

铁合金及合金 添加剂手册

陆友琪 邹立智 赵洪志 马二恩 等 编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本手册分六章，介绍了各种化学元素在钢、铁中的作用；国内外铁合金及合金添加剂的产品标准；铁合金及合金添加剂生产用原材料和辅助材料；世界主要产钢国的钢、铁合金产量和消耗量的统计资料和国内外铁合金及合金添加剂生产的主要技术经济指标等；铁合金生产设备的选择与计算；铁合金及合金添加剂生产和应用过程有关热力学和动力学方面的数据和常用的合金相图。为方便读者，在总附录中辑录了有关铁合金的各种资料。

本手册第一章是根据1981年美国出版的“**Ferroalloys and Alloying Additives Handbook**”一书编译的。其余各章是作者根据国内外大量资料编译的。

铁合金及合金添加剂手册

陆友琪 邹立智 赵洪志 马二恩 等 编

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街德胜门内大街33号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 34 3/4 插页 1 字数 824 千字

1990年 12 月第一版 1990年 12 月第一次印刷

印数00,001~1,600册

ISBN 7-5024-0644-1

TF·138 定价23.00元

前 言

铁合金是钢铁工业重要的原料，主要是在炼钢时作为脱氧剂和合金元素添加剂使用，以改善钢的性能。因此，铁合金的产量、品种和质量，直接影响钢铁工业的发展，特别是对合金钢和低合金钢。

二十多年来，随着世界钢铁工业的发展和科学技术的进步，铁合金的产量有了大幅度的增长，铁合金生产技术也有了显著的进步。其技术进步主要表现在改善原料制备，使用高效率大型矿热炉，采用新的冶炼工艺，应用电子计算机控制系统等方面。技术的进步提高了产品质量和劳动生产率，降低了能源消耗，也基本上控制了环境污染。二十多年来，铁合金的产品结构也有了很大变化，研制和使用了不少新品种。为适应炼钢采用连续铸锭、氩氧精炼等新技术的需要，锰硅合金和高碳铬铁的使用量有了新的增加。为了净化钢质，提高钢的质量，使用了许多铁合金新产品，如各种类型的硅系复合脱氧剂，并把某些氧化物、碳化物、氮化物、合金和纯金属作为添加剂使用，取得了很好的效果。与此同时，铁合金的产品形态也有了新的变化。为了满足钢包合金化、喷射冶金和连续铸钢的需要，现在已经生产出型块、颗粒、粉末和某些特殊形态的产品。国外的这些先进经验值得我们学习借鉴。

近年我国的铁合金工业发展很快，到目前为止，全国已有铁合金厂五百多家，几乎遍及全国各省、市、自治区，拥有铁合金电炉近千台，总容量190多万kVA，铁合金高炉22座，总容积2000多 m^3 ，铁合金的生产能力达到了200多万t，产量100多万t，能够生产几十个品种一百多个规格的产品，基本上满足了我国钢铁工业的需要，部分产品已经进入国际市场。特别应当指出的是，近年来，一大批地方中小铁合金厂脱颖而出，成了铁合金工业中一支重要力量。但是，与国外先进水平相比较，我国铁合金生产还存在不小的差距，主要是铁合金的品种不多，有的产品质量较差，工艺陈旧，装备落后，有些技术经济指标较差。

为了适应我国经济振兴和技术进步的需要，不断发展我国的铁合金产品系列，赶上国外先进水平，促进铁合金工业的更大发展，我们广泛收集了国内外有关铁合金方面的资料，进行了归纳整理，在此基础上编写了这本手册。手册共分六章。第一章铁合金及合金添加剂，介绍了各种化学元素在钢、铁中的作用，对元素的可利用形式、添加方法以及对钢材轧制、锻造和热处理工艺的影响作了说明；第二章比较详细地介绍了国内外铁合金及合金添加剂的产品标准；第三章介绍了铁合金及合金添加剂生产用原材料和辅助材料，其中包括技术条件、矿物资源等。第四章给出了世界主要产钢国家的钢、铁合金产量和消耗量的统计资料以及国内外铁合金及合金添加剂生产的主要技术经济指标和原材料、辅助材料的消耗定额；第五章介绍铁合金生产设备的选择与计算；第六章论述铁合金及合金添加剂生产和应用过程的物理化学原理，其中包括热力学、动力学方面的数据和常用的合金相图。手册的总附录辑录了有关铁合金的各种资料，可供读者查阅。

参加手册资料的收集、整理、翻译和编写工作的有陆友琪、邹立智、赵洪志、马二恩。张桂耕担任了第一章译文的审校工作。全书由陆友琪担任总校阅。

在本书的编写过程中，曾得到国内很多铁合金设计、研究和生产单位的大力支持和热情帮助，不少同志还为本书的编写提供了资料，提出了宝贵意见。本书的出版工作，得到了江阴铁合金厂、河南省钢材加工公司和河南省冶金设备制造公司的大力支持和热情帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，经验不足，手册中可能会有疏漏和不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

一九九〇年六月

目 录

第一章 铁合金及合金添加剂	1
第一节 铝	1
第二节 砷	3
第三节 铋	4
第四节 硼	5
第五节 钙	8
第六节 碳	10
第七节 铈和稀土元素	14
第八节 铬	16
第九节 钴	20
第十节 铜	22
第十一节 氢	24
第十二节 铅	27
第十三节 镁	28
第十四节 锰	29
第十五节 钼	33
第十六节 镍	36
第十七节 铌	39
第十八节 氮	42
第十九节 氧	44
第二十节 磷	48
第二十一节 硒	48
第二十二节 硅	49
第二十三节 硫	52
第二十四节 碲	55
第二十五节 锡	56
第二十六节 钛	57
第二十七节 钨	60
第二十八节 钒	63
第二十九节 锆	65
参考文献	67
第二章 产品标准	68
第一节 我国铁合金及合金添加剂产品标准	68

一、重熔用铝锭技术条件 (GB1196—83)	68
二、炼钢脱氧、部分铁合金用铝锭 (YB/Z4—75)	68
三、工业铝粉 (GB2082—80)	69
四、铝粒	69
五、铝铁 (苏Q/J·YB5—82)	70
六、铝硅合金	70
七、铝镍合金	70
八、铝钛合金 (Q/JTB022—80)	71
九、铝锆合金 (Q/JTB025—80)	71
十、硼分类及技术条件 (YB752—70)	71
十一、硼铁 (GB5682—85)	71
十二、硼合金	72
十三、硅钙合金 (GB3419—82)	72
十四、硅钙合金粉剂 (JQB04—83)	73
十五、硅钙铁 (沪Q/YB20—79)	73
十六、硅钙钡合金 (JQB08—83)	74
十七、稀土硅铁合金 (GB4137—84)	74
十八、稀土镁硅铁合金 (GB4138—84)	75
十九、稀土钙镁硅铁合金 (蒙Q/YJ006—82)	75
二十、稀土钙硅铁合金 (蒙Q/YJ007—82)	75
二十一、稀土钛镁硅铁合金 (蒙Q/YJ005—82)	76
二十二、稀土锰镁硅铁合金 (蒙Q/YJ13—83)	76
二十三、稀土铝镁合金	77
二十四、稀土铜镁合金	77
二十五、稀土锌镁合金	77
二十六、稀土合金粉剂	78
二十七、球型稀土合金	78
二十八、电解铬	79
二十九、金属铬 (GB3211—82)	79
三十、铬粉 (沪Q/YB511—79)	79
三十一、纯净铬铁	79
三十二、铬铁 (GB5683—85)	81
三十三、真空法微碳铬铁 (GB5684—85)	81
三十四、硅铬合金 (GB4009—83)	81
三十五、氧化铬 (Q/JTB047—81)	81
三十六、铜分类 (GB466—82)	82
三十七、钴分类 (YB141—65)	82
三十八、钴铁	83
三十九、铅锭 (GB469—83)	84
四十、重熔用镁锭 (GB3499—83)	84
四十一、镁锆合金 (辽锦Q—216—80)	85
四十二、高炉锰铁 (GB4007—83)	85
四十三、锰铁 (GB3795—83)	86

四十四、金属锰 (GB2774—81)	86
四十五、电解金属锰 (GB3418—82)	87
四十六、锰硅合金 (GB4008—83)	87
四十七、氧化钼砂 (JQB09—83)	88
四十八、氧化钼块 (GB5064—85)	88
四十九、钼铁 (GB3649—83)	89
五十、钼铝合金 (Q/JTB026—80)	89
五十一、铌铁 (YB2505—78)	89
五十二、镍分类及技术条件 (YB127—72)	90
五十三、铸造镍铁 (苏G/Z·YB—002—82)	91
五十四、高碳镍铁	91
五十五、镍粒	91
五十六、镍铝合金 (Q/JTB027—80)	92
五十七、氮化铬铁 (GB5685—85)	92
五十八、氮化锰铁 (JQB02—83)	93
五十九、氮化硅铁 (JQB01—83)	93
六十、磷铁 (GB3210—82)	93
六十一、硒 (GB1477—79)	94
六十二、硅铁 (GB2272—80)	94
六十三、特种硅铁	95
六十四、低铝硅铁 (苏Q/J·YB4—82)	95
六十五、硅45雾化粉剂 (沪Q/YB01011—83)	96
六十六、含锶硅铁	97
六十七、含钡硅铁	97
六十八、硅粉	97
六十九、工业硅 (GB2881—81)	97
七十、碲 (GB1476—79)	98
七十一、海绵钛 (GB2524—81)	99
七十二、冶金用二氧化钛 (YB523—82)	99
七十三、钛铁 (GB3282—82)	99
七十四、高硅钛铁 (辽锦Q—215—80)	100
七十五、钛铝钒铁合金 (Q/JTB021—80)	101
七十六、钨铁 (GB3648—83)	101
七十七、五氧化二钒 (GB3283—82)	102
七十八、钒铁 (GB4139—84)	102
七十九、金属钒 (辽锦Q—224—80)	103
八十、钒粉 (辽锦Q—217—80)	103
八十一、钒铝合金 (GB5063—85)	104
八十二、锆铁 (Q/JTB023—80)	104
八十三、锆铝铁合金 (Q/JTB024—80)	105
八十四、冶金锆粉 (Q/JTB041—80)	105
八十五、5号合金 (JQB06—83)	105
八十六、发热铁合金	106

八十七、复合铁合金	106
第二节 国外铁合金及合金添加剂产品标准	107
一、铝	107
二、铝铁	107
三、铝锰铁	107
四、铝铬铁中间合金	107
五、ATZ合金	107
六、硼铁	107
七、硼合金	114
八、硅钙合金	115
九、含钙多元合金和金属钙	118
十、稀土金属硅质中间合金	118
十一、硅铬合金	118
十二、铬铁	122
十三、铬钼合金	130
十四、铬钨合金	130
十五、金属铬	133
十六、钴铬合金	137
十七、钴铁	137
十八、镍钴合金	138
十九、金属钴	138
二十、锰硅合金	141
二十一、锰铁	144
二十二、金属锰	149
二十三、氧化钼	153
二十四、钼钨铬铁中间合金	154
二十五、钼钨钛中间合金	155
二十六、钼铬中间合金	155
二十七、钼铁	155
二十八、钼镍中间合金	158
二十九、铌铁	158
三十、钽铌铁	162
三十一、钽铌硅合金	162
三十二、钽铁	162
三十三、氧化镍	162
三十四、镍硼合金	163
三十五、镍铁	163
三十六、镍镁合金	164
三十七、镍锆合金	164
三十八、金属镍	164
三十九、磷铁	169
四十、硅铁	170
四十一、工业硅	173

四十二、钛铁	176
四十三、硅钛铁	179
四十四、钛铬铝和钛铬铁中间合金	179
四十五、钨铁	180
四十六、钒铝合金	184
四十七、钒铁	184
四十八、钒锰铁合金	188
四十九、硅钒铁合金	188
五十、硅钨和钨钼铁合金	188
参考文献	189
第三章 原材料及辅助材料	190
第一节 原材料及辅助材料技术条件	190
一、铬铁矿	190
二、氟碳铈矿—独居石混合精矿	191
三、稀土富渣	191
四、钽铌精矿	191
五、五氧化二钽	192
六、五氧化二铌	192
七、钴硫精矿	193
八、赤铁矿石	194
九、锰矿	194
十、钼精矿	196
十一、镍精矿	196
十二、磷矿	196
十三、硅石	196
十四、钛精矿	198
十五、钒精矿、钒渣	198
十六、钨精矿	199
十七、锆英石精矿	200
十八、铁鳞	200
十九、钢屑	200
二十、石灰	200
二十一、焦炭	200
二十二、沥青焦	202
二十三、硅石焦炭	203
二十四、煤气焦	203
二十五、烟煤	203
二十六、木炭	204
二十七、铝粒	204
二十八、镁粉	206
二十九、铝镁合金	206
三十、硼酐	206
三十一、石灰石	207

三十二、白云石	208
三十三、氟石(萤石)	208
三十四、硝石	209
三十五、硫酸	210
三十六、硫化钠	210
三十七、食盐	210
三十八、无水芒硝	210
三十九、硫磺	210
四十、盐酸	210
四十一、氯酸钾	210
四十二、纯碱	211
四十三、自用碳素铬铁	211
四十四、自用硅铬合金	212
四十五、自用锰硅合金	212
四十六、自用硅铁	213
四十七、石墨电极	213
四十八、电极糊	218
第二节 常用原材料及辅助材料堆密度及堆角	218
一、常用原材料及辅助材料堆密度	218
二、常用原材料的堆角及摩擦系数	221
第三节 常用耐火材料、隔热材料及其辅助材料的物理参数	221
一、常用耐火材料及隔热材料的容重	221
二、常用耐火材料、隔热材料及其辅助材料的容重、比热及导热系数	221
三、耐火材料的比电阻	223
第四节 铁合金工业的金属矿产资源	223
一、钴	223
二、铬	223
三、锰	225
四、钼	225
五、铌	225
六、镍	231
七、钛	231
八、钨	231
九、钒	234
十、锆	242
参考文献	243
第四章 铁合金产品的主要技术经济指标和原材料及辅助材料消耗	244
第一节 铁合金产量和消耗量	244
一、我国及国外主要产钢国家的钢产量	244
二、我国及国外主要产钢国家的特殊钢比	245
三、我国及国外主要产钢国家的铁合金产量	246
四、我国铁合金生产能力及铁合金电炉容量、台数	251
五、铁合金消耗指标	253

第二节 产品的主要技术经济指标和原材料及辅助材料消耗定额	253
一、国内铁合金及合金添加剂生产的主要技术经济指标 和原材料及辅助材料消耗定额	253
二、国外铁合金及合金添加剂生产的主要技术经济指标 和原材料及辅助材料消耗定额	256
参考文献	285
第五章 设备选择与计算	286
第一节 主要生产设备	286
一、铁合金电炉	286
二、高炉	302
三、转炉	316
四、真空炉	318
五、金属热法熔炼炉	321
第二节 炉口操作设备	321
第三节 浇注设备	324
一、浇注机	324
二、铁水包、渣包及锭模	324
三、粒化	332
四、钨铁挖铁机	332
第四节 起重设备	332
一、起重机台数计算	332
二、桥式抓斗起重机台时能力计算	333
第五节 输送设备	333
一、带式输送机	333
二、斗式提升机	339
三、螺旋输送机	341
第六节 破碎、粉碎设备	345
一、破碎设备	345
二、粉碎设备	349
第七节 给料设备	350
一、板式给料机	350
二、槽式给料机	351
三、摆式给料机	351
四、电磁振动给料机	351
五、圆盘给料机	353
六、叶轮式给料机	355
七、螺旋给料机	355
八、胶带给料机	355
第八节 筛分设备	356
一、固定条筛	356
二、振动筛	356
三、圆筒筛	357

四、滚轴筛	358
第九节 焙烧、干燥设备	358
一、焙烧设备	358
二、干燥设备	361
第十节 矿浆浓缩及固液分离设备	363
一、矿浆浓缩设备	363
二、固液分离设备	364
第十一节 料浆及溶液输送设备	366
一、料浆输送	366
二、溶液输送	372
参考文献	376
第六章 铁合金及合金添加剂生产和应用过程物理化学基础	377
第一节 铁合金及合金添加剂的生产方法	377
一、碳热法	377
二、金属热法	377
三、电硅热法	379
四、精炼法	382
五、电解法	382
第二节 热力学方程式及基本数据	383
一、某些物质的热力学函数	383
二、某些反应的自由能变化与温度的关系	393
三、某些物质的转化热	398
第三节 合金平衡状态图和炉渣平衡状态图	404
一、铝铁系平衡状态图	405
二、铝硅系平衡状态图	405
三、硼铁系平衡状态图	406
四、硼碳系平衡状态图	407
五、硼硅系平衡状态图	408
六、硼铝系平衡状态图	409
七、钙硅系平衡状态图	409
八、钙镁系平衡状态图	409
九、钙铝系平衡状态图	409
十、铁铈系平衡状态图	409
十一、铁钨系平衡状态图	410
十二、钴铁系平衡状态图	411
十三、钴碳系平衡状态图	411
十四、钴硅系平衡状态图	411
十五、钴硫系平衡状态图	412
十六、钴氧系平衡状态图	414
十七、铬铁系平衡状态图	414
十八、铬碳系平衡状态图	414
十九、铬硅系平衡状态图	414

二十、锰铁系平衡状态图	416
二十一、锰碳系平衡状态图	416
二十二、锰硅系平衡状态图	416
二十三、锰氮系平衡状态图	417
二十四、钼铁系平衡状态图	418
二十五、钼碳系平衡状态图	418
二十六、钼硅系平衡状态图	418
二十七、铌铁系平衡状态图	419
二十八、镍铁系平衡状态图	420
二十九、镍碳系平衡状态图	420
三十、镍硅系平衡状态图	420
三十一、镍硫系平衡状态图	421
三十二、镍氧系平衡状态图	422
三十三、磷铁系平衡状态图	423
三十四、磷硅系平衡状态图	423
三十五、硅铁系平衡状态图	423
三十六、硅碳系平衡状态图	424
三十七、钽铁系平衡状态图	424
三十八、钽硅系平衡状态图	425
三十九、钽碳系平衡状态图	426
四十、钛铁系平衡状态图	427
四十一、钛硅系平衡状态图	427
四十二、钛钼系平衡状态图	428
四十三、钛碳系及钛氮系平衡状态图	430
四十四、钛氧系平衡状态图	430
四十五、钒铁系平衡状态图	430
四十六、钒钼系平衡状态图	432
四十七、钒硅系平衡状态图	433
四十八、钒碳系平衡状态图	433
四十九、钒氧系平衡状态图	433
五十、钨铁系平衡状态图	434
五十一、钨钼系平衡状态图	434
五十二、钨碳系平衡状态图	436
五十三、钨硅系平衡状态图	436
五十四、锆铁系平衡状态图	436
五十五、锆钼系平衡状态图	438
五十六、锆碳系平衡状态图	438
五十七、锆硅系平衡状态图	440
五十八、锆氮系平衡状态图	440
五十九、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系平衡状态图	440
六十、 $\text{MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系平衡状态图	440
第四节 冶金过程动力学参数	441

一、铁组液态金属中的组元扩散系数	444
二、非铁金属液中的扩散系数	444
三、非铁的合金液中组元的互扩散系数	444
四、熔渣中组元的扩散系数	444
参考文献	447
总附录	448
附录一 常用计量单位及其换算表	448
1. 中华人民共和国法定计量单位	448
2. 冶金产品标准常用计量单位	450
3. 已淘汰的常用计量单位与符号	453
4. 常用新旧单位换算表	455
附录二 常用标准筛制及磨矿细度换算表	476
1. 常用标准筛制	476
2. 磨矿细度换算	477
附录三 常用物理化学数据	478
1. 元素的分类	478
2. 化学元素周期表	
3. 元素的点阵结构	479
4. 元素的物理性能	482
5. 常见的碳化物和金属间化合物的点阵结构	487
6. 常用铁合金及合金添加剂的物理特性	487
7. 常用矿物的物理化学数据	491
8. 某些无机化合物的物理化学数据	495
9. 常用金属材料的密度	503
10. 常用液体物理参数	503
11. 常用气体物理参数	514
12. 燃料燃烧经验公式	524
附录四 铁合金化学分析用试样采取法, 产品验收、包装、储运、标志 和质量证明书的一般规定	527
一、铁合金化学分析用试样采取法 (GB4010—83)	527
二、铁合金验收、包装、储运、标志和质量证明书的一般规定 (GB3650—83)	534
附录五 产品标准名称及代号	536
1. 国内标准名称及代号	536
2. 国外标准名称及代号	537
参考文献	540

第一章 铁合金及合金添加剂

第一节 铝

概述

铝是一种脱氧剂和晶粒细化剂，有时也作为合金添加剂。铝的去氮能力，在深冲钢方面，特别是在供汽车工业使用的深冲钢方面，得到了普遍的应用。经常把铝加入各种高级钢。在本世纪30年代以前，人们把铝的脱氧作用视为炼钢时补救喷溅的一种手段。对于加铝，冶炼工人都很重视，但是，谁也没有弄清楚为什么要加铝。

铝的提炼耗电量极大，因此，金属铝的价格一直是随着燃料和电力的提价而增长。而且，有些国家生产铝矾土的企业已把产量和价格严加控制。这一切促进了对代用矿物、新的提炼工艺和增加再生金属进行充分的评价。炼钢使用的铝，大部分是从废料中再生出来的，不过再生金属也在涨价，所以炼钢厂家对铝添加剂的利用效率越来越关心。

利用形式

金属铝是最普通的添加剂。出售的形状有凹口铝条或铝棒，还有铝丸、小块铝锭、切断的铝线和其他适合的形状，以散装、袋装或桶装供应这些标准产品。连续铸钢使用的铝线是比较新的研究成果。这些产品的含铝量均在85%以上，以95%为佳。主要杂质元素有锌、锡、铜、镁、锰等，铜的含量应当保持在4~5%以下。

只适宜作盛钢桶添加剂的另一种形式是把金属铝与各种牌号的锰铁粉（如果要求纯度高，需要使用电解金属锰）一起压成型块，这类添加剂的视在密度比铝大，比较容易沉没在钢液中，这不仅可以提高两者的平均收得率，还可以提高收得率的稳定性。但是，由于这类压块的表面相当光滑，不容易在渣中下沉，因此，不合作炼钢的止碳剂。适当地选择所用锰铁的种类，可以把这种材料的化学成分加以改变。炼钢中常用的一种致密的高效止碳添加剂就是铝铁，其含铝量通常为35~40%。铝铁是以块状出售的，规格有200×100mm、125×50mm、不超过125mm和不超过50mm几种，还有两种公称质量为5.4kg和11.3kg的小锭，分别装桶和装集装箱供货。

添加方法

添加铝的方法很多，可以往炉内加，或往盛钢桶中加，也可以往锭模中加。每种加法都有它的道理，各有各的特殊效果。铝是很强的脱氧剂，往往作为止碳添加剂用于炉内。然而，有效止碳作用的关键在于速度；铝的止碳作用虽然迅速，但也有其不足之处，因为它的密度很小。据估计，在炼钢温度（1600℃）时，液态铝的密度大约只有2g/cm³，而同样温度的钢水尽管因成分不同密度也有所不同，但均大于7g/cm³。因此，在把铝加入熔池时，它就会浮在钢水与渣的界面上，很快被氧化，实际上只有少量的铝与钢水接触，这样就减缓了止碳作用（这取决于熔池中的氧向富铝表面层扩散的速度），而且使用效果不稳定。含铝35~40%的铝铁，其密度是金属铝的两倍，能够更深地沉入熔池；铝铁的熔化温度范围较高（1230~1270℃），对于氧化渣和炉子气氛的反应性也较低。它能在不到60s的时间内起止碳作用，使用效果非常稳定。特别要指出的是铝铁在连续铸钢过程中具有消除中间包口水口堵塞的能力；然而，最重要的好处还是在开流浇注过程中防止锰和硅的再氧

化,从而改善钢的质量。

在使用副氧枪时,有的操作工人喜欢应用“微止碳”技术,即在副枪插下之前先加铝铁,这样可以延迟CO放出的时间以便使副枪读数稳定而更为精确。具体做法是先作好止碳准备,然后加入比理论计算量略少一点的铝铁。

铝除了作为止碳添加剂使用之外,为了在无碳还原渣中生成铝酸钙,有时还同石灰一起加入电炉,这种渣既能够充当脱氧剂,又能够充当脱硫剂。

为控制晶粒度在炉子和盛钢桶之间加铝添加剂的做法,现在基本上已经被钢包精炼和锭模添加铝所代替。

脱氧和晶粒细化所用的大部分铝添加剂,一般都是直接加进盛钢桶的。在加入硅铁(如果使用硅铁)之后,加入主要合金化元素之前的出钢初期进行添加。所使用的添加剂是铝丸、小铝锭、铝棒或铝铁。由于铝铁的密度大,使用效果好,因此最好是用铝铁。加入量要根据化学成分、温度和出钢的碳量而定。沸腾钢通常不含铝,但为了控制沸腾作用,可以往锭模中加入少量的铝(30~60g/t);同样道理,压盖钢可以用到110g/t;对于半镇静钢,可以加入同样多的铝(110g/t);需要量应根据锭顶的凝固状态来判断。

对于镇静钢,加入的铝量取决于碳、锰、硅的含量,因为这些元素越多,需要的铝就越少。就有些低碳钢来说,铝添加量的变化范围大约是1.3~2.3kg/t;细晶粒结构的中高碳钢镇静钢需要量略少些,相应范围为0.5~1.3kg/t。

在浇注末期,由于盛钢桶内渣的再氧化作用,使盛钢桶中的铝脱氧能力衰减,为了使铸锭不受这种影响,可以在锭模里加铝丸。

对于晶粒度控制来说,一般认为锭模添加的效果比盛钢桶添加的效果好。含硅低于0.15~0.30%的低中碳钢,在锭模中添加0.45kg/t的铝就够了。如果含硅低(0.12%或更低),要想确保很细的晶粒度,必须增加113~227g/t的铝。

在连铸生产上,铝含量超过0.01%就会引起水口堵塞,这种堵塞问题对板坯连铸机的影响不象方坯连铸机那样严重。但是,绝大多数连铸机都采用浸入式水口浇注,所以铝含量不是关键问题。在中间包的水口下面,把铝线喂入浇注钢流,就能够消除水口堵塞。应当指出,必须精心操作,否则可能影响铸坯的表面质量。

铸钢厂为了保证铸造质量,采取了很多措施,其中最典型的做法是往炉前包中加入0.03~0.07%的铝(万一出现铝的脱氧能力衰减现象,可再往吊包或手摇包中加铝。脱氧用铝由于铝的收得率变化较大,必须严格掌握,加得太多,使表面质量变差,产生机械加工问题和变脆;不足时则产生砂眼。铝铁是很受欢迎的盛钢桶添加剂,其中一个很重要的原因是收得率很稳定,这对于控制铸造质量是很重要的。

轧制或锻造

除了上述表面质量因素外,脱氧和晶粒度控制所需要的铝量不会影响热加工。但是,如果铝的含量较高(例如磁性材料和高温合金所含有的铝量),则会因金属间化合物的形成而引起脆化。含铝量在5%以下的铁类合金能够容易地进行热加工或冷加工;含铝量5~10%的铁类合金只可以热加工;含铝量超过10%的各种合金则完全不能够加工。

加铝的钢容易产生比较耐酸的铁鳞,这种铁鳞在酸洗时难以清除。

铝脱氧反应促进生成扁饼状的铁素体晶粒,这种组织结构对深冲用途(如汽车的外壳)特别有利。

热处理

铝具有微弱的淬透性作用（但从不为这种目的而加铝），同时，能够细化晶粒。铝的这种细化晶粒的性质，对于深硬化淬火是不利的。因此，在生产细晶粒的热处理钢种时，需要另外多加一点其他合金，以抵消这种影响。但是，在长期处于高温时，铝是铁素体的形成剂，并起着增进石墨化的作用；大概由于铝具有晶粒细化的性能，也使蠕变加强。因此，规定制作锅炉或高温压力容器的Cr-Mo钢或Cr-Mo-V钢不使用铝。另一方面，由于形成粘附牢固的氧化膜，减少起鳞剥落，铝对于某些材料（如耐热不起皮钢和电热合金等）是有利的，特别是在与铬同时存在的条件下。

应用

除了在脱氧和晶粒度控制方面的重要作用之外，铝还能够作为合金添加剂使用。许多渗氮钢（如氮化合金钢类）含铝量1.5%，以便产生高达70RC的硬度层。不过，为了防止在使用过程剥落，必须把这个硬层的最外层研磨掉。铝的抗氧化（起鳞）能力在有些不锈钢和许多高温合金中得到了利用，弥散硬化不锈钢就是利用铝形成金属间化合物的强化晶粒能力。根据这一道理，很多高温合金中都含有铝。

铝非常容易与氮化合，这种作用具有重要的工业用途。由于氮化铝极为稳定，铝镇静的深冲钢是非时效钢。这种钢在冷轧之后经过长期存放也不会出现拉伸变形线(Lüder线)或屈服点。由于铝具有形成极硬表层的能力，所以渗碳钢也加铝。

在有些低合金高强度钢中，铝是重要的添加剂，依靠它来消除钢液中的氮，并且使晶粒细化，这两种作用都有助于提高韧性，特别是提高低温韧性。

铝镇静钢中总是含有某些非金属夹杂物，所以铝对非金属夹杂物的影响也应当提一下。铝是最强的脱氧剂之一，能与钢中的氧化物化合，使之部分还原或者完全还原。

这个问题十分复杂，因为这不仅取决于铝的含量，而且还取决于氧、氮、硫、锰、硅、钙等元素的含量。不过对于普通钢来说，大致情况如下：半镇静钢，在一定程度上，存在有铁、锰、硅的氧化物；用硅和铝脱氧的钢，含有由二氧化硅、氧化铝、氧化锰、氧化铁组成的多元夹杂物，随着铝的增加，铝逐渐置换出多元夹杂物中的硅；铝镇静钢的主要夹杂物是氧化铝和铁锰的各种铝酸盐。钙铝脱氧钢含有多种铝酸钙，铝酸钙的化学成分和性质取决于氧的含量（见本章第五节）。在盛钢桶中铝脱氧钢的残留 Al_2O_3 一般在0.015~0.020%范围内，氧化铝的这个变化范围与脱氧用铝量无关，可以认为是其余铝酸铁状态的氧化铝进入渣中。铝对硫化物夹杂的结构也有极大的影响，出现在钢中的硫化物有三种基本类型：Ⅰ型的是细小的无规律分布的球状夹杂物，通常是硫氧化物；Ⅱ型的是晶间链状硫化物，这种类型的硫化物对机械性能最不利；Ⅲ型的是粗大的多元多相结构的球形颗粒状的硫化物。用铝不完全脱氧形成Ⅰ型夹杂物；完全脱氧而铝又不过量，形成Ⅱ型夹杂物；如果加铝过量，则形成Ⅲ型夹杂物。含铝量高还将导致树枝状晶间氧化铝群的产生，这种组织结构对机械加工是不利的。

第二节 砷

概述

铁矿、焦炭、铁合金以及有色金属添加剂都天然地含有砷，所以砷总是作为微量元素存在于钢中。砷在钢中的残留浓度在美国规定为0.005~0.030%，其他国家生产的钢的含