

本书系统地讨论了物理化学基础及炼钢过程理论，叙述了电炉炼钢及浇注生产实践、滚珠钢、不锈钢、高速钢、硅钢和合金结构钢等主要钢种的生产经验。对于真空冶炼、感应炉冶炼、稀土金属在炼钢中的应用及钢锭缺陷均作了专题论述。

本书由冶金工业部教育司推荐作为高等冶金院校钢铁冶金专业电冶金专门化教学用书，也可供中等冶金专业学校电炉炼钢专业作参考教材。

电 炉 炼 钢 学

北京钢铁学院编著

*

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

化工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张24⁵/₄·字数557,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—1,537 定价(10—6)2.90元

统一书号：15165·691(冶金—186)

前 言

解放以来，我国的电炉炼钢工业有了飞速的发展，冶金院校也逐日增多，但是目前仍缺乏一本我国自编的电冶金教材。为了适应教学需要，我们在党的领导下，组织我院电冶金教研组教师和部分高年级同学，收集了有关国内外资料，按照部订教学大纲，编成这本电炉炼钢学。

全书共约38万字，对专业电冶金学第二部分(电炉炼钢)来说，篇幅是较大了，若第一章(物理化学基础部分)，不作重点讲授时，学生阅读部分可减至32万字，这样基本上还是合适的。

本书在编写过程中，曾得到苏联专家阿·阿·雅斯凯维奇同志的热情帮助，校友陆世英同志编写了稀土金属在炼钢中的应用一章，在这里我们一并致以谢意。

北京钢铁学院电冶金教研组

目 录

緒 論	9
第一編 炼鋼过程的理論	11
第一章 炼鋼的物理化学原理	11
第一节 反应热效应与温度的关系	11
第二节 拉烏尔定律与亨利定律	13
第三节 逸度和活度	14
✓第四节 平衡	17
✓第五节 化学动力学	24
第二章 鋼液的物理化学性质	33
第一节 氢和氮在鉄中的溶解度	34
第二节 液态鉄中氧的溶解度	35
第三节 合金元素对鉄的熔点的影响	35
第四节 鋼液的粘度	38
✓第五节 鋼液的表面张力	41
第六节 溶解于液态鉄中的元素的活度与自由能	46
第三章 炉渣	49
第一节 炉渣的来源和其重要性	49
第二节 炉渣的种类	50
第三节 炉渣的粘度	54
第四节 炉渣的結構理論	55
第四章 脫碳	67
✓第一节 碳氧反应的热力学	67
✓第二节 脫炭反应机理和其动力学	69
第五章 脫磷	74
第一节 磷对鋼質量的影响	74
第二节 磷在鋼渣中存在的形式	74
第三节 脫磷的分子理論	75
第四节 脫磷的离子理論	79
第五节 关于脫磷的几个問題	80
第六节 快速去磷的方法	83
第六章 脫氧	83
第一节 氧在鉄中的行为	83
第二节 元素的脫氧能力	85
第三节 脫氧产物的形成及排出	99
第四节 扩散脫氧理論	103
第五节 还原期强化脫氧	105
第七章 脫硫	106
第一节 硫对鋼的質量的影响	107

第二节	硫在鋼液、炉渣和气相中的存在状态	108
第三节	脱硫的理論	110
第四节	脱硫的实践	120
第八章	鋼中气体	126
第一节	鋼中气体对鋼質量的影响	126
第二节	鋼中气体来源	128
第三节	气体在鋼和渣中的溶解	131
第四节	鋼液吸收和排出气体的动力学	139
第五节	电炉生产过程中气体含量的变化	142
第六节	鋼中气体分析	148
第九章	鋼中非金属夹杂	151
第一节	非金属夹杂对鋼机械性能的影响	151
第二节	鋼中非金属夹杂的来源	151
第三节	鋼中非金属夹杂的鉴定	153
第四节	冶炼和浇注过程中非金属夹杂物的含量变化	155
第五节	鋼中非金属夹杂物的偏析	157
第六节	减少鋼中非金属夹杂物的途径	160
第二編	电弧爐炼鋼	162
第十章	电弧炉炉衬	162
第一节	耐火材料	162
第二节	絕热材料和粘結剂	165
第三节	炉頂	165
第四节	炉壁(炉墙)	169
第五节	炉底	172
第六节	炉子的大、中修	174
第十一章	电炉鋼生产的原材料	175
第一节	废鋼和废鉄	175
第二节	返回鋼	176
第三节	生鉄	176
第四节	軟鉄	176
第五节	氧化剂	177
第六节	脱氧剂和合金材料	177
第七节	造渣材料	183
第八节	增碳剂	185
第十二章	原材料的准备, 补炉、装料及熔化	185
第一节	原材料的准备	186
第二节	补炉	186
第三节	配料	187
第四节	装料	188
第五节	熔化期	189
第十三章	氧化期(碱性炉)	191
第一节	磷的氧化	192

第二节	炭的氧化	193
第三节	锰的氧化	194
第四节	除硫作用	195
第五节	电弧炉吹氧炼钢	195
第六节	氧化期的热制度与供电制度	197
✓ 第十四章	还原期	198
第一节	脱氧	198
第二节	脱硫	206
第三节	钢的合金化	207
第四节	冶炼过程中的供电制度和钢液温度的变化	200
第五节	缩短还原期的方法	210
第六节	不氧化法冶炼及单渣法冶炼	211
第十五章	酸性电弧炉冶炼	214
第一节	概述	214
第二节	酸性电弧炉炉衬	215
第三节	酸性电弧炉的炼钢过程	216
第十六章	稀土元素在炼钢中的应用	222
第一节	稀土元素的基本性质	222
第二节	在炼钢生产中采用稀土元素的种类、加入形式、加入方法和加入量	224
第三节	稀土的去气作用	225
第四节	稀土的脱硫作用	226
第五节	稀土元素对控制钢的晶粒大小的作用	229
第六节	稀土元素对钢的热加工性的影响	231
第七节	稀土元素对铸钢性能的影响	233
第八节	稀土元素对耐热钢及耐热合金性能的影响	239
第九节	稀土元素对其他钢种性能的影响	243
第三編	复合炼钢法	244
第十七章	双联炼钢法	244
第十八章	混合炼钢法	245
第一节	混合炼钢的物理化学反应	246
第二节	混合炼钢的工艺实践	251
第三节	混合炼钢今后的任务	253
第四編	感应爐冶炼及真空冶炼	254
第十九章	无芯感应炉冶炼	254
第二十章	真空冶炼	260
第五編	钢的澆注	274
第二十一章	钢錠的凝固	274
✓ 第一节	金属的结晶理論	274
第二节	镇静钢鋼錠的结构与结晶过程	275
第三节	影响镇静钢鋼錠结晶过程的因素	273
第四节	镇静钢鋼錠的縮孔与收缩疏松	281

第五节 镇静钢锭中的偏析	285
第二十二章 浇铸设备及工艺	288
第一节 盛钢桶	288
第二节 中柱管	293
第三节 钢锭模	294
第四节 铸锭底盘	299
第五节 浇注方法	300
第六节 浇注前的准备工作	301
第七节 浇注操作	304
第二十三章 钢锭的缺陷及其检查	307
第一节 残余缩孔和疏松	308
第二节 裂纹	312
第三节 白点	318
第四节 发纹	321
第五节 层状断口	322
第六节 点状偏析, 方形偏析, 一般空隙与气泡	323
第七节 截痕、结疤、翻皮、亮边	326
第八节 铸锭中新技术的应用	327
第二十四章 连续浇注	333
第一节 连续铸锭设备	333
第二节 连续浇注时钢水的结晶	339
第三节 特殊钢的浇注工艺	340
第四节 铸坯的质量	342
第二十五章 电弧炉炼钢的技术经济指标	343
第六编 特殊钢冶炼	348
第二十六章 滚珠钢的冶炼	348
第一节 对滚珠钢的要求	348
第二节 滚珠钢冶炼特点	349
第二十七章 结构钢的冶炼	351
第一节 结构钢的用途、要求及其分类	351
第二节 结构钢经常产生的缺陷及其造成原因和防止方法	351
第三节 含硼结构钢(硼钢)的冶炼	353
第四节 铬锰钛结构钢的冶炼	355
第二十八章 高速钢的冶炼	359
第一节 高速钢的特点及所含合金元素的作用	359
第二节 高速钢的冶炼	361
第三节 高速钢的浇注	365
第四节 高速钢的主要缺陷——碳化物偏析	365
第二十九章 不锈钢的冶炼	367
第一节 不锈钢的性质	367
第二节 不锈钢的分类和用途	369
第三节 不锈钢的缺陷	369

第四节	不銹鋼中碳和鉻的氧化理論	371
第五节	不銹鋼的冶煉方法	374
第三十章	高硅鋼的冶煉	383
第一节	硅鋼的特点	383
第二节	合金元素的作用及硅鋼規格	384
第三节	變壓器鋼的冶煉和澆注	387
第四节	爐外脫硫	390
第五节	變壓器鋼的真空處理	391

高等学校教学用书



电 炉 炼 钢 学

北京钢铁学院编著

中国工业出版社

本书系统地讨论了物理化学基础及炼钢过程理论，叙述了电炉炼钢及浇注生产实践、滚珠钢、不锈钢、高速钢、硅钢和合金结构钢等主要钢种的生产经验。对于真空冶炼、感应炉冶炼、稀土金属在炼钢中的应用及钢锭缺陷均作了专题论述。

本书由冶金工业部教育司推荐作为高等冶金院校钢铁冶金专业电冶金专门化教学用书，也可供中等冶金专业学校电炉炼钢专业作参考教材。

电 炉 炼 钢 学

北京钢铁学院编著

*

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

化工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $24^{5/4}$ ·字数557,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—1,537 定价(10—6)2.90元

统一书号：15165·691(冶金—186)

前 言

解放以来，我国的电炉炼钢工业有了飞速的发展，冶金院校也逐日增多，但是目前仍缺乏一本我国自编的电冶金教材。为了适应教学需要，我们在党的领导下，组织我院电冶金教研组教师和部分高年级同学，收集了有关国内外资料，按照部订教学大纲，编成这本电炉炼钢学。

全书共约38万字，对专业电冶金学第二部分(电炉炼钢)来说，篇幅是较大了，若第一章(物理化学基础部分)，不作重点讲授时，学生阅读部分可减至32万字，这样基本上还是合适的。

本书在编写过程中，曾得到苏联专家阿·阿·雅斯凯维奇同志的热情帮助，校友陆世英同志编写了稀土金属在炼钢中的应用一章，在这里我们一并致以谢意。

北京钢铁学院电冶金教研组

目 录

緒 論	9
第一編 炼鋼过程的理論	11
第一章 炼鋼的物理化学原理	11
第一节 反应热效应与温度的关系	11
第二节 拉烏尔定律与亨利定律	13
第三节 逸度和活度	14
✓第四节 平衡	17
✓第五节 化学动力学	24
第二章 鋼液的物理化学性质	33
第一节 氢和氮在鉄中的溶解度	34
第二节 液态鉄中氧的溶解度	35
第三节 合金元素对鉄的熔点的影响	35
第四节 鋼液的粘度	38
✓第五节 鋼液的表面张力	41
第六节 溶解于液态鉄中的元素的活度与自由能	46
第三章 炉渣	49
第一节 炉渣的来源和其重要性	49
第二节 炉渣的种类	50
第三节 炉渣的粘度	54
第四节 炉渣的結構理論	55
第四章 脫碳	67
✓第一节 碳氧反应的热力学	67
✓第二节 脫炭反应机理和其动力学	69
第五章 脫磷	74
第一节 磷对鋼質量的影响	74
第二节 磷在鋼渣中存在的形式	74
第三节 脫磷的分子理論	75
第四节 脫磷的离子理論	79
第五节 关于脫磷的几个問題	80
第六节 快速去磷的方法	83
第六章 脫氧	83
第一节 氧在鉄中的行为	83
第二节 元素的脫氧能力	85
第三节 脫氧产物的形成及排出	99
第四节 扩散脫氧理論	103
第五节 还原期强化脫氧	105
第七章 脫硫	106
第一节 硫对鋼的質量的影响	107

第二节	硫在鋼液、炉渣和气相中的存在状态	108
第三节	脱硫的理論	110
第四节	脱硫的实践	120
第八章	鋼中气体	126
第一节	鋼中气体对鋼質量的影响	126
第二节	鋼中气体来源	128
第三节	气体在鋼和渣中的溶解	131
第四节	鋼液吸收和排出气体的动力学	139
第五节	电炉生产过程中气体含量的变化	142
第六节	鋼中气体分析	148
第九章	鋼中非金属夹杂	151
第一节	非金属夹杂对鋼机械性能的影响	151
第二节	鋼中非金属夹杂的来源	151
第三节	鋼中非金属夹杂的鉴定	153
第四节	冶炼和浇注过程中非金属夹杂物的含量变化	155
第五节	鋼中非金属夹杂物的偏析	157
第六节	减少鋼中非金属夹杂物的途径	160
第二編	电弧爐炼鋼	162
第十章	电弧炉炉衬	162
第一节	耐火材料	162
第二节	絕热材料和粘結剂	165
第三节	炉頂	165
第四节	炉壁(炉墙)	169
第五节	炉底	172
第六节	炉子的大、中修	174
第十一章	电炉鋼生产的原材料	175
第一节	废鋼和废鉄	175
第二节	返回鋼	176
第三节	生鉄	176
第四节	軟鉄	176
第五节	氧化剂	177
第六节	脫氧剂和合金材料	177
第七节	造渣材料	183
第八节	增碳剂	185
第十二章	原材料的准备, 补炉、装料及熔化	185
第一节	原材料的准备	186
第二节	补炉	186
第三节	配料	187
第四节	装料	188
第五节	熔化期	189
第十三章	氧化期(碱性炉)	191
第一节	磷的氧化	192

第二节	炭的氧化	193
第三节	锰的氧化	194
第四节	除硫作用	195
第五节	电弧炉吹氧炼钢	195
第六节	氧化期的热制度与供电制度	197
✓第十四章	还原期	193
第一节	脱氧	198
第二节	脱硫	206
第三节	钢的合金化	207
第四节	冶炼过程中的供电制度和钢液温度的变化	200
第五节	缩短还原期的方法	210
第六节	不氧化法冶炼及单渣法冶炼	211
第十五章	酸性电弧炉冶炼	214
第一节	概述	214
第二节	酸性电弧炉炉衬	215
第三节	酸性电弧炉的炼钢过程	216
第十六章	稀土元素在炼钢中的应用	222
第一节	稀土元素的基本性质	222
第二节	在炼钢生产中采用稀土元素的种类、加入形式、加入方法和加入量	224
第三节	稀土的去气作用	225
第四节	稀土的脱硫作用	226
第五节	稀土元素对控制钢的晶粒大小的作用	229
第六节	稀土元素对钢的热加工性的影响	231
第七节	稀土元素对铸钢性能的影响	233
第八节	稀土元素对耐热钢及耐热合金性能的影响	239
第九节	稀土元素对其他钢种性能的影响	243
第三編	复合炼钢法	244
第十七章	双联炼钢法	244
第十八章	混合炼钢法	245
第一节	混合炼钢的物理化学反应	246
第二节	混合炼钢的工艺实践	251
第三节	混合炼钢今后的任务	253
第四編	感应爐冶炼及真空冶炼	254
第十九章	无芯感应炉冶炼	254
第二十章	真空冶炼	260
第五編	钢的澆注	274
第二十一章	钢錠的凝固	274
✓第一节	金属的结晶理論	274
第二节	镇静钢鋼錠的结构与结晶过程	275
第三节	影响镇静钢鋼錠结晶过程的因素	273
第四节	镇静钢鋼錠的縮孔与收缩疏松	281

第五节 镇静钢锭中的偏析	285
第二十二章 浇铸设备及工艺	288
第一节 盛钢桶	288
第二节 中柱管	293
第三节 钢锭模	294
第四节 铸锭底盘	299
第五节 浇注方法	300
第六节 浇注前的准备工作	301
第七节 浇注操作	304
第二十三章 钢锭的缺陷及其检查	307
第一节 残余缩孔和疏松	308
第二节 裂纹	312
第三节 白点	318
第四节 发纹	321
第五节 层状断口	322
第六节 点状偏析, 方形偏析, 一般空隙与气泡	323
第七节 截痕、结疤、翻皮、亮边	326
第八节 铸锭中新技术的应用	327
第二十四章 连续浇注	333
第一节 连续铸锭设备	333
第二节 连续浇注时钢水的结晶	339
第三节 特殊钢的浇注工艺	340
第四节 铸坯的质量	342
第二十五章 电弧炉炼钢的技术经济指标	343
第六编 特殊钢冶炼	348
第二十六章 滚珠钢的冶炼	348
第一节 对滚珠钢的要求	348
第二节 滚珠钢冶炼特点	349
第二十七章 结构钢的冶炼	351
第一节 结构钢的用途、要求及其分类	351
第二节 结构钢经常产生的缺陷及其造成原因和防止方法	351
第三节 含硼结构钢(硼钢)的冶炼	353
第四节 铬锰钛结构钢的冶炼	355
第二十八章 高速钢的冶炼	359
第一节 高速钢的特点及所含合金元素的作用	359
第二节 高速钢的冶炼	361
第三节 高速钢的浇注	365
第四节 高速钢的主要缺陷——碳化物偏析	365
第二十九章 不锈钢的冶炼	367
第一节 不锈钢的性质	367
第二节 不锈钢的分类和用途	369
第三节 不锈钢的缺陷	369

第四节	不銹鋼中碳和鉻的氧化理論	371
第五节	不銹鋼的冶煉方法	374
第三十章	高硅鋼的冶煉	383
第一节	硅鋼的特点	383
第二节	合金元素的作用及硅鋼規格	384
第三节	變壓器鋼的冶煉和澆注	387
第四节	爐外脫硫	390
第五节	變壓器鋼的真空處理	391

緒 論

电炉炼鋼的任务就是以电能为热源炼出各种成分的鋼与合金。利用电能时能够使热能直接在被加热的金属中产生。这种加热过程能免除使用燃料时在热传递过程中所产生的热损失，这种加热方法能够容易地迅速地升高温度。加热速度的調整也比较精确。用电加热能达到的温度上限至少为2000°C，超过了用一般燃料燃烧时所能达到的最高温度。当用电加热时，热可以在被加热物体的本身内发生或在与被加热物体直接接触之介质中发生，这样就可以在各种不同气氛中进行加热过程，也可以在任何压力下加热，也可以在真空中（如真空感应炉和真空电弧中进行冶炼）或在高于大气压力的压力下加热。

优质鋼——技术发展的基础

在现代技术上所用之金属中铁起着主要的作用。19世纪物质文明及生产力增长基础在于广泛使用钢铁作为机器构造、铁路及水道运输、容器、农具及通讯工具等的主要材料。因此从十九世纪中叶起，钢铁冶金工业就开始迅速地发展。

在过去一世纪中，一般商品铁与碳素结构鋼在机械强度方面完全满足了工业上的要求。

二十世纪的高压、高温、高速及强烈化学作用的新技术需要用高级优质鋼和合金来制造机器，器械及其它金属零件。

硫、磷、氧及其它有害或不良杂质的含量低，而且分布均匀，具有高的机械和物理性能的鋼和合金就叫做高级优质鋼和优质合金鋼。由于含有合金元素铬、镍、钨、锰、硅、钼、钒、钛、钴、锆、硼等，所以具有与碳素鋼性能不同的物理性能。

在19世纪及20世纪初期，合金鋼系以坩埚法和酸性平炉来生产。随着电弧炉的出现及由于掌握了用它炼鋼和铁合金，电炉炼鋼法便代替了坩埚法，并限制了酸性平炉的发展。

电炉炼鋼法与坩埚法比较时在经济上是较为有利的。它不需要硫、磷含量低的配料。由于制造大坩埚很复杂，所以当用坩埚法冶炼时，浇注大鋼錠是很困难的。坩埚法不能机械化，由于鋼是通过坩埚加热，所以每一吨鋼的燃料消耗是很大的。

用电炉所炼成的鋼在质量上并不次于坩埚法。

电炉比平炉具有很多重要的优点。高合金工具鋼，絕大部分的不锈钢，耐氧化鋼，耐热强固鋼及很多高合金鋼是在电炉中冶炼的。

在电炉中可以把硫降低到0.01%以下。由于脱氧比较完全，所以可以保证鋼中非金属夹杂物含量低。在用电炉冶炼合金鋼时，合金元素的烧损要少得多，合金废鋼中所带入的贵重元素的利用率也高得多。在电炉中能容易而迅速地升高金属液的温度，并能在狭窄范围内精确地調整金属液的温度。在电炉中可以进行所有的冶金过程，很容易造成氧化或还原气氛，可以熔炼任何成分的鋼。因为高温加热可以熔化加入炉中的任何特别附加料。

与平炉比较，在生产上电炉是比较灵活的冶炼设备。

解放十年来我国电炉鋼及铁合金的发展

虽然我国在古代已有削铁如泥的宝剑，但是由于封建和买办势力的統治以及帝国主义的侵略，在我国革命胜利之前很长的时期中，沒有建立起近代钢铁工业，更谈不上电冶金

工业。1943年仅生产了一万四千多吨电炉钢，只占全部钢产量的1%左右。电炉容量都很小，而且大部分用作铸钢。

在我国人民取得革命胜利之后，由于党的正确领导及苏联的无私援助，在短短的十年里，电炉钢产量有了飞跃的增长，现在我国正在根据国家政治经济任务和资源条件，有计划有步骤地发展着一个符合近代工业和科学技术要求的特殊钢工业体系。

根据国家计划的规定，按近代工业和科学技术发展的要求进行了大规模的基本建设，同时对原有特殊钢企业实行了技术改造。用先进技术及新式设备所装备起来的新企业已经陆续投入了生产。旧企业经过技术改造后，大部分电炉得到更新，并且添了新式电炉，因此企业生产力大大增加了。

在电炉炼钢过程方面也发生了深刻的变化。我国采用新冶炼方法，通过社会主义劳动竞赛，特别是1958年的大跃进，迅速地提高了电炉变压器的利用系数，指标比任何一个资本主义国家都高，这表示我国电炉炼钢生产技术水平已有显著提高。生产设备的潜力已经得到良好的利用。

我国热装电炉同样有很大发展，一部分工厂用双联法炼出很多高质量合金钢，包括18-8型耐热不锈钢。

从1957年开始了电炉同转炉，平炉同电炉，及电炉同电炉的混合炼钢生产的研究，现在有的工厂已经正式投入生产，从此开始了另外一条提高钢质量及增加电炉钢产量的新道路。

最近二三年来基本上建立了适合我国资源的新的合金钢系统。

在冶炼合金钢不可缺少的铁合金生产方面，我国革命胜利之前，只生产过少量的硅铁和锰铁。但是在革命胜利以后，我国就迅速地建立了铁合金工业，现在铁合金已可以满足特殊钢需要，摆脱了从前完全依靠进口的状态。

目前摆在特殊钢工作者和科学技术工作者面前的新任务是，进一步强化和完善电炉炼钢过程，多生产质量完全符合现代科学技术要求的高级合金钢，创造并生产各种尖端科学所需要的新型钢种和合金；广泛采用稀土稀有金属来进一步提高和改进合金钢性能，根据国防工业和国民经济建设需要，最快地建成我国合金钢和铁合金系统及特殊钢工业体系；迅速地培养出大量的又红又专的特殊钢工业及铁合金工业所需的技术干部。