

金属学

《金属学》编写组

上海人民出版社

金 属 学

《金属学》编写组

金 属 学

《金属学》编写组

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 415,000

1977年3月第1版 1977年3月第1次印刷

统一书号: 15171·286 定价: 1.40 元

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

无产阶级必须在上层建筑其中包括各个文化领域中对资产阶级实行全面的专政。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

前 言

在毛主席革命路线指引下,无产阶级教育革命不断向前发展,形势一派大好。为了适应教育革命发展的需要,我们遵照毛主席关于“教育要革命”、“教材要彻底改革”的教导,采取三结合的方式,协作试编了这本《金属学》教材。

本教材主要是为机械制造类金属材料、热处理工艺及设备专业的学员编写的,也可供“七·二一”工人大学的学员和工厂、科研机关的有关人员参考。其主要目的是使学员在热处理实践的基础上,了解金属学的基本知识,以正确认识金属材料的性能与其化学成分、组织结构和生产工艺之间的相互关系及其变化规律。

金属学所概括的规律,是广大劳动人民在长期的阶级斗争、生产斗争和科学实验的基础上,不断地摸索、总结出来的。它和一切自然科学一样,“是人们争取自由的一种武装”。研究金属学,应以辩证唯物主义为指导,始终坚持实践第一的观点,努力做到理论与实践的统一。不但要认识金属材料、了解金属材料各种性能的本质,并进而掌握其在加工和使用过程中所发生的种种现象与规律,更重要的是要运用这些规律,恰当地控制金属材料的化学成分和生产工艺因素,改变其内部的晶体结构、宏观与微观的金相组织,充分发挥金属材料的潜力,提高金属材料的性能,以满足国民经济各部门日益增长的需要,更好地为三大革命斗争服务,为社会主义革命和建设服务。

本教材是在批判旧教材、总结近年来教育革命实践经验的基础上编写的。在内容和章节的安排上,力求贯彻辩证唯物主义的观点,运用生产实例,从宏观到微观、由简单到详细地阐述有关理论问题。在叙述中,着重讲清客观规律,并注意到组织形态的分析,以便于自学和实际应用。是否处理得当,尚有待于进一步实践、总结。

参加本教材编写工作的有广东工学院、山东工学院、上海交通大学、上海机械学院、太原工学院、东北重型机械学院、华中工学院、西北工业大学、吉林工业大学、合肥工业大学、河北工学院、河北机电学院、洛阳农业机械学院、陕西机械学院、浙江大学和湖北农业机械学院等。在编审过程中,曾得到全国各地许多工厂、科研单位的大力支持和热情帮助,特别是上钢一厂、上钢三厂和上海第一汽车附件厂的工人师傅和技术人员参加了整个会审定稿工作。上海材料研究所、上海柴油机厂、上钢五厂和上海钢铁研究所还专门组织有关人员进行了审稿座谈,提出了许多宝贵的修改和补充意见;上海拖拉机附件厂、华东电业管理局中心试验所、沪东造船厂和上海铜厂等单位提供了许多珍贵的资料和照片。在此谨向在编审过程中给予我们热情帮助的单位 and 同志表示诚挚的谢意。

虽然我们在主观上力求用马列主义、毛泽东思想统帅教材,力求做到理论联系实际和便于工农兵学员自学,但是,由于我们对毛主席的无产阶级教育革命思想领会不深,加之编写时间比较仓促,调查研究还不够深入、广泛,书中一定存在不少缺点和错误,诚恳地希望广大工农兵学员、革命教员、工人师傅和科技人员提出宝贵意见,并热情欢迎提供有关生产、教学和科研的实践经验和资料,以便修订再版,努力实现本教材的彻底改革,夺取无产阶级教育革命的新胜利。

《金属学》编写组

1976年4月

32828

目 录

前 言

第一章 钢铁生产与钢材质量..... 1

第一节 钢铁的冶炼..... 1

一、铁的冶炼..... 1

二、钢的冶炼..... 3

第二节 钢的铸锭..... 6

一、铸锭方法..... 6

二、钢锭的组织..... 6

第三节 钢的压力加工..... 9

第四节 钢材质量.....11

一、表面缺陷.....11

二、低倍缺陷.....12

三、显微组织缺陷.....19

四、非金属夹杂物.....21

第二章 金属的结晶.....23

第一节 金属结晶的基本规律.....24

一、金属结晶的过冷现象.....24

二、金属结晶的一般过程.....24

第二节 金属结晶的理论分析.....25

一、金属结晶的能量条件.....25

二、金属结晶的结构条件.....26

三、晶核的形成.....27

四、晶核的长大.....30

五、结晶速度.....32

第三节 铸锭及焊缝组织.....33

一、金属铸锭的宏观组织.....33

二、焊缝的宏观组织.....34

第四节 结晶理论在实际生产中的

某些应用.....34

一、细化金属铸件晶粒的一些途径.....34

二、定向凝固技术.....35

三、单晶体的制备.....37

第五节 金属的同素异构转变.....37

第三章 二元合金相图.....39

第一节 概述.....39

一、二元合金相图的表示及使用方法.....39

二、杠杆定律及其应用.....42

三、相律及其应用.....43

四、相图的建立方法.....43

第二节 匀晶相图.....45

一、相图分析.....45

二、固溶体的平衡结晶及其组织.....45

三、固溶体的不平衡结晶及其组织.....46

四、固溶体的铸造组织形态.....49

第三节 共晶相图.....51

一、相图分析.....51

二、典型合金的平衡结晶及其组织.....52

三、不平衡结晶及其组织.....55

四、初晶和共晶的组织形态.....58

五、比重偏析.....61

第四节 包晶相图.....61

一、相图分析.....61

二、典型合金的平衡结晶及其组织.....61

三、不平衡结晶及其组织.....63

四、包晶转变的应用.....64

第五节 其他类型的二元合金相图.....65

一、形成化合物的二元合金相图.....65

二、具有同素异构转变的二元合金相图.....67

三、具有熔晶转变的二元合金相图.....69

第六节 二元合金相图的分析和使用.....69

一、二元合金相图遵循的规律.....69

二、二元合金相图的分析方法.....70

三、根据相图分析合金热处理的可能性.....71

四、根据相图判断合金的性能.....72

第四章 铁碳合金的组织与性能.....74

第一节 典型铁碳合金的平衡结晶.....74

一、含碳0.01%的合金——工业纯铁.....75

二、共析合金——共析钢.....76

三、亚共析合金——亚共析钢.....77

四、过共析合金——过共析钢.....78

五、共晶合金——共晶白口生铁·····79	第三节 复杂三元合金相图应用举
六、亚共晶合金——亚共晶白口生铁·····80	例·····112
七、过共晶合金——过共晶白口生铁·····81	一、Fe-Cr-C三元系的变温截面·····112
第二节 按组织分区的铁碳合金相图·····81	二、Fe-Cr-C三元系的等温截面·····116
第三节 平衡状态下铁碳合金的机械性能·····83	第四节 投影图·····118
第四节 铁碳合金中过冷奥氏体转变产物的组织与性能·····84	一、投影图的实质·····118
第五节 合金元素对铁碳合金相图的影响·····90	二、三元共晶相图·····118
第六节 杂质对钢的组织 and 性能的影响·····91	三、投影图实例·····121
一、硅和锰·····91	四、关于四相平衡的讨论·····124
二、硫·····92	第六章 固态金属的结构·····126
三、磷·····93	第一节 纯金属的晶体结构·····126
四、氮·····95	一、三种典型的金属晶体结构·····127
五、氢·····95	二、金属结合·····133
六、氧·····95	三、晶面指数和晶向指数·····134
第七节 铸钢的组织、性能和热处理·····96	第二节 固溶体·····138
一、铸钢的显微组织特征·····96	一、置换固溶体·····139
二、铸钢件的热处理·····97	二、间隙固溶体·····142
第八节 焊接接头的金相组织·····99	三、固溶体的性能·····143
一、低碳钢焊接接头的显微组织·····99	第三节 金属化合物·····145
二、焊接接头的裂缝·····102	一、正常价化合物·····145
第九节 钢的冷压力加工性和切削加工性·····103	二、电子化合物·····146
一、钢的冷压力加工性·····103	三、间隙化合物·····147
二、钢的切削加工性·····104	第四节 实际金属的晶体结构·····149
第五章 三元合金相图·····105	一、空位和间隙原子·····149
第一节 概述·····105	二、位错·····150
一、三元合金相图的主要特点·····105	三、晶界·····152
二、三元合金的成分表示方法·····105	四、亚结构·····154
三、三元匀晶相图·····107	五、固溶体中溶质原子的偏聚与短程有序·····154
第二节 三元合金相图的截面图·····108	第七章 金属的塑性变形与再结晶·····156
一、变温截面·····108	第一节 碳钢的冷塑性变形·····156
二、等温截面·····109	一、加工硬化·····156
三、连接线和杠杆定律·····109	二、冷塑性变形对组织结构的影响·····157
四、连接线的近似画法·····111	第二节 金属的变形过程·····160
	一、钢的拉伸曲线·····160
	二、金属的弹性变形·····161
	三、单晶体的塑性变形·····162
	四、多晶体的塑性变形·····166
	五、合金的塑性变形·····169
	第三节 金属的断裂·····171
	一、金属的断裂过程·····171
	二、影响脆性断裂的因素·····171

三、断口鉴别	174	三、球化处理和孕育处理	215
第四节 回复和再结晶	177	四、石墨的球化过程	217
一、冷塑性变形钢的退火热处理	177	五、球墨铸铁金相组织的评级	218
二、回复	178	六、球墨铸铁的牌号和用途	218
三、再结晶	179	第五节 特殊铸铁	219
四、晶粒长大	181	一、耐磨铸铁	219
五、影响再结晶后晶粒大小的因素	182	二、耐热合金铸铁	220
六、金属中的再结晶织构和退火孪晶	183	三、耐腐蚀铸铁	221
第五节 金属的热塑性变形(热加工)	183	第九章 有色金属及其合金	222
一、金属的热加工与冷加工	183	第一节 铝及其合金	222
二、热加工对钢的组织 and 性能的影响	184	一、铝及其合金的性能特点	222
附: 位错原理在塑性变形中的应用	187	二、铝及其合金的分类和编号	222
第八章 铸铁	193	三、铝的合金化	228
第一节 白口铸铁	193	四、铝合金的热处理	232
第二节 灰口铸铁	194	五、典型零件与典型材料分析	238
一、灰口铸铁的化学成分、组织和性能	194	六、铝合金的焊接	251
二、铸铁的石墨化	196	第二节 铜及其合金	251
三、改善灰口铸铁性能的孕育处理	201	一、纯铜的性能和应用	251
四、灰口铸铁金相组织的分类和评级	201	二、铜的合金化	253
五、灰口铸铁的牌号和用途	205	三、铜合金的分类和编号	254
第三节 可锻铸铁	206	四、黄铜	254
一、可锻铸铁的化学成分和组织	206	五、锡青铜	259
二、黑心可锻铸铁的退火处理	207	六、铝青铜	262
三、缩短可锻铸铁退火周期的方法	208	七、铅青铜	264
四、可锻铸铁的牌号、性能和用途	209	八、铍青铜	265
第四节 球墨铸铁	210	第三节 轴承合金	266
一、球墨铸铁的组织 and 性能	210	一、滑动轴承的工作条件及要求	266
二、球墨铸铁化学成分的选择	214	二、锡基轴承合金	267
		三、铅基轴承合金	269
		四、铝基轴承合金	270

第一章 钢铁生产与钢材质量

工农业及国防上用的机器设备大都是由钢铁零件装配而成的。钢铁材料质量的好坏,将直接影响零件的质量,材料中的缺陷常常是造成工艺废品或工件失效的根源。

毛主席教导我们:“一切产品,不但求数量多,而且求质量好,耐穿耐用。”我们一定要重视钢铁材料的质量。

钢与生铁由于碳含量不同,性能和用途也不同。生铁的碳含量一般是2.5~4.5%,按用途又可分为炼钢生铁和铸造生铁两类。炼钢生铁的碳含量一般在4%左右,是转炉及平炉炼钢的主要原料。铸造生铁也叫铸铁,是一种铸造性能优良的材料,经重熔并铸成铸件后,具有较好的使用性能,所以应用很广。

常用碳钢的碳含量一般小于1.3%,质强而韧,同时具有良好的工艺性能,可以进行各种加工,因而用途非常广泛。所炼成的钢,除少数是直接铸成各种形状的铸件外,绝大多数是先铸成钢锭,再经过轧制或锻压制成各种钢材或锻件,然后供进一步加工使用。图1-1是钢材生产过程示意图。

本章通过对钢铁生产过程的简单介绍,扼要地说明冶炼、浇注和压力加工等对材料质量的影响,最后概述钢材的主要缺陷和质量评定方法。

第一节 钢铁的冶炼

一、铁的冶炼

我国是掌握炼铁技术最早的国家之一。远在春秋战国时期(公元前770~公元前221年),我们的祖先就开始炼铁,比欧洲要早一千七百多年。十九世纪建成现代化的高炉以后,炼铁技术获得了迅速的发展。

炼铁的主要设备是高炉。高炉炼铁的原料主要是铁矿石、焦炭和熔剂(石灰石等)。

铁的冶炼过程,实质就是将铁矿石中的氧化铁还原为铁的物理化学过程。高炉内焦炭本身的碳及其燃烧反应产物一氧化碳都对氧化铁起还原作用。

但是铁矿石并不单纯是氧化铁,它还含有杂质(脉石),其中通常以二氧化硅为主要成分。二氧化硅是酸性氧化物,去除它的有效方法是使其在高温下与碱性氧化物(氧化钙,由加入的石灰石在炉内受热分解而成)作用,生成易熔化的中性炉渣。炉渣比铁轻,熔化后即浮在铁水上面而相互分离。

由于用焦炭作燃料和供给还原剂,高炉内存在大量的碳。从铁矿石中还原出来的铁与碳接触便发生渗碳作用,变成含碳较高而熔点较低的生铁,在炉内的高温下最终都熔化成铁水。由于焦炭中还含有硫等杂质,铁矿石内又夹带有硅、锰、磷、硫等成分,在高炉冶炼的条件下,这些元素也会渗入到铁中。这样,生铁除了铁、碳两种主要成分之外,还含有硅、锰、磷、硫等杂质。

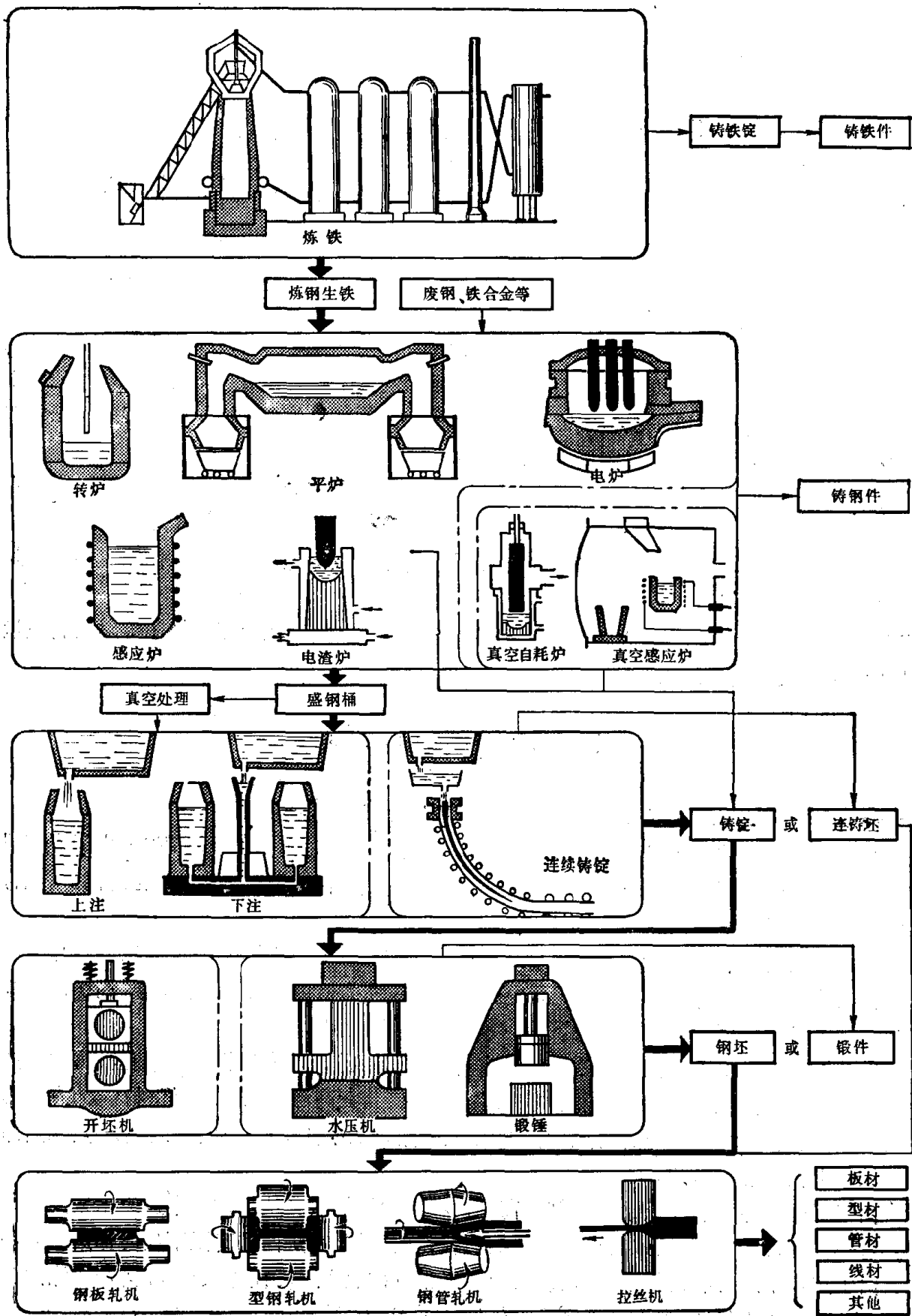


图 1-1 钢材生产过程示意图

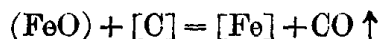
二、钢的冶炼

(一) 炼钢的基本原理

钢和生铁最主要的区别在于碳含量不同，钢的碳含量低于 2.11%，平常大量使用的钢含碳都在 1.3% 以下，所以将生铁进行精炼，大幅度地降低其碳含量便可以得到钢。同时，生铁中的硅、锰、磷、硫等杂质与钢中的含量相比也显得太高，炼钢还必须将这些杂质去除至所要求的程度。由于碳、硅、锰、磷与氧的亲合力比铁大，故可采用氧化的方法把它们去除。炼钢过程实质上就是将生铁中多余的成分去除的氧化过程。

炼钢温度约在 1500~1700°C，在这样高的温度下，炉料已经熔化。供氧化反应进行所需要的氧可来自空气、氧气、铁矿石或氧化铁皮。由于铁在铁液中的浓度高达百分之九十几，因此进入铁液中的氧首先与铁反应生成氧化亚铁，然后氧化亚铁再与其他元素反应，使它们氧化，而铁则被还原出来。这是主要的反应形式。在有些情况下也会发生直接的氧化反应。反应产物或者排入炉气，或者转入炉渣，最后得到所需成分的钢液。由于钢的熔点比生铁高，所以炼钢过程还必须是个升温过程，最后出钢时钢液应达到所要求的温度。下面简单介绍炼钢过程的主要反应。

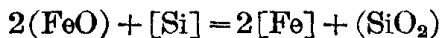
1. 脱碳反应：脱碳反应比较复杂，一般可表达为：



式中加方括号的表示金属中的物质，加圆括号的表示炉渣中的物质。

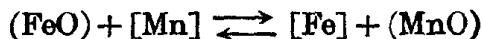
反应生成的一氧化碳气体在逸出时使熔池产生沸腾，造成强烈搅拌，因而加速了各种炼钢反应的进行，也有利于去除钢液中的气体和非金属夹杂物，并可促使钢液成分和温度均匀化。这对于获得质量良好的钢具有很重要的意义。提高供氧强度，改善炉渣流动性，升高温度等均可促进脱碳反应的进行。

2. 硅、锰的氧化：硅很容易氧化，在冶炼初期就几乎全部被氧化掉，其反应式为：



硅氧化的结果，放出大量热量，可显著升高钢液的温度。由于二氧化硅是强酸性氧化物，进入炉渣后对炉渣的碱度（渣中 CaO 含量与 SiO₂ 含量的比值）影响较大。

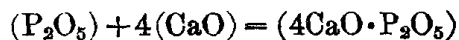
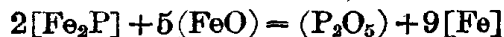
锰也很容易被氧化，并在炼钢过程中达到平衡，而后来又有可能被还原出来。其反应为：



锰的氧化也是放热反应。

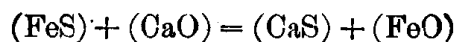
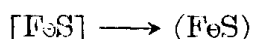
3. 去磷、去硫过程：磷、硫存在于钢中通常是有害的，应于炼钢过程中尽量予以去除。

磷在铁中以 Fe₂P 形式存在，它先与渣中的 FeO 作用，生成 P₂O₅，而后 P₂O₅ 再与所加入的石灰化合成稳定的磷酸钙。其反应为：



整个反应是放热的。较低的温度，以及氧化能力强、碱度合适、流动性良好的炉渣是去磷的基本条件。

硫在铁中以 FeS 的形式存在，FeS 先从铁液转入炉渣，然后再与渣中的 CaO 反应，生成 CaS 稳定地存在于渣中。其反应为：

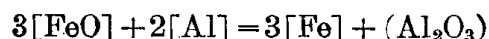
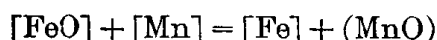
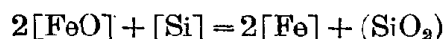


整个反应是吸热的。高温,以及高碱度、流动性良好的炉渣,是去硫的基本条件。

4. 脱氧反应: 由于要向铁液中供入大量的氧以去除杂质,因而当杂质氧化至所需程度时,钢液中却溶入了过多的氧,必须经过脱氧,才能获得适合要求的成品钢。

脱氧方法主要分为沉淀脱氧和扩散脱氧两种。

(1) 沉淀脱氧: 是将含有 Mn、Si、Al 等元素的脱氧剂直接加入钢液中,使溶解于钢液中的 FeO 还原,生成不溶于钢液的氧化物,然后上浮排除。其反应式为:



此法脱氧速度较快。根据不同的炼钢方法,沉淀脱氧可在炉内进行,也可在盛钢桶中进行。

(2) 扩散脱氧: 是向炉渣中加入铝粉、炭粉和硅-钙粉等脱氧剂,降低渣中 FeO 的含量,破坏渣、钢间 FeO 的平衡,使钢液中的 FeO 转入渣中而达到脱氧目的。此法有利于获得比较纯净的钢液,但脱氧时间长,因此只应用于电炉炼钢中。

(二) 炼钢方法

根据炼钢设备的不同,目前主要有转炉、平炉、电炉等几种炼钢方法(其设备示意图见图 1-1)。分别简述如下:

1. 转炉炼钢法: 转炉炼钢是利用氧气或空气中的氧吹入温度约为 1200~1300°C 的铁水中,使其中的碳、硅、锰、磷等元素迅速氧化,并靠这些元素氧化时所放出的大量热量来升高铁水温度的一种炼钢方法。

最初的转炉是空气转炉,靠鼓入的空气进行吹炼,分为底吹和侧吹两种。后来出现氧气顶吹转炉,并发展成为目前主要的转炉炼钢方法。近年还开始出现氧气底吹转炉和氧气侧吹转炉。按炉衬材料的性质,转炉又分为酸性(炉衬主要成分为二氧化硅)和碱性(炉衬主要成分为白云石或镁砂)两种。我国主要采用碱性炉衬。

下面介绍氧气顶吹转炉炼钢的基本工艺过程。

(1) 清渣和装炉: 清除上一炉的炉渣,按炉料配比计算,装入废钢和铁矿石,兑入铁水。

(2) 吹炼: 将吹氧管(氧枪)降入炉内吹氧,使铁水中的碳、硅、锰、磷等迅速氧化,同时放出大量的热量,促使炉内废钢等炉料的熔化。此时炉口冒出火焰和浓烟。在吹氧过程中,还要往炉内追加石灰等造渣材料,以创造去磷和去硫的条件。待碳、锰、硅等元素降至一定范围后,停止吹氧,提出氧枪,然后取样分析和测温,若温度过高,则加废钢进行调温,待钢液成分和温度达到要求后即可出钢。

(3) 脱氧和出钢: 一般用铝、硅铁、锰铁等脱氧剂进行脱氧。为使脱氧产物顺利排除,减少钢中气体和夹杂物,须将钢水在盛钢桶中镇静一段时间,使脱氧产物充分上浮,而后再行浇注。

氧气顶吹转炉炼钢从装料到出钢,周期很短,一般在 25~45 分钟左右。同时,因氮含量的显著降低,钢的质量也有显著提高。用这种方法还有可能生产优质碳素钢和合金钢,再加上成本低、投资少,所以应用很广。

2. 平炉炼钢法: 平炉炼钢必须依靠外来热源, 用煤气或重油作燃料, 喷入熔炼室进行燃烧, 使炉料熔化和升温。所用的主要原料是铁水和废钢。靠炉气中的氧和加入铁矿石使铁水中的杂质氧化。

平炉也有酸性和碱性两种, 一般多用碱性平炉。碱性平炉炼钢可使用含磷较高的生铁和大量废钢。

平炉炼钢的工艺过程大致包括补炉、装料、熔化、精炼、脱氧和出钢等步骤。整个冶炼过程比较容易控制, 能用劣质原料炼出多种多样的优质钢。但缺点是炉子构造复杂, 建厂投资费用大, 燃料热效率不高, 冶炼时间较长。为了缩短冶炼时间, 目前已广泛采用各种吹氧工艺来强化平炉冶炼过程, 效果非常显著。

3. 电炉炼钢法: 电炉炼钢是利用电能作热源的炼钢方法。最常用的电炉有电弧炉和感应炉两种。下面只介绍应用最普遍的碱性电弧炉炼钢法。

电弧炉炉盖上开有三只圆孔, 供插入石墨电极用。通电时, 电极与炉料之间产生电弧, 造成很高的温度, 使熔炼得以进行。所用的主要原料是废钢。

电弧炉炼钢的基本工艺过程如下:

(1) 补炉和装料: 修补炉衬, 装入炉料。

(2) 熔化期: 熔化期大约占全部冶炼时间的一半, 耗电量为总电耗的三分之二左右。在此期间要求炉料迅速熔化, 并造好炉渣以脱去一部分磷和防止钢液吸收气体及金属的挥发损失。为了加速熔化, 可向炉内吹氧。

(3) 氧化期: 当炉料熔化后, 即进入氧化期。此时向炉内加入一定量的石灰、铁矿石等造渣材料, 形成碱性氧化渣进一步脱磷。

加入铁矿石或吹氧脱碳是完成氧化期任务的重要手段。由于脱碳而引起的钢液沸腾, 促进了各种精炼反应的进行和加快钢液升温, 于氧化末期使钢液温度和成分均达到预定要求, 以利于还原期造渣和脱氧。

(4) 还原期: 扒除氧化末期含氧高的炉渣, 加入石灰等造渣剂后, 即开始还原期。为了造成含氧化铁低的还原渣, 向渣面加入炭粉等还原剂。炉渣良好的还原性, 为钢液充分脱氧和调整合金成分提供了有利条件, 并可使硫降到 0.03% 以下。在炼合金钢时, 合金元素的加入应按一定程序进行, 以达到减少合金元素的损失和稳定钢液成分的目的。

(5) 出钢: 当钢液的成分与温度均达到规定要求, 炉渣流动性良好时, 便可出钢。

无论那一种炼钢方法, 所获得的钢水都不可能绝对纯净, 总或多或少地含有氢、氧、氮等气体以及各种非金属夹杂物和其他杂质元素。这些成分存在于钢中一般都是有害的, 必须重视冶炼工艺, 采取措施使它们减少到尽可能低的程度。

为了进一步脱气和减少非金属夹杂物, 自五十年代开始发展了钢液真空处理的新技术, 目前已能一次处理几百吨钢液, 并能与转炉、连铸相配合, 使冶金生产工艺达到了新水平。

最近几年还出现了在盛钢桶内向钢液吹入氩气进行精炼等新工艺, 也能收到与真空处理相似的效果, 但工艺设备要简单得多, 投资少, 操作也比较方便、安全。

除了上述炉外精炼的新技术外, 还发展了不少新的冶炼方法, 以满足一些质量要求严格的材料或者特殊材料的需要。如电渣重熔法炼钢, 可进一步去除杂质, 提高钢液的纯净度, 而且轧制时的成材率也较高。又如真空电炉(真空感应炉、真空自耗炉等)熔炼或重熔法, 可

防止合金在熔炼时受大气污染,这对高强度钢、轴承钢和高温合金等具有特殊的意义。在熔炼某些特殊材料时,还采用电子轰击炉等。

第二节 钢的铸锭

一、铸锭方法

钢在冶炼后,除少数直接铸成铸件外,绝大部分都要先铸成钢锭,然后轧成各种钢材。

铸锭是炼钢生产的最后一个环节,这一环节的好坏直接影响到钢中气体的含量、非金属夹杂物的多少、钢锭的组织结构和各种缺陷的形成。当铸锭工艺不良时,轻则降低钢材质量,重则使钢锭变成废品。

铸锭的主要设备是盛钢桶和钢锭模。铸锭的方法主要有以下几种(参见图 1-1):

1. 上注法:是将盛钢桶中的钢水直接从钢锭模上口注入,一般每次只能浇注一个钢锭。此法设备和铸锭前的准备工作比较简单,但由于钢水冲击模底,钢水飞溅至冷模壁易形成结疤、夹渣等缺陷,影响钢锭表面质量。因此,这种方法一般只用于浇注大钢锭。

2. 下注法:是将盛钢桶中的钢水注入中心注管,通过底平板的汤道砖,从模底流入钢锭模中,采用树枝型平板一次可铸十几支钢锭。此法劳动条件较差,耐火材料消耗较大,但由于钢水在模内是比较平稳地均匀地上升,故钢锭表面质量好,而且产量高,所以为一般工厂广泛采用,特别是生产小钢锭的工厂多数采用下注法。

3. 连续铸锭法:是把盛钢桶内的钢水,通过中间罐连续地注入结晶器中,钢液的热量被流经结晶器器壁的冷却水迅速带走,形成具有一定厚度的坯壳,接着通过拉坯机拉出结晶器,进入二次冷却区直接喷水快速冷却,使坯壳内的钢液全部凝固而成钢坯,经矫直后由切割机切成一定的长度,最后由输送辊道将其送到铸坯场地。这种工艺方法成材率和机械化程度高,操作方便,劳动强度低,生产率高,值得推广。

在一般浇注过程中,要注意控制浇注温度和速度这两个基本因素。浇注温度过高,会使钢锭中的柱状晶发展,偏析(即成分不均匀)严重,缩孔加深和钢锭的纵裂倾向加剧;反之,则容易造成钢锭表面缺陷如翻皮等,还会造成钢锭内部疏松,并使气体和夹杂物增加。浇注速度在一定程度上可与浇注温度互相调节,浇注温度低时,应该提高浇注速度。大量生产中锭模钢的浇注,原则是高温慢注,低温快注。连续铸锭时,一般则以低温快注为宜。

二、钢锭的组织

典型的模注钢锭的宏观组织如图 1-2 所示。通常采用酸蚀试验法对钢锭进行宏观分析。检验时将钢锭沿纵向或横向剖开,试面经磨光后用酸或特殊的浸蚀剂进行浸蚀,再涮洗并吹干,以肉眼或低倍放大镜观察其低倍组织与缺陷。

由图 1-2 可见,钢锭的典型宏观组织是不均匀的。从表层到心部依次由细小的等轴晶粒、柱状晶粒和粗大的等轴晶粒所组成。变更钢液成分与凝固时的条件,可以改变这三个晶区的相对大小和晶粒的粗细,甚至获得只由两个或一个结晶区域所组成的铸锭。

必须指出,虽然绝大多数合金铸锭的宏观组织都存在三个晶区,但是对于高纯金属和某些合金的铸锭来说,则一般只有表面细晶区和柱状晶区,而不出现中心等轴晶区。

晶粒大小和形状对金属材料的机械性能有很大的影响。一般来说,晶粒越细小,金属材

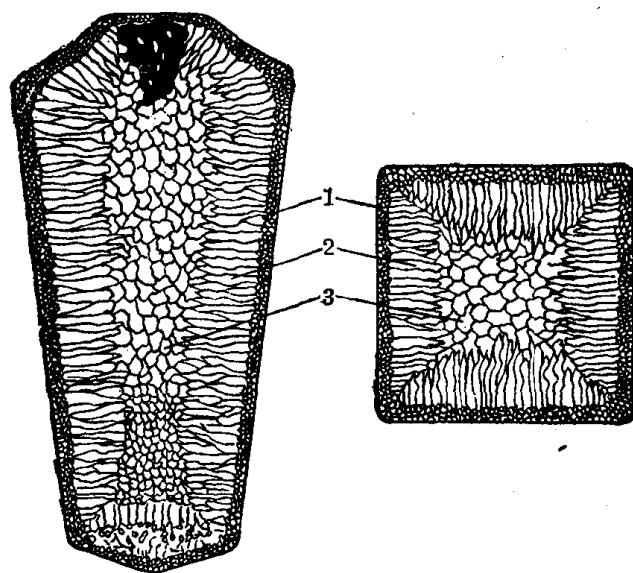


图 1-2 钢锭的典型组织示意图
1—表面细晶粒区； 2—柱状晶粒区； 3—中心等轴晶粒区

料的强度也越高,塑性、韧性也越好。由于呈平行排列的柱状晶容易使钢锭在锻造或轧制时开裂,故一般不希望得到柱状晶组织,或限制其厚度。但如果是浇注成铸件,则在某些场合下(如某些高温合金),晶粒大些以及晶粒呈柱状反而是有利的。近来发展的“定向凝固”技术,就是使铸件全部成为同一方向排列的柱状晶组织(见图 2-25a)),以利用其沿长度方向的性能特点。

根据钢中的含氧量和凝固时放出一氧化碳的程度,可将钢锭分为镇静钢、沸腾钢和半镇静钢三类。下面简单介绍镇静钢和沸腾钢两类钢锭的组织。

(一) 镇静钢

钢液在浇注前用锰铁、硅铁和铝进行充分的脱氧,使所含的氧不超过 0.01% (一般常在 0.002~0.003%),以至钢液在凝固时不析出一氧化碳,得到成分比较均匀,组织比较致密的钢锭,这种钢叫做镇静钢。

图 1-3a) 为镇静钢锭的宏观组织。除了前面所讲的细晶区、柱状晶区和中心等轴晶区三个晶区外,在钢锭下部还有一个由等轴细晶粒所组成的致密的沉积锥体,这是镇静钢锭的组织特点。另外在宏观分析时也常可看到有缩孔、偏析、疏松和气泡等缺陷。关于偏析,将在以后讨论,这里仅简略说明镇静钢锭中的缩孔、疏松和气泡。

1. 缩孔: 钢液在凝固时会发生收缩,因而使凝固后的钢锭中出现缩孔。随着凝固条件的不同,缩孔的形式和缩孔出现的部位也不相同。当钢液由外向内、自下而上冷却时,液面不断下降,最后便在钢锭的上部形成倒圆锥形的缩孔(图 1-4)。如果锭模设计不当,浇注工艺掌握得不好,则缩孔的长度可能增大,甚至贯穿钢锭中心,严重影响钢锭的质量。有时由于铸锭上部先已基本凝固,而下部仍处于液体状态,当其凝固收缩时便会因得不到钢液的及时补充而在下部形成缩孔。为了使它和钢锭上部的缩孔有所区别,这种缩孔称为二次缩孔。

2. 疏松: 钢液在结晶过程中有固、液共存的阶段。若早期结晶的晶粒之间留有液体,这些液体有可能被固态晶粒所包围而与母液隔离,当这些被包围的液体凝固收缩时,由于得不到母液的补偿,便会在这些地方形成微小而分散的缩孔,这样的缩孔叫做疏松,或称分散

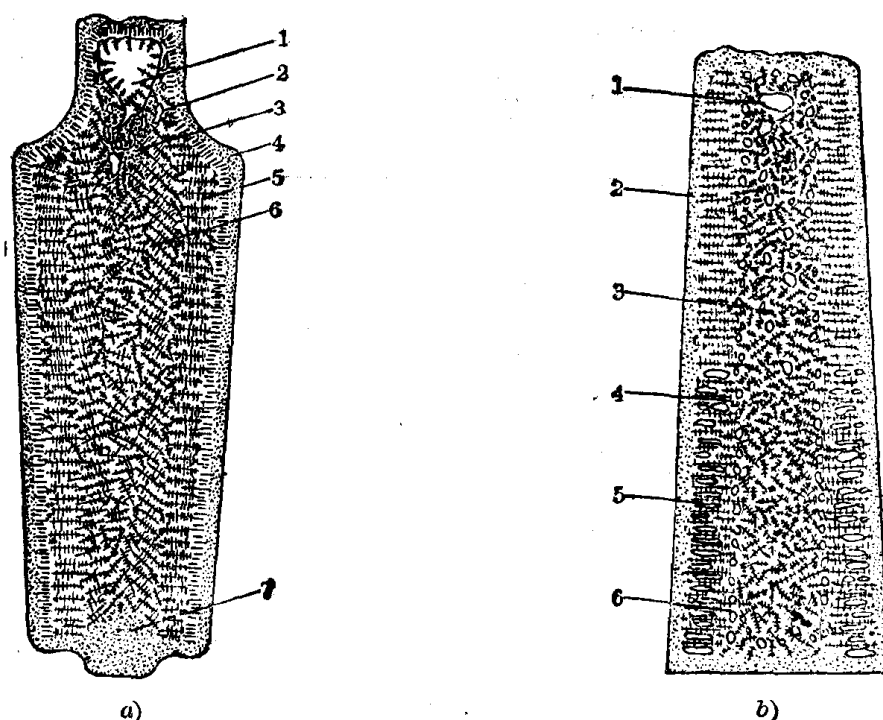


图 1-3 钢锭的宏观组织示意图

a) 镇静钢锭
1—缩孔; 2—气泡; 3—疏松; 4—表面细晶粒区;
5—柱状晶区; 6—中心等轴晶区; 7—下部锥体

b) 沸腾钢锭
1—头部大气泡; 2—坚壳带; 3—锭心带; 4—中
心坚固带; 5—蜂窝气泡带; 6—二次气泡带

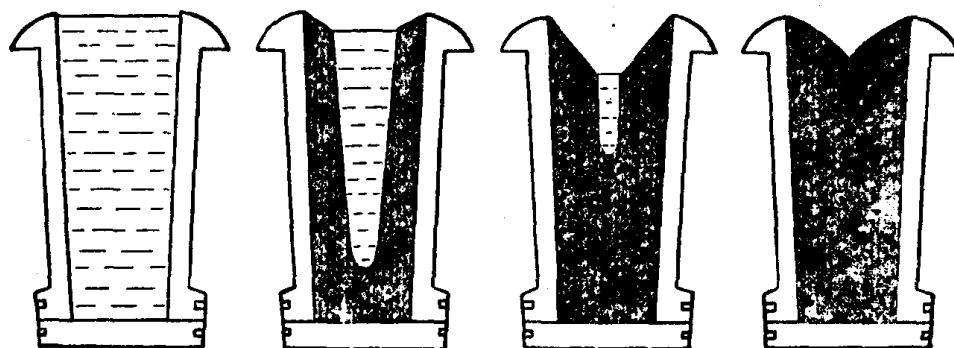


图 1-4 缩孔形成示意图

缩孔。若疏松处没有杂质,则在高温的压力加工过程中可被焊合起来。

3. 气泡: 钢在液态比在固态时能够溶解更多的气体, 这些气体主要是 CO 、 CO_2 、 H_2 、 N_2 等。随着钢液温度的下降, 这些气体逐渐析出而逸出液面。当钢液温度下降到某一程度时, 粘度增大, 气体就不易逸出, 而以气泡的形式留在铸锭中。气泡可存在于钢锭内部, 也可能接近于钢锭表层。靠近钢锭表层的气泡称为“皮下气泡”。锭内气泡可以在热加工时焊合。而皮下气泡则可能与空气连通而发生氧化, 在热加工时无法焊合, 结果使钢材表面出现裂纹。即使这些皮下气泡未被氧化, 但由于它们接近于钢锭表层, 在热加工时也易破裂而使钢材表面出现裂纹。

镇静钢锭的质量取决于缩孔的分布, 疏松、气泡和偏析的程度, 以及柱状晶区的厚度等。只有合理设计锭模和采用合理的浇注工艺, 才能得到高质量的铸锭。

(二) 沸腾钢

如果在冶炼末期对钢液仅进行轻度脱氧,而使相当数量的氧(0.03~0.07%)留在钢液中,则钢液注入锭模后,钢中的氧与碳会发生化学反应,析出大量一氧化碳气体,引起浇注时钢液沸腾,这种钢叫做沸腾钢。

沸腾钢锭的宏观组织如图 1-3b) 所示。从纵断面来看大致可分为坚壳带(外层致密带)、蜂窝气泡带、中心坚固带(中间致密带)、二次气泡带和锭心带等五个区域。

坚壳带由致密的细晶粒组成,生产上一般要求它有一定的厚度(大于8毫米)。如果太薄,钢锭表层会在加热与轧制时破裂,使蜂窝气泡的内壁发生氧化,轧制时无法焊合,而导致钢材表面出现许多裂纹。蜂窝气泡是由于柱状晶体向锭心方向生长时包围气体而形成的,呈长椭圆形。通常蜂窝气泡带分布在钢锭的下半部相当于 $1/3 \sim 1/2$ 锭高处。如果恰当地控制脱氧程度,钢液入模后沸腾正常,则可获得坚实且厚度又能达到要求的坚壳带。

沸腾钢一般是低碳钢,加之不用硅脱氧,钢中含硅量也很低。这些都使沸腾钢具有良好的塑性。因此,在机器制造中许多冷冲压件(如拖拉机油箱、汽车壳体等)常用 08F 一类沸腾钢板制造。

沸腾钢锭内部分布着许多气泡,因而一般不出现集中缩孔。轧成钢坯后,头部切除量很小,故成材率较镇静钢高。另外,由于表层有一定厚度的致密细晶带,轧成的钢板表面质量较好,因此宜于轧制薄钢板。

但是,沸腾钢的成分偏析大,组织不致密,机械性能不均匀,而且冲击韧性值较低,所以对机械性能要求较高的零件,需要采用镇静钢。

第三节 钢的压力加工

冶炼成的钢锭,除一部分用于大型锻件外,大部分要通过轧制、挤压、拉丝等方法制成型材、板材、管材、线材等,供应各个部门使用。

对金属进行压力加工不仅可以获得一定形状的工件,而且能改善金属的组织 and 性能。

金属压力加工的主要生产方式有轧制、挤压、拉丝、自由锻造、模型锻造和薄板冲压等,如图 1-5 所示。

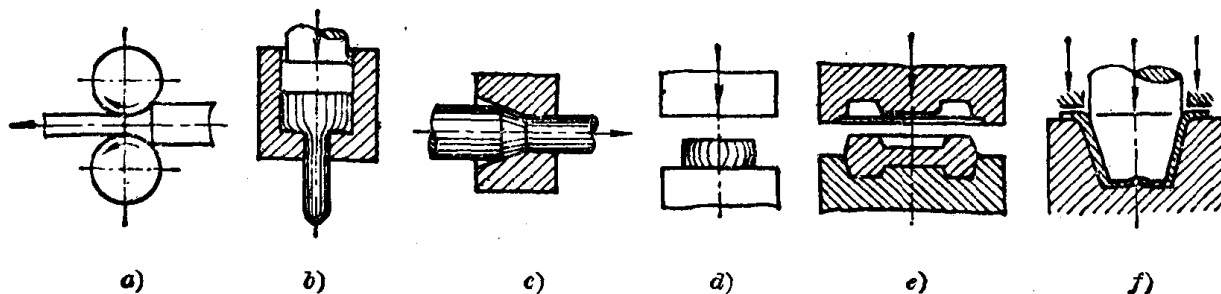


图 1-5 金属压力加工生产方式示意图

a) 轧制; b) 挤压; c) 拉丝; d) 自由锻造; e) 模型锻造; f) 薄板冲压

下面以轧制为例,来说明钢材的生产过程。

大约有 85~90% 的钢锭是经过轧制成材而供应使用部门的。在轧制过程中,金属在转动的轧辊间借摩擦力的作用,使坯料得以连续地进入轧辊而变形(截面减小,长度增加)。