素，设计了专用厚板高镍铬工作辊，可以细化晶粒，降低 M_3C 型大块状共晶碳化物的含量，提高 MC、M_2C 型细小碳化物比例，不同材质轧辊的成分如表 1。

1.2 制造工艺

宽厚板轧机较常规热连轧机辊颈部位承受更高的扭矩，辊颈需确保良好的强度以保证使用的安全性。为保证辊体高耐磨、高强度的同时，辊颈要求高韧性，因此，芯部材质设计为球墨铸铁，考虑外层厚度均匀性，采用中钢邢机特大卧式离心机进行离心浇铸。

高镍铬工作辊外层及芯部均含有石墨，石墨形态对材料性能有直接影响，球状石墨对基体受力均匀性及阻止裂纹扩展有积极作用，同时可以起到一定的减磨润滑作用[2]。厚板轧机用轧辊外层铁液蓄热量高，凝固时间长，极易出现石墨球化不良，割裂基体，降低组织均匀性[3]。通过对球化和孕育时机、浇注参数、冷却环境进行设计与控制，确保球化、孕育与浇注时间控制在 20 min 内，避免球化和孕育衰退问题，确保石墨球数量和球化达到设计目标。

厚板高镍铬离心工作辊芯部球墨铸铁的直径达到 700~1 000 mm，重量达到 40~60 t，属于极限超厚大断面球墨铸铁；离心复合轧辊芯部极限厚大断面球墨铸铁球化和孕育衰退问题更加突出，铁液在铸型内降温至凝固结束时间达到十几小时，甚至数十小时，远大于球化、孕育剂 30~60 min 的衰退时间，石墨球形态变差，碳化物增加，轧辊性能降低，轧辊辊颈使用的安全性不能保证。为了在芯部组织中获得一定量韧性良好的牛眼状铁素体，中钢邢机通过复合孕育球化技术，采购专门的球化和孕育剂覆盖钢屑、制作球化专用包，同时在出铁及浇注过程中进行随流孕育；在冷却方面使用金属激冷箱，建造专用浇注坑，浇注坑内采用循环风对流冷却，最终获得了预定的芯部组织。

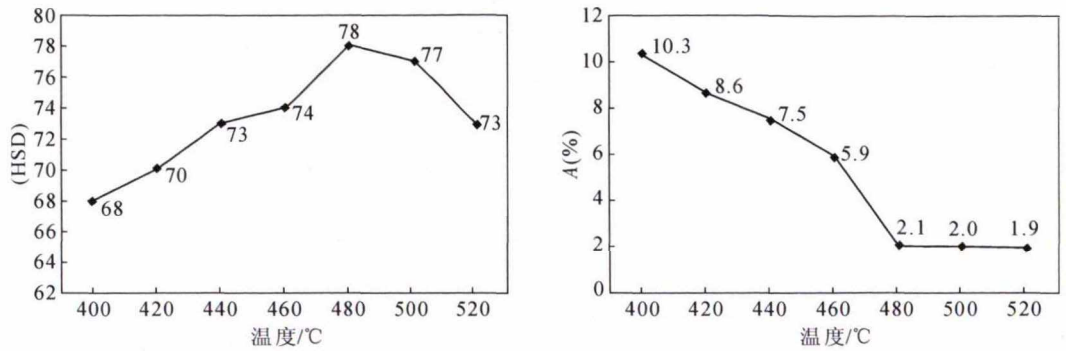
1.3 热处理工艺

高镍铬无限冷硬材质工作辊铸态基体组织以贝氏体为主，含有少量马氏体。由于奥氏体的高稳定性及下贝氏体和马氏体等切变型组织转变的不完全性[4]，针状组织之间存在一定量的残余奥氏体。为降低奥氏体含量提高耐磨性的同时减小铸造应力，铸造后应进行退火热处理。利用分组法，选出最合理的热处理工艺，优化控制该产品的组织和性能，利用 X-RAY 应力检测仪结合硬度检测，在相同 40 h 保温条件下，400~480 ℃内，随着温度的升高，硬度增加，残奥（A）含量逐渐下降；当温度超过 480 ℃时，随着温度的升高，硬度开始下降。热处理结果见图 1。考虑到厚大断面球墨铸铁的力学性能特点，球墨铸铁的韧脆转变温度在 400~500 ℃；在制定热处理方案时，400~500 ℃降温时缓冷减小热应力，保证在 400~ 500 ℃升降温过程中芯部不出现问题。最终高镍铬轧辊回火降温过程中 500~400 ℃间降温速度设定为 5 ℃/h，400 ℃以下降温速度设定为 10 ℃/h。

表1 宝钢厚板工作辊材质成分汇总 w(%)

Tab.1 Materials summary of Baosteel thick plate working roll

材质名称	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	M1	M2
传统 ICDP	2.90~3.60	0.60~1.50	0.40~1.20	3.01~4.80	1.00~2.00	0.20~1.00	--	--
改进型 ICDP	2.90~3.60	0.60~1.50	0.40~1.20	3.01~4.80	1.00~2.00	0.20~1.00	0.10~1.00	
宝钢粗轧	3.0~3.20	0.80~1.00	0.50~0.70	3.50~4.00	1.00~2.00	0.20~1.00	0.10~1.00	0.10~1.00
宝钢精轧	3.2~3.40	0.80~1.00	0.50~0.70	3.50~4.00	1.00~2.00	0.20~1.00	0.10~1.00	0.10~1.00



(a)不同退火温度下试样宏观硬度　　(b)不同退火温度残奥A含量

图 1 厚板工作辊热处理结果

Fig.1 Heat treatment results of thick plate working roll

2 结果与讨论

通过对厚板工作辊专项设计，并对铸造参数进行专项研究，已为成功研制了粗、精轧厚板工作辊，组织性能检测良好，如图 2。石墨球圆整，球化良好，基体中分布一定含量的颗粒状碳化物。辊颈组织为牛眼状铁素体+珠光体+碳化物，如图 3 所示。组织检测结果达到预期目的。

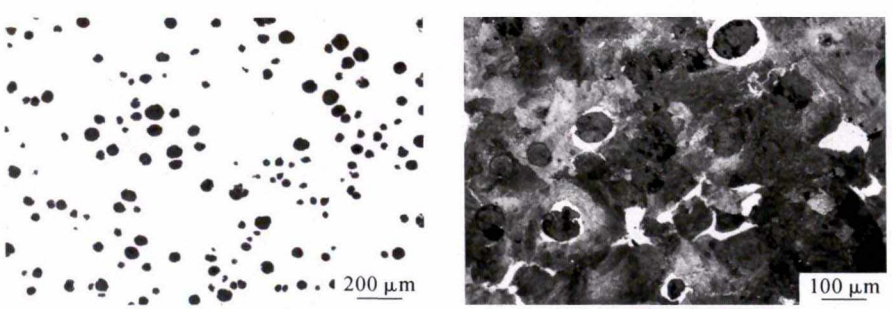
从粗、精轧工作辊本体取样进行耐磨性、抗冲击及冷热疲劳试验，相对耐磨性采用中钢邢机自制的对磨试验机，参比对磨试样材质为 GCr15。热冲击采用中钢邢机热冲击试验机进行，试验冲击力 2 kN，冷热疲劳试验条件为 600 ℃试验温度下冷热循环 1 000 次。结果表明，研制的粗、精轧厚板工作辊耐磨性、抗冲击性及抗冷热疲劳性能均优于常规高镍铬产品，如表 2。

表2 厚板工作辊性能检测结果

Tab.2 Properties test results of thick plate working roll

检测产品	相对耐磨性	热冲击	冷热疲劳
		最大裂纹深度 /mm	最大裂纹深度 /μm
宝钢粗轧	3.9	0.21	329
宝钢精轧	4.1	0.23	321
传统 ICDP	2.3	0.39	496

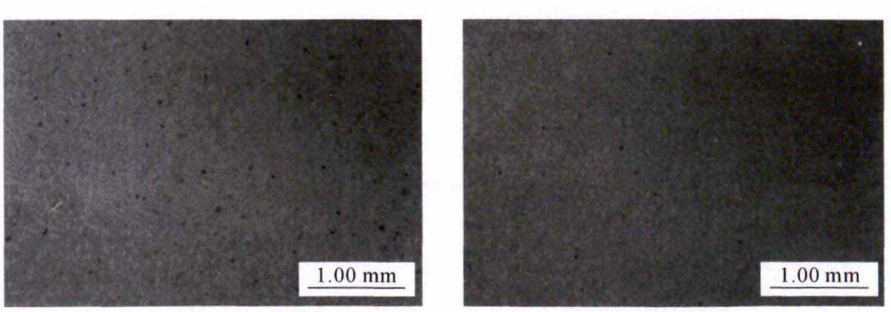
为宝钢 5 000 mm 厚板轧机供货的厚板工作辊装机适用，粗轧工作辊毫米轧制量达到 7 608.62 t/mm，精轧毫米轧制量达到 3 793 t/mm，已达到或超过国际中厚板工作辊性能，如表 3。



(a)辊颈石墨形态　　(b)辊颈基体组织

图 2 厚板粗、精轧工作辊工作层 SEM 组织

Fig.2 SEM images of thick plate and finishing roll working layer



(a)粗轧高镍铬工作辊　　(b)精轧高镍铬工作辊

图 3 厚板工作辊辊颈组织

Fig.3 SEM images of thick plate and finishing roll working layer

表 3 宝钢厚板工作辊使用效果对比
Tab.3 Using effect comparison of Baosteel thick plate work roll

供货厂家	毫米轧制量量 /(t/mm)	
	粗轧	精轧
中钢邢机	7 068.62	3 793
国外厂家 A	7 098	3 800
国外厂家 B	6 953	3 502

3 结论

(1)将外层球化孕育时间及浇注时间控制在 20 min 内,芯部采用复合孕育球化技术、专用覆盖钢屑及专用球化包,并辅助控制冷却技术。厚板工作辊外层石墨球化良好,基体中分布一定含量的颗粒状碳化物。辊颈基体组织为牛眼状铁素体+碳化物。

(2)耐磨性、抗热冲击及抗冷热疲劳性能优于传统高镍铬工作辊,组织与性能均达到预期。

参考文献:

[1] 高军芳, 刘兵群. 高镍铬铸铁轧辊辊身微裂纹综合防止方法[J]. 热加工工艺,2008,37(7):86-88.

[2] 孙智刚,高伟,肖福仁,等. 石墨及碳化物对高镍铬无限冷硬铸铁轧辊耐磨性的影响[J]. 材料热处理学报,2007,28(s1):94-97.

[3] 丁美良,禹宝军,孙林,等. 热处理对高镍铬离心复合铸造球墨铸铁轧辊组织与性能的影响 [J]. 金属热处理,2014,39(11):89-92.

招贤纳士

襄阳聚力新材料科技有限公司

一、招聘销售工程师

任职要求:

1. 本科及以上学历,铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业,熟悉二维、三维绘图软件者优先考虑。
2. 2 年以上铸造行业耐火材料销售或铸造涂料销售经验者。
3. 2 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 2 年以上铸造行业铁合金生产或销售经验者。
5. 2 年以上耐火材料技术研发或产品应用经验者。
6. 2 年以上铸造涂料技术研发或产品应用经验者。
7. 2 年以上有在铸造厂工作经验,对中频炉熔炼或造型工艺熟悉者。
8. 在压铸厂或铝厂工作 2 年以上,对有色金属铜铝熔炼工艺流程熟悉者。

二、招聘销售经理

任职要求:

1. 大专及以上学历, 铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业,熟练掌握办公软件,懂产品市场宣传,营销策划者优先考虑。
2. 5 年以上铸造行业耐火材料销售、铸造涂料或类似工业品销售经验者。
3. 5 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 性格外向,诚信可靠,乐观向上,抗压力强。
5. 逻辑思维清晰,做事干净利落,工作效率高。
6. 善于多部门或多层次沟通协调。

三、销售助理

任职要求:

1. 男性,30 岁以下,本科学历,身体健康,适合经常出差。
2. 性格外向,诚信可靠,乐观向上,抗压力强。
3. 逻辑思维清晰,做事干净利落,工作效率高。
4. 善于多部门或多层次沟通协调。

有意向者请将简历发送至邮箱 wuhaiyan@xyjllc.com