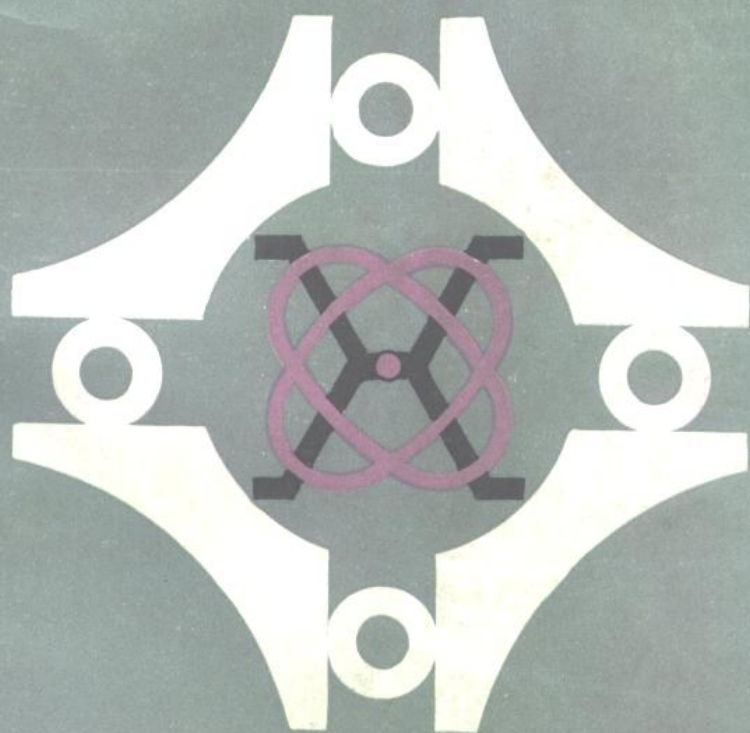


热加工部分

机械制造 检验技术

陈 天 佐 主 编



国防工业出版社

机械制造检验技术

(热加工部分)

陈天佐 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

《机械制造检验技术》分“机械加工部分”和“热加工部分”两册出版。本书为“热加工部分”，主要介绍：金属材料的基础知识，钢铁热加工质量常用检验及试验方法，铸造检验技术，锻造检验技术，热处理检验技术，焊接检验技术，表面处理检验技术，成品封存包装及检验等内容。

本书可作为机械制造热加工检验工的培训教材（为此在各章节后附有复习题）。本书也可供机械制造检验技术人员和其它机械制造技术人员及大、中专院校师生参考。

机 械 制 造 检 验 技 术

（热加工部分）

陈天佐 主编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市卫顺排版厂印装

*

787×1092 1/16 印张 38³/₄ 904千字

1988年2月第一版 1988年3月第二次印刷 印数：5,001-10,000册

ISBN 7-118-00224-0/TH 15 定价9.85元

前 言

产品的质量检验是保证产品质量的重要环节之一。在机械制造工厂中,检验人员是一支为数不小的队伍。为了适应四化建设的需要,不断提高这支检验队伍的政治和业务、技术素质是一项迫切的任务。编写这本书的主要目的之一,就在于,为提高机械制造检验人员的业务、技术提供教材和参考资料。

鉴于工厂新近参加机械制造检验队伍的人员较多,其中大多数又不是从本专业的高级技工转搞检验工作的,而受过专业训练的更少,因此本书编写了适当篇幅的工种基础知识。在教学实践中,教师对这部分内容,可根据学员的实际情况增删。讲授本书的讲课课时数约需200学时左右。如以培训其中某一专业的检验人员为对象,对教材内容的取舍合作如下建议:以机械加工部分的检验基础知识及本册第一、二章为必读基础,然后再加授本专业的检验技术部分。这样单一专业的检验人员培训,使用本教材只要100~120学时已足。

本书由兵器工业部及四川兵器工业管理局委托重庆工业管理学院主持编写。由四川兵器工业管理局主持审查,主审为王志光高级工程师,参加审查的有黄治洵高级工程师、秦沛工程师和桑树清工程师。

本书由重庆工业管理学院陈天佐同志主编,参加各章编写的有:陈天佐同志(第一章),郑章耕同志(第二章大部,其中第八节由傅玉贵同志编写),朱瑞彬同志(第三章基础知识部分及第四章;第三章检验部分由陈文景同志提供部分资料,由陈天佐同志编写),王德隆同志(第五章),郝德金同志(第六章基础知识部分,其中检验部分由傅玉贵同志编写),刘积群同志(第七、八章)。在编写过程中许多同志热忱帮助提供资料和绘图;另外还参阅了许多同志的著作,并摘录了部分资料、数据,在此一并向他们致谢。

编写内容这样广泛的书,还是一种尝试。由于编者知识的局限,书中错误和缺点可能不少,恳祈读者提出意见。

编 者

目 录

第一章 金属材料的基础知识	1
第一节 金属冶炼的基础知识	1
一、生铁和钢的冶炼	2
二、铜和铝的冶炼	6
第二节 金属与合金的性能	10
一、金属合金的机械性能	10
二、金属合金的物理和化学性能	11
三、金属合金的工艺性能	12
第三节 金属与合金的结晶	13
一、金属的特征	13
二、纯金属的构造及结晶	13
三、合金的结构	18
第四节 合金平衡图的基础知识	21
一、平衡图的基本概念	21
二、二元合金平衡图的基本类型	22
三、铁碳平衡图及其分析	27
第五节 金属材料的分类及牌号表示方法	36
一、金属材料的分类	36
二、钢铁的分类	36
三、钢铁牌号及表示方法	37
四、有色金属材料的分类	39
五、有色金属牌号表示方法	40
第二章 钢铁热加工质量常用检验及试验方法	42
第一节 金属机械性能试验	42
一、硬度试验	42
二、拉力试验	48
三、冲击试验	53
四、疲劳试验	55
五、扭转试验	57
六、弯曲试验	60
七、断裂韧性试验	62
八、高温蠕变及有关试验	66
第二节 钢的物理性能试验	69
一、临界温度的测定	69
二、等温转变曲线的测定	70
三、导热系数的测定	72

第三节 钢的化学性能试验	73
一、大气腐蚀试验	74
二、浸蚀试验	76
三、晶间腐蚀试验	78
四、应力腐蚀试验	81
五、高温抗氧化试验	82
第四节 钢的工艺性能试验	84
一、淬透性试验	84
二、焊接性能试验	87
三、切削性试验	91
四、磨损试验	94
第五节 钢的宏观试验	96
一、酸浸试验	96
二、断口试验	100
三、发纹试验	102
四、硫印试验	103
第六节 钢的显微检验	104
一、试样的选取与制备	104
二、显微组织的显示	107
三、金相显微镜简介	108
四、电子显微镜简介	109
五、晶粒度测定	111
六、脱碳层的测定	114
第七节 钢中非金属夹杂物检验	115
一、非金属夹杂物的概念、来源与分类	115
二、非金属夹杂物的评定	116
三、非金属夹杂物的鉴定	116
第八节 钢的无损检验	121
一、磁粉检验	121
二、渗透检验	125
三、射线探伤	128
四、超声波探伤	133
五、其它探伤方法简介	136
第九节 钢的化学成分分析	139
一、化学分析	139
二、火花鉴别	140
第十节 热加工工件的尺寸形状和变形检验	144
第十一节 温度测量及热工仪表	144
一、常用温度检测仪表	144
二、温度测量显示仪表	147
第三章 铸造检验技术	150
第一节 铸造基础知识	150

一、概述	150
二、砂型铸造	151
三、特种铸造	182
四、常用铸造金属的铸造特点	192
第二节 铸造检验	211
一、木模检验	211
二、造型材料的检验	219
三、铸造合金材料的检验	232
四、铸型的检验	239
五、铸造炉前检验	240
六、铸件检验	248
七、铸件缺陷的修补及退修报废	264
第四章 锻造检验技术	266
第一节 金属锻压加工的基础知识	266
一、金属的塑性变形	266
二、锻造方法	277
三、锻造的工艺流程	296
第二节 锻件的常见缺陷及其原因分析	298
一、坯料缺陷与锻件质量的关系	298
二、坯料加热时出现的缺陷	302
三、锻造时产生的缺陷及分析	306
第三节 自由锻件的检验	312
一、自由锻件的技术要求和验收规范	312
二、锻件图的结构、公差和加工余量	313
三、锻件重量的计算	314
四、自由锻件的基本工序检验	316
五、自由锻件的缺陷	318
第四节 胎模锻件和模型锻件的检验	319
一、胎模锻件和模锻件的技术条件和验收规范	319
二、锻件图的结构、公差和加工余量	320
三、锻模的使用和检验	322
四、模锻件缺陷的检验与分析	324
第五节 锻件的热处理和清理后的检验	325
一、锻件的冷却和冷却中造成的缺陷	325
二、锻件的锻后热处理和由热处理产生的缺陷	325
三、锻件的清理	325
四、坯料和锻件表面缺陷的清除	327
第六节 合金钢和有色金属的锻造特点	329
一、高合金钢的锻造特点和保证锻件质量的措施	329
二、铜和变形铜合金的锻造性能和缺陷的防止	331
三、铝和变形铝合金的锻造特点及缺陷的防止	331
四、变形镁合金的锻造特点	332

第五章 热处理检验技术	334
第一节 热处理的基础知识	334
一、热处理的基本概念及分类	334
二、钢在加热和冷却时的转变	335
三、热处理的基本方法	343
四、常用材料的热处理	360
五、热处理常见缺陷及分析	399
第二节 机器零件热处理质量的检验	413
一、产品零件图中热处理技术条件的标注	413
二、机器零件热处理质量检验的内容及方法	415
三、热处理工艺的质量检验	417
第三节 工具热处理质量检验	433
一、工具钢的原材料检验	433
二、工具钢预备热处理后的检验	435
三、刀具最终热处理的质量检验	435
四、量具最终热处理的质量检验	437
五、模具最终热处理的质量检验	439
第四节 弹簧热处理的质量检验	442
一、普通圆柱螺旋弹簧	442
二、板簧	443
第六章 焊接检验技术	444
第一节 焊接基础知识	444
一、焊接过程的理论基础	444
二、焊接方法及工艺	465
三、常用金属材料的焊接	488
第二节 焊接缺陷及质量检验	496
一、焊接接头形式及焊缝代号	496
二、焊接检验内容	503
三、焊接接头的质量检验	507
第七章 表面处理检验技术	520
第一节 表面处理基础知识	520
一、电化学基础知识	520
二、电镀和化学处理的基础知识	526
第二节 表面处理前对零件的质量要求	531
一、表面处理保护层与零件表面状态的关系	531
二、除油	531
三、除锈	533
四、金属的化学抛光和电解抛光	536
第三节 常用电镀工艺技术条件及缺陷分析	537
一、镀锌	537
二、镀铜	541
三、镀镍	545

四、镀铬	548
五、镀锡	551
六、镀银	552
第四节 金属氧化和磷化的技术条件及缺陷分析	557
一、黑色金属的氧化处理	557
二、铝及铝合金的氧化	559
三、黑色金属的磷化处理	563
第五节 电镀层的质量检验	565
一、镀层的外观质量检验	566
二、镀层的结合力试验	566
三、镀层厚度的测定	568
四、镀层孔隙率的测定	577
五、镀层的硬度试验	579
六、镀层的内应力测定	579
七、镀层的耐蚀性试验	580
八、镀层脆性的测定	581
第六节 化学保护层的质量检验	583
一、化学保护层外观质量检验	583
二、耐腐蚀性试验	583
三、耐磨性试验	584
四、铝及铝合金氧化膜厚度的测定	585
五、铝及铝合金氧化膜电气绝缘性能的测定	585
第七节 涂料技术及检验	586
一、涂料的基本知识	586
二、涂料的检验方法	592
三、不合格漆膜的修补	596
第八章 成品封存包装及检验	597
第一节 成品的封存及检验	597
一、防锈油脂封存	597
二、气相缓蚀封存	601
三、干燥空气封存	604
第二节 包装材料及检验	606
一、包装材料	606
二、包装材料的性能试验方法	606

机械制造中最常用的金属是钢和铸铁，其次是铝、铜及其合金。这些金属合金的质量和性能常常受冶炼情况的影响，所以，机械制造检验人员了解一些冶炼的知识是很必要的。

一、生铁和钢的冶炼

现代科学已有可能直接将铁矿石炼成钢，即一步法炼钢。但是在工业中，由于一步法炼钢还存在许多技术问题，并且经济上很不合算，所以都采用先将铁矿石炼成生铁，再把生铁炼成钢的二步法成钢。工业生产中，铁矿石炼铁时，也不是直接得到纯铁，而是得到一种叫做生铁的合金。

(一) 铁的冶炼

1. 炼铁原料和炼铁原理

铁是由铁矿石炼成的。铁矿石由一种或几种含铁的矿物和脉石（废石）所组成。自然界含铁的矿物很多，工业生产中开采的铁矿石要有开采价值和冶炼价值。我国藏有丰富的铁矿。铁矿石多为铁的氧化物，如赤铁矿、磁铁矿和褐铁矿等都是铁的氧化物。铁矿石中除了含铁的化合物外，还含有脉石。脉石对炼铁来说是无用的，就像采煤的矸石一样。大多数铁矿石中脉石的主要成分是石英、氧化铝及长石。

由铁矿石的组成可知，要从铁矿石中炼出铁，主要的任务是要把铁从矿物中分解出来，而把脉石分离出去。现代的炼铁方法是将矿石中铁的氧化物还原出铁来，而将脉石及杂质造成渣与铁分离开来。

炼铁时用来还原铁的氧化物的还原剂是碳及一氧化碳（有时也用氢），它们是燃烧焦炭产生的。焦炭在炼铁时，既是还原剂又是燃料，它提供的高温又有利于铁矿石中铁的还原。以碳还原铁称为直接还原，以一氧化碳还原铁称为间接还原。炼铁时，既有直接还原反应也有间接还原反应。

为了使脉石和燃料中的灰分分离出去，炼铁时还要用熔剂。熔剂在高温下与脉石及灰分造渣，从而与铁分离。炼铁常用的熔剂有石灰石及白云石。

为了燃烧产生高温，炼铁时还要向炉中鼓入空气。一般是鼓入经过加热到 900~1200℃的热风，以得到更高的温度、热量和节省燃料。

2. 炼铁设备

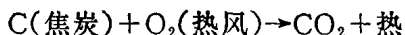
现代工业中，用来炼铁的炉子叫高炉。它除炉体外还有一些附属设备共同组成炼铁设备系统。高炉炼铁设备系统如图 1-2 所示。

3. 炼铁过程

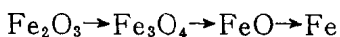
铁矿石和燃料分批装入高炉中。根据炉内的物理化学作用，高炉内可分为预热区、还原区及碳化区。

高炉中的冶炼过程：

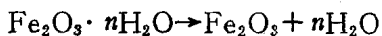
燃料燃烧



铁的氧化物还原次序



(1) 预热区



↓
水蒸汽逸散

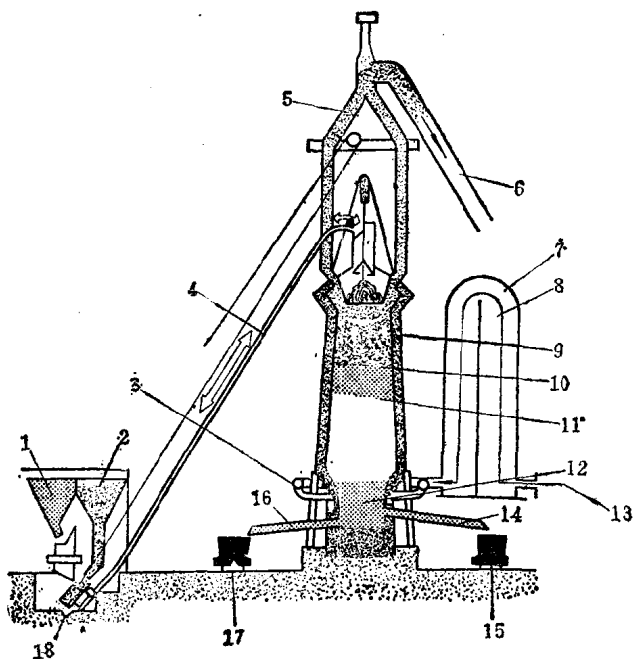
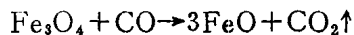
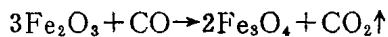


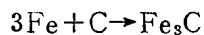
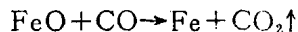
图1-2 高炉炼铁设备系统

1—矿石；2—焦石；3—热风管；4—提升机构；5—煤气引出管；6—高炉煤气；7—热风炉；8—热风；9—预热区；10—还原区；11—还原区与碳化区；12—溶化区；13—冷风；14—渣；15—渣车；16—生铁；17—铁水车；18—配料车。

(2) 还原区



(3) 碳化区



溶于铁组成生铁

在高温下，熔剂和脉石、灰分造渣生成含 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 的炉渣，由于渣的比重较铁小所以上浮，经出渣口放出。

高炉炼铁时，除了铁的还原为主要过程外，同时还部分地发生硅、锰、硫、磷等的还原反应。这些还原产物溶解于铁中，使铁成为含有3~4.5%碳和部分硅、锰、硫、磷的合金，即成为生铁。

4. 炼铁产品

高炉炼铁所得到的产品主要是生铁，副产品还有炉渣、煤气和炉尘等。

生铁是含碳在2%以上的铁碳合金，其中还含有 Si、Mn、S、P 等杂质。根据用途生铁分为两大类，一是炼钢生铁，其断口为银白色也叫白口铁；二是铸造生铁，简称铸铁，它的断面呈灰色，也叫灰口铁。高炉生产的生铁种类和牌号见我国标准 GB717-75 和 GB718-65。

炉渣可用作水泥和其它建筑材料。煤气是很好的工业和生活燃料。炉尘回收，既可减少污染，又可与矿石粉烧结起来，再作高炉原料。

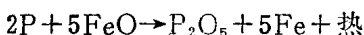
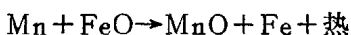
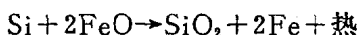
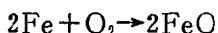
(二) 钢的冶炼

常说“生铁久炼也成钢”，的确钢是生铁炼成的。钢和生铁都是铁和碳的合金，钢中也有少量的Si、Mn、S、P等杂质。钢和生铁从成分上的区别在于其含碳量少于2%，且其Si、Mn、S、P等杂质含量更少，并加以严格的限制。从性能上，生铁缺乏塑性和韧性，机械性能差；而钢则具有可锻性和有塑性、韧性。

1. 炼钢的基本原理

如上所述，钢和生铁都是铁碳合金，唯生铁的含碳量和杂质较多而已。所以炼钢的任务就是去掉生铁中多余的碳和杂质。现代炼钢方法的基本过程就是利用氧在高温下使生铁中多余的碳和杂质氧化掉的过程。

炼钢炉内，杂质的氧化主要依靠FeO。杂质共同氧化的反应如下：



炼钢时杂质氧化生成的氧化物或进入渣中或为气体在钢水沸腾时逸出炉外。

炼钢结束时，钢水中含有多余的FeO，它降低钢的质量。因此，必须加入脱氧剂使钢水脱氧。通常加入的脱氧剂是锰铁、硅铁或铝。钢水脱氧后即可出钢。

2. 炼钢设备和炼钢方法

现代炼钢的方法，根据炼钢设备分为转炉炼钢、平炉炼钢和电弧炉炼钢等。这些炼钢的设备示意图如图 1-3 所示。

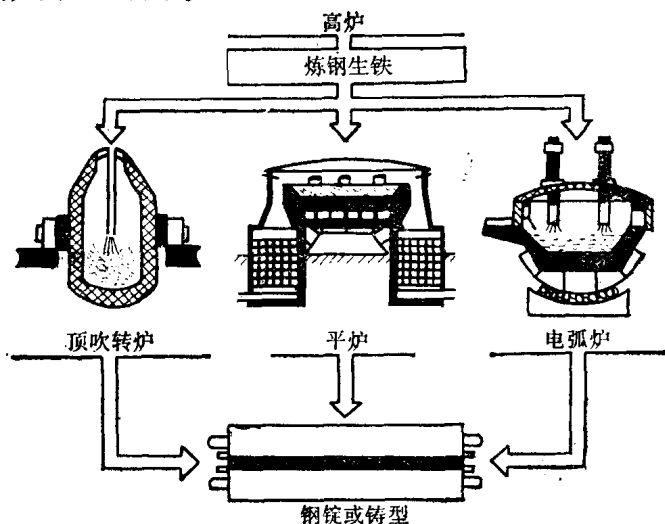


图1-3 炼钢设备示意图

各种炼钢方法的炼钢基本原理是相同的，但它们的炉型、原料、热源、氧化剂和氧化方式不相同，因而其冶炼过程大同小异。转炉炼钢是依靠鼓入的空气或纯氧来氧化杂质的；平炉是依靠炉渣传递氧（FeO）来氧化杂质；而电弧炉则是用加入铁矿石来氧化杂质。但它们总的都是依靠FeO的氧化作用。

由于各种炼钢方法各有其特点，所以它们的生产率、成本和质量也不同。它们分别用来冶炼普通钢、优质钢和合金钢、高合金钢等。

以碱性炉而言，各种炼钢方法的比较如下表。

表1-1 各种炼钢方法比较

顺序	比较项目	炼钢方法	转 炉	纯氧顶吹转炉	平 炉	电 弧 炉
1	原 料		液体生铁		废钢和生铁	全部或绝大部分是废钢
2	热 源		由空气中的氧氧化杂质而产生的热	由纯氧氧化杂质而产生的热	外界燃料燃烧产生的热	电弧产生的热
3	氧 化 剂		吹入空气中的氧	吹入的纯氧	渣传递的FeO	铁矿石或废钢屑
4	成 本		低		较 高	最 高
5	生 产 率		最 高		较 高	低
6	质 量		去磷尚可，去硫能力低，质量一般	能去磷，去硫效率一般不高，钢的质量较好	可去磷及少部分硫，质量较好	去磷、硫效果好，钢中FeO少，质量高
7	用 途		炼普通碳素钢	炼碳素钢和某些低合金钢	炼普通、优质碳素钢和低合金钢	炼工具钢、高合金钢和特殊用途钢

3. 钢的质量的概念

钢的质量主要决定于钢中所含硫、磷及FeO的多少。此外还与所含气体(氮、氢等)及非金属夹杂物的数量、形状、大小和分布以及结晶的晶粒粗细等有关。缺陷如气泡、裂纹等更影响质量。一般说钢中含S、P愈高质量愈差，在普通钢中S一般应小于0.055%，P应小于0.045%，含氮不大于0.008%，含氧量不大于6厘米³/100克。当然还有一些因素也影响钢的质量。几种炼钢方法钢中的气体含量大致如表1-2所示。

表1-2 不同炼钢方法精炼末期钢中的含气量

顺 序	炼钢方法	含 氢 量 (ppm)	含 氮 量 (%)	备 注
1	转 炉	5	0.014	1. 钢中含气量还与钢种等有关
2	纯氧顶吹转炉	2~5	0.004	2. 1 ppm = 百万分之一
3	平 炉	6~8	0.005	
4	电 弧 炉	4~7	0.006	

4. 钢的浇铸和钢锭缺陷

(1) 钢的浇铸

钢液在精炼脱氧后，即可出钢送往浇注铸型，以直接得到铸钢件，或浇入钢锭模中铸成钢锭，或浇入连续铸锭机中成为连续铸锭。在用钢锭模浇注时，根据钢液进入锭模的部位分为上注法和下注法，它们各有优缺点，所得到的钢锭质量也有差异。

注入钢锭模的钢水，根据其脱氧完全的程度不同，注入锭模时钢液平静或产生沸腾，因而得到镇静钢、半镇静钢和沸腾钢。脱氧良好的钢水放出气体少钢液不沸腾，凝固后组织较结实，缩孔集中在钢锭上部，得到镇静钢，它有较好的质量。脱氧不完全的钢水在锭模中放出多量的一氧化碳气体，使钢液沸腾，凝固后得到沸腾钢。沸腾钢没有集中缩孔，存在许多分散气泡可在热轧时压扁焊合，因而金属的成材率高。

连续铸锭是一种先进的铸锭方法。它是把钢水注入强烈冷却的结晶器，钢水通过结

晶器及二次冷却器出来时，其表面已凝固，继续在轧辊作用下使其校直并压到所需尺寸时，已冷却到完全凝固，最后切割成所需长度。连续铸锭生产率高，质量好，不产生气孔和缩孔。

（2）钢锭的缺陷

炼钢过程固然对钢的质量起着决定性的影响，但浇注工艺及钢锭的结晶过程也可能给钢锭带来一些缺陷，从而影响钢的质量和使用。钢锭结晶的示意图见图1-4。从示意图可以看出钢锭的结晶分为明显的三层：最外层为细晶粒层，较薄；中间层为柱状晶粒层，较厚；心部为等轴晶粒层（连续铸锭基本同此，只是外层细晶较厚一些）。这三层晶粒构造的厚度比例，根据浇注的情况不同而有差异。如果钢液温度高，或钢液的冷却速度快，钢锭中的柱状晶便得到发展，甚至可到达中心。柱状晶层过厚时，在轧制过程中，容易沿柱状晶的交界处产生破裂，为此要注意控制。此外钢锭常出现下列缺陷，要设法避免。

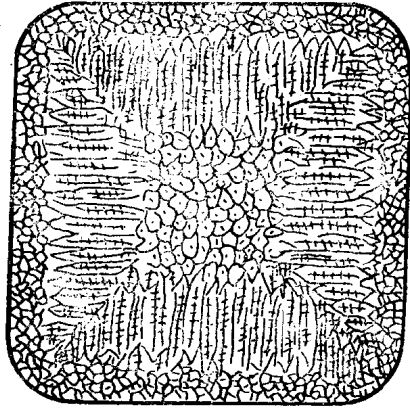


图1-4 钢锭结晶示意图

A. 缩孔及疏松 缩孔是钢液结晶成固体时，体积收缩而产生的，它经常集中在钢锭最后凝固的顶部。其周围往往还有许多分散的小缩孔，称为疏松（或缩松）。避免其危害的方法是在钢锭模上加保温帽，并在轧制前将钢锭上的这一部分切除。

B. 气孔（气泡） 由于脱氧不完全或在熔炼中吸入大量的气体，钢锭冷却时来不及排出，就使钢锭产生气孔。防止的方法是脱氧完全，控制浇注温度和速度。先进的方法是进行真空处理。

C. 夹渣 浇注时由于渣来不及浮出而造成。防止的方法是浇注设备要清洁和使用综合脱氧剂并在浇注时让钢水停留一段时间，使杂质充分浮起。

D. 偏析 有结晶偏析和区域偏析两种。它们是由于冷却速度不均及各物质熔点高低和比重大小不同而产生的。它使各部分成分和组织不均，从而降低了钢的质量。防止的方法是控制浇铸温度和冷却速度或用机械振动法振动锭模内钢水。

E. 裂纹 钢锭的裂纹常是由钢锭的其它缺陷，如缩孔、疏松、含氢高以及各部分冷却收缩不均等引起的。防止的方法是控制冷速、提高钢的塑性、改善锭模和保温质量等。

机械制造检验人员，常常要根据国家标准（GB）和冶金部标准（YB）中所规定的钢锭或钢材的技术条件及检查验收标准，检验钢的成分、外观、尺寸、组织和缺陷等。为此了解钢、铁的冶金过程和质量以及钢锭、钢材的缺陷是必要的。

二、铜和铝的冶炼

（一）铜的冶炼

在金属的使用中，铜是人类最早使用和最早会冶炼的金属。自然界虽有自然铜，但毕竟为数极少，地壳中铜多以化合物的铜矿存在。铜矿含铜量一般都较低（很少超过

5%)，这就决定了它生产过程的复杂性，为了除去占多数的脉石、杂质要经过许多工艺。

目前，铜的冶炼有两种方法：即火法和湿法。两种方法各适用于不同的铜矿。但当前世界铜的总量中，大部分为火法所生产。

1. 火法炼铜

火法炼铜的原理是利用铜与脉石在高温条件下的物理化学作用不同，使它同脉石分离，最后得到金属铜。火法多用于冶炼硫化矿、氧化矿及其混合矿。

铜的火法冶炼的一般流程如图 1-5 所示。

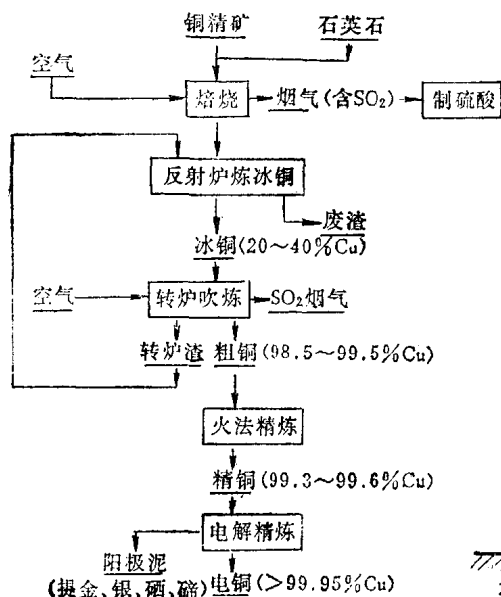


图1-5 铜的火法冶炼流程

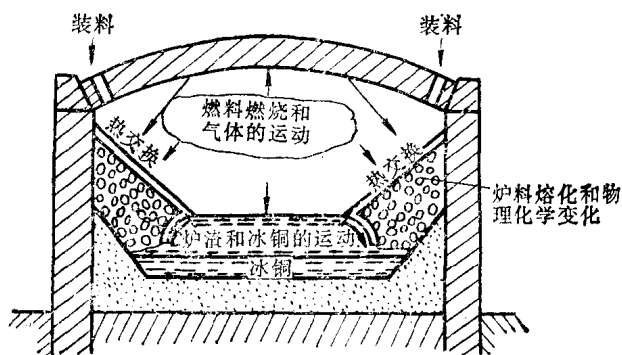


图1-6 反射炉炼冰铜示意图

(1) 铜矿石及冶炼前的处理

目前，已经发现 170 多种含铜矿物。铜矿石大致分为三类：自然铜、硫化铜矿及氧化铜矿。世界产铜量的80%是由硫化铜矿生产出来的，其中主要的为黄铜矿(CuFeS_2)。

铜矿一般含铜量都低，所以冶炼前要进行处理，处理的目的是先除去一部分脉石及硫以提高含铜量。处理的方法，一般是选矿，可以用水选或浮选将含铜量提高到10~30%。选矿后再经焙烧，即将铜矿石加热到800~850℃除去其中部分硫和使水分蒸发。

(2) 冶炼过程

冶炼一般要经过反射炉炼冰铜，冰铜在转炉中炼成粗铜，粗铜再经反射炉精炼成精铜，最后电解得电解精铜（电铜）等三、四个过程才能得到纯度很高的铜。

冰铜的主要成分是由 Cu_2S 和 FeS 所组成的合金。冰铜的含铜量一般控制在20~40%左右。冰铜一般由反射炉或鼓风炉炼得。反射炉熔炼冰铜的示意图见图1-6。

冰铜是一种中间产物，还须进一步除去其中的硫和铁才能得到粗铜。冰铜的吹炼一般在转炉中进行。在液体冰铜中吹入压缩空气，首先冰铜中的 FeS 被氧化成 FeO 及 SO_2 ，前者与熔剂造渣，后者从炉口吹出。接着剩下的 Cu_2S 开始氧化成 Cu_2O ，它再与 Cu_2S 作用而被还原生成粗铜。

转炉吹炼冰铜的示意图见图1-7。

冰铜吹炼出的粗铜一般含铜98.5~99.5%。

粗铜中还含有一些杂质，这些杂质看来虽不多，但却严重影响铜的导电性、耐腐蚀性和机械性能，需要再进行火法精炼和电解精炼。

粗铜火法精炼时，是在反射炉中熔化后，以管子导入压缩空气，使杂质进一步氧化造渣去除，从而进一步提高含铜量得到精铜。

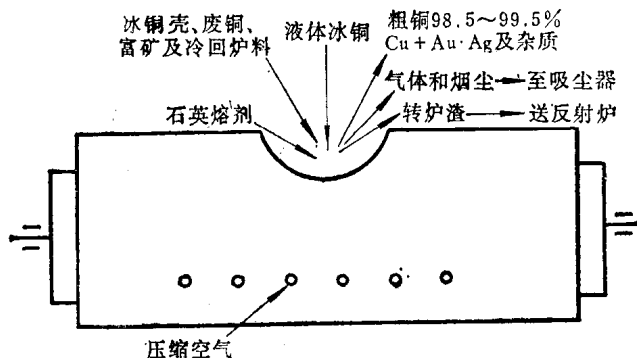


图1-7 转炉吹炼冰铜的示意图

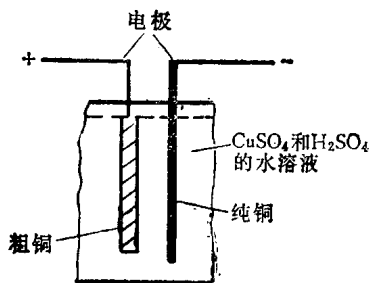


图1-8 铜的电解精炼示意图

铜的电解精炼的目的在于得到纯度极高（>99.95%）的电铜，以满足电器工业的需要。此外电解精炼时，金、银等贵金属富集于阳极泥中，可进一步提取出来。

铜的电解精炼如图1-8所示。

电解时以粗铜为阳极，纯铜为阴极，以硫酸铜的水溶液为电解液。通以直流电后，发生电化学反应。

在电场作用下：
$$\text{CuSO}_4 \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$$

Cu^{2+} 在纯铜阴极板的作用下，跑向阴极夺取两个电子使自己中和沉积于阴极上； SO_4^{2-} 在阳极作用下，跑向阳极交出多余的二个电子，并和阳极的粗铜结成 CuSO_4 回到溶液中去。电解的结果，阴极上不断积聚纯铜使极板增厚，阳极粗铜不断溶解。最后取出阴极从而得到电解精炼的电铜，金、银等沉于槽底。

2. 湿法炼铜

我国在宋朝初年即发明了胆水浸铜法，这是现今湿法冶金技术的起源。湿法炼铜可用于氧化铜矿、硫化铜矿或它们的混合矿，特别是其为贫矿时。湿法冶炼时，将矿粉用溶剂直接浸出，然后用电积法将铜提取出来。例如对于氧化铜矿采用含氨10%及二氧化碳12%的溶液为溶剂，将铜浸出，然后以电积法使铜从溶液中析出。电积法类似于电解，但是它是不溶性阳极（铅阳极）电积脱铜的。即在悬浮液中通直流电使铜沉积在阴极上。

湿法炼铜特别适用于低品位而脉石主要为石英和硅酸盐化合物的氧化矿或硫化矿。而这样的铜矿，我国已普遍发现，因而湿法炼铜在我国是很有发展前途的。

炼铜的过程特别复杂繁琐，当今“一步炼铜”的技术正在试验，据报导加拿大已建成这样的工厂。预期不久的将来，炼铜技术将有重大的突破。

（二）铝的冶炼

铝是地壳中含量最多的一种金属。由于铝的化学性质非常活泼，很容易同氧、碳、硫