包钢高强车轮用钢开发和减量化应用[*1]

张秀飞,郭冬青,魏 淼

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 为满足汽车轻量化车轮用钢需求的快速增长,包钢在 2 250 mm 热轧生产线开发了双相钢和低合金高强钢两个车轮钢系列产品。两个品种系列采用不同的化学成分和生产工艺,具有不同的显微组织及力学性能,能够满足不同用户加工能力的需求。包钢开发的高强车轮用钢均已通过疲劳测试和路试等可靠性测试,完成市场化推广,用户使用情况良好。

关键词: 轻量化; 车轮钢; 高强钢

中图分类号: TG142.1 TG335.11 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)01 - 0047 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.01.012

Development and Applications of Lightweight High Strength Wheel Steel in Baotou Steel

Zhang Xiu - fei, Guo Dong - qing, Wei Miao

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In order to meet the rapid growth of demanding light weight automobile wheel steel, Baotou Steel has developed such two wheel steel series products as the dual - phase steel and low alloy high strength steel with 2 250 mm hot rolling production line. They are with different chemical components, production technologies, micro structures and mechanical properties, which could meet the requirements of customers with different processing capabilities. The wheel steels developed by Baotou Steel have all passed such reliability tests as the fatigue test and road test as well as been promoted into the market and the service conditions of users are good.

Key words: light weight; wheel steel; high strength steel

随着近年来国内汽车的消费和产量大幅增长,车辆节能、环保的法规越来越严格,汽车行业对轻量化用高强度汽车用钢需求加大,加工、成型性能也提出更高的要求。汽车车轮作为行驶部件,成型较为复杂,要求良好的成型性能、疲劳性能和焊接性能。经过多年的研发,国内车轮用高强钢形成了两个产品系列,包括铁素体 + 马氏体为主的双相钢[1]和细晶强化为主的低合金高强钢。双相钢以其高强度和高成形性能,除了应用于制造车轮外,还用于制造汽车加强板、底盘、保险杠、车体各种框架等构件[2-3]。

1 高强车轮用钢的开发

1.1 开发品种

近几年包钢依托新建 2 250 mm 热轧生产线进行了车轮用高强钢产品试制,已经完成了双相钢和低合金高强钢产品系列的试制与供货。双相钢

* 收稿日期:2018 - 10 - 24

作者简介:张秀飞(1977 -),男,山东省临沂市人,硕士,工程师,现从事板带材产品研发工作。

(Dual - phase Steel)产品系列的主要供货牌号有DP540、DP590、DP600,低合金高强钢产品系列的主要供货牌号有490CL、540CL、590CL。

1.2 成分设计

包钢高强车轮钢的化学成分要求见表1。双相钢的主要合金元素有C、Si、Mn、Cr等,适量的C主要用于形成所需数量的马氏体和保证钢的强度,同时保持良好的焊接性能等。Si可以扩大Fe-C相图的α区,使临界区的温度范围加宽,促进碳原子从铁素体中进入奥氏体,改善双相钢的工艺性能,有利于保持双相钢强度、延伸性等性能的稳定和重现性。Mn、Cr是典型的奥氏体稳定化元素,显著提高钢的淬透性,并起到固溶强化的作用,还可显著推迟珠光体转变以及贝氏体转变,扩大了"卷取窗口"[4]。低合金高强钢主要合金元素有C、Mn、Nb,Nb的析出物在轧制过程通过"钉扎作用"阻碍奥氏体晶粒的再结晶长大,起到细化强化的作用。为保证优良的疲劳性能,车轮用钢需控制夹杂物的数量和尺寸,为尽量减少长条型MnS夹杂,S含量一般严格控制,表1为高强车轮用钢的化学成分。

表1 高强车轮用钢化学成分(质量分数) %

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb
DP540—DP600	0.06~0.10	0.20~0.60	≤1.70	≤0.090	≤0.010	≤0.70	
490CL—590CL	0.06~0.10	≤0.20	≤1.70	≤0.025	≤0.010		0.03~0.07

1.3 轧制工艺

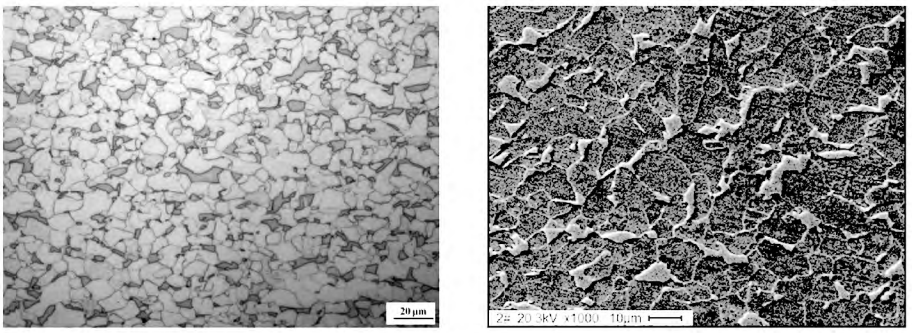
根据高强钢的性能要求,结合包钢2 250 mm热连轧生产线的设备能力和生产条件,主要加热、轧制、冷却工艺见表2。双相钢的Si含量比一般钢种高,容易产生条带状的红色氧化物缺陷。双相钢出炉目标温度控制在1 180~1 230 ℃,略低的加热温度可降低加热炉内生成的一次氧化物的厚度,有利于除鳞工序去除氧化铁皮内层FeO。双相钢终轧温度为810~860 ℃,略低的终轧温度有利于控制轧制节奏和促进铁素体的析出。双相钢的关键工艺在于控制冷却,通过控制冷却可形成合适的铁素体和马氏体比例,保证双相钢的力学性能。包钢2 250 mm热轧线双相钢的冷却工艺采用分段的方式,即第一段水冷+空冷+第二段水冷的冷却方式。通过第一段水冷的冷却速度、空冷温度、空冷时间的调整,可实现晶粒尺寸和两相比例的调整,根据不同用户的需要优化性能。为避免双相钢强度波动过大,卷取温度应控制在M_f温度以下。低合金高强钢的加热温度控制在1 200~1 260 ℃,保证了Nb的固溶和轧制过程中的析出,发挥细化奥氏体晶粒的作用;采用前段冷却工艺,进一步抑制了铁素体晶粒的长大,有利于细晶粒组织。

表2 高强钢主要生产工艺参数

牌号	板坯厚度/mm	出炉温度/℃	均热时间/min	在炉时间/min	终轧温度/℃	冷却方式	卷取温度/℃
DP540—DP590	230	1 180~1 230	30~60	160~240	810~860	分段冷却	≤250
490CL—590CL	230	1 200~1 260	30~60	160~240	830~880	前段冷却	560~640

1.3 显微组织

双相钢DP590的显微组织见图1,图1(a)是光学显微镜照片,晶粒度约9级,其组织形貌特征是灰色的岛状马氏体分布在白色的铁素体晶粒之间,马氏体的比例在15%~20%之间。图1(b)是扫描电镜照片,马氏体为明显的岛状浮凸分布在铁素体晶粒之间。双相钢的浮凸效应可能是因为马氏体的硬度和耐磨性明显高于铁素体,在金相制样的打磨和抛光过程中,马氏体的磨损量少于铁素体。左图和右图的显微组织中都没有发现碳化物的析出,说明组织控制理想,分段冷却工艺较为合理。低合金高强钢590CL的显微组织见图2,显微组织是铁素体和少量珠光体,晶粒均匀细小,晶粒度达到12.5左右。



（a）光学显微镜照片　　（b）扫描电镜照片

图 1　双相钢 DP590 显微组织

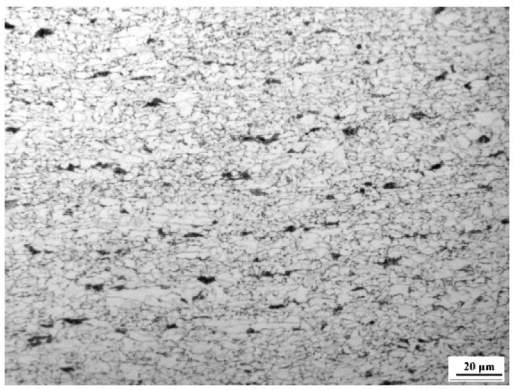


图 2　590CL 显微组织

1.4　力学性能

包钢高强车轮用钢的典型力学性能见表 3，双相钢的屈强比一般在 0.55～0.65，低合金高强钢的屈强比一般 0.85～0.92，屈服强度的差异明显。以 11.0 mmDP590 和 590CL 为例，两个牌号抗拉强度接近，DP590 比 590CL 的屈服强度低约 200 MPa。双相钢的拉伸曲线为连续屈服，屈服强度采用 $R_{P0.2}$，低合金高强车轮钢的拉伸曲线有屈服平台，如图 3 所示。剩余奥氏体→马氏体的快速相变伴随着晶格切变和体积膨胀，在铁素体和马氏体界面上产生了可移动位错，消除了屈服平台，可能是双相钢屈服强度低的原因。由于双相钢具有极低的屈强比和连续屈服的特点，相对于屈强比高和有屈服平台的低合金高强钢，易于冷加工成形，而且大大减少了加工模具的损耗，得到了部分用户的欢迎。低合金高强钢的屈强比较高，与其细晶强化为主的强化方式有关。晶粒的细化提高了钢的强韧性，590CL 和 DP590 的系列温度冲击值如图 4 所示，在 20 ℃、0 ℃、－20 ℃、－40 ℃、－60 ℃的温度下进行钢板夏比 V 型冲击测试，590CL 的冲击值比 DP590 高 100 J 以上。

表 3　包钢高强车轮用钢典型力学性能

牌号	厚度 /mm	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	屈强比
DP540	6.0	334	563	36	0.59
DP590	11.0	337	602	32	0.56
DP600	4.5	361	602	31	0.60
490CL	5.75	468	541	32	0.87
540CL	6.0	517	574	30	0.90
590CL	11.0	543	613	27	0.89

注：双相钢、低合金高强钢的屈服强度分别采用 $R_{P0.2}$、R_{eL}，延伸率分别采用 A_{50}、A。

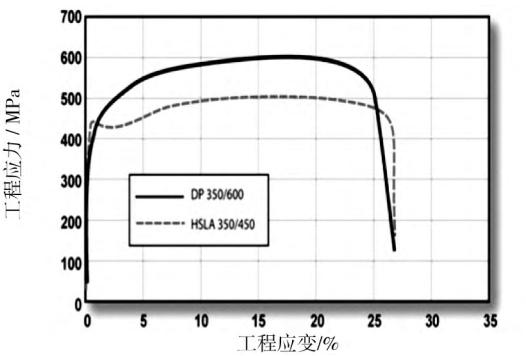


图 3　双相钢、HSLA 钢拉伸曲线对比

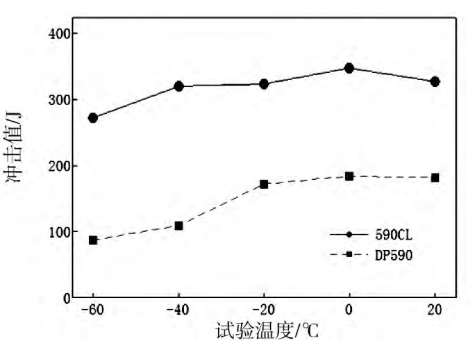
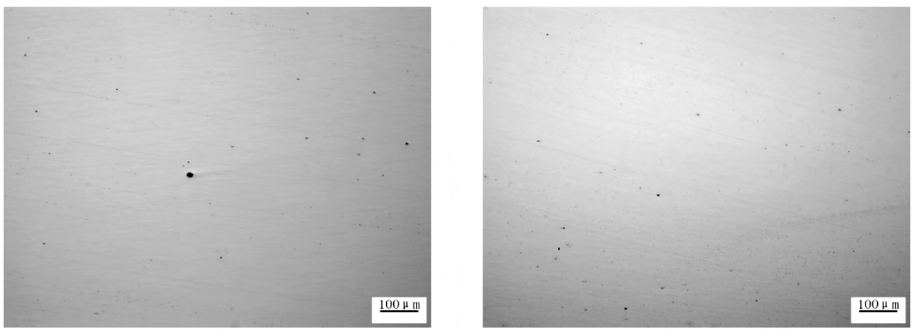


图 4　DP590、590CL 系列温度冲击性能

1.5 夹杂物控制

为了保证优良的疲劳性能，高强车轮用钢的冶炼都进行深脱硫、软吹、钙处理等措施。车轮钢的钢质纯净，磷、硫等有害元素的含量控制极低。夹杂物经过变质处理并充分上浮，钢内基本消除了长条形夹杂，仅含有少量危害性较小的球形夹杂物，车轮高强钢夹杂物照片见图5。



（a）双相钢　　（b）低合金高强度钢

图5 高强车轮用钢夹杂物典型照片

2 高强车轮用钢的应用

包钢高强车轮用钢主要应用于重载卡车、轿车和农用车车轮的轻量化材料，市场反映材料的加工成形和焊接等使用情况良好，主要用户有一汽富维等。图6是采用包钢高强车轮用钢制造的重载卡车轻量化车轮，车轮成功通过了径向、弯曲疲劳测试和海南路试，完成了可靠性考核。该车轮采用11.0 mm 590 MPa、6.0 mm 540 MPa级高强钢配套作为轮辐和轮辋，替代了14.0 mm SS400、7.0 mm 330CL，车轮减重达15%以上。



图6 使用包钢材料的重载卡车轻量化车轮

3 结论

（1）包钢在2 250 mm热轧生产线开发了双相钢和低合金高强钢两个品种系列，采用不同的化学成分和生产工艺，具有不同的显微组织及力学性能，能够满足不同用户加工能力的需求。

（2）包钢高强车轮用钢通过了疲劳测试和路试，满足轻量化材料的可靠性要求，应用于重载卡车、轿车和农用车车轮的轻量化材料，材料的加工成形和焊接等使用情况良好。

参 考 文 献

[1] 康永林，邝霜，尹显东，等. 汽车用双相钢板的开发与研究进展[J]. 汽车工艺与材料，2006，(5)：1－5.

[2] 王利，朱晓东，张丕军，等. 汽车轻量化与先进的高强度钢板[J]. 宝钢技术，2003，(5)：53－59.

[3] 王瑞珍，罗海文，董瀚. 汽车用高强度钢板的最新研究进展[J]. 中国冶金，2006，16(9)：1－9.

[4] 马鸣图，吴宝榕. 双相钢物理和力学冶金[M]. 北京：冶金工业出版社，2009.