

600 MPa级汽车车轮用钢的工业试制

宋振官,夏茂森,张磊

(济钢集团有限公司,山东 济南 250101)

摘要:针对高强度车轮钢高成形性和高疲劳寿命的要求,在C、Mn成分基础上采用Cr等合金化的成分设计,采取分段冷却和中温卷取工艺,济钢开发出高延伸凸缘性能的汽车车轮用钢,其微观组织为铁素体、贝氏体及少量马氏体,抗拉强度在600 MPa以上,延伸率 $\geq 24\%$,扩孔率 $\geq 70\%$,制成的车轮较原普通低合金高强度车轮减重10%以上,车轮弯曲疲劳寿命达到60万次以上。

关键词:车轮用钢;600 MPa级;扩孔率;疲劳寿命

中图分类号:U465.1*1

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2013)04-0005-03

1 前言

汽车轻量化技术已成为汽车产业发展的关键共性技术。作为汽车重要零部件的钢制车轮近年来也正向高强度薄规格方向发展,国外800 MPa级别的轻量化车轮用钢已批量应用^[1-2],国内目前以500 MPa以下的车轮钢为主^[3],600 MPa级别的微合金化高强度钢和双相钢的应用正在快速推进^[4-5],800 MPa级的双相钢和微合金化车轮用钢仍处于研制推广阶段。本研究根据济钢中薄板坯连铸连轧生产线的设备能力和工艺控制水平,结合高强度车轮钢要求高扩孔率和高疲劳性能的特点,通过合理的成分和工艺设计,实现了高成形性和高疲劳寿命的车轮用钢HE600的工业化生产。

2 技术要求及合金成分设计

根据用户对钢板的要求,600 MPa级高强度车轮用钢(HE600)的化学成分(质量分数)和力学性能应满足表1和表2的规定。

表1 协议要求的化学成分 %

C	Si	Mn	P	S
≤ 0.12	≤ 0.60	≤ 1.70	≤ 0.08	≤ 0.020

注:可根据需要加入Nb、V、Ti、Mo等元素。

表2 HE600钢力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	180° 弯曲(B=35 mm)
≥ 330	580 ~ 700	≥ 24	$d=0.5a$

注:1)拉伸试样沿轧制方向取样,平行部宽度 $b_0=25$ mm、标距长度 $L_0=50$ mm;2)冷弯试验后,试样外侧表面不允许有裂纹。

C:主要是形成所需数量的贝氏体、马氏体和保证钢的强度。控制C富集于亚稳奥氏体区域而避免其析出,是获得复相组织的保证,同时使钢具有必

要的淬透性;但C含量过高多边形铁素体将难于形成,成形性恶化,并导致可焊性差;因此,本工业试验控制C含量 $\leq 0.12\%$ 。

Si:可以扩大Fe-C相图的 $\alpha+\gamma$ 区,使临界区处理的温度范围加宽。Si还加速C向奥氏体的偏聚,对铁素体中的固溶C有“清除”和“净化”作用^[6];然而, Si含量过高会给热轧表面质量和涂镀带来麻烦。本试验钢与传统的Si-Mn系和Cr-Mo系双相钢相比, Si含量大大降低,从而改善热带的表面质量, Si上限设为0.6%,优选为不超过0.4%。

Mn:典型的奥氏体稳定化元素,显著提高钢的淬透性。Mn高在推迟珠光体转变的同时,也推迟铁素体的析出,使“速度窗口”变小,贝氏体区右移,使钢对工艺条件的敏感性变大;Mn太低易引起珠光体转变;因此,本试验钢控制Mn含量 $\leq 1.70\%$,选定1.0%~1.4%的Mn为最优成分。

Al:脱氧元素,含量应 $\leq 0.01\%$ 。Al对临界区加热时奥氏体形态的影响与Si相似,即Al也促使马氏体呈纤维状形态,还可以形成AlN析出,起到一定的细化晶粒作用。Al的最优范围为0.02%~0.05%。

P:能使马氏体岛的形态发生显著变化,且使马氏体的硬度略有下降,铁素体的硬度略有升高;P的另一影响是提高 α 相的形成温度,扩大形成 α 相的温度范围,促进多边形铁素体的生成,还可以促进得到细小均匀分布的马氏体;但P过量添加,则加工性恶化;因此,将其上限定为0.09%。

S及其硫化物的控制:通过形成MnS等硫化物夹杂,成为裂纹的起点而使加工性能恶化,因此将其上限定为0.005%。S含量越少越好,并通过喂钙铁线对硫化物进行球化处理,同时降低钢中的氧含量,严格控制夹杂物水平。

Cr:中强碳化物形成元素,显著提高钢的淬透性,是弱固溶强化元素,但增大奥氏体的过冷能力,从而细化组织、得到强化效果。此外Cr可以促进C

收稿日期:2013-02-04

作者简介:宋振官,男,1980年生,2005年毕业于东北大学材料加工工程专业。现为济钢技术中心工程师,从事热轧汽车用钢的开发与推广工作。

向奥氏体扩散,并可降低铁素体的屈服强度。本试验钢Cr含量控制在0.40%~1.00%。

3 工业试制

HE600钢的生产工艺路线:铁水预处理—转炉冶炼—LF精炼—ASP铸机—加热—轧制—层流冷却—卷取—喷印标记—检验—入库。采用的板坯规格为135 mm×1 300 mm×12 900 mm。

确定合金成分后,轧制与冷却工艺是实现晶粒细化和复相强化的主要措施。热轧主要工艺参数:加热温度1 200℃左右,热送铸坯在炉时间>100 min;精轧终轧温度850~900℃;卷取温度≤500℃。其中冷却模式的控制是主要工艺控制点。试制工艺采用分段式冷却,主要控制分段式冷却的间隔空冷温度和时间,进而控制铁素体比例和硬相组成,满足汽车轮辐用钢高强度和成型复杂以及高疲劳寿命的要求。热轧工艺实绩如表3所示。

表3 热轧工艺实绩

卷号	中间坯厚度/mm	精轧入口温度/℃	终轧温度/℃	卷取温度/℃
1	32	1 042	897	610~638
2	32	1 028	882	502~538
3	32	1 032	869	463~489

4 试制结果与分析

4.1 力学性能

拉伸试样纵向取样,产品的力学性能检验结果

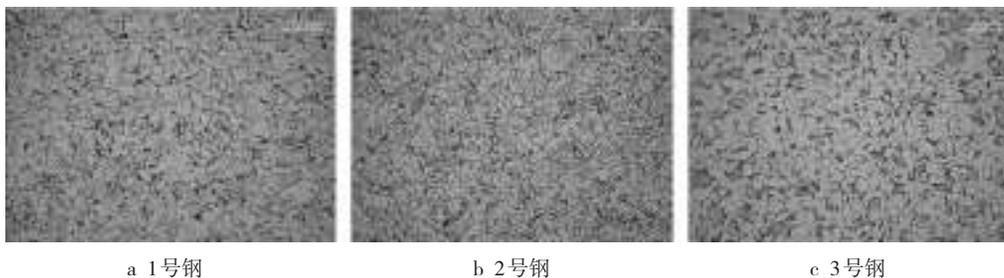


图1 试验钢的金相组织

4.4 扩孔成形性能

对试制钢板分别进行了扩孔成形性能检测,扩孔后试样的形貌如图2所示。1~3号钢的扩孔率分别为76%、76%、94%,由扩孔率数据可以看出,1号钢、2号钢扩孔率相当,而3号钢扩孔率明显高于前两个卷钢,其扩孔成形性能最好。

5 疲劳试验及生产情况

根据综合性能检测结果,将 $h=4.0$ mm的3号钢板发给国内某车轮厂进行多道次拉延成型,拉伸后的工件辐底成型比较稳定,特别是中心孔翻边比较好,表明钢板成型性能优良。

将成型后的轮辐与轮辋焊接合成,并进行弯曲

见表4。由表3、表4可知:3号卷的工艺控制与目标工艺最接近,3号钢拉伸性能较1号钢、2号钢良好,并且3号钢的屈强比较小,其强塑性匹配最好,完全满足HE600高强度汽车轮辐用钢的力学性能指标要求,并有较大的富裕量。

表4 实测产品力学性能

卷号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈强比	伸长率/%
1	498	637	0.782	25.0
2	476	614	0.775	26.0
3	450	624	0.723	33.5

4.2 冷弯性能

对试制钢板进行180° ($B=35$ mm, $d=0.5a$)冷弯试验,结果全部合格。在此基础上又进行了180° ($B=50$ mm, $d=0a$)的宽冷弯试验,结果也全部合格,表明试制钢板的冷弯性能优良。对试制钢的O、N等气体含量进行了检测,均在 40×10^{-6} 以下,各类夹杂物均未超过1.0级,尤其是A类夹杂物均为0级,为拉延扩孔等成型性能打下了良好的基础。

4.3 微观组织

试验钢的金相组织见图1。由金相显微组织可以看出,1号钢和2号钢中均含有形状不规则、大小不一的铁素体,并在铁素体周围出现了大量的贝氏体、少量岛状马氏体以及少量珠光体,而3号钢中出现了呈等轴状铁素体、贝氏体和岛状马氏体。3号钢的铁素体平均晶粒尺寸为 $6.4 \mu\text{m}$,最大晶粒尺寸为 $11.8 \mu\text{m}$,贝氏体含量较1号和2号钢减少。

疲劳寿命检测,疲劳试验的承载力为1 745 N·m。实际对2件产品进行了破坏性疲劳试验,第1件的寿命在85.6万次;第2件的寿命在88.9万次,不仅通过了轻量化车轮60万次的试验要求,而且优于用户使用的 $h=4.5$ mm的490 MPa级别低合金高强度钢产品的疲劳寿命,仅轮辐就实现减重10%以上,在保证高疲劳寿命的同时实现了车轮的轻量化。

通过优化工艺并进一步提高生产控制精度,实现了HE600的批量生产。由于该产品成形性能与车轮高疲劳寿命的良好匹配,国内某车轮厂采用该原料生产的高强度轻量化轿车车轮通过了用户指定的德国实验室认证,实现了向欧洲高端用户的批量出口,累计生产超过30余万套车轮,取得了良好

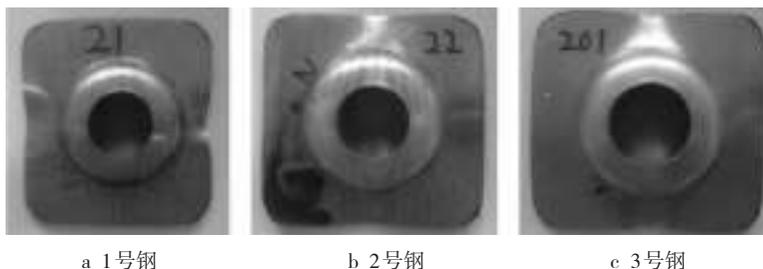


图2 试验钢试样扩孔后的形貌

的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] H Kikuchi, N.Imai, T.Tomida, etal. 690 ~ 780 MPa级热轧薄板车轮钢的材料设计[C]//中国金属学会.汽车用镍微合金化钢板.北京:冶金工业出版社,2006.
- [2] 殷宇佳.日本汽车用高强度钢板的新产品及其特点[J].天津汽车,2000(3):25-27.
- [3] 王新江,商存亮.商用汽车市场调研及安钢汽车用钢分析[J].

河南冶金,2010(8):1-4.

- [4] 王利,陆匠心.宝钢汽车轻量化技术进展[C]//中国金属学会.2009年汽车用钢生产及应用技术国际研讨会论文集.北京:冶金工业出版社,2009:79-84.
- [5] 董瑞峰,孙丽钢,刘哲,等.汽车结构用590 MPa级热轧双相钢的开发[J].轧钢,2008,25(1):9-12.
- [6] Klaus Hulka.现代多相钢在汽车行业中的应用[J].鞍钢技术,2005(5):58-62.

Industrial Experiment of 600 MPa Grade Automobile Wheel Steel

SONG Zhenguan, XIA Maosen, ZHANG Lei

(Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

Abstract: In view of requirements of high formability and high fatigue life of high strength wheel steel, the chemical component with Cr alloying based on C and Mn is designed. Through adopting sectioning cooling process and medium temperature coiling process, the automobile wheel steel with high expandability was developed by Jinan steel. The microstructure of this steel is ferrite, bainite and less martensite. Its tensile strength is above 600 MPa, the elongation is above 24%, the bore expansion ratio is above 70%. The wheel weight made by this steel compared with ordinary high strength low alloying steel is reduced by 10% above and bending fatigue life of developed steel exceeds 0.6 million times.

Key words: wheel steel; 600 MPa grade; bore expandability; fatigue life

(上接第4页)

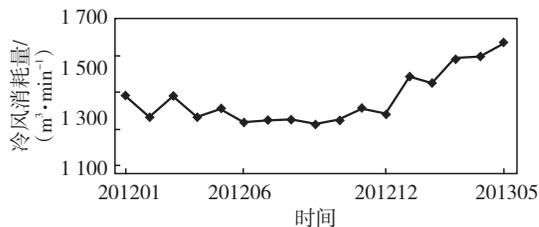


图2 莱钢炼铁厂2#高炉月度冷风消耗趋势

5 结 语

高铝矿冶炼是当前降低生铁成本的有效途径,适当提高烧结矿铝含量,通过工艺参数群的调整,

可以满足成本降低与炉况稳定的和谐统一。高铝矿结合低品位矿冶炼,通过提高渣以降低渣中铝含量,可以满足高炉造渣制度的要求,并进一步降低成本。高铝矿冶炼,应保证相对稳定的原燃料条件与炉料结构,为高炉的稳定顺行创造条件。莱钢炼铁厂按照15%的比例配加高铝塞拉利昂矿石,通过合理的烧结矿配料,降低吨铁成本25元左右。

参考文献:

- [1] 周传典.高炉炼铁生产技术手册[M].北京:冶金工业出版社,2002.
- [2] 臧向阳,焦刚.日钢高铝渣冶炼实践[C]//中国金属学会.第九届全国大高炉炼铁学术年会论文集,2008:139-141.

Smelting Practice of High Aluminum Ore in Laiwu Steel s 1 000 m³ BF

ZHANG Ming, JI Guanggang, ZHANG Junbin, CHEN Yanhui, CHEN wei

(The Ironmaking Plant of Laiwu Breach Company, Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

Abstract: Sierra Leone ore is the mixed ore of lump ore and fine ore in incoming and characterized by low-silicon, high-aluminum and worse softening dropping properties of the lump ore. In sintering production, by improving the ore proportioning structure and increasing low-aluminum ore to ensure the metallurgical properties of sinter, the Sierra Leone ore (with 7% aluminum about) proportion reached 15%. After using the sinter, by improving the quality of coke, controlling the ratio of magnesium and aluminum in slag, suitably increasing slag ratio, Laiwu Steel's 1 000 m³ blast furnace kept long stable operation. The usage of Sierra Leone ore reduced the cost of per ton pig iron by 25 Yuan about.

Key words: Sierra Leone ore; high aluminum ore; ore proportioning structure; sintering; blast furnace