

金工实习

高等工科院校
工程材料及机械制造基础系列教材

主 编:贺锡生

副主编:黄如林

周伯伟



东南大学出版社

高等工科院校
工程材料及机械制造基础系列教材

金 工 实 习

主 编	贺锡生	
副主编	黄如林	周伯伟
主 审	骆志斌	

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委高教司 1995 年 82 号通知颁布的《高等工科学学校金工实习教学基本要求》和结合高等工科学学校金工实习实际编写而成的。

全书共十章,主要内容有金属材料及热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、车削加工、刨、铣、磨削加工、钳工、非金属材料及其成形方法、特种加工及数控技术的应用等。书中内容、插图、表格、示例、习题等都有较大更新,材料牌号、机械设备型号、名词术语全部采用最新标准。有明显的实践性、启发性、科学性和先进性的特点。

本书是高等工科院校机械工程类专业的教材,也可供近机类、非机类、职业大学、职工大学、电视大学等相关专业选用。

责任编辑:黄英萍

金工实习
贺锡生 主编

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 武进第二印刷厂印刷

东南大学激光照排印刷中心照排

*

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 15.75 字数 344 千

1996 年 2 月第 1 版 1997 年 11 月第 3 次印刷

印数:12001 ~ 15000 册

ISBN 7—81050—129—1/TG·2

定价:15.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

前 言

本书是根据国家教委高教司 1995 年 82 号通知颁布的《高等学校工科本科金工实习教学基本要求》、结合高等学校工科金工实习实际,由江苏省高校金属工艺教学研究会组织编写的系列教材之二。

编写本教材旨在帮助学生正确地掌握材料的加工方法;了解机械制造的工艺过程和一些新工艺、新技术的应用;指导实际操作,获得初步操作技能;巩固感性知识,为后续课程及今后工作打下一定的实践基础。

为适应现代机械制造工业发展的要求,本教材删除了过去实习教材中陈旧和浅显的内容,增添了非金属材料及其成形方法、特种加工及数控技术的应用等章节的内容,还增加了简单的经济分析、安全技术和新工艺、新技术的应用。每章后都有帮助学生消化、巩固和深化教学内容和实际应用的复习思考题。书中材料的牌号、机械设备的型号和名词术语全部采用最新标准,废除了陈旧而被淘汰的机械产品的举例和应用,表格、插图也作了较大幅度的更新。

编写教材时注重突出了实践性、启发性、科学性和先进性,做到基本概念清晰,重点突出,简明扼要,形象生动,以加强学生观察问题、分析问题、解决问题能力的培养和实践知识及技能的掌握。

本书编委有江苏石油化工学院贺锡生,无锡轻工大学黄如林,华东船舶工业学院周伯伟,扬州大学吴玉宏,江苏理工大学王维新,东南大学肖锋、陆文周,南京机械高等专科学校李玉琴。主编贺锡生,副主编黄如林、周伯伟,主审东南大学骆志斌。

吴绯、张介岷、程伟炯、蒋乃兴为本教材的出版做了大量的工作,特此致谢。

在本书的编写、定稿过程中,得到江苏省高校金工研究会会员单位和金工同行们的大力支持和热忱帮助,一并致谢。

限于水平,本书难免有谬误和欠妥之处,敬请批评指正。

编 者

1995 年 11 月

工程材料及机械制造基础系列教材

编 委 名 单

主任委员：邱坤荣

副主任委员：王晓天 骆志斌 张恩生 卫家楣

委 员：黄英萍 贺锡生 王特典 张启芳
王辰宝 陆文周 程伟炯 李五琴
吴 绯 张介岷

目 录

绪论	1
第一章 金属材料及钢的热处理	3
§ 1—1 金属的结构	3
§ 1—2 铁碳合金	4
§ 1—3 钢的热处理概念	7
§ 1—4 常用金属材料	11
§ 1—5 钢铁材料的现场鉴别	15
复习思考题	19
第二章 铸造	20
§ 2—1 砂型的制造	22
§ 2—2 金属的熔炼与浇注	35
§ 2—3 铸件的清理和质量分析	39
§ 2—4 特种铸造	42
铸造实习安全技术	48
复习思考题	49
第三章 锻压	51
§ 3—1 锻坯的加热和锻件的冷却	51
§ 3—2 自由锻	54
§ 3—3 胎模锻	63
§ 3—4 锻件缺陷分析	65
锻造实习安全技术	65
§ 3—5 冲压	66
冲压实习安全技术	71
复习思考题	72
第四章 焊接	73
§ 4—1 手弧焊	73

手弧焊实习安全技术	83
§ 4—2 气焊与气割	85
气焊、气割实习安全技术	91
§ 4—3 其它焊接方法简介	91
复习思考题	95
第五章 金属切削加工的基本知识	96
§ 5—1 零件的加工质量	97
§ 5—2 常用量具	101
§ 5—3 刀具材料	107
复习思考题	110
第六章 车削加工	111
§ 6—1 卧式车床	112
§ 6—2 车刀	116
§ 6—3 车外圆、端面和台阶	121
§ 6—4 切槽与切断	128
§ 6—5 孔加工	130
§ 6—6 车圆锥面	133
§ 6—7 车成形面与滚花	134
§ 6—8 车螺纹	136
§ 6—9 工件的装夹与车床附件	139
§ 6—10 其它车床简介	145
§ 6—11 典型零件车削工艺	146
车工实习安全技术	150
复习思考题	151
第七章 刨削、铣削与磨削加工	154
§ 7—1 刨削加工	154
§ 7—2 铣削加工	164
§ 7—3 磨削加工	180
刨工、铣工和磨工实习安全技术	190
复习思考题	190
第八章 钳工	193
§ 8—1 钳工台和台虎钳	193

§ 8—2 划线·····	193
§ 8—3 锯削·····	197
§ 8—4 锉削·····	200
§ 8—5 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔·····	203
§ 8—6 攻螺纹与套螺纹·····	210
§ 8—7 刮削与研磨·····	212
§ 8—8 钳工工艺示例·····	215
§ 8—9 装配·····	217
钳工实习安全技术·····	219
复习思考题·····	220
第九章 非金属材料及其成形方法·····	222
§ 9—1 高分子化合物·····	222
§ 9—2 塑料·····	225
§ 9—3 陶瓷·····	228
§ 9—4 复合材料·····	229
复习思考题·····	229
第十章 数控机床与特种加工·····	230
§ 10—1 数控机床·····	230
§ 10—2 特种加工·····	234
复习思考题·····	241
参考文献·····	243

绪 论

一、金工实习的性质与任务

金工实习是一门传授机械制造工艺知识的实践性技术基础课。它不仅是机械类各专业学生学习《工程材料及机械制造基础》等课程必不可少的先修课,也是大部分工科类其它专业学生的一门必修课。

金工实习应完成的任务是:

1. 学习机械制造工艺知识,了解机械制造生产过程

在金工实习中,学生要学习机械制造的各种主要加工方法及其所用主要设备的基本结构、工作原理和操作方法,并正确使用各类工、夹、量具和熟悉各种加工方法、工艺技术、图纸文件和安全技术,了解加工工艺过程和工程术语。这些实践知识是学习《工程材料及机械制造基础》等技术基础课、专业课及毕业设计等不可缺少的基础。

2. 培养实践能力,进行工程师的基本训练

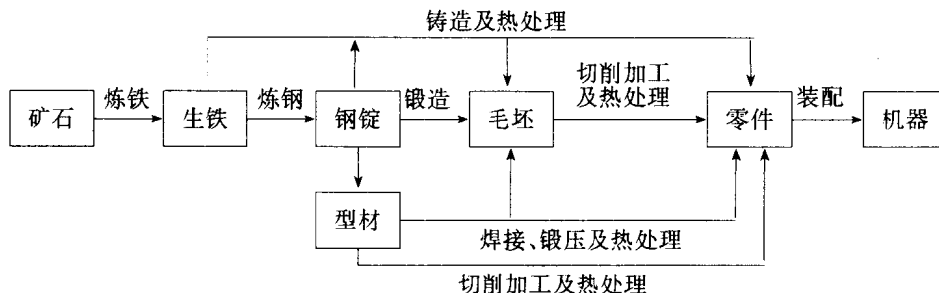
工科院校是工程师的摇篮。为培养学生的工程实践能力,学校安排了各种实验、实习、设计等多种实践性教学环节和相应的课程。金工实习就是其中一门重要的实践性教学课程。在实习中,学生通过直接参加生产实践,操作各种设备,使用各类工、夹、量具,独立完成简单零件的加工制造,同时,还安排了工艺设计、实验、工艺讨论、综合作业等教学环节,以培养学生对简单零件具有初步选择加工方法和分析工艺过程的能力,并具有操作主要设备和加工作业件的技能,初步奠定工程师应具备的知识和技能基础。

3. 进行思想、作风教育

金工实习一般都在学校机械实习工厂的现场进行。现场不同于教室,它是生产、教学、科研三结合的基地,教学内容丰富,实习环境多变,接触面宽广。这么一个特定的环境正是对学生进行思想、作风教育的好场所、好时机。如增强劳动观念、遵守组织纪律、爱惜国家财产、建立经济观点和质量意识、培养理论联系实际和一丝不苟的科学作风等,都是当代高质量人才全面素质不可缺少的重要组成部分,也是金工实习为提高人才素质,培养高质量人才需要完成的一项重要任务。

二、机械制造的一般过程和金工实习内容

机械制造生产包括了工程材料、铸造、锻压、焊接、切削加工和热处理等方面的内容。现以钢铁材料为例,机械制造过程及各部分相互关系如下:



工程材料 包括金属材料(钢、铁、铜、铝及其合金)和非金属材料(高分子材料、陶瓷材料、复合材料等)两大类。

铸造 熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状和性能铸件的成形方法称为铸造。

锻压 对坯料施加外力使其产生塑性变形、改变尺寸、形状及改善性能,用以制造机械零件、工件或毛坯的成形加工方法称为锻压。

焊接 通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使焊件达到原子结合的一种加工方法称为焊接。

切削加工 用切削刀具从毛坯上切去多余的材料,以获得具有所需的形状、尺寸精度和表面粗糙度的零件的加工方法称为切削加工。

热处理 将固态金属或合金采用适当的方式进行加热、保温和冷却以获得所需要的组织结构与性能的工艺称为热处理。

工程材料是制造各类机器的原材料,也是铸造、锻压、焊接、切削加工及热处理等各种加工方法的加工对象,而热处理又经常贯串机械制造的全过程。

金工实习的内容基本上按照上述各加工方法分成铸造、锻压、焊接、车削、铣削、刨削、磨削、钳工及热处理等九大工种进行。通过实际操作、现场教学、专题讲座、电化教学、综合训练、实验、参观、演示、课堂讨论、实习报告或作业以及考核等方式和手段,丰富教学内容,完成实践教学任务。

三、金工实习守则

(1) 实习时按规定穿戴好劳动防护用品,不带与实习无关的书刊报纸、随身听等进厂,不穿拖鞋、凉鞋、高跟鞋等进厂。

(2) 遵守组织纪律,不窜岗,不迟到,不早退,有事请假。

(3) 尊重老师和师傅,搞好师生关系。

(4) 爱护国家财产,注意节约水、电、油和原材料。

(5) 实习应做到专心听讲,仔细观察,做好笔记,认真操作,不怕苦,不怕累,不怕脏。

(6) 严格遵守各实习工种的安全技术,做到文明实习,保持良好卫生风貌。

复习思考题

1. 金工实习的性质和任务是什么?
2. 你能讲出自行车车轴、钢圈、铁锅、铝锅以及齿轮的生产过程吗?

第一章 金属材料及钢的热处理

§ 1—1 金属的结构

金属材料(包括纯金属和它们的合金)被广泛用来制造机器零件或工具,是因为金属材料具有优良的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。而且不同的金属材料由于内部组织结构不同,其性能也不同。

一、纯金属的晶体结构

金属(纯金属和合金)在固态都是晶体。常见的晶体类型有体心立方、面心立方、密排六方等形式。如图 1-1-1 所示。

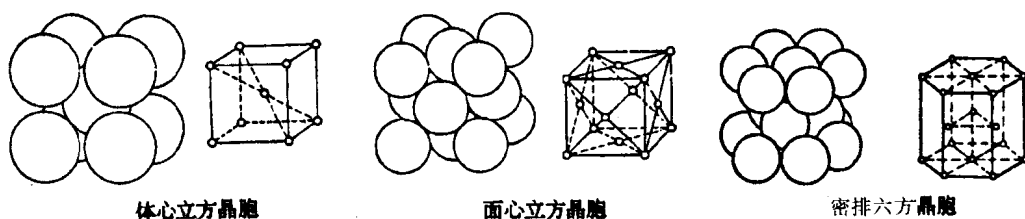


图 1-1-1 常见晶体类型

具有体心立方晶体结构的纯金属有铬、钼、 α -Fe 等。

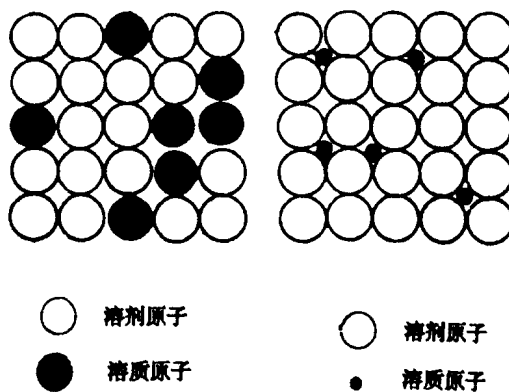
具有面心立方晶体结构的纯金属有铜、铝、 γ -Fe 等。

具有密排六方晶体结构的纯金属有镁、锌等。

金属的晶体结构不同,性能也不同。如同是纯铁,面心立方结构的 γ -Fe 比体心立方结构的 α -Fe 有较好的塑性。

二、合金的结构

合金是由两种或两种以上的金属元素或金属元素与非金属元素组成的具有金属特性的物质。它的晶体结构比纯金属要复杂得多。常见的合金相结构有固溶体、金属化合物两大类。



a) 置换固溶体 b) 间隙固溶体

图 1-1-2 固溶体的两种基本类型

1. 固溶体

组成合金的各元素在液态时能相互溶解,在固态时也能相互溶解,形成均匀一致的固态合金称为固溶体。保留住晶体结构的元素为溶剂,溶于溶剂中的元素为溶质。固溶体有置换固溶体和间隙固溶体两类。如图 1-1-2 所示。固溶体随溶质含量的增加,其强度、硬度升高,而塑性、韧性下降。适当掌握固溶体中的溶质含量,可以在显著提高金属材料强度、硬度的同时使其仍保持相当好的塑性和韧性。

具有固溶体结构的合金如铁碳合金中的铁素体和奥氏体。

2. 金属化合物

组成合金的各元素相互作用生成一种具有金属特性的化合物称为金属化合物。它的晶体结构不同于任何一种组成元素的晶体结构,一般都很复杂。金属化合物常用分子式表示,具有高强度、高硬度、高耐磨性、高脆性及高熔点的特征。

具有金属化合物结构的合金如铁碳合金中的渗碳体(Fe_3C)。

§ 1—2 铁碳合金

钢铁是现代机械制造工业中应用最广泛和最重要的金属材料。碳钢和铸铁都是以铁和碳为主的二元合金。合金钢和合金铸铁是有意加入其它合金的铁碳合金。

一、铁碳合金的基本组织

1. 纯铁的同素异构转变

同一成分的金属在固态时,晶体结构随温度的变化而发生变化的现象,称之为同素异构转变。

固态纯铁的同素异构转变过程如下: $\delta\text{-Fe} \xrightleftharpoons{1394^\circ\text{C}} \gamma\text{-Fe} \xrightleftharpoons{912^\circ\text{C}} \alpha\text{-Fe}$
(体心立方) (面心立方) (体心立方)

不同晶体结构的纯铁,对碳和合金元素的溶解能力不同。

2. 铁碳合金的基本组织

1) 铁素体

铁素体是 $\alpha\text{-Fe}$ 内固溶有碳或数种其它元素所形成的晶体结构为体心立方的固溶体。铁素体的溶碳能力低,在 727°C 时只有 0.02% ,而室温时几乎为零。铁素体常用符号 F 表示,其性能与纯铁相近,即强度 $\sigma_b \approx 230\text{MPa}$,硬度为 80HBS ,伸长率 $\delta \approx 50\%$,冲击韧度 $a_{kv} \approx 160 \sim 200\text{J/cm}^2$ 。

2) 奥氏体

奥氏体是 $\gamma\text{-Fe}$ 内固溶有碳和(或)其它元素的晶体结构为面心立方的固溶体。奥氏体一般只在高温条件下存在,且溶碳能力强,在 1148°C 时可达 2.11% ,具有较好的塑性。钢一般在奥氏体时进行锻造。奥氏体常用符号 A 表示。

3) 渗碳体

渗碳体是碳和铁的金属间化合物。含碳量为 6.69%。分子式为 Fe_3C 。晶体结构较为复杂。渗碳体的硬度高达 800HBW，脆性大，几乎没有塑性。渗碳体是钢的强化组织。

4) 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体薄层交替重叠的层状混合物，是含碳量为 0.77% 的奥氏体在 727℃ 时，发生共析反应的产物。珠光体的含碳量是 0.77%，常用符号 P 表示。珠光体具有较好的综合力学性能，强度 $\sigma_b \approx 750\text{MPa}$ ，硬度为 180HBS，伸长率 $\delta \approx 20\% \sim 25\%$ ，冲击韧性 $a_{kv} \approx 30 \sim 40\text{J/cm}^2$ 。

5) 石墨

石墨是碳的一种同素异构体。石墨的晶体结构是简单六方体，常用符号 G 表示。石墨的强度、硬度、塑性、韧性都很低，但其脆性较高。

铁碳合金的基本组织如图 1-2-1 所示。

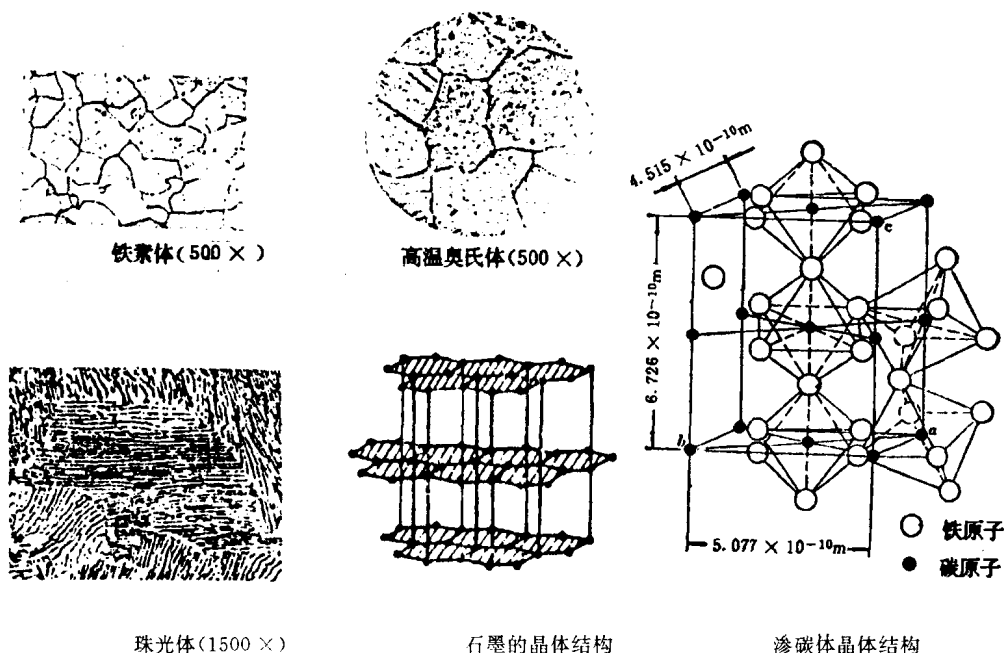


图 1-2-1 铁碳合金基本组织

二、铁碳合金状态图

铁碳合金状态图表示不同成分的铁碳合金在不同温度时具有的组织状态。状态图的横坐标表示铁碳合金的成分，纵坐标表示温度。合金的组织是在缓慢加热和冷却的条件下获得的，接近平衡状态。状态图又可称为平衡图，所获得的组织又称为平衡组织。由于含碳量大于 6.69% 的铁碳合金脆性极大，没有使用价值，因而铁碳合金状态图只表示 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 部分。为简化分析过程，可将状态图简化成如图 1-2-2 所示。

1. 对铁碳合金状态图的分析

ACD 线 —— 液态线。合金在此线以上全部呈液态，冷却至此线时开始结晶。 AC 线以下结晶出奥氏体。 CD 线以下结晶出 Fe_3C ，称为一次渗碳体。

AECF 线 —— 固态线。合金冷却至此线以下时全部呈固态。

ES 线 —— 奥氏体溶碳量变化曲线，又称 A_{cm} 线。随着温度的下降，碳在奥氏体中的溶解度减少，将沿 ES 线由奥氏体中析出 Fe_3C_1 ，称为二次渗碳体。

GS 线 —— 奥氏体和铁素体相互转变曲线，又称 A_3 线。奥氏体冷却至此线开始向铁素体作转变。铁素体加热至此线开始向奥氏体转变。

ECF 线 —— 共晶线。液态合金冷却至此线时，在恒温(1148℃)下同时结晶出奥氏体和 Fe_3C 。此反应称共晶反应。C 点称共晶点。

PSK 线 —— 共析线，又称 A_1 线。奥氏体冷却至此线时，在恒温(727℃)下同时析出铁素体和 Fe_3C 。此反应称共析反应。S 点称共析点。

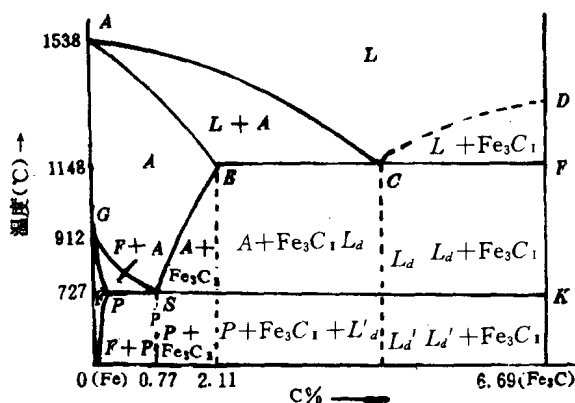


图 1-2-2 简化后的铁碳状态图

2. 铁碳状态图各区的组织

根据对铁碳状态图的分析，便可填出铁碳合金在各区的组织。如图 1-2-2 所示。

三、铁碳合金的分类

根据铁碳状态图，铁碳合金分为钢和白口铸铁两大类。

1. 钢

钢是含碳量小于 2.11% 的铁碳合金。根据钢在室温条件时组织结构的不同，钢可分为亚共析钢、共析钢、过共析钢三类。

1) 亚共析钢

亚共析钢是含碳量小于 0.77% 而大于 0.0218% 的铁碳合金。室温时的组织由铁素体和珠光体组成。如图 1-2-3 a) 所示。随着含碳量的增加，亚共析钢组织中的铁素体量减少，珠光体量增加。

2) 共析钢

共析钢是含碳量为 0.77% 的铁碳合金。室温时的组织由单一的珠光体组成。如图 1-2-3b) 所示。

3) 过共析钢

过共析钢是含碳量大于 0.77% 而小于 2.11% 的铁碳合金。室温时的组织由二次渗碳体和珠光体组成。如图 1-2-3c) 所示。随着含碳量的增加，过共析钢组织中的渗碳体量不断增加，珠光体量逐渐减少。

2. 白口铸铁

白口铸铁是含碳量大于 2.11% 至 6.69% 的铁碳合金。白口铸铁的室温组织均由渗碳

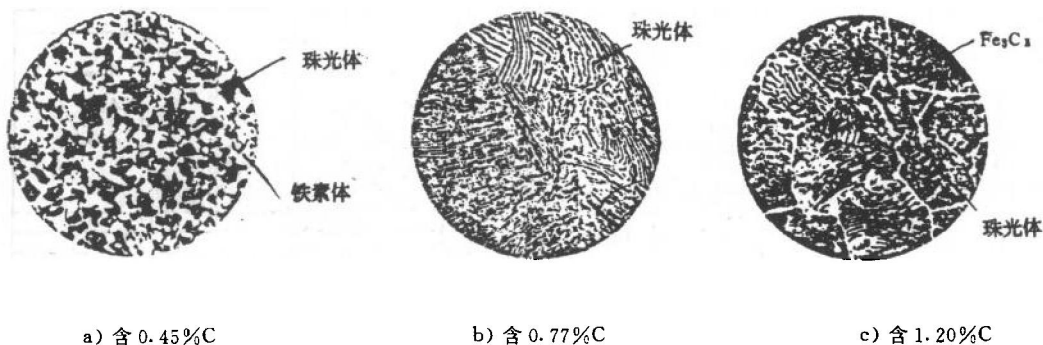


图 1-2-3 铁碳合金(钢)的组织

体和珠光体组成。随着含碳量的增加,白口铸铁组织中的渗碳体量不断增加,由于渗碳体是金属化合物,硬度高,脆性大,实际生产中很少用白口铸铁直接制造机械零件。工业用铸铁是使白口铸铁经石墨化后才应用的,这时铸铁中的碳以石墨形态存在。

§ 1—3 钢的热处理概念

钢的热处理是将钢在固态下通过加热、保温、冷却的方法,使钢的组织结构发生变化,从而获得所需性能的工艺方法。

在机械零件制造过程中,热处理起着重要的作用。钢经过热处理,不仅可以消除组织结构上的某些缺陷,更重要的是可以改善或提高钢的性能,充分发挥钢的性能潜力,减轻工件重量,节约材料,降低成本,延长工件的使用寿命。

铁碳状态图提供了钢在不同温度时组织的转变过程,这是确定热处理工艺的理论依据。钢在实际加热或冷却过程中,组织结构的转变总有滞后现象,即实际发生转变的温度与理论温度有偏离。加热时,钢的组织转变温度高于状态图上的理论转变温度。冷却时,钢的组织转变温度低于状态图上的理论转变温度。为了便于称呼和使用,常将状态图中的线段用符号表示。加热时, A_1 线用 Ac_1 表示; A_3 线用 Ac_3 表示; A_{cm} 线用 Ac_{cm} 表示。冷却时, A_1 线用 Ar_1 表示; A_3 线用 Ar_3 表示; A_{cm} 线用 Ar_{cm} 表示。如图 1-3-1 所示。

钢的热处理工艺可以在机械零件加工过程中进行,做为预备热处理,也可以做为最终热处理放在机械零件加工成型后进行。

钢的热处理工艺主要分为整体热处理和表面热处理。

常用的整体热处理方法有退火、正火、淬火、回火等。

1. 钢的退火

钢的退火是将钢加热到一定温度,保温后缓慢冷却下来使钢获得接近平衡状态组织的热处理工艺。

钢的退火能细化组织、降低硬度,便于切削加工;能消除内应力,使钢的成分和组织均匀,并为以后的热处理工艺做组织准备。

根据钢的成分和目的的不同,退火工艺又分为完全退火、球化退火、去应力退火等。

1) 完全退火

完全退火是将钢加热到 A_{c3} 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$, 保温后随炉(或埋在砂中或灰中)冷却的热处理工艺。亚共析钢的铸件、锻件、热轧件、焊件等常进行完全退火。

2) 球化退火

球化退火的工艺是将钢加热到 A_{c1} 线以上 $20 \sim 30^\circ\text{C}$, 保温一定时间后随炉冷却的热处理工艺。球化退火后钢中的渗碳体得到球化。过共析钢制造的刀具、量具、模具常进行球化退火。

3) 去应力退火

去应力退火是为了去除由于塑性变形加工、焊接、铸造等所造成的在工件内的残余应力进行的退火工艺。它是将钢加热到 $500 \sim 650^\circ\text{C}$, 保温后随炉冷却。由于加热温度低于 A_{c1} 线, 钢的组织不发生变化。

2. 钢的正火

将钢加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$, 保温适当的时间后, 在空气中冷却的热处理工艺称为钢的正火。钢正火后获得接近平衡状态的组织。

钢正火的目的是细化组织, 消除内应力。

正火的冷却速度较快, 得到的铁素体和渗碳体较细, 强度和硬度也较高。重要机械零件常用正火做预备热处理, 普通机械零件常用正火做最终热处理。

3. 钢的淬火和回火

钢的淬火和回火是为了使机械零件性能达到要求的最终热处理工艺。回火是钢淬火后才进行的热处理工艺。

1) 钢的淬火

将钢加热到 A_{c1} 或 A_{c3} 线以上某一温度, 保持一定时间, 然后以适当速度冷却获得马氏体和(或)贝氏体组织的热处理工艺称为钢的淬火。

钢淬火后具有较高的强度和硬度。

亚共析钢淬火的加热温度是 A_{c3} 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$, 过共析钢淬火的加热温度是 A_{c1} 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

加热后的钢一般在盐水、水、油、硝盐浴、碱浴等冷却介质中冷却。

钢淬火后获得的马氏体是由奥氏体转变的产物。马氏体是碳(或合金元素)在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和的单一固溶体。

马氏体的含碳量和转变前的奥氏体含碳量相同。含碳量越高, 硬度越高(可达 65HRC),

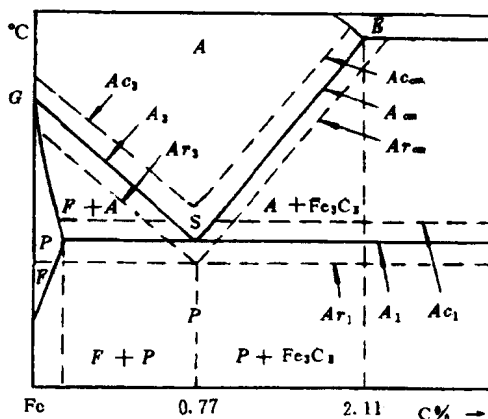


图 1-3-1 加热或冷却时钢的相变临界温度线的位置

脆性越高。由于马氏体是一种亚稳定组织，如不及时回火，往往会造成钢的变形和裂纹产生，所以钢淬火后一般应及时回火。

2) 钢的淬入方式

为使钢获得优良的淬火质量，钢件正确的淬入方式（如何进入冷却介质）应遵守以下原则：

(1) 厚薄不均匀的零件，应将厚的部分先淬入；

(2) 细长轴类零件，薄而平的零件，应垂直淬入；

(3) 薄壁环状零件，应沿轴线方向垂直淬入；

(4) 具有凹槽或不通孔的零件，应使凹面或不通孔部分朝上淬入。

各种类型零件淬入方式如图 1-3-2 所示。

3) 钢的回火

钢件淬硬后，再加热到 A_{c1} 线以下的某一温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺称为钢的回火。

钢回火后的性能取决于回火加热温度。根据加热温度的不同，回火分为低温回火、中温回火、高温回火三种。

(1) 低温回火 淬火钢件在 250°C 以下回火称为低温回火。

钢低温回火使钢的内应力和脆性降低，保持了淬火钢的高硬度和高耐磨性。低温回火后钢的硬度一般达 $58 \sim 64\text{HRC}$ 。各种工、模具常进行低温回火。

(2) 中温回火 淬火钢件在 $250 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 的回火称为中温回火。

钢中温回火能使钢中的内应力完全消除。钢具有高弹性和高屈服点，硬度达 $35 \sim 50\text{HRC}$ 。各种弹簧常进行中温回火。

(3) 高温回火 淬火钢件在高于 500°C 的回火称高温回火。

钢高温回火后具有强度、硬度、塑性、韧性都较好的综合力学性能。回火后硬度一般为 $200 \sim 300\text{HBS}$ 。各种重要零件如连杆螺栓、齿轮及轴类等进行高温回火。

习惯上常将钢件淬火及高温回火的复合热处理工艺称为调质。

表 1-3-1 是 45 钢经调质后与正火状态下力学性能的比较。

表 1-3-1 45 钢经调质后与正火状态下力学性能的比较

工 艺	力 学 性 能				组 织
	σ_b (MPa)	δ (%)	a_{kv} (J/cm ²)	HBS	
正 火	700 ~ 800	15 ~ 20	50 ~ 80	163 ~ 220	细珠光体 + 铁素体
调 质	750 ~ 850	20 ~ 25	80 ~ 120	210 ~ 250	回火索氏体

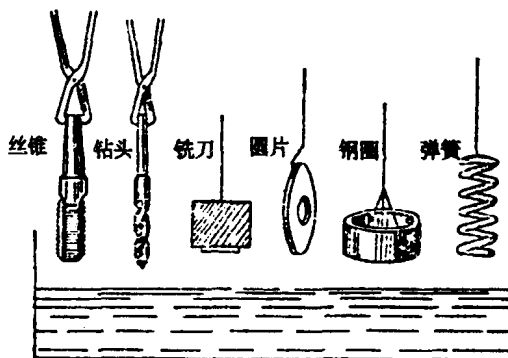


图 1-3-2 各种零件浸入淬火剂的方式