热轧双相钢DP590组织和性能研究*[1]

白海瑞[1]，张秀飞[1]，刘德勤[2]，李 钊[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稀土钢板材厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章对两种成分体系热轧双相钢DP590的组织和性能进行了对比分析，结果表明，试制的两种成分体系试验钢显微组织区别不明显；C－Si－Mn－Nb成分体系试验钢的强度高于C－Si－Mn成分体系，其屈服强度和抗拉强度富裕量适中，分别为81 MPa和103 MPa，且冲击韧性更优，综合力学性能较好，利于批量化稳定生产。

关键词： 热轧；双相钢；DP590；组织性能

中图分类号： TG335.11 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2019)03－0042－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.013

Study on Microstructures and Properties of Hot Rolled Dual Phase Steel DP590

Bai Hai－rui[1], *Zhang Xiu－fei*[1], *Liu De－qin*[2], *Li Zhao*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the microstructures and properties of hot rolled dual phase steel DP590 with two component systems are compared and analyzed. The results show that the differences of microstructures for experimental steels are not obvious; the strength of experimental steel with C－Si－Mn－Nb component system is higher than that of experimental steel with C－Si－Mn component system, the surpluses of its yield strength and tensile strength are moderate, 81 MPa and 103 MPa respectively as well as the impact toughness and comprehensive mechanical properties are better, which are favorable for stable batch production.

Key words: hot rolled; dual phase steel; DP590; microstructure and property

随着国内汽车的消费和产量大幅增长，对高强度汽车用钢需求加大，对其成形性能也提出更高的要求。双相钢不但具有高强度，而且具有低屈服强度和连续屈服的特性，在冲压成型时又有很高的加工硬化速率，利于材料均匀变形，因此双相钢成为新一代高强、高成形性钢铁材料，广泛应用于汽车加强板、车轮、底盘、保险杠、车体各种框架等构件[1-2]。汽车采用双相钢可减轻构件重量20%～30%，符合汽车材料轻量化、高性能、安全、环保、节能的发展主题，已成为汽车轻量化的首选钢种之一[3]。近期，包钢在2 250 mm热轧生产线进行了两种成分体系热轧双相钢DP590的工业试制，本文针对不同成分

* 收稿日期：2019－03－19

作者简介：白海瑞(1986－)，男，内蒙古土默特左旗人，硕士，工程师，现从事冷轧板带材产品研发工作。

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

体系 DP590 的组织和性能进行对比分析，为批量化稳定生产提供数据支持。

1　试制工艺

1.1　化学成分

工业试制的热轧双相钢 DP590 采用 C－Si－Mn 和 C－Si－Mn－Nb 两种成分体系，化学成分具体见表 1。合理的化学成分设计是双相钢组织和性能的有力保证。C 主要用于形成所需数量的马氏体和保证钢的强度，同时影响焊接性能；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，但 Si 含量太高易导致钢带表面氧化铁皮难以去除，影响钢带表面质量；Mn 是典型的奥氏体稳定化元素，显著提高钢的淬透性，推迟珠光体转变和贝氏体转变，并起到固溶强化作用；Nb 有细化晶粒的作用，能提高钢的冲击韧性并降低其韧脆转变温度[4]。

表 1　DP590 化学成分(质量分数)　%

成分体系	C	Si	Mn	P	S	Alt	Nb
C－Si－Mn	≤0.20	≤0.60	≤1.70	≤0.090	≤0.015	≥0.015	
C－Si－Mn－Nb	≤0.20	≤0.60	≤1.70	≤0.090	≤0.015	≥0.015	≤0.020

1.2　轧制及冷却工艺

根据热轧双相钢 DP590 的组织和性能要求，结合包钢 2 250 mm 热轧生产线的设备能力和生产条件，制定试制工艺。板坯经加热炉加热出炉后，进行高压水除鳞，除鳞后板坯经粗轧机进行粗轧，粗轧采用 3＋3 模式，粗轧机 R1 每道次除鳞，R2 单道次除鳞。随后经精轧机进行 7 道次精轧，精轧采用恒速轧制，轧制速度为 2.7 m/s，终轧后经层流冷却进行卷取。两种成分体系 DP590 试制主要加热、轧制、冷却工艺具体见表 2。

表 2　DP590 加热、轧制及冷却工艺

板坯厚度/mm	出炉温度/℃	终轧温度/℃	冷却模式	卷取温度/℃
230	1 200±20	840±20	两段式冷却	≤150

1.3　组织性能检测

将两种成分体系试制的 DP590 卷板在线取样，加工成标准要求的拉伸和冲击试样，拉伸试样标距为 50 mm，冲击功检测采用全尺寸试样，同时在卷板上切取金相试样，经 4% 的硝酸酒精腐蚀后，在光学显微镜下观察试样的金相组织。

2　试制结果与分析

2.1　显微组织

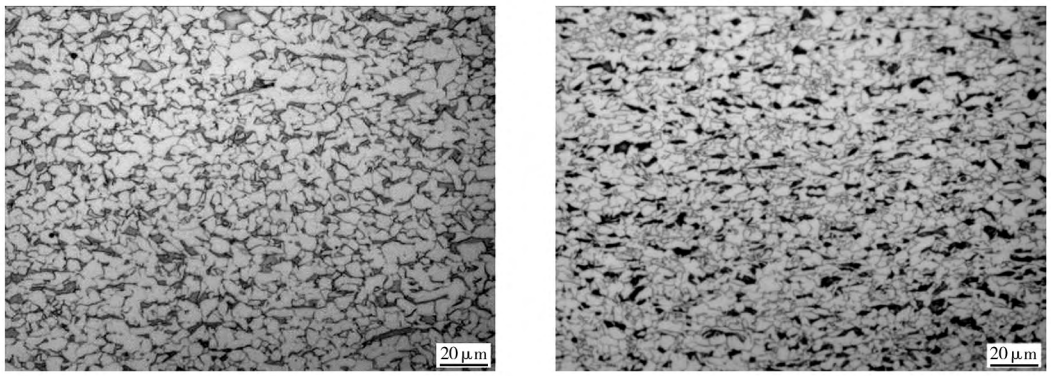
本次试制两种成分体系 DP590 卷板的显微组织如图 1 所示，组织均为铁素体＋马氏体，晶粒度约 11.5 级，马氏体分布在铁素体晶界或晶内，马氏体含量约为 19.4%。由图 1 可知，DP590 的组织特征为柔软纯净的铁素体基体上弥散分布着岛状强化相马氏体，这种组织特征使 DP590 具有低的屈服强度和高的抗拉强度。在加工成形过程中，屈服首先在铁素体中发生，可动位错将快速运动到 F/M 相界面而塞积，变形抗力将迅速上升以使塑性变形向马氏体中扩展，这种较高的初始加工硬化能力能够提高材料在成形过程中的应变分配的均匀性，有利于防止早期开裂的发生。对比两种成分体系 DP590 显微组织，区别不明显。

2.2　力学性能

本次试制两种成分体系热轧双相钢 DP590 的力学性能都满足标准要求，且强度波动较小，稳定性好，具体见表 3。其中 C－Si－Mn 成分体系 DP590 屈服强度、抗拉强度、延伸率的平均值分别为 351 MPa、607 MPa、35.7%，C－Si－Mn－Nb 成分体系 DP590 屈服强度、抗拉强度、延伸率的平均值分别为 406 MPa、663 MPa、33.7%。对比两种成分体系 DP590 的力学性能，C－Si－Mn－Nb 成分体系的 DP590 屈服强度和抗拉强度分别较 C－Si－Mn 成分体系 DP590 增加了 55 MPa 和 56 MPa，延伸率降低了 2%。分析可知，C－Si－Mn 成分体系 DP590

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

屈服强度和抗拉强度的富裕量(平均值－标准要求下限值)较小,分别为26 MPa和47 MPa;C－Si－Mn－Nb成分体系DP590屈服强度和抗拉强度的富裕量适中,分别为81 MPa和103 MPa,综合力学性能更优,且利于组织批量化稳定生产。



(a) C–Si–Mn (b) C–Si–Mn–Nb

图1 不同成分体系DP590的显微组织

表3 不同成分体系DP590力学性能

成分体系	编号	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A_{50}%	屈强比
C－Si－Mn	1#	348	610	35.0	0.57
	2#	353	605	35.0	0.58
	3#	352	605	37.0	0.58
	平均值	351	607	35.7	0.58
C－Si－Mn－Nb	1#	415	668	34.0	0.62
	2#	406	660	34.0	0.62
	3#	397	662	33.0	0.60
	平均值	406	663	33.7	0.61
执行标准	Q/BG 562—2014 [5]	325～470	≥560	≥24	

2.3 系列温度冲击功

对两种成分体系热轧双相钢DP590卷板进行了系列温度V型夏比冲击试验,试验温度为20 ℃、0 ℃、－20 ℃、－40 ℃、－60 ℃、－80 ℃,系列温度冲击功见图2。在不同温度下,C－Si－Mn－Nb成分体系DP590的冲击功高于C－Si－Mn成分体系DP590。冲击试验温度为20 ℃时,C－Si－Mn－Nb成分体系和C－Si－Mn成分体系的DP590冲击功分别为209 J和179 J。随着试验温度的降低,C－Si－Mn－Nb成分体系DP590的冲击功明显优于C－Si－Mn成分体系DP590的冲击功。试验结果表明,C－Si－Mn－Nb成分体系DP590的冲击韧性优于C－Si－Mn成分体系DP590,且温度越低冲击韧性的改善越明显。

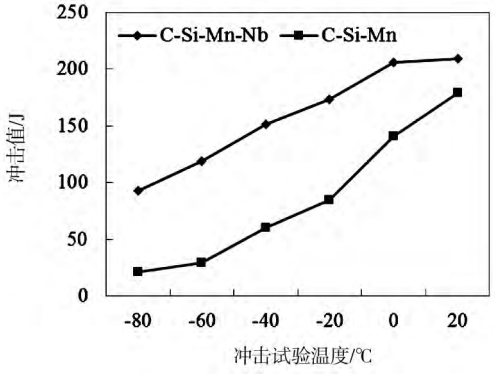


图2 不同成分体系DP590的系列温度冲击功

(下转第49页)

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

梯度变大，铸坯表面出现温度回升[7]，铸坯在运动过程中的冷却效果变差，有可能产生皮下裂纹。

钢水在凝固过程中，经历了三个明显的脆性区，当温度处于第一脆性区间时，钢的塑性很低，它受到应力的作用就极易产生裂纹，皮下裂纹距离表面 1 ~ 5 mm。

2.3　控制措施

(1) 加强钢中夹杂物控制。保证软吹时间大于 13 min，静置时间大于 8 min，让夹杂物充分上浮。

(2) 优化连铸工艺，控制铸坯内部质量。全程吹氩保护浇铸，使用耐候钢专用保护渣；铸机全流生产，严格采用恒拉速操作，拉速控制在 0.50 ~ 0.60 m/min，过热度控制在 30 ℃以下。

(3) 增加连铸坯热酸检验频次。开浇第一炉每流取样，其余炉次按 1 ~ 2 ~ 3 顺序，每炉取一个样，进行铸坯内部质量监测。

(4) 轧制工艺优化。对轧辊孔型进行优化，降低每对成品辊的轧出量，控制 YQ450NQR1 乙字钢的表面质量。

3　结论

(1) 连铸坯皮下裂纹在轧制过程中遗传到轧材表面，是造成 YQ450NQR1 乙字钢开裂的主要因素。

(2) 钢水过热度控制在 30 ℃以内，采用恒拉速控制，拉速控制在 0.50 ~ 0.60 m/min 之间，可以有效地控制铸坯皮下裂纹的产生，提高 310 乙字钢铸坯质量。

(3) 适当减小结晶器的冷却水量，合理匹配各冷却段配水比例，可以减少皮下裂纹。

参　考　文　献

[1] 刘莉，李智丽. 310 乙字钢开裂原因分析[J]. 物理测试，2011，(01)：34 - 36.

[2] 王代文. 310 乙字钢轧疤缺陷原因分析及改进措施[J]. 物理测试，2012，30(05)：44 - 47.

[3] GB/T 13298—2015，金属显微组织检验方法[S].

[4] GB/T 224—2008，钢的脱碳层深度测定法[S].

[5] GB/T 10561—2005，钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法[S].

[6] 贾攀. YQ450NQR1 乙字钢拉裂缺陷原因分析[J]. 四川冶金，2012，29(03)：7 - 10.

[7] 郭秋实，文光华，程维玮，等. 齿轮钢矩形坯皮下裂纹的成因[J]. 钢铁研究学报，2012，(03)：30 - 31.

(上接第 44 页)

3　结论

(1) 两种成分体系热轧双相钢 DP590 卷板的力学性能都满足标准要求，强度波动较小，稳定性好，显微组织区别不明显。

(2) C - Si - Mn 成分体系 DP590 屈服强度和抗拉强度的富裕量较小，分别为 26 MPa 和 47 MPa；C - Si - Mn - Nb 成分体系的富裕量适中，分别为 81 MPa 和 103 MPa，且冲击韧性更优，综合力学性能较好，利于批量化稳定生产。

参　考　文　献

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

[2] 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.

[3] 康永林. 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.

[4] 郑芳，郑磊. 成分对经济型热轧双相钢性能的影响研究[J]. 宝钢技术，2007，(2)：30 - 34.

[5] Q/BG 562—2014，热连轧双相钢钢带和钢板[S].

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