



铸造工人学技术必读丛书

铸钢

及其熔炼技术

中国铸造协会◎组织编写

胡汉起◎编著



ZHUGANG

JIQI RONGLIAN JISHU



化学工业出版社



铸造工人学技术必读丛书

铸钢

及其熔炼技术

中国铸造协会◎组织编写

胡汉起◎编著



化学工业出版社

·北京·

本书是《铸造工人学技术必读丛书》之一。书中主要介绍了各类铸钢材料：铸造碳钢、低合金钢、高锰钢、不锈钢、高温合金等的特性、熔炼、热处理与铸造工艺，以及熔炼设备的使用要点，用浅显的文字，通俗的语言，结合应用案例，使读者学习基本知识的同时，获得解决实际问题的途径。

本书是作者多年从事铸造方向教学、研究和实践工作经验的总结，可作为铸造技术人员、工人培训和自学用书，也可作为职业院校铸造相关专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸钢及其熔炼技术/胡汉起编著. —北京：化学工业出版社，2010.3
(铸造工人学技术必读丛书)
ISBN 978-7-122-07435-5

I. 铸… II. 胡… III. 铸钢-熔炼 IV. ①TG26
②TG243

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 239624 号

责任编辑：刘丽宏
责任校对：郑捷

装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印 装：化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/32 印张7½ 字数199千字
2010年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：25.00 元

版权所有 违者必究

《铸造工人学技术必读丛书》编委会

主 任：张立波

副主任：姜不居 温 平 吕志刚

委 员：张立波 姜不居 温 平 吕志刚
芮争家 胡汉起 李双寿 蔡震升
林家骝 荣丽辉 高 岩

序

铸造是制造业的基础，也是国民经济的基础产业，各行各业都离不开铸件。近年来，随着国民经济的高速发展，我国铸造业也迅猛发展，各类铸件的产量持续增长，截止到2008年底铸件总产量已连续9年稳居世界首位。众所周知，我国是一个铸造大国，但远不是一个铸造强国，与当前各工业发达国家相比，我国铸造业在工艺技术水平、生产管理水平、装备水平、产品技术含量（附加值）、平均生产规模、铸件生产效率、各项经济指标、设备利用率、能耗、环境治理和从业人员培训等方面仍存在较大差距。有鉴于此，中国铸造协会特组织编写行业系列图书，旨在提高从业人员素质，致力于中国铸造业的发展与振兴。

高效传播实用知识和技能是中国铸造协会的重要职责。《铸造工人学技术必读丛书》（以下简称《丛书》）就是为了满足广大铸造从业人员的需求，特别是生产一线工人和初学者的强烈要求而编辑出版的，希望能够得到读者的厚爱。《丛书》共分6册：

- | | | |
|----------------|-----|--------|
| 《铸铁及其熔炼技术》 | 芮争家 | 编著 |
| 《铸钢及其熔炼技术》 | 胡汉起 | 编著 |
| 《铸造有色合金及其熔炼技术》 | 李双寿 | 唐靖林 编著 |
| 《造型材料及砂处理》 | 蔡震升 | 编著 |
| 《造型制芯及工艺基础》 | 林家骝 | 编著 |
| 《特种铸造》 | 姜不居 | 编著 |

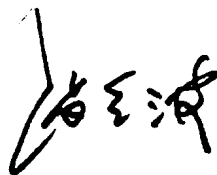
《丛书》从基础写起，内容简明、通俗易懂，紧密联系生产应用实际，力求使读者通过学习，短期内迅速掌握铸造的基本知识和应用技能，从而达到快速上岗和熟练操作的目的。

《丛书》既可作为工人培训用书和自学教材，也可作为职业院校等学校铸造专业的教材。

《丛书》中各分册由主编统稿，由黄惠松、胡汉起、曾大本、蔡震升、姜不居、吕志刚等专家进行了主审。

《丛书》的编写得到了有关专家的大力支持和帮助，在此一并感谢！

中国铸造协会执行副理事长兼秘书长

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Huang Huisong, the Vice Chairman and Secretary General of the China Foundry Association.

前 言

铸钢是铸造金属材料中能承受动力负荷最重、工作环境最恶劣的合金材料。铸钢通常指碳钢和低合金钢，它有高强度、高韧性及较好的焊接性。而特殊高合金铸钢还可满足一些特殊要求，如要求耐热、耐压、耐蚀、耐低温和抗磨性等。铸钢工业是 20 世纪 40 年代发展起来的，随着机械制造业的发展，铸钢件得到日益广泛的应用。特别是重大装备业的发展使大型铸钢件（单重百吨甚至几百吨）受到极大重视。而建立一支技术过硬、技艺精湛的高素质工人队伍是铸钢业发展的必由之路。

本书是《铸造工人学技术必读丛书》之一。本书适应当前铸造行业人才培养的需要，从铸造工人和初学者学习铸造知识、提高操作技能的阅读需要出发，跳出已有图书内容面面俱到，文字多，实用性不强，可读性差的编写模式，将基础知识与生产实际和应用密切结合，采用浅显的语言，循序渐进地介绍了铸造碳钢、低合金铸钢、特殊性能高合金铸钢生产的性能特点和要求，热处理及熔炼工艺装备和操作要点等内容。书中还紧跟科学技术和铸造工业的发展，适当介绍了普及性强的铸造新知识、新技术的相关内容，希望对指导生产、推广先进技术起到积极的作用。

在本书编写过程中，得到了中国铸造协会有关专家的有关指导与大力支持，谨致衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 铸钢基本知识

1.1 金属材料的分类及铸钢的应用	1
1.2 铸钢的分类及牌号表示法	2
1.2.1 铸钢的分类及化学成分	2
1.2.2 铸钢的牌号表示法	3
1.3 金属材料的力学性能	4
1.3.1 力学性能的应力-应变图	4
1.3.2 力学性能	5
1.4 铸钢的铸态组织	7
1.4.1 铸钢的宏观组织	7
1.4.2 铸钢的微观组织	10
1.5 微观组织与成分、温度的关系	11
1.5.1 晶体结构	12
1.5.2 铁-碳相图简介	15
1.6 铸钢的热处理	18
1.6.1 热处理中几种显微组织特征	18
1.6.2 热处理工艺	20
1.6.3 热处理设备	24

第 2 章 铸钢的熔炼

2.1 铸钢熔炼基础	30
2.1.1 对熔炼的基本要求	30
2.1.2 铸钢的熔炼工艺要点	30
2.1.3 化学成分的保证	31

2.1.4	夹杂物与气体的排除	32
2.2	铸钢的熔炼工艺	36
2.2.1	电弧炉熔炼	36
2.2.2	感应炉熔炼	39
2.2.3	特殊熔炼工艺	43

第3章 铸造碳钢

3.1	铸造碳钢的化学成分与力学性能	52
3.1.1	铸造碳钢的国家标准	52
3.1.2	化学成分对力学性能的影响	53
3.1.3	其他因素对力学性能的影响	56
3.2	碳钢的热处理	64
3.2.1	退火	64
3.2.2	正火	65
3.2.3	正火+回火	66
3.3	碳钢的铸造性能	67
3.3.1	流动性	68
3.3.2	体收缩	69
3.3.3	线收缩	73
3.3.4	热裂倾向	76
3.3.5	化学成分偏析	80

第4章 铸造低合金钢

4.1	合金元素的作用及分类	84
4.1.1	与铁形成固溶体	84
4.1.2	与碳形成化合物	87
4.2	铸造低合金钢的成分及性能	87
4.2.1	锰系低合金铸钢	88
4.2.2	铬系低合金铸钢	93
4.2.3	镍系低合金铸钢	96

4.2.4 微合金化铸钢	100
4.3 铸造低合金钢的热处理	104
4.3.1 预退火处理	104
4.3.2 正火或淬火处理	105
4.3.3 回火处理	107
4.4 低合金铸钢的铸造性能	109
4.4.1 流动性	109
4.4.2 裂纹倾向性	110
4.5 铸造低合金钢的焊接性能	110

第5章 铸造高合金钢

5.1 铸造高锰钢	112
5.1.1 铸造高锰钢的化学成分	112
5.1.2 铸造高锰钢的热处理	126
5.1.3 铸造高锰钢的加工硬化及耐磨性	131
5.1.4 铸造高锰钢熔炼特点	135
5.1.5 高锰钢的铸造性能及工艺特点	135
5.2 铸造不锈钢及耐蚀合金	143
5.2.1 不锈钢的耐蚀性及其分类	143
5.2.2 各类不锈钢的特点及热处理	155
5.2.3 不锈钢的熔炼	173
5.2.4 不锈钢的铸造性能	174
5.3 铸造耐热钢及耐热合金	175
5.3.1 耐热钢的高温力学性能	175
5.3.2 耐热钢的高温抗氧化及耐蚀性能	184
5.3.3 耐热钢及耐热合金	189
5.3.4 铸造耐热钢及耐热合金熔炼特点	192
5.3.5 改善耐热合金性能的铸造工艺——定向 凝固技术	194
5.4 铸造工具钢	199

5.4.1 高速刀具钢	199
5.4.2 模具钢	201

第6章 铸钢件的检测

6.1 工艺性能及力学性能的检测	203
6.1.1 工艺性能的检测	203
6.1.2 力学性能的检测	206
6.2 铸件的无损探伤	216
6.2.1 磁力探伤	216
6.2.2 超声波探伤	216
6.2.3 X射线探伤	217
6.3 金相组织的检测	220
6.3.1 宏观组织的检测	220
6.3.2 微观组织的检测	222

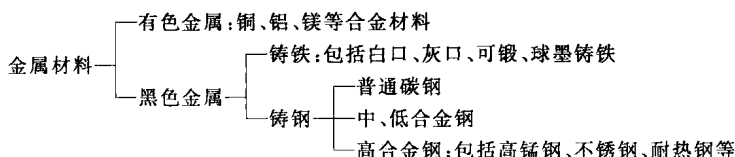
参考文献

第 1 章 铸钢基本知识

1.1 金属材料的分类及铸钢的应用

金属材料中的黑色金属材料 and 有色金属材料按铸造角度分类，如表 1-1 所示。

表 1-1 金属材料的分类



铸钢是铸造金属材料中能承受动力负荷最重、工作环境最恶劣的合金材料。其中的碳素铸钢应用非常广泛，它的使用总量占全部钢种铸件的 70% 以上。它和铸铁同属铁碳合金（亦称黑色金属），成分上的差别主要是碳钢的含碳质量分数为 0.4%~0.6%，灰口铸铁的含碳量为 4% 左右。这种成分上的差别势必带来组织上的不同，铸铁比铸钢多余出来的碳，在组织上以片状石墨的形式存在，它相当于没有强度且带有尖角的空洞分布在钢的基体中。所以，钢的强度和韧性远远大于铸铁。另外，这些片状石墨使得合金化及热处理这些改善材料性能的措施见效不大。所以，铸钢作为工程材料的使用性能及应用范围远比铸铁宽。

至于有色金属材料，它们的强度一般比铸钢低，除铜合金外，它们的主要优点在于密度较小，相同强度情况下，它们的比强度（即单位质量所承受的强度）要比铸钢大，也就是说它们所需要的质

量小，因此，有色合金更广泛地使用于汽车、航空和航天等领域。

但是，正如前面所述，铸钢由于对其合金化及热处理的使用，其性能的调整范围很宽，使其用途非常广泛。加以铸造工艺的灵活性，铸件形状可以非常复杂，这是锻、轧、焊接工艺所难以达到的。因此，铸钢件可以应用于很多领域，特别是那些承载载荷或动载荷很大的部件，如大型矿山机械、轧钢机架、发电设备中的水、汽轮机转子、坦克炮塔、重型拖拉机履带板、火车上的摇枕、火车车轮等都离不开铸钢件。

但是，铸钢也有它的不足之处，如普通铸钢件由于碳低，在空气及潮湿介质中就容易氧化、生锈，其耐蚀性不如铸铁，所以下水管道用铸铁而不用铸钢，另外，铸铁中的石墨有消震作用，像机床床身只能用铸铁而不能用铸钢。

铸钢件砂型铸造的工艺流程见图 1-1。当然，随着技术的发展，为提高铸件精度及内在质量，除砂型铸造方法外，精密铸造、消失模铸造、负压（V 法）造型、离心铸造等已在铸钢件生产中广泛采用。

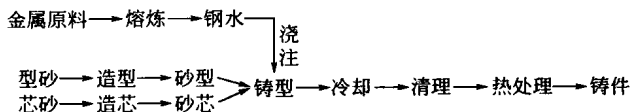


图 1-1 铸钢件砂型铸造工艺流程

本书重点阐述钢水熔炼，铸件热处理、铸造工艺特点及钢的化学成分对铸件宏观与微观组织和使用性能的影响，为提高铸件的内在质量提供理论与实践基础。

1.2 铸钢的分类及牌号表示法

1.2.1 铸钢的分类及化学成分

铸钢的分类见表 1-2。中、低合金钢主要是提高钢的力学性

能，减轻铸件重量，提高使用寿命。高合金钢由于加入的合金量较大，对钢的组织、性能均产生很大影响，且具有特殊的使用性能，故可以称为特殊铸钢。

表 1-2 铸钢的分类



注：表中 ω_C 表示碳含量； ω_R 表示合金元素总量；均为质量分数。

铸钢与锻、轧钢相比晶粒粗大，内部存在裂纹、气孔、缩孔等缺陷，使其性能不及后者。但是，铸钢件的形状可以多样化，性能是各向同性的。目前可以采用特殊手段进行处理（如热等静压），使铸钢的力学性能与锻、轧者相近。采用特殊手段（如定向凝固工艺）可以铸造出单晶体铸件，如单晶体耐热合金叶片，作为飞机发动机上的涡轮叶片，可以明显地提高疲劳强度。

1.2.2 铸钢的牌号表示法

根据国标 GB 5613—1995 的规定，铸造碳钢或合金钢其牌号的最前面为 ZG 两个字母，它们分别为汉字“铸”、“钢”拼音第一个字母的大写。“ZG”后面的表示方法，碳钢用强度指标表示，合金钢用合金元素及其含量表示如：

碳钢 ZG 230 450

			抗拉强度
			屈服强度
			铸钢代号

合金钢 ZG 50Cr1Mo

			钼(Mo) 质量分数小于 1%
			铬(Cr) 质量分数为 1%
			铬(Cr)
			碳的质量分数为 0.5%
			铸钢代号

1.3 金属材料的力学性能

1.3.1 力学性能的应力-应变图

当人们弯曲一根金属棒时，开始时不太大的力就可以使之产生变形，如果再次反复使之变形就很费力了。这说明外力使金属棒变形的同时，金属内部由于组织的变化就会产生抵抗变形的应力。因此，应力与应变存在着一定的对应关系。这种关系因金属材料种类不同而存在差异。图 1-2 是低碳钢的应力-应变图。图中的纵坐标为应力，用符号 σ 表示，它表示试样单位截面上的拉力；横坐标为应变，用符号 ϵ 表示，它表示单位长度上的伸长量。图中 Oe 段是条直线，当外力去除时试样长度会恢复到原来的位置，此即弹性变形阶段，纵坐标上的 σ_e 为弹性极限。材料的刚性好时其 σ_e 就高，如弹簧钢。从 e 点到 s 点可以看出已不是直线而是曲线了，如果外力除去，试样的长度已恢复不到原来的状态，产生了永久变形。达到 s 点之后，对试样不加外力就会自动产生变形，即出现图中的水平线段，因此，称 s 点时应力 σ_s 为屈服极限。有些材料（如铸铁）在图中看不到水平线段，其屈服强度被规定为产生 0.2% 塑性变形

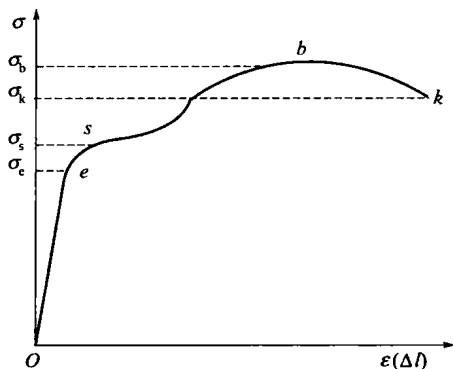


图 1-2 低碳钢的应力-应变图

时的应力，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。当外力继续增加时，水平段消失，应力、应变为曲线关系。此时材料内部产生一定的抗力使变形更加困难，直至达到 b 点时试样的断面开始变细，与之对应的应力为 σ_b ，此后，即使减小外力试样也能变形，达到 k 点时试样断裂， σ_b 为材料的最大抗拉强度，而 σ_k 为材料的断裂强度。

1.3.2 力学性能

(1) 强度 工程材料的强度性能是材料性能的重要指标，不考虑材料的强度，任何工程都是极其危险的。强度性能中最主要的是屈服强度和抗拉强度。测试强度等性能所用的试样如图 1-3 所示。图 1-2 应力-应变图就是用这种试样在拉力试验机上测试出来的。

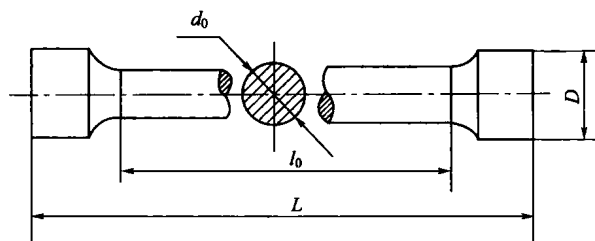


图 1-3 拉伸试样

屈服强度是材料抵抗开始产生微观塑性变形的能力，可用公式 (1-1) 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-1)$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时所承受的最大外力，N；

A_0 ——试样开始时的截面积， mm^2 ；

σ_s ——试样的屈服强度，MPa。

抗拉强度是材料抵抗破坏的最大能力，它是工程材料中最主要的依据指标，可用公式 (1-2) 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_0}{A_0} \quad (1-2)$$

式中 F_0 ——试样断裂前的最大外力, N;

A_0 ——试样原始的截面积, mm^2 ;

σ_b ——试样的抗拉强度, MPa。

(2) **塑性** 材料在外力作用下, 产生永久变形而未发生断裂, 称为塑性。当外力取消后, 材料产生的不可恢复的变形称为塑性变形。它可以用伸长率或断面收缩率来表示。伸长率表示为

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 δ ——试样的伸长率;

l_0 ——试样的原始长度, mm;

l ——试样拉伸断裂后的长度, mm。

断面收缩率表示为

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 ψ ——断面收缩率;

A_0 ——试样原来的截面积, mm^2 ;

A ——试样断裂后的截面积, mm^2 。

铸钢是一种既有塑性又有强度的材料, 有些材料如白口铸铁, 它虽然有很高的硬度, 但几乎没有任何塑性, 所以它的应用范围就受到了很大的限制。

(3) **冲击韧度** 材料在冲击载荷下工作必须具有一定的冲击韧度。如破碎机的颚板、冲床的冲头、蒸汽锤的锤杆等。测定冲击韧度的试样如图 1-4 所示。试样为长方形, 中间有一缺口槽。试验在摆锤式冲击试验机上进行, 用一次冲断试样单位截面上吸收功来表

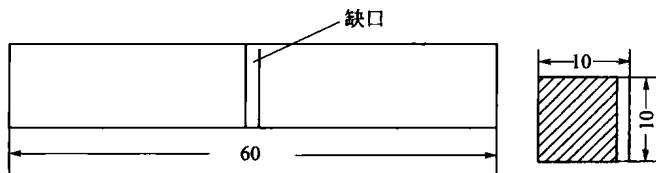


图 1-4 材料冲击试样