

21 世纪全国高校应用人才培养机械类规划教材

# 工程材料与热成型工艺

梁红英 梁红玉 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是根据对应用型人才教育的基本要求编写的教材,全书共分两部分。第一部分为工程材料,分为9章,主要介绍金属与合金的晶体结构、合金的结晶与二元相图、铁碳合金相图、钢的热处理及工程上应用的各种材料:金属材料如钢、铸铁、有色金属及其合金;高分子材料;陶瓷材料;复合材料及新型材料。第二部分为热成型工艺,介绍了常用工程材料的主要热成型工艺,包括铸造、塑性成型加工、焊接等。

本教材可作为各类普通本科院校及职业技术学院机械类和近机类专业的教材,也可供一般技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热成型工艺/梁红英,梁红玉编著. —北京:北京大学出版社,2005.7  
(21世纪全国高校应用人才培养机械类规划教材)  
ISBN 7-301-09130-3

I. 工… II. 梁… 梁… III. 工程材料 - 高等学校:技术学校 - 教材 热加工 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TB3 TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 069430 号

书 名:工程材料与热成型工艺  
著作责任者:梁红英 梁红玉 编著  
责任编辑:黄庆生 吕冬明  
标准书号:ISBN 7-301-09130-3/TH·0023  
出 版 者:北京大学出版社  
地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871  
电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013  
网 址:<http://cbs.pku.edu.cn>  
电 子 信 箱:xxjs@pup.pku.edu.cn  
印 刷 者:  
发 行 者:北京大学出版社  
经 销 者:新华书店  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 327 千字  
2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷  
定 价:24.00 元

# 前 言

《工程材料与热成型工艺》是机械类、近机类专业的一门重要的技术基础课。近年来随着社会和经济的不断发展，对各类型人才的培养提出了更高层次的要求，培养生产、建设、管理、服务第一线的高技术应用型专门人才是适应时代发展的重要举措。“应用型”人才的培养是现代职业教育最鲜明的特色。本书在编写过程中，充分把握实践和应用的特点，在保证基础知识和基本理论“必需”、“够用”的前提下，去掉了复杂难懂的公式和理论的推导、证明，应用简洁明了的语言给出基本的概念、理论和方法，同时应用了大量的图形、表格加以说明使读者一目了然。在同生产实际结合紧密的章节本书还给出了许多的实例。

本书按知识体系可分为四个部分：金属学、钢的热处理、工程材料、热成型工艺。金属学包括第1章的金属和合金的晶体结构和第2章的铁碳合金相图；第3章为钢的热处理；工程材料部分包括第4、5、6、7、8、9章，主要介绍了工程上常用的金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料及新型材料。把前面三个部分简称为“工程材料”。通过这部分内容的学习，希望读者能够运用金属学与热处理的基本知识，认识和了解金属材料的内在特点和规律，并能结合工程材料的内容了解常用材料的成分、性能特点、热处理工艺及其用途，做到正确的选材和合理的制定工艺。第四部分热成型工艺主要包括第10、11、12章，主要介绍常用材料的成型工艺方法，如铸造、塑性成型加工、焊接。通过这部分内容的教学，旨在使读者了解和掌握成型工艺方法的选择。

本书由梁红英，梁红玉担任主编，参加本书编写的有中北大学分校梁红英（第2、3、4、5、10、11章）、梁红玉（第6章）、娄菊红（第1章）、刘嘉（第7、8、9章）和太原高级技校任萱（第12章）。在本书编写过程中娄菊红老师在图形的处理方面作了大量的工作，同时王文平老师、太原理工大学杨永珍博士也提出了宝贵的意见和建议，在此谨向他们表示衷心的感谢！

本书作为一种教材，广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果，编写的主要参考书目附后，未及一一注明，在此谨表谢意，并请谅解。由于成书时间仓促，同时限于水平，本书存在着种种不足和缺点，恳切希望得到大家的批评指正。

编 者

2005年3月

# 目 录

第 1 章 金属与合金的晶体结构 .....	1
1.1 金属的晶体结构 .....	1
1.1.1 晶体与非晶体 .....	1
1.1.2 晶格、晶胞和晶格常数 .....	1
1.1.3 常见的金属晶体结构 .....	2
1.1.4 晶向指数和晶面指数 .....	5
1.1.5 晶体的各向异性 .....	6
1.2 合金的晶体结构 .....	7
1.2.1 基本概念 .....	7
1.2.2 合金的相结构 .....	7
1.3 实际金属中的晶体缺陷 .....	9
1.3.1 点缺陷 .....	9
1.3.2 线缺陷 .....	10
1.3.3 面缺陷 .....	11
1.4 思考题 .....	11
第 2 章 铁碳合金相图 .....	13
2.1 二元合金相图的建立与杠杆定律 .....	13
2.1.1 相图的建立 .....	13
2.1.2 基本相图 .....	14
2.1.3 杠杆定律 .....	15
2.2 铁碳合金 .....	15
2.2.1 铁碳合金的基本组元 .....	15
2.2.2 铁碳合金的基本相 .....	16
2.2.3 铁碳合金相图分析 .....	17
2.2.4 铁碳合金的分类 .....	19
2.2.5 典型合金的平衡结晶过程及组织 .....	19
2.2.6 铁碳合金的含碳量与组织和性能间的关系 .....	22

2.2.7 铁碳合金相图的应用 .....	23
2.3 思考题 .....	24
第3章 钢的热处理 .....	25
3.1 钢在加热时的转变 .....	26
3.1.1 奥氏体的形成过程 .....	26
3.1.2 影响奥氏体化的因素 .....	28
3.1.3 奥氏体的晶粒大小及控制 .....	28
3.2 钢在冷却时的转变 .....	30
3.2.1 冷却方式 .....	30
3.2.2 过冷奥氏体的等温转变 .....	30
3.2.3 过冷奥氏体连续冷却曲线 (CCT 图) .....	34
3.3 退火与正火 .....	36
3.3.1 退火 .....	36
3.3.2 正火 .....	37
3.4 淬火 .....	37
3.4.1 淬火加热温度的选择 .....	37
3.4.2 淬火冷却介质 .....	38
3.4.3 常用的淬火方法 .....	38
3.4.4 钢的淬透性 .....	39
3.5 回火 .....	42
3.5.1 回火的目的 .....	42
3.5.2 淬火钢的回火转变过程及性能变化 .....	42
3.5.3 回火脆性 .....	43
3.5.4 回火种类 .....	44
3.6 表面淬火 .....	44
3.6.1 感应加热表面淬火的基本原理 .....	44
3.6.2 感应加热表面淬火的分类 .....	45
3.6.3 感应加热表面淬火的特点 .....	45
3.6.4 感应加热表面淬火用钢 .....	45
3.7 化学热处理 .....	45
3.7.1 化学热处理的过程 .....	46
3.7.2 渗碳 .....	46
3.7.3 渗氮 .....	48
3.7.4 碳氮共渗 .....	48

---

3.8	热处理技术条件的标注 .....	49
3.9	思考题 .....	50
第4章	钢 .....	51
4.1	杂质元素对钢性能的影响 .....	51
4.1.1	锰的影响 .....	51
4.1.2	硅的影响 .....	51
4.1.3	硫的影响 .....	52
4.1.4	磷的影响 .....	52
4.2	碳钢 .....	52
4.2.1	碳钢的分类 .....	52
4.2.2	碳钢的牌号表示方法 .....	53
4.2.3	碳素结构钢 .....	53
4.2.4	优质碳素结构钢 .....	54
4.2.5	碳素工具钢 .....	55
4.3	合金钢 .....	56
4.3.1	合金元素在钢中的作用 .....	57
4.3.2	合金钢的分类 .....	60
4.3.3	合金钢牌号的表示方法 .....	61
4.3.4	合金结构钢 .....	61
4.3.5	合金工具钢 .....	70
4.3.6	特殊性能钢 .....	75
4.4	思考题 .....	78
第5章	铸铁 .....	80
5.1	铸铁的石墨化及其分类 .....	80
5.1.1	铸铁的石墨化 .....	80
5.1.2	铸铁的分类 .....	82
5.2	灰铸铁 .....	83
5.2.1	灰铸铁的成分、组织及性能 .....	83
5.2.2	灰铸铁的孕育处理及热处理 .....	84
5.2.3	灰铸铁的牌号及用途 .....	84
5.3	球墨铸铁 .....	85
5.3.1	球墨铸铁的成分、组织及性能 .....	86
5.3.2	球墨铸铁的热处理 .....	87

5.3.3	球墨铸铁的牌号及用途	88
5.4	可锻铸铁	89
5.4.1	可锻铸铁的成分、组织及性能	89
5.4.2	可锻铸铁的牌号及用途	90
5.5	合金铸铁	90
5.5.1	耐磨铸铁	90
5.5.2	耐热铸铁	91
5.5.3	耐蚀铸铁	91
5.6	思考题	92
第6章	有色金属及其合金	93
6.1	铝及其合金	93
6.1.1	工业纯铝	93
6.1.2	铝合金的分类	93
6.1.3	变形铝合金	94
6.1.4	铸造铝合金	96
6.2	铜及其合金	97
6.2.1	工业纯铜	97
6.2.2	铜合金的分类及牌号的表示方法	97
6.2.3	黄铜	98
6.2.4	青铜	99
6.3	钛及其合金	101
6.3.1	纯钛	101
6.3.2	钛合金	102
6.4	镁及其合金	103
6.4.1	纯镁	103
6.4.2	镁合金	103
6.5	滑动轴承合金	104
6.5.1	轴承合金	105
6.6	思考题	106
第7章	高分子材料	107
7.1	高分子材料概述	107
7.1.1	高分子化合物	107
7.1.2	高分子材料的性能特点	109

7.2	工程塑料	110
7.2.1	塑料的组成	110
7.2.2	塑料的分类	111
7.2.3	常用的工程塑料及应用	111
7.3	橡胶材料	114
7.3.1	橡胶的分类和橡胶制品的组成	115
7.3.2	常用合成橡胶	115
7.4	思考题	117
第 8 章	工程陶瓷材料	118
8.1	陶瓷材料概述	118
8.1.1	陶瓷的概念	118
8.1.2	陶瓷的分类	118
8.1.3	陶瓷的组织结构	119
8.1.4	陶瓷的性能	120
8.1.5	陶瓷的粉体	120
8.1.6	陶瓷的制备	121
8.2	常用工程陶瓷	122
8.2.1	氧化铝陶瓷 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	122
8.2.2	氧化锆陶瓷 ( $\text{ZrO}_2$ )	123
8.2.3	氮化硅陶瓷 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )	124
8.2.4	碳化硅陶瓷 ( $\text{SiC}$ )	124
第 9 章	复合材料及新型材料	126
9.1	复合材料	126
9.1.1	概述	126
9.1.2	复合材料的组成及分类	127
9.1.3	复合材料性能的影响因素	128
9.1.4	常用复合材料及应用	129
9.2	新型材料	133
9.2.1	纳米材料	133
9.2.2	超导材料	134
9.2.3	生物材料	135
9.3	思考题	136

---

第 10 章 铸造 .....	137
10.1 概述 .....	137
10.1.1 铸造的概念 .....	137
10.1.2 砂型铸造的生产过程 .....	137
10.1.3 铸件的组成 .....	137
10.2 砂型的制造 .....	139
10.2.1 砂型的性能要求和组成 .....	139
10.2.2 造型方法 .....	140
10.2.3 造芯 .....	150
10.3 金属的浇注工作 .....	152
10.3.1 浇注工作 .....	152
10.3.2 铸件的落砂和清理 .....	153
10.4 铸件工艺图的绘制 .....	154
10.4.1 分析零件结构工艺的合理性 .....	154
10.4.2 浇注位置的选择原则 .....	155
10.4.3 分型面的确定 .....	156
10.4.4 浇注系统的确定 .....	158
10.4.5 铸造工艺参数的确定 .....	159
10.5 特种铸造 .....	162
10.5.1 熔模铸造 .....	162
10.5.2 金属型铸造 .....	163
10.5.3 压力铸造 .....	164
10.5.4 离心铸造 .....	166
10.6 思考题 .....	167
第 11 章 金属的塑性成形加工 .....	169
11.1 金属的塑性成形 .....	169
11.1.1 金属塑性变形的实质 .....	169
11.1.2 塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	170
11.1.3 金属的可锻性 .....	172
11.2 金属轧制、挤压、拉拔成形加工 .....	173
11.2.1 轧制 .....	173
11.2.2 挤压 .....	175
11.2.3 拉拔 .....	177
11.3 自由锻 .....	177

---

11.3.1	自由锻的基本工序 .....	177
11.3.2	自由锻工艺规程的制定 .....	180
11.4	模锻 .....	182
11.4.1	锤上模锻设备 .....	182
11.4.2	锻模 .....	182
11.4.3	模锻工艺规程的制定 .....	184
11.5	板料冲压 .....	186
11.5.1	板料冲压的基本工序 .....	187
11.5.2	板料冲压模具 .....	188
11.5.3	典型零件冲压工艺举例: .....	189
11.6	塑性成形加工新技术 .....	190
11.6.1	超塑性成形 .....	190
11.6.2	高速高能成形 .....	191
11.7	思考题 .....	192
第 12 章	焊接 .....	193
12.1	焊接的特点及分类 .....	193
12.1.1	概述 .....	193
12.1.2	焊接方法分类 .....	193
12.1.3	焊接的特点及应用 .....	193
12.2	手工电弧焊 .....	194
12.2.1	手弧焊焊接过程 .....	195
12.2.2	焊接电弧 .....	195
12.2.3	熔化焊冶金过程及其特点 .....	196
12.2.4	焊条 .....	196
12.2.5	熔焊焊接接头组织及性能 .....	198
12.3	其他熔焊方法简介 .....	199
12.3.1	埋弧自动焊 .....	199
12.3.2	气体保护焊 .....	202
12.3.3	电渣焊 .....	204
12.3.4	气焊与气割 .....	205
12.3.5	等离子弧焊与切割 .....	207
12.4	压焊、钎焊、堆焊及喷涂 .....	208
12.4.1	压焊 .....	208
12.4.2	钎焊 .....	211

---

12.4.3	堆焊 .....	211
12.4.4	喷涂 .....	212
12.5	常用金属材料的焊接 .....	212
12.5.1	金属材料的焊接性 .....	212
12.5.2	碳钢的焊接 .....	213
12.5.3	低合金钢的焊接 .....	214
12.5.4	有色金属的焊接 .....	217
12.5.5	不锈钢的焊接 .....	217
12.5.6	铸铁的焊补 .....	218
12.6	先进焊接方法简介 .....	219
12.6.1	电子束焊 .....	219
12.6.2	超声波焊 .....	221
12.6.3	激光焊 .....	222
12.6.4	扩散焊 .....	223
12.6.5	爆炸焊 .....	223
12.6.6	焊接机器人 .....	224
12.7	思考题 .....	224
	参考文献 .....	226

# 第5章 铸 铁

铸铁是指  $W_c > 2.11\%$  的铁碳合金。工业用铸铁的化学成分一般为：C 2.5% ~ 4.0%，Si 1.0% ~ 3.0%，Mn 0.5% ~ 1.4%，P 0.01% ~ 0.5%，S 0.02% ~ 0.2%。因铸铁的铸造性能优良，通常采用铸造方法制成铸件使用，故称之为铸铁。

早在公元前6世纪春秋时期，我国已开始使用铸铁，到目前为止，铸铁仍是重要的工程材料之一。铸铁的生产工艺简单，成本低廉，具有优良的铸造工艺性、切削加工性、耐磨性、减振性、低的缺口敏感性，因此被广泛应用于机械制造、冶金、矿山、石油化工、交通运输等部门。现在，通过热处理和合金化等手段，还能生产出具有特殊性能的铸铁，如高强度、耐热、耐磨、耐蚀、无磁性的各类铸铁。

## 5.1 铸铁的石墨化及其分类

### 5.1.1 铸铁的石墨化

在铸铁中，碳主要以两种形式存在：渗碳体 ( $Fe_3C$ ) 和石墨 (G)。

石墨的晶体结构为简单六方晶格，如图 5-1 所示，原子呈层状排列，同一层的原子之间以共价键结合，原子间距较小只有  $1.42 \text{ \AA}$ ，结合力很强；层与层之间的原子靠较弱的金属键结合，面间距为  $3.40 \text{ \AA}$ ，结合力弱易滑动，故石墨的强度、硬度、塑性较低。

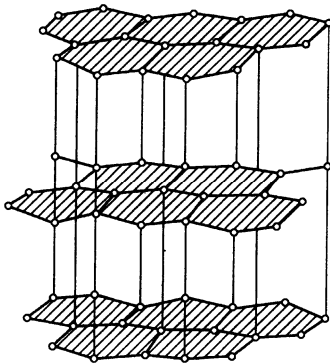


图 5-1 石墨的晶体结构

渗碳体具有复杂的晶体结构。当渗碳体加热到高温时，可分解为铁素体和石墨。这表明石墨是稳定相，而渗碳体是亚稳定相。因此描述铁碳合金结晶过程的相图应有两个，即 Fe -  $Fe_3C$  相图（描述亚稳定相  $Fe_3C$  的析出规律），Fe - G 相图（描述稳定相石墨的析出规律）。为了便于使用和比较，通常把两个相图画在一起称为铁碳合金双重相图，如图 5-2 所示。图中实线表示 Fe -  $Fe_3C$  相图，虚线表示 Fe - G 相图，凡虚线与实线重合的线条都用实线表示。

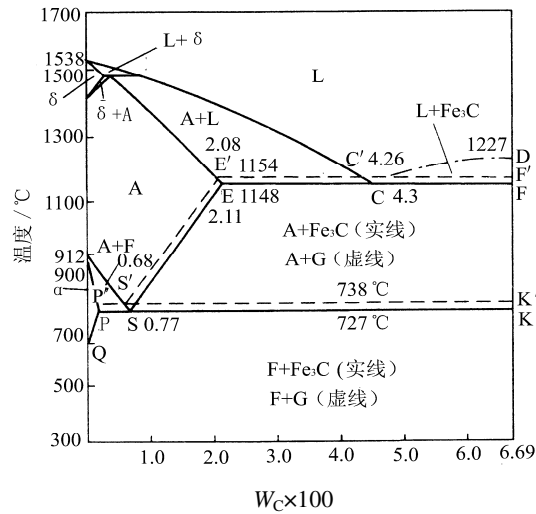


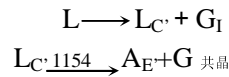
图 5-2 铁碳合金双重相图

1. 石墨化过程

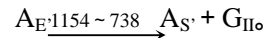
铸铁中碳原子析出并形成石墨的过程称为石墨化过程。铸铁的石墨化有两种方式，一是按照 Fe - G 相图，由液态和固态中直接析出石墨；二是按照 Fe<sub>3</sub>C 相图结晶出渗碳体，渗碳体在一定条件下分解出石墨 Fe<sub>3</sub>C? 3Fe+G。

现以过共晶合金的铁液为例，当它以极缓慢的速度冷却，并全部按 Fe-G 相图进行结晶时，则铸铁的石墨化过程可分为三个阶段：

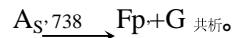
(1) 石墨化：过共晶液相结晶出一次石墨 G<sub>I</sub> 和在 1154 通过共晶反应形成共晶石墨 G 共晶，反应式为：



(2) 石墨化：在 1154 ~ 738 温度范围内，过饱和奥氏体沿 E'S'线析出二次石墨 G<sub>II</sub>，反应式为：



(3) 石墨化：在 738 通过共析反应，奥氏体转变为铁素体和共析石墨 G<sub>共析</sub>，反应式为：



石墨化过程是原子扩散过程，高温下原子的扩散能力强，所以第一和第二阶段的石墨

化过程较易进行，而第三阶段石墨化过程因温度较低，扩散条件差，有可能部分或全部被抑制，因此，铸铁结晶后可得到三种不同的组织， $F+G$ ； $F+P+G$ ； $P+G$ 。

## 2. 影响石墨化因素

### (1) 化学成分的影响

铸铁中碳和硅是强烈促进石墨化的元素，它们的含量越高，石墨化过程就越充分。这是因为随着含碳量的增加，液态铸铁中石墨晶核数增加，促进石墨化；硅与铁原子的结合力较强，硅溶于铁素体中，不仅会削弱铁碳原子间的结合力，而且会使共晶点的含碳量降低，共晶温度提高，这都有利于石墨的析出。

另外，铸铁中的 Al、Cu、Ni、Co 等合金也会促使石墨化，但 Cr、W、Mo、V、Mn 等碳化物形成元素则会阻止石墨化，杂质元素 S 也是阻碍石墨化的元素。

### (2) 冷却速度的影响

冷却速度对石墨化过程也有很大影响，一般冷却速度越慢，越有利于原子的扩散，对石墨化过程越有利，反之，冷却速度较快时，不利于石墨化过程的进行。

冷却速度主要取决于浇注温度、铸件壁厚和铸型材料。浇注温度愈高，铁水凝固前铸型吸收的热量就愈多，铸件冷却就愈慢；铸件壁越厚，冷却速度也越慢；铸型材料不同，则其导热性也不相同，铸件在金属型中的冷却比在砂型中快，在湿砂型中的冷却比在干砂型中快。

## 5.1.2 铸铁的分类

根据碳在铸铁中的存在形式，铸铁可分为三类：

(1) 白口铸铁，它是第一、二、三阶段的石墨化全部被抑制、铸铁中的碳几乎全部以  $Fe_3C$  形式存在，因其断口呈银白色，故称白口铸铁。这类铸铁性能硬而脆，难以切削加工，所以很少直接用来制造各种零件。

(2) 灰口铸铁，它是第一、二阶段石墨化过程充分进行而得到的铸铁，碳主要以石墨形式存在，其断口呈暗灰色，故称灰口铸铁。

(3) 麻口铸铁，它是第一阶段石墨化充分进行而得到的铸铁。其中一部分碳以渗碳体形式存在，另一部分以石墨形式存在，其断口呈黑白相间的麻口，故称麻口铸铁，这类铸铁也具有较大的硬脆性，故在工业上很少使用。

由于灰口铸铁中的碳主要以石墨形式存在，使它具有良好的切削加工性，减摩性，减振性及铸造性能等，而且熔炼的工艺与设备简单、成本低廉，故目前工业生产中主要应用这类铸铁。根据灰口铸铁中石墨形态不同，它又分为以下四种：

(1) 灰铸铁，石墨呈片状分布。这类铸铁的力学性能不高，但生产工艺简单，价格低廉，故工业上应用最广。

(2) 球墨铸铁，石墨呈球状分布。它力学性能比灰铸铁高，还可通过热处理进一步提

高其力学性能，所以在生产中的应用较广泛。

(3) 可锻铸铁，石墨呈团絮状分布，其力学性能（特别是塑韧性）高于灰铸铁，但生产工艺复杂，故只用来制造一些重要的小型铸件。

(4) 蠕墨铸铁，石墨呈蠕虫状分布。其性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间，但它的铸造性，耐热疲劳性比球墨铸铁好，因此可用来制造大型复杂的铸件以及在较大温度梯度下工作的铸件。

## 5.2 灰 铸 铁

### 5.2.1 灰铸铁的成分、组织及性能

灰铸铁的成分范围为： $W_C=2.7\% \sim 3.6\%$ ， $W_{Si}=1.0\% \sim 2.5\%$ ， $W_{Mn}=0.5\% \sim 1.3\%$ ， $W_P=0.3\%$ ， $W_S=0.15\%$ 。

灰铸铁的组织是片状石墨分布在金属基体上构成的。按金属基体组织第三阶段石墨化进行的程度不同灰铸铁可分为三种类型：铁素体灰铸铁、铁素体+珠光体灰铸铁、珠光体灰铸铁，其显微组织见图 5-3。

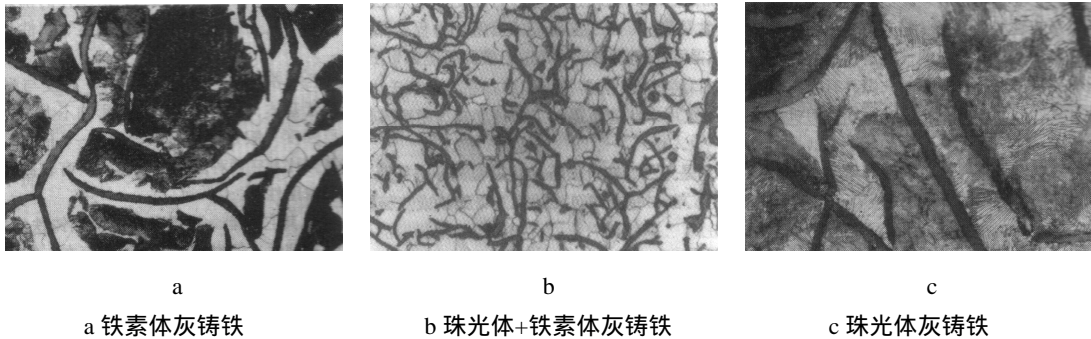


图 5-3 灰铸铁的显微组织

灰铸铁的组织是金属基体上分布有片状石墨，而片状石墨的强度、塑韧性几乎为零，它的存在不仅破坏了基体的连续性，而且减少了基体承载外力的有效面积，而且石墨片的尖端处易导致应力集中，使材料发生脆性断裂，所以灰铸铁的抗拉强度，塑韧性都很差。抗压强度、硬度和耐磨性主要取决于基体组织，石墨的存在对其影响不大，灰铸铁的抗压强度是其抗拉强度的 3~4 倍，故灰铸铁更适用于耐压零件，如机床床身等。石墨虽然会降

低铸铁的抗拉强度、塑韧性，但也正由于石墨的存在，使铸铁具有一系列其他优良性能。

(1) 良好的铸造性能。灰铸铁的含碳量接近共晶成分，熔点低，流动性好，结晶后分散缩孔少，偏折小，可以用来制造形状复杂的零件。

(2) 优良的耐磨性和减振性。石墨本身是良好的固体润滑剂，脱落后留下的孔隙具有吸附和储存润滑油的能力，使铸件具有良好的耐磨性，如机床导轨、汽缸体等这些承受摩擦的零件可选用灰铸铁来制造。

(3) 较低的缺口敏感性。钢常因表面缺口（如油孔、键槽等）造成应力集中，使力学性能降低，故钢的缺口敏感性大，而灰铸铁中石墨本身就相当于很多小的缺口，致使外加缺口的作用相对减弱，所以灰铸铁具有低的缺口敏感性。

(4) 具有良好的切削加工性。

石墨具有一定润滑作用，可使刀具磨损减小，且石墨的存在在割裂基体连续性，在铸铁的切削过程中起断屑作用。

### 5.2.2 灰铸铁的孕育处理及热处理

灰铸铁的组织中石墨片比较粗大，因而它的力学性能较低，为了改善灰铸铁的组织 and 力学性能，生产中常采用孕育处理，孕育处理就是在浇注前往铁水中加入少量的孕育剂（如硅铁、硅钙合金等）改变铁水结晶条件，从而获得细珠光体基体上分布细小均匀的片状石墨的组织，经孕育处理后的铸铁称为孕育铸铁。孕育铸铁的强度高于普通灰铸铁，且塑韧性也有改善，同时由于铁液中均匀分布着大量外来的结晶核心，结晶几乎是在整个铁液中同时进行，使铸铁各个部位截面上的组织和性能都均匀一致，因此孕育铸铁的断面敏感性小。孕育铸铁常用来制造力学性能要求高，截面尺寸变化较大的大型铸件，如重型机床的床身、液压件、齿轮等。

灰铸铁的热处理只能改变其基体组织，不能改变石墨的形态和分布，因此，热处理对提高灰铸铁力学性能效果不大，其主要用来消除铸件内应力和稳定尺寸，消除白口组织和提高铸铁的表面硬度和耐磨性。

### 5.2.3 灰铸铁的牌号及用途

灰铸铁的牌号由：“HT + 数字”组成。其中“HT”是“灰铁”两字汉语拼音的第一个字母。数字表示直径 30 mm 单件铸铁棒的最低抗拉强度值。灰铸铁主要用来制造各种机器的底座、机架、工作台、机身、齿轮和箱体、阀体及内燃机气缸体气缸盖等。表 5-1 为灰铸铁的牌号、力学性能，组织和用途。

表 5-1 灰铸铁的牌号、组织、力学性能及用途 (GB9439 - 88)

牌号	类别	铸件壁厚/mm	铸件最小抗拉强度 $s_b$ /MPa	用途
HT100	铁素体 灰铸铁	2.5 ~ 10	130	低载荷零件、如手轮、轴承盖、 支架等
		10 ~ 20	100	
		20 ~ 30	90	
		30 ~ 50	80	
HT150	珠光体 + 铁素 体灰铸铁	2.5 ~ 10	175	承受中等载荷的零件如机座变速箱 体、皮带轮、轴承座、刀架、工作 台等
		10 ~ 20	145	
		20 ~ 30	130	
		30 ~ 50	120	
HT200	珠光体 灰铸铁	2.5 ~ 10	220	承受较大载荷的重要零件如 汽缸体、齿轮、飞轮、床身、 缸套、活塞、刹车轮、联轴 器、齿轮箱、轴承座、液压 缸等
		10 ~ 20	195	
		20 ~ 30	170	
		30 ~ 50	160	
HT250		4.0 ~ 10	270	
		10 ~ 20	240	
		20 ~ 30	220	
		30 ~ 50	200	
HT300	孕育铸铁	10 ~ 20	290	承受高载荷、耐磨和高气密性的重 要零件,如齿轮、凸轮、车床卡盘、 剪床和压力机的机身,高压液压缸、 滑阀壳体 等
		20 ~ 30	250	
		30 ~ 50	230	
HT350		10 ~ 20	340	
		20 ~ 30	290	
		30 ~ 50	260	

### 5.3 球墨铸铁

球墨铸铁是在浇注前往铁水中加入一定量的球化剂(纯镁或稀土镁合金)和孕育剂(硅铁或硅钙合金),获得具有球状石墨的铸铁。由于球墨铸铁中的石墨呈球状,其对基体的割裂作用和应力集中很小,而且还可以通过热处理和合金化来改变其成分和组织,因此具有很高的强度,又有良好的塑性和韧性,是铸铁中力学性能最好的材料,同时因其铸造性能好,成本低廉,生产方便,所以在工业中得到了广泛的应用。