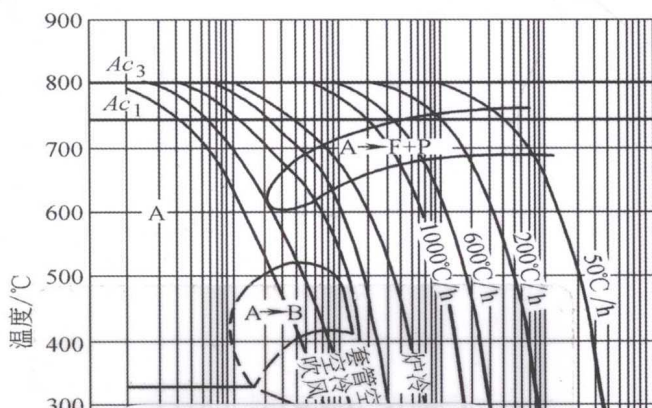




从校园到职场

热处理工艺与实践

樊新民 黄洁雯 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



从校园到职场

热处理工艺与实践

樊新民 黄洁雯 编著



机械工业出版社

寄语刚参加工作的大学毕业生

当你大学毕业后，无论是在工厂、企业、公司、事业单位从事何种工作，都将发生角色转变，将从一名学生变成一名工程师、设计师、规划师、经济师，等等。可大多数大学生刚毕业时，还不能马上树立比较正确的人生目标，缺少生活经验、工作技能。为了帮助各位学子能尽快转变角色，少走弯路，尽快成为企事业骨干、社会栋梁，机械工业出版社组织编写出版了“从校园到职场”系列丛书，以“学校送一程、企业接一程”的理念，架起从校园到职场的桥梁。

1. 从学生到工程师的心理转变

学生，从小学到大学毕业，经过了16年的历程，已经有了一定的生活经历、生活观念与价值标准。学生成功与否的标准就是看考试成绩，生活的主体就是读书，人和人都是平等的，信念是理想的。但是，参加工作后，理想会有很多与现实不太吻合的东西。首先，判断一个人的成功，不再仅是考试成绩了，不是光靠用功读书就能成功的。工作后，是否完整地干好领导交给你的工作：修理一台机器、设计一个产品、组织一个活动、写一个工作方案等等，你的工作结果是否符合实际要求，是否令同事与领导满意，就是一个判断标准了。

工作成功的标准，就是要把交给你的工作先是干完，然后是干好，之后是干精，最后是干出特色与创新。这样，才能逐渐适应工作、熟悉环境、赢得同事与领导的信任，承认你的工作能力，从而把更为复杂、重要的任务交给你，从而得到更多的锻炼，得到重用与提升。所以，进入社会后，首先要降低身份，以平等的地位同一切人交往，向周围的同事、工作人员、领导学习。要做到四勤：手勤、腿勤，嘴勤、脑勤。要做一个为人随和的人、积极向上的人、工作踏实的人。这样你就可以更快、更好地赢得尊重，获得成功。

2. 从学生到工程师的能力转变

一个大学毕业生到了工作岗位，首先要学习基本的技能、知识，熟悉环境、熟悉单位的工作流程，逐渐掌握基本技能。当你能够处理一个环节、一个工序或工艺中的问题，维护生产的正常运行时，你就成为一名初级工程技术人员了；当你能独立主持一件小产品的开发或大型产品里一个部件的开发工作，能把产品设计并制造出来，达到合格的技术要求后，你就是一名工程师了；当你要考虑如何把产品做好、如何把产品做精、如何把产品做出创新时，你就逐渐成为工程师中的高手了；当你可以主持一个大型产品的研发时，你就具有高级工程师的水平了；再继续往上，当你具有把握企业技术发展方向、具有组织大型产品的研发能力时，就是总工

IV

工程师的水平了。当然，还需要有足够的经历、资历与机会。一名大学生的技术水平就是这样逐渐提高的。

3. 从学生到工程师的专业知识积累

关于专业的问题，一个大学毕业生，是有一个专业特长的，如机械类、电气类、计算机、管理类等等。在企业，首先要延伸学习你自己的专业知识，在学校所学仅仅是其皮毛而已，其次要注意学习其他专业的知识。因为，到工作岗位后，领导交给你的任务可能是多个专业交叉的问题，不一定是你很熟悉的内容，企业也更需要能为企业提供全面解决方案的综合型人才。此时就要自己学习了，找到有关的书籍，先学习基础理论，再通过网络学习、杂志学习、参观学习较新的知识，了解有关的知识与技能，你就可以获得更宽广的专业知识。此时要有信心，因为学过一个专业后，再学另一个专业，是比较容易的。再者，大学只有四年，工作可能要有四十年，补充新知识是必然的，学习新知识是工作后经常的事。

4. 从学生到工程师的成长建议

判断与取舍：如果做一件事情是自己不擅长的，肯定做不好。只有放弃不适合的，才能在自己更适合的领域内投入做自己更擅长的事业。无法判断该放弃什么的人，也无法判断该干什么。让鸭子学短跑，让兔子学游泳，即使练一辈子，也难以有好结果的。一个技术问题也一样，如果不具有可行性，那就要放弃。对任何一件事，要估计其最好和最坏的程度，如果最坏也能承受，就可以去干。

主动与闯劲：性格决定命运，主动的人比被动的人会有更多机会。要有主动精神与百折不挠的劲头、有闯出新天地的勇气，才有成功的可能。被动、胆小是成功的大敌。

水平与脾气：真正的高手是很谦虚的，因为他知道还有更多的未知。不必要的脾气在与别人沟通时会设置障碍，失去获得知识、提高自己的机会。

继承与创新：科技中继承是大多数，创新是一点点，所以先要学会继承并掌握，才能在其基础上提出改进、有所创新。创造条件是创新的基础，只有达到某种条件后，可能才会出现，第一个发现机会并克服困难而成功实践的人，才是真正的高手。

坚持与规划：做事要坐得住，凡是心中长草到处乱跑的人，难以干好一件事情。做人要有规划，做事要有计划。要有近期规划和长远规划，否则极其容易随波逐流，人生的志向和成功也就丧失在繁琐的日常生活中了。

最后，希望各位学子能尽快适应新的工作岗位，事业顺利，找到自己的发展空间。做人低调，做事认真，忍得住寂寞，受得了批评。还要记住：对于不断追求进步的人，学习是终生的任务和义务。在充满未知与新奇、充满平淡与辉煌、充满快乐与痛苦、充满成功与失败的人生道路上永远向前！向前！当我们年迈时，回首曾经的岁月，不一定有多大的成功，但我们可以说“我认真努力过了，我不后悔。”就足够了。

机械工业出版社《从校园到职场》丛书编委会

前 言

金属热处理是机械制造业中的关键工序之一，对发挥金属材料潜力、提高零件的性能、降低能耗、保证和提高机械产品使用寿命有着重要意义。随着我国经济建设的快速发展，材料热处理行业的技术不断进步，新工艺、新技术、新材料层出不穷，为机械产品热处理质量的提高奠定了坚实的基础，同时也对从事热处理工作人员的素质和技术水平提出了更高的要求。

由于高校培养计划的调整，在相关的专业教学计划中，与金属热处理相关的专业课教学的总学时有限，对进入企业从事热处理技术工作的毕业生，需要加强热处理工艺与实践知识的学习，以便尽快适应岗位要求。为此，我们编写了这本《热处理工艺与实践》，作为相关专业大学毕业生从事热处理工作的继续教育培训和自学参考书，以帮助从事热处理技术工作的毕业生尽快进入角色，尽快成长为一名合格的热处理工程师。

本书注重热处理工艺与实践的结合，内容包括钢的热处理原理，热处理基本工艺，结构钢、工具钢、铸铁、有色金属材料的热处理工艺方法和工艺参数，以及少氧化热处理、表面热处理和化学热处理技术。

本书第1、2、3、4、6章由樊新民编写，第5、7、8、9章由黄洁雯编写。全书由樊新民统稿、定稿。在本书编写过程中，参考了相关教材、手册、著作和论文等文献，书中部分工艺实例由常州河海热处理工程有限公司殷和平先生提供，在此对各种文献作者与殷和平先生表示衷心感谢。

作 者

目 录

寄语刚参加工作的大学毕业生

前言

第 1 章 钢的热处理原理	1
1.1 铁碳合金相图及钢铁材料	1
1.1.1 铁碳合金相图	1
1.1.2 钢铁材料在各种状态下的组织	3
1.1.3 钢铁材料的分类及牌号	6
1.1.4 合金元素在钢中的作用	12
1.2 钢在加热时的组织转变	15
1.2.1 奥氏体的形成	15
1.2.2 非平衡组织加热时奥氏体的形成	17
1.2.3 奥氏体的晶粒度	18
1.3 钢在冷却时的组织转变	20
1.3.1 过冷奥氏体等温转变	20
1.3.2 过冷奥氏体连续冷却转变	23
1.3.3 过冷奥氏体转变类型	24
1.3.4 转变图的应用	29
1.4 回火转变	30
1.4.1 淬火钢回火时的组织转变	30
1.4.2 回火转变产物的组织和性能	31
1.4.3 回火脆性	32
1.4.4 合金元素对回火转变的影响	32
第 2 章 热处理基本工艺	35
2.1 钢的加热	35
2.1.1 加热方法	35
2.1.2 氧化与脱碳	36
2.1.3 过热和过烧	38
2.2 退火	38
2.2.1 退火工艺类型	38
2.2.2 退火工艺参数	40
2.2.3 常用退火工艺	41
2.3 正火	45
2.3.1 正火的类型	45

2.3.2 正火工艺参数	46
2.4 退火与正火的选择	47
2.4.1 组织与性能	47
2.4.2 工艺选择	48
2.5 淬火	49
2.5.1 淬火工艺参数	49
2.5.2 淬火冷却方法	51
2.5.3 淬硬性 with 淬透性	55
2.6 回火	60
2.6.1 回火目的及分类	60
2.6.2 回火工艺参数	61
2.7 冷处理	63
2.7.1 冷处理目的及工艺要点	63
2.7.2 深冷处理	64
2.8 淬火冷却介质	65
2.8.1 淬火冷却介质应具备的特性及类型	65
2.8.2 水及无机物水溶液	66
2.8.3 有机物水溶液	68
2.8.4 淬火油	70
2.8.5 等温淬火与分级淬火冷却介质	73
第3章 结构钢的热处理	76
3.1 调质钢的热处理	76
3.1.1 常用调质钢	76
3.1.2 调质钢的预备热处理	79
3.1.3 调质钢淬火及回火工艺	81
3.1.4 调质钢热处理实例	86
3.2 弹簧钢的热处理	89
3.2.1 常用弹簧钢	89
3.2.2 弹簧钢的预备热处理	90
3.2.3 弹簧钢热处理工艺参数	90
3.2.4 弹簧钢热处理实例	94
3.3 轴承钢的热处理	95
3.3.1 常用轴承钢	95
3.3.2 轴承钢的预备热处理	97
3.3.3 轴承钢的最终热处理	98
3.3.4 渗碳轴承钢的热处理	104
第4章 工模具钢的热处理	106
4.1 工具钢的热处理	106

4.1.1 工具用钢	106
4.1.2 碳素工具钢和合金工具钢的预备热处理	106
4.1.3 碳素工具钢和合金工具钢的最终热处理	109
4.1.4 常用工具的热处理工艺	112
4.2 高速工具钢的热处理	114
4.2.1 高速工具钢的牌号	114
4.2.2 高速工具钢的预备热处理	115
4.2.3 高速工具钢的淬火与回火	117
4.2.4 高速工具钢刀具热处理实例	123
4.2.5 高性能高速工具钢刀具的热处理	124
4.2.6 低合金高速工具钢的热处理	128
4.3 冷作模具的热处理	130
4.3.1 冷作模具的预备热处理	130
4.3.2 冷作模具的最终热处理	132
4.3.3 冷作模具热处理实例	134
4.4 热作模具的热处理	137
4.4.1 锻锤模的热处理	137
4.4.2 热挤压模的热处理	139
4.4.3 金属压铸模的热处理	142
4.5 塑料模具的热处理	143
第5章 铸铁的热处理	148
5.1 铸铁的类型及热处理基础	148
5.1.1 铸铁的类型	148
5.1.2 铸铁热处理基础	148
5.2 灰铸铁的热处理	150
5.2.1 灰铸铁的退火	150
5.2.2 灰铸铁的正火	152
5.2.3 灰铸铁的淬火与回火	153
5.3 球墨铸铁的热处理	154
5.3.1 球墨铸铁的退火	154
5.3.2 球墨铸铁的正火	155
5.3.3 球墨铸铁的淬火与回火	156
5.3.4 球墨铸铁热处理实例	157
第6章 少无氧化热处理	161
6.1 可控气氛热处理	161
6.1.1 可控气氛中实现无氧化加热的原理	161
6.1.2 可控气氛的类型	162
6.1.3 炉气的碳势	166

6.2 真空热处理	167
6.2.1 真空热处理的特点	167
6.2.2 真空热处理的工艺参数	167
6.2.3 真空热处理实例	170
第7章 表面热处理	175
7.1 感应热处理	175
7.1.1 概述	175
7.1.2 感应热处理工艺参数	180
7.1.3 感应热处理实例	186
7.2 激光热处理	187
7.2.1 激光热处理的类型及特点	187
7.2.2 激光相变硬化(激光淬火)	189
7.2.3 激光表面涂覆	192
第8章 化学热处理	194
8.1 化学热处理原理	194
8.1.1 化学热处理的类型及特点	194
8.1.2 化学热处理的基本过程	196
8.2 渗碳	197
8.2.1 渗碳的目的及类型	197
8.2.2 常用渗碳钢的热处理	197
8.2.3 气体渗碳	202
8.2.4 渗碳热处理实例	206
8.3 渗氮	208
8.3.1 渗氮原理	208
8.3.2 渗氮钢的预备热处理	210
8.3.3 气体渗氮	212
8.3.4 离子渗氮	214
8.3.5 渗氮热处理实例	217
第9章 有色金属材料的热处理	220
9.1 有色金属材料热处理的类型	220
9.1.1 有色金属材料的类型	220
9.1.2 退火	220
9.1.3 固溶与时效	221
9.2 铝合金的热处理	224
9.2.1 铝合金的类型及牌号	224
9.2.2 变形铝合金的热处理	229
9.2.3 铸造铝合金的热处理	238
9.3 铜合金的热处理	241

X

9.3.1 铜合金的分类	241
9.3.2 纯铜的热处理	242
9.3.3 黄铜的热处理	242
9.3.4 青铜的热处理	244
9.3.5 白铜的热处理	247
9.4 钛合金的热处理	248
9.4.1 钛合金的类型	248
9.4.2 钛合金的退火	250
9.4.3 钛合金的固溶与时效	255
附录	257
附录 A 常用钢的回火经验方程	257
附录 B 常用钢的临界温度	260
参考文献	266

第 1 章 钢的热处理原理

1.1 铁碳合金相图及钢铁材料

1.1.1 铁碳合金相图

钢铁材料也称为铁碳合金，其主要组元是铁和碳两个元素。普通碳钢和铸铁均属铁碳合金，合金钢和合金铸铁是有意加入其他合金元素的铁碳合金。改善铁碳合金的性能主要有两个途径：①调整化学成分，也称为合金化方法；②进行热处理或结合以变形的办法，也称为改善组织方法。通常，将两种方法有机地结合起来，以达到最终目的。

铁碳合金相图表示的是一定成分的铁碳合金在某一温度下，当所有的变化（如相变、反应、扩散等）都充分完成（即达到平衡状态）以后，会出现什么样的组织结构。铁碳合金相图非常简明地表述了铁碳合金在平衡状态下，铁碳合金的成分—温度—组织三者之间的关系，故而成为分析钢和铸铁性能与讨论热处理工艺问题的最基本的出发点，它是钢铁材料及其热处理的重要基础知识。

铁碳合金相图在实用上并不讨论合金成分的全体，迄今为止， $w(C) > 6\%$ 的铁碳合金在工业上还没有使用价值。铁碳合金相图只指出 $w(Fe) = 100\%$ 、 $w(C) = 6.67\%$ [$w(Fe_3C) = 100\%$] 的成分区间。图 1-1 所示为铁碳合金相图，图中各特点、特性线的意义如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 铁碳合金相图的特点点

特点点	温度/℃	$w(C)$ (%)	意 义
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液相的成分
C	1148	4.30	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体熔点
E	1148	2.11	碳在奥氏体中的最大溶解度
F	1148	6.69	共晶渗碳体的成分点
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变点
H	1495	0.09	碳在 δ 固溶体中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	共析渗碳体的成分点
N	1394	0	$\gamma\text{-Fe} \rightleftharpoons \delta\text{-Fe}$ 同素异构转变点
P	727	0.0218	碳在铁素体中的最大溶解度
Q	常温	0.008	碳在铁素体中的常温溶解度
S	727	0.77	共析点

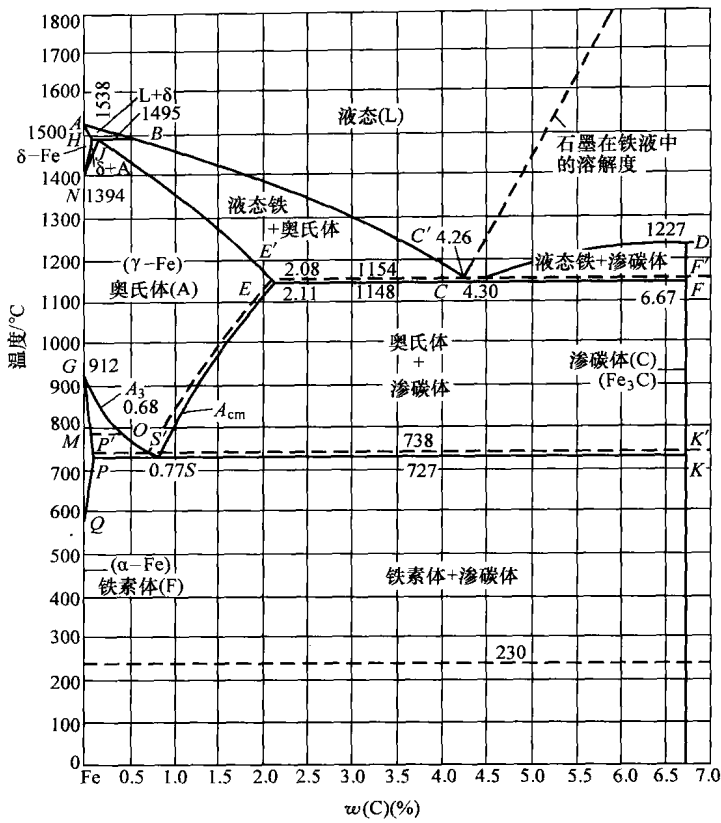


图 1-1 铁碳合金相图

表 1-2 铁碳合金相图的特性线

特性线	说 明
AB	δ 相的液相线
BC	γ 相的液相线
CD	Fe ₃ C 相的液相线
AH	δ 相的固相线
JE	γ 相的液相线
HN	δ 相区与 (δ + γ) 相区分界线, 也是碳在 δ 相中的溶解度线
JN	(δ + γ) 相区与 γ 相区分界线
GP	α 相区与 (α + γ) 相区分界线, 也表示温度高于共析温度 A ₁ 时, 碳在 α 相中的溶解度线
GOS	(α + γ) 相区与 γ 相区分界线, 也表示亚共析钢的上临界温度 A ₃
ES	γ 相区与 (γ + Fe ₃ C) 相区分界线, 也表示碳在 γ 相中的溶解度和过共析钢的上临界点 (A _{cm})

(续)

特性线	说 明
PQ	α 相区与 $(\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$ 相区分界线, 也表示温度低于共析温度 A_1 时, 碳在 α 相中的溶解度线
HJB	$\gamma_{\text{F}} \rightarrow \text{L}_{\text{B}} + \delta_{\text{H}}$ 包晶反应平衡线
BCF	$\text{L}_{\text{C}} \rightarrow \gamma_{\text{E}} + \text{Fe}_3\text{C}$ 共晶反应平衡线
MO	α 铁磁性转变线 A_2
PSK	$\gamma_{\text{S}} \rightarrow \alpha_{\text{P}} + \text{Fe}_3\text{C}$ 共析反应平衡线, 也表示铁碳合金的下临界点 A_1

1.1.2 钢铁材料在各种状态下的组织

1. 奥氏体 (A)

奥氏体是碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体, 呈面心立方结构。除某些特殊钢 (如高锰钢、奥氏体不锈钢外), 一般钢只有加热到临界点以上才能得到奥氏体, 奥氏体在高温下稳定。碳在奥氏体中的溶解极限稍高于 2% (质量分数)。钢在高温下可呈单相奥氏体状态, 具有很大的塑性, 此时可对钢施行锻造成形和各种热加工。从单相奥氏体区冷却, 可实现由奥氏体向其他多种组织的转变, 完成各种热处理工艺。

在实际冷却条件下, 奥氏体虽然冷到临界点 A_1 以下, 但并不是立即发生转变, 这时的奥氏体称为过冷奥氏体。在实际淬火时, 过冷奥氏体不能全部转变为马氏体或贝氏体, 这种在常温下与过冷转变产物共存的奥氏体称为残留奥氏体。

2. 铁素体 (F)

铁素体是碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体, 呈体心立方结构, 在低温下稳定。铁素体中碳的最大溶解度仅为 0.0218% (质量分数)。随着温度的降低, 碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度逐步减小, 在铁素体晶界上析出 Fe_3C 或 θ 碳化物相。铁素体的碳含量很低, 性能上与纯铁相似, 强度低 ($R_m = 250 \sim 300\text{MPa}$)、塑性好 ($A = 50\%$)。

室温下铁素体是钢的基体, 是钢的主要组织之一, 尤其在低碳钢中铁素体数量较多。因此, 提高铁素体的强度对改善钢的力学性能有重要意义。

合金元素 Mn、Si、Ni、Cr、W 等都能溶入铁素体, 形成置换式固溶体, 称为合金铁素体。因合金原子与铁原子的大小不一样, 溶入后引起原子排列不规则, 造成晶格畸变, 使材料抵抗塑性变形的能力增加, 所以强度和硬度升高。例如, 铁素体的硬度只有 80HBW, 在铁素体中加入质量分数为 1% 的 Si 时, 硬度升高为 120HBW。

3. 渗碳体与合金碳化物

碳与铁的化合物 (Fe_3C) 称为渗碳体, 碳的质量分数为 6.67%。因为碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度很低, 因此一般碳钢在低温范围内的组织除铁素体外, 还有渗碳体

存在。渗碳体是一种具有复杂结构的间隙化合物。渗碳体具有极高的硬度（硬度为 800HBW 或 70 ~ 75HRC），塑性很差，伸长率接近于零，脆性大。渗碳体与其他相共存时呈现片状、球状或网状等。如果使渗碳体均匀地、细密地分布在铁素体基体上，可以显著地提高钢的强度和硬度。

在合金钢中，合金元素除溶于铁素体外，还可能溶于渗碳体中（成为合金渗碳体）或形成特殊碳化物。合金碳化物均具有极高的硬度，当它们在钢中的分布合适时，可以显著提高钢的耐磨性、热硬性和强度。但如果碳化物大小不一，分布不均，就会影响工件的性能和寿命。

4. 珠光体（P）、索氏体（S）、托氏体（T）

铁碳合金中的奥氏体含碳质量分数为 0.77% 时，在 727℃ 发生共析转变，得到铁素体和渗碳体呈片状并列的结构，称为珠光体。用光学金相显微镜观察时，珠光体中的渗碳体呈白色，铁素体呈灰白色。珠光体转变伴随着碳原子的扩散和铁原子的重排，转变速度缓慢。随着转变温度的降低，转变加速，珠光体的片层间距变小。通常将细片状珠光体称为索氏体，将极细片状珠光体称为托氏体。当渗碳体以颗粒状分布时，称为球状珠光体或粒状珠光体。

（1）获得索氏体的方法

1) 通过正火获得索氏体。

2) 将钢加热到临界点以上，然后在 550 ~ 650℃ 的盐浴中发生过冷奥氏体等温转变而得到索氏体。

3) 将淬火钢在 450 ~ 600℃ 回火得到回火索氏体。回火索氏体中的碳化物弥散度更大，并且呈球状，与等温索氏体相比强度和硬度基本相同，但塑性要高得多。

（2）获得托氏体的方法

1) 过冷奥氏体等温转变得得到托氏体。

2) 将淬火钢在 300 ~ 450℃ 回火得到回火托氏体。

5. 贝氏体（B）

过冷奥氏体在中温（500 ~ 240℃）等温分解为铁素体和渗碳体的混合物称为贝氏体。贝氏体转变与珠光体转变（ A_1 ~ 500℃）不同，贝氏体转变的温度低，奥氏体分解时碳原子的扩散受到了很大的抑制；铁素体的形成速度较快，造成贝氏体中铁素体的碳含量高于珠光体中铁素体的碳含量。贝氏体组织的形状和性能有以下特点：

（1）上贝氏体 奥氏体在 500 ~ 400℃ 等温分解时可得到上贝氏体。上贝氏体中铁素体呈密集而相互平行的扁片，渗碳体呈不连续的短片状分布在铁素体的片层间。上贝氏体一般呈羽毛状，其硬度可达 45HRC 左右。

（2）下贝氏体 由奥氏体在 400 ~ 240℃ 范围内等温分解时得到下贝氏体。下贝氏体中铁素体大都呈针状，外形与马氏体相似，但它比马氏体易于受腐蚀。在电

子显微镜下可以看到，下贝氏体中的铁素体含有极细的粒状碳化物。因此，下贝氏体具有很高的硬度（可达 55HRC 左右）和很好的韧性。等温淬火得到的下贝氏体组织不仅具有优良的综合力学性能，而且可以减少变形。

6. 马氏体

奥氏体过冷至 M_s 以下即转变为马氏体组织。马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体，是靠无扩散的奥氏体切变方式在钢中形成的相，是淬火钢的基本组织。马氏体有两种类型，即在低、中碳钢中形成的板条状马氏体和在高碳钢中形成的片状马氏体。

板条状马氏体的显微组织是由许多成群的板条组成，如图 1-2 所示。基本单元是板条，平行排列的板条组成同位向束，数个平行的同位向束即组成一个板条群，一个原始奥氏体晶粒可以包含几个板条群（通常为 3~5 个）。这种马氏体的亚结构主要为位错，通常也称为位错型马氏体。板条马氏体具有较高的强度和塑性。

片状马氏体的空间形态呈双凸透镜片状，所以也称为透镜片状马氏体，如图 1-3 所示；因与试样磨面相截而在显微镜下呈现为针状或竹叶状，又称为针状马氏体或竹叶状马氏体。片状马氏体的显微组织特征为片间不相互平行。先形成的第一片马氏体将贯穿整个奥氏体晶粒而将晶粒分割为两半，使以后形成的马氏体大小受到限制。因此，片状马氏体的大小不一，越是后形成的马氏体片越小。片的大小几乎完全取决于奥氏体的晶粒大小。片状马氏体常能见到有明显的中脊。片状马氏体的亚结构主要为孪晶，因此又称为孪晶型马氏体。片状马氏体硬度高而脆性大。

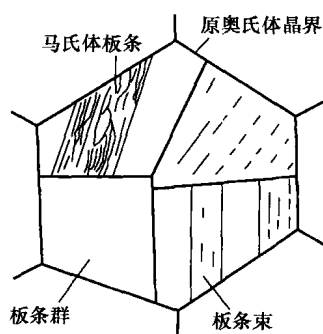


图 1-2 板条马氏体示意图

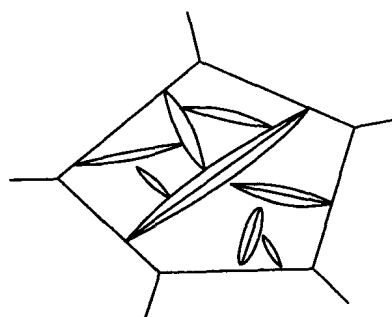


图 1-3 片状马氏体示意图

7. 莱氏体 (Ld)

莱氏体是珠光体和渗碳体的共晶组织，性质硬而脆，一般只存在于碳的质量分数大于 2% 的生铁中。但是，在某些高碳、高合金钢（例如高速工具钢和 Cr12 型钢）的铸造组织中常常出现这种共晶组织，这是由于大量合金元素存在，使铁碳合金相图的 E 点左移，在碳的质量分数低于 2% 的高速工具钢中出现了类似生铁的组织，所以这类钢又称为莱氏体钢。

在高速工具钢浇注冷却后的组织中，骨骼状是共晶莱氏体，在骨骼附近的白色区域是残留奥氏体与马氏体，黑色区域组织为托氏体、索氏体的混合组织。

热处理无法消除莱氏体，必须用轧制和锻造等压力加工的方法，将共晶体中的大块碳化物打碎，促使碳化物均匀分布在基体内。

1.1.3 钢铁材料的分类及牌号

1. 钢铁材料的分类

钢铁材料分为钢和铸铁两大类，表 1-3 和表 1-4 所示分别为钢和铸铁的分类。表 1-5 所示为钢材的交货状态。

表 1-3 钢的分类

分类方法	分类名称	说 明
按化学成分分	碳素钢	碳素钢是指钢中除铁、碳外，还含有少量锰、硅、硫、磷等元素的铁碳合金，按其碳含量的不同，可分为 低碳钢：碳的质量分数 $\leq 0.25\%$ 中碳钢：碳的质量分数为 $0.25\% \sim 0.60\%$ 高碳钢：碳的质量分数 $\geq 0.60\%$
	合金钢	为了改善钢的性能，在冶炼碳素钢的基础上，加入一些合金元素而炼成的钢，如铬钢、锰钢、铬锰钢、铬镍钢等。按其合金元素的总含量，可分为 低合金钢：合金元素的总质量分数 $\leq 5\%$ 中合金钢：合金元素的总质量分数为 $5\% \sim 10\%$ 高合金钢：合金元素的总质量分数 $\geq 10\%$
按冶炼设备分	转炉钢	用转炉吹炼的钢，可分为底吹、侧吹、顶吹和空气吹炼、纯氧吹炼等转炉钢；根据炉衬的不同，又可分为酸性和碱性两种转炉钢
	平炉钢	平炉炼制的钢，按炉衬材料的不同可分为酸性和碱性两种平炉钢，一般平炉钢多为碱性
	电炉钢	用电炉炼制的钢，有电弧炉钢、感应炉钢及真空感应炉钢等。工业上大量生产的是碱性电弧炉钢
按浇注前脱氧程度分	沸腾钢	脱氧不完全的钢，浇注时在钢锭模里产生沸腾的现象。其优点是冶炼损耗少，成本低，表面质量及深冲性能好；缺点是质量和成分不均匀，耐腐蚀性能差和力学性能差，一般用于轧制碳素结构钢的型钢和钢板
	镇静钢	脱氧完全的钢，浇注时在钢锭模里钢液镇静，没有沸腾现象。优点是成分和质量均匀；缺点是金属的成品率低，成本较高。一般合金钢和优质碳素结构钢都为镇静钢
	半镇静钢	脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间的钢，因生产较难控制，产量较少

(续)

分类方法	分类名称	说 明
按钢的品质分	普通钢	钢中含杂质元素较多, 硫的质量分数一般不大于 0.05%, 磷的质量分数不大于 0.045%, 如碳素结构钢、低合金结构钢等
	优质钢	钢中含杂质元素较少, 硫的质量分数、磷的质量分数一般均不大于 0.04%, 如优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具钢和合金工具钢、弹簧钢、轴承钢等
	高级优质钢	钢中含杂质元素极少, 硫的质量分数一般不大于 0.03%, 磷的质量分数不大于 0.035%, 如合金结构钢和工具钢等。高级优质合金钢的牌号后面, 通常加符号“A”, 以便识别
按钢的用途分	结构钢	建筑及工程用的结构钢——简称建筑用钢, 它是指用于建筑、桥梁、船舶、锅炉或其他工程上制作金属结构件的钢。如碳素结构钢、低合金钢、钢筋钢等 机械制造用结构钢——用于制造机械设备上结构零件的钢。这些钢基本上都是优质钢或高级优质钢, 主要有优质碳素结构钢、合金结构钢、易切结构钢、弹簧钢、滚动轴承钢等
	工具钢	一般用于制造各种工具, 如碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢等; 如按用途又可分为刀具钢、模具钢、量具钢
	特殊钢	具有特殊性能的钢, 如不锈钢、耐热钢、高电阻合金、耐磨钢、磁钢等
	专业用钢	指各个工业部门专业用途的钢, 如汽车用钢、农机用钢、航空用钢、化工机械用钢、锅炉用钢、电工用钢、焊条用钢等
按制造加工形式分	铸钢	铸钢是指采用铸造方法生产出来的一种钢铸件。主要用于生产一些形状复杂、难于进行锻造或者切削加工成形而又要求较高的强度和塑性的零件
	锻钢	锻钢是指采用锻造方法生产出来的各种锻材和锻件。锻钢件的质量比铸钢件高, 能承受大的冲击作用, 塑性、韧性和其他方面的力学性能都比铸钢件高, 所以凡是一些重要的机器零件都应当采用锻钢件
	热轧钢	热轧钢是指采用热轧方法生产的各种热轧钢材。大部分钢材都是采用热轧轧制而成的, 热轧常用来生产型钢、钢管、钢板等大型钢材, 也可用于轧制线材
	冷轧钢	冷轧钢是指用冷轧方法生产的各种冷轧钢材。与热轧钢相比, 冷轧钢的特点是表面光洁, 尺寸精确, 力学性能好。冷轧常用来轧制薄板、钢带和钢管
	冷拔钢	冷拔钢是指用冷拔方法生产出来的各种冷拔钢材。冷拔钢的特点是精度高, 表面质量好。冷拔主要用于生产钢丝, 也用于生产直径在 50mm 以下的圆钢和六角钢, 以及直径在 76mm 以下的钢管