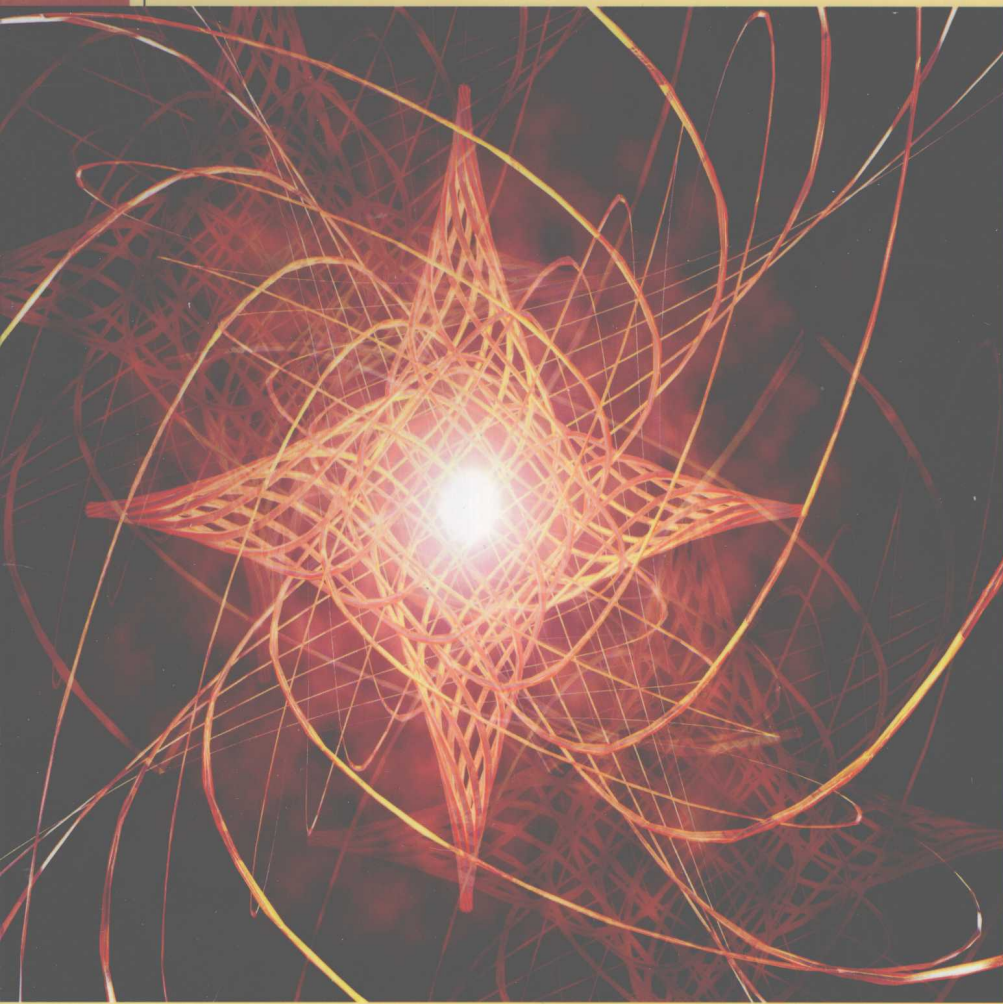


金属材料

与热处理

□ 辽宁大学出版社

黄丽荣
编著



JINSHU
CAILIAO
YU
RECHULI

©黄丽荣 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料与热处理/黄丽荣编著. —沈阳: 辽宁大学出版社, 2008. 5
ISBN 978-7-5610-5600-4

I. 金… II. 黄… III. ①金属材料②热处理 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 052225 号

出版者: 辽宁大学出版社

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印刷者: 东煤地质局沈阳印刷厂

发行者: 辽宁大学出版社

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 12.75

字 数: 320 千字

出版时间: 2008 年 5 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 胡家诗

封面设计: 邹本忠

责任校对: 春 佳

书 号: ISBN 978-7-5610-5600-4

定 价: 26.00 元

联系电话: 024-86864613

邮购热线: 024-86830665

网 址: <http://press.lnu.edu.cn>

电子邮件: lnupress@vip.163.com

前 言

本书是作者根据多年的教学经验，经过企业调研，听取有关专家意见，参考相关文献编著而成的。全书力求简明扼要，通俗易懂，注重生产实际应用。其内容丰富、详尽，采用最新国家标准和名词术语；具有较强的实用性。

全书包括十个部分：钢铁材料生产简介、金属的力学性能、纯金属的结构与结晶、合金相结构与结晶、铁碳合金、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、非铁合金等。在比较详细地介绍金属的结构与结晶的基础上，重点讲述了现代工业中应用最广泛的铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系及其变化规律；钢的热处理基本工艺；常用钢铁材料的特点及其应用。使读者能够比较系统地掌握常用金属材料的成分、组织、性能、热处理特点及其应用范围。

本书特别适用于职业院校的材料成形、焊接、铸造、锻压、金属材料及热处理以及数控、机制等专业学生使用，也适用于成人高校、普通中专等热加工类学生使用，还可供工程技术人员及热处理工参考。

在本书成稿过程中，沈阳职业技术学院李学哲副教授对书稿进行了审阅，并提出了许多宝贵意见；华晨金杯汽车有限公司高级工程师汤宏智、北方重工沈矿集团高级工程师刘晓荣给予了大力支持；远大集团陈亮做了大量的文字处理和资料整理工作。作者在写作过程中也从有关文献中汲取了许多精华。在此谨向所有帮助、支持的人和有关文献的作者表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请各位读者和专家批评指正。

作 者

2008年3月于沈阳

目 录

前 言	1
第一章 钢铁材料生产简介	1
第一节 钢铁的冶炼	1
一、铁的冶炼	1
二、钢的冶炼	1
第二节 钢的铸锭	4
一、铸锭的方法	4
二、钢锭的组织	5
第三节 钢的压力加工	6
思考题与练习题	7
第二章 金属的力学性能	8
第一节 强度与塑性	8
一、拉伸试验	8
二、强度	9
三、塑性	10
第二节 硬度	10
一、布氏硬度	11
二、洛氏硬度	12
三、维氏硬度	12
第三节 韧性与疲劳强度	13
一、韧性	13
二、疲劳强度	14
思考题与练习题	14
第三章 纯金属的结构与结晶	15
第一节 金属的晶体结构	15
一、晶体与非晶体	15
二、金属的特性和金属键	15
三、金属晶体结构的基本类型	16
四、晶面、晶向及其表示方法	20
第二节 实际金属的晶体结构	21

一、多晶体	21
二、晶体缺陷	22
第三节 纯金属的结晶	25
一、金属结晶的过冷现象	25
二、结晶过程	26
三、结晶速度	27
四、铸锭及焊缝组织	27
五、结晶理论在实际生产中的某些应用	28
六、金属的同素异构转变	30
思考题与练习题	31
第四章 合金相结构与结晶	32
第一节 合金的相结构	32
一、基本概念	32
二、固溶体	32
三、金属化合物	34
第二节 二元合金相图的建立	35
一、相图的表示方法	36
二、二元合金相图的测定方法	36
第三节 二元匀晶相图	37
一、相图分析	37
二、合金的平衡结晶及其组织	37
三、杠杆定律	38
四、合金的不平衡结晶	39
第四节 二元共晶相图	40
一、相图分析	40
二、典型合金的平衡结晶及其组织	41
三、不平衡结晶及其组织	43
四、密度偏析	44
第四节 包晶相图	44
一、相图分析	44
二、典型合金的平衡结晶及其组织	45
第五节 其他类型相图	46
一、形成稳定化合物的相图	46
二、具有固溶体同素异构转变的相图	46
三、具有共析转变的相图	47
第六节 二元合金相图的分析和应用	47
一、二元合金相图的分析方法	47
二、二元合金相图的应用	49

思考题与练习题	50
第五章 铁碳合金	51
第一节 铁碳合金的基本相	51
一、铁素体	51
二、奥氏体	51
三、渗碳体	52
第二节 Fe—Fe₃C 相图分析	52
一、Fe—Fe ₃ C 相图中的特性点	53
二、Fe—Fe ₃ C 相图中的相区	54
三、Fe—Fe ₃ C 相图中的特性线	54
第三节 典型铁碳合金的平衡结晶过程及其组织	55
一、工业纯铁	56
二、共析钢	57
三、亚共析钢	58
四、过共析钢	59
五、共晶白口铸铁	60
六、亚共晶白口铸铁	61
七、过共晶白口铸铁	62
第四节 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	63
一、含碳量对平衡组织的影响	63
二、含碳量对平衡状态下铁碳合金力学性能的影响	63
第五节 Fe—Fe₃C 相图应用及局限性	64
一、Fe—Fe ₃ C 相图的应用	64
二、Fe—Fe ₃ C 相图的局限性	65
第六节 合金元素对 Fe—Fe₃C 相图的影响	65
第七节 杂质对钢组织性能的影响	67
一、硅和锰	67
二、硫	67
三、磷	67
四、非金属夹杂物	68
思考题与练习题	68
第六章 金属的塑性变形与再结晶	69
第一节 金属的塑性变形	69
一、金属的变形过程	69
二、单晶体的塑性变形	69
三、多晶体的塑性变形	74
四、合金的塑性变形	75
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	76

一、冷塑性变形对金属性能的影响	77
二、冷塑性变形对金属组织结构的影响	78
三、冷塑性变形产生内应力	79
第三节 回复和再结晶	80
一、回复	80
二、再结晶	81
三、晶粒长大	81
第四节 金属的热塑性变形	82
一、金属的热加工与冷加工	82
二、热加工对金属组织与性能的影响	83
思考题与练习题	84
第七章 钢的热处理	86
第一节 概述	86
第二节 钢在加热时的转变	87
一、奥氏体的形成过程	87
二、影响奥氏体转变速度的因素	88
三、奥氏体长大	89
第三节 钢在冷却时的转变	90
一、奥氏体的等温转变图	91
二、奥氏体的连续冷却转变图	92
三、共析钢奥氏体转变产物的组织和性能	94
四、影响奥氏体转变的因素	98
第四节 钢的退火与正火	99
一、钢的退火	99
二、钢的正火	102
三、退火与正火工艺的选择	102
第五节 钢的淬火与回火	102
一、钢的淬火	102
二、钢的回火	108
第六节 钢的表面淬火与化学热处理	110
一、钢的表面淬火	110
二、钢的化学热处理	112
第七节 其他热处理简介	115
一、可控气氛热处理	115
二、真空热处理	116
三、形变热处理	116
四、激光热处理和电子束表面淬火	116
第八节 常见热处理缺陷及其预防	117

一、钢在加热时出现的缺陷	117
二、钢在淬火冷却时出现的缺陷	117
第九节 热处理工序位置的确定	118
一、热处理工序位置确定的一般规律	118
二、确定热处理工序位置的实例	118
思考题与练习题	119
第八章 工业用钢	121
第一节 钢的分类及牌号	121
一、钢的分类	121
二、钢的牌号	122
第二节 结构钢	125
一、普通结构钢	125
二、优质结构钢	130
三、其他结构钢	142
第三节 工具钢	143
一、刃具钢	143
二、模具钢	148
三、量具钢	150
第四节 特殊性能钢	151
一、不锈耐酸钢	151
二、耐热钢	154
三、耐磨钢	156
思考题与练习题	157
第九章 铸铁	158
第一节 铸铁的石墨化	158
一、铸铁的石墨化过程	159
二、影响石墨化的因素	160
第二节 灰铸铁	161
一、灰铸铁的化学成分、组织和性能	162
二、灰铸铁的牌号和应用	163
三、灰铸铁的孕育处理	164
四、灰铸铁的热处理	164
第三节 球墨铸铁	165
一、球墨铸铁的化学成分、组织和性能	165
二、球铁的牌号和应	166
三、球铁的热处理	167
第四节 可锻铸铁	170
一、可锻铸铁的生产	170

二、可锻铸铁的牌号、组织、性能及用途·····	171
第五节 其他铸铁简介·····	172
一、蠕墨铸铁·····	172
二、合金铸铁·····	173
思考题与练习题·····	174
第十章 非铁合金 ·····	175
第一节 铝及其合金 ·····	175
一、工业纯铝·····	175
二、铝合金的分类及其热处理·····	175
三、变形铝合金·····	177
四、铸造铝合金·····	179
第二节 铜及其合金 ·····	182
一、工业纯铜·····	182
二、黄铜·····	182
三、青铜·····	184
第三节 滑动轴承合金 ·····	187
一、轴承合金的性能要求·····	187
二、常用轴承合金·····	188
第四节 其他非铁合金 ·····	189
一、钛及其合金·····	189
二、镁及其合金·····	190
思考题与练习题·····	190
参考文献 ·····	191

第一章 钢铁材料生产简介

钢铁材料是应用最广泛的金属材料，是现代工业，特别是机械制造业的支柱。钢铁材料质量的好坏，将直接影响零件的质量，材料中的缺陷是造成工艺废品或工件失效的根源。

本章通过对钢铁生产过程的简单介绍，扼要地说明冶炼、浇注和压力加工对材料质量的影响。

第一节 钢铁的冶炼

一、铁的冶炼

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，实质是将铁矿石中的氧化铁还原为铁的物理化学过程。高炉中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，这些元素也会渗到铁中。这样，生铁除了铁、碳两种主要成分外，还含有硅、锰、磷、硫等杂质。

生铁碳的质量分数（ w_c ）一般是 2.5%~4.5%，按用途可分为炼钢生铁和铸造生铁两类。炼钢生铁碳的质量分数一般在 4%左右，是转炉炼钢的主要原材料。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，具有良好的使用性能，所以应用很广。

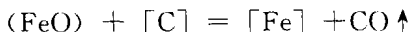
二、钢的冶炼

（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，钢中碳的质量分数低于 2.11%，平常大量使用的钢碳的质量分数都在 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。炼钢的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℃，在这样高的温度下，炉料已经熔化。由于铁在铁液中的浓度高达百分之九十几，因此供氧化反应进行所需要的氧进入铁液中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。反应产物或者排入炉气，或者转入炉渣，最后得到所需要成分的钢液。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。

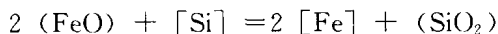
1. 脱碳反应 脱碳反应比较复杂，一般可表达为：



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。

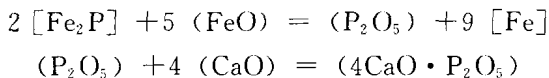
锰也很容易被氧化，并在炼钢的过程中达到平衡，而后来又有可能被还原出来。其反应为：



锰的氧化也是放热反应。

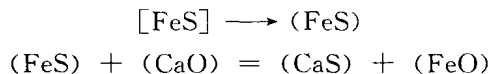
3. 去磷、去硫过程 磷、硫存在于钢中，通常是有害的，应在炼钢过程中尽量予以去除。

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 形式存在，FeS 先从铁液中转入炉渣，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：

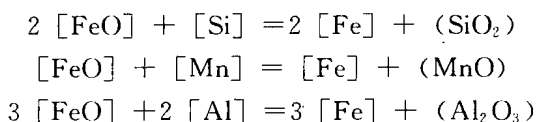


整个反应是吸热的。高温，以及高碱度、流动性良好的炉渣，是去硫的基本条件。

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) 沉淀脱氧是将含有锰、硅、铝等元素的脱氧剂直接加入钢液中，使溶于钢液中的 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的目的。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

目前主要的炼钢方法有氧气转炉炼钢法、电弧炉炼钢法、以及炉外精炼。炼钢的生产流程主要有以下两种：

铁水 → 铁水预处理 → 氧气转炉 → 初炼钢水 → 炉外精炼 → 精炼钢水 → 连铸机 → 连铸坯。

废钢 → 电弧炉 → 初炼钢水 → 炉外精炼 → 精炼钢水 → 连铸机 → 连铸坯。

1. 氧气转炉炼钢法 氧气转炉包括氧气顶吹转炉、氧气底吹转炉、氧气侧吹转炉及顶底复吹转炉等。

氧气转炉的主要原料是铁水，同时可配加 10%~30% 的废钢；生产中不需要外来热源，依靠吹入的氧气与铁水中的碳、硅、锰、磷等元素反应放出的热量使熔池获得所需要的冶炼温度，其突出的特点是生产周期短、产量高，不足之处是生产的钢种有限，主要冶炼低碳钢和部分合金钢。20 世纪 70 年代初诞生的顶底复吹转炉，近年来已有长足的发展，其中顶吹氧气、底吹惰性气体搅拌已成为目前的主要炼钢方法。

氧气顶吹转炉炼钢的基本过程是：装料（即加废钢、兑铁水）→ 摇正炉体 → 降枪开始吹炼并加入第一批渣料 → （吹炼中期）加入第二批渣料 → （终点前）测温、取样 → （合格后）倾炉出钢并进行脱氧合金化。

2. 电弧炉炼钢法 电炉炼钢法是以电能为主要热源、废钢为主要原料的炼钢方法。最常用的电弧炉炼钢，其显著的优点是，熔池温度易于控制和炉内气氛可以调整，故常用来生产优质钢和高合金钢。此外，它不像氧气转炉那样需配建一套庞大的炼铁生产系统，同时本身设备也比较简单，因而投资小、建厂快，目前电弧炉炼钢产量已达总产量的 30% 以上。

电弧炉炼钢，按照生产工艺的不同可分为氧化法、不氧化法和返回吹氧化法三种

氧化法冶炼是电弧炉炼钢的传统方法，其生产过程主要是由装料、熔化期、氧化期、还原期和出钢五个阶段组成。它的最大特点是有一个氧化期，通过向熔池吹氧、加入一定量的石灰和铁矿石等进行脱碳、脱磷，同时使熔池沸腾以去除钢中的气体和非金属夹杂物。因此，氧化法冶炼可以用普通废钢为原料，获得含磷量及气体和夹杂都较低的钢，这也就是一般钢种大多采用氧化法冶炼的原因。其缺点是如果炉料中配有合金钢返回料，则其中的一些合金元素会被氧化而损失于炉渣之中。

而用合金钢返回料冶炼合金钢多用不氧化法及返回吹氧化法。

3. 炉外精炼 炉外精炼是指从初炼炉即氧气转炉或电弧炉中出来的初炼钢水，在另一个冶金容器中进行精炼的工艺过程。精炼的目的是进一步去气、脱硫、脱氧、排除夹杂物、调整及均匀钢液的成分和温度等，提高钢水质量；同时，缩短初炼炉的冶炼时间，使炼钢和连铸的作业周期能协调起来。精炼的手段有真空、吹氩、搅拌、加热、喷粉等。

在现代炼钢生产中，除极少数炉外精炼可以离线作业外，绝大多数都是在线进行，因此精炼时间必须与炼钢和连铸的作业时间协调。

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：（见图 1-1）

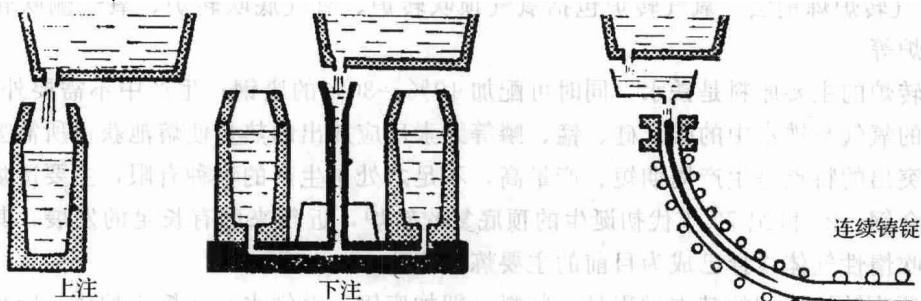


图 1-1 铸锭的方法

1. 上注法 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。此法所用的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、夹杂等缺陷，影响钢锭表面质量。因此，这种方法一般只用于浇注大铸锭。

2. 下注法 下注法是将盛钢桶中的钢水注入中心铸管，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注十几支钢锭。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采用下注法。

3. 连续铸锭法 连续铸锭法是把盛钢桶中的钢水，通过中间罐连续地注入结晶器中，钢液的热量被流动的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形成钢坯，经矫直后由切割机切成一定长度，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，值得推广。

二、钢锭的组织

典型的模注钢锭的宏观组织如图 1-2 所示。通常采用酸蚀试验方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，再刷洗并吹干，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。从表面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，可改变这三个晶区的相对大小和晶粒的粗细，甚至获得只有两个或一个结晶区域所组成的铸锭。

必须指出，虽然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。

晶粒的大小和形状对金属材料的力学性能有很大的影响。一般来说，晶粒越细小，金属材料的强度越高，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和轧制时开裂，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。

根据钢中的含氧量和凝固时放出一氧化碳的程度，可将钢锭分成镇静钢、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，使所含氧的质量分数不超过 0.01%，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。

镇静钢的宏观组织，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，这是镇静钢的组织特点。另外在宏观分析时也常看到缩孔、偏析、疏松和气泡等缺陷。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同。当钢液由外向内、至下而上冷却时，液面不断下降，最后便在钢锭的上部形成倒锥形的缩孔。如果锭模设计不当，浇注工艺掌握的不好，则缩孔长度可能增大，甚至贯穿钢锭中心，严重影响钢锭质量。

2. 疏松 钢锭在结晶过程中有固、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，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，这样的缩孔叫疏松，或称分散缩

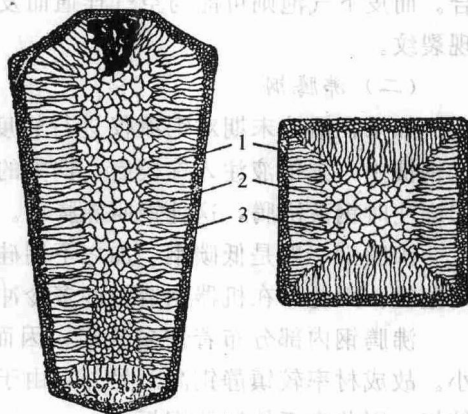


图 1-2 钢锭的典型组织示意图

1—表面细晶粒区 2—柱状晶粒区

3—中心等轴晶粒区

孔。若疏松处没有杂质，则在高温的压力加工过程中可被焊接起来。

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钢锭中。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，结果使钢材的表面出现裂纹。

(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 ($w_o = 0.03 \sim 0.07\%$) 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，这种钢叫沸腾钢。

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（如汽车壳体等）常用 08F 一类沸腾钢板制造。

沸腾钢内部分布着许多气泡，因而一般不出现集中缩孔。轧制钢坯后，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，轧成的钢材表面质量较好，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，力学性能不均匀，而且韧性较差，所以对力学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 1-3 所示。

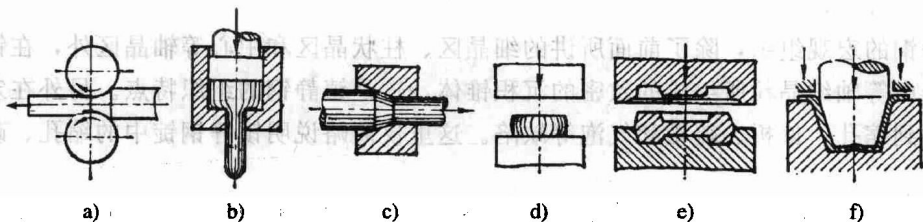


图 1-3 金属压力加工生产方式示意图

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

大约有 $85\% \sim 90\%$ 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）。轧制时金属变形速度大，生产效率高，同时金属损失少，因而轧制得到广泛的应用。

轧制用钢锭，一般重 $2.5 \sim 12$ 吨，轧制的钢材大致分为以下几类：

1. 型钢 包括简单断面的圆钢（直径为 6.5~9mm 的小圆钢则称为线材）、方钢、扁钢、六角钢，以及复杂断面的工字钢、槽钢、钢轨、窗框钢和其他异形钢材等。

2. 钢板 按厚度可分为薄板（一般在 4mm 以下）和厚板（4mm 以上）两种。薄板还可以镀锌、镀锡，以防生锈。

3. 钢管 分为无缝钢管和焊接钢管两类，一般多数为圆形断面，也有扁、方或其他异形断面的钢管。无缝钢管有热轧的（或挤压的），也有冷拔、冷轧的。

4. 盘条 由热轧而成，可作为冷拔钢丝的材料。

轧钢生产的主要设备有加热炉和轧钢机等。

热轧钢锭和钢坯要加热到高温，使之塑性好，变形抗力低，以利于轧制。

经过热轧以后，钢锭中的气泡和某些缩孔得以焊合，疏松程度有所下降，增加了钢的致密性，同时还可以细化晶粒，减小钢中化学成分不均匀的程度，因此可使钢的力学性能得到改善。

但热轧后也会出现一些问题，如纤维组织（流线）和带状组织。前者会使钢中的纵、横向力学性能不同，后者不仅使钢材呈各向异性、降低塑性和韧性，还可能使钢材在热处理过程中产生变形和开裂。

薄板有热轧和冷轧两种。热轧钢板由轻型的扁钢坯轧制而成。

冷轧钢板和钢带可获得准确的厚度和良好的表面质量，并提高钢板的强度。在轧制过程中，随着变形程度的增大，钢的强度、硬度增高，而塑性、韧性下降，为消除这种硬化现象，便于下道轧制工序的进行，需要进行中间热处理。

利用轧制来代替某些零件的锻造加工，能使生产率成倍增加，提高质量，降低消耗。在机器制造业中得到广泛的应用。

思考题与练习题

1. 铁矿石在高炉中冶炼成生铁，生铁中的主要元素有哪些？
2. 炼钢的实质是什么？其过程的主要反应是什么？
3. 目前最主要的两种炼钢方法是什么？
4. 镇静钢和沸腾钢的致密度和成材率有何不同？
5. 金属的压力加工的主要生产方式是什么？

第二章 金属的力学性能

金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是指金属材料在使用条件下,表现出来的性能,它包括物理性能、化学性能、力学性能等。使用性能的好坏,决定了它的使用范围和使用寿命。而工艺性能是指金属材料在加工制造过程中的适应加工的性能,它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。工艺性能直接影响零件加工后的工艺质量,是选材和制订零件加工路线时必须考虑的因素之一。

金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用下抵抗变形与断裂的能力及发生变形的能力。这种能力的大小、强弱用力学性能指标来衡量和比较,如强度、塑性、硬度、韧度及疲劳强度等。

第一节 强度与塑性

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。根据载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等五种。一般情况下多以抗拉强度作为判断金属强度高低的指标。强度的大小通常用应力表示。

塑性是指金属材料在载荷作用下,断裂前产生永久变形(塑性变形)的能力。

金属材料的抗拉强度和塑性均是通过拉伸试验测定的。

一、拉伸试验

用静拉力对 GB6397—86《金属拉伸试验试样》规定的,如图 2-1b)所示的标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量力和相应的伸长,直到断裂。然后将记录的数值绘成力—变形曲线上。图 2-1a)所示是退火低碳钢试样的力—变形曲线。曲线上的 oe 段近似于一条斜直线,表示试样处于弹性变形阶段。若卸除拉伸力 F ,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。当拉伸力继续增加时,试样将产生塑性变形,并且在 s 点附近,曲线上出现一段水平(或有波动)线段。这时拉伸力不增加,试样的塑性变形量增加,称为屈服现象。屈服后曲线又呈上升趋势,表示试样的材料得到强化, b 点表示试样抵抗拉伸力的最大能力。这时试样上的某个部位横截面将发生局部收缩,称为缩颈现象。最后,试样承受拉伸力的能力迅速减小而破坏。由于力—变形曲线的载荷 F 与伸长量 ΔL ,不仅与试验的材料性能有关,而且还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响,使力—变形曲线能反映金属材料的力学性能,将力—变形 ($F-\Delta L$) 曲线上纵坐标、横坐标分别除以原始截面积和原始标距长度,就得到了应力—应变曲线(即 $\sigma-\epsilon$ 曲线)。因坐标数值均以一常数相除,所以,同一种材料、同一种组织状态的 $\sigma-\epsilon$ 曲线的形状与其 $F-\Delta L$ 曲线的形状相似,如图 2-1c)所示, $\sigma-\epsilon$ 曲线与试样几何尺寸无关, $\sigma-\epsilon$ 曲线上的特性点均与 $F-\Delta L$ 曲线上的特性点相对应。拉伸试验时,当应力和应变达到某一特性点时,便得到了材料拉伸时的力学性能指标。