

普通高等教育机电专业重点系列教材

总主编 孔庆华

金工实习

主 编 刘建成 甘勇 孔庆华



普通高等教育机电专业重点系列教材

总主编 孔庆华

金 工 实 习

主 编 刘建成 甘 勇 孔庆华
 副主编 杨汉嵩 刘万福 李章东 唐黔湘
 编 委 (按姓氏笔画为序)
 丁忠良 王文武 韦荔甫 石纲生
 江 毅 朱从容 戎 磊 宋长发
 陈关龙 孟广耀 徐国祥 程 宏
 喻怀仁 潘玉安



同济大学出版社

TONGJI UNIVERSITY PRESS

地址：上海四平路1245号 电话：(021) 2508011 邮编：200092

内容提要

本书是根据当前高校“金工实习教学基本要求”和新颁布的国家有关标准,汲取兄弟院校的教学改革成果和教学经验,充分考虑到现代机械加工的发展状况,增加了数控加工、特种加工、塑性加工等先进制造技术新内容。

全书共分8章,主要内容有机械工程材料、铸造、锻压、焊接、机械加工、钳工、数控加工、非金属材料的成形和特种加工等。

本书内容丰富,概念清楚,叙述通俗,便于教学,适合高等工科院校机械类、近机械类、非机械类各专业使用,也可供高职高专和成人教育等相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习/刘建成,甘勇,孔庆华主编. —上海:同济大学出版社,2009.2

(普通高等教育机电专业重点系列教材)

ISBN 978-7-5608-3923-3

I. 金… II. ①刘…②甘…③孔… III. 金属加工—实习—高等学校—教材 IV. TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 189490 号

普通高等教育机电专业重点系列教材

金工实习

主 编 刘建成 甘 勇 孔庆华

副主编 杨汉嵩 刘万福 李章东 唐黔湘

策划编辑 封 云 责任编辑 曾广钧 责任校对 杨江淮 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.25

印 数 1—5100

字 数 356000

版 次 2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3923-3

定 价 26.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

机械制造技术是高新技术走向实际应用的接口、通道和桥梁,是提高创新能力和企业国际竞争力的根本途径。随着计算机技术、自动控制技术、传感器技术、信息技术、管理技术等高新技术与制造技术深层次的结合,制造业面貌发生了极大的变化,高校机械学科的教学思想、教学内容和教学方法势必随之扩展和更新。将培养人的系统知识、创新思想、综合运用及实践能力作为重点,造就了一大批面向 21 世纪现代化建设的人才,是已被各界所认同的教育改革发展的方向。

本书根据教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》和机械学科课程指导小组的最新指导思想及全国专业调整会议关于通才教育的精神,从全面推进素质教育的发展战略的高度出发,在《机械制造基础实习》教材的基础上,结合兄弟院校的教改经验和实际情况,提高起点,注重实践,加强基础,拓宽知识面,加大更新力度,进一步突破传统体系,由同济大学、景德镇陶瓷学院、桂林电子科技大学、河南理工大学、黄河科技大学、湖南文理学院、成都大学共同编写而成。

本书作为面向 21 世纪机械类系列课程教学内容与课程体系改革的主干技术基础课教材之一,在编写中力求使之具有以下特点:

(1) 加大改革传统金工实习课程体系的力度,删除其中陈旧落后的内容,增加“三新”技术,提高起点,向大工程宽专业口径拓宽知识面;

(2) 注重与并行课、后续课教学内容的衔接,既注重传统制造技术基础内容的系统性、实用性和科学性,又在一定程度上反映了较成熟的先进制造技术;既注重单台设备、单个工序,又强调制造过程、制造系统乃至先进制造系统的观念;

(3) 强调制造技术的实践性和应用性及理论与工程实际的紧密结合,通过选材、选择制造方法、结构工艺分析、操作等应用能力的训练,实施知识、创新能力、素质的培养;

(4) 注意教师授课、讲解和学生自学的紧密配合;反映当代科学技术特征、知识交叉与互相渗透的内容;培养学生科学的思维方法、综合应用理论解决实际问题的能力以及自己获取知识的能力;

(5) 全书图、表、实例、操作适当配合;基本概念、名词术语、计量单位及符号等一律采用已颁布的国家规范和标准。

本课程的实践性很强,必须更新教育思想,采用先进的教学方法和手段,以实践教学为主,将基础知识和理论与基本工艺实践有机地结合起来,优化讲课、操作、实验、讨论、多媒体教学等教学环节,才能在有限的经费和学时内达到最佳的教学效果。

参加本书编写的人员有:刘建成、潘玉安(第 1 章),李章东、刘万福(第 2 章),李章东、江毅(第 3 章),孔庆华、宋长发(第 4 章),甘勇、韦荔甫(第 5 章),杨汉嵩、丁忠良(第 6 章),刘建成、甘勇(第 7 章),孔庆华、唐黔湘(第 8 章)。焦文瑞、孟小文参加了编务工作。全书由刘

建成、甘勇、孔庆华主编。

本书在策划、编写及出版过程中,得到了景德镇陶瓷学院、桂林电子科技大学、河南理工大学、湖南文理学院、黄河科技大学、成都大学的实训中心和机械学院以及同济大学校办工厂金工教学部的大力支持;也得到了有关专家、学者和兄弟院校同行的热忱指教,在此一并表示诚挚的谢意。在本书的编写中,参考并引用了有关文献资料、插图等,在此对其作者表示由衷的感谢!

本书若有不当或错误之处,欢迎读者批评指正。

编者

2009年2月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 金属工艺学实习课程的性质与任务	(1)
0.2 金属工艺学实习教学的基本内容与要求	(1)
1 机械工程材料	(3)
1.1 金属材料的性能	(3)
1.2 金属学基础知识	(5)
1.3 热处理基本概念	(9)
1.4 常用金属材料	(13)
1.5 工程塑料	(20)
1.6 陶瓷	(22)
1.7 复合材料	(24)
1.8 机械工程材料的选择	(26)
复习思考题	(26)
2 铸造	(27)
2.1 砂型铸造工艺	(27)
2.2 铸造合金的熔炼和浇注	(37)
2.3 铸件的落砂清理和缺陷分析	(41)
2.4 特种铸造	(44)
2.5 铸件的结构工艺性	(48)
复习思考题	(53)
3 锻压	(54)
3.1 压力加工原理的基本知识	(54)
3.2 坯料的加热	(54)
3.3 自由锻造	(58)
3.4 模型锻造	(67)
3.5 板料冲压	(68)
复习思考题	(73)
4 焊接	(74)
4.1 手弧焊	(74)
4.2 气焊与气割	(86)
4.3 其他焊接方法	(94)

4.4	焊接缺陷及检验	(98)
	复习思考题	(100)
5	机械加工	(101)
5.1	切削加工的基本知识	(101)
5.2	切削刀具	(109)
5.3	车削加工	(120)
5.4	刨削加工	(133)
5.5	铣削加工	(135)
5.6	插齿和滚齿	(141)
5.7	磨削加工	(142)
5.8	机械加工方法的选择及工艺过程	(147)
5.9	机械加工零件结构的工艺性	(154)
	复习思考题	(157)
6	钳工	(159)
6.1	划线	(159)
6.2	锯切	(161)
6.3	锉削	(163)
6.4	钻削和镗削	(164)
6.5	攻螺纹和套扣	(167)
6.6	刮削和研磨	(169)
6.7	装配	(171)
	复习思考题	(176)
7	数控加工	(177)
7.1	数控机床	(177)
7.2	数控程序与编程	(185)
7.3	数控车床加工	(193)
	复习思考题	(203)
8	非金属材料的成形和特种加工	(204)
8.1	非金属材料的成形	(204)
8.2	特种加工	(208)
	复习思考题	(220)
	参考文献	(221)

0 绪 论

0.1 金属工艺学实习课程的性质与任务

金属工艺学实习是一门传授制造技术基础知识、实践性很强的技术基础课,是机械类、近机械类和非机械类诸多相关专业教学计划中不可缺少的重要教学环节之一。

金属工艺学实习课程强调以实践教学为主,重视培养学生实践技能,安排学生独立操作,并辅以专题讲授、电化录像等教学。

通过实习使学生获得机械制造工艺的基础知识,建立机械制造生产过程的概念;培养学生的操作技能;培养学生的劳动观点、理论联系实际和严谨、进取、创新的科学作风。以提升学生的全面素质,为进一步学习与专业有关的知识 and 后续相关课程及今后工作打下一定的实践基础。

0.2 金属工艺学实习教学的基本内容与要求

金属工艺学实习涉及一般机械制造生产的全过程。机械制造过程(见图 0-1)一般是:根据零件图和工艺文件,将原材料用铸造、锻造、冲压、焊接等成形方法制成毛坯,或半成品,或成品,再经车、刨、铣、磨等切削加工制成零件,然后将零件装配成合格的产品。金属工艺学实习的内容是研究如何采用铸造、锻压、焊接、热处理等方法将材料制成毛坯或直接加工成零件。

具体的教学基本要求如下:

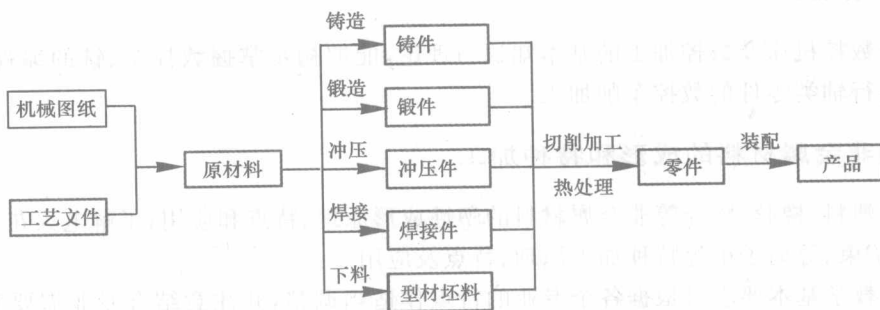


图 0-1 金工实习教学基本要求

0.2.1 机械工程材料

了解常用钢铁材料的种类、牌号、性能特点及选用;了解金属热处理的作用及钢的常用

热处理方法。

0.2.2 铸造

了解铸造生产工艺过程、特点和应用、以及砂型铸造工艺的主要内容,掌握两箱造型的特点与应用,并能独立完成简单铸件的两箱造型。

0.2.3 锻压

了解锻压生产的工艺过程、特点和应用;了解空气锤的大致结构、工作原理和自由锻基本工序的特点,并能制作锻造作业件;了解胎模锻的特点和应用;以及冲床、冲模和冲压基本工序的特点。

0.2.4 焊接

了解焊接生产工艺过程、特点和应用;了解弧焊机的种类、性能、特点、应用范围及所用焊机的使用方法;了解电焊条的组成和作用,能进行手弧焊平焊操作;了解气焊、气割设备和气焊火焰,能进行气焊平焊操作。

0.2.5 机械加工

熟悉卧式车床的组成、运动和用途;了解车床主要附件的结构和用途;了解常用车刀的种类和材料;熟悉常用量具及使用方法;掌握车外圆、端面、钻孔和镗孔的方法以及其他车削特点;能独立完成简单的车削加工;了解铣削、刨削、磨削加工的特点和应用,可在1~2种机床上加工零件或作业件。

0.2.6 钳工

了解钳工在机械制造和维修中的应用;掌握锯割、锉削和钻孔的基本技能;了解划线、攻螺纹、套螺纹、扩孔和铰孔的方法;了解装配的基本知识。

0.2.7 数控加工

了解数控机床及数控加工的基本知识与理论,能够初步掌握数控车、铣的编程技术,并能独立进行轴类零件的数控车削加工。

0.2.8 非金属材料的成形和特种加工

了解塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料的塑性成形原理、特点和应用;了解电火花、激光、超声波、电子束、等离子束等特种加工原理、特点及应用。

以上教学基本要求可根据各个专业的特点作适当调整,并注意结合专业需要和教学资源,充实新材料、新工艺、新技术的教学内容。同时,在实习中,运用实验、现场教学、电化教学、参观、讨论、作业(或实习报告)等多种方式和手段,丰富教学内容,提高教学效果,培养学生分析、解决实际问题的能力。

1 机械工程材料

人类社会的发展史表明,生产中所使用的材料性质直接反映出人类社会文明的水平。如历史学家根据制造生产工具的材料将人类社会分为石器时代、青铜器时代和铁器时代,现在,人类正跨入人工合成材料的新时代。随着现代科学技术和现代生产的飞速发展,材料、能源和信息已成为现代技术的三大支柱。

我国在“九五”计划中,在“科学技术是第一生产力”正确思想的指导下,提出高新关键技术领域的六大技术群,即信息技术、先进制造技术、新材料及其应用、生物工程、海洋工程、能源再生技术。

在六大技术群中,除先进制造技术外,另一与制造业密切相关的是新材料技术。新材料技术现在已有必然发展的趋势。如日本提出 21 世纪要完全转入新材料的体系,新材料技术在 21 世纪将成为很多发达国家立国的基本技术路线。

1.1 金属材料的性能

1.1.1 物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能主要有密度、熔点、导电性、热膨胀性、耐热性和耐蚀性等。根据机械零件用途的不同,对材料的物理和化学性能要求亦有不同。

金属材料的物理、化学性能对制造工艺也有影响。如导热性差的材料,进行切削加工时刀具的温升就快,刀具耐用度降低;膨胀系数的大小会影响金属热加工后的变形与开裂;而进行锻压或热处理时,加热速度应慢些,以免产生裂纹。

1.1.2 力学性能

材料的力学性能是指材料在外加载荷和环境因素(温度、介质)联合作用下所表现的抵抗变形和断裂的能力,如强度、硬度、塑性和冲击韧性等。

1) 弹性和刚度

材料在外力作用下产生变形,若外力去除后变形完全消失,材料恢复原状,则这种可逆的变形就叫弹性变形。

材料在弹性变形阶段,应力 σ 与应变 ϵ 成正比关系,两者的比值称为弹性模量,记为 E 。它表征材料对弹性变形的抗力。其值愈大,材料产生一定量的弹性变形所需要的应力愈大,故工程上也称 E 为材料的刚度,主要取决于材料的本性,反映了材料内部原子间结合键的强弱。而材料的组织变化对弹性模量无明显影响。值得注意的是材料的刚度和零件的刚度不是一回事,零件的刚度还和零件的结构因素有关。

2) 强度

材料在载荷作用下抵抗变形和断裂的能力叫强度。强度指标有屈服强度、抗拉强度和断裂强度。

(1) 屈服强度 在拉伸过程中,出现载荷不增加而试样还继续伸长的现象称为屈服。屈服时所对应的应力称为屈服强度,记为 σ_s 。屈服强度表征材料发生明显塑性变形时的抗力。

(2) 抗拉强度 材料受拉伸时,随着载荷的不断增大,材料不断变形,当载荷达到最大值 P_b 后,试样的某一部位截面开始急剧缩小,出现了“缩颈”,致使载荷下降,直到最后断裂。试样能承受的最大载荷除以试样原始截面积所得的应力,称为抗拉强度,记为 σ_b 。抗拉强度是材料在拉伸条件下能够承受最大载荷时的相应应力值,表征了材料对最大均匀变形的抗力。

(3) 硬度 硬度是指材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力。在产品的设计时,硬度是一项重要的技术指标。硬度试验在实际生产中是机械零件力学性能检查的最常用的重要实验方法。生产中应用较多的有洛氏硬度和布氏硬度。

① 洛氏硬度 其测定是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球作压头,以相应的载荷压入试样表面,由压痕深度确定其硬度值,通常可从硬度计读数装置上直接读出。洛氏硬度有三种常用标度,分别以HRA、HRB、HRC表示。硬度值数字写在字母前面,如80HRB、55HRC等。三种洛氏硬度的符号、试验条件和应用范围如表1-1所示。

表 1-1 三种洛氏硬度的符号、试验条件和应用范围

符号	压头	载荷(kgf)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	顶角 120° 金刚石圆锥	60	70HRA以上,相当于350HBS以上	硬质合金、表面淬火钢
HRB	直径 1.588mm 淬硬钢球	100	25~100HRB,相当于60~230HBS	退火钢、灰铸铁、有色金属
HRC	顶角 120° 金刚石圆锥	150	20~67HRC,相当于225HBS以上	淬火钢、调质钢

② 布氏硬度 用一定直径的淬硬钢球或硬质合金球,在规定的载荷作用下压入试样表面,保持一定时间后,卸除载荷,取下试件,用读数显微镜测出表面压痕直径 d ,根据压痕直径、压头直径及所有载荷查表,可求出布氏硬度值。用钢球压头时,用HBS表示,适用于硬度小于450HBS的退火钢、灰铸铁和有色金属等。用硬质合金球压头时,用HBW表示,适用于硬度小于650HBW的淬火钢等。

(4) 塑性 断裂前材料发生塑性变形的能力叫塑性。常用塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。 δ 和 ψ 越大,材料的塑性越好。

伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值可由下式求出:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度;

L_1 ——试样断裂后标距的长度;

A_0 ——试样原始截面积；

A_1 ——试样断裂处截面积。

试验结果表明,对同一材料制成的几何形状相似的试样,均匀变形伸长率和试样尺寸无关,集中变形伸长率和 $\sqrt{\frac{A_0}{L_0}}$ 比值有关。所以,通常用 $L_0=5d_0$ 和 $L_0=10d_0$ 两种比例试样来测定伸长率,分别记为 δ_5 和 δ_{10} 。 δ_{10} 通常简写为 δ 。

(5) 冲击韧性 金属材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力,称为冲击韧性。对有些机械零件(如传动齿轮、起重机吊钩等)而言,它们在使用过程中常承受较大冲击载荷作用,会产生比静载荷作用大得多的应力和变形。它们不仅要有较高的强度,还必须要有足够的冲击韧性。

冲击韧性的测定是在冲击试验机上,用一定高度的摆锤落下将试样冲断,测出冲断试样所需的冲击功 A_{ku} (J),再除以试样断口处截面积 A (cm^2),所得的商值,即为冲击韧性值。

$$\alpha_{ku} = \frac{A_{ku}}{A} \quad (\text{J}/\text{cm}^2)$$

1.1.3 工艺性能

从材料到零件或产品的整个生产过程比较复杂,涉及各种加工方法。工艺性能是指金属材料在加工时对加工方法的适应性和难易程度,包含以下内容:

(1) 铸造性能 主要包括流动性和收缩性。前者是指熔融金属的流动能力,后者是指浇注后的熔融金属冷却至室温时伴随的体积和尺寸的减小。

(2) 锻造性能 主要指金属锻造时其塑性的好坏和变形抗力的大小。塑性高,变形抗力小(即 σ_s 小),其可锻性好。

(3) 焊接性能 主要指在一定焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。它受材料本身的特性和工艺条件的影响。

(4) 切削加工性能 工件材料接受切削加工的难易程度称为材料的切削加工性能。材料切削加工性能的好坏与材料的物理、力学性能有关。

1.2 金属学基础知识

1.2.1 金属的晶体构造

材料按原子的空间排列情况可分为晶体和非晶体两种。金属、许多陶瓷和一些聚合物材料有非常规整的原子排列,称为晶体结构,材料的晶体结构显著影响材料的力学性能。其他一些陶瓷和大多数聚合物的原子排列是无序的,称为非晶态,其性能与晶态材料有很大不同,例如,非晶态的聚乙烯是透明的,而结晶聚乙烯则是半透明的。

晶体结构是指构成晶体的基元(原子、离子、分子等)在三维空间的具体的规律排列方式。晶体结构的最突出特点就是基元排列的周期性。一个理想晶体可以看成是由完全相同的基元在空间按一定的规则重复排列得到的。对金属而言,基元是单个原子。为了便于描述晶体中原子排列的规则,把原子看作一个质量集中的点,则周期重复的排列可用点阵来描

述。点阵是一个几何概念,它由一维、二维或三维规则排列的阵点组成。三维点阵又称空间点阵。则有:晶体结构=空间点阵+基元。

将阵点用一系列平行直线连接起来,构成一空间格架叫晶格。从晶格中取出一个能保持点阵几何特征的基本单元叫晶胞。显然,晶胞作三维堆砌就构成了晶体。

金属元素除了少数具有复杂的晶体结构外,绝大多数都具有比较简单的晶体结构,其中最典型、最常见的晶格类型有三种:体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。

1) 体心立方晶格

在体心立方晶胞中,原子分布在立方晶胞的八个顶角及其体心位置。具有这种晶格的金属有 Cr、V、Mo、W 和 α -Fe(温度在 912℃以下的纯铁)等 30 多种。

2) 面心立方晶格

在面心立方晶胞中,原子分布在立方晶胞的八个顶角及六个侧面的中心。具有这种晶格的金属有 Al、Cu、Ni 和 γ -Fe(温度在 912~1394℃的纯铁)等,约 20 种。

3) 密排六方晶格

在密排六方晶胞中,原子分布在六方晶胞的十二个顶角,上、下底面的中心及晶胞体内两底面中间三个间隙里。具有这种晶体晶格的金属有 Mg、Zn、Cd、Be 等 20 多种。

不同金属其性能不同,金属的晶格类型不同,金属的性能也不同。例如,同样是铁元素,面心立方晶格的 γ -Fe 比体心立方的 α -Fe 具有更好的塑性。

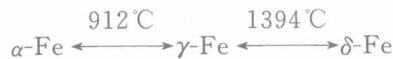
1.2.2 铁碳合金相图

金属元素和它的元素(可以是金属或非金属元素)通过熔炼或烧结等方法制成具有金属特性的材料称为合金。铁碳合金是以铁和碳为基本元素的合金,主要包括碳钢和铸铁,是现代工业中应用最广泛的金属材料。

铁碳合金状态图是研究其在极缓慢冷却(或加热)条件下,成分、组织和性能之间关系及其变化规律的图形。研究铁碳合金状态图,对分析、选择钢铁材料及制定有关热加工工艺具有十分重要的指导意义。

1) 纯铁的同素异构转变

有些金属(如 Fe、Mn、Ti、Co 等)具有两种或几种晶体结构,即具有多晶型性。当外部的温度和压强改变时,这些金属会由一种晶体结构向另一种晶体结构转变,称之为多晶型转变,又称为同素异构转变。例如



纯铁在 1538℃时凝固,固体呈体心立方晶格(称为 δ -Fe);当温度降至 1394℃时,原子重新排列,得到面心立方晶格(称为 γ -Fe);继续缓慢冷却到 912℃时,纯铁又得到体心立方晶格(称为 α -Fe)。

由于纯铁在不同温度时具有不同晶格类型,对碳和合金元素的溶解能力也不同,材料的许多性能(如密度、塑性、强度、磁性、导电性等)将发生突变。因此,改变其工艺条件(温度、冷却速度),可得到不同的组织和性能,满足现代工业众多性能要求和应用范围。

2) 铁碳合金的基本组织

铁碳合金有以下五种基本组织:

(1) 铁素体 碳固溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体,用符号 F 表示。727℃ 时溶碳量最大,为 0.0218%,室温下几乎为零(0.0008%),其强度、硬度很低而塑性、韧性很好,与工业纯铁相近。

(2) 奥氏体 碳固溶于 γ -Fe 中形成的间隙固溶体称为奥氏体,用符号 A 或 γ 表示。1148℃ 时溶碳量最大,为 2.11%,727℃ 时为 0.77%,在 727℃ 以上存在,是铁碳合金的高温组织,其强度、硬度低,塑性高,适于压力加工成型,这也就是为什么绝大部分钢材锻压前都要加热到奥氏体状态的缘故。

(3) 渗碳体(Fe_3C) 渗碳体是铁碳合金的金属化合物,含碳量为 6.69%,熔点 1227℃,具有复杂的晶体结构,无同素异构转变,性质硬而脆,它的数量、形状、分布对钢的性能影响很大,是钢中的主要强化相。它还是一个亚稳定相,在一定条件下,可分解为石墨和铁素体,这一过程称为石墨化,对铸铁有重要的意义。

(4) 珠光体 铁素体和渗碳体的机械混合物称为珠光体,用符号 P 表示,含碳量为 0.77%。珠光体具有较高的强度、硬度和一定的塑性和韧性。是铁碳合金中一个重要组织。

(5) 莱氏体 在 727℃ 以下,莱氏体是珠光体和渗碳体的机械混合物,用符号 L_d 表示。莱氏体性质硬而脆,是铸铁中的基本组织。

3) 铁碳合金状态图分析

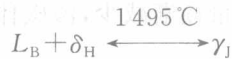
(1) 状态图中点、线、区及其含义:

图 1-1 是 Fe- Fe_3C 相图,图中各特性点的温度、碳浓度及意义示于表 1-2 中。现将状态图中几条主要线的意义作个介绍。

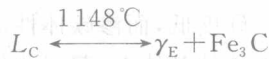
ABCD——液相线。此线以上合金为液态,用符号 L 表示。当铁碳合金从液态冷却到该线时开始结晶,在 AB 线以下,结晶生成 δ 铁,在 BC 线以下,结晶生成奥氏体(γ -Fe),在 CD 线以下,结晶生成渗碳体。

AHJECF——固相线。该线以下合金全部呈固态。在液相线和固相线之间的铁碳合金为固态和液态并存的两相区。当液态合金冷却到该线时,全部结晶成固态,而固态合金加热到该线时则开始熔融。

HJB——包晶线。合金在此温度发生包晶转变,其反应式如下:



ECF——共晶线。合金在此温度发生共晶转变,其反应式如下:



转变产物为奥氏体与渗碳体的机械混合物,称为莱氏体,记为 L_d ,此为高温莱氏体。

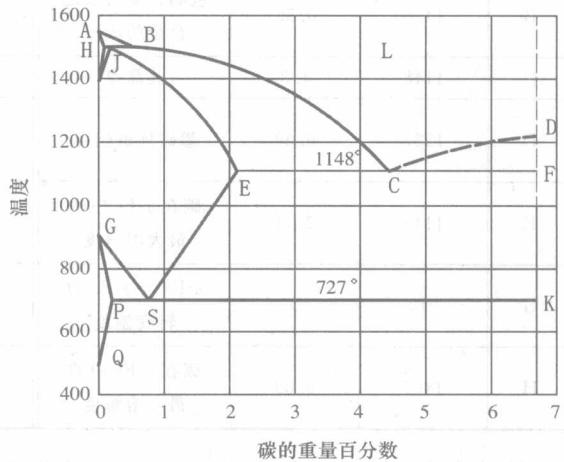
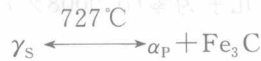


图 1-1 铁碳合金状态图

PSK——共析线。合金在此温度发生共析转变,其反应式如下:



即由一定成分的固相在恒温下生成另外两个一定成分的固相。共析转变的状态图特征与共晶转变的非常相似,所不同的是反应相不是液相而是固相。转变产物为铁素体与渗碳体的机械混合物,即珠光体。

GS——此线是奥氏体析出铁素体的起始温度或铁素体全部转变为奥氏体的终了温度,又称为 A3 线。

ES——碳在奥氏体中的溶解度曲线,当温度低于此曲线时,就要从奥氏体中析出渗碳体,通常称之为二次渗碳体,记为 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 。ES 线也叫 Acm 线。

PQ——碳在铁素体中的溶解度曲线。当温度低于此曲线时,要从铁素体中析出渗碳体,称之为三次渗碳体,记为 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 。

表 1-2 铁碳合金状态图中的特点

符号	温度(°C)	含碳量(%)	含义	符号	温度(°C)	含碳量(%)	含义
A	1538	0	纯铁的熔点	J	1495	0.17	包晶点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金的成分	K	727	6.69	渗碳体的成分
C	1148	4.3	共晶点	M	770	0	纯铁磁性转变温度
D	1227	6.69	渗碳体的熔点	N	1394	0	$\gamma\text{-Fe}$ 与 $\delta\text{-Fe}$ 的转变温度
E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度	P	727	0.0218	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
G	912	0	$\alpha\text{-Fe}$ 与 $\gamma\text{-Fe}$ 的转变温度	S	727	0.77	共析点
H	1495	0.09	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度	Q	600	0.0008	室温下碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度

铁碳合金中含碳量小于 2.11% 时,称为碳钢,含碳量大于 2.11% 的称为铸铁。根据碳钢中含碳量和组织的不同,可将碳钢分为亚共析钢(含碳量 0.0218%~0.77%)、共析钢(含碳量 0.77%)、过共析钢(含碳量 0.77%~2.11%)。

4) 含碳量对碳钢平衡组织和性能的影响

以上分析表明,碳钢在室温下的平衡组织皆由铁素体 Fe 和渗碳体 Fe_3C 两相组成。随着含碳量的增加,碳钢中铁素体的数量逐渐减少,渗碳体的数量逐渐增多,从而使其组织按下列顺序变化:



铁素体的塑性、韧性好,但强度、硬度低,而渗碳体性质硬而脆。珠光体由铁素体和渗碳体组成,渗碳体以细片状分布在铁素体的基体上,起强化作用,因此,珠光体有较高的强度和硬度,但塑性较差。随着含碳量升高,钢的强度、硬度增加,塑性下降。当钢中的含碳量超过

1.0%以后,钢的硬度继续增加,而强度开始下降,这主要是由于脆性的二次渗碳体沿奥氏体晶界呈网状析出所致。

1.3 热处理基本概念

1.3.1 热处理的基本原理

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。热处理工艺可用“温度-时间”曲线图表示。

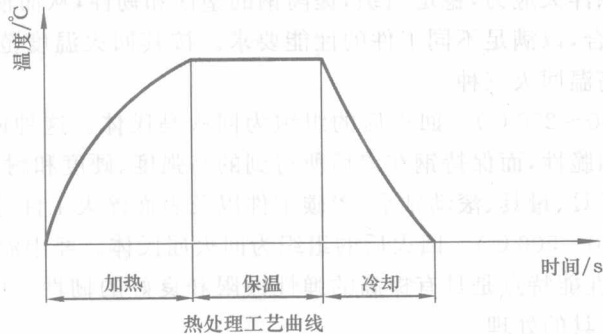


图 1-2 热处理工艺曲线

热处理工艺种类很多,根据加热、冷却方式及获得组织和性能的不同,钢的热处理可分为:普通热处理(退火、正火、淬火和回火)、表面热处理(表面淬火)和化学热处理等。

1.3.2 普通热处理

1) 常用的普通热处理方法

(1) 退火 在机器零件或工模具等工件的加工制造过程中,退火和正火经常作为预备热处理工序,即安排在铸造、锻造之后,切削加工之前,用以消除前一道工序所带来的某些缺陷,为随后的工序作准备。例如,经铸造、锻造等热加工以后,工件中往往存在残余应力,硬度偏高或偏低,组织粗大,存在缺陷等,这样的工件其力学性能低劣,不利于切削加工成型,淬火时也容易造成变形和开裂。经过适当的退火或正火处理,可使工件的内应力消除,调整硬度以改善切削加工性能,组织细化,成分均匀,从而改善工件的力学性能并为随后的淬火作准备。

退火的种类很多,根据加热温度可分为两大类:一类是在临界温度(A_{c1} 或 A_{c3})以上的退火,又称为相变重结晶退火,包括完全退火、不完全退火、球化退火和扩散退火等;另一类是在临界温度以下的退火,包括再结晶退火及去应力退火等。

(2) 正火 是将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{ccm} 以上,保温一定时间后,在空气中冷却得到细片状珠光体组织的热处理工艺。正火与退火的明显差异是正火冷却速度稍快。

(3) 淬火 是将钢件加热到 A_{c1} 或 A_{c3} 以上,保温一定时间后,快速冷却(通常大于临界冷却速度,碳钢采用水冷,合金钢采用油冷),以得到马氏体(或下贝氏体)组织的热处理工艺。

淬火加热温度的选择应以得到均匀细小的奥氏体晶粒为原则,以便淬火后得到细小的马氏体组织。对于亚共析钢,通常加热到 A_{c_3} 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$,对共析钢和过共析钢,为 A_{c_1} 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ 。

马氏体是含碳量过饱和的固溶体,由于铁素体含碳量过饱和,晶格发生畸变,增加了塑性变形的抗力,所以,马氏体具有很高的硬度,可达 65HRC。但马氏体是一种不稳定的组织,并存在较大的内应力和脆性。为了消除淬火钢的内应力,降低脆性,得到所需要的机械性能,淬火后必须进行回火热处理。

(4) 回火 是将淬火后的钢加热到 A_{c_1} 以下某一温度,保温后冷却的一种热处理工艺,其目的是减小或消除淬火应力,稳定组织,提高钢的塑性和韧性,从而使钢的强度、硬度和塑性、韧性得到适当配合,以满足不同工件的性能要求。按其回火温度范围,可将回火分为低温回火、中温回火、高温回火三种。

① 低温回火($150\sim 250^\circ\text{C}$) 回火后的组织为回火马氏体。这种回火主要是为了部分降低钢中残余应力和脆性,而保持钢在淬后所得到的高强度、硬度和耐磨性。在生产中低温回火被广泛应用于工具、量具、滚动轴承、渗碳工件以及表面淬火工件等。

② 中温回火($350\sim 500^\circ\text{C}$) 回火后的组织为回火屈氏体。经中温回火后,工件的内应力基本消除,其力学性能特点是具有极高的弹性极限和良好的韧性。中温回火主要用于各种弹簧零件及热锻模具的处理。

③ 高温回火($500\sim 650^\circ\text{C}$) 回火后的组织是回火索氏体。通常将淬火加高温回火相结合的热处理工艺称为调质处理。经调质处理后,钢的强度、塑性和韧性具有良好的配合,即具有较高的综合机械性能。因而,调质处理被广泛应用于中碳结构钢和低合金结构钢制造的各种重要的结构零件,特别是在交变载荷下工作的连杆、螺栓以及轴类等。

2) 常用的热处理设备

热处理的加热是在专门的加热炉内进行的。加热炉一般有箱式电阻炉、井式电阻炉、盐浴炉等。除了加热炉外,热处理设备还有控温仪表(热电偶、温控仪表等)、冷却设备(水槽、油槽、浴炉、缓冷坑等)和质检设备(洛氏硬度试验机、金相显微镜、量具、无损检测或探伤设备等)。下面介绍几种加热炉。

(1) 箱式电阻炉 箱式电阻炉根据使用温度不同分为高温、中温、低温箱式电阻炉等。箱式电阻炉适用于中、小型零件的整体热处理及固体渗碳处理。图 1-3 为中温箱式电阻炉的结构。

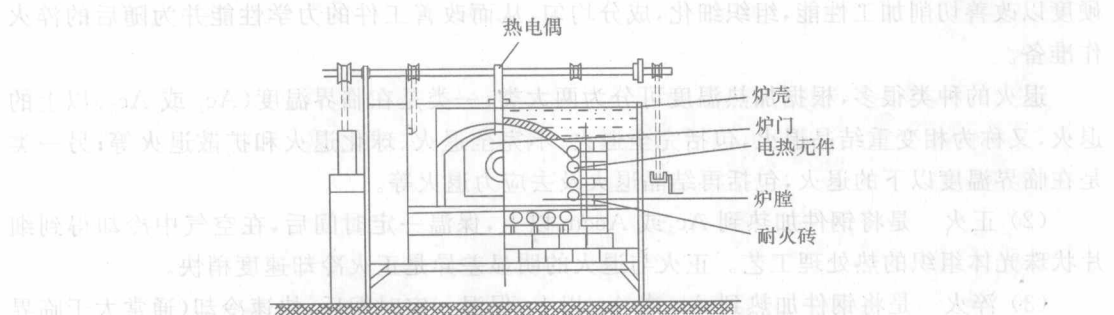


图 1-3 中温箱式电阻炉