



电炉炼钢

原理及工艺

邱绍岐

祝桂华

编

冶金工业出版社

电炉炼钢原理及工艺

邱绍岐 编
祝桂华

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2001

内 容 提 要

本书系统地阐述了电炉炼钢与浇注的基本原理与工艺,介绍了电炉炼钢与浇注的新工艺、新设备和新技术。全书共分基础知识、炼钢熔体、钢中氢和氮及非金属夹杂物、电炉钢的冶炼工艺、电炉钢的浇注和钢的缺陷六篇,内容涉及钢铁冶金学、物理化学、金属学、材料学等多个学科。本书是作者总结长期的生产操作经验编写而成,力求反映生产实际操作,从而达到可以指导生产实践的目的。

本书可作为钢铁企业电炉炼钢工人和浇注工人的培训教材,可为大专院校师生了解和学习现场经验提供参考,也可有关科技人员提供一些生产上的技术参数。

图书在版编目 (CIP) 数据

电炉炼钢原理及工艺/~~邱绍岐~~ 祝桂华编. —北京:冶金工业出版社, 1996. 12 (2001. 7 重印)

ISBN 7-5024-1962-4

I. 电… II. ①邱… ②祝… III. 电炉炼钢-概论
IV. TF741

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 16088 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

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

1996 年 12 月第 1 版,2001 年 7 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16;25.25 印张;604 千字;394 页;4001~6000 册

40.00 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)

前 言

本书是为电炉炼钢工和浇注工编写的学习资料。书中除系统地阐述电炉炼钢原理及工艺外，还对超高功率电炉、直流电弧炉和偏心炉底出钢及一些炉外精炼与压力浇注等新设备、新工艺、新技术作了介绍。

本书内容力求简明扼要，理论联系实际；力争既有利于教学，又能指导生产。本书虽是工人的学习资料，但也可供大、中专院校有关学生阅读或实习之用，并能为从事电炉炼钢专业的科技人员提供一些生产上的技术参数。

全书共分六篇三十一章。初稿完成后，特邀东北大学电冶金教研室几位教授审阅，其中第一至十三章由芮树森教授审阅；第十四至十九章由徐世铮教授审阅；第二十五至二十八章由郭东章教授审阅；第二十章、第二十九至三十一章由武振庭教授审阅。几位教授均提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于水平有限，书中的错误和不当之处诚恳希望读者批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

第一篇 基础知识

第一章 钢及钢的分类与编号	1
第一节 基本概念	1
第二节 钢的分类与编号	1
第二章 电炉炼钢的优缺点及炼钢工和浇注工的基本任务	6
第一节 电炉炼钢的优缺点	6
第二节 电炉炼钢工和浇注工的基本任务	6
第三章 电炉炼钢的技术经济指标	8

第二篇 炼 钢 熔 体

第四章 纯铁的结构	12
第一节 纯铁的晶体结构	12
第二节 纯铁的液态结构	13
第五章 钢液的物理性质	14
第一节 钢液的密度	14
第二节 钢的热导率	18
第三节 钢的熔点	19
第四节 钢液的粘度	21
第五节 钢液的表面张力	25
第六节 各种元素及铁的蒸气压	27
第七节 元素在纯铁液中的溶解度	29
第八节 纯铁液的电阻率	35
第六章 简介熔渣及其结构模型理论	36
第一节 熔渣的主要作用、来源、分类与组成	36
第二节 熔渣结构模型理论	37
第三节 渣量对冶炼的影响	39
第七章 熔渣的化学性质	41
第一节 熔渣的碱度及表示方法	41
第二节 熔渣的氧化能力	41
第三节 熔渣的还原能力	43
第四节 氢、氮在熔渣中的溶解	44
第八章 熔渣的物理性质	46

第一节	炉渣的熔点	46
第二节	熔渣的粘度	47
第三节	熔渣的密度	49
第四节	熔渣的透气性	50
第五节	熔渣的导电能力	51
第六节	熔渣的表面张力	52
第九章	熔池中的界面张力	55
第一节	表面张力	55
第二节	润湿与不润湿现象	55
第三节	内聚功、粘附功及铺展系数	56
第四节	熔池中的各种界面张力	57
第十章	熔体中组元的扩散	61

第三篇 钢中氢和氮及非金属夹杂物

第十一章	钢中氢和氮	63
第一节	钢中氢和氮的来源及存在形式	63
第二节	氢、氮在钢中的作用	64
第三节	氢、氮在钢中的溶解及其影响因素	67
第四节	电炉钢生产过程中氢和氮含量的变化	70
第五节	钢锭中氢和氮的偏析及其影响因素	74
第十二章	钢中非金属夹杂物	75
第一节	钢中夹杂物的来源及分类	75
第二节	钢中常见夹杂物的特征与存在形态	77
第三节	夹杂物对钢性能的影响	80
第四节	夹杂物含量在电炉钢生产过程中的变化	83

第四篇 电炉钢的冶炼

第十三章	电炉钢生产用的原材料	86
第一节	钢铁料	86
第二节	造渣材料、氧化剂、配碳剂与增碳剂	89
第三节	脱氧剂与合金材料	94
第四节	耐火材料	103
第五节	电极	110
第六节	粘结剂	114
第七节	其他用料	115
第十四章	炉体的砌筑	117
第一节	炉底炉坡的砌筑	117
第二节	炉壁的砌筑	121
第三节	炉盖的砌筑	124
第四节	出钢槽的砌筑	128

第十五章	炉体的维护	130
第一节	影响炉衬寿命的主要因素.....	130
第二节	烤炉.....	132
第三节	扒补炉.....	134
第四节	炉体的正常维护.....	136
第十六章	冶炼方法的分类、配料、装料与送电	138
第一节	冶炼方法的分类.....	138
第二节	配料.....	138
第三节	装料.....	143
第四节	炉料入炉与送电.....	144
第十七章	熔化期	146
第一节	炉料的熔化过程.....	146
第二节	熔化期的物化反应.....	147
第三节	脱磷.....	149
第四节	熔化期操作.....	155
第十八章	氧化期	156
第一节	氧化方法.....	156
第二节	脱碳.....	157
第三节	钢中气体和非金属夹杂物的去除.....	167
第四节	铁、硅、锰、铬等元素的氧化.....	168
第五节	氧化期的脱硫.....	171
第六节	冶炼温度制度的制订和钢液的升温.....	173
第七节	锰制度与清洁沸腾.....	176
第八节	全扒渣与增碳.....	177
第九节	氧化期操作.....	179
第十九章	还原精炼与出钢	182
第一节	脱氧.....	182
第二节	还原期的脱硫.....	197
第三节	钢液温度的调整与测量.....	203
第四节	钢液成分的调整.....	206
第五节	出钢.....	228
第二十章	电炉钢的快速冶炼	231
第一节	单渣法快速冶炼.....	231
第二节	双渣法快速冶炼.....	232
第二十一章	超高功率电炉与直流电弧炉	233
第一节	超高功率电炉.....	233
第二节	直流电弧炉.....	237
第二十二章	偏心炉底出钢	239
第一节	炉体结构.....	239
第二节	偏心炉底出钢的操作及其优点.....	240

第二十三章 真空冶金技术	241
第一节 真空及真空度概念.....	241
第二节 真空下钢液的物化行为.....	241
第三节 真空下的耐火材料及其相关反应.....	243
第二十四章 炉外精炼	246
第一节 钢液的合成渣洗处理.....	246
第二节 钢包吹氩精炼.....	247
第三节 钢液的真空脱气处理.....	250
第四节 钢包真空吹氩精炼.....	252
第五节 钢液的氩氧吹炼.....	253
第六节 钢液的真空吹氧精炼.....	255
第七节 钢包喷粉精炼.....	256

第五篇 电炉钢的浇注

第二十五章 钢的凝固理论	259
第一节 钢的结晶条件和能量起伏.....	259
第二节 钢液结晶的一般规律.....	260
第三节 晶核的形成与长大.....	260
第四节 钢液凝固和冷却的放热.....	264
第五节 钢的凝固收缩.....	265
第六节 钢的凝固偏析.....	266
第二十六章 钢锭的浇注	269
第一节 镇静钢钢锭的结构组织.....	269
第二节 钢锭的偏析.....	273
第三节 铸锭设备.....	276
第四节 镇静钢钢锭的浇注工艺.....	295
第五节 保护浇注.....	308
第六节 发热剂与保温剂.....	315
第七节 钢锭的冷却与热处理.....	316
第八节 钢锭的表面精整.....	322
第九节 铸锭事故与挽救.....	322
第二十七章 连续铸钢	333
第一节 连铸的特点.....	333
第二节 连铸原理与设备类型.....	333
第三节 连铸的主体设备.....	335
第四节 连铸凝固理论.....	340
第五节 连铸工艺.....	341
第二十八章 压力浇注和真空浇注	346
第一节 压力浇注.....	346
第二节 真空浇注.....	348

第六篇 钢 的 缺 陷

第二十九章 钢锭和连铸坯的表面缺陷.....	349
第一节 钢锭的表面缺陷.....	349
第二节 连铸坯的表面缺陷.....	354
第三十章 钢的低倍和高倍缺陷.....	358
第一节 钢的低倍缺陷.....	358
第二节 钢的高倍缺陷.....	369
第三十一章 钢的力学性能不合.....	376
第一节 钢的力学性能指标.....	376
第二节 影响钢力学性能的主要因素.....	385
第三节 在冶炼过程中防止钢力学性能不合的一般措施.....	391
参考文献.....	392

第一篇 基础知识

从广义上分类，电炉炼钢包括电弧炉冶炼、电渣重熔、感应炉冶炼、电子轰击炉熔炼以及相应的真空冶炼等。电弧炉炼钢只是电炉炼钢的一种，而且是主要的一种。在电弧炉炼钢中，又有酸性与碱性之分，碱性电弧炉应用的最广泛。因此，为了叙述方便起见，如果不作特殊说明，通常称电炉炼钢是指电弧炉炼钢，冶炼工艺又是指碱性冶炼工艺。

第一章 钢及钢的分类与编号

第一节 基本概念

一、钢和生铁

钢和生铁都是铁碳合金。理论上一般将碳含量小于 2.11% 的铁碳合金称为钢，但生产上个别钢号的碳含量可达 2.3%（如 Cr12），经常冶炼的钢的碳含量均低于 1.4% 以下；碳含量大于 2.11% 的铁碳合金叫做生铁，但碳含量超过 5% 以上的铁碳合金，因脆性太大而无使用价值。

钢和生铁在性能上存在着显著的差别。钢具有很好的物理化学性能与力学性能，可进行拉、压、轧、冲、拔等深加工，所以应用十分广泛。而生铁由于碳含量较高且质脆，应用受到了限制，一般只用作炼钢原料或浇注铸铁件。因此，根据生铁的用途不同可分为炼钢生铁和铸造生铁；如按碳在铸造生铁中存在的形态不同，又可分为白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁。在生产上，有的还加入 Cr、Mo、V、Ni、Cu、Al、RE 等元素或有目的地提高铁中的 Si、Mn、P 等含量，以求获得特殊性能、特殊用途的铸铁，这样的铸铁称为合金铸铁。

二、工业纯铁和熟铁

碳含量低于 0.02% 的铁碳合金叫做工业纯铁。在目前的生产条件下，即使采用极纯的炉料和最先进的措施，通过冶金方法获得纯铁的纯度只能达到 99.9%（如极软钢、阿姆克铁、瑞典铁等）。通过实验室实验或采用化学方法制取，纯铁中铁的含量最高也只能达到 99.99%。通常，民间所谓的熟铁实际上是碳含量将近 0.1% 并含有大量夹杂的铁碳合金。

三、合金元素

钢决不是简单的铁碳二元合金，而是以铁碳为主要元素的多元合金。由于冶炼时所用的原材料及冶炼方法或工艺等因素的影响，钢中免不了含有少量的其他元素，如 Mn、S、P、Cr、Ni、Si、Cu 等。它们的存在对某些钢有时起到有益的作用，但有时也会产生不利的影响，例如，少量的 Cr、Ni、Cu 存在，对钢的加热与热处理、焊接性能及冷变形加工等均能产生不良的后果，因此在一般钢中都规定出它们最高的许可含量。通常，这些元素均作为残余元素看待，而不认为是合金元素。那么，什么是合金元素呢？

为了获得某种性能，有目的并按一定含量范围把一种或几种元素加入钢中，这样的元素叫做合金元素。合金元素不一定直接参与改变钢的性能，大部分是由于它们的引入影响到相变过程，以间接的方式发挥作用。

四、合金钢及特殊钢

凡加入一定数量的合金元素而获得的一系列特殊性能的钢均称为合金钢。即使加入元素的含量有限（如低硼钢中的硼），也能使钢获得一定的性能，那么这种钢就可认为是合金钢。特殊钢的定义，目前国际上没有严格的规定，各国根据本国的实际情况有不同的规定。一般认为因化学成分、特殊的冶炼方法或加工方法而造成与普通钢不同并具有特殊性能的合金，统称为特殊钢。合金元素含量很高的合金钢，如含Cr13%以上并加有Ni、Mo等元素的不锈钢也是特殊钢。普通钢由于冶炼或加工特殊，也可列为特殊钢；就是合金元素含量不高，但钢获得了一定的性能，也可称为特殊钢。因此各种合金钢及纯铁都属于特殊钢。所以，化学成分、冶炼方法、加工方法是特殊钢的基本特征。

第二节 钢的分类与编号

一、钢的分类

1. 按化学成分分类

按是否有目的地加入合金元素可把钢分为碳素钢和合金钢两大类。

按碳含量不同又把钢分为低碳钢、中碳钢、高碳钢三类。一般将碳含量小于0.25%的称为低碳钢，大于0.60%的称为高碳钢，而碳含量位于0.25%~0.60%之间的称为中碳钢。

按钢中合金元素总含量的多少分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。一般合金元素总含量小于3%的为普通低合金钢，合金元素总含量为3%~5%的为低合金钢，大于10%的叫做高合金钢，而合金元素总含量位于3%~10%之间的叫做中合金钢。顺便指出，此种划分方法目前没有统一的规定，不仅各国不一样，就是同一国家不同钢厂的划分也不一样。

按钢中所含的主要合金元素不同可分为锰钢、硅钢、硼钢、铬镍钢、铬镍钨钢、铬锰硅钢等。

2. 按冶炼方法和质量水平分类

按炼钢炉设备不同可分为平炉钢、转炉钢、电炉钢。其中电炉钢包括电弧炉钢、感应炉钢、电渣钢、电子束熔炼及有关的真空熔炼钢等。

按选用炉衬的材质不同，平炉钢、转炉钢、电炉钢均可分为酸性和碱性两类。

按脱氧程度不同可分为沸腾钢（不经脱氧或只经微弱脱氧）、镇静钢（脱氧充分）、半镇静钢（脱氧不完全，介于镇静钢和沸腾钢之间）。此外，还有氧含量极低的特殊镇静钢。目前，利用电炉冶炼的钢都是镇静钢，而经真空等处理的镇静钢多为特殊镇静钢。

按质量水平不同可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。普通钢的S、P以及其他杂质的含量较高，如一般 $S \leq 0.050\%$ 、 $P \leq 0.045\%$ 。优质钢对S、P及其他杂质含量均有较严格的限制，一般 $S \leq 0.040\%$ 、 $P \leq 0.035\%$ ，对于优质合金钢则要求更严些。此外，合金钢对力学性能和低倍组织也有一定的要求。高级优质钢除对S、P等杂质含量有非常严格的限制外，还对力学性能、低倍和高倍组织更有相应的严格要求。

3. 按金相组织分类

按钢的奥氏体分解转变方式不同可分为亚共析钢、共析钢、过共析钢。理论上铁碳合

金的共析碳含量为 0.77%，亚共析的碳含量小于 0.77%，而过共析的碳含量大于 0.77%。合金元素溶入奥氏体时都使共析碳含量降低，而某些高合金过共析钢凝固时有奥氏体和碳化物的共晶体形成，这种共晶体被称为莱氏体，这种钢叫做莱氏体钢。

按正火后的组织不同可分为珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢及奥氏体钢。

按加热及冷却时有无相变和在室温时的主要组织可分为铁素体钢、半铁素体钢、奥氏体钢和半奥氏体钢。

4. 按加工和热处理工艺分类

按加工成型的方式不同可分为压力加工用钢和切削加工用钢等。

按热处理工艺的不同可分为调质钢、低温回火钢、渗碳钢、氰化钢等。

5. 按用途分类

根据钢的用途不同，可大致分为以下三类：

(1) 结构钢。目前生产最多、使用最广的是结构钢。它包括碳素结构钢和合金结构钢，主要用于制造机器和结构的零件及建筑工程用的金属结构等。

(2) 工具钢。它包括碳素工具钢和合金工具钢及高速钢，再细分又有刀具钢、量具钢和模具钢等。

(3) 特殊性能钢。就是具有特殊物理化学性能或力学性能的钢，称为特殊性能钢。这种钢的种类比较繁多，如轴承钢、不锈钢、弹簧钢及其他磁性钢或高温合金钢等。

冶金工业部规定的八大类特殊钢，就是按上述用途划分的，即碳素结构钢（碳结）、合金结构钢（合结）、碳素工具钢（碳工）、合金工具钢（合工）、高速钢、轴承钢、弹簧钢与不锈钢。

二、钢的编号

钢的编号是为了区识别别各个不同的钢种，更便于生产、运输、选择、使用、贮存与管理。各国钢的编号方法及规律虽然不同，但所表示的内容均不外是冶炼方法、质量等级、化学成分、组织状态及性能与用途等。中国标准规定钢的编号，主要是用阿拉伯数字和元素符号表示化学成分，还有的钢类或合金用汉语拼音字母和阿拉伯数字代表其他内容，如产品名称、用途、特性和工艺方法等，一般编法如下：

(1) 优质碳素结构钢和合金钢。概括地说，排在钢牌号前面的数字是取钢中碳平均含量的千分之几或万分之几的整数，后面跟着标定的是合金元素的化学符号和数字，而这个数字是表示该元素平均含量的百分之几或千分之几且也取整数。低合金钢、合金结构钢和弹簧钢在牌号的头部用两位数字表示平均碳含量的万分之几。合金工具钢、高速工具钢、高碳轴承钢等一般不标出碳含量的数字；如平均碳含量小于 1.00% 时，可用一位数字表示碳含量的千分之几。不锈钢、耐热钢等，一般用一位数字表示平均碳含量的千分之几；平均碳含量小于 0.1% 的用“0”表示；碳含量不大于 0.03% 的用“00”表示。合金元素含量一般都在元素符号后面用数字标明，取的是该元素平均含量的百分之几的整数；如平均合金含量小于 1.5%，则牌号中仅标明元素，一般不标明含量；如平均合金含量为 1.50%~2.49%、2.50%~3.49%……22.50%~23.49%……，则相应地写成 2、3……23……。但高碳铬轴承钢的铬含量是用千分之几表示，而平均铬含量小于 1% 的合金工具钢，铬含量也用千分之几表示，但在含量数值之前加一个数字“0”。例如，平均铬含量为 0.60% 的合金工具钢表示为“Cr06”。滚珠轴承钢前面冠以汉语拼音字母“G”以示区别于其他合金工具钢。某些钢牌号的末尾带“A”者为高级优质钢，经电渣重熔冶炼的特级优质钢，牌号后加

“E”。还有些专门用途的低合金钢、合金结构钢，在牌号头部（或尾部）加代表该钢用途的符号，如“ML”表示铆螺钢，“g”表示锅炉用钢，而“H”表示焊接用钢等。

(2) 碳素结构钢。碳素结构钢的牌号由汉语拼音字母“Q”为前缀，后接三位数字，该三位数字表示厚度或直径小于16mm钢材的标准屈服强度，中间用破折号连接，而后标定的是质量等级与脱氧程度。质量等级有A、B、C、D四等，脱氧程度为：沸腾钢用汉语拼音字母“F”表示；半镇静钢用汉语拼音字母“b”表示；镇静钢和特殊镇静钢则分别用汉语拼音字母“Z”与“TZ”表示。但在牌号表示法中，“Z”与“TZ”均予以省略。

(3) 碳素工具钢。碳素工具钢的牌号由汉语拼音字母“T”为前缀，后面标定的数字表示平均碳含量的千分之几；如锰含量较高时，在数字之后标出锰元素符号；如在牌号尾部加符号“A”时，示为高级优质碳素工具钢。

(4) 易切削钢。易切削钢的牌号是用汉语拼音字母“Y”和数字表示，而该数字表示钢中平均碳含量的万分之几。硫或硫磷易切削钢，牌号中不标出易切削元素符号，而含Ca、Pb、Se等易切削元素的易切削钢，在牌号尾部标出易切削元素符号。锰含量较高的易切削优质碳素结构钢，在符号Y和数字之后标出锰元素符号。例如，平均碳含量为0.40%、锰含量较高（1.20%~1.55%）的易切削碳素结构钢，牌号表示为“Y40Mn”。

(5) 铸钢。优质碳结、合结、不锈等铸钢，均在原牌号头部加符号“ZG”；轧辊用铸钢，在原牌号头部加符号“ZU”。

(6) 电工用硅钢。电工用热轧硅钢、电工用冷轧无取向硅钢、电工用冷轧取向硅钢的牌号的头部分别用汉语拼音字母“DR”、“DW”、“DQ”和之后的数字表示，而该数字表示典型产品的最大单位铁损值。牌号尾部加符号“G”的，表示在高频率下检验的；牌号尾部未加符号“G”的，表示在频率为50Hz时检验的。

(7) 电工用纯铁。电工用纯铁的牌号用汉语拼音字母“DT”和数字表示，该数字是表示不同牌号的顺序号。电磁性能为高级、特级、超级，在数字之后分别加符号“A”、“E”、“C”。

(8) 高温合金。在应力和高温（600~650℃以上）同时作用下，有长时间的抗蠕变能力并具有高持久强度及高抗蚀性能的金属材料称为耐热合金或高温合金。高温合金根据基本成形方式或特殊用途，可分为变形高温合金、铸造高温合金、焊接用高温合金及粉末高温合金；根据合金的基本组成元素，将合金分为铁基合金、镍基合金和钴基合金；根据合金的主要强化特征，将合金分为固溶强化型合金和时效硬化型合金。变形高温合金的牌号采用汉语拼音字母“GH”作前缀后接四位数字。其中第一位数字表示分类号，即用1、2、3、4、6分别表示固溶强化型铁基合金、时效硬化型铁基合金、固溶强化型镍基合金、时效硬化型镍基合金、钴基合金，而5目前排空。符号“GH”后的第二、三、四位数字表示合金的编号。铸造高温合金采用汉语拼音字母“K”作前缀，后接三位数字。其中“K”后第一位数字表示分类号，即用2、4、6分别表示时效硬化型铁基合金、时效硬化型镍基合金、钴基合金，而“K”后的第二、三位数字表示合金的编号。焊接用的高温合金丝是在前缀符号“GH”前加符号“H”，即采用“HGH”为前缀后接四位数字来表示。该四位数字的意义与变形高温合金的相同。粉末高温合金是在前缀“GH”前加符号“F”，即采用“FGH”作前缀后接数字来表示。符号“FGH”后第一位数字表示分类号（前缀符号后的数字位数及特定含义待定）。

(9) 耐蚀合金。在氧化或还原气氛中，或在强酸、强碱、高温高压水应力、苛性介质

应力的长时间作用下，具有耐腐蚀能力的镍基材料称为耐蚀合金。耐蚀合金根据基本成形方式的不同，可分为变形耐蚀合金和铸造耐蚀合金；根据合金的基本组成元素不同，可分为铁镍基和镍基合金。铁镍基合金含镍 30%~50% 且镍加铁不小于 60%，镍基合金含镍不小于 50%；根据合金的主要强化型特征，将合金分为固溶强化型合金和时效硬化型合金。变形耐蚀合金的牌号采用汉语拼音字母“NS”为前缀，后接三位数字表示。其中符号“NS”后第一位数字表示分类号，即用 1、2、3、4 分别表示固溶强化型铁镍基合金、时效硬化型铁镍基合金、固溶强化型镍基合金、时效硬化型镍基合金；而“NS”后第二位数字表示不同合金的系列号，即用 1、2、3、4 分别表示 Ni-Cr 系、Ni-Mo 系、Ni-Cr-Mo 系、Ni-Cr-Mo-Cu 系；符号“NS”后第三位数字表示不同合金牌号的顺序号。焊接用的耐蚀合金丝在符号“NS”前加符号“H”，即采用“HNS”为前缀，后接三位数字；铸造耐蚀合金在符号“NS”前加符号“Z”，即采用“ZNS”为前缀，后接三位数字。两种合金各位数字所表示的意义均与变形耐蚀合金的相同。

(10) 精密合金。精密合金是具有某些特殊物理性能的合金总称。牌号是在汉语拼音字母“J”前面用数字表示精密合金的类别，即用 1、2、3、4、5、6 分别表示软磁合金、变形永磁合金、弹性合金、膨胀合金、热双金属和精密电阻合金，而符号“J”后第一、二位数字表示不同合金牌号（热双金属例外）的序号。序号从 01 开始，可编到 99。合金牌号的序号原则上应以主元素（除铁外）百分含量的中值表示。若合金序号重复，其中某合金序号可采用主元素百分含量与另一合金元素百分含量之和的中值表示，或以主元素百分含量的上（或下）限表示，以示区别。对于同一合金成分，由于生产工艺不同、性能也不同的合金，或同一合金成分、用途不同、性能要求也不同的合金，在必须予以区别时，应在序号之后标以汉语拼音字母相区别，该字母为表示合金的主特性或用途的汉语拼音的第一个字母。热双金属字母“J”后的第一、二位数字表示比弯曲公称值的整数（单位为 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）；第三位及其后的数字表示电阻率公称值；数字后的字母“A”、“B”分别表示被动层相同而主动层不同的两种热双金属牌号。

第二章 电炉炼钢的优缺点及炼钢工和浇注工的基本任务

第一节 电炉炼钢的优缺点

目前，电炉炼钢是世界各国生产特殊钢的主要方法，它具有一系列的优点：

(1) 电炉炼钢的设备比较简单，投资少、基建速度以及资金回收快。尤其是廉价的水力发电的普及与核能发电的发展使其更得到了迅猛的发展。

(2) 因电炉炼钢的热源来自于电弧，温度高达 $4000\sim 6000^{\circ}\text{C}$ ，并直接作用于炉料，所以热效率较高，一般在 65% 以上。此外，在冶炼过程中，提高钢液温度灵活，容易冶炼含有难熔元素 W、Mo 等高合金钢。

(3) 电炉炼钢不仅可去除钢中的有害气体与夹杂物，还可脱氧、去硫、合金化等，故能冶炼出高质量的特殊钢。此外，电炉钢的成分易于调整与控制，也能熔炼成分复杂的钢种，如不锈钢、耐热钢及其他高温合金等。

(4) 电炉炼钢可采用冷装或热装，不受炉料的限制，并可用较次的炉料熔炼出较好的高级优质钢或合金。目前，社会上的板边、车屑等废钢量增加，“吃掉”这些东西最理想的办法就是用于电炉炼钢。电炉还能将高合金废料进行重熔或返回冶炼，从而可回收大量的贵重合金元素。

(5) 适应性强，可连续生产，也可间断生产，就是经过长期停产后恢复也快。

目前，由于炼钢电炉的大型化、超高功率化及冶炼工艺的强化，并与不断发展完善的二次精炼和连铸连轧技术相配套，已形成了自动化、机械化水平高、能耗低的专业生产体系，使得它在钢的生产中更具有竞争能力。

电炉炼钢的缺点有：

(1) 电弧是点热源，炉内温度分布的不均匀，熔池各部位的温差也较大。

(2) 炉气或水分，在电弧的作用下，能解离出大量的 H、N，而使钢中的气体含量增高。电炉钢一般含氢约为 $(30\sim 50)\times 10^{-5}\%$ ，含氮为 $(4\sim 10)\times 10^{-3}\%$ 。

第二节 电炉炼钢工和浇注工的基本任务

电炉炼钢工和浇注工为了获得化学成分合格，物化性能和力学性能及工艺性能良好的优质钢，在生产过程中，必须完成下述基本任务：

(1) 调整好规定的化学成分。由于每种钢都有各自固有的特性，而每种钢的固有特性取决于钢的组织结构，钢的组织结构又取决于钢的化学成分和加工生产的工艺过程，因此在每炉钢的冶炼过程中，调整好规定的化学成分是非常必要的。任何一个炼钢规程都明确规定所炼制钢号化学成分的范围，也有些规程不仅规定了条件中要求的成分，还根据生产中发现的质量问题制定了理想的控制成分。因此，要想炼出优质钢，一个好的电炉炼钢工必须能按规程要求，严格控制钢的化学成分。例如，18Cr2Ni4WA 钢，硬度容易偏高，而硬度偏高，又往往引起冲击功 A_K 的不合。因此，电炉炼钢工在冶炼时，应把影响到该钢硬

度的 C 和 W 含量按中下限进行控制。又如，我们发现 T12A 钢的淬透性较差，但在冶炼时可通过调整残余的 Cr、Ni 含量来解决。这些都说明电炉炼钢工调整好每炉钢规定的化学成分并进行理想的控制是非常必要的。

(2) 降低钢中的气体和夹杂物的含量。气体和夹杂物从不同的角度破坏钢的连续性，并影响性能或使产品报废。如用气体或夹杂物含量过高的钢制作设备或零件，将降低它们的使用寿命。可见去除或降低钢中气体和夹杂物含量使之满足于各钢种所规定的允许范围，是电炉炼钢工的另一重要任务。钢中气体主要是指 H、N、O，它们在钢中的存在形式一般有两种：一是溶解于钢中，二是以化合状态存在于钢中。夹杂物主要是指氧化物、硫化物、氮化物等。这些夹杂物有的是炉料带入的，有的是冶炼过程中炉衬或浇注系统的耐火材料被侵蚀而卷入的，还有的是脱氧产物未被排除或出钢与浇注过程中钢液再次氧化的产物，也有的是 S、P 等以杂质状态存在于钢中。因气体和夹杂物进入钢中的时间与状态不同，所以在冶炼和浇注过程中，去除它们的方法和手段也不一样。但电炉炼钢工和浇注工必须不失时机地采取最有效的措施，并最大限度降低钢中的气体和夹杂物的含量。

(3) 控制好冶炼温度。钢的冶炼是在高温下进行的。如果电炉炼钢工不善于巧妙地控制温度，就不能控制各种复杂的化学反应。例如，钢液的脱磷一般在熔化末期或氧化初期中等偏低的温度下进行，否则到了后期高温时就很难去除；在氧化过程中，如果没有足够的温度，碳氧反应就会进行得不充分，也不能使钢液产生激烈的沸腾，钢中气体和夹杂物的去除也就不理想；而在氧化末期钢液的温度达不到要求，还原期就要后升温，钢中的气体溶解度将增大并加重对炉衬的侵蚀；相反，过高的冶炼温度也会产生同样的不良后果。由此可见，电炉炼钢工控制好每炉钢的冶炼温度也是十分重要的。对于各种类别钢的出钢温度，规程中都有明确的规定。

(4) 浇注成良好的钢锭、连铸坯或钢件。浇注是炼钢的一道关键工序。浇注工作从系统的准备到钢的浇注，从脱模、传运到钢的冷却及热处理等，每一个环节都将对钢的质量产生很大的影响。例如，注温注速控制不当会给钢的表面造成结疤、裂纹和截痕，还会在钢的内部产生缩孔、疏松、偏析等缺陷。因此，把钢液浇注成内外部均无缺陷的钢锭、连铸坯、钢件或各种规格的异型钢；这是电炉炼钢工和浇注工的最后一个极其重要的基本任务。

第三章 电炉炼钢的技术经济指标

技术经济指标能够反映生产中的技术水平与经济效果。它反映并衡量一个企业完成计划的情况，同时也能为企业内部的各项技术、生产、经营活动与检查分析提供依据。电炉炼钢的技术经济指标，主要包括产量、质量、品种、成本、炉龄与包龄及不氧化法比与工人实物劳动生产率等几项内容。

电炉炼钢的产量指标包括：

(1) 利用系数。电炉的利用系数是衡量一座炉台产量高低的标志。它是指电炉 1 天 (24h) 每百万伏安变压器生产合格钢的吨数，单位为 $t/(MV \cdot A \cdot d)$ 。计算公式为：

$$\text{利用系数} = \frac{\text{合格钢产量}}{\text{变压器容量} \times \text{日历昼夜}}$$

其中：

$$\text{合格钢产量} = \text{检验量} - \text{废品量}$$

电炉变压器容量按铭牌容量计算；但经改造后的变压器应按新测定的容量计算。天数通常按月、季度、年进行统计，但扣除计划检修和停电所占去的时间。

利用系数在很大程度上综合反映了产品质量的优劣、产量的增减、操作水平的高低、设备潜力的挖掘以及企业管理水平等。冷装电炉的利用系数一般为 $10 \sim 30 t/(MV \cdot A \cdot d)$ 。

(2) 作业率。电炉的日历作业率是指电炉实际炼钢时间占日历时间的百分比。计算公式为：

$$\begin{aligned} \text{作业率} &= \frac{\text{实际炼钢时间}}{\text{日历时间}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{日历时间} - \text{停工时间}}{\text{日历时间}} \times 100\% \end{aligned}$$

实际炼钢时间包括补炉、装料、炼钢、出钢以及冶炼过程中的耽误时间。冶炼过程中的耽误时间是指等吊车、等钢包、等分析、等原材料、接换电极以及处理冶炼过程中的各类事故所耗的时间。停工时间包括检修设备、更换水冷件、特殊修砌补打炉衬、计划停电、停水及换炉壳与换炉盖等所花费时间的总和。

作业率反映了电炉炼钢对时间的利用程度，一般波动在 $94\% \sim 96\%$ 之间。如果企业管理水平高，设备维修保养好，炉衬使用寿命高，冶炼操作正常，防止各类事故的发生，缩短计划或杜绝非计划检修时间，就能提高作业率。例如，自从炼钢电炉广泛采用水冷炉壁与水冷炉盖后，更换炉衬的次数减少，电炉的日历作业率获得了明显的提高。

(3) 电炉炼钢的生产率。电炉炼钢的生产率即是它的产量，是指每座电炉在一定时间内生产的合格钢数量。它与一定时间 (N) 内的平均作业率 (g)、每炉装入量 (P) 及每炉合格钢的收得率 (f) 成正比，而与每炉平均冶炼时间 (τ) 成反比。设 G 为电炉生产率，则计算公式为：

$$G = \frac{24NgPf}{\tau} \quad (3-1)$$

从公式中不难看出，随着作业率、合格率、装入量的提高和冶炼时间的缩短，钢产量