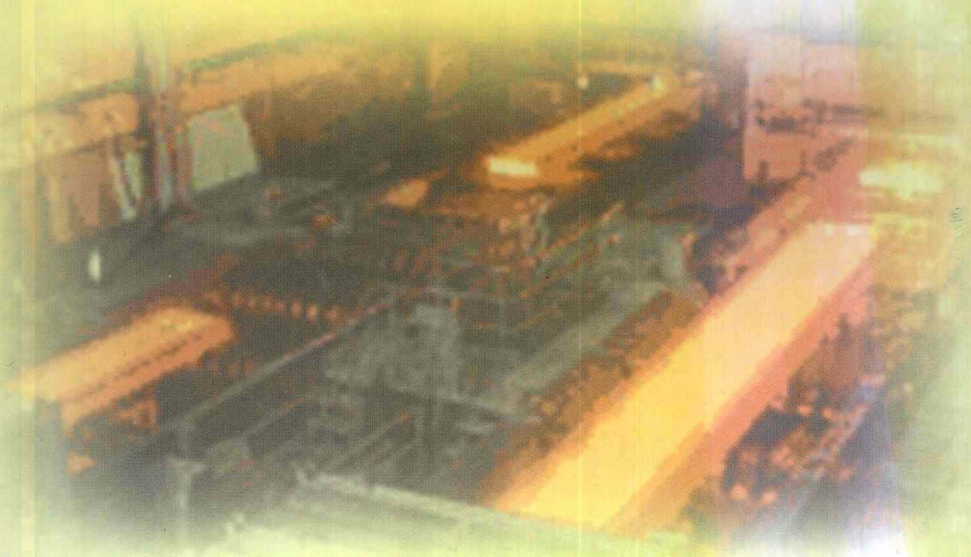


连铸结晶器保护渣 应用技术

李殿明 邵明天 杨宪礼 刁承民 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

连铸结晶器保护渣 应用技术

李殿明 邵明天 杨宪礼 刁承民 编著

北京
冶金工业出版社
2008

内 容 提 要

全书内容共分七章,主要分为三个方面:一是力求让从事连铸操作的一线人员了解保护渣在结晶器中的行为,以及与保护渣应用相关的知识;二是力求让从事保护渣生产的人员了解保护渣在连铸生产中的操作、应用过程;三是力求让从事连铸工艺和保护渣研制的工程技术人员全面的了解保护渣生产检验过程,以及保护渣设计、应用等方面的知识。

本书的读者主要面向钢铁企业工程技术人员和从事连铸生产操作的一线人员,也可供从事连铸保护渣研制和生产的科研工作者和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

连铸结晶器保护渣应用技术/李殿明等编著. —北京:
冶金工业出版社,2008.4

ISBN 978-7-5024-4484-6

I. 连… II. 李… III. 连续铸钢-结晶器(冶金炉)-
保护渣 IV. TF111.17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 040427 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 张媛媛 版式设计 张 青

责任校对 卿文春 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4484-6

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 4 月第 1 版;2008 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;18.25 印张;435 千字;275 页;1-4000 册

50.00 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

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

自1996年以来,我国钢产量连续十年居世界首位,其中全连铸技术的普及发挥了重要作用。连铸比从1990年的25.07%提高到2006年的98.57%。在连铸工艺技术中,结晶器保护渣的研制和使用具有不可替代的作用。

在连铸生产过程中,保护渣既经历了受热熔化成覆盖层,又经历了凝固成渣壳的过程;既涉及渣的液态和半熔态,也涉及玻璃态(过冷液体)和结晶态。保护渣的行为,与结晶器内的钢液流动、传热、机械振动和摩擦润滑有密切的关系,涉及了冶金过程理论的诸多方面。对这些现象的实质的研究,散见于国内外的众多科技文献中,但缺乏全面系统的论述。早期的研究分析,多偏重顶部覆盖层的三层结构、渣的熔化状态和熔化速度等;而关于凝固壳的形成和结构,研究得相对少些。

保护渣与连铸生产有密不可分的关系。漏钢、卧坯等各类生产中断,以及铸坯纵裂、横裂、角裂等各种裂纹和表面夹渣、结疤、凹陷等钢坯质量缺陷,无不与保护渣有关。

济南钢铁集团总公司第三炼钢厂的李殿明、邵明天、杨宪礼、刁承明等同志,针对连铸机投产和生产工艺中应用保护渣出现的各种情况,组织攻关,深入研究,出现问题后查找原因,不断试验,以理论为依据,以实践为基础,对保护渣在连铸机中的应用进行研究分析,解决了连铸坯质量、连续生产和管理等方面的许多问题,为济钢连铸机安全、高效生产奠定了基础。作者基于本工厂的实践经验,得出关于不同钢种、不同铸坯断面、不同铸流拉速应该如何使用保护渣的规律性认识;又依据保护渣绝热保温、防止二次氧化、均匀合理传热、润滑铸坯和吸收非金属夹杂物五方面的功能,分析总结国内外文献资料并提炼该厂应用保护渣的实践经验,完成了本书。

本书作者都是在钢铁厂生产第一线工作的管理者和技术工作者。可以设想,他们在学术工作和文字写作方面所能占用的时间和精力是有限的。他们克服困难,笔耕不辍,把丰富的实践经验上升为理论知识,这显示了他们对于发展祖国钢铁事业的热情和远见,也是值得我们学习的。

承蒙信任,有幸审读了本书的初稿。作者对我的意见和建议,在繁忙工作

条件下,不厌其烦地进行修改,也使我深为钦佩。我在阅读初稿中,也学习到不少新知识,获益良多。

值此我国钢铁工业迅速发展、欣欣向荣之际,本书的出版,将对改善我国钢铁工业技术和提高我国冶金科学技术的国际地位,会有具体而扎实的贡献。本书是关于保护渣领域为数不多的技术专著之一,将会受到广大冶金工作者的欢迎。

应作者之嘱,作此短言,是为序。

北京科技大学 曲 英
2007年12月

前 言

当前,我国冶金行业发展迅猛,连续铸钢技术已成为现代钢铁生产的主要工艺之一。加速发展连续铸钢技术,提升其科学技术水平,是实现我国钢铁工业结构优化的重要举措。结晶器是连铸机的“心脏”,结晶器保护渣是保障连铸机生产顺利进行和保证连铸坯质量的重要冶金材料。随着高效连铸、连铸连轧技术的广泛应用,钢铁企业面临着降低生产成本和提高产品质量的双重挑战,这要求我们必须高度重视结晶器保护渣在连铸生产过程中的重要作用。

最近几年,我国新投产了一批不同类型的现代化连铸机,在这些连铸机的投产、达标过程以及控制漏钢率、提高拉速、提高连铸坯质量的过程中,工作重点大多放在了优化结晶器保护渣以及与结晶器保护渣相关的工艺改进上。济钢第三炼钢厂在连铸系统筹备之初,就举办专题讲座,邀请了茅洪祥老师向工程技术人员和生产一线的操作工人讲授结晶器保护渣的相关知识,受益匪浅。几年来,该厂工程技术人员与国内外连铸生产及结晶器保护渣方面的专家深入切磋交流,在生产品种不断扩大,铸坯质量不断提高,生产过程日趋稳定的过程中,不断地优化、改进保护渣品种,取得了连铸机各项工艺技术指标不断改善的良好效果。

有鉴于此,我们在广泛阅读国内外大量文献的基础上,紧密结合连铸机生产的现场实践和结晶器保护渣的应用经验,编写了本书。本书由济南钢铁集团总公司第三炼钢厂的李殿明、邵明天、杨宪礼、刁承民编著;参加编写工作的还有孙风晓、柳润民、刘华、张海昆、张润生、董光军、杨晓玲、王玉民、刘永平、唐立冬、胡勤东、谢中堃、许衍敏、高峰、刘建伟、修立策、杜俊武等同志,另有济钢新事业有限公司的陶金波、济钢技术中心的祝贵合,济钢技术监督处的李乐刚、济钢生产部的刘彦平,济钢第一炼钢厂的苗刚、李作鑫等提供了相关技术资料和生产数据。全书由李殿明统稿。

河南省西保冶材集团有限公司(简称西保集团)李伟峰先生,青岛斯多伯

格·三一冶金材料有限公司 Carsten Lippold 先生和金宽椿先生,为本书的编写提供了部分资料;武汉科技大学茅洪祥老师校阅了部分译稿,河北科技大学冯捷老师提供了指导;北京科技大学曲英老师详细审阅了本书初稿,提出了建设性的修改意见并作序。我们对上述各位学者的无私帮助,表示诚挚的谢意。

在编写过程中,参阅了有关连铸、炼钢方面的文献,在此也向有关作者和出版单位致谢。

由于水平所限,书中不足之处,诚请读者指正。

编 者

2007年10月

目 录

1 连铸结晶器保护渣基本知识	1
1.1 连铸结晶器保护渣的发展过程	1
1.2 结晶器保护渣的分类	4
1.2.1 按基料的化学组成分类	4
1.2.2 按保护渣的形状分类	4
1.2.3 按使用的原材料处理情况分类	5
1.2.4 按使用特性划分	5
1.3 保护渣的化学成分和网络结构	6
1.3.1 保护渣的化学成分	6
1.3.2 保护渣的网络结构	9
1.4 结晶器保护渣的功能与作用	11
1.4.1 绝热保温,减少钢液热损失	12
1.4.2 隔绝空气,防止钢液二次氧化	13
1.4.3 润滑铸坯,减少铸坯粘结	13
1.4.4 改善结晶器传热	14
1.4.5 吸收非金属夹杂物	14
1.5 保护渣的基本物理化学特性	15
1.5.1 碱度	15
1.5.2 黏度	16
1.5.3 熔化温度	17
1.5.4 熔化速度	18
1.5.5 熔化均匀性	19
1.5.6 结晶(析晶)温度	20
1.5.7 凝固温度	20
1.5.8 转折温度	21
1.5.9 析晶率	22
1.5.10 玻璃化率	22
1.5.11 表面张力	22
1.5.12 界面张力	23
1.5.13 铺展性	25
1.5.14 透气性	25
1.5.15 保温性能	25

1.5.16	烧结特性	26
1.5.17	粒度及粒度组成	26
1.5.18	水分	27
1.5.19	堆密度	27
1.6	保护渣的熔化、凝固过程	27
1.6.1	保护渣的熔化	28
1.6.2	保护渣的凝固	31
1.7	保护渣的润滑	32
1.7.1	液渣流入和液态渣膜的形成	32
1.7.2	保护渣的消耗量	33
1.7.3	结晶器摩擦力	36
1.8	保护渣的传热	36
1.8.1	水平传热	37
1.8.2	纵向传热	41
1.9	保护渣吸附夹杂能力分析	42
1.10	连铸操作过程对保护渣的评价	43
2	保护渣的制造与检测	49
2.1	结晶器保护渣的原料	49
2.1.1	保护渣原料的分类	49
2.1.2	保护渣所用原材料的化学组成与特性	49
2.1.3	结晶器保护渣原料的选择	51
2.2	结晶器保护渣的制造	52
2.2.1	保护渣类型的选择	52
2.2.2	混合粉渣的制造	53
2.2.3	实心颗粒保护渣的制造	53
2.2.4	空心颗粒保护渣的制造	53
2.2.5	预熔型颗粒保护渣的制造	58
2.2.6	一种薄板坯连铸用低碳钢保护渣的制备实践	59
2.3	结晶器保护渣的性能检测	60
2.3.1	美国连铸保护渣理化性能的试验方法标准	61
2.3.2	国内对保护渣性能测试的研究	63
3	保护渣的品种规划和选用	77
3.1	保护渣的品种规划	77
3.2	保护渣的选择和使用原则	78
3.2.1	连铸机机型	78
3.2.2	浇注的钢种	78
3.2.3	拉坯速度	79

3.2.4	铸坯断面形状	80
3.2.5	浇注的断面尺寸	80
3.2.6	结晶器振动特性	80
3.3	碳钢及低合金钢种所用保护渣	81
3.3.1	超低碳钢保护渣	82
3.3.2	低碳钢保护渣	83
3.3.3	包晶钢保护渣	84
3.3.4	中碳钢保护渣	85
3.3.5	高碳钢及超高碳钢保护渣	86
3.4	不锈钢用保护渣	86
3.4.1	不同组织的不锈钢用保护渣	86
3.4.2	不锈钢用保护渣的理化性能	87
3.5	开浇渣	88
3.6	高拉速宽板坯连铸保护渣	90
3.6.1	高拉速宽板坯连铸的特点	90
3.6.2	宽板坯连铸对保护渣的要求	91
3.6.3	板坯保护渣选用实践	92
3.7	薄板坯连铸保护渣	95
3.7.1	薄板坯连铸特点及对保护渣的要求	95
3.7.2	薄板坯保护渣选用实践	96
3.8	方坯连铸保护渣	99
3.8.1	方坯连铸的特点	99
3.8.2	方坯连铸保护渣的选用实践	99
3.9	圆坯连铸保护渣	101
3.9.1	圆坯连铸保护渣使用特性	101
3.9.2	圆坯连铸保护渣选用实践	103
3.10	异型坯连铸保护渣	104
3.10.1	异型坯连铸的特点	104
3.10.2	异型坯连铸保护渣选用实践	106
3.10.3	韩国、日本异型坯连铸保护渣使用现状	106
3.11	推荐不同钢种及连铸条件下的典型渣系	108
4	保护渣与连铸生产工艺	115
4.1	正确使用保护渣的连铸工艺操作	115
4.1.1	保持结晶器液面稳定	116
4.1.2	中间包水口对中	118
4.1.3	选择合适的水口参数	118
4.1.4	结晶器振动参数	119
4.1.5	严格保护浇注	119

4.1.6 塞棒和水口吹氩的控制	121
4.1.7 稳定浇注速度	122
4.2 保护渣的加入操作	123
4.2.1 结晶器加渣操作	123
4.2.2 “黑”渣操作	125
4.2.3 开浇时的保护渣操作	126
4.2.4 正常浇注保护渣操作	127
4.2.5 快速更换中间包时的保护渣操作	127
4.2.6 浇注结束(封顶)时的保护渣操作	128
4.2.7 使用结晶器保护渣的注意事项	128
4.2.8 使用保护渣过程中应该测定的参数	129
4.3 保护渣消耗量的测算	129
4.3.1 保护渣消耗量的重要性	129
4.3.2 保护渣消耗量的影响因素	130
4.3.3 保护渣消耗量的计算	131
4.4 保护渣液渣层厚度的测量	133
4.4.1 保护渣的熔化结构	133
4.4.2 合适液渣层厚度的意义	133
4.4.3 液渣层厚度的测量方法	135
4.5 保护渣渣圈的产生原因及控制	137
4.5.1 渣圈的危害	137
4.5.2 渣圈产生机理	138
4.5.3 保护渣结渣圈的影响因素	138
4.5.4 防范保护渣结渣圈的措施	139
4.5.5 渣圈的剔除操作	140
4.6 保护渣结团	141
4.6.1 保护渣结团的原因	141
4.6.2 防止保护渣结团的措施	142
4.6.3 济钢大板坯连铸机出现的保护渣结团	142
4.7 结晶器液面结壳	144
4.7.1 液面结壳的影响因素	144
4.7.2 大板坯连铸机的结晶器液面结壳	145
4.7.3 不锈钢结壳物	146
4.8 喂丝对保护渣的影响	148
4.8.1 结晶器喂稀土丝	148
4.8.2 结晶器喂铝丝	150
4.9 浸入式水口侵蚀	151
4.9.1 浸入式水口侵蚀机理	151
4.9.2 氧化锆-石墨质耐火材料的蚀损形态	154

4.9.3	保护渣对石英水口的侵蚀	154
4.9.4	提高水口寿命的措施	155
4.10	水口堵塞	156
4.10.1	水口堵塞的危害	156
4.10.2	水口堵塞的原因	156
4.10.3	避免水口堵塞的措施	158
4.10.4	薄板坯铸机堵塞的预防措施	159
4.11	结晶器摩擦力	160
4.11.1	结晶器摩擦力的影响因素	160
4.11.2	保护渣临界消耗量与摩擦力	162
4.12	保护渣对钢液面检测精度的影响	165
4.12.1	保护渣对结晶器钢水液面检测系统的影响	165
4.12.2	现场实测和跟踪试验	166
4.12.3	影响因素分析	167
4.12.4	改进措施	168
4.13	保护渣应用的现场可视化分析	168
4.13.1	水口在结晶器内倾斜时的热像图	168
4.13.2	水口穿孔时的热像图	169
4.13.3	水口堵塞时的热像图	170
4.13.4	渣膜剪切断裂时的热像图	170
4.14	奥钢联钢厂(VAS)现场应用保护渣的实践	171
4.14.1	连铸保护渣的性能	171
4.14.2	结晶器保护渣的操作行为	173
4.14.3	操作可靠性	177
4.14.4	铸坯和钢板质量	178
4.14.5	VAS连铸保护渣的选择标准	179
5	保护渣与连铸坯质量	182
5.1	振痕	182
5.1.1	振痕形成机理	182
5.1.2	振痕宽度	184
5.1.3	振痕深度	185
5.1.4	振痕紊乱	188
5.1.5	C型缺陷	188
5.1.6	振痕深度的控制极限讨论	189
5.2	表面纵裂纹	189
5.2.1	板坯表面纵裂纹	189
5.2.2	异型坯腹板纵裂纹	198
5.2.3	圆坯表面纵裂纹	199

5.2.4	亚包晶钢表面纵裂纹	200
5.3	表面横裂纹	201
5.3.1	表面横裂纹特征	201
5.3.2	横裂纹产生原因	201
5.3.3	横裂纹的影响因素和控制措施	202
5.4	星状(网状)裂纹	204
5.4.1	星状裂纹特征	204
5.4.2	星状裂纹产生原因	205
5.4.3	控制星状裂纹的措施	206
5.4.4	控制铸坯网状裂纹的实践	207
5.5	卷渣和吸气	207
5.5.1	结晶器卷渣的机理	208
5.5.2	表面夹渣	210
5.5.3	针孔	211
5.5.4	铅笔形管状缺陷	212
5.5.5	条状缺陷	213
5.5.6	白斑缺陷	214
5.5.7	保护渣卷渣缺陷的预防措施	215
5.6	凹陷(坑)	217
5.6.1	纵向凹陷	217
5.6.2	角部纵向凹陷	218
5.6.3	横向凹陷	219
5.6.4	线状、点状凹陷	221
5.7	增碳	222
5.7.1	铸坯增碳机理	222
5.7.2	控制增碳措施	224
6	保护渣与粘结漏钢	227
6.1	粘结漏钢概述	227
6.2	粘结漏钢形成过程的讨论	230
6.2.1	讨论 I	230
6.2.2	讨论 II	230
6.2.3	讨论 III	231
6.2.4	典型粘结漏钢坯壳特征	232
6.3	粘结漏钢的控制实践	233
6.3.1	高碳钢	233
6.3.2	稀土处理钢	234
6.3.3	高铝钢	235
6.4	薄板坯连铸的粘结漏钢	236

6.5	优化保护渣性能控制粘结漏钢	238
6.6	VAI 的漏钢预报结晶器专家系统应用	240
6.6.1	结晶器热特性软件包	240
6.6.2	结晶器振动软件包	242
6.6.3	济钢三炼钢提高漏钢预报准确率措施	243
7	连铸保护渣技术的新进展	247
7.1	无氟保护渣	247
7.1.1	保护渣中氟的危害	247
7.1.2	无氟保护渣的研究现状	248
7.1.3	西保集团无氟保护渣的制造及生产试验	249
7.1.4	无氟保护渣的进一步研究	251
7.2	超低碳保护渣	252
7.2.1	超低碳保护渣的开发	252
7.2.2	无碳保护渣的探索研究	253
7.2.3	超低碳保护渣的超细复合处理	254
7.3	彩色保护渣	255
7.4	神经网络系统保护渣设计	257
7.4.1	神经网络专家系统的特点、基本原理	258
7.4.2	神经网络连铸保护渣设计专家系统的功能	258
7.5	自动加渣	260
7.5.1	镗目(RAMON)公司开发的方坯自动加渣机	261
7.5.2	RAMON 板坯自动加渣机	261
7.5.3	激光闭环控制自动加渣	262
7.6	NKK 连铸保护渣选择模型	265
附 录	267
附录 1	连铸结晶器保护渣常用中英文词汇	267
附录 2	西保集团保护渣产品目录	272

1 连铸结晶器保护渣基本知识

1.1 连铸结晶器保护渣的发展过程

由于连续铸钢已不仅能取代模铸、提高成材率、降低能耗,而且已成为理顺炼钢-炉外精炼-凝固成形工艺和合理衔接匹配凝固成形与热压力加工流程的核心环节,所以,连铸技术在现代化钢铁企业中得到了广泛的重视,各国冶金工作者都在寻求了解连铸凝固成形的本质过程以实现连铸生产过程高产、优质、低消耗的目标。而结晶器保护渣是一项高科技技术,它对铸坯的质量、产量,特别是表面质量有着至关重要的作用。连铸工序的顺行和连铸坯质量的提高,和保护渣的应用关系密切。在连续浇注时,连铸中间包到结晶器的保护浇注是由浸入式水口与保护渣浇注配合使用的,如果没有浸入式水口及保护渣浇注是不可能得到合格铸坯的。因此,结晶器保护渣目前已发展为一项专门技术,根据所浇钢种、铸坯断面及拉速,设计出各种专用保护渣配方供企业使用。

连铸结晶器应用保护渣浇注之前,在坯壳与结晶器间的润滑和传热通过加菜籽油获得。在连铸工艺发展的最初阶段,普遍采用植物油润滑铸坯,进行敞开浇注,用气体和油的不完全燃烧产物或其碳氢化合物的分解产物保护结晶器内的金属液面,其缺点是在坯壳和结晶器壁润滑和传热性能差,导致结晶器热流波动大,坯壳厚度不均匀和结晶器的寿命低,增加了铸坯形成裂纹和发生漏钢事故的可能。随着连铸坯钢种和产量的扩大,对铸坯质量更严格的要求以及提高结晶器使用寿命的必要性,都促使不断完善所采用的保护介质。针对敞开浇注存在的问题,开发了浸入式水口加保护渣浇注,使结晶器中坯壳表面温度变得均匀,保护渣渣膜充填了坯壳与结晶器间的空隙,解决了敞开浇注存在的润滑不良和裂纹问题。

早期的保护渣是用火力发电厂的烟灰掺入熔剂制成的。20世纪60年代结晶器保护渣最初应用时,其主要成分为粉煤灰,一种来自于煤充分燃烧的废弃物,这种保护渣的热损失比植物油更少,从而推动炼钢厂进一步降低钢水过热度 and 浇注速率,以此来提高铸坯质量。同时还发现,粉煤灰的成分是可变的,需要将其与石灰石和苏打灰、萤石等混合成一种可再利用的物质,经过一系列的反应,逐渐成为一种人工合成的保护渣,保护渣在结晶器和铸坯间是液态的。之后又试制成掺10%萤石、7.5%苏打灰和30%硅酸盐水泥等材料,其余仍是烟煤灰的混合物。这是第一代粉状连铸结晶器保护渣。

之后的保护渣具有多种类型,它们都是以粉煤灰做基料,然后混合不同种矿物质或人工合成渣构成。人们更愿意使用具有相似熔点的原料,用较少种类原料达到要求的成分、性能和去除原料中对人体健康存在潜在隐患的因素,从而更好地保证保护渣均匀熔化和结构的均匀性。

由于添加了炭黑,传统的保护渣颜色都是黑色的。最近开发出的白色保护渣,不含炭黑,其颜色呈白色或灰色。通过对比含炭黑的传统保护渣和无炭黑的白色保护渣的熔化特性,可知两者防止保护渣烧结、延迟熔化的作用相似,但白色保护渣采用了无尘技术,能降低

粉尘生成。新开发的白色保护渣适用于所有的浇铸条件、钢种、结晶器以及从快到慢的浇铸速度等。在实际使用中,它具有很好的熔化特性,同时也降低了熔化速度,减少了粉尘,改善了工作环境。

自首次采用保护渣进行保护浇注至今已有 40 多年,保护渣技术不断发展,保护渣的功能及其在连铸工艺中的重要地位日益得到各国连铸工作者的高度重视,并进行了大量研究,开发了许多适合各国国情的保护渣,从而使铸坯质量不断改善提高,品种不断增加。当前,我国钢年产量已超过 4 亿 t,连铸比达到 98% 以上,保护渣的需求量占世界首位。

20 世纪 60 年代为保护渣的初步开发和探索应用阶段,70 年代是保护渣的研究和应用比较活跃的时期;80 年代,由于高速连铸、连铸坯热送热装以及直接轧制等技术的发展,带动了保护渣研究和应用的进一步发展;90 年代,为保护渣的研制理论进一步成熟和制造技术飞跃的发展阶段,围绕微合金钢、不锈钢等多钢种、高拉速连铸无缺陷铸坯的要求,保护渣的品种进一步丰富,计算机辅助设计技术开始应用;当前,围绕无氟渣、无碳渣,以及浇注过程中如何进一步提高保护渣性能的稳定性,对保护渣展开了更深层次的研究。保护渣技术的发展过程参见表 1-1。

表 1-1 保护渣技术的发展过程

序号	年份	发明者	主要技术贡献
1	1959	挪威	在一台方坯铸机上第一次采用保护渣保护结晶器液面
2	1963	法国优质钢公司	采用了浸入式水口保护渣浇注技术
3	1964	德国迪林根 (DILLINGEN)	开发了直筒形浸入式水口加保护渣浇注的技术
4	1965	日本	在连铸机上开始应用粉末保护渣浇注
5	1971	前苏联克利波夫	提出使用高 CaF_2 、低黏度的发热保护渣浇注含 Ti 的不锈钢
6	1972	中国	开始研究浸入水口保护渣浇注技术
7	1973	中国	针对存在的板坯表面纵裂等质量问题成立攻关组,使用青岛耐火材料厂试制的熔融石英水口和攻关组配制的保护渣在上钢一厂板坯连铸机上作了试验并取得成功
8	1973	日本左藤良吉	系统论述了保护渣在结晶器内的行为;如何根据不同钢种对保护渣的物理性质的要求,合理确定保护渣的化学组成;明确提出控制保护渣熔化速度的重要作用,保护渣在结晶器钢液面上的熔融模型通过配入的炭粒的粒度和数量来控制
9	1974	日本江见俊彦	研究板坯表面的纵裂和夹渣,指出保护渣的黏度与熔化速度之间应保持一个恰当的比值
10	1976	芬兰劳塔路基钢厂	提出了无粉尘(颗粒)保护渣的设想
11	1976	德国 Metallurgica 公司创始人 H. J. Eitel	用喷雾干燥法首先研制出空心颗粒结晶器保护渣,平均粒径 0.5 mm,具有无粉尘、堆积密度小、流动性好、成分均匀、不吸水及有利于自动加渣等优点;同期,日、美等国采用挤压机或圆盘造粒机,开发了预熔型实心颗粒渣
12	1978	日本竹内英磨	提出以 BN 取代炭质材料的无炭保护渣
13	1979	P. V. Riboud 等	论述了保护渣对钢液弯月面的保护作用,提出高碱度、低黏度及含 Na_2O 、 CaF_2 高的保护渣有利于吸收非金属夹杂物。并对凝固壳的形成和弯月面上熔渣的流入行为,保护渣的性质和作用间的关系进行了研究
14	1980	中国李正邦、 邵象华、茅洪祥	1980 年开始电渣重熔无氟渣的研究,在本钢试验获得成功

续表 1-1

序号	年份	发明者	主要技术贡献
15	1981	日本 T. Sakuraya	提出了控制保护渣熔化特性的关键在于控制半熔态温度区间的宽度 T_{HM} 。 T_{HM} 为 120~180℃ 时板坯的表面缺陷最低。可以通过调节炭质材料的种类和数量来控制 T_{HM} 的大小
16	1982	法国索拉克公司 瑟雷芒日厂	首先在安装使用了简单可靠的保护渣自动加渣装置,专利名为“Dapsol”(索拉克公司保护渣自动加渣器缩写)
17	1985	中国河南西保集团	研制成功实心颗粒保护渣
18	1989	美国纽柯钢厂	投产了第一台薄板坯连铸机,首次开发采用薄板坯保护渣
19	80年代后期	中国重庆大学、 北京科技大学、 上海盛桥保护渣厂	研制成功预熔型实心颗粒保护渣,并在重庆特钢和上海宝钢应用
20	90年代初	中国金刚(现大众) 保护材料厂	研制成功空心颗粒保护渣
21	1993	中国迟景灏、 甘永年	主编《连铸保护渣》一书,在中国第一次系统论述了保护渣的基础知识、结晶器保护渣在连铸过程中的行为、保护渣的理化性质及其对铸坯质量的影响、炭质材料的作用、结晶器保护渣类型、保护渣的配制及制造、保护渣的测试方法等
22	1994	中国朱立光	论述了保护渣满足高生产率要求、满足工艺简化要求、满足特殊钢连铸要求、满足环境保护和铸机维护的要求,国内外开展的研究和保护渣应用成果,提出了保护渣研制的建议
23	1994	中国朱果灵	研制成功薄板坯空心颗粒保护渣,并试用在兰州钢厂薄板坯连铸机上
24	1996	美国钢铁协会 (AISI)	开展了结晶器保护渣理化性能测试方法调查,确定了用于保护渣理化性能测定的最适宜的方法,并于1996年制定六个保护渣的试验方法标准
25	1997	中国嵇美华	论述了保护渣技术的发展历史,保护渣技术进步与连铸技术发展的关系,分析了中国连铸保护渣生产现状、存在问题和解决的办法等
26	1998	中国茅洪祥	对结晶器保护渣自动加渣器进行了研究,指出了开发自动加渣器应遵循的原则,提出了改进自动加渣器的措施
27	2001	中国	制定了黏度、熔点等保护渣性能检测标准
28	2003	中国河南西保集团、 重庆大学	在重钢2号板坯铸机上实现了包晶钢无氟保护渣浇铸技术
29	2006	德国 STOLLBERG	开发试验了彩色保护渣

保护渣技术是连铸高效化的一项关键技术,发展高效连铸必须重视高速连铸保护渣的研究。由于高效连铸中的高拉速使结晶器中的热流及摩擦力增大,结晶器中钢液面波动加剧,出结晶器的铸坯坯壳变薄,渣耗急剧下降造成润滑不良和传热不均等,使得高速连铸遇到了粘结漏钢和铸坯表面质量差两大难题。解决这些问题的重要手段之一就是选择好保护渣,使保护渣性能与铸机工艺参数相匹配。保护渣必须在高拉速或拉速变化较大时,能保持足够的消耗量,避免发生粘结漏钢;结晶器与坯壳之间形成厚度适宜且分布均匀的渣膜,以降低摩擦力,促进传热,使坯壳快速均匀地生长;具有适当的液渣层厚度,防止高拉速时液渣供应不足;要有良好的溶解、吸收夹杂物的能力,并在吸收夹杂物以后,仍能保持稳定的使用性能。因此,连铸高效化后必须有低黏度、低熔点、高熔化速度、大凝固系数的保护渣,以保证铸坯的高质量。

以连铸连轧为基础的紧凑型生产流程是降低冶金产品生产成本、提高企业经济效益的