

· 研究与开发 ·

应用超快冷工艺开发 540MPa 级 C-Mn 双相钢试验

刘彦春¹,董瑞峰²,闫波²,刘相华¹,王国栋¹

(1. 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室,辽宁 沈阳 110004;
2. 包钢钢铁股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010)

摘要:介绍了在包钢 CSP 线上应用超快速冷却工艺开发 540MPa 级热轧双相钢的工业试验概况;以 0.07% C-1.20%Mn-0.15%Si 钢为原料,采用薄板坯连铸连轧、层流冷却和超快速冷却工艺,得到厚 6mm 的热轧双相钢带;其微观组织为铁素体和马氏体,马氏体体积分数为 12%, σ_b 为 555~565MPa, σ_s 为 335~355MPa, δ 为 31%~34%, σ_s/σ_b 为 0.59~0.64, n 值为 0.18,整卷带钢性能均匀,应用于重型卡车横梁,性能良好。

关键词:超快速冷却;热轧双相钢;薄板坯连铸连轧;屈强比; n 值

中图分类号: TG142.2; TG156.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9996 (2007) 02-0006-04

Experiment of Development C-Mn Dual-phase Hot Strip Steel by Ultra-fast Cooling Technology on CSP Line

LIU Yan-chun¹, DONG Rui-feng², YAN Bo², LIU Xiang-hua¹, WANG Guo-dong¹

(1. The State Key Lab. of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China;
2. Baotou Steel(Union)Co., Ltd., Baotou 014010, China)

Abstract: An industrial experiment of development 540MPa grade dual-phase hot strip steel by ultra-fast cooling technology on Baotou CSP line was introduced. The test dual-phase steel of 6mm thickness was produced by thin-slab continuous rolling and two stage cooling process, including of laminar and ultra-fast cooling; The microstructures of the test dual-phase steel are ferrite and martensite, and the volume fraction of martensite is 12%. The mechanical properties of the test dual-phase steel are uniform with the tensile strength of 555~565MPa, the yield strength of 335~355MPa, the total elongation of 31%~34%, the yield ratio of 0.59~0.64 and the n value of 0.18. The test dual-phase steel with good service performance has been used tentatively for making the beam and the tail-board of heavy-duty truck.

Key words: ultra-fast cooling; dual-phase hot strip steel; thin-slab continuous casting and rolling; yield ratio; n value

随着未来市场对汽车用结构钢需求量的增加,在短流程生产线上开发热轧双相钢的工作越来越受到重视。2003年,西班牙的ACB首次在其短流程生产线上,采用C-Mn-Si-Cr成分设计,开发了汽车用热轧双相钢DP600^[1]。热轧双相钢的生产一般采用2种方式,一是通过Cr(或Cr-

Mo)合金化使马氏体点升高且临界转变速度降低,带钢在马氏体点以上卷取,卷取后发生马氏体转变,获得双相组织;二是采用C-Mn-Si成分,轧后采用两段式冷却工艺,即先缓冷,使足够的铁素体析出,再急冷,使带钢在短时间内降至马氏体点以下,随后卷取,卷取前即获得铁素体和马氏体双

收稿日期:2006-12-12

基金项目:国家高技术研究发展计划(2001AA332020)

作者简介:刘彦春(1975-),男(汉族),辽宁沈阳人,讲师,博士研究生。



TEL:0576-7552101 Fax:0576-7552616

相组织。为使带钢在短时间内实现较大幅度降温,东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(以下简称RAL)于2005年开发了一种超快速冷却装置^[2],据此并按包钢钢联股份有限公司CSP线实际情况,为其制造了一套超快速冷却设备,安装于层流冷却装置与1[#]卷取机之间。表1为超快速冷却设备的主要参数。2005年9月至2006年5月,包钢进行了开发C-Mn系540MPa级热轧双相钢工业试验。

表1 超快速冷却设备的主要参数

长×宽×高 /mm×mm×mm	冷却 介质	工作流量 /m ³ ·h ⁻¹	冷却范 围/℃	最大冷却 能力(板厚 4mm)/℃·s ⁻¹
7500×1600×550	浊环水	1200	1000~100	350

1 试验过程

1.1 试验原料

试验钢采用普通C-Mn钢,表2为试验钢实际冶炼成分,由于碳含量较低,避开了包晶区,因而使板坯质量得到充分保证。

表2 试验钢的化学成分

类别	C	Mn	Si	S	P
设计成分	0.05~0.08	1.10~1.40	0.10~0.35	<0.010	<0.020
冶炼成分	0.07	1.20	0.15	0.003	0.016

1.2 试验步骤

试验工艺路线:铁水预处理→210t转炉顶底复合吹炼→LF精炼处理→薄板坯连铸→隧道炉内均热→6机架热连轧→层流冷却+超快速冷却→卷取。

薄板坯厚度为67mm,经隧道炉均热,出炉温度约为1100℃,终轧温度约为810℃,层流冷却后温度为610℃,卷取温度约为130℃,成品厚度为6mm。带钢层流冷却时间共24s,出层流冷却区2s后,进入超快速冷却区,超快速冷却时间共2s,随后卷取。可以算出,层流冷却的平均冷却速度为8.3℃/s,超快速冷却的平均冷却速度为160℃/s。按此工艺轧制了4卷带钢,并在带钢尾部取样,进行力学性能和金相组织检测。

2 试验结果

2.1 试验双相钢的力学性能

表3为4卷试验钢实测力学性能。屈服强度(R_{eL})取均匀变形最初0.2%处的应力值($R_{0.2}$), n 值为均匀延伸初期10%的硬化速率。拉伸试验

中,拉伸曲线无屈服点或屈服平台,具有较快的初始硬化速率,这也是铁素体+马氏体双相钢力学性能的2个基本特征。

表3 试验双相钢实测力学性能

卷号	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A_{50} /%	屈强比	n 值
1	350	560	32	0.63	0.18
2	355	555	34	0.64	0.18
3	335	565	31	0.59	0.18
4	355	560	34	0.63	0.18

为测试超快速冷却对带钢宽度方向冷却均匀性的影响,在1[#]带卷尾部长度方向上的某一位置,从边部到带钢中部,每隔一定间距取标准拉伸试样,测量力学性能,结果见图1。从图1可看出,1[#]带钢沿宽度方向力学性能较均匀。

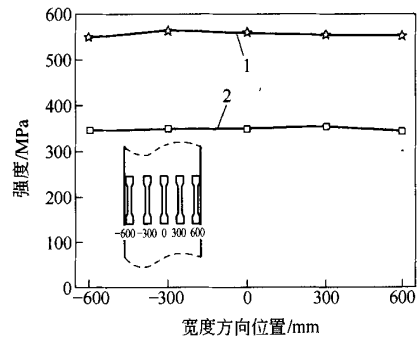


图1 带钢宽度方向的力学性能

1—抗拉强度;2—屈服强度(0.2%)

图2为带钢长度方向上各处的力学性能。由于采用“热头”卷取,因此带钢头部未经超快速冷却,未产生双相钢组织,为普通的铁素体+珠光体钢,其抗拉强度也低。另外,由于“热头”温度较高,带卷芯部向带卷中部传导热量,造成一部分双相钢中的马氏体“回火”;随回火温度的升高,马氏体中位错附近析出碳化物,位错密度降低,有可能产生回火马氏体、回火屈氏体及回火索氏体等组织^[3],抗拉强度均有所下降,并出现屈服现象。在CSP生产中,带钢出口速度一般保持恒定,因此,除了带钢头部和“热头”造成的回火段外,在带钢长度方向上各处的温度变化差别不大,其力学性能也基本相同。若实现工业化批量生产,还需进一步控制“热头”长度,尽量降低“热头”温度,从而减少性能不合区段的长度,提高成材率。

2.2 试验双相钢的微观组织

图3为试验双相钢的微观组织,组织中包含铁素体和马氏体2种组织,其中,灰色为铁素体,白色

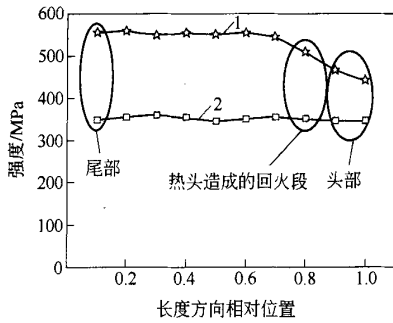


图 2 带钢长度方向上各处的力学性能
1—抗拉强度;2—屈服强度(0.2%)

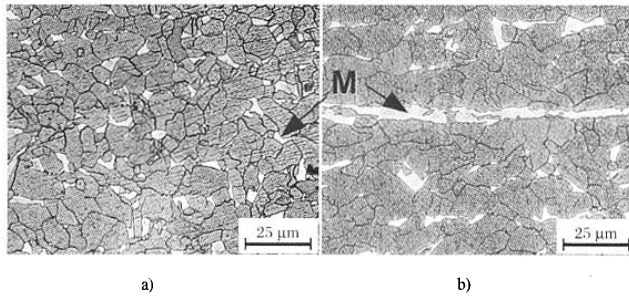


图 3 试验双相钢微观组织

a)带钢 1/4 厚度处;b)带钢 1/2 厚度处

区别。通常,为保证薄板坯质量,及减少漏钢、纵裂等事故发生的几率,钢中 C 含量要避免开包晶区成分范围([C]为 0.09%~0.17%),且要优先考虑下限成分范围,即[C]≤0.08%。另外,为保证双相钢中马氏体的体积分数($V_M > 5\%$)。必须使钢中有足够的 C 含量。按热轧双相钢的形成机理,钢中奥氏体首先进行先共析转变,得到足够的铁素体,随后,剩余奥氏体转变为马氏体。反应式为: $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$; $\gamma' \rightarrow \alpha_M$ 。如果先共析转变后的剩余奥氏体转变为珠光体,最终得到的将是铁素体+珠光体钢。采用钢中珠光体体积分数估算法: $[C]/0.8 \approx P$; $P \approx V_M$, 得出钢中 C 含量须满足: $[C] \geq 0.05\%$ 。

采用较低 C 含量还具有扩大工艺“窗口”的功能。在工艺控制上,希望快速得到足够体积分数的铁素体,由于试验双相钢中 C 含量较低,而先共析转变温度 A_{r3} 较高,铁素体转变孕育期较短,因而有利于加快铁素体的析出过程,铁素体在短时间内即可达到力学性能要求的析出量,这将扩大缓冷结束温度 T_m 的工艺控制范围,即扩大所谓的工艺“窗口”。图 4 示出双相钢中碳含量与 T_m 温度“窗口”的关系。

岛状为马氏体。采用网格法估计,马氏体体积分率为 12%;铁素体晶粒平均直径为 $8\mu m$,马氏体岛体积大小不一,分布于铁素体晶粒间,呈不规则多边形。在试验钢厚度中心部位,由于受 C、Mn 等元素偏析及膜状夹杂物的影响,先共析转变后得到带状剩余奥氏体组织,并且最终转变为带状马氏体组织,如图 3b 所示。

3 讨论

3.1 C 含量的设计

在 CSP 线上开发钢种,与常规热连轧有明显

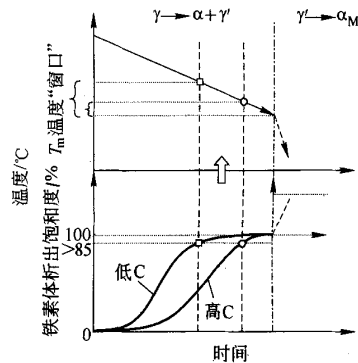


图 4 双相钢中碳含量与 T_m 温度“窗口”的关系

3.2 冷却工艺与双相组织

试验中,通过缓冷和急冷两段式冷却,获得了双相组织。在缓冷段,钢中发生奥氏体→铁素体转变,为亚共析钢的先共析转变,转变产物为铁素体和剩余奥氏体,表示为: $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$; 剩余奥氏体不稳定,与温度和冷却速度密切相关。如果缓冷结束温度 T_m 过低,钢中剩余奥氏体可能部分甚至全部转变为珠光体,因此必须对其合理控制以获得理想比例的铁素体和剩余奥氏体。剩余奥氏体必须以超过马氏体转变临界速度的冷却速度,降温至马氏体点 M_s 以下,才能全部转变为马氏

中国
TEL:0576-7552101 Fax:0576-7552616
浙江沪环机械有限公司
环 导 卫

体,可表示为: $\gamma' \rightarrow \alpha_M$ 。因此,必须在急冷段合理控制冷却速度和终冷温度。试验中借鉴文献^[2]研究结果,设定缓冷结束温度为610℃,急冷段平均降温速度达到160℃/s,终冷温度(卷取温度)降至130℃,得到了令人满意的双相组织:90%铁素体+10%马氏体。

3.3 组织与力学性能

由铁素体和马氏体构成的双相钢,铁素体占多数,岛状马氏体均匀分布于铁素体晶粒间。力学性能特征是:无屈服点或屈服平台,初始硬化速度快,屈强比较低,延伸性能明显优于相同抗拉强度级别的铁素体+珠光体钢或贝氏体钢^[4]。

分析拉伸曲线得出,双相钢的弹性极限由化学成分和铁素体晶粒性质决定,而抗拉强度除受化学成分、铁素体晶粒影响外,还受马氏体体积分影响,马氏体体积分数越多,影响越大。双相钢无屈服点或平台的原因是:马氏体形成时,与原剩余奥氏体相比,体积增加较大,且膨胀迅速,将周围铁素体晶粒压迫变形,同时在变形的铁素体晶粒内,与马氏体相邻的晶界附近,形成大量的可动位错(又称林位错),因此双相钢拉伸变形时,有足够的可动位错,无需通过位错“脱钉”过程来积累可动位错,因此拉伸曲线上没有屈服现象。但如果马氏体含量较少,则可能无法形成足够多的可动位错,拉伸曲线仍有屈服现象,且抗拉强度较低。

3.4 不连续冷却条件下的组织演变规律

连续冷却条件下的组织演变规律,可以通过对CCT曲线的研究得到。而不连续冷却条件下的组织演变规律,不能简单地应用C含量为0.07%钢的CCT曲线来分析。试验中采用了两段不连续冷却方式,可按图5中两部分联

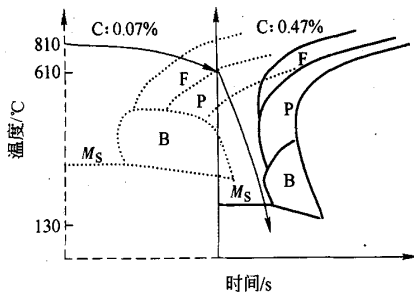


图5 不连续冷却条件下的转变曲线(联合CCT图)

合在一起的CCT曲线来分析。在缓冷段(810~610℃),相变遵循图5中左边虚线部分C含量为0.07%钢的CCT曲线规律,得到铁素体;在急冷段(610~130℃),相变遵循图5中右边实线部分C含量约为0.47%(剩余奥氏体中C含量)钢的CCT曲线规律^[5],生成马氏体,并最终得到双相组织。

4 热轧双相钢开发展望

目前,厚6mm DP540钢用于制造重型卡车横梁和尾板。在强度相当的情况下,双相钢成形性能优于传统钢级510L,在试用过程中,无裂边,回弹小,试用情况良好。下一步将开发厚度小于2mm薄规格的DP600,用于制造轿车车轮轮辐;开发厚度小于8mm的DP780,用于卡车车轮轮辐,以代替目前较厚规格的Q235。

5 结论

(1)采用化学成分的原型钢,在CSP生产线上应用超快速冷却技术,可以生产出DP540级热轧双相钢;其微观组织为铁素体和马氏体,马氏体呈岛状分布于铁素体晶粒间,马氏体体积分数约为12%;其抗拉强度为555~565MPa,屈服强度为335~355MPa,屈强比为0.59~0.64,n值为0.18。

(2)试验双相钢在长度方向有良好的性能均匀性,体现了CSP生产线恒速抛钢工艺的优势;试验双相钢在宽度方向有良好的性能均匀性,反映了超快速冷却设备在带钢宽度方向上均匀的冷却效果。

(3)通过采用新的控制冷却手段及控轧控冷工艺,可开发出独具薄板坯连铸连轧工艺特色的品种钢^[6]。

参考文献:

- [1] Buzzichelli G, Anelli E. Present Status and Perspectives of European Research in the Field of Advanced Structural Steels [J]. ISIJ International, 2002, (42): 1354-1363.
- [2] 王国栋,刘相华,吴迪. 节约型钢铁材料及其减量化加工制造[J]. 轧钢, 2006, 23(2): 1-5.
- [3] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京:机械工业出版社, 1996. 305.
- [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, 1988. 6.
- [5] 张世中. 钢的过冷奥氏体转变曲线图集[M]. 北京:冶金工业出版社, 1993. 10, 24-28, 150-151.
- [6] 刘彦春,董瑞峰,屈文胜,等. CSP线生产C-Mn系热轧双相钢的工业试验[J]. 轧钢, 2006, 23(4): 1-4.

应用超快冷工艺开发540MPa级C-Mn双相钢试验

作者: [刘彦春](#), [董瑞峰](#), [闫波](#), [刘相华](#), [王国栋](#), [LIU Yan-chun](#), [DONG Rui-feng](#), [YAN Bo](#), [LIU Xiang-hua](#), [WANG Guo-dong](#)

作者单位: [刘彦春, 刘相华, 王国栋, LIU Yan-chun, LIU Xiang-hua, WANG Guo-dong \(东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁, 沈阳, 110004\)](#), [董瑞峰, 闫波, DONG Rui-feng, YAN Bo \(包钢钢铁股份有限公司薄板坯连铸连轧厂, 内蒙古, 包头, 014010\)](#)

刊名: [轧钢](#) [ISTIC](#) [PKU](#)

英文刊名: [STEEL ROLLING](#)

年, 卷(期): 2007, 24(2)

被引用次数: 3次

参考文献(6条)

1. [刘彦春;董瑞峰;屈文胜](#) CSP线生产C-Mn系热轧双相钢的工业试验[期刊论文]-[轧钢](#) 2006(04)
2. [张世中](#) 钢的过冷奥氏体转变曲线图集 1993
3. [马鸣图;吴宝榕](#) 双相钢—物理和力学冶金 1988
4. [崔忠圻](#) 金属学与热处理 1996
5. [王国栋;刘相华;吴迪](#) 节约型钢铁材料及其减量化加工制造[期刊论文]-[轧钢](#) 2006(02)
6. [Buzzichelli G;Anelli E](#) Present Status and Perspectives of European Research in the Field of Advanced Structural Steels[外文期刊] 2002(42)

引证文献(3条)

1. [付天亮;赵大东;王昭东;王国栋;闫金龙](#) 中厚板UFC-ACC过程控制系统的建立及冷却策略的制定[期刊论文]-[轧钢](#) 2009(3)
2. [董瑞峰;孙丽钢;刘哲;刘彦春;王国栋](#) 汽车结构用590MPa级热轧双相钢的开发[期刊论文]-[轧钢](#) 2008(1)
3. [王国栋;刘相华;孙丽钢;刘哲;刘德勤](#) 包钢CSP“超快冷”系统及590 MPa级C-Mn低成本热轧双相钢开发[期刊论文]-[钢铁](#) 2008(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zg200702002.aspx