

板 材

生产技术概论

孔 为 编著



 冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

板材生产技术概论

孔 为 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2019

内 容 提 要

本书简要介绍板材生产流程。结合板材生产实例,概述了铁水预处理、废钢管理、转炉炼钢、炉外精炼、板坯连铸、热轧、冷轧、样品检测等工序的要点;以45优质碳素结构钢及X65MS(精炼双联工艺)为例,总结了热轧板材的全流程一贯制生产研发的具体应用方法,以50W800牌号无取向硅钢为例,总结了冷轧退火板材的全流程一贯制生产研发的具体应用方法。

本书可供钢铁冶金、材料加工领域相关科研、生产、管理、教学人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

板材生产技术概论/孔为编著. —北京:冶金工业出版社,
2019. 2

ISBN 978-7-5024-8078-3

I. ①板… II. ①孔… III. ①板材轧制—生产工艺—概论
IV. ①TG335. 5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第043787号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 刘小峰 曾 媛 美术编辑 郑小利 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8078-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2019年2月第1版,2019年2月第1次印刷

169mm×239mm;7.5印张;168千字;109页

49.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

钢材产品的生产工艺是个比较复杂的过程，内含高温还原、氧化的化学冶金，也包括轧制成型的物理冶金。基于各工艺环节的控制复杂性，对于大部分相关从业人员来说，只对某一两个局部的生产工艺较为精通。但当今为了满足终端客户的需求，大型钢铁企业均是对钢坯进行热轧、冷轧及退火等工艺处理，形成最终产品钢材后再进行销售，使得产品的整体生产工艺流程被拉长，因此钢铁企业需要大量懂得钢材生产工艺全流程的专业人员。

本书以板材为例，用最少的篇幅阐述最通用的热轧板材及冷轧退火板材的生产工序关键点，为读者今后深入了解各工序起到引导的作用；简化原理讲述，只介绍与现场生产研发关联较密切的工艺反应和基本原理，尽量少地罗列设备参数及技术细节。

本书以炼钢生产原料——铁水及废钢的生产工艺介绍开始，讲述了炼铁成钢的转炉炼钢工艺、二次微调的精炼工艺、钢水成坯的连铸过程、炼钢各工序衔接的生产组织调度、钢坯成材的热轧工艺（热卷）、进一步“细致”成型的冷轧及连续退火工艺、钢材生产及研发的样品检测方法。书中概括了各工序的组合及衔接要点，最后以45优质碳素结构钢及X65MS（精炼双联工艺）为例总结了热轧板材的全流程一贯制生产研发的具体应用方法，以50W800牌号无取向硅钢为例总结了冷轧退火板材的全流程一贯制生产研发的具体应用方法。

本书主要用作冶金工程专业学生了解钢材生产技术全流程的引导书籍，也可作为钢铁企业技术人员及高校科研工作者的参考书。

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请批评指正。

编著者

2019年1月

目 录

1 铁水预处理	1
1.1 倒罐站	1
1.1.1 设备主要组成	1
1.1.2 主要功能及相关原理	1
1.1.3 工艺流程	2
1.2 铁水脱硫工艺	3
1.2.1 KR 脱硫	3
1.2.2 喷镁脱硫	4
1.3 “三脱”工艺	6
2 废钢管理	7
2.1 废钢品种及质量标准	7
2.1.1 外购废钢	7
2.1.2 内部回收废钢	8
2.2 废钢回收工艺流程	10
2.2.1 废钢回收流程	10
2.2.2 外购废钢扣罚标准及典型质量问题	10
2.3 废钢供应工艺	11
2.3.1 废钢供应流程	11
2.3.2 废钢品种配比规定	12
3 炼钢	14
3.1 炼钢基本反应及原理	14
3.1.1 硅的氧化	14
3.1.2 锰的氧化	14
3.1.3 脱碳反应	14
3.1.4 脱磷反应	15
3.1.5 脱硫反应	15

3.1.6 脱气反应	15
3.1.7 脱氧反应	15
3.1.8 脱除夹杂	16
3.1.9 合金化	16
3.1.10 过程温降/升	17
3.2 转炉炼钢 (BOF)	18
3.2.1 设备主要组成	18
3.2.2 主要功能及相关原理	18
3.2.3 转炉炼钢工艺	19
3.2.4 自动控制模型	20
3.3 二次精炼 (SR)	22
3.3.1 CAS/吹氩站	22
3.3.2 RH	27
3.3.3 LF	34
3.3.4 双联工艺	37
3.4 板坯连铸 (CC)	37
3.4.1 大包	37
3.4.2 中间包	38
3.4.3 板坯连铸机	41
3.5 炼钢生产组织	42
4 热轧	45
4.1 保温炉	45
4.1.1 工艺技术	45
4.1.2 主要设备	48
4.2 加热炉	48
4.2.1 工艺技术	48
4.2.2 主要设备	51
4.3 粗轧	51
4.3.1 工艺技术方案	51
4.3.2 主要设备	52
4.3.3 中间坯尺寸标准	54
4.4 精轧	54
4.4.1 工艺技术方案	54
4.4.2 主要设备	55

4.4.3 热轧成品尺寸板形技术标准	57
4.5 卷取	59
4.5.1 工艺技术方案	59
4.5.2 主要设备	59
5 冷轧	61
5.1 酸连轧 (PL-TCM)	61
5.1.1 工艺流程	61
5.1.2 主要设备	61
5.2 常化酸洗 (APL)	69
5.2.1 工艺流程	69
5.2.2 主要设备	69
5.3 单机架轧机 (RCM)	76
5.3.1 工艺特点	76
5.3.2 设备组成	78
5.4 连续退火 (CAL)	78
5.4.1 工艺流程	78
5.4.2 主要设备	78
6 样品的检测	84
6.1 钢铁冶金在线自动检测	84
6.2 离线检测	86
6.2.1 物理性能检测	86
6.2.2 化学分析	89
6.3 科研检测方法	91
7 板材一贯制生产研发技术	94
7.1 45 优质碳素结构钢热轧板材	94
7.1.1 炼钢技术控制单	95
7.1.2 热轧技术控制单	97
7.2 X65MS 热轧板材	97
7.2.1 炼钢技术控制单	98
7.2.2 热轧技术控制单	101
7.3 50W800 退火卷	103

7.3.1 炼钢技术控制单	103
7.3.2 热轧技术控制单	105
7.3.3 冷轧技术控制单	106
参考文献	109

1 铁水预处理

高炉炼铁是最常见的将矿石还原为铁水的炼铁方式，同时也是最稳定的炼铁生产方式，技术成熟的大型高炉容积为 $2000\sim 5000\text{m}^3$ ，高炉的最主要功能是为炼钢提供合格的铁水，这里的合格主要包括两个指标，一是铁水要保证在一定温度以上，二是要成分合格。典型的铁水指标如表 1-1 所示。对于部分钢种，还会对硫、钛（钛矿护炉带入）等元素有更高的要求。

表 1-1 合格铁水的指标

成分/%				温度/℃
[Si]	[Mn]	[P]	[S]	≥1250
≤0.85	≤1.0	≤0.100	≤0.070	

铁水预处理是指在合格铁水进入转炉炼钢前，对铁水进行先期的处理以去除铁水中的某些杂质元素的过程。根据工艺需要，铁水预处理主要包括预脱硫、预脱硅、预脱磷及预脱钛等，最终目的是为了“解放”高炉、转炉及精炼的部分去除杂质的功能，让高炉主要完成还原铁矿石的功能，转炉主要完成脱碳及升温的功能，精炼主要完成精调成分的功能，从而优化各工序的生产节奏。这些杂质元素的预脱除工艺可以只进行一项也可以同时进行多项。需要注意的是，铁水中硅的氧势低于其他预脱元素，所以为了节省其他元素预脱剂的使用，当进行多项杂质预脱工艺时，应先进行铁水脱硅处理，待硅氧化到一定程度，再进行其他的元素的铁水预处理。本书只讲解目前各大钢铁企业较成熟、较通用的铁水预脱硫工艺，并将在阐述某一钢种的全流程生产技术设计中将其作为必要一环。

1.1 倒罐站

1.1.1 设备主要组成

铁水倒罐设备组成如图 1-1 所示，主要包括鱼雷罐、铁水包等。

1.1.2 主要功能及相关原理

将鱼雷罐中的铁水倒入铁水包（铁水预处理的反应器），为铁水预处理做准

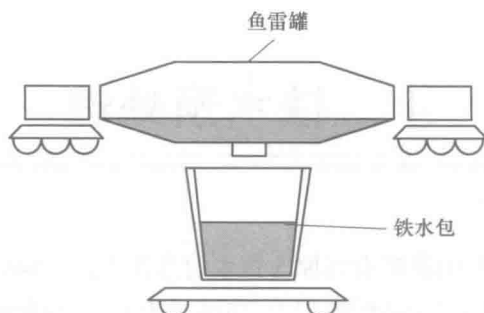


图 1-1 铁水倒罐流程主要设备示意图

备。如包中铁水中的某些成分（如 S 或 Si）不符合炼钢标准，需进行多罐间的混铁。

1.1.3 工艺流程

铁水倒罐的工艺流程如表 1-2 所示。

表 1-2 铁水倒罐工艺流程

序号	工艺步骤	备 注
1	操作前准备	检查铁水包侵蚀情况等
2	鱼雷罐进入倒罐站	同时将铁水包吊入铁水车，开至接铁位
3	鱼雷罐通电	
4	通电旋转鱼雷罐至垂直位后断电，倒铁入铁水包	如果 Si、S 等元素成分不符，需进行不同铁水包间的混铁操作。 混铁的分配元素公式为： $W_1 = \frac{W(T-B)}{A-B}$ $W_2 = W - W_1$ 式中 W——总铁水量，t； W_1——第一种成分需出铁水量，t； W_2——第二种成分需出铁水量，t； T——要求的铁水成分，%； A——第一炉次的铁水成分，%； B——第二炉次的铁水成分，%。
5	铁水倒净后，倒出鱼雷罐内余渣，开回炼铁厂	
6	铁水包内达到设定容量，并成分符合要求，吊包去铁水预处理站	

1.2 铁水脱硫工艺

1.2.1 KR 脱硫

1.2.1.1 设备主要组成

KR 脱硫的设备组成如图 1-2 所示，主要包括铁水包、耐火材料搅拌头等。

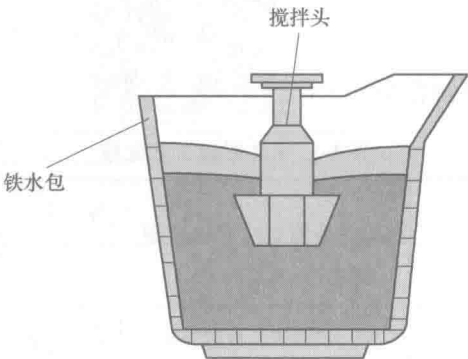


图 1-2 KR 脱硫主要设备示意图

1.2.1.2 主要功能及相关原理

KR 法脱硫是一种机械搅拌的脱硫方法，使用耐火材料制成的搅拌头对铁水进行搅拌，通过脱硫剂与铁水的充分接触，从而在较好的动力学条件下达到良好的脱硫效果。其特点是脱硫能力强，可将铁水硫脱至 10ppm 以下^❶。

KR 法一般选用白灰（石灰）作为脱硫剂，典型成分如表 1-3 所示，萤石作为添加剂（改善炉渣的流动性），典型成分如表 1-4 所示，其中白灰占比为 90% 左右，其他为萤石。脱硫反应为：

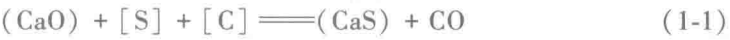


表 1-3 白灰成分及粒度要求

成分/%					活性度	粒度/mm
CaO	SiO ₂	S	烧 损	水分		
≥85	<6	<0.03	≤2.1	<0.5	≥3000	0.5~1.0

❶ 1ppm = 10⁻⁶，下同。

表 1-4 萤石成分及粒度要求

成分/%				粒度/mm
CaF ₄	SiO ₄	S	P	
≥85	≤16	<0.15	<0.05	0.5~1.0

1.2.1.3 工艺流程

KR 脱硫工艺流程如表 1-5 所示。

表 1-5 KR 脱硫工艺流程

序号	工艺步骤	备 注
1	铁水罐入搅拌位	倒罐站→脱硫站
2	前扒渣	第一次扒渣, 目的为减少铁水中的渣子, 便于铁水与脱硫剂充分融合, 降低铁水中的硫含量
3	铁水液面测量、测温、取样	
4	KR 脱硫处理	搅拌约 10min, 参考脱硫剂消耗为 6.0~10kg/t 铁水。搅拌头插入深度约占液面深度的 1/3
5	后扒渣	第二次扒渣(终扒渣), 目的为去除残余的脱硫剂, 防止铁水“回硫”, 二次扒渣后保证铁水亮面比例高于 90%
6	测温、取样	铁水成分合格, 通知吊包, 整体流程大约 40min, 整体温降约为 30℃
7	吊包	至转炉

1.2.2 喷镁脱硫

1.2.2.1 设备主要组成

喷镁脱硫的设备组成如图 1-3 所示, 主要包括喷枪及铁水包。喷镁脱硫设备的前期投入低于 KR 脱硫, 可直接在鱼雷罐中喷镁, 脱硫效果略差于 KR 法脱硫, 铁水最低硫可达 30ppm。

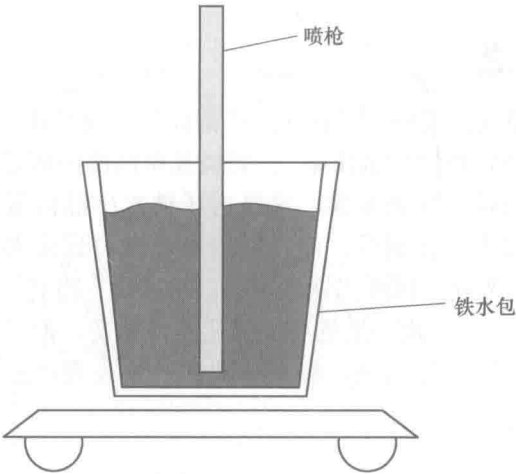


图 1-3 喷镁脱硫主要设备示意图

1.2.2.2 主要功能及相关原理

镁是唯一可以溶于铁水的脱硫剂，喷镁脱硫以 N₂ 为载气，以钝化镁粉为主，配合石灰粉/电石粉混合喷吹入预处理铁水内。脱硫原理如下：



1.2.2.3 工艺流程

喷镁脱硫工艺流程如表 1-6 所示。

表 1-6 KR 脱硫工艺流程

序号	工艺步骤	备 注
1	铁水罐入搅拌位	倒罐站→脱硫站
2	前扒渣	可选（脱硫前渣厚大于 150mm 需扒渣）
3	铁水液面测量、测温、取样	
4	喷镁脱硫处理	10min
5	后扒渣	第二次扒渣（终扒渣）
6	测温、取样	铁水成分合格，通知吊包
7	吊包	至转炉

1.3 “三脱”工艺

为了提高生产节奏，某些钢厂在转炉炼钢前先进行脱硅、脱磷、脱硫的“三脱”处理，这样就将转炉“解放出来”，完成其单纯的脱碳及升温功能。铁水脱硅一般作为铁水预脱磷的预备步骤，这是由于铁水中硅的氧势比磷的氧势低得多，当脱磷过程中加入氧化剂后，硅与氧的结合能力远远大于磷与氧的结合能力，所以硅比磷优先氧化，因此当铁水中的硅较高时，将有一部分脱磷剂用于脱硅而使脱磷反应滞后。“三脱”虽然可以优化工序节奏，但“三脱”往往带来铁水的温升高、废钢比下降等问题。较成熟的铁水预处理仍然是只使用铁水脱硫工艺。

2 废 钢 管 理

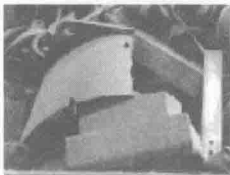
废钢是转炉炼钢的重要原料，吹炼前使用高的废钢配比，可以降低生产成本，但同时需要铁水拥有较高的温度，且保证废钢的质量。人们往往忽视炼钢工艺中的废钢控制，但对废钢品种的有效管理及合理配比会直接影响钢材成品的性能，因此当一个钢铁企业炼铁工艺较为成熟的时候，废钢分类管理就成了钢材成分调节的关键限制环节之一。废钢的分类标准可根据钢铁企业实际情况，自行制定，下面仅给出较为通用的参考标准。

2.1 废钢品种及质量标准

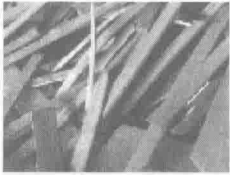
2.1.1 外购废钢

外购废钢品种的详细分类如表 2-1 所示。

表 2-1 外购废钢分类标准

外购废钢品种	质量控制标准	外观照片
统料型废钢	厚度： $\geq 2\text{mm}$ （其中 $4\text{mm} \leq \text{厚度} < 6\text{mm}$ 为优质统料型废钢）； 长度： $\leq 700\text{mm}$ ； 单重：1~100kg	
重型废钢	厚度： $\geq 10\text{mm}$ ； 长度： $\leq 700\text{mm}$ ； 单重：20~500kg	
中型废钢	厚度： $\geq 6\text{mm}$ ； 长度： $\leq 700\text{mm}$ ； 单重：10~300kg	

续表 2-1

外购废钢品种	质量控制标准	外观照片
低硫废钢	$S \leq 0.015\%$ ，要求单一品种； 厚度： $\geq 2\text{mm}$ ； 长度： $\leq 700\text{mm}$ ； 单重： $1 \sim 300\text{kg}$	

另外，各类型外购废钢中，单件满足厚度不小于 4mm、长度不大于 700mm、单重为 10~300kg、 $S \leq 0.040\%$ 的，统一归为优质废钢品种。外购废钢中除优质废钢及低硫废钢均可归为外购普通废钢。

2.1.2 内部回收废钢

内部回收废钢的详细分类如表 2-2 所示。

表 2-2 内部回收废钢分类标准

内部回收废钢品种	质量控制标准（可手选或加工，加工可选用切割、破碎、打包等方式）			外观照片
普通回收废钢	中间包铸余：长度≤500mm，厚度及宽度根据炼钢厂铸余实际情况确定，单重≤500kg；			
	钢坯切头切尾：长度≤500mm，厚度及宽度根据炼钢厂钢坯实际情况确定，单重≤500kg；			
	热轧内部回收废钢：长度≤1000mm，厚度及宽度根据热轧厂实际情况确定，单重≤500kg；			
	冷轧内部回收废钢：长度≤1000mm，厚度及宽度根据冷轧厂实际情况确定，单重≤1000kg			
	项目	尺寸		单重/kg
		长度/mm	厚度及宽度	
	中间包铸余	≤500	根据炼钢厂铸余实际情况确定	≤500
	钢坯切头切尾	≤500	根据炼钢厂钢坯实际情况确定	≤500
热轧内部回收废钢	≤1000	根据热轧厂实际情况确定	≤500	
冷轧内部回收废钢	≤1000	根据冷轧厂实际情况确定	≤1000	



热轧板头