超快冷系统改造及双相钢冷却工艺优化*

贾瑞杰,张 玮,张 帅

(内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对包钢薄板厂 CSP 生产线超快冷系统存在的问题进行改造和优化。基于改造后 ADCOS - HSM(Advanced Cooling System - Hot Strip Mill)的技术优势,通过双相钢生产工艺、显微组织、力学性能的研究与应用,解决了热轧双相钢生产中的质量问题。

关键词: CSP; 超快冷系统; 升级改造; 双相钢

中图分类号: TG335.5+5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2017)05 - 0029 - 05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.009

Modification of Ultra - fast Cooling System and Optimization of Dual Phase Steel Cooling Process

JIA Rui - jie, ZHANG Wei, ZHANG Shuai

(*CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: Aiming at problems existing in the ultra - fast cooling system of CSP production line in Sheet Plant of Baotou Steel, the problems are transformed and optimized. Based on technical advantages of ADCOS - HSM (Advanced Cooling System - Hot Strip Mill) after being transformed, the quality problems in production of dual phase steel in hot rolling are solved through research and application of dual phase steel production process, microscopic structure and mechanical property.

Key words: CSP; ultra - fast cooling system; upgrading; dual phase steel

热轧双相钢(Dual - Phase Steel,简称 DP 钢)的显微组织由铁素体(F)和马氏体(M)构成。双相钢具有连续屈服、屈强比低、烘烤硬化、强塑性匹配好等特点,强度高且易于加工成型,较好地满足汽车零部件的制造并实现汽车的轻量化,同时兼顾汽车的安全性与节能性[1]。2006 年包钢薄板厂与东北大学合作,开发并建成了国内第一套用于热轧带钢生产线的超快速冷却系统,布置于层流冷却后,2007 年 7 月开始,先后成功的研制了采用 C - Mn 合金化设计,厚度 4 ~ 11 mm 的 DP540、DP590 热轧双相钢,应用于汽车大梁和车轮等汽车零部件。其中厚度为 6.0 mm 的 DP540 和厚度为 11.0 mm 的 DP590 被广泛用于轻量化的汽车轮辐、轮辋的生产。但是,随着用户对双相钢产品质量、资源需求的进一步提高,包钢 CSP 生产线原有超快冷系统不能满足热轧双相钢产量提高的需求,急需进行改造升级。

1 超快冷系统改造前存在的问题

2007 年 7 月 CSP 生产线原有超快冷系统投入使用后,双相钢始于小批量研制与开发,随着汽车轻量化的推进和双相钢产量的提高,超快冷系统已经不能满足双相钢产量提高和产品质量提升的双重要

* 收稿日期: 2017 - 06 - 30

作者简介: 贾瑞杰(1981 -),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事 CSP 热轧产品开发及质量管理工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

求，主要体现如下：

(1) 由于超快冷系统冷却能力不足，导致冷却工艺控制难以实现，显微组织控制不理想。

(2) 超快冷系统稳定性较差，批量生产时卷取温度波动大、命中率低，双相钢组织、性能不稳定。

(3) 喷嘴集管结构设计简单，冷却均匀性较差。

(4) 阀组配置简单，喷嘴集管阀组仅配置手动和气动控制，没有流量计及调节阀，无法实现超快冷集管流量的精确控制。

为此，2013 年 9 月薄板厂与东北大学共同对 CSP 生产线超快冷系统进行了改造，改造后的超快冷系统—ADCOS－HSM(Advanced Cooling System－Hot Strip Mill)，在机械、电气、液压、自动化、数学模型等方面进行了全面优化和升级。

2 改造后超快冷系统功能描述

改造后超快冷系统－ADCOS－HSM 功能见表 1。

表 1 超快冷系统改造前后主要参数对比

长×宽×高 /(mm×mm×mm)	水梁数量 /组	工作流量 /($m^3 \cdot h^{-1}$)	水压 /MPa	备注
7 500×1 600×550	14	1 200	0.40	改造前
9 500×1 700×550	20	4 500	0.85	改造后

由表 1 可见，改造后的超快冷系统 ADCOS－HSM，冷却设备的长度、宽度增加，超快冷水梁集管数增加，并且工作水流量、水压分别提高了 70% 和 50%。改造后的超快冷系统具有多重阻尼、大型整体超宽、高性能射流喷嘴，解决了制约热轧双相钢冷却过程中冷却速率高、冷却均匀性控制等难题。通过优化控制阀组和新增的自动控制系统，根据热轧双相钢冷却策略、温度、速度等工艺控制要求，经过模型运算，控制层流冷却和超快冷系统的集管开启状态，实现了热轧双相钢冷却模式、冷却速率和卷取温度的精确控制。

3 热轧双相钢生产工艺优化

3.1 化学成分

采用低碳、Si、Mn，不添加其它合金元素，DP540 热轧双相钢化学成分见表 2。在其它条件相同的情况下，降低 w [C] 可以在增加铁素体饱和析出量的同时，加快铁素体的相对析出速度，从而有利于形成铁素体＋少量马氏体的显微组织，使钢带在获得高强度的同时，保持钢的塑性和韧性。该成分设计还可以避开薄板坯连铸的“包晶区”，使薄板坯能够有效避免由于表面质量问题对性能的不良影响[2]。

表 2 DP540 热轧双相钢化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S
≤0.07	≤0.50	≤1.60	≤0.015	≤0.005

3.2 生产工艺过程

DP540 热轧双相钢的生产工艺流程如下：

铁水预处理→转炉顶底复合吹炼→LF 精炼处理→薄板坯连铸→辊底式加热炉加热→7 机架热连轧→层流冷却＋超快速冷却→卷取。包钢 CSP 生产线改造后的超快冷装置布置如图 1 所示。

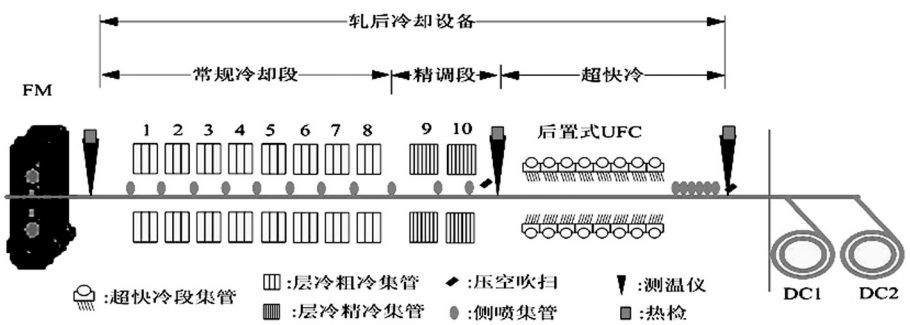


图 1 包钢 CSP 生产线改造后的超快冷装置

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.3　冷却工艺改进

轧后控制冷却是控制马氏体含量的关键因素，通过合理控制层流冷却后钢带温度来控制铁素体析出量，之后通过超快速冷却使残余奥氏体转变成马氏体。

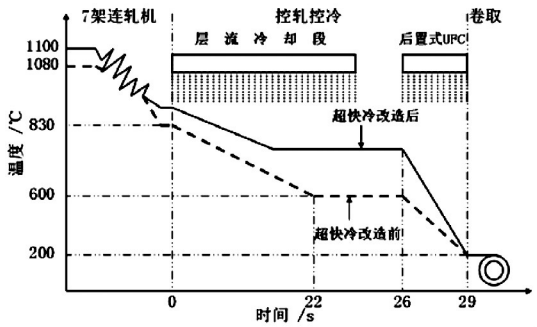


图 2　超快冷系统改造前后生产工艺示意图

为了有效发挥改造后的超快冷系统功能，在提高双相钢产量的同时，提高双相钢的产品质量。双相钢生产时，严格执行质量一贯制，严格控制钢水成分、上钢温度、软吹时间、保护浇铸、稳定浇铸速度等，为了能充分细化奥氏体晶粒，加热温度进行了适当调整，为了获得 F + M 双相组织，获得理想的力学性能，终轧温度应略高于或低于 Ar_3，一般控制在 800 ~ 900 ℃之间。超快冷系统改造前后 DP540 热轧双相钢的主要工艺参数见表 3。

表 3　热轧双相钢 DP540 主要生产工艺参数

出炉温度 /℃	轧制温度 /℃	层冷后温度 /℃	快冷后温度 /℃	超快冷水梁开启组数 /总组数	备注
≥1 100	830 ~ 870	≥600	≤200	12 ~ 16 /20	改造前
≥1 080	800 ~ 850	600 ~ 500	≤200	14 /14	改造后

通过图 2 和表 3 可看出：改造后钢带的终轧温度提高，有效的提高了轧制速度，加快了生产节奏，并且层冷后钢带温度高于 B_s 点（约 600 ℃），有利于生成理想的 F + M 组织，并且改造后的超快冷系统冷却能力大幅提升，投入 12 ~ 16 组冷却水梁即可满足 6.0 mm DP540 钢带卷取温度≤200 ℃的要求，钢带温降高达 450 ℃。即使生产过程中出现加热、轧制、层冷后的温度波动，只需通过调整超快冷水梁的开停数量，即可保证快冷后温度的稳定控制。

4　性能及组织

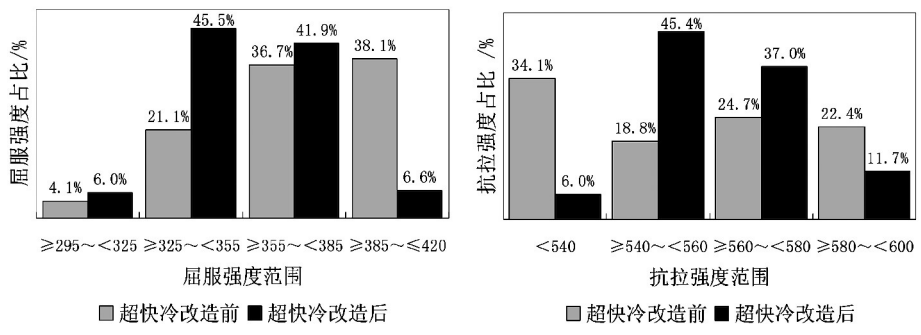
4.1　力学性能

双相钢的典型力学性能特点是高抗拉强度、低屈强比。表 4 为超快冷系统改造前后，生产的 6.0 mm厚度的 DP540，在平整重新取样的力学性能平均值，与超快冷系统改造前比较，改造后 DP540 钢带的屈服强度降低、抗拉强度提高、屈强比降低。

表 4　热轧双相钢 DP540 力学性能及屈强比

屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	屈强比	备注
350	585	34.3	0.60	改造前
371	554	32.8	0.67	改造后

图 3 为快冷系统改造前后，DP540 钢带屈服、抗拉强度强度分布图，通过图 3(a) 看出：超快冷系统改造前，钢带屈服强度呈线性上升分布，冷却系统改造后呈正态分布。改造后的双相钢 DP540 屈服强度在 295 ~ 385 MPa 之间的比例大幅提高，屈服强度不低于 385 MPa 的比例显著降低，这与冷却工艺的优化有直接关系。从图 3(b) 看出：改造前抗拉强度分布较离散，抗拉强度 < 540 MPa 比例较高，超快冷系统改造后抗拉强度有较大的变化，呈理想的正态分布，性能合格率明显提高。改造后的双相钢 DP540 抗拉强度在 540 ~ 580 MPa 之间的比例明显提高，通过如上对比发现，超快冷系统改造后产品性能合格率显著提高。

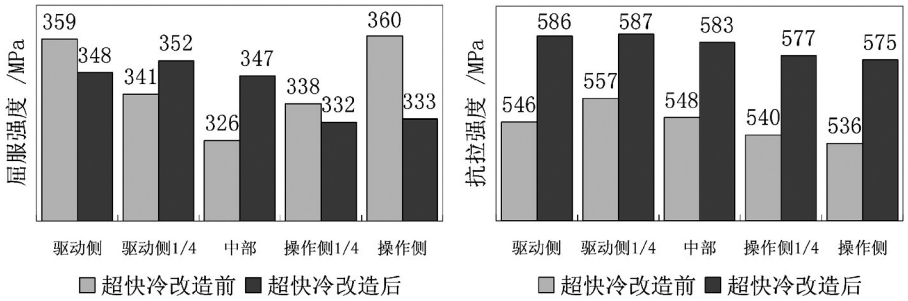


(a)　　(b)

图 3　超快冷系统改造前后热轧双相钢 DP540 力学性能分布图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图4为超快冷系统改造前后带钢横向屈服强度、抗拉强度分布图，通过对比可发现快冷系统改造后的带卷横断面冷却均匀性较好，抗拉强度驱动侧、操作侧偏差在11 MPa以内。

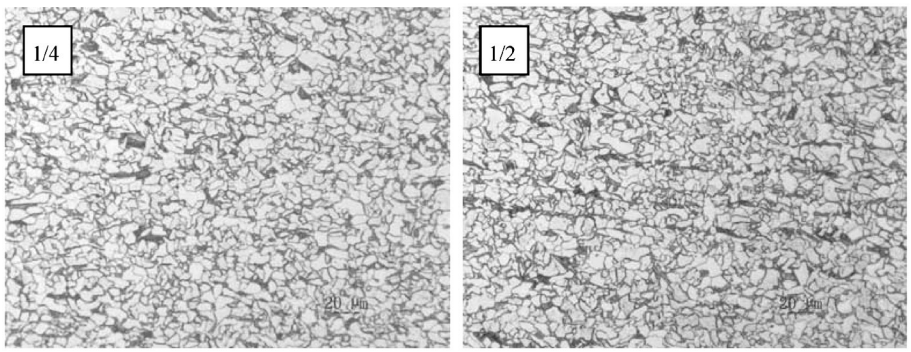


(a) (b)

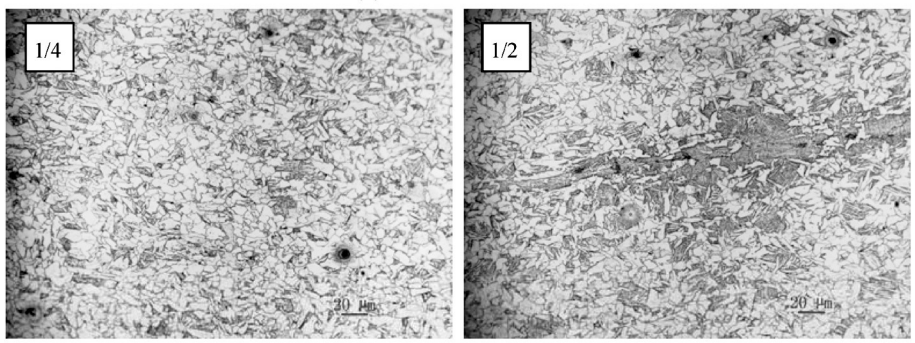
图4 超快冷系统改造前后带卷横向力学性能分布

4.2 金相组织

在热轧双相钢尾部截取金相试样，其金相组织分析见图5。由图5可知：金相组织主要为铁素体和马氏体，白色组织为铁素体，灰黑岛状组织为马氏体，马氏体岛分布于铁素体晶粒间，呈不规则多边形，超快冷系统改造前组织中伴有少量贝氏体，如图5(b)。超快冷系统改造后双相钢中铁素体晶粒边界都比较平整光滑，整个厚度方向上的晶粒尺寸差别小，采用网格法估算了快冷系统改造前后双相钢中马氏体体积分数：改造后11%～20%，铁素体晶粒平均直径6～8 μm；改造前9%～13%，铁素体晶粒平均直径9～10 μm。其中带卷中心部位，由于受C、Mn等元素偏析影响，先共析转变后得到带状残余奥氏体组织，经过快冷最终转变为带状马氏体组织，如图5(a)所示。由于水梁改造前层流冷却后钢带温度位于贝氏体转变区，钢带显微组织含有贝氏体组织，如图5(b)所示。超快冷系统改造后钢带中部带状组织明显减轻，彻底改变了原有超快冷系统冷却能力不足，导致的铁素体和贝氏体组织缺陷。



(a)改造后显微组织



(b)改造前显微组织

图5 超快冷系统改造前后热轧双相钢DP540显微组织

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5　推广应用

包钢薄板厂生产的热轧双相钢主要用于载重卡车车轮的加工制造。厚度为 6.0 mm 的 DP540 及厚度为 11.0 mm 的 DP590 热轧双相钢分别用于生产轻量化车轮的轮辋和轮辐(见图 6),分别替代了原厚度 7.0 mm 的 SS400、厚度 14.0 mm 的 SS400 热轧钢带,使单个车轮减重 13.3%。使用结果表明,双相钢冲压成型性能好,在轮辋、轮辐制作加工过程中未出现原有热轧钢带的开裂、焊接性能不好等缺陷,而且采用双相钢制作的轮辋和轮辐可代替原来的 SS400。



图 6　热轧双相钢 DP540 在车轮中的应用

6　结论

(1) 改造后的超快冷系统—ADCOS - HSM,有效解决了 CSP 生产线超快冷系统冷却能力不足的问题。

(2) 改造后生产热轧双相钢 DP540 工艺控制稳定,钢带的金相组织为铁素体和马氏体,热轧双相钢金相组织和力学性能控制理想。

(3) 采用改造后的超快冷系统生产的热轧双相钢,经过用户使用,其冲压成型性能很好,符合用户轻量化用钢的要求。

参　考　文　献

[1] 利成宁,袁国,周晓光,等. 汽车结构用热轧双相钢的生产现状及发展趋势[J]. 轧钢,2012,29(5):38 - 42.

[2] 董瑞峰,李德刚,刘彦春,等. CSP 生产线开发 C - Mn 型热轧双相钢的生产实践[J]. 上海金属[J],2010,32(1):27 - 29.

(上接第 16 页)

w(MnO) 基本控制在 4% 左右。另外,随着顶渣氧化性的降低,在生产实际中发现,中间包 $w[O]_T$ 也较低,基本控制在 20×10^{-6} 以下。

4　结论

(1) 无取向硅钢生产时,转炉出钢采用不完全脱氧,导致钢中的氧向渣中传递,是转炉工序钢包顶渣改质效果不佳的主要原因。

(2) 采用转炉工序钢包顶渣改质 + RH 工序钢包顶渣改质两步法顶渣改质工艺,同时在转炉工序不进行锰的预脱氧和合金化、在 RH 脱碳前期进行部分锰合金化,可将超低碳钢在 RH 出站后,将钢包顶渣中 w(FeO) 降低至 5% 以下,稳定 w(MnO) 在 4% 左右。

(3) 采用两步顶渣改质工艺,可将超低碳钢的中间包钢水 $w[O]_T$ 控制在 20×10^{-6} 以下,显著的提高了超低碳钢的洁净度。

参　考　文　献

[1] 陈家祥. 炼钢常用图表数据手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

[2] 李伟东,辛国强,王向辉. 未完全脱氧钢水顶渣氧化性初探[J]. 安徽工业大学学报,2005,(10):605.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net