

高速钢森吉米尔轧机工作辊的研制

胡现龙, 章大健, 徐 锐, 张 青

(宝钢轧辊科技有限责任公司, 江苏 常州 213019)

摘 要:从辊坯冶炼方式、热处理工艺、组织控制、性能保证方面优化了轧辊工艺,研制出适用于轧制不锈钢镜面板的森吉米尔工作辊。研究了不同的冶炼方式对辊坯质量的影响,确定了合理的辊坯生产工艺。根据不同的淬火温度、回火温度对 W6Mo5Cr4V2 钢硬度、晶粒度及碳化物含量的影响规律,选定了最佳热处理工艺参数。针对产品细长比大的特点,在制造中通过多次分段预热、垂直吊放、多次校直、加强盐浴炉脱氧、粗磨后消除应力的方法合理解决了硬度不均匀、变形等技术关键。研制出的产品能完全满足用户对高品质不锈钢镜面板的要求。

关键词:森吉米尔;工作辊;碳化物

中图分类号:TG333.17

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2014)23-0046-04

Research on High-speed Steel Working Roll of Sendzimir Rolling Mill

HU Xianlong, ZHANG Dajian, XU Kun, ZHANG Qing

(Baosteel Roll Science & Technology Co., Ltd., Changzhou 213019, China)

Abstract: The roll process was optimized from the smelting method, heat treatment, microstructure control, performance guarantee. The Sendzimir working rolls for rolling stainless steel mirror panel were developed. The effects of the different smelting methods on the quality of the roll blank were researched. The reasonable production process of roll billet was ascertained. According to the influence of different quenching temperatures and tempering temperatures on hardness, grain size and carbide content of W6Mo5Cr4V2 steel, the best heat treatment process parameters were chosen. Aiming at characteristics of large slenderness ratio, the key technologies such as uneven hardness and deformation were reasonably solved in the manufacture through stage preheating many times, vertical dipping, alignment many times, strengthening the salt bath furnace deoxidation and eliminating stress after coarse grinding. The developed products can fully satisfy customer's demands for high quality rolling stainless steel mirror panel.

Key words: Sendzimir; working roll; carbide

随着科技的发展,各行业对高强度冷轧板卷材需求量剧增,要求大量供应厚度更薄、板型公差精度更高,并具有特殊物理性能和不同力学性能的超低碳不锈钢和硅钢等冷轧带材。用4辊冷轧机轧制超薄或极薄型冷轧带材不仅不经济,而且已经不能满足带材高精度板型的要求。20辊森吉米尔轧机是单机架可逆轧机,其主要特点是20个轧辊环形叠加式镶嵌在具有“零凸度”的整体铸钢机架内,在轧机机架受力情况下,轧机宽度方向变形均匀且有较小的接触弧长和不易变形的小直径工作辊,该轧机可以达到高压下量,高速连续轧制高精度的薄带钢^[1]。而适合于高品质不锈钢镜面板轧制需求的森吉米尔工作辊目前国内尚未实现规模生产,大量轧辊需要进

口,其高昂的价格和供货不及时严重制约着不锈钢行业的发展。本文从辊坯冶炼方式、热处理工艺、组织控制、性能保证等方面优化工艺,研制出适用于轧制不锈钢镜面板的森吉米尔工作辊,满足用户需求。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验采用直径40 mm的W6Mo5Cr4V2锻材,合金成分(质量分数,%)为:0.88C、0.25Si、0.20Mn、4.23Cr、4.85Mo、6.13W、1.95V、余量Fe。锻材的生产工艺为:真空感应炉冶炼→浇注电极棒($\phi 200$ mm)→电渣熔铸($\phi 350$ mm/ $\phi 380$ mm圆锭)→锻造($\phi 40$ mm)→退火。

将直径40 mm的锻材按表1中的尺寸和数量进行加工,用于不同的试验。同时为了与Cr12MoVCo材质耐磨性能对比,加工了2个10 mm×10 mm×20 mm的Cr12MoVCo材料试样。

收稿日期:2014-04-25

作者简介:胡现龙(1964-),男,安徽安庆人,大学本科,主要从事锻钢轧辊材料及热处理工艺的研究;电话:0519-83258251

表1 试验材料表
Tab.1 Test materials table

试样编号	试验内容	试样规格/mm	数量(个)
A1	不同的淬火温度和回火温度对硬度的影响试验	φ30×15	40
A2	不同的淬火温度对晶粒度的影响试验	10×10×20	4
A3	不同的淬火温度对碳化物含量的影响试验	10×10×20	4
A4	耐磨性能对比试验	10×10×20	2

1.2 试验方法

将A1试样分别在1000、1100、1150、1220℃保温8min后淬火检测硬度,并将淬火后试样分别按照200℃×3h、300℃×2h、400℃×1h、500℃×1h、525℃×1h、550℃×1h、575℃×1h、600℃×1h、700℃×1h的工艺进行回火处理。将A2试样分别在1140、1180、1220、1250℃保温6min后淬火,然后用ZEISS AX-10金相显微镜观察金相显微组织,按GB/T6394-2002《金属平均晶粒度测定方法》进行评级。将A3试样分别在1140、1180、1220、1250℃保温6min后淬火,采用560℃×1h三次回火,然后用ZSISSEVO-MA10扫描电子显微镜观察碳化物形态,用BRUKER4010能谱分析仪对微区成分进行分析。将A4试样经1220℃×6min淬火,560℃×1h三次回火。另外制备2个10mm×10mm×20mm材质为Cr12MoVCo的耐磨试样,经1080℃×6min淬火,530℃×1h二次回火,硬度控制在(63.5±0.5)HRC。标准样采用Cr12MoVCo材质,尺寸为φ40mm/φ16mm×10mm,同样进行淬火回火处理。采用MM-200磨损试验机进行磨损试验,试验形式为环一块式滑动摩擦。待测试样为上试样,静止不动;标样为下试样,进行转动。

2 试验结果与讨论

2.1 不同的淬火温度和回火温度对硬度的影响

图1为淬火温度和回火温度对硬度的影响。从图可以看出,淬火后的硬度随淬火温度的升高而升高。回火时,在575℃左右时出现峰值,而且随淬火温度的升高,这种二次硬化的现象更加明显。森吉米尔工作辊使用时要求轧辊具有高硬度、高耐磨性和良好的抗剥落性能,技术要求辊身硬度一般为62~64HRC,对于轧制不锈钢的森吉米尔辊,硬度上限可以到65~66HRC。

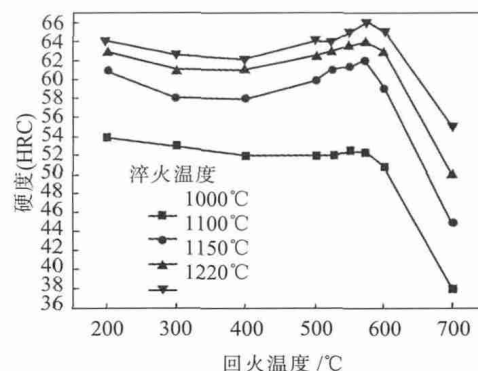


图1 淬火温度和回火温度对硬度的影响
Fig.1 The influences of quenching temperature and tempering temperature on hardness

2.2 不同的淬火温度对晶粒度和碳化物含量的影响

图2为不同的淬火温度对晶粒度和碳化物含量的影响。从图可以看出,随淬火温度升高,晶粒缓慢长大,1220℃淬火时晶粒度还有10级。从图2、3可以看出,W6Mo5Cr4V2钢随淬火温度的升高,碳化物逐渐溶解,碳化物较圆整,分布较均匀。

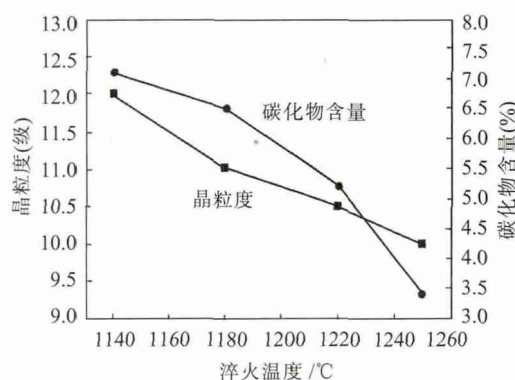


图2 不同的淬火温度对晶粒度和碳化物含量的影响
Fig.2 The influences of different quenching temperatures on grain size and content of carbide

综上所述,对于用W6Mo5Cr4V2制作森吉米尔工作辊,淬火温度选用1180~1220℃,回火温度选用560~580℃是比较合适的。

2.3 磨损试验

图4为碳化物电镜分析图。从图可以看出,W6Mo5Cr4V2和Cr12MoVCo两种材质的碳化物形态和含量有着明显的差异。W6Mo5Cr4V2材质的碳化物较圆整,分布也较均匀,但数量较少(只有Cr12MoVCo的45%)。Cr12MoVCo材质的碳化物呈大块尖角状堆集分布,数量较多。从耐磨试验结果(表2)、硬度检测数据、碳化物形态、碳化物数量等方面可以看出:具有一定数量的均匀分布的圆整碳

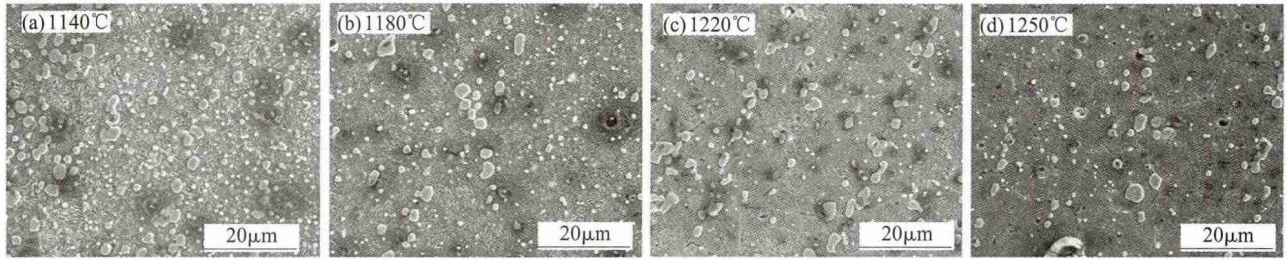


图3 不同淬火温度后的碳化物的形貌
Fig.3 The carbide morphologies after the different quenching temperatures

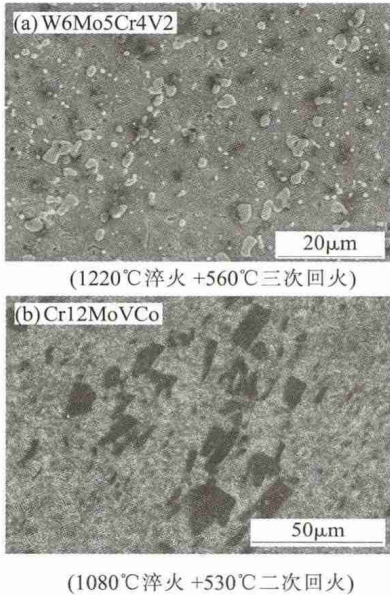


图4 碳化物电镜分析照片
Fig.4 Carbide SEM photos

碳化物是耐磨性高的主要原因。

对两种材质的1号试样,用扫描电镜观察碳化

表2 耐磨试验表
Tab.2 Abrasion test table

材料牌号	试样编号	硬度(HRC)	原始质量/g	磨损后质量/g	质量损失/g	平均质量损失/g
W6Mo5Cr4V2	1	63.8	14.3515	14.2826	0.0689	0.0734
	2	64.0	14.3627	14.2848	0.0779	
Cr12MoVCo	1	63.1	13.6889	13.5170	0.1719	0.1668
	2	63.5	13.7020	13.5404	0.1616	

物形态,并用图象分析仪测定其碳化物含量为:5.2%(W6Mo5Cr4V2)、11.6%(Cr12MoVCo)。

3 轧辊制造工艺研究

为了满足某用户对高端不锈钢镜面板材的要求,研制适合轧制要求的森吉米尔工作辊,产品的尺寸为 $\phi 73.5\text{ mm} \times 1444\text{ mm}$,辊身淬火硬度81~85HSD,辊身硬度均匀性 $\leq 2\text{HSD}$ 。

3.1 冶炼及锻造

为了试验锻造电极棒对辊坯内在质量的影响,通过2组工艺试验进行对比,试验结果见表3及图5。

表3 辊坯高低倍检验结果
Tab.3 The inspection results of roll blank high and low times

规格/mm	低倍			非金属夹杂物(级)								碳化物级别(级)	退火硬度(HBS)	
	一般疏松	中心疏松	偏析	A细	A粗	B细	B粗	C细	C粗	D细	D粗			
要求	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 4.5	≤ 269	
工艺流程1	$\phi 89$	0.5	0	0	1.0	0.5	1.0	0.5	0	0	0.5	0	4.0	219
工艺流程2	$\phi 82$	0.5	0	0	1.0	0.5	1.0	0.5	0	0	0.5	0	5.0	229

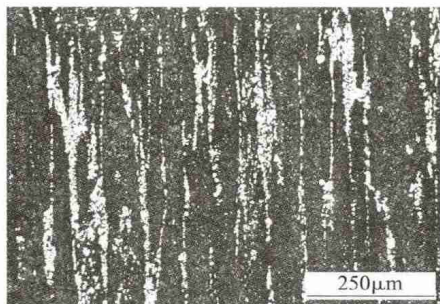


图5 工艺流程1的共晶碳化物组织
Fig.5 The microstructure of eutectic carbide of process flow 1

工艺流程1:EF+LFV→浇注1.2t方锭→退火、精整→锻造成 $\phi 290\text{ mm}$ 电极棒→退火、剥皮→Ar气保护下电渣熔铸 $\phi 370\text{ mm}/\phi 400\text{ mm}$ 圆锭→退火、精整→锻制成 $\phi 100\text{ mm}$ 半成品→退火→车至 $\phi 89\text{ mm}$ 的成品材→探伤→检验。

工艺流程2:1t真空感应炉→浇注 $\phi 200\text{ mm}$ 电极棒→退火→剥皮→电渣熔铸 $\phi 350\text{ mm}/\phi 380\text{ mm}$ 圆锭→退火、精整→锻制成 $\phi 95\text{ mm}$ 半成品→退火→车至 $\phi 82\text{ mm}$ 的成品材→探伤→检验。

对两种工艺制造的成品材进行超声波探伤和低倍金相检验。实验钢为高速钢,在冶炼浇注时,冷却速度大于平衡冷却,合金元素来不及扩散,在结晶和固态相变过程中的转变不能完全进行,形成了典型的莱氏体组织,其铸态组织特征是莱氏体形成网包围着奥氏体晶粒^[2]。铸态组织偏析越严重,则铸态共晶碳化物越粗,因而使钢中的共晶碳化物越粗。本文研制的轧辊采用电渣重熔方法冶炼,其除了有减少夹杂物、提高钢的纯净度的优点外,还能有效地加快凝固速度,细化铸态组织和减少偏析^[3]。

锻造是辊坯研制过程中的关键工序之一。由于铸态组织中含有大约20%的共晶碳化物,因此必须加大锻比,破碎碳化物,使碳化物颗粒尺寸变小。同时由于高速钢的合金含量高、锻造时铸态组织中粗大的莱氏体使变形抗力较大,且不均匀分布的碳化物使其力学性能呈现各向异性,导致锻造难度较高^[4-5]。因此,必须通过多次回火、反复锻造以改善碳化物的分布并且严格控制始锻和终锻温度,以防止锻造过程中因温度过高造成的晶粒粗大或温度过低导致的开裂。工艺流程1和工艺流程2对比了锻造电极棒和铸造电极棒对最终辊坯碳化物的影响。两者的锻比相当,分别为14.82和14.76,但最终的辊坯碳化物检测相差1.0级,说明锻造电极有利于改善共晶碳化物的分布。这是由于锻造电极的初始组织较均匀,碳化物也细小且均匀,电渣熔铸时熔池内的合金元素和碳化物的分布较均匀,形成的电渣锭组织更致密。

3.2 机加工及热处理

生产工艺流程为:辊坯验收→机械加工→超声波探伤→淬火回火处理→硬度检测→精加工→成品验收→包装出厂。

热处理:精车后,采取盐浴炉加热,浴炉分级淬火,烘箱三次回火。轧辊热处理是制造过程中的技术关键。由于实验钢的合金含量高、碳化物的分布不均匀,轧辊结构细长比大等,容易在热处理过程中产生开裂、变形、硬度不均匀等现象。在实际热处理时采取了多次分段预热、垂直吊放、多次校直、合理选择淬火回火温度并加强温度控制、加强盐浴炉的脱氧、粗磨后消除应力处理等措施,未产生开裂现象,硬度和变形均达到了工艺要求。

机加工:粗磨时采用1-750X75X305-PA/WA 36.J8V-35m/s型号的砂轮,超精磨时采用

1-500X50X203-WA/GC.100.J8V-35 m/s型号的砂轮,同时选择合适的进刀量和走刀量。工作辊的磨削加工难度非常大。由于工作辊硬度高、耐磨性好、细长比大,容易在磨削过程中产生磨削裂纹、烧伤和表面螺旋纹等缺陷。经过不同砂轮的磨削试验,粗精磨时采用不同型号的砂轮,同时选择合适的进刀量和走刀量。在冷却方面,采用冷却效果好的高效磨削液,加大冷却流量和流速,喷嘴对准磨削区域,使冷却效果达到最佳状态。为防止表面出现螺旋纹,采取了多次平衡砂轮、消除主轴振动、砂轮两侧修成圆角、合理配置中心架等措施,收到了良好的效果。

3.3 轧辊成品检测结果

经检测,轧辊成品硬度为83~85HSD,尺寸和形位公差均符合图纸要求,在轧辊表面进行金相组织分析,其组织为回火细针、针状马氏体+块、粒状碳化物+残余奥氏体(图6)。



图6 工作辊表面金相组织

Fig.6 The microstructure on working roll surface

3.4 上机考核使用

将加工完成的6个森吉米尔工作辊应用于某用户的轧机,轧制产品为镜面不锈钢。经过近2年时间的使用,至轧辊报废尺寸,未发生剥落和断辊现象。平均吨钢磨损为0.64 μm,与进口辊相当,另外在研磨性能、表面品质、使用效果等方面均优良,完全满足不锈钢镜面板轧制的要求。

4 结论

(1) 用W6Mo5Cr4V2制作森吉米尔工作辊,淬火温度选用1180~1220℃,回火温度选用560~580℃是比较合适的。

(2) 用W6Mo5Cr4V2制作森吉米尔工作辊,采用锻造电极进行电渣重熔有利于改善共晶碳化物的分布。

(3) 与Cr12MoVCo相比,W6Mo5Cr4V2的碳化物尽管数量相对较少,但由于其碳化(下转第53页)

形成,并且使组织得到细化,从而提高钢的强度与硬度;硬度对钢在冲蚀磨损条件下的耐磨性有着很大的影响,但这取决于磨损发生过程中的表面硬度,工艺A生产的钢原始硬度稍低但加工硬化能力强,在冲蚀磨损过程中发生加工硬化,提高磨损面的硬度,抵抗磨损的进一步发生。

(2) 浆体冲蚀磨损中,材料表面在磨粒滑过时发生反复的塑性变形,变形处材料或是发生加工硬化而脆性剥落、或是因反复受力而疲劳脱落。

参考文献:

[1] 陈郁生. 关于长距离输煤管道用管选择的几点看法[J]. 煤矿设计,1999(10):28-30.

[2] 盛家铎. 煤炭外运三种方式的比较和输煤管道在我国的建设条件问题[J]. 煤矿设计,1996(1):39-41.

[3] Smith Y, Coldren A, Cryderman R. High-strength, ductile Mn EM dash Mo EM dash Nb steels with a structure of acicular

ferrite [J]. Metal Science and Heat Treatment, 1976, 18(1/2): 59-65.

[4] Afaganis A J, Barmes K R, Hanson G E. et al. Development and production of large diameter, high toughness Gr500 (X80) line pipe at steel [J]. Proceedings Conference Indianapolis, N, USA, Iron & Steel Soc. of AMF, 1997: 535-544.

[5] Majta J, Kuziak R, Pietrzyk M. Modelling of the influence of thermo mechanical processing of Nb-microalloyed steel on the resulting mechanical properties [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 80/81: 524-530.

[6] 张陶清. 输煤管道工程用管材的研究与开发 [J]. 焊管, 2012, 35(7): 25-27.

[7] Rajat Gupta, Singh S N, Sehardri V. Prediction of uneven wear in a slurry pipeline on the basis of measurements in a pot tester [J]. Wear, 1995, 184: 169-178.

[8] Karmakar S, Rao U R, Sethuramiah A. An approach towards fatigue wear modeling [J]. Wear, 1996, 198: 242-250.

[9] 杜晓东. 成分与组织对钢的冲击腐蚀磨损特性与机制的影响及其机理研究[D]. 合肥: 合肥工业大学材料学院, 2006. □

(上接第 45 页)

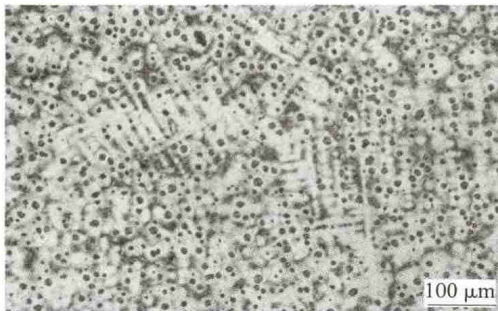


图9 试样7在加热到900℃后6h内均匀冷却到600℃的铁素体形态
Fig.9 Ferrite morphology of sample 7 from 900℃ evenly cooled to 600℃ for 6 h

3 结论

(1) 两种退火试验形成的铁素体形态不同,但都可以观察到初析奥氏体枝晶,在Ac1温度以下并保温的退火方式观察到的初析奥氏体枝晶更为明显。

(2) 在球铁缓慢冷却的过程中,铜、锡、铈都能

起到稳定珠光体的作用,而镍、钼含量的增加,对珠光体稳定性有不利影响。

参考文献:

[1] 陆文化,李隆盛,黄良余. 铸造合金及其熔炼[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

[2] 王冬生,柳百成,芮争家,等. 锡、铜促进球铁基体珠光体化 [J]. 铸造技术,1991,(2):24-27.

[3] 曹瑜强,丁建生,焦斌. 铈对铸态珠光体球墨铸铁的影响[J]. 铸造技术,2003,(4):330-330.

[4] Serkhovets S I, Petrichenko A M. Homogenizing the pearlitic structure in high-duty iron castings with antimony micro-additions [J]. Russ Cast Prod, 1975, (8): 319-321.

[5] Cho G S, Choe K H, Lee K W, et al. Effects of alloying elements on the microstructures and mechanical properties of heavy section ductile cast iron [J]. J. Mater. Sci. Technol., 2007, 23(1): 97-100. □

(上接第 49 页)物均匀细小的分布,因此耐磨性较高。

(4) 用 W6Mo5Cr4V2 制作的森吉米尔工作辊,通过上机考核,在吨钢消耗、研磨性能、表面品质及使用效果等方面基本达到了进口辊的实物质量水平。

参考文献:

[1] 高琳. 轧制不锈钢多辊轧机的比较[J]. 天津冶金,2013(2): 55-58.

[2] 戴起勋. 金属材料学[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[3] 吴承建,陈国良,强文江. 金属材料学[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.

[4] 王宝奇,彭会芬. 锻造超高碳钢的球化工艺与力学性能[J]. 材料热处理学报,2004,25(1):27-31.

[5] Dai Q X, Wang A D, Cheng X N, et al. Effect of alloying elements and temperature on strength of cryogenic austenitogenic austenitic steels[J]. Mater.Sci.Eng.A,2001,311(1/2):211-216. □