

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20180356

热宽带钢无头轧制技术进展及趋势

康永林, 田 鹏, 朱国明

(北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 首先回顾分析了热宽带钢无头轧制技术的发展历程及趋势, 针对不同工艺流程生产热宽带钢的冶金工艺特征进行了比较; 其次, 从无头轧制板带产品的尺寸精度、组织性能均一性、稳定批量生产超薄规格板带、成材率及工序能耗以及钢材品种和应用等方面, 总结分析了我国热宽带钢无头轧制技术开发及应用进展情况; 同时, 结合实例具体讨论了无头连铸连轧(ESP)生产低碳/微碳钢工艺及组织性能分析与控制方法; 最后, 结合我国热轧板带的产线、产能、产品等实际情况提出了发展热宽带钢无头轧制技术的建议。

关键词: 热宽带钢; 无头轧制; 尺寸精度; 超薄规格; 组织性能; 成材率; 工序能耗

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2019)03-0001-08

Progress and trend on hot wide strip endless rolling technology

KANG Yong-lin, TIAN Peng, ZHU Guo-ming

(School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Firstly, the development history and the trend of the hot wide strip endless rolling technology are reviewed and the metallurgical process characteristics of the hot wide strip produced by different process are compared. Secondly, from the aspects of the size precision and the uniformity of microstructure-properties for the endless rolled strip, the stable mass production of extra-thin strip, the yield rate, the process energy consumption, as well as steel varieties and applications, the development and application of the hot wide strip endless rolling technology in China is summarized and analyzed. At the same time, microstructure-properties analyses and process control methods of the endless rolled low carbon/extra low carbon steel are discussed in detail with examples. Finally, development proposals for the hot wide strip endless rolling technology are proposed in combination with the actual production conditions of production lines, the capacity and products in China.

Key words: hot wide strip; endless rolling; size precision; extra-thin strip; microstructure-property; yield rate; process energy consumption

据不完全统计,到2018年上半年,中国已投产热宽带钢生产线96条,其中常规热连轧线71条,炉卷轧机产线7条,CSP/FTSR/ASP/ESP短流程线18条,总设计产能为2.843 3亿t,其中近几年投产ESP生产线4条^[1-2]。从热宽带钢产品特点及发展来看,高强及超高强钢、薄及超薄规格带钢比例明显增加,竞争更加激烈。缩短工艺流程、部分“以热代冷”、低成本、高性能、节能减排、绿色化制造仍然是热宽带钢的主要发展方向。开发和发展无头轧制技术,在提高超薄规格带钢产品比例、成材率、尺寸形状精度和组织性能均一性,降低能耗、辊耗以及节能减排方面取得了显著成效。

目前,实现热宽带钢无头轧制的技术有两种:一是在常规热连轧线上,在粗轧与精轧之间将粗轧后的高温中间坯在数秒之内快速连接起来,在精

轧过程实现无头轧制,1996年日本川崎制铁第三热轧厂首次实现常规热连轧线改造后的无头轧制^[3];二是无头连铸连轧,意大利阿维迪公司于2009年建设投产了世界上第一条ESP线,大批量生产出超薄热宽带钢^[4]。同常规热连轧相比,采用将多块中间坯快速连接后进行无头轧制的成材率平均提高1%~2%,辊耗降低约2%^[5];采用无头连铸连轧的ESP技术不仅可使成材率进一步提高,而且单位能耗比常规热连轧降低约45%^[6]。因此,在新的市场技术环境下,常规热连轧线、薄板坯连铸连轧线以及无头连铸连轧线形成了新的竞争,如何发挥各流程的特点实现创新发展,在生产薄和超薄规格板带、节能减排、低成本、大批量生产高性能板带材上形成新的优势,是一个值得深入研究思考的课题。

作者简介: 康永林(1954—),男,博士,教授; **E-mail:** kangylin@ustb.edu.cn; **收稿日期:** 2018-09-19

1 热宽带钢无头轧制技术的发展历程及趋势

最初提出热带无头轧制技术在于解决间断轧制问题的同时超越其限制,主要有:通过无头尾连续轧制解决穿带问题;通过连续稳定轧制提高板带组织性能稳定性、均一性、尺寸形状精度和成材率;通过提高连接部位穿带速度并使间隙时间为零提高生产效率;生产超越过去极限轧制尺寸的超薄带钢或宽幅薄板,以及通过稳定的润滑工艺和强制冷却轧制生产高性能新品种(超薄超深冲钢、高强/超高强钢)等^[1]。后来发展到薄板坯连铸连轧半无头轧制、全无头连铸连轧(ESP),进一步节约能源提高

效率,近20年来,无头轧制技术在常规连铸连轧、薄板坯连铸连轧上都得到了全新的发展。

图1所示为热宽带钢无头轧制技术的发展历程。到目前,在常规热连轧线实现无头轧制的有日本的JFE、新日铁以及韩国浦项,已建成投产的ESP/CEM线6条(意大利阿维迪1条ESP线,韩国浦项1条CEM线^[7-8],中国日钢4条ESP线),2018年底到2019年将建成投产的无头连铸连轧线5条(中国首钢1条MCCR线,唐山全丰1条节能型-ESP线,日钢及福建鼎盛各1条ESP线,伊朗1条ESP线),中国其他地方企业还有可能上3~5条无头轧制线。到2020年前后,中国无头连铸连轧生产线将可能达到11~13条。

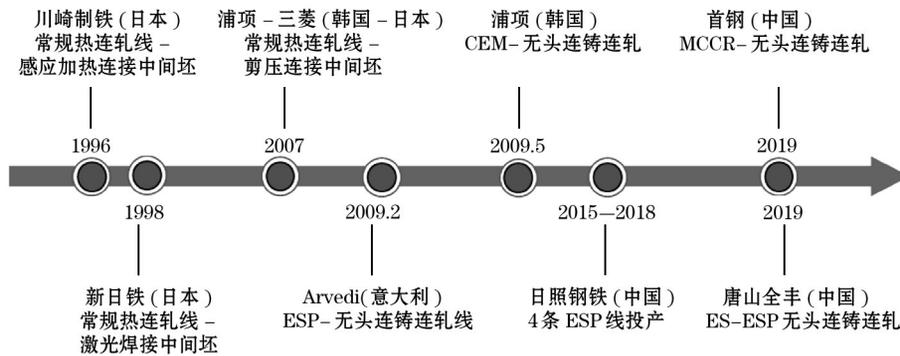


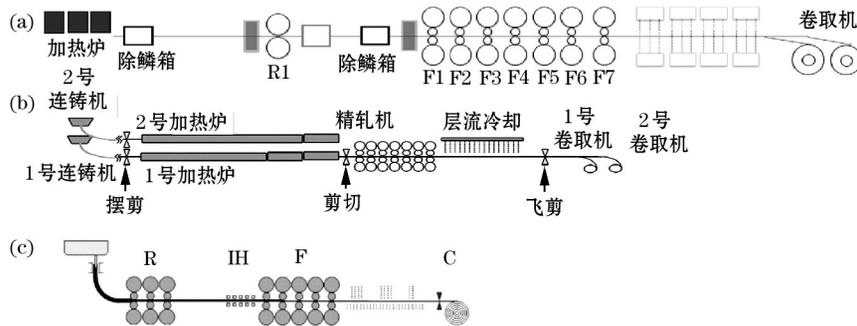
图1 热宽带钢无头轧制技术的发展历程

Fig. 1 Development of hot wide strip endless rolling technology

2 不同工艺流程生产热宽带钢的冶金工艺特征比较

图2所示为常规热连轧、薄板坯连铸连轧半无头轧制、ESP无头连铸连轧工艺产线示意图。图3所示为常规热连轧、薄板坯连铸连轧半无头轧制、ESP无头连铸连轧工艺流程生产热宽带钢的物理冶金过程热历史比较^[9]。其中:(1)从连铸钢水凝固到

轧制成板带材产品,常规热连轧铸坯冷装(CSR-CC, Conventional Strip Rolling-Cold Charging)→加热→轧制全部时间约需3~5天,铸坯加热时间约为180 min,中间产生 $\gamma_{(1)} \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma_{(2)} \rightarrow \alpha$ 多次相变;常规热连轧铸坯热送热装(CSR-HC, Conventional Strip Rolling-Hot Charging)→加热→轧制约需180 min,铸坯加热时间约为130 min,中间同样产生 $\gamma_{(1)} \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma_{(2)} \rightarrow \alpha$ 多次相变,但 $\gamma_{(1)} \rightarrow \alpha$ 相变后停留的时间很短,



(a) 常规热连轧生产线; (b) 薄板坯连铸连轧生产线; (c) ESP无头连铸连轧生产线。

图2 热宽带钢生产线示意图

Fig. 2 Layout of hot wide strip lines

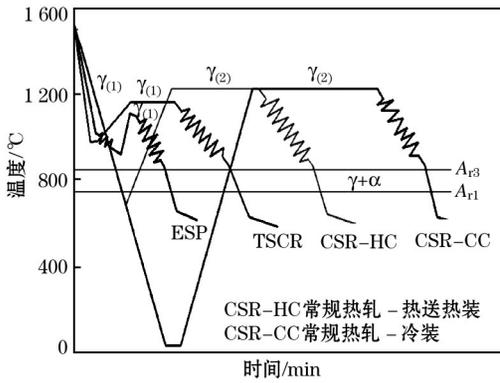


图3 不同工艺流程生产热宽带钢的物理冶金过程热历史比较

Fig. 3 Temperature variation contrast for different hot wide strip rolling process

高温热送热装还可能不产生中间的 $\gamma_{(1)} \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma_{(2)}$ 相变; (2)薄板坯连铸连轧(Thin Slab Casting and Rolling, 简称 TSCR)约需 30 min, 铸坯加热约为 25 min, 铸坯在 $\gamma_{(1)}$ 状态下经过均热-直接轧制后冷却到 α 相区; (3)无头连铸连轧(Endless Strip Production, 简称 ESP)仅需约 7 min, 中间坯感应加热仅需 10~20 s, 铸坯在 $\gamma_{(1)}$ 状态下经过粗轧→中间坯经感应加热到约 1 150 °C→经过精轧后冷却到 α 相区。

由此可见,不同工艺流程生产热宽带钢的物理冶金过程热历史具有明显的差别,即使对于同一冶金成分钢种生产的板带产品,这一工艺过程差别也必将影响板带的组织转变、晶粒尺寸、析出粒子的尺寸、形态及其分布,从而影响板带的最终性能。因此,在采用不同的热轧工艺生产板带产品时,需

要结合工艺流程特征进行合理的工艺控制规程设计,才能得到所需要的产品组织和性能。

3 中国热宽带钢无头轧制技术开发及应用进展

中国学者对热宽带钢无头轧制技术的关注从 21 世纪初开始^[5],随后开展了常规流程中间坯快速连接技术以及 CSP 线半无头轧制技术的集成创新和产业化实践,实现大批量生产高质量薄规格及超薄规格宽带钢的推广应用^[10-13]。2015 年,山东日照钢铁公司(简称日钢)从 Arvedi 引进第 1 条 ESP 线投产,到 2018 年 3 月,日钢第 4 条 ESP 线投产。与此同时,在加热、除鳞以及工艺布置方面均有创新的首钢多模式无头连铸连轧线(MCCR 线)、唐山全丰的节能型-ESP 无头连铸连轧线将在 2020 年前建成投产。

日钢 ESP 线自 2015 年建成投产后,近 3 年在 ESP 工艺技术集成优化、超薄宽带钢大批量稳定生产、节能减排、板带表面质量及板厚板形精度控制、系列高强及超高强钢品种开发、市场开拓、通过产学研合作进行低碳/超低碳超薄宽带钢工艺及组织性能控制机理与板带强度、塑性控制技术 & 超薄宽带钢应用技术等方面进行了大量创新性工作,取得了显著的成效。

日钢 ESP 全工艺流程如图 4 所示^[6]。铁水依次经过转炉、LF 炉、RH 冶炼精炼后到达 ESP 生产线,ESP 生产线主要包括连铸、粗轧、摆剪、转鼓剪、感应加热、高压除鳞、精轧、层流冷却、高速飞剪、卷取等工艺设备。ESP 生产线设备布置紧凑,连铸机设计

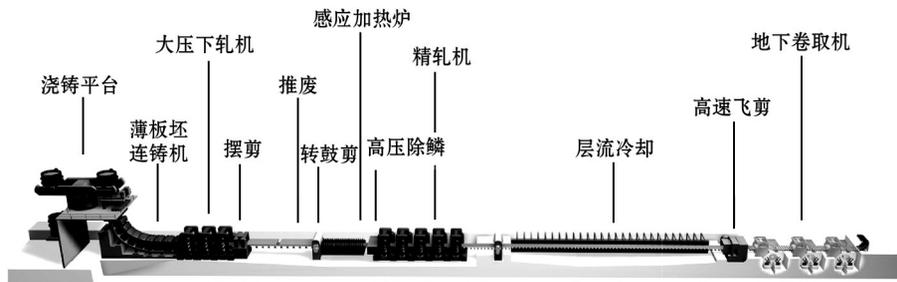


图4 日钢 ESP 生产线工艺流程

Fig. 4 ESP line process of Rizhao Steel

最高拉速达 7.0 m/min, 铸坯到大压下轧机的表面温度为 1 200 °C 左右,中心温度为 1 350 °C 左右,感应式加热器共 12 个模块,总温升可达 300 °C。五机架精轧机配有 Smart Crown 辊,将 10~18 mm 的中间坯轧制到厚度为 0.8~6.0 mm 钢带,整个生产线从连铸到成品卷取机全长为 191 m,采用无头轧制可

使成材率进一步提高,钢水到热轧卷的收得率为 97%~98%^[6]。ESP 产品的主要特点如下。

(1) 尺寸精度。与常规热连铸及薄板坯连铸连轧单坯轧制相比,经开浇穿带后 ESP 整条产线由钢带相连,无头轧制过程无穿带、甩尾,带钢全长温度均匀,轧制过程稳定性大大提高,在确保钢卷厚度

及宽度精度的同时使0.8~1.2 mm热轧带钢的轧制成为可能,板带厚度精度见表1^[6]。ESP产品规格及公差如图5所示。由图5可以看出,ESP产品厚度公差范围不到常规热轧产品的1/2,且优于同规格冷轧标准和汽车用钢标准^[4]。

(2) 组织性能均一性。图6所示为ESP线生产2.5 mm规格RE700MC钢卷长度、板宽方向组织性能检测结果。钢卷长度方向强度波动小于30 MPa,

板宽方向强度波动小于5 MPa,晶粒度为13.5级,组织细小均匀^[6]。

表1 ESP与常规热轧产线(HSM)厚度精度对比
Table 1 Comparison of thickness accuracy between ESP and Hot Strip Mill (HSM for short) μm

产线	$H \leq 2.0$ (本体)	$H \leq 2.0$ (头尾)	边降
HSM	± 50	± 100	70~100
ESP	± 14	± 14	50~70

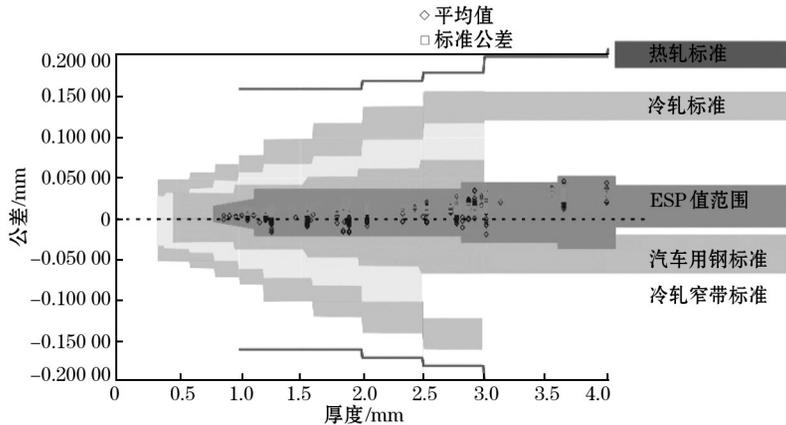
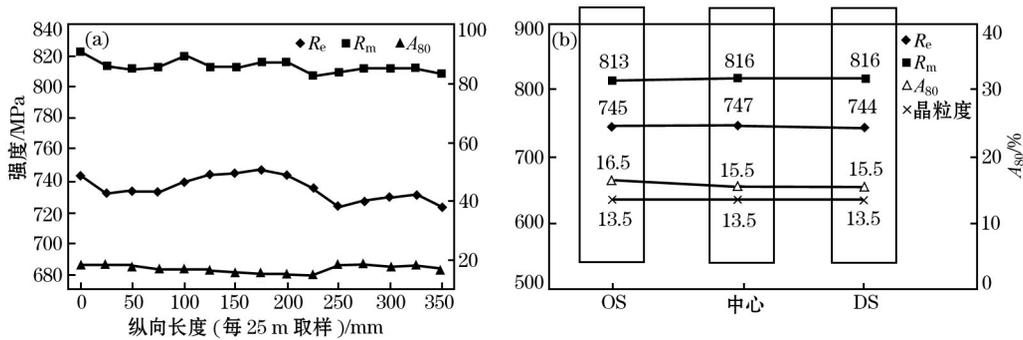


图5 ESP产品规格及公差

Fig. 5 Standard and tolerance of ESP products



(a) 钢卷长度方向性能; (b) 板宽横向性能及组织。

图6 ESP RE700MC-2.5 mm产品力学性能

Fig. 6 Mechanical properties of ESP RE700MC-2.5 mm products

(3) 稳定批量生产超薄规格板带。由于ESP产线先进、紧凑的工艺装备和批量化连铸连轧的生产特点,能稳定、可靠、高精度地生产普通低碳超薄板及高强度超薄热轧板产品。ESP线无头轧制生产板带产品范围同常规热连轧的对比见表2,ESP产品全长厚度均匀、钢卷头尾平齐,客户使用成材率可提高1%以上。4条产线年产量可达到836万t,其中产品厚度不大于1.5 mm比例达到50%以上,厚度不大于2.0 mm比例达到85%^[6]。

品种钢方面,ESP可稳定生产板厚为1.2~2.0 mm的热轧DP590双相钢,屈服强度380 MPa级板厚为

表2 ESP与常规热轧产线可生产规格对比
Table 2 Comparison of production specifications between ESP and HRM

产线	厚度/mm									
	0.8	1.0	1.2	1.5	...	4.5	5	6	7	8
ESP	无头轧制						—			
HSM	—		单块轧制							

1.0 mm、屈服强度500 MPa级板厚为1.2 mm、屈服强度700 MPa级板厚为1.5 mm的低合金高强度钢,碳质量分数为0.52%的1.5 mm厚的中高碳钢,以及

1.47 mm 厚的集装箱用钢等优质薄规格产品。与常规热轧产线及薄板坯连铸连轧产线相比,同强度级别产品 ESP 线能够做到更薄规格,酸洗平整后表面质量及尺寸精度可接近冷轧级别,可部分代替冷轧产品,大大降低产品能耗及成本^[6]。由于 ESP 无头轧制模式下无每卷穿带、甩尾、跑偏等影响卷形因素,基本可杜绝头塔、尾塔等卷形问题,热卷卷形良好,产品在下游客户中可有效减少切损损失,提高产品成材率^[4]。根据 ESP 产线的生产实践,不大于 1.2 mm 薄规格热带钢月比例在 21%~40%,其中典型浇次内厚度为 0.8 mm 极薄规格热带钢占比可达 14%,不大于 1.2 mm 规格占比 66%,不大于 1.5 mm 规格热带钢占比 80%,目前最薄可生产厚度为 0.6 mm 超薄热带钢。

(4) 成材率及工序能耗:ESP 产线由于减少了

常规热连轧生产过程中头部、鱼尾的切除,因此,切损少、成材率高,ESP 线成材率在 96.5%~97.5%,减少了切损的成本,极大增加了金属的收得率。ESP 产线的工序能耗一般为 762~821 MJ/t,与常规产线相比,能耗可以节省 40%~50%,降低了成本,减少了碳排放。

(5) 钢材品种及应用。ESP 生产线产品大纲包含低碳钢、中碳钢、高碳钢、低合金高强钢、双相钢、集装箱用钢、电工钢等产品,并为热镀锌产品提供热轧基料,见表 3^[6]。其中厚度为 0.8~2.0 mm 的低碳钢通过酸平工艺处理后可部分替代冷轧产品,广泛应用于电气柜、门业、消防器材、钢桶等行业;高碳钢广泛应用于链条、量具、刀具等行业;低合金高强钢屈服强度级别涵盖 340~700 MPa,厚度及宽度规格涵盖 (1.0~3.5) mm×1 250/1 500 mm。

表 3 ESP 产线可以生产的钢种及牌号
Table 3 Production that ESP line can produce

品种	牌号
SAPH 系列	SAPH370、SAPH400、SAPH440
QStE 系列	QStE340/380/420/460/500/550/600/650/700TM
REXT 系列	RE500/550/600/650/700/800XT
SMC 系列	S355/420/460/500/550/600/650/700MC
大梁钢系列	RE510L/610L/700L/800L
双相钢系列	DP540/DP590/DP780/FB450/FB540/FB590
高碳钢系列	40Mn/40 号/45Mn/45 号/50Mn/50 号/55Mn/65Mn/75Cr1
中碳钢系列	Q235B/Q345B/Q390/Q420
镀锌产品	DX51D+Z/SGCC/CSB/S220/280/320/350DG+Z/SGH340/400/440/490/SGHC
耐候钢系列	SPA-H/S355J0W/S355J2W/S355K2W/NH550/NH700MC
电工钢	RW1300/800

ESP 线已成功开发出符合日标、德标、欧标及国家标准等标准汽车结构用钢产品,广泛应用于制作汽车座椅、加强件等车身零部件,产品成形性能、尺寸公差和表面质量均能满足用户需求。高碳钢产品在厚度精度、性能稳定、通卷性能各向同性、产品表面极薄脱碳层等方面具备优势,尤其凭借热轧薄规格不大于 1.5 mm 的独有能力,实现以薄代厚、“以热代冷”,扩大市场占有率,使用的规格多为 1.2~3.5 mm。ESP 部分镀锌产品广泛应用于电气柜、电缆桥架、通风管道等,结构钢产品几乎涵盖了 ESP 产品 0.8~4.0 mm 的所有规格。SPHC-CY 和 RECD 等牌号产品的使用涵盖了 1.0~4.0 mm 等主要规格,其中以不大于 2.0 mm 厚度规格产品为主。门业应用的产品中,市场应用的主要规格为 1.2~2.0 mm,产品

因具有较高的强度并兼具较好的伸长率,通过表面优化后,得到客户较大程度的认可^[6]。

4 ESP 生产低碳/微碳钢工艺及组织性能分析与控制

图 7 所示为 ESP 线生产低碳/微碳钢的工艺示意图,板带产品厚度为 0.8~2.0 mm。图 8 所示为不同拉速及中间坯厚度 h_i 条件下的感应加热时间 τ_R 。由图 8 可见,如果拉速为 5.5 m/min、中间坯厚度 $h_i=10$ mm 时,感应加热时间仅为 10.9 s;当中间坯厚度 h_i 增加到 18 mm,感应加热时间也仅有 19.6 s。因此,在此极短的加热时间内,中间坯的温度场很难达到均匀,将会引起沿板带厚度方向的组织不均,从而影响板带力学性能。

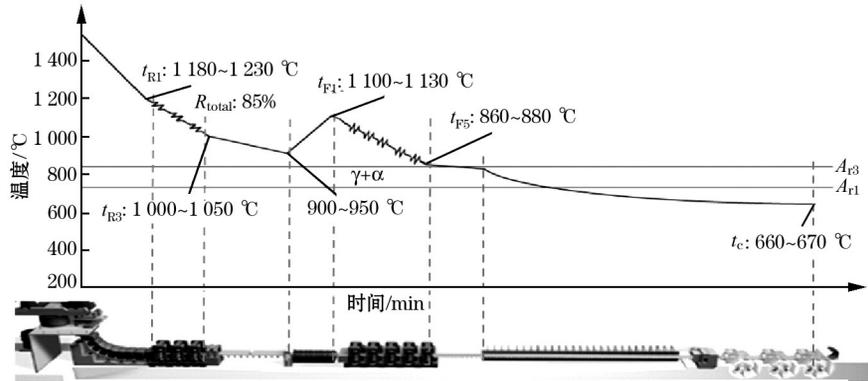


图 7 ESP 线生产低碳/微碳钢的工艺示意图

Fig. 7 Representative process of producing low carbon/extra low carbon steel by ESP line

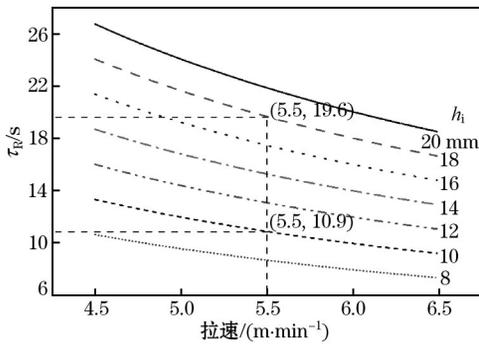
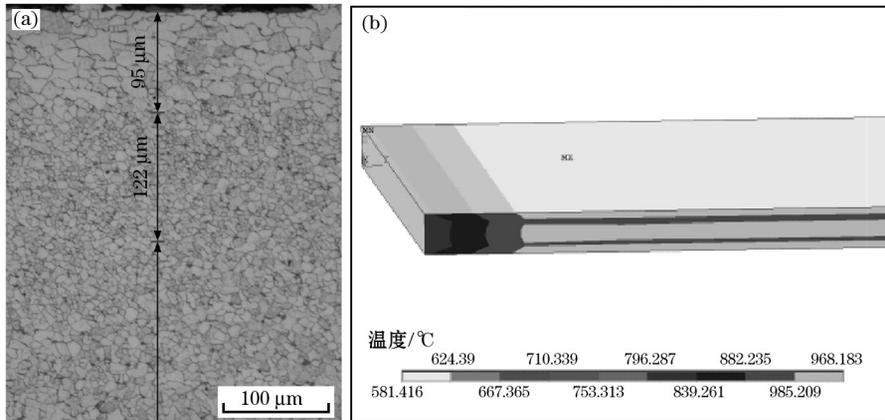


图 8 不同拉速及中间坯厚度 h_i 条件下的感应加热时间 τ_R
Fig. 8 Induction heating time τ_R under different casting speeds and intermediate slabs thickness h_i

图 9 所示为板厚 1.5 mm 低碳钢板厚度方向的组织分布与中间坯温度场分布的比较。由图 9 可

见,温度场分布的不均匀性与板带厚度方向组织不均匀性具有对应关系。对此,在设计新的板带无头连铸连轧生产线时,有的设计考虑了连铸板坯及中间坯温度均匀性的加热/均热方法和设备以及能耗问题,在粗轧前(或前后)设置了隧道炉,或不采用中间坯感应加热的方法。

生产实践发现,通常情况下,与常规流程相比,ESP 工艺生产的低碳/微碳薄板的强度及屈服比偏高、塑性偏低、时效性明显等。实测结果表明,超薄规格(板厚不大于 1.5 mm)板带的晶粒尺寸多在 5~10 μm ,同时存在大量的 20 nm 以下的碳化物析出粒子,并且钢中的固溶碳质量分数也明显偏高(轧后 1 个月内,低碳钢中的固溶碳质量分数为 0.000 6%~0.000 9%,微碳钢中的固溶碳质量分数



(a) 厚度方向的组织分布; (b) 中间坯温度场分布。

图 9 1.5 mm 低碳钢板厚度方向的组织分布与中间坯温度场分布比较

Fig. 9 Comparison of microstructure distribution for 1.5 mm low carbon steel sheet and temperature field distribution for intermediate slab

为 0.001 5%~0.002 0%)^[9]。分析认为,产生这一组织性能的原因与 ESP 的工艺特征密切相关,高拉速

下的连铸坯中心刚刚凝固后,在高温(中心温度超过 1 300 $^{\circ}\text{C}$)下即进入三机架大压下粗轧,道次变形

量在 55%左右,板坯产生高温奥氏体再结晶细化,经粗轧后在很短时间内感应加热到 1 130 ℃左右再经五机架较大道次变形量连轧,随后快速冷却到 650 ℃左右卷取,这一轧制-冷却过程极易产生细晶/超细晶组织、大量的纳米碳化物以及来不及聚集的固溶碳。

在基本搞清工艺及组织性能影响机理的基础上,为了解决 ESP 工艺生产低碳/微碳钢板强度偏高问题,主要采取 3 方面工艺改进优化探索工作,取得初步结果如下:(1)轧制工艺优化。通过优化粗轧变形制度、中间坯厚度、精轧变形制度、层流冷却工艺及路径以及卷取温度等,使低碳/微碳钢板带的屈服强度降低 15~30 MPa。(2)在钢中添加微量钛、硼元素。通过在钢中添加 0.010%~0.015%(质量分数)的钛或添加 0.001 0%~0.002 0%(质量分数)的硼,使板带钢的屈服强度降低 10~20 MPa。(3)铁素体轧制。对于低碳(LC)钢,尤其是微碳钢或超低碳钢,通过铁素体轧制,使板带钢的屈服强度降低 30~60 MPa。实际上,与常规连铸连轧及薄板坯连铸连轧单坯轧制相比,由于无头连铸连轧工艺的刚性大,实际操作上可调整的工艺参数很多受限,对于以上 3 种改善低碳/微碳钢强度及塑性的工艺控制难度要大得多,因此,需要紧密结合无头轧制产线控制系统进行工艺探索与优化调整。

5 结论

(1)受“以热代冷”、降低成本、节能减排、缩短流程、提高效率等因素的驱动,市场对高性能薄/超薄规格热宽带钢产生不断增长的需求,常规流程、薄板坯连铸连轧以及无头连铸连轧产线在热轧超薄宽带钢方面的激烈竞争不可避免。

(2)无头连铸连轧生产高品质超薄宽带钢的技术关键在于高拉速条件下的铸坯缺陷与质量控制技术、中间坯加热技术、表面质量及组织性能控制技术。

(3)由于无头连铸连轧产线的短流程、近终型、高刚性等特征,在工艺过程控制、组织性能控制及产品开发方面具有明显不同于常规流程和薄板坯连铸连轧单坯轧制的特点,需要结合这些新的工艺特点进行相关的应用基础研究及应用研究。

(4)综合考虑中国热宽带钢的产能现状、投资成本以及产品竞争力等问题,发展无头轧制技术的重点应是对现有常规热连轧线或薄板坯连铸连轧线进行创新的局部技术与装备改造实现无头轧制。

(5)中国目前已是世界上具有最全的各种短流程产线类型以及最多的热宽带钢无头轧制产线的国家,完全具备在此基础上创新发展具有自主知识产权的绿色化、智能化的无头轧制技术。

参考文献:

- [1] 康永林,朱国明.热轧板带无头轧制技术[J].钢铁,2012,47(2):1.(KANG Yong-lin, ZHU Guo-ming. Hot strip endless rolling technology[J]. Iron and Steel, 2012, 47(2): 1.)
- [2] MAO Xin-ping, WANG Shui-ze. Exploration and innovation: 30 Years' development of thin slab casting and direct rolling technology[C]//Proceedings of 2018 International Symposium on Thin Slab Casting and Direct Rolling. Wuhan: The Chinese Society for Metals and BAOWU Steel Group, 2018: 25.
- [3] 二階堂英幸. 熱間圧延においておいてのジェーン圧延技術の開発[C]//日本西山技術講座. 東京: 日本鉄鋼協会, 1998: 79.
- [4] Aldo Mantova, Alessandro Rizzi. Arvedi ESP®-Experience with endless rolling for ultrathin strip production[C]//Proceedings of Rolling 2013. Vinice: Associazione Italiana Di Metallurgia, 2013: 26.
- [5] 康永林,周成.板带热轧无头轧制技术分析及其应用进展[J].山东冶金,2004,26(5):1.(KANG Yong-lin, ZHOU Cheng. Technological analysis on endless hot rolling of steel sheets and its application progress[J]. Shandong Metallurgy, 2004, 26(5): 1.)
- [6] QIN Zhe, YU Yao, ZHAO Wen, et al. Development and application of ESP products in Rizhao Steel//Proceedings of 2018 International Symposium on Thin Slab Casting and Direct Rolling. Wuhan: The Chinese Society for Metals and BAOWU Steel Group, 2018: 49.
- [7] LEE Jong-Sub, KANG Youn-Hee, WON Chun-Soo, et al. Development of a new solid-state joining process for endless hot rolling[J]. Iron and Steel Technology, 2009(8): 48.
- [8] LEE Sang Hyeon. CEM® process: POSCO's innovative endless rolling process of TSCR[C]//Proceedings of 2018 International Symposium on Thin Slab Casting and Direct Rolling. Wuhan: The Chinese Society for Metals and BAOWU Steel Group, 2018: 12.
- [9] KANG Yong-lin, TIAN Peng, CHEN Liang, et al. Characteristics analysis of process, microstructure and properties of hot rolled low-carbon/extra low-carbon steels by ESP[C]//Proceedings of 2018 International Symposium on Thin Slab Casting and Direct Rolling. Wuhan: The Chinese Society for Metals and BAOWU Steel Group, 2018: 33.
- [10] 康永林.热轧带钢无头轧制中间坯的连接方法:中国,ZL201010289783.1[P]. [2011-04-20]. (KANG Yong-lin. Intermediate Slab Connection Method of Hot Rolled Strip Endless Rolling: China, ZL201010289783.1[P]. [2011-04-20].)
- [11] 康永林,朱国明,宇航.一种热轧带钢中间坯的快速连接模具及方法:中国,ZL201510225021.8[P]. [2015-08-05]. (KANG

Yong-lin, ZHU Guo-ming, YU Hang. A Quick Connection Die and Method for Hot Rolled Strip Intermediate Billet: China, ZL201510225021.8[P]. [2015-08-05].)

[12] 康永林,周明伟,焦国华,等.半无头轧制高质量薄规格宽带钢技术开发与应用[C]//第八届(2011)中国钢铁年会论文集.北京:中国金属学会,2011:202.(KANG Yong-lin, ZHOU Ming-wei, JIAO Guo-hua, et al.Technology development and application of semi-headless rolling high-quality thin strip production[C]//Proceedings of the 8th (2011) China Iron and Steel Annual Conference.Beijing: The Chinese Society for Metals, 2011:202.)

[13] 康永林,周明伟,刘旭辉,等.半无头轧制薄规格带钢的组织性能与板形[J].钢铁,2012,47(1):44.(KANG Yong-lin, ZHOU Ming-wei, LIU Xu-hui, et al. Microstructure-properties and profile of thin strip by semi-headless rolling[J]. Iron and Steel, 2012, 47(1):44.)

[14] 喻尧,郑旭涛.日照钢铁ESP无头带钢生产技术[J].连铸,2016,41(5):1.(YU Yao, ZHENG Xu-tao. Endless strip production technology in Rizhao Steel Company[J]. Continuous Casting, 2016, 41(5):1.)



普锐特冶金技术提供的二次冷轧机在上海宝钢投产

普锐特冶金技术提供的一套新建二次冷轧机(DCR)在中国钢铁企业宝山钢铁股份有限公司(宝钢)的上海工厂投入运行。这套DCR的设计能力为每年处理205 000 t冷轧带钢,是宝钢镀锡板产品结构优化项目的组成部分。它既可以采用冷轧/平整模式,也可以采用平整模式运行。处理后的带钢将被用于饮料罐、金属盖和电气部件等的制造。普锐特冶金技术是在2016年12月获得该合同的。

宝山钢铁股份有限公司隶属于新组建的中国宝武钢铁集团有限公司,年产量约为6 540万t(2017年),是世界第二大钢铁企业。宝钢面向国内和国际市场生产优质产品。

普锐特冶金技术提供的这套DCR年产能力为205 000 t,

最高运行速度为1 500 m/min。它包括两个UCM机架,既能执行二次冷轧,也能进行单机架平整轧制。

在执行DCR工艺时,经过连续冷轧机轧制的退火带钢在1号机架进行压下轧制,在2号机架进行平整轧制。该工艺能够使带钢达到规定的机械强度。1号机架可以使用两个不同直径的工作辊。在执行单机架平整轧制时,带钢在2号机架进行平整轧制以达到规定的伸长率,从而获得期望的力学性能。

DCR对PLTCM生产的带钢作进一步处理。入口带钢厚度为0.17~0.55 mm,出口厚度为0.12~0.36 mm。带钢宽度为700~1 230 mm。钢卷直径为2 000 mm,最大卷重可达24.15 t。钢种包括DR7~DR10。