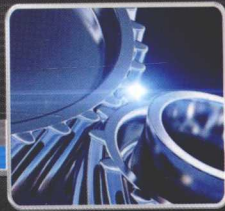


“十三五”工科院校规划教材

制造技术实训

ZHIZAO JISHU SHIXUN

◎ 陶俊 胡玉才 主编



配教学资源

“十三五”工科院校规划教材

制造技术实训

主 编 陶 俊 胡玉才
副主编 刘 虎 成 岗 孙恒尤
参 编 卞洪元 花锦柏 祝小军 徐彤彤

机 械 工 业 出 版 社

本书是为了适应高等教育发展的需要而编写的实训教材。全书分为制造技术基础、传统制造技术、现代制造技术三篇，主要内容包括机械工程材料概述、金属切削加工基础知识、金属材料热处理、铸造实训、金属压力加工实训、焊接实训、钳工实训、车削加工实训、铣削加工实训、刨削加工实训、磨削加工实训、数控车削加工实训、数控铣床/加工中心实训、特种加工实训和智能制造概述。本书内容采用国家最新标准，突出实践性、实用性和先进性。

本书可作为机械类、机电类、数控类、非机类等专业的实训教材，也可作为相关技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

制造技术实训/陶俊，胡玉才主编. —北京：机械工业出版社，2016.8

“十三五”工科院校规划教材

ISBN 978-7-111-54473-9

I. ①制… II. ①陶…②胡… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 181204 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：汪光灿 责任编辑：王莉娜

责任印制：常天培 责任校对：任秀丽 胡艳萍

北京京丰印刷厂印刷

2016 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·459 千字

0 001—2 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-54473-9

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

随着高等教育的快速发展,高等教育的课程建设与改革的力度也在不断推进。本书是根据教育部颁布的高等工科院校“工程训练教学基本要求”和教育部工程材料及机械制造基础课程指导小组修订的“工程训练教学基本要求”的精神,按照当前项目化教学改革的需要,并结合培养技术技能型人才的实践教学特点而编写的。

本书分为制造技术基础、传统制造技术、现代制造技术三篇,注重联系生产实际和强化应用,同时根据高等教育发展与改革的新形势及最新国家标准,进一步精选和编写教学内容,为培养高素质的技术技能型人才奠定了必要的机械制造工艺方面的基础,对培养学生的工程意识、创新思维、规范运用工程语言和技术信息、解决工程实际问题的能力具有重要作用。

本书的主要特色如下:

1. 内容力求少而精,既注重了必要的基本理论知识,又突出了实用性。在介绍常规机械制造方法的基础上,适量增加了常用的先进机械制造技术内容,如特种加工、智能制造等。

2. 以“任务”为导向,以机械职业岗位能力需求为基点,打破传统学科界限,加大了教学内容整合力度,力图将相关知识进行有机结合。

3. 体现以能力为本位的教学理念,以学生的“行动能力”为出发点精选内容。删除与学生将来从事的工作相关度不大的纯理论性的教学内容以及繁冗的计算,简化了设计公式的推导过程,加强与生产实践的联系,突出了应用性。

4. 图文对照,插图多采用结构示意图和实物图,生动直观,简明易懂,便于学生学习。

5. 采用了最新国家标准和法定计量单位。

本书由陶俊、胡玉才担任主编,刘虎、成岗、孙恒尤任副主编,参与编写的还有卞洪元、花锦柏、祝小军、徐彤彤,全书由卞洪元、陶俊负责统稿。

本书为江苏高校品牌专业建设工程资助项目,本书的编写和出版得到了盐城工学院教材基金和江苏恒悦机械有限公司的资助,在此深表感谢!

限于编者水平,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 制造技术基础

项目一 机械工程材料概述	3
任务一 熟悉金属的力学性能	3
任务二 认识铁碳合金	9
任务三 熟悉机械工程材料	12
思考与实训	23
项目二 金属切削加工基础知识	24
任务一 认识切削加工	24
任务二 掌握金属切削刀具基础知识	26
任务三 熟悉金属切削过程及其物理现象	30
任务四 金属材料的可加工性分析	34
思考与实训	35
项目三 金属材料热处理	36
任务一 认识金属材料热处理	36
任务二 熟悉热处理常用设备	40
任务三 典型零件的热处理工艺分析	44
思考与实训	45

第二篇 传统制造技术

项目四 铸造实训	46
任务一 熟悉铸造工艺过程	46
任务二 砂型铸造实训	47
任务三 特种铸造实训	58
思考与实训	65
项目五 金属压力加工实训	66
任务一 认识金属压力加工	66
任务二 锻造实训	66
任务三 板料冲压训练	74
思考与实训	78
项目六 焊接实训	79
任务一 焊条电弧焊训练	79
任务二 气焊和气割实训	82
任务三 其他焊接方法实训	87
任务四 典型零件焊接实训	91
思考与实训	97
项目七 钳工实训	98
任务一 划线实训	98
任务二 锯削实训	102
任务三 锉削实训	104
任务四 钻孔、扩孔和铰孔实训	108
任务五 攻螺纹和套螺纹实训	112
任务六 刮削实训	114
任务七 钳工综合工艺实训	115
任务八 装配实训	123
思考与实训	129
项目八 车削加工实训	131
任务一 车削加工基础训练	131
任务二 综合训练	146
思考与实训	156
项目九 铣削加工实训	157
任务一 铣削加工基础实训	157
任务二 铣削加工综合实训	171
思考与实训	174
项目十 刨削加工实训	175
任务一 刨削加工基础实训	175
任务二 刨削加工综合训练	181
思考与实训	184
项目十一 磨削加工实训	185
任务一 外圆磨削加工实训	185
任务二 内圆磨削加工实训	188
任务三 平面磨削加工实训	189

任务四 典型零件磨削加工实训	191	思考与实训	200
----------------------	-----	-------------	-----

第三篇 现代制造技术

项目十二 数控车削加工实训	201	思考与实训	252
任务一 数控车削加工编程基础实训	201	项目十四 特种加工实训	254
任务二 数控车床基本操作实训	212	任务一 数控电火花成形加工实训	254
任务三 数控车削加工综合实训	218	任务二 数控电火花线切割加工训练	260
思考与实训	229	任务三 其他特种加工方法	273
项目十三 数控铣床/加工中心实训	231	思考与实训	281
任务一 数控铣床/加工中心编程实训	231	项目十五 智能制造概述	282
任务二 手动操作数控铣床/加工中心 训练	236	思考与实训	291
任务三 典型零件加工训练	244	参考文献	292

绪 论

制造技术实训是以机械制造为主要内容的技术性实践环节,实训的基础是金属工艺学实习课程。金属工艺学是在社会生产实践中发展起来的一门综合性技术学科,是研究机械制造生产全过程,涉及金属材料的性能、金属零件的毛坯成形和机械加工以及整机装配的综合性技术学科。

金属材料的生产和应用是人类社会发展的重要里程碑,它促进了整个社会生产力的快速发展。尤其是进入铁器时代,特别是大规模钢铁生产工艺的出现,金属材料在人类生活中占据了重要地位,它广泛应用于机械装备制造、建筑、交通运输、国防建设、航空航天等行业,并且随着金属材料大规模生产及其消耗量的急剧上升,极大地促进了人类社会经济与科学技术的飞速发展。

机器制造的全过程是:先用铸造、锻压或焊接等方法制成零件毛坯(或半成品、成品),再经过切削加工制成零件,最后将制成的各种机械零件装配成机器。目前,机械零件的加工技术出现了日新月异的发展。例如,数控技术、特种加工技术、智能制造技术等,在机械零件加工过程中的应用,突破了传统的机械零件加工方法,使得机械零件加工设备不断创新,零件的加工质量和效率不断提高。

新中国成立以来,我国的制造业得到迅速发展。1962年,我国自行设计制造了12000t水压机。1964年,爆炸了原子弹,随后又爆炸了氢弹,发射了人造地球卫星和洲际导弹等。1992年,我国开始实施载人航天工程,2003年10月,神舟五号载人飞船将航天员杨利伟送入太空,标志着我国成为继俄罗斯和美国之后,第三个有能力独自将人送上太空的国家。2012年6月,神舟九号载人飞船在酒泉卫星发射中心成功发射,飞船在轨运行期间与天宫一号目标飞行器先后进行了一次自动交会对接和一次由航天员手动控制完成的交会对接,标志着我国已经完整掌握了空间交会对接技术。所有这一切都与机械制造业的发展密切相关,我国的经济建设既要求机械制造业担负更艰巨的任务,又为机械制造业开拓了广阔的天地。目前我国机械装备制造的整体工艺水平还相对落后,与工业发达国家相比还有差距,非常需要工程技术人员深入地研究有关金属材料及其加工工艺理论,不断地学习和认识新技术、新工艺、新设备和新材料,为进一步提高我国机械装备制造工艺水平而努力。

制造技术实训是高等院校多数工科专业的技术基础课,它为培养高素质的技术技能型人才奠定了必要的机械制造工艺方面的基础。

本课程的基本要求如下:

- 1) 熟悉常用工程材料的种类、牌号、性能、特性和用途。
- 2) 熟悉金属热处理的基本原理,掌握常用热处理方法及其适用范围。
- 3) 掌握铸造、锻压、焊接和切削加工的基本原理,熟悉其工艺特点、工艺设计基本知识和应用范围。
- 4) 具有选择材料、毛坯、加工方法和制订加工工艺路线的能力。

本课程实践性和应用性都很强，在教学过程中要注意理论与实践的联系，要强调实际技能的培养。首先要认真地进行制造技术实训，获得铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工的感性认识，了解金属材料的主要加工方法及加工工艺、所用设备及工具的使用，掌握一定的手工操作技能，还要辅以教学实验。只有这样，才能培养学生具有分析问题和解决问题的能力，取得良好的教学效果。

第一篇 制造技术基础

项目一 机械工程材料概述

实训目标

1. 熟悉金属材料的力学性能、工艺性能，了解金属材料的物理性能、化学性能。
2. 熟悉铁碳合金相图，了解钢在加热和冷却时的组织转变。
3. 熟悉常用钢的牌号、性能和应用，熟悉铸铁件的牌号和用途。

任务一 熟悉金属的力学性能

一、金属的力学性能概述

所谓金属的力学性能是指金属在力或能的作用下所表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性及疲劳强度等，它反映了金属材料在各种外力作用下抵抗变形或破坏的能力，是选用金属材料的重要依据，而且与各种加工工艺也有密切关系。

载荷是指金属材料在加工及使用过程中所受的外力。根据载荷作用性质的不同，对金属材料的力学性能要求也不同。载荷按其作用性质不同可分为以下三种：

(1) 静载荷

它是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。

(2) 冲击载荷

它是指在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

(3) 交变载荷

它是指大小、方向或大小和方向随时间做周期性变化的载荷。

机械零件在加工或使用过程中，都要受到不同形式外力的作用，如柴油机的连杆在工作时不仅受到拉力和压力的作用，还要受到冲击力的作用；起重机上的钢丝绳受到悬吊物体的重力作用。根据作用形式不同，载荷可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等，如图 1-1 所示。

金属材料受到载荷作用后，产生几何形状和尺寸的变化。变形按卸除载荷后能否完全消失，分为弹性变形和塑性变形两种。

材料在载荷作用下发生变形，当载荷卸除后变形也完全消失。这种随载荷的卸除而消失的变形称为弹性变形。

当作用在材料上的载荷超过某一限度，此时若卸除载荷，大部分变形随之消失（弹性变形部分），但还是留下了不能消失的部分变形。这种不随载荷的去除而消失的变形称为塑

性变形,也称为永久变形。

材料受外力作用时,为保持自身形状尺寸不变,在材料内部作用着与外力相对抗的力,称为内力。内力的大小与外力相等,方向则与外力相反,并与外力保持平衡。单位面积上的内力称为应力。

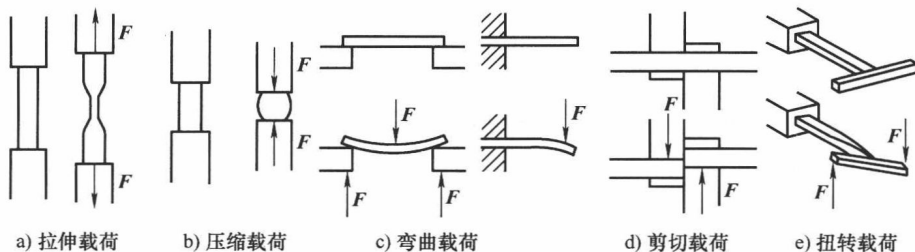


图 1-1 载荷的作用形式

二、强度

金属材料在静载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度的大小通常用应力来表示。

1. 屈服强度

在拉伸试验过程中,载荷不增加或保持恒定,试样仍能继续伸长时的应力称为屈服强度,分为上屈服强度和下屈服强度。

1) 上屈服强度是指试样发生屈服而载荷首次下降前的最高应力(MPa),用符号 R_{eH} 表示。

2) 下屈服强度是指在屈服期间的恒定应力或不计初始瞬时效应时的最低应力(MPa),用符号 R_{eL} 表示。

材料的屈服强度或规定残余延伸强度都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。机械零件在工作时若受力过大,则因过量的塑性变形而失效。当零件工作时所受的应力低于材料的屈服强度或规定残余延伸强度,则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服强度或规定残余延伸强度越高,允许的工作应力也越高,则零件的截面尺寸及自身质量就可以减小。因此,材料的屈服强度或规定残余延伸强度是机械零件设计的主要依据,也是评定金属材料性能的重要指标。

2. 抗拉强度

试样在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度,用符号 R_m 表示。强度极限表征材料对最大均匀塑性变形的抗力,它在技术上非常重要,工程上把抗拉强度作为设计的主要依据之一,也是材料的主要力学性能指标之一。零件在工作中所承受的应力,不允许超过抗拉强度,否则会产生断裂。 R_m 也是机械零件设计和选材的重要依据。

三、塑性指标及其意义

断裂前金属材料产生永久变形的能力称为塑性。塑性指标也是由拉伸试验测得的,常用断后伸长率和断面收缩率来表示。

1. 断后伸长率

试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,用符号 A 表示。其

计算公式如下

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 A ——断后伸长率, 单位为%;

L_u ——试样拉断后的标距, 单位为 mm;

L_0 ——试样的原始标距, 单位为 mm。

必须说明, 同一材料的试样长短不同, 测得的伸长率是不同的。长、短试样的伸长率分别用符号 $A_{11.3}$ 和 A 表示。

2. 断面收缩率

试样拉断后, 缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率, 用符号 Z 表示。其计算公式如下

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 Z ——断面收缩率, 单位为%;

S_0 ——试样原始横截面积, 单位为 mm^2 ;

S_u ——试样拉断后缩颈处的横截面积, 单位为 mm^2 。

金属材料的伸长率 A 和断面收缩率 Z 数值越大, 表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以发生大量塑性变形而不破坏, 易于通过塑性变形加工成复杂形状的零件。例如, 工业纯铁的 A 可达 50%, Z 可达 80%, 可以拉制细丝, 轧制薄板等。铸铁的 A 几乎为零, 所以不能进行塑性变形加工。塑性好的材料, 在受力过大时, 首先产生塑性变形而不致发生突然断裂, 因此比较安全。

四、硬度

材料抵抗局部变形特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。它不是一个单纯的物理或力学量, 而是代表弹性、塑性、塑性变形强化率、强度和韧性等一系列不同物理量的综合性能指标。

硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标。机械制造业所用的刀具、量具、模具等都应具备足够的硬度, 才能保证其使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等, 也要求有一定的硬度, 以保证具有足够的耐磨性和使用寿命。因此硬度是金属材料重要的力学性能之一。

硬度值又可以间接地反映金属的强度及金属在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异, 而与拉伸试验相比, 硬度试验简便易行, 因此硬度试验应用十分广泛。硬度测试的方法很多, 最常用的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法三种。

1. 布氏硬度

按金属材料布氏硬度试验 (GB/T 231.1—2009) 规定, 布氏硬度测试原理如图 1-2 所示, 使用直径为 D 的硬

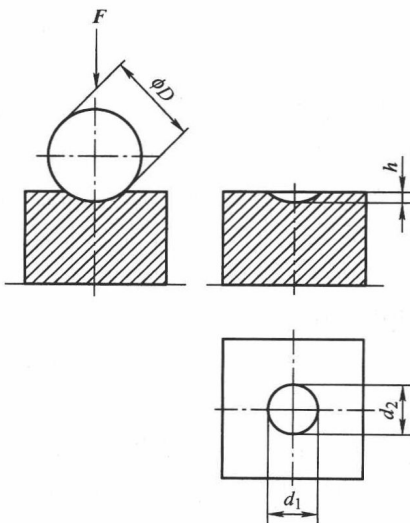


图 1-2 布氏硬度试验原理图

质合金球,以规定的试验力 F 压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,然后在两相互垂直方向测得表面压痕直径 d_1 、 d_2 ,求得压痕平均直径 d ,用压痕表面积 S 除载荷 F ,所得应力值即为布氏硬度。

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示,用符号 HBW 表示。布氏硬度值按下式计算

$$\text{HBW} = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBW——用硬质合金球试验时的布氏硬度值;

F ——试验力,单位为 N;

S ——球面压痕表面积,单位为 mm^2 ;

D ——球体直径,单位为 mm;

d ——压痕平均直径 $\left(d = \frac{d_1 + d_2}{2}, \text{单位为 mm}\right)$ 。

从上式中可以看出,当试验力 F 、压头球体直径 D 一定时,布氏硬度值仅与压痕平均直径 d 的大小有关。 d 越小,布氏硬度值越大,也就是硬度越高。相反, d 越大,布氏硬度值越小,硬度也越低。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验采用金刚石圆锥体或淬火钢球压头,压入金属表面后,经规定保持时间后卸除主试验力,以测量的压痕深度来计算洛氏硬度值。

测量的示意图如图 1-3 所示。测量时,先加初试验力 F_0 ,压入深度为 h_1 ,目的是为消除因被测零件表面不光滑而造成的误差。然后再加主试验力 F_1 ,在总试验力 $(F_0 + F_1)$ 的作用下,压头压入深度为 h_2 。卸除主试验力,

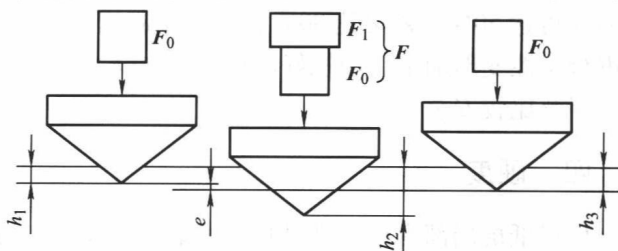


图 1-3 洛氏硬度测试过程示意图

由于金属弹性变形的恢复,使压头回升到 h_3 的位置,则由主试验力所引起的塑性变形的压痕深度 $e = h_3 - h_1$ 。显然, e 值越大,被测金属的硬度越低,为了符合数值越大、硬度越高的习惯,将一个常数 K 减去 e 来表示硬度的大小,并用 0.002mm 压痕深度作为一个硬度单位,由此获得洛氏硬度值,用符号 HR 表示。即洛氏硬度值按下列公式计算

$$\text{HR} = \frac{K - e}{0.002}$$

式中 HR——洛氏硬度值;

K ——常数,用金刚石圆锥体压头进行试验时 K 为 0.2mm;用钢球压头进行试验时, K 为 0.26mm;

e ——压痕深度,单位为 mm。

洛氏硬度没有单位,试验时硬度值直接从硬度计的表盘上读出。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上和布氏硬度试验相同:将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金

刚石压头以选定的试验力压入试样表面, 经规定保持时间后卸除试验力, 用测量压痕对角线的长度来计算硬度, 如图 1-4 所示。维氏硬度用符号 HV 表示, 其计算公式如下

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度;

F ——试验力, 单位为 N;

d ——压痕两对角线长度算术平均值, 单位为 mm。

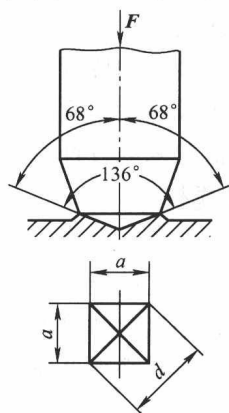


图 1-4 维氏硬度试验原理示意图

金属材料的强度、塑性和硬度等力学性能是在静载荷作用下测得的。而许多机械零件在工作中, 往往要受到冲击载荷的作用, 如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。制造这类零件所用的材料, 其性能指标不能单纯用静载荷作用下的指标来衡量, 而必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。目前, 常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的冲击韧性。

六、疲劳强度

1. 疲劳的概念

许多机械零件如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等, 在工作过程中各点的应力随时间做周期性的变化, 这种随时间做周期性变化的应力称为交变应力 (也称循环应力)。在交变应力作用下, 虽然零件所承受的应力低于材料的屈服强度, 但经过较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属的疲劳。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计, 在机械零件失效中大约有 80% 以上属于疲劳破坏, 而且疲劳破坏前没有明显的变形, 所以疲劳破坏经常造成重大事故。

2. 疲劳曲线和疲劳极限

材料的疲劳极限通常都是在旋转弯曲疲劳试验机上测定的, 疲劳试验证明在交变载荷作用下, 材料承受的交变应力值 σ 与断裂前的应力循环次数 N 之间的关系称为疲劳曲线, 如图 1-5 所示。曲线表明, 金属承受的交变应力越小, 则断裂前的应力循环次数 N 越多, 反之, 则 N 越少。从图 1-5 可以看出, 当应力达到 σ_5 时, 曲线与横坐标平行, 表示应力低于此值时, 试样可以经受无数周期循环而不破坏, 此应力值称为材料的疲劳极限。疲劳极限是金属材料在无限多次交变应力作用下而不破坏的最大应力。显然疲劳极限的数值越大, 材料抵抗疲劳破坏的能力越强。当应力为图 1-6 所示的对称循环时, 疲劳极限用符号 σ_D 表示。

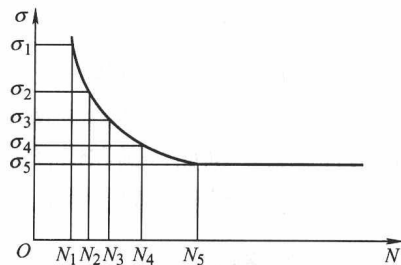


图 1-5 疲劳曲线示意图

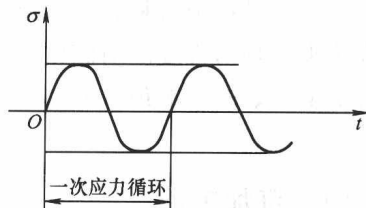


图 1-6 对称循环应力图

实际上测定时金属材料不可能做无数次交变载荷试

验,所以一般试验时规定,对于钢铁材料应力循环取 10^7 周次,非铁金属、不锈钢等取 10^8 周次交变载荷时而不断裂的最大应力称为该材料的疲劳极限。

金属的疲劳极限受到很多因素的影响,如内部质量、工作条件、表面状态、材料成分、组织及残余内应力等。避免断面形状的急剧变化、改善零件的结构形式、降低零件表面粗糙度值及采取各种表面强化的方法,都能提高零件的疲劳极限。

阅读材料

金属的工艺性能

工艺性能是指金属材料在加工过程中是否易于加工成形的能力,它包括铸造性、可锻性、焊接性和可加工性等。工艺性能直接影响到零件制造工艺和质量,是选材和制订零件工艺路线时必须考虑的因素之一。

一、铸造性

金属及合金在铸造工艺中获得优良铸件的能力称为铸造性。衡量铸造性的主要指标有流动性、收缩性和偏析倾向等。金属材料中,以灰铸铁和青铜的铸造性较好。

1. 流动性

熔融金属的流动能力称为流动性,它主要受金属化学成分和浇注温度等的影响。流动性好的金属容易充满铸型,从而获得外形完整、尺寸精确、轮廓清晰的铸件。

2. 收缩性

铸件在凝固和冷却过程中,其体积和尺寸减小的现象称为收缩性。铸件收缩不仅影响尺寸精度,还会使铸件产生缩孔、疏松、内应力、变形和开裂等缺陷,故用于铸造的金属其收缩率越小越好。

3. 偏析倾向

金属凝固后,内部化学成分和组织的不均匀现象称为偏析。偏析严重时能使铸件各部分的力学性能有很大的差异,降低了铸件的质量。这对大型铸件的危害更大。

二、可锻性

用锻压成形方法获得优良锻件的难易程度称为可锻性。可锻性的好坏主要与金属的塑性和变形抗力有关,也与材料的成分和加工条件有很大关系。塑性越好,变形抗力越小,金属的可锻性越好。例如黄铜和铝合金在室温状态下就有良好的可锻性;碳钢在加热状态下可锻性较好;铸铁、铸铝、青铜则几乎不能锻压。

三、焊接性

焊接性是指金属材料对焊接加工的适应性,也就是在一定的焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。对碳钢和低合金钢,焊接性主要同金属材料的化学成分有关(其中碳的质量分数的影响最大)。如低碳钢具有良好的焊接性,高碳钢、不锈钢、铸铁的焊接性较差。

四、可加工性

金属材料的可加工性是指金属材料在切削加工时的难易程度。可加工性一般由工件切削

后的表面粗糙度值及刀具寿命等方面来衡量。影响可加工性的因素主要有工件的化学成分、组织状态、硬度、塑性、导热性和形变强化等。一般认为金属材料具有适当硬度（170 ~ 230HBW）和足够的脆性时较易切削，从材料的种类而言，铸铁、铜合金、铝合金及一般非合金钢都具有较好的可加工性。所以铸铁比钢可加工性好，一般非合金钢比高合金钢可加工性好。改变钢的化学成分和进行适当的热处理，是改善钢可加工性的重要途径。

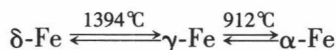
任务二 认识铁碳合金

一、金属的同素异构转变

有些金属在固态下存在着两种以上的晶格形式，这类金属在冷却或加热过程中，随着温度的变化其晶格形式也要发生变化。

金属在固态下，随温度的改变由一种晶格转变为另一种晶格的现象称为同素异构转变。具有同素异构转变的金属有铁、钴、钛、锡、锰等。以不同晶格形式存在的同一金属元素的晶体称为该金属的同素异构体。同一金属的同素异构体按其稳定存在的温度，由低温到高温依次用希腊字母 α 、 β 、 γ 、 δ 等表示。

图 1-7 为纯铁的冷却曲线。由图可见，液态纯铁在 1538℃ 进行结晶，得到具有体心立方晶格的 δ -Fe，继续冷却到 1394℃ 时发生同素异构转变， δ -Fe 转变为面心立方晶格的 γ -Fe，再冷却到 912℃ 时又发生同素异构转变， γ -Fe 转变为体心立方晶格的 α -Fe，如再继续冷却到室温，晶格的类型不再发生变化。这些转变可以用下式表示



(体心立方晶格) (面心立方晶格) (体心立方晶格)

金属的同素异构转变与液态金属的结晶过程有许多相似之处：有一定的转变温度，转变时有过冷现象；放出和吸收潜热；转变过程也是一个形核和晶核长大的过程。另一方面，同素异构转变属于固态相变，又具有本身的特点，例如：同素异构转变时，新晶格的晶核优先在原来晶粒的晶界处形核；转变需要较大的过冷度；晶格的变化伴随着金属体积的变化，转变时会产生较大的内应力。如 γ -Fe 转变为 α -Fe 时，铁的体积会膨胀约 1%，这是钢热处理时引起内应力，导致工件变形和开裂的重要原因。

二、铁碳合金

钢和铸铁是现代工业中极为重要的金属材料。钢和铸铁的产量比其他一切非铁金属产量的总和还要多。钢和铸铁虽然因成分不同而品种很多，但其最基本的组成是铁和碳两种元素。因此，钢和铸铁又称为铁碳合金。

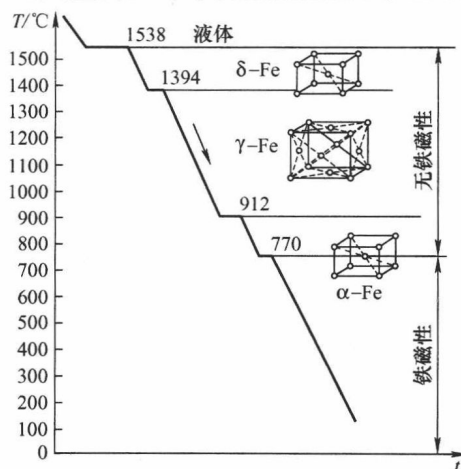


图 1-7 纯铁的冷却曲线

1. 铁碳合金的基本相

在 Fe-Fe₃C 系中,可配制多种成分不同的铁碳合金,它们在不同温度下的平衡组织是各不相同的,但它们总是由几个基本相所组成。在液态,铁和碳可以无限互溶。在固态,碳可溶于铁中,形成两种间隙固溶体——铁素体和奥氏体。当碳的质量分数超过其固态溶解度时,则会出现化合物——渗碳体 (Fe₃C)。因此在铁碳合金中,碳可以与铁组成化合物,也可以形成固溶体,还可以形成混合物。现将几个固态下出现的基本组织分述如下:

(1) 铁素体

碳溶解在 α -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体,用符号 F 来表示,它仍保持 α -Fe 的体心立方结构。

由于铁素体的含碳量低,所以铁素体的性能与纯铁相似,即具有良好的塑性和韧性,而强度和硬度较低,与纯铁相同。铁素体在 770℃ 以上具有顺磁性,而在 770℃ 以下时呈铁磁性。在显微镜下观察铁素体为均匀明亮的多边形晶粒。

(2) 奥氏体

碳溶解在 γ -Fe 中形成的间隙固溶体称为奥氏体,常用符号 A 来表示。在 1148℃ 时 w_c (碳的质量分数) 可达 2.11% 的最大溶解度,随着温度的下降,溶解度逐渐减小,在 727℃ 时 w_c 为 0.77%。

奥氏体是一个软而富有塑性的相,其强度和硬度不高,但具有良好的塑性,其力学性能与含碳量和温度有关。它是绝大多数钢在高温进行锻造和轧制时所要求的组织。与铁素体不同,奥氏体不呈现铁磁性,只具有顺磁性。

(3) 渗碳体

渗碳体是 w_c 为 6.69% 的铁与碳的金属化合物,其化学式为 Fe₃C。渗碳体是一种间隙化合物,与铁和碳的晶体结构完全不同。渗碳体的熔点为 1227℃,硬度很高 (约为 800HB),塑性很差,伸长率和冲击韧性几乎为零,是一个硬而脆的组织。渗碳体在固态下不发生同素异构转变,它在 230℃ 以下具有弱铁磁性,在此温度以上则失去铁磁性。

(4) 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体的混合物,用符号 P 表示。在放大倍数较高的显微镜下,可清楚地看到它是渗碳体和铁素体片层相间、交替排列形成的混合物。

在缓慢冷却条件下,珠光体的 w_c 为 0.77%。由于珠光体是由硬的渗碳体和软的铁素体组成的混合物,所以其力学性能取决于铁素体和渗碳体的性能,大体上是两者性能的平均值,因而珠光体的强度较高,硬度适中,并具有一定的塑性。

(5) 莱氏体

莱氏体是铁碳合金中的共晶混合物,即 w_c 为 4.3% 的液态铁碳合金在 1148℃ 时从液相中同时结晶出的奥氏体和渗碳体的混合物,用符号 Ld 表示。由于奥氏体在 727℃ 时还将转变为珠光体,所以在室温下的莱氏体由珠光体和渗碳体组成。为区别起见,将 727℃ 以上的莱氏体称为高温莱氏体 (Ld),727℃ 以下的莱氏体称为低温莱氏体 (Ld')。

莱氏体的性能和渗碳体相似,硬度很高 (相当于 700HBW),塑性很差。

上述五种基本组织中,铁素体、奥氏体和渗碳体都是单相组织,称为铁碳合金的基本相;珠光体、莱氏体则是由基本相混合组成的多相组织。

2. 铁碳合金相图分析

(1) 铁碳合金相图的建立

铁碳合金相图是表示在缓慢冷却（或缓慢加热）的条件下，不同成分的铁碳合金的状态或组织随温度变化的图形。

经简化后的 Fe-Fe₃C 相图如图 1-8 所示。

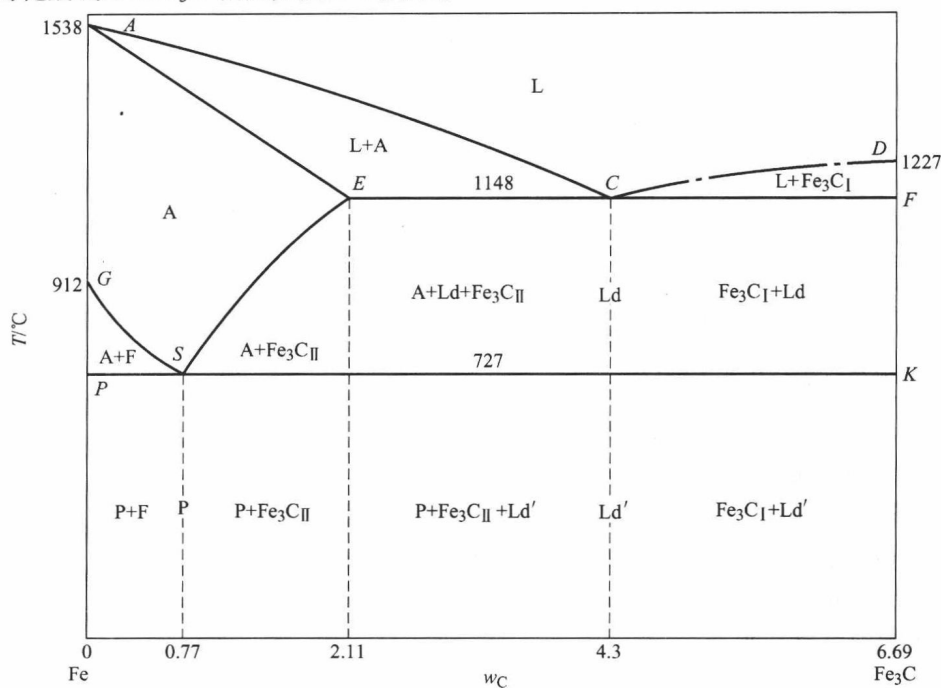


图 1-8 简化后的 Fe-Fe₃C 相图

(2) 铁碳合金相图上的特性点

Fe-Fe₃C 相图中几个主要特性点的温度、含碳量及其物理含义见表 1-1。铁碳合金相图中的特性点均采用固定的字母表示。（各特性点的成分、温度数据是随着被测材料的纯度提高和测试技术的进步而不断趋于精确的。所以，图中特性点的位置在各种资料中往往略有不同）

表 1-1 Fe-Fe₃C 相图中的几个主要特性点

点的符号	温度/°C	碳的质量分数(%)	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	共晶渗碳体的成分点
G	912	0	α -Fe 向 γ -Fe 的同素异构转变点
K	727	6.69	共析渗碳体的成分点
P	727	0.0218	碳在铁素体中的最大溶解度