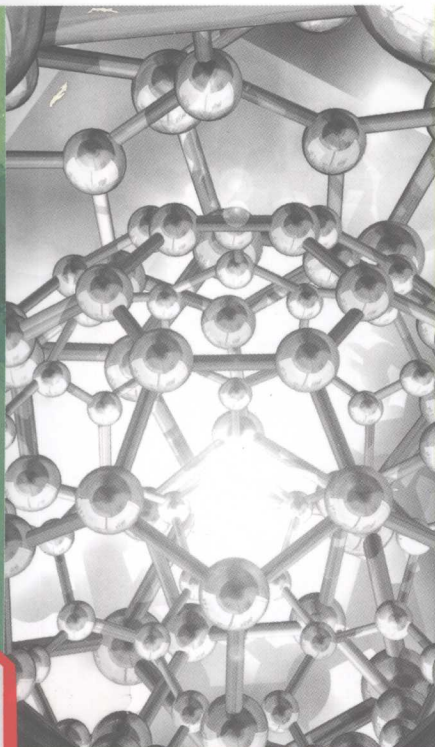


普通高等院校工程训练系列教材

材料成形技术

主 编 安 萍
副主编 张国材
主 审 杨家军



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等院校工程训练系列教材

材料成形技术

主 编 安 萍

副主编 张国材

主 审 杨家军

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材是根据教育部机械基础课程教学指导委员会一系列有关课程改革和培养创新型工程技术人才的文件精神,在总结近年来教学和生产实践及教学改革成果的基础上编写而成的。

本教材共分八章。主要内容有金属材料及热处理、铸造、锻造、板料成形、焊接、塑料及其成形、快速制造技术、材料成形方法的选择等。为便于指导学生实习,每章都选编了独具特色的实践教学内容,并附有复习思考题。本教材精选传统的实习内容,增加材料成形新技术、新工艺在实习中的比例,着力将科研成果和生产经验转化到实习之中。本书重点突出、图文并茂,实例较多,可操作性强。

本教材可作为高等院校工程训练教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术/安萍主编. —北京:科学出版社,2008

(普通高等院校工程训练系列教材)

ISBN 978-7-03-022846-8

I. 材… II. 安… III. 工程材料-成型-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 132350 号

责任编辑:孙明星 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 12 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 12 月第一次印刷 印张: 16

印数: 1—4 000 字数: 296 000

定价: 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

按照教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组提出的“学习工艺知识，增强工程实践能力，提高综合素质（包括工程素质），培养创新精神和创新能力”的课程教学目标，华中科技大学工程训练中心经过多年努力，建立了完善的工程训练机制，充分挖掘传统工程训练项目的内涵，发挥先进制造技术训练项目的优势，全面开展分层次、模块化、柔性化和开放式的工程训练活动，把创新实践融入工程训练的全过程中。通过作品创意设计、方案论证、工艺确定、加工制作、作品答辩等一系列环节，培养学生完整的工程意识、创新意识和综合能力。

在整合金工实习和电子工艺实习的基础上，突破原有的课程体系和内容的束缚，加强各主要实训部分教学内容之间的交叉与融合，注重提高学生的职业技能与素质，增强就业竞争力，建立了“主动实践，应用领先、边界再设计”、以提高学生综合能力和创新思维为主线的工程训练课程新体系。根据工程实践教学的基本特点，组织骨干教师，认真策划与实施，编写了此套工程训练系列教材。该系列教材重视理论紧密联系实际，提倡学习是基础，思考是关键，创新之根在于实践。通过一系列实践教学环节建立学生的创新意识，培养创新能力；通过构建相应的教学方法和教学手段，将创新教育有机地融入实践教学之中。

该系列教材由《冷加工技术》、《材料成形技术》、《特种加工技术》、《机械装配技术》、《机械创新设计技术》和《电子创新设计技术》组成，并配有相应的实验训练设备和实践教学模块。其内容覆盖面宽，知识反映面新，体现出现代工业技术综合性、多学科交叉与融合的特点，能够满足不同学科培养复合型、创造性人才的需要。该系列教材在内容和教学方法上强调综合，强调大工程背景，强化工程意识和工程实践能力的培养，尽力结合工业产品开发、设计、制造的全过程；大量增加了新材料、新技术、新工艺等三新内容，体现出科学技术的最新发展，使传统的金工实习和电子工艺实习平稳地向现代工业培训的方向发展。

该系列教材以学生为主体，以教师为主导，在课程教学中实行以典型产品为载体的教学模式，突出先进制造技术的模块化教学，以主动工程实践的要求训练学生，以创新之根在于实践的精神培训学生，以组织参加大赛方式来促进常规创新活动，发现高端人才，显著提高了实践教学质量和教学效果。

该系列教材所展现的教学体系与教学内容，紧紧围绕人才培养目标，以教育观念创新为先导，以学生为本、质量为重为基本原则，利用工程训练中心良好的

教学基础条件，依托机械、材料、交通、能源等学科优势，跟踪现代工程技术领域不断出现的新技术、新方法，借助现代化的教学手段，充分挖掘工程训练中心的教育教学功能，积极探索和构建符合高素质人才成长要求的工程训练教学体系，实现了从“被动学习、被动实践”向“主动学习、主动实践”的转变，开创出一条培养学生综合素质和综合能力的有效途径。

傅水根

国家级教学名师

清华大学基础工业训练中心主任

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员

兼机械基础课程指导分委员会主任委员

2008年8月

前 言

本教材是根据教育部机械课程基础教学指导委员会一系列有关课程改革的和培养创新型工程技术人才的文件精神，在总结近年来生产和教学实践及教学改革成果的基础上编写而成的。

《材料成形技术》是高等院校学生工程训练系列教材之一。它以材料成形工艺过程为主线，引导学生探求工艺知识和基本原理，培养学生工程实践能力和创新能力。

本教材在编写中力图表现以下特点与创意：

1. 精选传统的实习内容，增加材料成形新技术、新工艺在实习中的比例。特别是结合我校的科研优势组织实习内容，着力将科研成果和生产经验转化到实习之中。

我校拥有国家级模具重点实验室和快速成形中心，在实习内容方面，我们强化了冲压实习，增设并丰富快速成形及先进制造技术实习。我校在精密模锻、焊接自动化、消失模铸造、镁合金的成形、CAD/CAE/CAM 技术等方面取得了优异成绩，我们将这些成果转化为具体的实习或实验项目。

2. 每章都编写了独具特色的实践教学环节，简明实用，可操作性强。

主要的教学特色是：

1. 实习与实验相结合的教学模式，使学生不仅知道怎样做，而且知道为什么这样做，怎样才能做得更好。通过现场演示、对比、试做、模拟、讨论等方式组织教学，使材料成形过程中看不见、摸不着的基本理论和现象变得可见、可摸、可控制。

2. 加强实习内容的综合性，构建完整的知识体系。例如：在钣金制作中，将零件的形状和工艺设计、钣金加工、焊接、铆接、检验等内容综合起来组织教学；在材料成形新技术实习中，使快速成形技术与反求工程、铸件凝固模拟技术、快速制模技术结合起来；在消失模铸造实习中，将计算机辅助设计、数控雕刻、电热加工、塑料成形、铸造等内容串联起来实习。

3. 以生产现场为背景介绍基本知识，以我校自制的教学设备为依托组织教学，人人动手，个个感悟；通过小制作，学习工艺知识，引导学生主动实践，培养学生的创新意识和动手能力；通过动手制作、写实习或实验报告、现场讨论等形式，来考核学生的观察能力、分析问题能力和知识应用能力。

本教材是华中科技大学工程实训中心多年教学改革的结晶，其中的教学方法

和装置经实践检验效果良好，受到其他院校的赞同。本教材由华中科技大学安萍副教授任主编，张国材高级工程师任副主编，杨家军教授任主审。

参加教材编写工作的有安萍副教授（第一、二、六、八章），张国材高级工程师（第三章），罗云华副教授（第四章），余圣甫教授（第五章），王从军副教授（第七章）。胡华中、文启俊、黄海渔、邓小山、严志伟、张吉明、严伯银、舒永红老师参加了教材的研讨和辅助工作。

在编写过程中，华中科技大学材料学院夏巨谌教授、陈立亮教授、吴树森教授、莫健华教授、沈其文教授、廖敦明副教授、姜华文硕士等以及工程实训中心汪春华主任、贝恩海副主任、杨清老师等给予了具体的指导和帮助，在此表示衷心地感谢。

本教材通过华中科技大学工程训练系列教材编写组的讨论和审查，并作为本校学生工程实训指定使用教材。

限于编者水平，书中难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2008年8月

目 录

序	1
前言	1
第一章 金属材料及热处理	1
第一节 金属材料的性能	3
一、金属材料的力学性能	3
二、金属材料的工艺性能	5
三、金属材料的物理、化学性能	5
第二节 常用金属材料	6
一、钢	6
二、铸铁	9
三、有色金属	11
第三节 钢的热处理	14
一、退火	15
二、正火	16
三、淬火	16
四、回火	17
五、表面淬火	18
六、化学热处理	18
七、热处理常见缺陷	19
八、典型零件的热处理	20
第四节 热处理新技术简介	21
一、形变热处理	21
二、可控气氛热处理	21
三、真空热处理	22
四、激光热处理	22
第五节 钢的热处理教学实践	23
一、钢的热处理工艺实验	23
二、弹簧制作工艺实验	27
复习思考题	30

第二章 铸造	32
第一节 砂型铸造	34
一、型(芯)砂	34
二、模样及芯盒	36
三、造型	37
四、造芯	44
五、合型	47
六、合金的熔炼与浇注	48
七、铸件的落砂、清理和缺陷分析	52
八、铸造工艺设计	54
第二节 特种铸造	59
一、熔模铸造	59
二、消失模铸造	60
三、离心铸造	62
四、压力铸造	64
第三节 铸造成形教学实践	65
一、多种造型方法比较实习	65
二、消失模铸造实习	68
三、铸件结构工艺性实验	72
四、合金的流动性及充型能力实验	74
复习思考题	77
第三章 锻造	78
第一节 坯料的加热和锻件的冷却	80
一、加热的目的和锻造温度	80
二、加热炉	80
三、加热缺陷	82
四、锻件的冷却	82
五、锻后热处理	83
第二节 自由锻造	83
一、自由锻造的设备和工具	83
二、自由锻造的基本工序	84
三、自由锻造工艺过程示例	88
第三节 模型锻造	91
一、模锻设备	91
二、锻模结构及工作过程	92

三、胎模锻	94
第四节 锻造新技术简介	94
一、精密模锻	94
二、多向模锻	95
三、粉末锻造	96
第五节 锻造成形教学实践	97
一、金属塑性变形过程观察分析实验	97
二、细长杆多工步镦锻实验	103
复习思考题	106
第四章 板料成形	108
第一节 板料冲压基本工序	109
一、落料和冲孔	110
二、弯曲	112
三、拉深	113
四、其他成形工序	115
五、典型冲压件工艺实例	116
第二节 冲压设备及模具	117
一、冲压设备	117
二、冲压模具	118
三、冲压生产自动化	121
第三节 钣金加工	123
一、常用设备及材料	124
二、钣金加工的工艺过程	126
第四节 板料成形教学实践	128
一、冲压模具拆装实习	128
二、钣金制作实习	132
复习思考题	142
第五章 焊接	143
第一节 手工电弧焊	144
一、焊接过程及特点	144
二、焊接电弧	145
三、电焊条	146
四、手弧焊用焊机	147
五、手工电弧焊工艺	148
六、常见焊接缺陷及分析	150

第二节	埋弧自动焊	151
一、	埋弧焊机及焊接过程	152
二、	焊接材料	152
三、	埋弧焊的特点及应用	153
第三节	气体保护焊	153
一、	氩弧焊	154
二、	CO ₂ 气体保护焊	155
第四节	电阻焊及钎焊	157
一、	电阻焊	157
二、	钎焊	160
第五节	焊接与切割	161
一、	气焊与气割	161
二、	等离子弧焊接与切割	165
三、	激光焊接与切割	167
四、	焊接机器人	168
第六节	焊接实习教学实践	170
一、	手工电弧焊、CO ₂ 气体保护焊、埋弧自动焊对比实习	170
二、	气焊与钨极氩弧焊对比实习	173
三、	氧气切割与等离子弧切割对比实习	174
四、	焊接方法和焊接顺序对焊件变形影响实习	176
复习思考题		181
第六章	塑料及其成形	182
第一节	塑料	183
一、	塑料的组成	183
二、	塑料的分类	184
三、	塑料的性能及用途	185
第二节	注射成形工艺及装备	187
一、	注射成形工艺过程	187
二、	注射成形机	190
三、	注射成形工艺参数	191
四、	注射成形模具	193
五、	注射成形常见缺陷分析	196
第三节	塑料的其他成形工艺	196
一、	压制成形	196
二、	压注成形	197

三、挤出成形	198
第四节 塑料成形教学实践	199
复习思考题	201
第七章 快速制造技术	203
第一节 快速成形技术	203
一、快速成形的原理及典型工艺	203
二、快速成形的特点及应用	207
第二节 快速制模技术	209
一、软模技术	209
二、桥模技术	210
三、硬模技术	211
第三节 反求工程	212
一、反求工程的原理及意义	213
二、反求工程的特点及应用	213
三、反求工程的关键技术	214
第四节 快速制造技术教学实践	218
一、快速成形与反求工程技术实习	218
二、铸件凝固模拟实验	224
复习思考题	226
第八章 材料成形方法的选择	227
第一节 材料成形方法选择的原则和依据	227
第二节 常用零件的毛坯成形方法	230
一、轴杆类零件	230
二、盘、套类零件	231
三、箱体、支架类零件	232
第三节 典型毛坯成形方法选择实例	234
一、承压油缸毛坯成形工艺方案比较	234
二、发动机零件的材料及毛坯成形方法选择	235
复习思考题	240
参考文献	241

第一章 金属材料及热处理

教学基本要求

1. 了解金属材料的使用性能和工艺性能；
2. 了解常用金属材料的分类、牌号、性能及用途；
3. 认识钢的常用热处理工艺的概念、目的及应用；
4. 了解常用热处理设备的工作原理、特点及应用；
5. 懂得热处理工艺在机械制造中的重要作用。

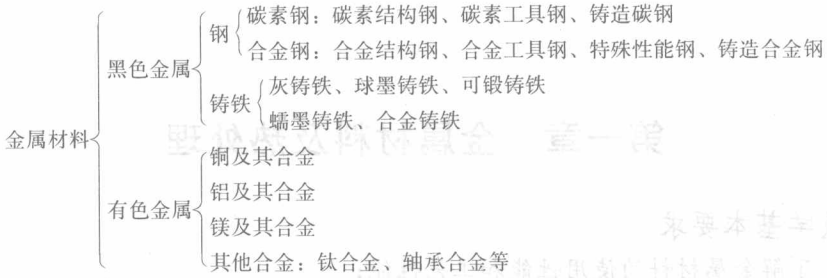
安全注意事项

1. 穿戴好防护用品；
2. 刚出炉的工件，禁止用手触摸，且应远离易燃品；
3. 按规定使用电阻炉，遇到异常情况，需断开电源处理。

机械工程材料主要包括金属材料、非金属材料、复合材料三大类。金属材料是目前应用最广泛的工程材料。金属材料是以金属元素或以金属元素为主而构成的并具有一般金属特性的材料。它是现代工业、农业、国防及科学技术等领域的重要物质基础，各种机器和设备都需要使用金属材料。据统计，目前机械工业所用的材料中，金属材料占90%以上，冶金行业所占比例更大。石油、化工、水利、电力、电子、国防等行业以及我们的日常生活中到处可见金属材料。

金属材料为什么能够被广泛应用呢？这是因为金属材料来源丰富，既具备良好的使用性（即力学、物理和化学性能），能满足各种设计和使用要求，又具有良好的工艺性能，易采用各种加工方法制成各种形状的零件和机器，并且采用不同的热处理工艺，还可以改变金属表面的化学成分和内部的组织，获得所需要的力学性能。

一般将金属材料分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属通常指钢和铸铁，其使用量占整个结构材料的70%以上；有色金属是指钢铁以外的各种金属及合金，它们的使用量正在逐步扩大，常用金属材料分类如下：



现代工业技术的发展，对金属材料提出了高强度、高塑性、高韧性、耐磨、耐热、耐腐蚀以及轻量化等要求，这些将通过钢材合金化、精炼技术、控制结晶技术、控制轧制技术、表面处理技术、热处理技术等途径及其综合应用来实现。

热处理是通过对固态金属的加热、保温和冷却，来改变金属的内部组织，从而获得所需力学性能的一种工艺方法。铸造、锻压、焊接和机加工的目的是使零件成形或改变其形状，而热处理的目的是改善和提高零件的组织 and 性能，并不要求改变零件的形状和尺寸。热处理不仅可以强化金属材料、充分发挥其内部潜力、提高或改善工件的使用性能和加工工艺性，而且还可以提高加工质量、延长工件和刀具使用寿命、节约材料、降低成本。大多数机械零件都要经过热处理才能投入使用，如机床的 60%~70% 零件、汽车的 70%~80% 零件、飞机的几乎全部零件都要经过热处理。热处理工序穿插在零件制造过程的各个环节，是保证产品质量不可缺少的工艺措施，在现代工业生产中占有重要地位。

热处理的种类很多，根据加热和冷却方法及应用特点的不同，可分为三类：

- (1) 整体热处理：包括退火、正火、淬火、回火、调质等。
- (2) 表面热处理：主要指表面淬火和回火。
- (3) 化学热处理：包括渗碳、渗氮、碳氮共渗和渗硼等工艺。

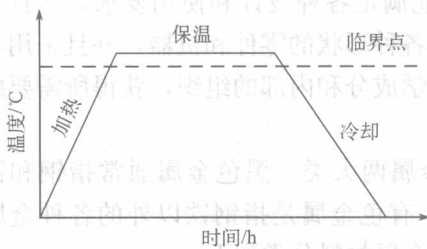


图 1-1 热处理工艺曲线

无论哪种热处理工艺，都是由加热、保温和冷却三个阶段组成的。这个过程通常可用温度—时间坐标图（即热处理工艺曲线）来表示，见图 1-1。

- (1) 以一定速度把工件加热到规定的温度。
- (2) 在此温度下保持一段时间，使工件全部或局部热透。

(3) 将工件置于冷却介质中，以某种速度把工件冷却下来。

随着科学技术的发展，热处理方法也日益繁多，如形变热处理、真空热处理、激光热处理、可控气氛热处理等。这些新工艺在提高零件的强度和韧性，增强零件的抗疲劳和耐磨损能力，减轻热处理中的氧化和脱碳，减小热处理过程中

零件的变形, 节约能源, 降低成本, 减少环境污染等方面发挥出巨大优势。计算机技术的广泛应用, 促使热处理生产过程朝着精确化、自动化、洁净化方向发展。

第一节 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中表现出来的特性, 如物理性能、化学性能、力学性能等。材料使用性能的好坏, 决定了零件的使用范围和寿命。工艺性能是指金属材料在成形和加工过程中表现出的难易程度, 它的好坏决定了零件对该成形技术和加工方法的适应能力。

一、金属材料的力学性能

机械零件在工作过程中都要承受各种形式的外力作用。如柴油机上的连杆, 在传递动力时, 不仅受到拉力和压力的作用, 而且还受到冲击力的作用。这就要求金属材料必须具有承受机械载荷而不超过许可变形或不被破坏的能力, 这种能力就是材料的力学性能。常用衡量力学性能的指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性等。

1. 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。强度指标一般用单位面积所承受的载荷即应力表示, 符号为 σ , 单位为 MPa。

工程中常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。屈服强度是指金属材料在外力作用下, 产生屈服现象时的应力, 或开始出现塑性变形时的最低应力值, 用 σ_s 表示。抗拉强度是指金属材料在拉力的作用下, 被拉断前所能承受的最大应力值, 用 σ_b 表示。

对于大多数机械零件, 工作时不允许产生塑性变形, 所以屈服强度是零件强度设计的依据; 对于因断裂而失效的零件, 则用抗拉强度作为其强度设计的依据。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力。

工程中常用的塑性指标有延伸率和断面收缩率。延伸率指试样拉断后的总伸长量与原来长度之比的百分率, 用符号 δ 表示。断面收缩率指试样拉断后, 断面缩小的面积与原来截面积之比, 用 φ 表示。

延伸率和断面收缩率越大, 其塑性越好; 反之, 塑性越差。良好的塑性是金

属材料进行压力加工的必要条件,也是保证机械零件工作安全、不发生突然脆断的必要条件。

3. 硬度

金属材料抵抗硬物体压入的能力称为硬度。衡量硬度的指标主要有布氏硬度和洛氏硬度两种,它们均由专用仪器测量获得。

布氏硬度:测量方法是用一定直径的淬火钢球或硬质合金球作为压头,以规定的压力将其压入被测金属材料的表面,保持一段时间后卸载,然后测量金属表面的压痕直径,如图 1-2 所示。实际测量中,用读数显微镜测出压痕直径,再根据压痕直径在硬度换算表中查出布氏硬度值。依据 GH231—84《金属布氏硬度试验方法》的规定,布氏硬度用 HB 表示。通过淬火钢球压头所测出的硬度数值用 HBS 表示;通过硬质合金压头所测出的硬度数值用 HBW 表示。表示方法如 180HBS、620HBW,前面的数字代表硬度值。

洛氏硬度:测量方法是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径 1.588mm 的淬火钢球作压头,在一定的压力下压入材料表面,通过测量压痕深度来确定硬度的数值,如图 1-3 所示。洛氏硬度数值,通常可从硬度计的刻度盘上直接读取。压痕越深,材料越软,硬度数值越低;反之亦然。国家标准规定,洛氏硬度用 HR 表示。测试时依据压头和压力等不同,分别有 HRA、HRH、HRC 三种表示方法,其中 HRC 应用最多。一般淬火钢件或工具都用 HRC 表示,如钳工用铣刀的硬度为 62~67HRC。

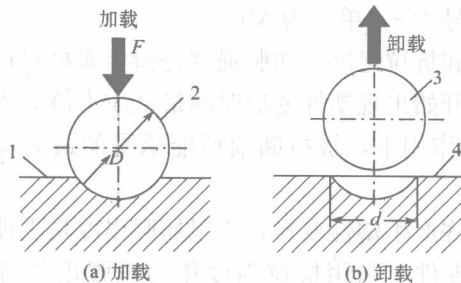


图 1-2 布氏硬度测量

1、4—被测金属 2、3—压头

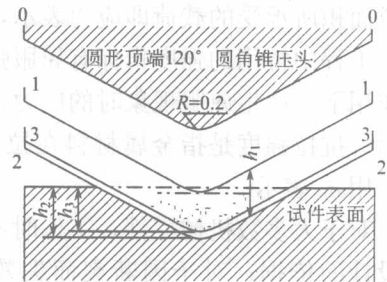


图 1-3 洛氏硬度测量

4. 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性,用 α_k 表示,单位为 J/cm^2 。

α_k 值越大,则材料的韧性就越好。 α_k 值低的材料叫做脆性材料, α_k 值高的材料叫韧性材料。很多零件,如齿轮、连杆等,工作时受到很大的冲击载荷,因此要用 α_k 值高的材料制造。铸铁的 α_k 值很低,不能用来制造承受冲击载荷的零件。

5. 疲劳强度

金属材料在无数次重复的交变载荷作用下不损坏的最大应力,称为疲劳强度。很多零件工作时承受大小和方向不断变化的载荷作用,例如旋转的轴类零件、齿轮、发动机叶片、汽缸盖螺栓、列车钢轨等。虽然它们所承受的工作载荷低于材料的屈服强度,但有时会突然发生断裂。这种因交变载荷的作用而使材料发生低应力断裂的现象叫疲劳。据统计有80%以上的机械零件的损坏都是由金属疲劳破坏引起的。金属疲劳具有隐蔽性和突发性,它的发生往往导致整个设备的损坏甚至造成生命财产损失。

二、金属材料的工艺性能

金属材料要通过各种各样的加工方法被制造成零件或产品,材料对各种加工方法的适应性称为材料的工艺性能。主要包含以下几个内容:

(1) 铸造性能,指金属材料通过铸造方法制成优质铸件的难易程度。其影响因素主要包括材料的流动性及收缩性。材料的流动性越高,收缩性越小,则铸造性能越好。

(2) 锻压性能,指金属材料在锻压加工过程中获得优良锻压件的难易程度。它与金属材料的塑性及变形抗力有关。材料的塑性越高,变形抗力越小,则锻压性能越好。

(3) 焊接性能,指金属材料在一定焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。其影响因素包括材料的成分、焊接方法、工艺条件等。

(4) 切削加工性能,指用刀具切削加工金属材料的难易程度。材料切削加工性能的好坏与其物理性能、力学性能有关。对于一般钢材,硬度在200HBS左右即具有良好的切削加工性能。

(5) 热处理工艺性能,指金属材料能通过热处理方法改变其工艺性能和使用性能的特性。热处理通常只改变金属材料的组织和性能,而不改变其形状和大小。

三、金属材料的物理、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、导热性、热膨胀性、耐热性、耐腐蚀性等。根据机械零件的用途不同,对材料的物理、化学性能要求也不同。如飞机上的零件要求重量轻,常选用铝、镁、钛合金之类的密度小的材料制造。

金属材料的物理、化学性能对制造工艺也有一定影响。如切削加工导热性差的材料时,刀具的温度上升快,耐用度会下降;对膨胀系数大的材料进行锻压或