

# 现代连铸技术进展

—第7届全国连铸学术年会论文集

《全国连铸学术年会论文集》编委会 编

冶金工业出版社

# 现代连铸技术进展

——第7届全国连铸学术年会论文集

《全国连铸学术年会论文集》编委会 编

北京

冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书收录了中国金属学会连铸分会第7届全国连铸年会征集的论文51篇,涉及连铸工艺、设备与自动化、连铸保护渣、电磁搅拌、连铸耐火材料、铸坯质量、薄板坯连铸技术,有关的连铸新技术等7个部分内容。本书可供冶金企业的炼钢及连铸技术人员、管理干部参考,可供高等学校和研究院所的冶金、机械技术工作者参考,同时对从事炼钢及连铸相关技术的人员也是一本可参考的读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代连铸技术进展:第7届全国连铸学术年会论文集/  
《全国连铸学术年会论文集》编委会编. —北京:冶金工业出版社,  
2003.12. ISBN 7-5024-3383-X

I. 现… II. 全… III. 连续铸造—学术会议—文集 IV. TG249.7-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第096001号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 葛志祺 美术编辑 王耀忠

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 李玉山

北京铁成印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2003年12月第1版,2003年12月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;22.75印张;548千字;353页;1—1500册

48.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 《全国连铸学术年会论文集》

## 编委会成员

主任 韩国瑞

副主任 蔡开科 葛志祺

委员 王中元 万体娅 关杰 许宏伟

余志祥 易本熙 张如斌 倪满森

康 复 谢 兵

## 前 言

20世纪80年代以来,我国连铸生产和连铸技术的进步,推动了整个钢铁行业的发展。连铸技术作为钢铁工业水平的标志,已经成为钢铁生产发展的主要技术动力。进入新世纪,中国以崭新的姿态面向世界。我国钢铁生产取得了举世瞩目的成就,连铸技术也取得了非常大的进步。连铸新技术、新工艺、新材料、新品种不断出现。连铸技术已成为冶金行业一颗璀璨的明珠受到广泛的关注和青睐。从生产指标的巨大变化可见:连铸比从1979年的4.4%已上升到今年上半年的94%。连铸机从80年代屈指可数的几台到今年已经达到约550台。连铸的品种开发和铸坯质量也有了长足的进步。目前,新投产的连铸机还在增加,一大批高水平的现代化炼钢—连铸生产企业顺利建成。我国的连铸生产能力和技术水平发展令国人感叹,令世界瞩目。

伴随着连铸技术的发展,连铸技术队伍也在不断成长壮大,优秀的青年科技人员和杰出的人才不断涌现。技术的进步和科技队伍的发展需要学术这个平台。20年来,中国金属学会连铸分会在总会领导下与时俱进,配合形势发展,共举办过6届全国连铸学术年会,数十次专题、规模和形式不同的技术交流会、研讨会、培训班和技术咨询活动,为繁荣学术、促进技术进步起到了良好的作用。尤其全国学术年会,已经成为团结、动员和组织全国乃至海外连铸工作者开展技术活动的桥梁和纽带,为广大连铸技术人员搭建了交流、切磋的大平台。在全国连铸科技工作者的支持和帮助下,连铸分会以蓬勃的朝气和极大的凝聚力团结技术人员携手为连铸的发展贡献力量。今年我们将要召开第7届全国连铸学术年会。为会议的成功召开,也为满足连铸工作者渴望技术读物的需要,特将选录的50余篇论文出版发行,供大家阅读和参考。

目前我国的炼钢—连铸生产正立足于环保型生产流程和现代化的生产方式,以积极响应激烈的市场竞争和可持续发

展的需要，降低成本、扩大品种、提高质量、广泛推广和采用技术创新成果、开发和应用新的前沿技术、进一步推动炼钢—连铸生产的优化。要做好这些工作，我们仍有许多工作要做。目前的形势为连铸技术的发展提供了广阔的空间。我们的学术活动和学术论文出版工作也将配合这一需要，及时地为连铸工作者服务。愿这本书除了向您提供技术帮助外，还将成为架起我们共同为连铸事业再创辉煌的桥梁。

# 目 录

## 品种与生产工艺实践

- 宝钢一连铸分厂品种结构简述 ..... 叶锦渭 (3)
- 管线钢生产工艺优化和纯净度研究 ..... 袁伟霞等 (10)
- 35号、45号钢生产技术研究 ..... 何会琴等 (16)
- 梅山1号连铸机二冷配水工艺优化 ..... 汪洪峰等 (24)
- 唐钢二炼钢厂连铸坯热送热装工艺实践 ..... 史慧艳等 (29)
- 梅山炼钢厂快速更换中间包生产实践 ..... 唐洪乐等 (35)
- 新疆钢铁厂70t电炉—小型热送热装实践 ..... 陈跃军等 (39)
- 鞍钢超低头板坯连铸机浇铸616和Q235-B钢水口结瘤分析 ..... 魏向东等 (44)
- 高拉速小方坯连铸结晶器水口的水模型试验研究 ..... 王雨等 (49)
- 从 ECR 无头连铸连轧工艺及生产实践看实现高效连铸的关键技术 ..... 陈志凌等 (54)
- 关于中高碳钢主要元素在连铸过程中变化规律的探讨 ..... 蒋毅等 (64)
- 水平连铸机漏钢事故分析 ..... 边延君等 (68)

## 连铸坯质量控制及理论研究

- 连铸坯中心缺陷的控制 ..... 蔡开科 (73)
- 板坯连铸结晶器摩擦力实测数据分析 ..... 杜波等 (101)
- 连铸坯对称凝固的研究 ..... 张如斌等 (107)
- 连铸坯表面纵裂纹控制 ..... 蔡开科 (112)
- 高强度 Cu-Cr-Zr 合金结晶器研究 ..... 许军等 (121)
- 连铸坯表面纵裂的形成原因及对策 ..... 丁志龙 (130)
- 矩形坯表面凹陷的研究 ..... 王三忠等 (134)
- 连铸坯理想矫直曲线方程的数值解分析 ..... 景奉儒等 (138)

## 连铸机设计及改造

- 济钢板坯连铸机的技术特点 ..... 易本熙 (147)
- 试论板坯连铸机设备检修队伍的专业化、稳定化、规范化管理 ..... 许晞 (151)
- 首钢第二炼钢厂大板坯连铸机改造实践 ..... 刘建辉等 (157)
- 济钢小方坯连铸机高效改造实践 ..... 闫兴田等 (164)
- 奥钢联与西马克板坯连铸机新技术的发展与研究 ..... 郑群 (169)
- 福建三钢炼钢厂4号连铸机设计要点 ..... 黄俊杰 (178)

新临钢 2 号方坯连铸机技术浅析 .....	畅步云 (183)
------------------------	-----------

## 连铸设备与自动化

连铸机铸流检测技术的开发及其在浦项钢铁公司的应用 .....	J.Y.JEON 等 (191)
首钢二炼钢大板坯连铸机电控改造方案简介 .....	贾立仁等 (196)
连铸喷嘴技术进步的一些特点和趋势 .....	刘 晨 (201)
铸坯导向段辊缝自动调节与轻压下技术 .....	孙 骏 (206)
连铸结晶器钢水液位控制系统分析 .....	谢晓庄 (214)
自动开浇理论与实践 .....	宋 华等 (223)
放射测量及液位控制在连铸上的应用 .....	贺 战等 (228)

## 耐火材料与保护渣

连铸洁净钢用无碳无硅水口的研制 .....	平增福等 (237)
连铸结晶器中保护渣渣膜润滑行为研究现状 .....	蔡 娥等 (242)
结晶器保护渣在选择和使用中值得注意的几个问题 .....	迟景灏等 (248)
板坯连铸保护渣的选择与使用 .....	汪洪峰等 (253)
中间包水口垂直更换的设想 .....	秦建亚等 (258)
长治钢铁(集团)公司中间包镁质涂料的开发与应用 .....	崔永康 (263)

## 电磁搅拌技术

结晶器电磁搅拌技术是一项系统工程 .....	毛 斌 (271)
U71Mn 钢扇形段电磁搅拌工业试验研究 .....	麻永林等 (278)
基于工控机监控和 Profibus-DP 网络的 N 流 M 段 EMS 成套控制系统 .....	李玉梅 (285)
结晶器电磁搅拌技术在特钢连铸上的实践 .....	陈绍勇等 (291)
大方坯连铸电磁搅拌数值模拟研究——电磁场模拟 .....	麻永林等 (298)
电磁搅拌结晶器新材料新工艺试验与研究 .....	王碧文等 (309)

## 薄板坯连铸技术

CSP 薄板坯连铸结晶器流场数值模拟 .....	王 镭等 (315)
国外薄板坯连铸连轧工艺技术现状与发展趋势 .....	吕光荣 (320)
漏斗形薄板坯结晶器内流动与传热行为的数值仿真 .....	张 影等 (331)
薄板坯连铸中间包抑湍器应用的水模实验研究 .....	郑淑国等 (337)
双辊薄带连铸几项关键技术及其解决方案 .....	吕光荣 (342)



# 品种与生产工艺实践

连铸坯质量控制及理论研究

连铸机设计及改造

连铸设备与自动化

耐火材料与保护渣

电磁搅拌技术

薄板坯连铸技术



# 宝钢一连铸分厂品种结构简述

叶锦渭

(宝钢(股份)炼钢厂连铸项目组)

---

**摘要** 本文从连铸角度出发,简介一连铸分厂两台 250mm×1900mm 连铸机的品种结构,从引进的 56 个钢种发展到目前的约 368 个钢种,着重介绍了耐候钢、管线钢、IF 钢等特色产品。

---

## The Outline of Steel Grade Structure of No.1 Continuous Casting Sub-Plant in Baosteel

Ye Jinwei

(Continuous Casting Project Group of Steelmaking Plant of Baosteel Co., Ltd.)

---

**Abstract** In this article, the steel grades produced in the two 250mm×1900mm casters of the No.1 Steelmaking Plant are described. The steel grades increase from 56 steel grades at the very beginning to 368 steel grades now. Some characteristic steel grades are briefly described, such as anti-atmosphere steel, pipeline steel, IF steel etc.

---

### 1 前言

钢铁企业在建厂之前,对将要生产的品种、结构应有基本的规划,据此来决定工艺路线及装备特色。然而市场是变化的。为此,需要扩大品种,开发新产品,以达到企业的最大效益。在此阶段可能要完善原有的工序能力,甚至添加新装置。

钢铁产品品种结构的命题,要从整个企业的角度来介绍比较合适,因为钢铁产品涉及冶炼—浇铸—轧制等工序。而对一个具体钢种的介绍,应涉及“成分—工艺—组织—性能”等方面。工艺方面涉及炼钢—精炼—浇铸—精整—加热—轧制—热处理等。这里仅从连铸角度出发来介绍宝钢一连铸分厂的品种结构。

该厂建有两台 250mm×1900mm 立弯型连铸机,双流机。引进初期确定的产品大纲是为 2050mm 热连轧—2030mm 冷轧机提供坯料,约有 56 个钢种。以 LCAK, MCAK, MCASK 为主,以

一般优质品种卷板为主,为此选用立弯型机组,并配置了KIP,CAS,RH等精炼装置。自1989年7月投产以来,根据市场的需求,产量不断提高,品种逐渐扩大,至今约有368个钢种,2002年生产了530万吨合格坯。并形成以汽车板钢,管线钢,耐候钢等为特色产品。

## 2 钢种的划分

从不同的角度出发可有不同的划分法,本文将从连铸工艺及管理的角度出发来划分。从连铸角度划分钢种,是将相同的工艺要求放在一起。连铸工艺技术的要点有浇注温度,注速,一冷,振动,二冷等。

### 2.1 按碳和脱氧方式划分

#### 2.1.1 钢种数 (表1)

表1 按[C]及脱氧方式和钢种数量划分

分类	UCL		LC		MC		HC	
	AK	ASK	AK	ASK	AK	ASK	AK	ASK
钢种数1	65	0	24	77	57	135	0	10
钢种数2	65		101		192		10	

#### 2.1.2 产量比例 (图1)

### 2.2 按合金元素种类划分

#### 2.2.1 钢种数 (表2)

表2 按合金元素种类和钢种数量划分

分类	碳素钢		特殊钢	
	Mn ≤ 90	UCL	Mn > 90	Nb + V + Ti
钢种数1	250	2	22	94
钢种数2	250	118		

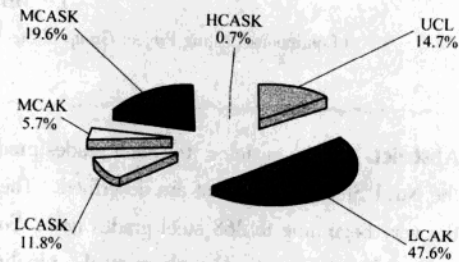


图1 按[C]及脱氧方式划分的产量比例

其中含Cr+Ni+Cu的钢种数包含在含Nb+V+Ti的钢种数中。

#### 2.2.2 产量比例 (图2)

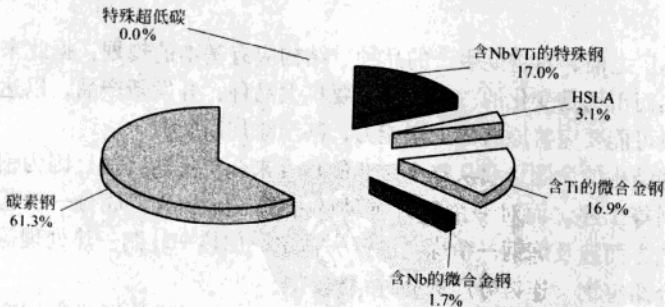


图2 按合金元素划分的产量比例

### 2.3 按用途划分

项目	管线钢	船板	耐候钢	压力容器	汽车 O5	汽车 IF
产量/万吨	39.78	3.25	44.82	6.26	17.50	51.57

### 3 投产初期引进的钢种

20 世纪 80 年代, 我国的连铸技术水平, 除了武钢二炼钢外, 尚处于较低的水平。为此从日本引进了当时较先进的连铸机及一些钢种的生产技术, 包括质量一贯管理技术。

共引进了 56 个钢种, 其中 10 个是参考钢种, 见表 3, 表 4。

表 3 按去向, [C] 量, 脱氧方式划分的钢种数

去向	冷轧	热轧	厚板	按 [C]	L [C]	M [C]	H [C]	脱氧方式	TP	AK	ASK	SK
数量	7	30	19	数量	12	40	4	数量	4	9	39	4

注: TP—低铝镇静钢, 现已取消。L [C] — < 0.08% C, M [C] — 0.08% ~ 0.20% C, H [C] — > 0.20% C。这与有关的标准不同, 主要考虑到连铸工艺技术的需要。

表 4 按连铸过程异常时, 铸坯处置方式来划分 (质量一贯管理)

系列	异常组号	数量	钢种
厚板	A	3 <sup>①</sup>	40kg 级 (S-K 钢)
	B	5	40kg 级 (A-K 钢)
	C	3	50kg 级 (一般)
	D	1	50kg 级 (高强度 S-K 钢)
	E	2	50kg 级 (耐层状撕裂钢)
	F	2 <sup>①</sup>	特殊钢 (40kg 级耐海水腐蚀钢)
	G	1 <sup>①</sup>	特殊钢 (50kg 级耐海水腐蚀钢)
	H	2	特殊钢 (高强度焊接钢)
热轧	I	3	A-K 钢
	J	2	LA A-K 钢
	K	1	MC A-K 钢
	L	5	50kg 级 A-S-K 钢
	M	9	机械结构钢 (S09CK ~ S20C), 管线钢 (Nb 系), 及一般 40kg 级
	N	1	高强度焊接钢
	O	3 <sup>①</sup>	耐大气用钢, 耐硫酸用钢
	P	1 + 1 <sup>①</sup>	机械结构钢 (S35C), 捆带用钢
	Q	4	管线钢 (Nb-V 系)
冷轧镀层	R	4	LC A-K 钢
	S	2	LA A-K 钢
	T	1	MC A-K 钢

① 系指参考钢种。

## 4 重点品种简介

为了能在日趋激烈的国际钢铁市场的竞争中占据有利位置,宝钢近年来不断开发新产品,从炼钢开始,到热轧、冷轧流程,均大力开发并形成了宝钢重点产品生产线。对一炼钢-1CCP方面,主要品种:(注从图3~10的统计为1CCP+2CCP的数据,以1CCP为主)。

### 4.1 耐候钢

耐候钢是由普通钢添加少量铜、磷等耐蚀元素而成,可较普碳钢提高耐候性能2~8倍,涂装性能1.5~10倍,具有所需的强度、韧性(见表5)、可成形性等性能,并可焊接,可广泛用于车船、箱罐、公路护栏等方面,还可用于制造门窗、栏桩和钢结构的主体、管架、覆板等。宝钢目前耐腐蚀用钢主要是耐大气腐蚀用钢。在引进NAW41、NAW50耐候钢基础上,以消化引进为起点,经十余年的研制,已逐步形成具有特色的B300~515NQR等热轧和冷轧产品的耐候钢品种,主要应用在集装箱、车辆和建筑轻钢结构方面。耐候钢产量推移见图3。

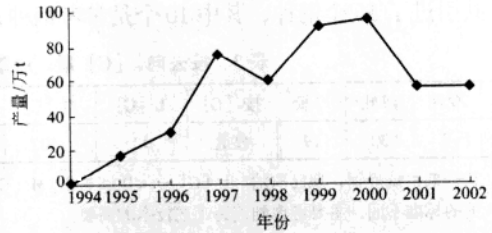


图3 耐候钢产量推移

表5 耐候钢性能指标

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
实测值	700~800	750~880	15~21

炼钢厂已经建立起一套完整的耐候钢生产技术。通过精炼喂丝技术的开发和应用,耐候钢的氮含量有明显的下降,钢水质量得到明显提高。铸坯的主要缺陷是纵裂,为此应在—冷、二冷、连铸保护渣等技术上采取措施。

### 4.2 管线钢

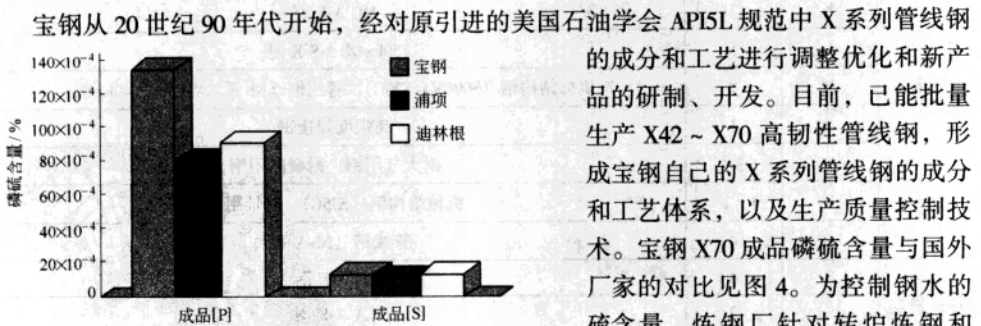


图4 X70成品磷硫含量与国外厂家的对比

LF 深脱硫技术, 完全确保了 X70 管线钢对硫含量的苛刻要求。尽管目前在成品 [P] 的控制上与国外厂家还有差距, 但随着转炉脱磷技改项目的完成和相应的脱磷技术 (BRP) 的开发, 必将缩短与世界先进水平的差距。2002 年 BRP 工艺冶炼 50 余炉钢的平均磷含量为  $71.5 \times 10^{-4} \%$ 。近年来管线钢产量见图 5。管线钢对铸坯内部质量的要求较高, 特别是对 HIC 要求的钢。为此, 应采取能减轻中心偏析、内裂 (中间裂纹) 的措施。

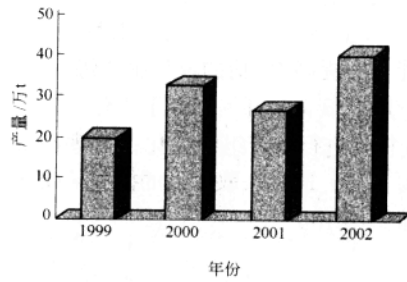


图 5 管线钢产量推移

### 4.3 IF 钢和 O5 板

宝钢从 1990 年开始研发 IF 钢。经过十余年的研制, 目前已经实现大规模生产。2002 年达到 92 万 t, 近年来 IF 钢产量参见图 6。IF 钢中碳含量直接影响到钢材的深冲性能。炼钢厂经过多年的技术攻关和技术改造, 开发了转炉终点碳的控制技术、RH 脱碳技术及防止 RH 后 (包括连铸过程) 钢水增碳技术等多项国内领先技术, IF 钢碳含量逐年降低, IF 钢碳含量参见图 7。炼钢在降低 IF 钢碳含量的同时, 其过程控制能力指数 ( $C_{pk}$  值) 也在不断提高, 目前 IF 钢碳的  $C_{pk}$  值已经达到 1.22。近 3 年 IF 钢和 O5 板中碳的  $C_{pk}$  值上升情况见图 8。从 2002 年开始, 炼钢对所有钢种成品硅和锰的成分进行  $C_{pk}$  值的控制, 它们的  $C_{pk}$  值均从原来小于 1.0 提高到目前 1.33

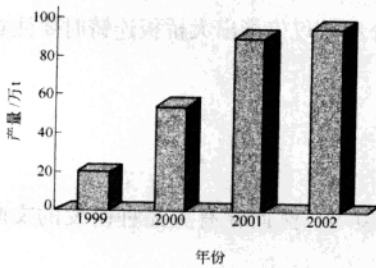


图 6 IF 钢产量推移

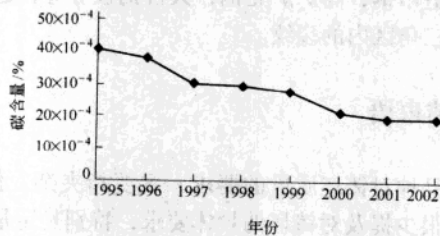


图 7 IF 钢碳含量推移

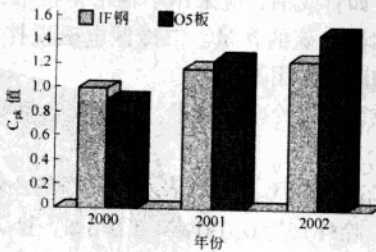


图 8 IF 钢和 O5 板碳的  $C_{pk}$  值

以上,成分的稳定性得到很大提高。

O5板主要用于汽车面板,其性能直接影响到汽车的美观,因此,减少O5板中氧化物夹杂能大大提高O5板的成材率。炼钢厂在消化国外技术的基础上,为减少钢中的氧化物夹杂,降低氧含量开展了如下工作:转炉渣的控制,目的减少转炉下渣量,提高吸附性;对RH精炼进行生产组织优化,处理高效化;在连铸过程控制方面,采取最佳过热度控制、覆盖剂,通过采取以上的措施,O5板中的氧含量有较大幅度降低,参见图9,O5板的产量见图10。

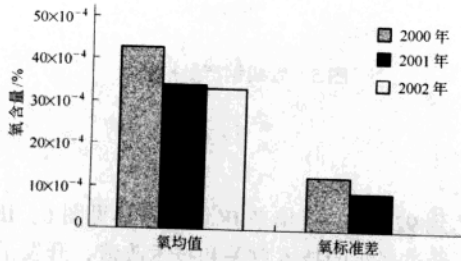


图9 O5板氧含量

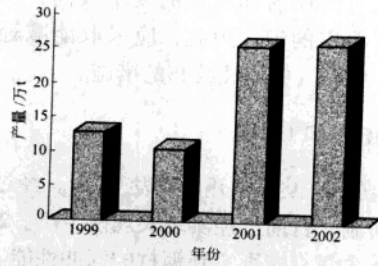


图10 O5板产量推移

对IF钢,连铸时要防止增碳,要防止卷渣。对O5板,要注意减少夹杂,特别要防止表面夹渣。

#### 4.4 其他

造币钢,高炉炉壳钢,大桥钢板等等,这里不作介绍。仅仅指出大桥板连铸时要注意防止三角区内的裂纹。

### 5 结束语

品种对铸坯质量的要求,主要指夹杂、偏析、内裂等,然而在有关品种研发的文献中,很少提及对铸坯的具体要求,特别是定量指标。

对夹杂要求高的钢种,如O5板、DI材。从连铸上看,应选用立弯机型连铸机,大容量中间罐全封闭浇铸,最好拥有MD电磁制动(搅拌)技术。

对内部质量要求高的品种,如管线钢,应采用小辊密排技术,还应采用SR技术。前工序要尽量降低易偏析杂质元素磷、硫的含量。二冷区电磁搅拌(DKS),虽然能降低中心偏析的评级,但对点状偏析的改善作用不大。

对易产生角横裂的品种,应采用二冷幅切技术。对于氧含量要求苛刻的品种,还应选用中间罐Ar切换技术。

至于文中提到的前工序的 $C_{pk}$ 指标: $C_{pk} = 1$ ,表示废品率约 $3 \times 10^{-3}$ , $C_{pk} = 1.33$ 为 $6 \times 10^{-5}$ ,控制范围:碳(ULC、HC除外)为0.030%~0.040%,锰为0.10%~0.20%。对于宝钢实行按月、甚至按周合同交货来组织生产时,工序管理的意义重大。当工序能力不足时,应改善工艺、增加装备,如增加LF炉来脱硫改造LD炉进行脱磷。



从连铸角度谈品种结构，缺乏可借鉴的文献，也缺乏相关的经验知识，难免有不当之处，请同行们指正。

**致谢：**本文得到康复、裴云毅的指导，统计工作得到胡会军、陈超、蒋晓放的帮助，在此表示感谢。